



**ANALISIS INTENSITAS MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW*
FREQUENCY (ELF) DI RUANG KERJA**

SKRIPSI

Oleh :

**Nurul Hidayah
NIM 120210102100**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**ANALISIS INTENSITAS MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW*
FREQUENCY (ELF) DI RUANG KERJA**

SKRIPSI

Oleh

**Nurul Hidayah
NIM 120210102100**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**ANALISIS INTENSITAS MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW*
FREQUENCY (ELF) DI RUANG KERJA**

SKRIPSI

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

Oleh :

**Nurul Hidayah
NIM 120210102100**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ayahandaku Suharsono, Ibundaku Siti Maesaroh, dan Kakakku Bagus Hartanto serta seluruh keluargaku tercinta, yang selalu memberikan motivasi dan do'a dalam setiap perjuanganku serta curahan kasih sayang yang telah diberikan selama ini;
2. Guru-guruku sejak Taman Kanak-Kanak sampai Perguruan Tinggi, yang telah memberikan ilmu, membimbing dengan kesabaran dan keikhlasan hati;
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTO

“Hai orang-orang yang beriman, mintalah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan sholat; sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar”

(Qs. Al baqarah: 153)*)

“Tidak ada sesuatu musibah pun yang menimpa seseorang kecuali dengan izin Allah; dan barangsiapa yang beriman kepada Allah, niscaya Dia akan memberi petunjuk kepada hatinya. Dan Allah Mengetahui segala sesuatu”

(Qs. At-Taghabun : 11)**

*) **) Departemen Agama Republik Indonesia. 2004. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*.

Bandung: J-ART

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Hidayah

NIM : 120210102100

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Analisis Intensitas Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) di Ruang Kerja” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, 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, 2016
Yang menyatakan,

Nurul Hidayah
NIM 120210102100

SKRIPSI

**ANALISIS INTENSITAS MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW*
FREQUENCY (ELF) DI RUANG KERJA**

Oleh

Nurul Hidayah
NIM 120210102100

Pembimbing

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Intensitas Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) di Ruang Kerja ” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Sudarti, M.Kes
NIP 19620123 198802 2 001

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.
NIP: 19620401 198702 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Alex Harijanto, M.Si.
NIP. 19641117 199103 1 001

Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si.
NIP. 19810205 200604 2 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember,

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd.
NIP 19540501 198303 1 005

RINGKASAN

Analisis Intensitas Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) di Ruang Kerja; Nurul Hidayah, 120210102100; 2016: 61 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika; Jurusan Pendidikan MIPA; Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan; Universitas Jember.

Medan elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) berada pada frekuensi 1 Hz sampai 300 Hz. Medan ELF pada frekuensi 60 Hz dihasilkan disekitar saluran listrik, kabel listrik, dan peralatan listrik (OSHA, 2010). Ketika arus listrik mengalir pada peralatan listrik yang biasa digunakan sehari-hari dapat menimbulkan adanya medan listrik dan medan magnet disekitarnya. Menurut (IRPA) dan (WHO) batas kuat medan magnet yang diperbolehkan keberadaannya tidak mempengaruhi organisme maupun efek biologis untuk umum adalah 0,5 mT (mili tesla). Kuat medan magnet lebih besar dari 0,5 mT diperkirakan dapat memberikan pengaruh efek biologis pada organisme (Tribuana, 2000). Hasil penelitian Cohort pada tahun (1972-1993) melaporkan bahwa pekerja yang terpapar medan magnet 29,5 μ T menunjukkan bahwa intensitas medan magnet $\geq 10 \mu$ T dapat menyebabkan peningkatan angka kematian karena leukimia sebesar 0,9% , tetapi tidak ada peningkatan atau hubungan terhadap resiko adanya kanker otak (Minder and Pfluger, 2001). Berdasarkan hal tersebut maka akan dilakukan penelitian “Analisis Intensitas Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) di Ruang Kerja”

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji intensitas medan magnet di ruang kerja, mengkaji pengaruh intensitas medan magnet sesuai nilai ambang batas terhadap efek biologi dan efek klinis, dan mengkaji potensi efek biologis di ruang kerja.

Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif yang dilaksanakan di tujuh sampel ruang yang diuji. Penelitian dilaksanakan di tiga laboratorium sekolah yang meliputi SMP Negeri 7 Jember, SMA Muhammadiyah 3 Jember, dan SMP Nuris Jember. Penelitian juga dilakukan di ruang kerja fotocopy dan percetakan yang meliputi Bursa Mahasiswa, Bursa Media Grafika, SEP 3, dan SEP 4. Penentuan sampel ruang menggunakan metode *purposive sampling*. Masing-masing ruang diukur intensitas medan magnet pada ketinggian 0.5 m, 1 m dan 1,5 m. Sampel pada ruang kerja fotokopi dan percetakan dilakukan pengambilan data di tiga waktu yakni pukul 08.00, 10.00 dan 13.00.

Keseluruhan data hasil penelitian yang diperoleh intensitas medan magnet memiliki perbedaan di setiap ruang. Terjadinya kenaikan intensitas medan magnet di ruang kerja dilihat dari peningkatan intensitas medan magnet. Perbandingan intensitas dapat dilihat dari intensitas medan magnet alamiah sekitar $0.01 - 0.02 \mu\text{T}$ dengan hasil pengukuran yang menunjukkan intensitas $\geq 0.01 \mu\text{T}$ dan $\geq 0.02 \mu\text{T}$ tergantung pada masing-masing ruang yang diukur.

Kesimpulan penelitian yang telah dilakukan yakni intensitas medan magnet dalam ruang kerja mengalami peningkatan akibat adanya beberapa peralatan elektronik dalam ruang kerja tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan intensitas medan magnet selain keberadaan peralatan elektronik pada ruang kerja juga dipicu pengoperasian peralatan elektronik tersebut. Nilai ambang batas yang telah ditetapkan oleh badan kesehatan internasional WHO adalah sebesar 5 mT. Sehingga menurut nilai ambang batas tersebut intensitas medan magnet di sampel ruang kerja berada di bawah NAB yang artinya masih dalam kondisi aman dari efek biologis dan efek klinis. Intensitas yang terukur berada di bawah NAB yang telah ditentukan tetapi terdapat beberapa kemungkinan-kemungkinan adanya efek biologis yang dapat diterima oleh pekerja.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat dan hidayah-Nya, serta Nabi besar Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisis Intensitas Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) di Ruang Kerja “. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

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

1. Prof. Dr. Sunardi, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang telah menerbitkan surat permohonan izin penelitian;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Jember;
3. Dr. Yushardi, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember;
4. Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan menyetujui rencana studi selama menjadi mahasiswa;
5. Dr. Sudarti, M.Kes., selaku Dosen Pembimbing Utama; Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan bekal ilmu selama menyelesaikan studi di Pendidikan Fisika;
7. Drs. Syaiful Bahri, M.Pd selaku Kepala SMP Negeri 7 Jember, H. Heny Siswondo, S.Pd., M.Pd selaku kepala SMA Muhammadiyah 3 Jember, H. Rahmatulloh Rijal, S.Sos selaku kepala SMP Nuris Jember, Teguh Budoyo selaku Pimpinan Bursa Mahasiswa dan Bursa Media Grafika Jember, Holid

selaku Pimpinan Cabang SEP 3 Jember, Farid Kurniawan selaku Pimpinan cabang SEP 4 Jember yang telah berkenan memberikan izin untuk melakukan penelitian;

Besar harapan penulis bila segenap pembaca memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan bermanfaat bagi kita semua.

Jember, 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTO	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
HALAMAN BIMBINGAN	vii
HALAMAN PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Persamaan Maxwell	6
2.2 Ketergantungan Medan Listrik dan Medan Magnet	7
2.3 Kerapatan Energi	8
2.4 Medan Magnet di Sekitar Arus Listrik	9
2.5 Gelombang Elektromagnetik	10
2.5.1 Gelombang Elektromagnetik	10
2.5.2 Karakteristik Gelombang Elektromagnetik	12

2.6 Matahari Sebagai Sumber Gelombang Elektromagnetik	16
2.7 Karakteristik Medan Listrik dan Medan Magnet	16
2.7.1 Medan Listrik	16
2.7.2 Medan Magnet	17
2.8 Gelombang Elektromagnetik ELF	18
2.8.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik ELF	18
2.8.2 Karakteristik Medan Listrik dan Medan Magnet ELF	19
2.8.3 Sumber Gelombang Elektromagnetik ELF	21
2.9 Medan Magnet di Sekitar Peralatan Elektronik	23
2.10 Medan Magnet di Sekitar Arus AC	27
2.11 Batas Ambang Radiasi Medan Magnet ELF	27
2.11.1 Nilai Ambang Batas Radiasi	27
2.11.2 Isu Kesehatan	30
2.12 Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja	32
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	34
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	34
3.3 Populasi dan Sampel	35
3.3.1 Populasi	35
3.3.2 Sampel	35
3.4 Definisi Operasional Variabel	36
3.5 Metode Pengambilan Data	36
3.5.1 Alat Ukur Medan Magnet ELF	36
3.5.2 Lokasi Penelitian	37
3.5.3 Penentuan Titik Pengukuran Medan Magnet ELF	38
3.5.4 Prosedur Penelitian	38
3.6 Teknik Analisis Data	41

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian	42
4.1.1 Pelaksanaan Penelitian.....	42
4.1.2 Hasil Pengukuran Intensitas Medan Magnet	42
4.1.3 Representasi Data Rerata Hasil Pengukuran Intensitas Medan Magnet dalam Bentuk Grafik	44
4.2 Analisis Data	46
4.3 Pembahasan	53
4.3.1 Peningkatan Intensitas Medan Magnet di Ruang Kerja	53
4.3.2 Nilai Ambang Batas Efek Klinis dan Efek Biologis	59
2.3.3 Potensi Efek Biologis Medan Magnet ELF	60

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67

DAFTAR BACAAN	69
----------------------------	----

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik	15
2.2 Perbedaan Medan Listrik dan Medan Magnet	20
2.3 Variasi Spektrum Medan Magnet Bumi	22
2.4 Kuat Medan Magnet pada Alat Listrik berdasarkan Jaraknya	28
2.5 Pedoman Radiasi oleh ICNIRP	29
2.6 Paparan Maximum Medan Elektromagnetik	29
2.7 Hasil Penelitian Efek Medan Terhadap Produksi Melatonin	31
3.1 Data Hasil Pengukuran Intensitas Medan Magnet	48
4.1 Hasil rata-rata pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium Sekolah Pukul 08.00	43
4.2 Hasil rata-rata pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium Sekolah Pukul 08.45	43
4.3 Hasil rata-rata pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium Sekolah Pukul 09.30	44
4.4 Hasil pengukuran intensitas medan magnet di ruang kerja percetakan dan Fotokopi Pukul 08.00.....	45
4.5 Hasil pengukuran intensitas medan magnet di ruang kerja percetakan dan Fotokopi Pukul 10.00.....	45
4.6 Hasil pengukuran intensitas medan magnet di ruang kerja percetakan dan Fotokopi Pukul 13.00.....	45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Medan listrik dan medan magnet pada gelombang elektromagnetik	11
2.2 Skema gelombang mikro	13
2.3 Spektrum elektromagnetik	16
2.4 Kekuatan medan magnet di permukaan bumi	22
2.5 Ilustrasi medan listrik dan medan magnet pada rangkaian peralatan elektronik	26
3.1 EMF 827	37
3.2 Diagram Alur Penelitian	38
3.3 Ilustrasi titik pengukuran di ruang kerja	39
4.1 Grafik rerata hasil pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium Sekolah SMP N 7 Jember	46
4.2 Grafik rerata hasil pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium Sekolah SMA Muhammadiyah 3 Jember	47
4.3 Grafik rerata hasil pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium Sekolah SMP Nuris Jember	48
4.4 Grafik intensitas medan magnet di Bursa Mahasiswa	49
4.5 Grafik intensitas medan magnet di Bursa Media Grafika	50
4.6 Grafik intensitas medan magnet di SEP 3	51
4.7 Grafik intensitas medan magnet di SEP 4	52
4.8 Denah ruang laboratorium komputer SMP N 7 Jember	54
4.9 Denah ruang laboratorium komputer SMA Muhammadiyah 3 Jember	55
4.10 Denah ruang laboratorium komputer SMP Nuris Jember	56
4.11 Denah ruang kerja bursa mahasiswa	61
4.12 Denah ruang kerja bursa media grafika	62

4.13 Denah ruang kerja SEP 3	63
4.14 Denah ruang Kerja SEP 4	65



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. MATRIKS PENELITIAN	73
B. HASIL PENELITIAN	78
C. FOTO KEGIATAN PENELITIAN	83
D. SURAT IJIN PENELITIAN	90
E. SURAT KETERANGAN SELESAI PENELITIAN	97

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi masa kini telah berkembang pesat di seluruh dunia. Pemanfaatan teknologi saat ini cenderung memanfaatkan sumber listrik dalam kegunaannya. Peralatan elektronik menyebar luas di sekitar masyarakat dengan sumber utama menggunakan listrik untuk menjalankan fungsinya. Meningkatnya teknologi dan makin banyaknya barang-barang elektronik saat ini membuat listrik menjadi kebutuhan penting dalam membantu aktivitas manusia. Penggunaan peralatan elektronik dan peralatan listrik lainnya dapat meningkatkan adanya radiasi gelombang elektromagnetik di lingkungan.

Radiasi gelombang elektromagnetik memiliki spektrum yang luas mulai dari frekuensi ekstrim rendah sampai frekuensi yang sangat tinggi. Medan elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) berada pada frekuensi 1 Hz sampai 300 Hz. Medan elektromagnetik ELF termasuk arus bolak-balik (AC). Medan ELF pada frekuensi 60 Hz dihasilkan disekitar saluran listrik, kabel listrik, dan peralatan listrik (OSHA, 2010). Ketika arus listrik mengalir pada peralatan listrik yang biasa digunakan sehari-hari dapat menimbulkan adanya medan listrik dan medan magnet disekitarnya. Menurut *International Radiation Protection Association* (IRPA) dan *World Health Organization* (WHO) batas kuat medan magnet yang diperbolehkan keberadaannya tidak mempengaruhi organisme maupun efek biologis untuk umum adalah 0,5 mT (mili tesla). Kuat medan magnet lebih besar dari 0,5 mT diperkirakan dapat memberikan pengaruh efek biologis pada organisme (Tribuana, 2000).

Peralatan elektronik di ruang kerja sangat mudah sekali ditemui. Ruang kerja dengan peralatan elektronik biasanya dapat ditemukan di perkantoran dan ruang kerja yang menggunakan peralatan dengan tegangan tinggi seperti pada tempat percetakan banner. Keberadaan peralatan-peralatan tersebut dimanfaatkan sebagai sarana

kemudahan dalam bekerja. Rata-rata dalam suatu ruang kerja sering kali dapat ditemukan AC, komputer maupun laptop, printer, mesin *fotocopy*, dispenser, televisi dan lain-lain. Pengukuran medan magnet yang dilakukan pada komputer dengan jarak 30 cm dari komputer besar medan magnet yang dihasilkan kurang dari 0,01 μT . Sedangkan pada peralatan lain yaitu televisi berwarna pada jarak yang sama yaitu 30 cm besar medan magnet yang terdeteksi berkisar antara 0.04 - 2 μT (WHO,2015).

Peningkatan pemasangan sumber pembangkit listrik tahun 2014 mengalami peningkatan sebesar 14,77% (PLN, 2014). Peningkatan tersebut menunjukkan adanya kenaikan konsumsi listrik dimasyarakat. Maraknya barang-barang elektronik yang berada disekitar manusia dapat dipastikan akan menimbulkan radiasi medan magnet. Faktor yang mempengaruhi adanya peningkatan penggunaan listrik yaitu sebagai salah satu kebutuhan hidup. Saat ini yang menjadikan listrik sebagai kebutuhan primer bagi setiap orang yakni dimanfaatkan sebagai penunjang kehidupan. Seperti halnya dalam penyalaan lampu sebagai penerangan ketika malam hari, sebagai penyalaan mesin pompa air untuk memudahkan mengalirkan air, dan seluruh peralatan-peralatan elektronik yang berkembang dari waktu ke waktu demi memudahkan masyarakat dalam memenuhi kebutuhan hidupnya.

Selain pada pemenuhan kebutuhan kerja listrik sangat dibutuhkan dalam memudahkan pekerjaan. Pada lingkungan kerja kebutuhan listrik akan menjadi sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena peralatan yang digunakan dalam lingkungan kerja tidak hanya satu melainkan beberapa peralatan elektronik yang digunakan secara bersamaan. Sehingga membutuhkan listrik yang lebih banyak ketika menyelesaikan pekerjaannya tersebut. Misalnya pada ruang kerja paling tidak terdapat lampu, komputer, printer, *Air Conditioner* (AC) dan peralatan lainnya. Penggunaan listrik yang bervariasi tersebut akan berpengaruh pada besarnya intensitas medan magnet ELF yang dihasilkan.

Perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik, sebaliknya perubahan medan listrik dapat pula menimbulkan medan magnet. Radiasi

elektromagnetik tersusun atas medan listrik dan medan magnet. (Akadi, 2000). Radiasi elektromagnetik terbagi atas 2 kelompok yaitu radiasi pengion (ionisasi) dan radiasi tidak pengion (non-ionisasi) (Mughtaruddin 1998). Pada peralatan elektronik yang digunakan terdapat radiasi medan listrik dan medan magnet. Tetapi radiasi medan listrik merupakan radiasi pengion sehingga bersifat terhalangi. Medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) memiliki karakteristik paparan *non ionizing, non thermal* serta tidak terhalangi yang mampu meningkatkan terjadinya proliferasi sel (Sudarti, *et al*, 2012).

Hasil penelitian Sudarti tahun (2013) menunjukkan bahwa keberadaan SUTET-500 kV dapat meningkatkan intensitas medan magnet ELF di lingkungan. Peningkatan intensitas medan magnet di dalam dan di halaman rumah mencapai 8 sampai 9 kali lebih besar. Hasil penelitian Cohort pada tahun (1972-1993) melaporkan bahwa pekerja yang terpapar medan magnet 29,5 μT menunjukkan bahwa intensitas medan magnet $\geq 10 \mu\text{T}$ dapat menyebabkan peningkatan angka kematian karena leukimia sebesar 0,9% , tetapi tidak ada peningkatan atau hubungan terhadap resiko adanya kanker otak (Minder and Pfluger, 2001). Dewi (2015), melaporkan bahwa gelombang elektromagnetik pada handphone dapat mempengaruhi kadar glukosa darah. Pengaruh tersebut diperlihatkan dengan terpicunya HPA-axis oleh stressor yang dihasilkan gelombang elektromagnetik, yang akhirnya dapat mengakibatkan peningkatan glukosa darah. Hasil penelitian lain oleh Budijanto dan Sudarti (1999/2000) melaporkan bahwa medan elektromagnetik dapat berpengaruh terhadap gangguan kesehatan yang bersifat subyektif seperti sakit kepala, mudah lelah, gangguan alat pencernaan, gangguan kardiovaskuler dan gangguan system syaraf.

Sesuai dengan uraian diatas semakin banyaknya peralatan elektronik yang digunakan akan menjadikan radiasi medan magnet semakin luas dilingkungan sekitar. Berdasarkan hal tersebut maka akan dilakukan penelitian kuat medan magnet disekitar ruang kerja. Adanya penelitian ini maka diharapkan bisa dilakukan langkah-

langkah pencegahan atau penanggulangan untuk meminimalisir radiasi medan magnet di ruang kerja sesuai dengan batas ambang yang telah diberikan. Berdasarkan uraian tersebut judul skripsi yang akan diajukan yaitu “Analisis Intensitas Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) di Ruang Kerja”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

- a. Apakah intensitas medan magnet ELF di ruang kerja meningkat oleh peralatan listrik?
- b. Apakah intensitas medan magnet ELF di ruang kerja lebih besar dari pada nilai ambang batas paparan?
- c. Apakah paparan medan magnet di ruang kerja berpotensi menimbulkan efek biologis?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini sebagai berikut :

- a. Mengkaji intensitas medan magnet ELF di ruang kerja
- b. Menjelaskan intensitas medan magnet ELF sesuai nilai ambang batas terhadap efek biologi dan efek klinis.
- c. Mengkaji potensi efek biologis terhadap intensitas medan magnet ELF sesuai kajian teoritis.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat antara lain:

- a. Dapat dijadikan informasi ilmiah tentang radiasi medan magnet di ruang kerja
- b. Dapat dijadikan sebagai acuan dan bahan pertimbangan untuk melakukan penelitian selanjutnya.

- c. Sebagai evaluasi tingkat keamanan radiasi lingkungan
- d. Dapat dijadikan sumber materi contoh aplikasi gelombang elektromagnetik pada pembelajaran fisika di sekolah.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Persamaan Maxwell

Persamaan dasar dari elektromagnetisme dikenal sebagai persamaan Maxwell.

Keempat persamaan matematis Maxwell tersebut dalam Guenther (1990:27) yakni:

a. Persamaan Maxwell I

Persamaan Maxwell I dikenal sebagai Hukum Gauss untuk medan listrik. Medan listrik yaitu

$$\mathbf{E} = \frac{F}{q} \quad (2.1)$$

Medan ini sebagai garis flux yang disebut dengan garis gaya. Hukum Gauss menyatakan bahwa jumlah muatan yang terkandung dalam permukaan tertutup sama dengan jumlah garis flux yang keluar melalui permukaan. Sehingga medan listrik dirumuskan

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (2.2)$$

dimana ρ merupakan kerapatan muatan dan D merupakan perubahan listrik.

b. Persamaan Maxwell II

Persamaan Maxwell II dikenal sebagai Hukum Gauss untuk kemagnetan. Persamaan ini menggambarkan tentang medan magnetik. Hukum ini menyatakan bahwa perpindahan muatan merupakan arus i atau rapat arus \mathbf{J} , menciptakan medan magnet \mathbf{B} . Seperti pada medan listrik kita menganggap medan magnet sebagai garis flux yang disebut garis induksi dan kita asumsikan bahwa rapat arusnya konstan sehingga $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$. Persamaan Maxwell II dirumuskan sebagai berikut

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.3)$$

Nilai nol berarti pada kenyataannya magnetic setara dengan muatan tunggal yang tidak dapat diamati.

c. Persamaan Maxwell III

Persamaan Maxwell III dikenal sebagai Hukum Faraday. Persamaan ini menggambarkan medan magnet yang berubah terhadap waktu. Dalam konsep fluks menyatakan bahwa medan listrik disekitar rangkaian setara dengan perubahan fluks magnetik yang ada dalam rangkaian tersebut. Persamaan Maxwell III dirumuskan sebagai

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0 \quad (2.4)$$

d. Persamaan Maxwell IV

Persamaan Maxwell IV dikenal sebagai Hukum Ampere yang dirumuskan sebagai

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (2.5)$$

2.2 Ketergantungan Medan Listrik dan Medan Magnet

Medan listrik dan medan magnet yang keduanya tidak saling berketergantungan dapat dilihat pada solusi persamaan Maxwell. dengan melakukan penurunan perhitungan pada bidang gelombang untuk setiap komponen didapatkan bahwa curl \mathbf{E} untuk bidang gelombang yaitu

$$\nabla \times \mathbf{E} = -i \mathbf{k} \times \mathbf{E} \quad (2.6)$$

Penurunan sejenis diperoleh curl \mathbf{B} untuk bidang gelombang yaitu

$$\nabla \times \mathbf{B} = -i \mathbf{k} \times \mathbf{B} \quad (2.7)$$

dengan operasi vektor pada bidang gelombang menggunakan persamaan

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.8)$$

Dapat diganti dengan $\nabla \times \mathbf{E} = -i \mathbf{k} \times \mathbf{E}$ dan $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = i \omega \mathbf{E}$ menjadi

$$-i \mathbf{k} \times \mathbf{E} = -i \omega \mathbf{E} \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan hubungan antara ω dan \mathbf{k} dan hubungan antara kecepatan gelombang elektromagnetik pada bahan, dapat dituliskan

$$\frac{\sqrt{\mu \epsilon}}{k} \mathbf{k} \times \mathbf{E} = \mathbf{B} \quad (2.10)$$

Sehingga hubungan antara medan magnet dan medan listrik dapat dituliskan

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu\epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2.11)$$

Untuk bidang gelombang menjadi

$$\frac{1}{k\sqrt{\mu\epsilon}} k \times \mathbf{B} = -\mathbf{E} \quad (2.12)$$

Jika hanya meninjau besarnya dua medan dapat menggunakan persamaan

$$n|\mathbf{E}| = c|\mathbf{B}| \quad (2.13)$$

Pada ruang hampa $n = 1$ sehingga untuk ruang hampa menggunakan

$$|\mathbf{E}| = c|\mathbf{B}| \quad (2.14)$$

(Guenther, Robert D.1990:31-32)

2.3 Kerapatan Energi

Propagasi gelombang yang melalui tali daya yang ditransmisikan oleh gelombang sebanding dengan kuadrat amplitudo gelombang. Teori elektromagnetik menunjukkan bahwa kerapatan energi (dalam J/m^3) berhubungan dengan gelombang elektromagnetik sebagai

$$U = \frac{(\mathbf{D} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{H})}{2} \quad (2.15)$$

Dengan $\mathbf{D} = \epsilon\mathbf{E}$ dan $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$, jika diterapkan pada propagasi medium yakni

$$U = \frac{1}{2} \left(\epsilon E^2 + \frac{B^2}{\mu} \right) = \frac{1}{2} \left(\epsilon + \frac{1}{\mu c^2} \right) E^2 \quad (2.16)$$

Pada ruang hampa menjadi

$$U = \epsilon_0 E^2 = \frac{B^2}{\mu_0} \quad (2.17)$$

(Guenther,1990:33)

John Henry Poynting mendemonstrasikan medan listrik dan medan magnet pada titik yang sama dalam ruang menghasilkan aliran medan energi yang disebut dengan *vector pointing* yang dideskripsikan menjadi (Guenther,1990:33)

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (2.18)$$

satuan vector pointing yakni $J/(m^2 \cdot \text{detik})$. Untuk mendeskripsikan bentuk vector dapat menggunakan medan gelombang. Umumnya \mathbf{S} pada frekuensi tinggi seperti cahaya ($\approx 10^{15}$ Hz) tetapi dapat ditentukan \mathbf{S} sementara dengan menentukan rata-rata waktu respon dari detector yang digunakan. Sehingga dibutuhkan waktu rata-rata \mathbf{S} untuk menyesuaikan teori yang sebenarnya. Waktu rata-rata \mathbf{S} disebut dengan kerapatan fluks dengan satuan W/m^2 (Guenther, 1990:34)

$$I = |\langle \mathbf{S} \rangle| = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} A \cos^2 (\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi) dt \quad (2.19)$$

2.4 Medan Magnet di Sekitar Arus Listrik

Medan magnet akibat adanya arus dalam kawat lurus secara matematis dinyatakan sebagai

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dx}{r^2} \cos \theta \quad (2.20)$$

Dengan $dx = \frac{r^2 d\theta}{y}$, maka

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{y} \cos \theta d\theta \quad (2.21)$$

(Tipler, 2001 : 257-258)

Dengan menjumlahkan seluruh elemen dengan mengintegrasikan $\theta = 0$ hingga $\theta = \theta_1$ dengan θ_1 merupakan sudut antar garis tegak lurus terhadap kawat, maka diperoleh

$$\begin{aligned} B_1 &= \int_0^{\theta_1} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{y} \cos \theta d\theta \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{y} \int_0^{\theta_1} \cos \theta d\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{y} \sin \theta_1 \end{aligned} \quad (2.22)$$

dengan B adalah medan magnet, dan y adalah sumbu yang dilalui.

$$B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{y} \sin \theta_2 \quad (2.22a)$$

(Tipler, 2001 : 257-258)

Medan magnet total yakni jumlah antara B_1 dan B_2 serta menuliskan R bukan y maka diperoleh medan magnetik B akibat potongan kawat lurus yaitu

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{R} (\sin\theta_1 + \sin\theta_2) \quad (2.23)$$

Jika kawat yang digunakan sangat panjang, sudut ini hampir 90° . Maka untuk kawat yang diperpanjang dengan menetapkan $\theta_1 = \theta_2 = 90^\circ$ diperoleh persamaan

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{R} \quad (2.24)$$

Pada sembarang titik dalam ruang, garis-garis medan magnetik akibat sembarang kawat panjang, lurus yang menyalurkan arus ternyata menyinggung satu lingkaran yang berjari-jari R dengan R merupakan jarak tegak lurus kawat ke titik medan tersebut (Tipler, 2001 : 257-258)

Mengacu pada persamaan 2-13 dengan nilai $\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} T \cdot m/A$, misalkan arus yang mengalir melalui peralatan elektronik mesin fotocopy sebesar 12 A pada jarak R , maka intensitas medan magnet adalah

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{R} \quad (2.25)$$

$$B = \left(10^{-7} T \cdot \frac{m}{A}\right) \frac{2(12 A)}{R} = \frac{24 \times 10^{-7} T m}{R}$$

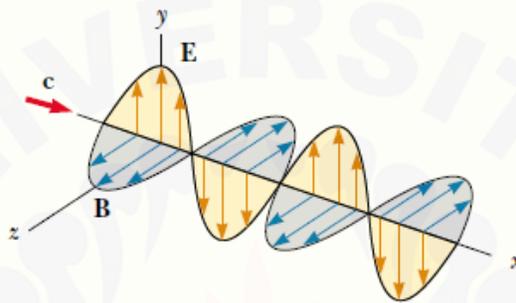
Berdasarkan hasil perhitungan besar medan magnet yang melalui kabel yakni $\frac{24 \times 10^{-7} T m}{R}$, R merupakan panjang kabel atau panjang kawat yang dilalui. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan besarnya medan magnet yang melalui kawat dengan panjang R sesuai dengan perhitungan tidak dipengaruhi oleh besarnya frekuensi. Medan magnet yang dihasilkan berbanding lurus dengan arus yang mengalir dan berbanding terbalik dengan jarak. Besar medan magnet ELF disekitar arus listrik dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran menggunakan alat ukur. Salah satu alat ukur yang dapat digunakan yakni ELF *surveymeter* (Sudarti, 1998).

2.5 Gelombang Elektromagnetik

2.5.1 Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik merupakan rambatan medan listrik dan medan magnet dimana perambatannya tidak memerlukan suatu medium atau perantara.

Medan listrik dan medan magnet memiliki arah yang tegak lurus dengan sistem koordinat x, y dan z seluruh daerah dibagi ke dalam dua daerah yang tegak lurus dengan sumbu x dan sejajar dengan $y-z$ (Young, 2012). Gelombang elektromagnetik bukanlah gelombang gerakan apapun juga dan gelombang elektromagnetik tidak memerlukan medium untuk menjalarkannya. (Soedjojo, 1998)



Gambar 2.1 Medan listrik dan medan magnet pada gelombang elektromagnetik.

Sumber : Serway, (1990)

Gelombang elektromagnetik pada Gambar 2.1 menunjukkan kuat medan yang dipetakan sebagai fungsi posisi. \mathbf{B} dan \mathbf{E} saling tegak lurus satu sama lain dan tegak lurus terhadap arah rambatan. Gelombang elektromagnetik merupakan bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang medan, bukan materi, seperti pada air dan tali. Sehingga gelombang elektromagnetik dapat merambat melalui ruang hampa. Gelombang elektromagnetik dihasilkan oleh muatan listrik yang berosilasi sehingga mengalami percepatan. Kecepatan gelombang elektromagnetik yaitu

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (2.26)$$

Kecepatan yang telah diturunkan oleh Maxwell menunjukkan nilai yang sama dengan laju cahaya yang terukur (Giancoli, 1998 :223-224).

2.5.2 Karakteristik Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Radiasi gelombang elektromagnetik memiliki frekuensi sangat luas, mulai dari frekuensi ekstrem rendah hingga yang sangat tinggi. Arus bolak-balik menghasilkan medan elektromagnetik yang dihasilkan peralatan listrik, misalnya medan frekuensi sangat rendah (ELF) yang mempunyai frekuensi sampai dengan 300 Hz, teknologi yang lain menghasilkan *intermediate frequency* (IF) dengan frekuensi dari 300 Hz sampai 10 MHz dan frekuensi radio (RF) dengan frekuensi 10 MHz sampai 300 GHz, sedangkan frekuensi daya listrik adalah 50 Hz (50 getaran perdetik) atau 60 Hz (Bafaai, 2004).

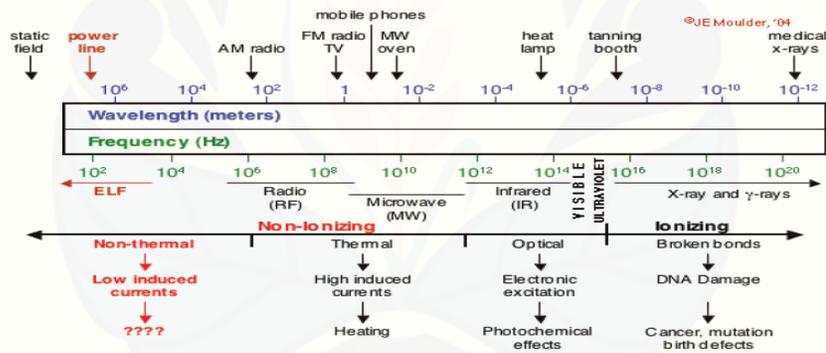
Radiasi elektromagnetik adalah kombinasi medan listrik dan medan magnet yang beresilasi dan merambat lewat ruang dan membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lain. Cahaya tampak adalah salah satu bentuk radiasi elektromagnetik. Penelitian teoritis tentang radiasi elektromagnetik disebut elektrodinamik, sub-bidang elektromagnetisme. Dasar teori dari perambatan gelombang elektromagnetik pertama kali dijelaskan pada 1873 oleh James Clerk Maxwell dalam papernya di Royal Society mengenai teori dinamika medan elektromagnetik berdasarkan hasil kerja penelitiannya antara 1861 dan 1865. Radiasi dalam istilah fisika, pada dasarnya adalah suatu cara perambatan energi dari sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium, misalnya perambatan panas, perambatan cahaya, dan perambatan gelombang radio. Dikenal dua jenis radiasi, yaitu radiasi pengion (*ionizing radiation*) dan radiasi nonpengion (*non-ionizing radiation*) (Anies, 2007).

Gelombang elektromagnetik mempunyai daerah frekuensi dari 10^1 sampai 10^{22} Hz (Soetrisno, 1979). Perbedaan frekuensi, panjang gelombang, energi foton, jarak paparan dari sumber dan lama paparan dapat menyebabkan efek radiasi yang berbeda pula. Secara garis besar radiasi elektromagnetik terbagi 2 kelompok yaitu radiasi pengion (ionisasi) dan radiasi tidak pengion (non-ionisasi) (Muchtarruddin, 1998).

Perbedaan antara radiasi gelombang elektromagnetik ionisasi dan radiasi gelombang elektromagnetik non-ionisasi terletak pada kemampuan radiasi gelombang

elektromagnetik ionisasi yang dapat mengeluarkan elektron dari inti atom, sisa atom ini menjadi muatan positif atau disebut ion positif. Elektron yang dikeluarkan akan mengikat atom netral lain dan membentuk ion negative.(Gabriel, 1996). Radiasi gelombang elektromagnetik non-ionisasi adalah radiasi yang tidak memiliki kemampuan untuk mengionisasi molekul. Termasuk diantaranya adalah sebagian sinar ultraviolet, sinar tampak, sinar infra merah, gelombang mikro, gelombang radio, dan medan elektromagnetik berfrekuensi ekstrim rendah (Mughtaruddin, 1998).

Gelombang elektromagnetik dapat dihasilkan dari rangkaian osilator, dengan frekuensi paling rendah sampai frekuensi yang sangat tinggi. Jangka frekuensi gelombang elektromagnetik disebut dengan spektrum gelombang elektromagnetik, termasuk frekuensi 50 Hz yang ada pada jala-jala listrik.



Gambar 2.2 Skema gelombang mikro

Sumber : Moulder, (2006)

- Gelombang ELF mempunyai frekuensi 1 Hz sampai 3 kHz. Panjang gelombang ini lebih dari 100 km. Pada kehidupan sehari-hari frekuensi yang paling sering ditemui yakni 50-60 Hz yang berasal dari kabel listrik (Gibilisco, 2005)
- Gelombang Radio. Gelombang radio mempunyai panjang gelombang lebih dari 1m. gelombang ini dihasilkan dari terrestrial sumber melalui pergerakan elektron pada kawat dalam rangkaian listrik (Halliday, 1994). Gelombang

- radio mempunyai panjang gelombang antara 10^4 m sampai 0,1 m (Serway dan Jewett, 2004:1080)
- c. Gelombang mikro mempunyai panjang gelombang antara 0,3 m sampai 10^{-4} m yang dihasilkan oleh peralatan elektronik (Serway dan Jewett, 2004:1080).
 - d. Gelombang inframerah mempunyai panjang gelombang antara 10^{-3} m sampai 7×10^{-7} m (Serway dan Jewett, 2004 : 1080). Umumnya dipancarkan oleh atom atau molekul yang mengalami perubahan gerak rotasi maupun getarannya (Halliday, 1994)
 - e. Cahaya tampak adalah gelombang elektromagnetik yang dapat ditangkap oleh mata manusia. Panjang gelombang cahaya tampak berkisar antara 7×10^{-7} m hingga 4×10^{-7} m (Tipler, 1991 : 414). Spektrum cahaya tampak adalah salah satu yang paling umum, karena keberadaannya dan adaptasi reseptor (mata) yang sensitif terhadap radiasi elektromagnetik yang paling kuat dipancarkan oleh Matahari sebagai sumber luar terdekat dengan bumi. Batas panjang gelombang cahaya tampak adalah sekitar 400 nm (ungu) sampai 700 nm (merah).
 - f. Gelombang ultraviolet mempunyai panjang gelombang antara 4×10^{-7} m sampai 6×10^{-10} m (Serway dan Jewett, 2004 : 1081). Radiasi dari gelombang pendek yang terlihat mulai dengan ultraviolet (1 nm sampai 400 w3enm), yang dapat dihasilkan dari transisi atom dari elektron terluar serta radiasi dari sumber panas seperti matahari.
 - g. Sinar X mempunyai rentang panjang gelombang antara 10^{-8} m sampai 10^{-12} m (Serway dan Jewett, 2004 : 1081). Dihasilkan oleh panjang gelombang diskrit dalam transisi individu antara bagian dalam (ikatan paling kuat) elektron dari atom, selain itu juga dihasilkan ketika partikel bermuatan (seperti elektron) yang melambat (Halliday , 1994)
 - h. Sinar gamma dipancarkan oleh zat radioaktif (^{60}Co dan ^{137}Cs) selama reaksi nuklir. Radiasi ini menembus dari radiasi elektromagnetik dan radiasi yang

dapat memiliki pengaruh yang merugikan pada tubuh manusia. Radiasi ini dipancarkan dalam transisi dari inti atom, ke atom lain dan juga bisa terjadi peluruhan partikel dasar tertentu (Halliday, 1994). Panjang gelombang sinar gamma berada pada rentang antara 10^{-10} m sampai 10^{-14} m. Radiasi dari sinar gamma termasuk radiasi yang paling berbahaya apabila mengenai jaringan hidup (Serway dan Jewett, 2004 : 1082)

Seluruh spektrum elektromagnetik meliputi radiasi dengan frekuensi 0 sampai 10^{19} Hz. Secara konvensional spektrum ini dibagi menjadi daerah-daerah sebagai berikut : (Ackerman, 1988)

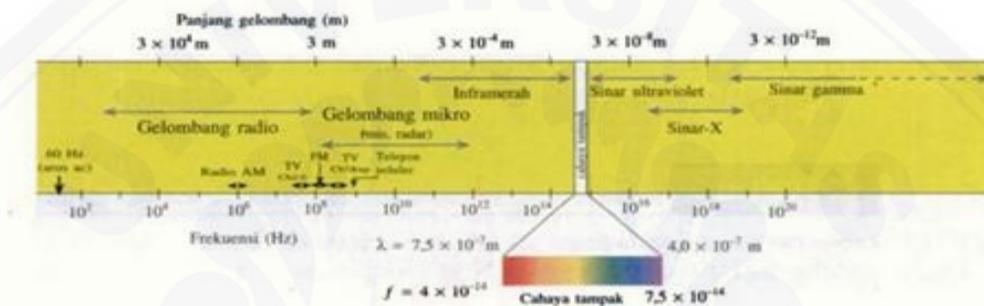
Tabel 2.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Frekuensi (Hz)	Panjang Gelombang (m)	Nama
$0,0-5,5 \times 10^5$	$\infty-5,5 \times 10^2$	Panjang Gelombang Panjang
$0,55-1,5 \times 10^6$	$5,5-2,0 \times 10^2$	Gelombang Pemancar AM
$0,15-1,5 \times 10^7$	$20,0-2,0 \times 10^1$	Gelombang Pendek
$0,15-6,0 \times 10^8$	$20,0-0,5$	TV, FM, UHF
$0,06-30,0 \times 10^{10}$	$50,0-0,1 \times 10^{-2}$	Radar, Gelombang Mikro
$0,15-25,0 \times 10^{11}$	$20,0-0,12 \times 10^{-3}$	Kalor, Merah Infra Jauh
$0,25-40,0 \times 10^{13}$	$120,0-0,75 \times 10^{-6}$	Merah Infra Dekat
$4,0-8,0 \times 10^{14}$	$7,5-3,5 \times 10^{-7}$	Cahaya Tampak
$0,08-30,0 \times 10^{16}$	$35,0-0,1 \times 10^{-8}$	Ultra Ungu
$0,3-30,0 \times 10^{18}$	$10,0-0,1 \times 10^{-10}$	Sinar-X (~1-100keV)
$0,3-30,0 \times 10^{20}$	$10,0-0,1 \times 10^{-12}$	Sinar- γ (0,1-10MeV)

Sumber : Ackerman, 1988

2.6 Matahari Sebagai Sumber Gelombang Elektromagnetik

Cahaya matahari merupakan salah satu sumber gelombang elektromagnetik alamiah. Menurut Maxwell sorotan cahaya merupakan gelombang berjalan medan magnet dan medan listrik sehingga disebut sebagai gelombang elektromagnetik. Sinar matahari sebagai sumber cahaya utama dengan radiasinya yang membentuk lingkungan alam sekitar sehingga makhluk hidup bisa bertahan hidup, berkembang dan beradaptasi. (Halliday, 2010 : 361-362)



Gambar 2.3 Spektrum Elektromagnetik

Sumber : Giancoli, 1998

Gelombang elektromagnetik ini terbentuk secara alamiah seperti pancaran dari atom, molekul dan inti atom. Matahari tidak hanya memancarkan cahaya tampak, tetapi juga inframerah (IR) dan ultraviolet (UV) dalam jumlah yang tetap (Giancoli, 1998 : 227-228). Selain radiasi yang berasal dari cahaya matahari dalam kehidupan sehari-hari terdapat pula sinyal-sinyal TV, radio, dan juga gelombang mikro yang berasal dari radar serta system relay telepon. Gelombang elektromagnetik juga berasal dari bola lampu, mesin sinar X, kilatan cahaya, dan dari material –material radioaktif yang telah terkubur. (Halliday, 2005 : 362)

2.7 Karakteristik Medan Listrik dan Medan Magnet

2.7.1 Medan Listrik

Medan listrik merupakan besaran vektor yang memiliki nilai dan arah. Besarnya medan di setiap titik merupakan gaya persatuan muatan (Hewitt, 2008 : 203). Medan listrik E di setiap titik pada ruang dapat didefinisikan sebagai gaya F

yang diberikan pada muatan test positif yang kecil pada titik tersebut dibagi dengan besar muatan tes q . Secara matematis dirumuskan :

$$E = \frac{F}{q} \quad (2.27)$$

E merupakan medan listrik, F merupakan gaya dan q adalah muatan. Sehingga medan listrik pada semua titik dalam ruang merupakan vektor yang arahnya merupakan arah muatan di titik tersebut, dan besarnya yakni gaya persatuan muatan (Giancoli, 1998 : 13)

Medan listrik adalah efek yang ditimbulkan oleh keberadaan muatan listrik, seperti elektron, ion, atau proton, dalam ruangan yang di sekitarnya. Medan listrik memiliki satuan N/C atau dibaca newton/coulomb. Medan listrik umumnya dipelajari dalam fisika dan bidang-bidang terkait. Secara tak langsung bidang elektronika telah memanfaatkan medan listrik dalam kawat konduktor (kabel) (Gornick,2005).

Medan listrik tidak perlu hanya ditimbulkan oleh satu muatan listrik, melainkan dapat pula ditimbulkan oleh lebih dari satu muatan listrik. Suatu benda bermuatan listrik akan menimbulkan medan listrik disekitarnya (Alonso dan Finn, 1980).

2.7.2 Medan Magnet

Muatan yang bergerak menghasilkan medan magnetik dan medan ini mengerahkan suatu gaya pada muatan yang bergerak lainnya. Karena muatan bergerak menghasilkan arus listrik interaksi magnetik dapat dianggap sebagai interaksi diantara dua arus. Bila terdapat muatan q yang memiliki kecepatan \mathbf{v} dalam medan magnetik, akan terdapat gaya yang bergantung pada q , besar kecepatan dan arahnya. Besarnya gaya magnetik F pada muatan ialah (Tipler,2001)

$$F = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2.28)$$

Pada persamaan diatas yang berfungsi sebagai definisi dari medan magnet \mathbf{B} , menunjukkan besar dan arah keduanya. (Halliday, 1994 : 737) . Medan magnet yang ditimbulkan oleh suatu sumber terhadap medium diberikan oleh besaran kuat medan

magnet H . besaran B dalam hal ini merupakan induksi magnet pada suatu medium yang nilainya :

$$B = \mu_0 H \quad (2.29)$$

dengan μ_0 merupakan permeabilitas bahan

Medan magnet statis diciptakan oleh magnet atau oleh aliran listrik DC. Bumi sendiri memiliki medan magnet statis alam, yang digunakan untuk navigasi kompas. Sumber umum lainnya dari medan magnet statis termasuk magnet permanen (yang ditemukan dalam peralatan, mainan, dan alat kesehatan), peralatan bertenaga baterai, *magnetic resonance imaging* (MRI) mesin, beberapa listrik sistem kereta api, dan proses industri tertentu.

Menurut Oersted pada tahun 1820, setiap arus listrik menghasilkan medan magnet. (Halliday dalam Wardhana, 2003) efek ini dikenal dengan elektromagnetisme dan sering dimanfaatkan untuk kegunaan praktis misalnya pada elektromagnet dan elektromotor. Kekuatan medan magnet tergantung pada arus yang dialirkan (dalam Ampere) dan berkurang dengan cepat bila makin jauh dari sumber. (Soesanto, 1996)

Adanya medan magnet di dalam ruang dapat ditunjukkan dengan mengamati pengaruh yang ditimbulkan, bila di dalam ruang tersebut ditempatkan benda magnetik maka benda tersebut mengalami gaya. Bila di ruang terdapat partikel/benda bermuatan, maka benda tersebut mengalami gaya (Muchtarudin, 1998).

2.8 Gelombang Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF)

2.8.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik ELF

Gelombang elektromagnetik ELF berada pada kisaran frekuensi 1-300 Hz. Gelombang elektromagnetik ini dihasilkan tidak hanya ketika aliran listrik dihantarkan melalui kabel listrik, tetapi juga ketika digunakan dalam alat elektronik (OSHA, 2010). Bidang ini dipancarkan dari perangkat listrik , peralatan elektronik,

sistem komunikasi dan jalur transmisi listrik yang dapat mempengaruhi orang-orang yang bekerja dan berada di lingkungan sekitarnya. (Simko.M.2004)

Sistem tenaga listrik modern beroperasi menggunakan *alternating current (AC)* hampir secara eksklusif. AC perubahan polaritas atau "Siklus" 60 kali per detik. Bidangannya juga pada siklus 60 Hz dan disebut medan *Extremely Low Frequency (ELF)*. Arus searah (DC) adalah konstan, seperti arus dari baterai. Listrik dan medan magnet yang juga konstan (frekuensi nol) dan disebut sebagai bidang statis.

Medan listrik dihasilkan oleh voltage (Volt). Voltage adalah tekanan yang diberikan untuk menghasilkan arus listrik. Kekuatan medan listrik tergantung pada voltage di sumber atau saluran dan jaraknya diatas tanah. Medan berkurang dengan cepat dengan bertambahnya jarak dari sumber. Medan listrik diukur dalam volt per meter (V/m atau kV/m) (Soesanto, 1996).

2.8.2 Karakteristik Medan Magnet dan Medan Listrik ELF

Medan listrik dan medan magnet terdapat di sekitar arus listrik yang mengalir seperti disaluran listrik dan kabel perumahan maupun pada peralatan listrik. Medan listrik timbul muncul karena adanya muatan listrik, dikur dalam (V/m) dan terlindung oleh bahan umum seperti logam dan kayu, sedangkan medan magnet muncul karena adanya gerakan muatan listrik yakni berupa arus listrik. Medan magnet dinyatakan dalam tesla (T), atau lebih umum dalam militesla (mT) atau microtesla (μT). satuan lain yang biasa digunakan yakni Gauss (G). pada umumnya digunakan $10.000 \text{ G} = 1\text{T}$. Medan magnet ini berbeda dengan medan listrik, karena pada medan ini tidak terlindung oleh sebagian besar bahan umum seperti pada medan listrik, dan dapat menembusnya dengan mudah. Masing-masing medan menjadi semakin kuat ketika mendekati sumber dan berkurang ketika menjauhi sumber (Ministry of Health, 2013).

Medan magnet ELF merupakan spektrum gelombang elektromagnetik yang berada pada frekuensi kurang dari 300 Hz. Menurut OSHA (2010) medan magnet ELF termasuk pada *non-ionizing radiation*. Energi medan ELF sangat kecil sehingga

efek yang ditimbulkan adalah efek *non-thermal*. Medan listrik dan medan magnet dapat diukur secara terpisah seolah-olah keduanya berasal dari sumber yang tidak sama (IARC, 2002). Sehingga karakteristik medan magnet ELF dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Berada pada frekuensi 0-300 Hz.
- b. Bersifat *non-ionizing* dan *non-thermal* radiasi.
- c. Medan listrik dan medan magnet dapat diukur secara terpisah.
- d. Medan magnet tidak terhalangi oleh material biasa seperti dinding bangunan
- e. Sumber medan magnet mudah ditemukan seperti pada saluran listrik, kabel listrik dan peralatan elektronik yang biasa digunakan.

Terdapat beberapa perbedaan antara medan listrik dan medan magnet. (WHO, 2016)

Tabel 2.2 Perbedaan Medan Listrik dan Medan Magnet

Medan listrik	Medan Magnet
1. Medan listrik timbul karena adanya tegangan	1. Medan magnet timbul karena adanya arus
2. Medan listrik diukur dalam volt per meter (V/m)	2. Medan magnet diukur dalam ampere per meter (A/m). Umumnya, peneliti EMF menggunakan ukuran yang terkait, kerapatan fluks (dalam microtesla (μT) atau millitesla (mT) sebagai gantinya.
3. Medan listrik tetap ada ketika perangkat dimatikan	3. Medan magnet ada ketika perangkat dinyalakan dan adanya arus yang mengalir
4. Kekuatan medan listrik akan menurun jika menjauhi sumber	4. Kekuatan medan akan berkurang ketika menjauhi sumber

Sumber : WHO, (2016)

2.8.3 Sumber Gelombang Elektromagnetik ELF

Medan elektromagnetik di sekitar kita dan di kehidupan sehari-hari berasal dari berbagai sumber. Ada sumber-sumber alam seperti medan magnet bumi dan cahaya tampak, inframerah dan ultraviolet. Ada juga banyak sumber buatan manusia *non - ionizing* EMF dihasilkan dimanapun terdapat arus listrik yang mengalir. Di rumah kita, EMFs muncul dari *microwave oven*, pengering rambut, kabel listrik yang di rumah, perangkat *remote control*, dan sebagainya. Di tempat kerja, dihasilkan oleh layar komputer, tanur listrik industri, motor listrik, dan sistem anti-pencurian. Di jalanan terdapat EMF lemah yang berasal dari listrik kereta api dan trem kabel, saluran listrik, radio-frekuensi antena komunikasi untuk layanan darurat, dan disekitar jaringan nirkabel oleh EMFs dari Wi-Fi dan Bluetooth jenis teknologi. Fitur penting adalah bahwa meskipun ada banyak sumber, mereka sangat lemah. (European Comission, 2005 : 3)

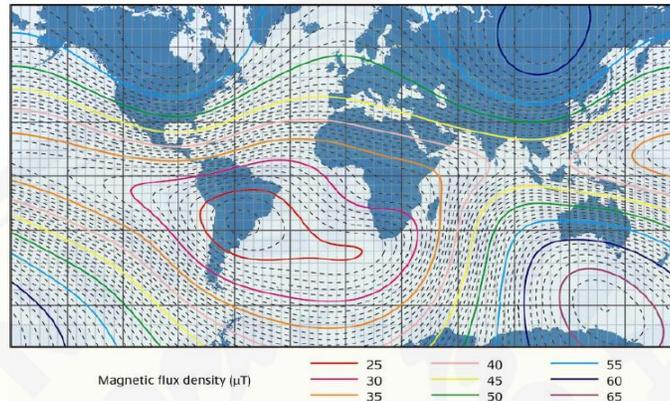
Sumber medan magnet ELF sendiri berasal dari sumber alami maupun buatan seperti berikut ini:

a. Sumber Medan Magnet Alami

Pada pusat bumi mengandung inti besi konduktor yang dapat mengalirkan arus listrik, sehingga dapat menimbulkan medan magnet statis. Medan magnet pada permukaan bumi mempunyai struktur serupa dengan batang magnet cenderung 11° dari sumbu rotasi bumi. Kenyataanya, struktur dari sumber medan magnet di dalam bumi lebih rumit dan mengalami perubahan dari waktu ke waktu (Swerdlow, 2008 : 9).

Medan magnetik dunia yang dikembangkan berdasarkan survey geologi US dan UK diperbarui setiap lima tahun sekali. Besarnya medan magnet bumi berkisar antara 25 sampai 60 μT (Swerdlow, 2008 : 9). Perubahan medan magnet bumi tergolong lambat yang hanya memberikan kontribusi terhadap kenaikan rapat fluks magnetik 30 $n\text{T}$ tiap tahun. Perubahan medan magnet bumi ini juga juga disebabkan oleh rotasi bumi. Medan magnet juga dipengaruhi oleh angin matahari, dan variasi

keluaran matahari, karena badai geomagnetik, menyebabkan adanya perubahan jangka pendek arah dan kerapatan flux. (Swerdlow, 2008 : 10). Medan magnet pada permukaan bumi dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.4 Kekuatan medan magnet di permukaan bumi

Sumber : Swerdlow, (2008 : 9)

Komponen vertikal dari medan magnetik mencapai nilai maksimum sekitar 70 μT di kutub magnet, dan mendekati nol pada khatulistiwa magnetik. Sebaliknya pada komponen horizontal mendekati nol di kutub dan bernilai maksimal lebih dari 30 μT di ekuator magnetik. Perubahan dari bidang dipol dengan periode urutan 100 tahun atau lebih merupakan variasi sekuler. Variasi spektrum medan magnet bumi dapat dilihat pada tabel berikut (WHO, 2007 : 28)

Tabel 2.3 Variasi spektrum medan magnet bumi

Jenis	Periode (detik)	Tipikal Amplitudo	Sumber	Keterangan
Pembalikan	$\sim 10^{12}$	100 μT	Dalam	Sistem arus dalam bumi
Perubahan sekuler	$10^9 - 10^{10}$	10 μT		
Badai magnetik	$10^8 - 10^9$	hundreds nT	Luar	11 tahun periode maximum
Aktivitas bintang matahari	10^6			27 hari periode
Badai pengulangan	10^5	tens nT		24 jam periode
Diurnal	10^5			25 jam periode
Lunar	$10^{-1} - 10^2$	0.02-100nT		Interaksi matahari
Getaran				

Rongga Resonansi	10^{-2} - 10^{-1}	10^{-2} nT	Interaksi matahari
Atmosfir	10^{-6} - 10^0	10^{-2} nT (ELF)	Melepaskan cahaya

Sumber : WHO, 2007

b. Sumber Medan Magnet Buatan

Medan magnet dihasilkan oleh arus listrik yaitu karena adanya gerakan elektron . ketika suatu alat dihidupkan akan menghasilkan medan magnet. Ketika dalam keadaan off medan magnet akan menghilang. (Plante, 2011) Kekuatan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi umumnya mencapai hingga sekitar 5 μ T (50 mg). Besar medan magnet bervariasi setiap hari dan sepanjang tahun bahkan lebih atau kurang tergantung pada arus yang mengalir melalui garis. Kekuatan medan menurun dengan cepat ketika menjauhi garis. Biasanya, dalam 50 sampai 100 meter dari garis medan magnet berkurang ke tingkat yang ditemukan di sekitar rumah yang jauh dari jaringan listrik (WHO, 2013 :5-6)

Disekitar peralatan listrik rumah tangga juga menghasilkan medan magnet. Dalam beberapa sentimeter dari beberapa peralatan listrik, medan magnet ELF mungkin jauh lebih kuat daripada kuat medan magnet di bawah tiang listrik. Namun, medan biasanya mengalami penurunan ke tingkat yang lebih rendah dalam beberapa meter. Medan paling kuat berada di dekat peralatan yang berasal dari motor listrik, seperti *hair dryers*, dan pengolah makanan. Bagi kebanyakan orang sumber utama paparan medan magnet ELF berasal dari peralatan rumah tangga dan rangkaian kabel rumah tangga. (WHO, 2013 :6)

2.9 Medan Magnet di Sekitar Peralatan Elektronik

Medan magnet dapat ditimbulkan oleh benda magnetik dan muatan yang bergerak. Medan magnet yang berasal dari benda magnetik misalnya pada magnet batang yang mempunyai medan magnet disekitarnya. Sedangkan medan magnet oleh

muatan bergerak yakni terjadi karena adanya perpindahan muatan listrik (arus listrik) sehingga menimbulkan medan magnet disekitarnya. (Gornick, 2005)

Medan magnet ELF timbul karena adanya pergerakan muatan. Medan magnet dapat dihasilkan hanya jika suatu peralatan listrik sedang dihidupkan dan pada saat itu ada arus yang mengalir. Dengan begitu, medan magnet saat ini ada dimana-mana. Semakin besar arus yang mengalir maka semakin besar kuat medan magnetnya. Medan magnet akan semakin kuat jika semakin dekat dengan sumber arusnya. Medan magnet bersifat tak terhalangi oleh apapun seperti dinding dan bangunan gedung (WHO, 2016). Medan magnet ELF juga bersifat *non-ionizing* dan *non-termal* (Garip, 2011 : 1).

Terdapat tiga sumber dari medan magnet ELF di dalam rumah yaitu, beberapa arus dasar pada pipa atau pada rangkaian listrik, pada peralatan elektronik dan saluran listrik yang ada di dekatnya, termasuk pada jalur pemasuk listrik untuk setiap rumah. Medan magnet *extremely low frequency* didalam rumah muncul dari arus yang mengalir pada suatu rangkaian, pipa konduksi dan daerah listrik serta peralatan yang digunakan. (IARC, 2002)

Manusia tidak bisa lepas paparan beberapa radiasi. Setiap harinya terdapat paparan radiasi dari radioaktivitas alam di bumi dan oleh sinar kosmik dari luar angkasa. Ini disebut radiasi alam dan tidak dapat dikendalikan. Selain radaisi alam juga terdapat radiasi yang dipancarkan dari benda buatan manusia. Radiasi buatan manusia sebagian besar berasal dari produk elektronik. Ini termasuk diagnostik mesin *x-ray*, televisi, *microwave oven*, perangkat radar, dan laser. Dalam beberapa kasus, seperti dengan sinar-x diagnostik, radiasi yang dipancarkan dari perangkat ini adalah disengaja dan memiliki tujuan yang bermanfaat. Peralatan lain seperti TV menghasilkan radiasi yang dipancarkan tidak disengaja dan bukan menjadi tujuan tertentu (FDA, 2014).

Layar komputer dan televisi bekerja pada prinsip yang sama. Keduanya menghasilkan medan listrik statis dan medan magnet pada berbagai frekuensi. Namun, dengan layar kristal cair yang digunakan di beberapa komputer laptop dan

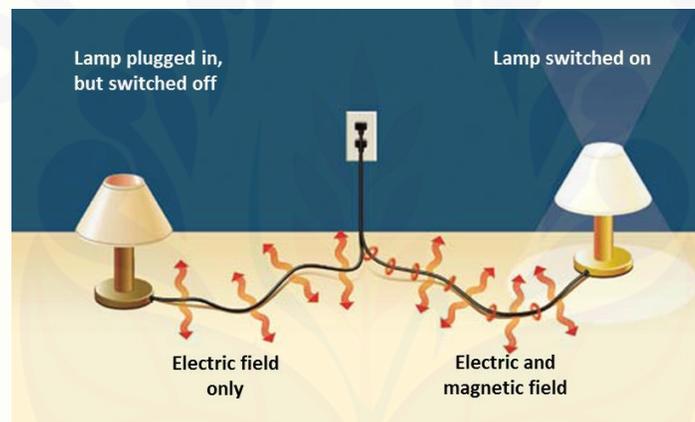
desktop yang tidak menimbulkan medan listrik dan magnet signifikan. Komputer modern memiliki layar konduktif yang mengurangi bidang statis dari layar ke tingkat yang sama dengan latar belakang yang normal di rumah atau tempat kerja. Pada posisi operator (30 sampai 50 cm dari layar), medan magnet biasanya di bawah $0,7 \mu\text{T}$ densitas fluks (pada frekuensi daya). Kekuatan medan listrik pada posisi operator berkisar dari bawah 1 V / m hingga 10 V / m (WHO, 2016)

Sistem anti-pencurian di toko-toko menggunakan label yang terdeteksi oleh kumparan listrik di pintu keluar. Ketika pembelian dilakukan label dihapus atau dinonaktifkan secara permanen. Medan elektromagnetik dari kumparan umumnya tidak melebihi tingkat pedoman paparan. Sistem kontrol akses bekerja dengan cara yang sama dengan label dimasukkan ke dalam sebuah cincin atau identitas kartu kunci. Sistem keamanan perpustakaan menggunakan tanda yang dapat dinonaktifkan ketika buku dipinjam dan diaktifkan kembali ketika dikembalikan. Detektor logam dan sistem keamanan bandara mengatur medan magnet yang kuat hingga $100 \mu\text{T}$ yang terganggu oleh kehadiran benda logam. Dekat dengan kerangka dari detektor, kekuatan medan magnet dapat mendekati dan kadang-kadang melebihi tingkat pedoman (WHO,2016).

Listrik saat ini menjadi hal yang sangat penting di dalam lingkungan. Dengan adanya aliran listrik peralatan elektronik mampu bekerja dengan maksimal. Penggunaan listrik sangat dekat sekali dengan aktivitas manusia yakni sebagai sumber penyalan cahaya, televisi, komputer serta barang-barang elektronik yang lainnya. Ketika menggunakan listrik maupun peralatan listrik secara tidak langsung akan terkena paparan medan listrik dan medan magnet pada frekuensi yang sangat rendah. Medan listrik terjadi ketika kabel disambungkan ke stop kontak, bahkan ketika alat sedang tidak digunakan. Sedangkan medan magnet terbentuk ketika arus listrik mengalir dalam perangkat maupun kabel. Semakin besar arus yang mengalir maka medan magnet yang dihasilkan semakin kuat. (Government of Canada, 2012)

Penggunaan listrik yang semakin meluas menjadikan sangat dekat dengan radiasi yang dihasilkan medan listrik dan medan magnet ELF di rumah, di lingkungan

maupun di tempat kerja. Paparan radiasi medan magnet ELF tergantung pada jaringan listrik, jumlah, dan jenis peralatan listrik yang sedang digunakan. Paparan di tempat kerja dapat bervariasi. Dalam industri pasokan listrik, pekerja mungkin terkena medan magnet yang bisa melebihi $2.000 \mu\text{T}$ dan medan listrik sampai 30 kV / m . Pekerja kantor biasanya terkena medan tingkat yang jauh lebih rendah bila menggunakan peralatan seperti komputer dan mesin fotokopi. Ada bukti bahwa bagaimanapun pekerja di beberapa pekerjaan non-listrik juga bisa terkena EMF tinggi, untuk pekerja misalnya dalam industri garmen telah terbukti terkena tingkat yang lebih besar dari $10 \mu\text{T}$ (Australian Government , 2015)



Gambar 2.5 Ilustrasi medan listrik dan medan magnet pada rangkaian peralatan elektronik

Sumber : <https://www.sintef.no/projectweb/em-safety/what-is-emf/>

Pada gambar 2.5 menunjukkan adanya perbedaan medan listrik dan medan magnet. Ketika kabel pada lampu di sambungkan dengan sumber listrik maka akan terjadi medan listrik. Hal ini disebabkan karena pada kabel yang disambungkan dengan sumber akan menghasilkan beda potensial. Ketika lampu dinyalakan terdapat muatan-muatan yang bergerak sehingga akan menimbulkan adanya medan magnet dan medan listrik yang melalui kabel tersebut. Sebelum memasuki lampu arus yang mengalir pada kabel berupa arus listrik AC dan ketika arus listrik melewati rangkaian pada lampu akan berubah menjadi DC akibat adanya komponen elektronika penyearah arus. Arus DC akan menjadikan medan magnet statis dan akan memiliki

frekuensi nol. Sedangkan pada arus AC umumnya akan menghasilkan frekuensi 50 Hz.

2.10 Medan magnet di Sekitar Arus AC

Arus bolak-balik merupakan arus yang berubah secara konstan dalam amplitude dan memiliki arah bolak-balik pada interval regular (Jackson, 1998:1). Pada kawat yang membawa arus searah elektron melompat dari atom ke atom sambil bergerak dalam satu arah. Pada arus bolak-balik elektron tidak bergerak hanya satu arah. Elektron tersebut dapat melompat dari atom ke atom dengan arah yang berlawanan, pergerakan elektron tersebut tidak bergerak terus maju mereka hanya bergerak maju dan mundur. Arus bolak-balik memiliki keunggulan berupa energi listrik yang dapat disalurkan dengan jarak jauh pada tegangan tinggi dan arus yang rendah untuk menghindari adanya kerugian dalam bentuk energy berupa kalor Joule. Arus tegangan yang tinggi dapat diubah hampir tanpa kehilangan energi ke tegangan yang lebih rendah dan arus yang tinggi yang disesuaikan dengan penggunaan sehari-hari (Tipler, 2001 : 349)

Medan listrik dan medan magnet muncul disekitar rangkaian listrik baik pada listrik AC maupun DC. Medan ini memiliki frekuensi yang dinyatakan dalam Hz (putaran per detik). Medan magnet yang terdapat disekitar arus AC merupakan medan magnet bervariasi terhadap waktu yang memiliki frekuensi. (Samuelsson, 2015 : 14). Sedangkan medan magnet disekitar arus DC merupakan medan magnet statis. Medan magnet statis merupakan medan konstan yang tidak bervariasi terhadap arah dan waktu sehingga frekuensi medan ini adalah 0 Hz (ICNIRP, 2009)

2.11 Batas Ambang Radiasi Medan Magnet ELF

2.11.1 Nilai Ambang Batas Radiasi

Medan listrik dan medan magnet dapat ditemukan disekitar kabel yang dilalui listrik, baik pada jalur tegangan tinggi, kabel di rumah, atau kawat di dalam peralatan rumah tangga. Kekuatan medan listrik yang dihasilkan tergantung pada tegangan,

sedangkan kekuatan medan magnet tergantung pada arus yang mengalir. Kekuatan medan akan berkurang ketika menjauhi sumber (WHO,2016)

Tabel 2.4 Kuat medan magnet pada alat listrik berdasarkan jaraknya

Electric appliance	3 cm distance (μT)	30 cm distance (μT)	1 m distance (μT)
Hair dryer	6 – 2000	0.01 – 7	0.01 – 0.03
Electric shaver	15 – 1500	0.08 – 9	0.01 – 0.03
Vacuum cleaner	200 – 800	2 – 20	0.13 – 2
Fluorescent light	40 – 400	0.5 – 2	0.02 – 0.25
Microwave oven	73 – 200	4 – 8	0.25 – 0.6
Portable radio	16 – 56	1	< 0.01
Electric oven	1 – 50	0.15 – 0.5	0.01 – 0.04
Washing machine	0.8 – 50	0.15 – 3	0.01 – 0.15
Iron	8 – 30	0.12 – 0.3	0.01 – 0.03
Dishwasher	3.5 – 20	0.6 – 3	0.07 – 0.3
Computer	0.5 – 30	< 0.01	
Refrigerator	0.5 – 1.7	0.01 – 0.25	<0.01
Colour TV	2.5 - 50	0.04 – 2	0.01 – 0.15

Sumber : (WHO, 2016)

Sesuai dengan tabel 2.4 diatas kekuatan medan magnet akan mengalami penurunan jika semakin jauh jarak dari sumber. Pada jarak 30 cm medan magnet pada peralatan rumah tangga menjadi 100 kali lebih rendahh dari batas pedoman yang diberikan. Adapun batas pedoman ambang batas radiasi medan magnet yakni 100 μT pada frekuensi 50 Hz untuk masyarakat umum. Sedangkan bagi pekerja batas paparan yang diperbolehkan yakni 500 μT (WHO, 2016).

Tabel 2.5 Pedoman radiasi oleh ICNIRP

Frequency	European power frequency		Mobile phone base station frequency		Microwave oven frequency
	50 Hz	50 Hz	900 MHz	1.8 GHz	2.45 GHz
	Electric field (V/m)	Magnetik field (μT)	Power density (W/m^2)	Power density (W/m^2)	Power density (W/m^2)
Public exposure limits	5 000	100	4.5	9	10
Occupational exposure limits	10 000	500	22.5	45	

Sumber : WHO.2016

Tabel 2.6 Paparan maksimum medan elektromagnetik

Source	Typical maximum public exposure	
	Electric field (V/m)	Magnetik flux density (μT)
Natural fields	200	70 (Earth's magnetik field)
Mains power (in homes not close to power lines)	100	0.2
Mains power (beneath large power lines)	10 000	20
Electric trains and trams	300	50
TV and computer screens (at operator position)	10	0.7
	Typical maximum public exposure (W/m^2)	

TV and radio transmitters	0.1
Mobile phone base stations	0.1
Radars	0.2
Microwave ovens	0.5

Sumber : WHO. 2016

2.11.2 Isu Kesehatan

Radiasi medan magnet ELF dapat menginduksi arus di dalam tubuh manusia. Kekuatan arus ini tergantung pada intensitas medan magnet luar. Jika cukup besar, arus ini mampu menyebabkan stimulasi saraf dan otot atau dapat mempengaruhi proses biologis lainnya. Efek biologis merupakan respon terukur untuk stimulus atau perubahan dalam lingkungan. Perubahan ini tidak selalu berbahaya bagi kesehatan. Tubuh memiliki mekanisme yang canggih untuk menyesuaikan diri terhadap beragam pengaruh lingkungan. Tetapi, tubuh tentu saja memiliki mekanisme kompensasi untuk semua efek biologis. Perubahan yang irreversible dan menekankan system untuk jangka waktu yang lama dapat menimbulkan bahaya kesehatan. Efek biologis yang diterima tidak dapat dirasakan secara langsung oleh seseorang (WHO, 2016).

Pada bidang efek biologis dan aplikasi medis dari radiasi non pengion, WHO menyimpulkan bahwa bukti saat ini tidak menunjukkan adanya konsekuensi kesehatan dari paparan medan elektromagnetik rendah. Beberapa anggota masyarakat telah dikaitkan dengan penyebaran gejala paparan medan magnet tingkat rendah di rumah. Gejala yang dilaporkan termasuk sakit kepala, kecemasan, bunuh diri dan depresi, mual, kelelahan dan hilangnya libido. Sampai saat ini, bukti ilmiah tidak mendukung hubungan antara gejala tersebut dengan paparan elektromagnet.

Setidaknya beberapa masalah ini bisa disebabkan oleh kebisingan atau faktor lain yang ada di lingkungan (WHO,2016).

Beberapa sumber radiasi medan elektromagnetik disekitar dan lingkungan kerja meliputi layar komputer, tempat tidur air dan selimut listrik, mesin las, frekuensi radio, peralatan diathermy dan radar, telah dievaluasi oleh WHO dan organisasi lainnya. Hasil menunjukkan bahwa paparan medan magnet di lingkungan umum tidak meningkatkan resiko apapun hasil yang merugikan seperti aborsi spontan atau keguguran, cacat, berat badan lahir rendah, dan penyakit bawaan. Hanya sedikit laporan yang menyatakan adanya pengaruh paparan medan elektromagnetik dengan kesehatan seperti kelahiran premature dan berat badan rendah pada anak-anak dari pekerja di industri elektronik (WHO, 2016)

Secara keseluruhan hasil penelitian yang ada tidak memberikan bukti adanya hubungan antara paparan medan magnet ELF dan gejala yang dilaporkan. Studi epidemiologi baru menunjukkan hasil konsisten dengan penelitian sebelumnya dari peningkatan resiko leukimia dengan perkiraan paparan harian diatas 0,3-0,4 μ T. Hasil penelitian pada kesehatan anak dengan ibu rumah tangga yang terpapar medan magnet ELF selama kehamilan menunjukkan bahwa tidak ada efek dari medan ELF pada fungsi reproduksi manusia (SCENIHR, 2015).

Beberapa penelitian lain berkaitan dengan efek yang ditimbulkan dari paparan medan elektromagnetik *extremely low frequency* pada ulasan artikel oleh Kulkarni dan Gandhare (2014) sebagai berikut :

Tabel 2.7 Hasil penelitian efek medan magnet terhadap produksi melatonin

Paparan	Efek yang ditimbulkan
Ion-siklotron resonansi untuk kalsium	NA (<i>noradrenergic</i>) stimulasi dari produksi melatonin dan pelepasan berkurang
50 μ T, 60Hz selama 12 jam	NA (<i>noradrenergic</i>) stimulasi dari melatonin pelepasan berkurang

1 mT, 50 Hz selama 1 jam	Aktivitas NAT (<i>N-acetylserotonin</i>) mengalami penurunan
86 μ T, 50 Hz atau 16,67 Hz selama 8 jam	Stimulasi isoproterenol dari produksi melatonin berkurang
1 mT, 50 Hz selama 4 jam	NA (<i>noradrenergic</i>) stimulasi dari melatonin mengalami peningkatan
0,5 mT, 50 Hz selama 4 jam	Tidak ada efek pelepasan melatonin

Sumber : Kulkarni dan Gandhare, 2014

2.12 Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja

Ruang kerja merupakan bagian dari lingkungan kerja fisik yang melingkupi karyawan dalam melakukan pekerjaannya (Prasetya, 2007). Tempat kerja berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi (2011) merupakan ruangan atau lapangan tertutup maupun terbuka, bergerak ataupun tetap dimana tenaga kerja bekerja untuk keperluan suatu usaha yang terdapat sumber atau sumber-sumber berbahaya. Sehingga ruang kerja dapat disimpulkan sebagai tempat yang menjadi bagian dari lingkungan kerja tertutup maupun terbuka yang digunakan para tenaga kerja untuk bekerja dan terdapat pula sumber-sumber berbahaya.

Sumber-sumber berbahaya dapat mencakup sumber-sumber fisika maupun kimia. Pada peraturan yang telah ditetapkan terdapat peraturan berkaitan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang merupakan standard faktor bahaya di tempat kerja sebagai kadar yang diterima tenaga kerja tanpa mengakibatkan gangguan kesehatan maupun penyakit dalam pekerjaan sehari-hari tidak melebihi 8 jam perhari atau 40 jam perminggu. NAB dalam standard lingkungan kerja meliputi factor kimia dan factor fisika. NAB factor kimia meliputi bentuk padatan (partikel), cair, gas, kabut, aerosol, dan uap yang berasal dari bahan-bahan kimia. Sedangkan NAB factor fisika meliputi iklim kerja, kebisingan, getaran, gelombang mikro, sinar ultra ungu dan medan magnet.

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tahun 2002 sesuai dengan *World Health Organization* (WHO) persyaratan radiasi dalam ruangan baik medan listrik maupun medan magnet di tempat kerja yakni sebagai berikut :

a. Medan listrik

Medan listrik merupakan radiasi non pengion yang berasal dari kabel benda bermuatan listrik.

- 1) Sepanjang hari kerja : maksimal 10 kV/m
- 2) Waktu singkat sampai dengan 2 jam per hari maksimal 30 kV/m

b. Medan magnet

Medan magnet merupakan radiasi non pengion yang berasal dari kabel antara dua tegangan listrik yang dialiri oleh arus listrik.

- 1) Sepanjang hari kerja : maksimal 0,5 mT (mili tesla)
- 2) Waktu singkat sampai dengan 2 jam per hari : 5 mT

Data diatas menunjukkan bahwa terdapat batasan-batasan radiasi medan listrik dan medan magnet untuk karyawan selama berkerja. Setiap harinya karyawan akan berkerja selama kurang lebih 7-8 jam sehari bahkan lebih sehingga memungkinkan selama berjam-jam tersebut karyawan mengalami radiasi. Paparan radiasi masing-masing karyawan dengan ruang kerja berbeda memungkinkan karyawan menerima intensitas radiasi yang berbeda.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian deskriptif. Penelitian deskriptif dapat diartikan sebagai prosedur pemecahan masalah yang diselidiki, dengan menggambarkan atau melukiskan keadaan objek penelitian pada saat sekarang, berdasarkan fakta-fakta yang tampak atau sebagaimana adanya. Dengan kata lain penelitian deskriptif bertugas untuk melakukan representasi objektif mengenai gejala-gejala yang terdapat di dalam masalah penelitian. Representasi itu dilakukan dengan mendeskripsikan gejala-gejala sebagai data atau fakta sebagaimana adanya. Data atau fakta itu harus bersumber dari gejala-gejala yang terdapat di dalam masalah yang terjadi sekarang. Representasi data itu harus diiringi dengan pengolahan, agar dapat diberikan penafsiran yang objektif. (Nawawi & Martini. 1996 : 73-74)

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

a. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di ruang kerja yang dipilih berdasarkan hasil observasi dan memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Adapun kriteria penentuan lokasi penelitian yaitu ruang kerja yang terdapat peralatan elektronik menyala selama jam kerja. Lokasi penelitian ini dilaksanakan pada 3 laboratorium komputer sekolah serta 4 ruang kerja fotokopi dan percetakan. Lokasi penelitian ini yakni

- 1) SMP Negeri 7 Jember (Jl. Cendrawasih No. 22 Jember)
- 2) SMA Muhammadiyah 3 Jember (Jl. Mastrip No. 3 Jember)
- 3) SMP Nuris Jember (Jl. Pangandaran No. 48 Antirogo Jember)
- 4) Bursa Mahasiswa (Jl. Kalimantan No. 61 Jember)
- 5) Bursa Media Grafika (Jl. Jawa No. 23 Jember)

6) Setengah Enam Pagi (SEP) 3 (Jl. Jawa No. 20 C Jember)

7) Setengah Enam Pagi (SEP) 4 (Jl. Jawa No. 48 C Jember)

b. Waktu Penelitian :

Penelitian ini akan dilaksanakan pada semester genap bulan Mei-Juni 2016 tanggal 31 Mei 2016 sampai 11 Juni 2016.

3.3 Populasi dan Sampel

3.3.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah ruang kerja. Adapun ruang kerja pada populasi ini yakni ruang kerja yang di dalamnya terdapat perangkat elektronik. Peralatan elektronik yang ada di dalam ruang kerja tersebut adalah keseluruhan peralatan elektronik yang digunakan pekerja selama jam kerja.

3.3.2 Sampel

Sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling*. Pada populasi ruang kerja setelah dilakukan observasi maka dipilih beberapa ruang kerja yang memenuhi kriteria untuk dijadikan sampel. Adapun kriteria ruang kerja untuk sampel terpilih yakni terdapat peralatan elektronik seperti komputer, laptop, printer, *scanner*, maupun peralatan elektronik dengan daya yang besar seperti mesin *fotocopy* maupun mesin percetakan. Sampel yang terpilih adalah ruang laboratorium komputer sekolah serta ruang kerja fotokopi dan percetakan. Adapun sampel ruang yang digunakan meliputi :

- a. Laboratorium komputer SMP Negeri 7 Jember
- b. Laboratorium komputer SMA Muhammadiyah 3 Jember
- c. Laboratorium komputer SMP Nurul Islam Jember
- d. Bursa Mahasiswa Jember
- e. Bursa Media Grafika Jember
- f. Setengah Enam Pagi (SEP) 3 Jember
- g. Setengah Enam Pagi (SEP) 4 Jember

Pengukuran akan dilakukan di titik-titik dimana seseorang berada selama jam kerja dengan ketinggian 0,5 m, 1 m dan 1,5 m dari lantai. Hal ini mengacu pada posisi ketika karyawan sedang duduk berdasarkan organ reproduksinya serta pada ketinggian otak manusia karena otak manusia merupakan organ yang paling sensitif.

3.4 Definisi Operasional Variabel Penelitian

Definisi operasional variabel penelitian adalah uraian yang membatasi setiap istilah yang digunakan dalam penelitian dengan makna tunggal. Berikut akan dijelaskan beberapa istilah dalam penelitian ini.

- a. Intensitas medan magnet dihasilkan dari muatan yang bergerak. Penelitian ini menentukan intensitas medan magnet ELF disekitar peralatan elektronik yang menggunakan arus listrik.
- b. Ruang kerja pada penelitian ini adalah ruang yang digunakan untuk melakukan pekerjaan para karyawan maupun seseorang dengan batasan terdapat peralatan elektronik berdaya tinggi seperti mesin fotocopy dan percetakan, komputer, laptop, printer dan *scanner* dalam keadaan menyala selama jam kerja.

3.5 Metode Pengambilan Data

3.5.1 Alat Ukur Medan Magnet ELF

EMF tester merupakan alat utama yang digunakan untuk mengukur besarnya intensitas medan magnet. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat pengukur digital yaitu EMF *tester*. Penelitian ini menggunakan alat EMF-827.



Gambar 3.1 EMF 827 (Sumber : <https://tecnoedu.com/>)

Langkah-langkah dalam pengambilan data sebagai berikut

- a) Memposisikan *off* atau range switch ke range yang sesuai. Memulai dari range yang tertinggi dan menunggu hingga nilai terukur stabil kemudian mengganti ke range yang sesuai. EM merupakan interferensi dari lingkungan sehingga nilai terkecil sebelum pengukuran mencapai $0,02 \mu\text{T}$
- b) Memegang probe sensor dan mendekatkan kepala sensor ke objek yang akan diukur sehingga tersentuh secara fisis. Serta memperhatikan perubahan intensitas medan ketika didekatkan ke arah objek.
- c) Memposisikan kepala sensor pada jarak tertentu dari objek, dan mengamati perubahan hasil pengukuran
- d) Mencatat hasil yang ditunjukkan oleh layar, ketika objek yang diukur selama pengukuran mendekati nol, jika tidak artinya ada EM yang terdeteksi.
- e) Alat ukur didesain untuk membaca pada satuan μT . namun, dapat mengukur dengan satuan mG dengan mengalikan hasil pengukuran dengan angka 10.

3.5.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ditentukan dengan cara *purposive sampling*. Lokasi penelitian yang dipilih di ruang laboratorium sekolah dan ruang kerja fotokopi percetakan. Intensitas medan magnet ELF dalam ruang kerja tersebut bersumber dari

peralatan-peralatan elektronik yang menyala selama jam kerja. Objek yang diukur adalah keseluruhan nilai intensitas medan magnet di ruang kerja tersebut.

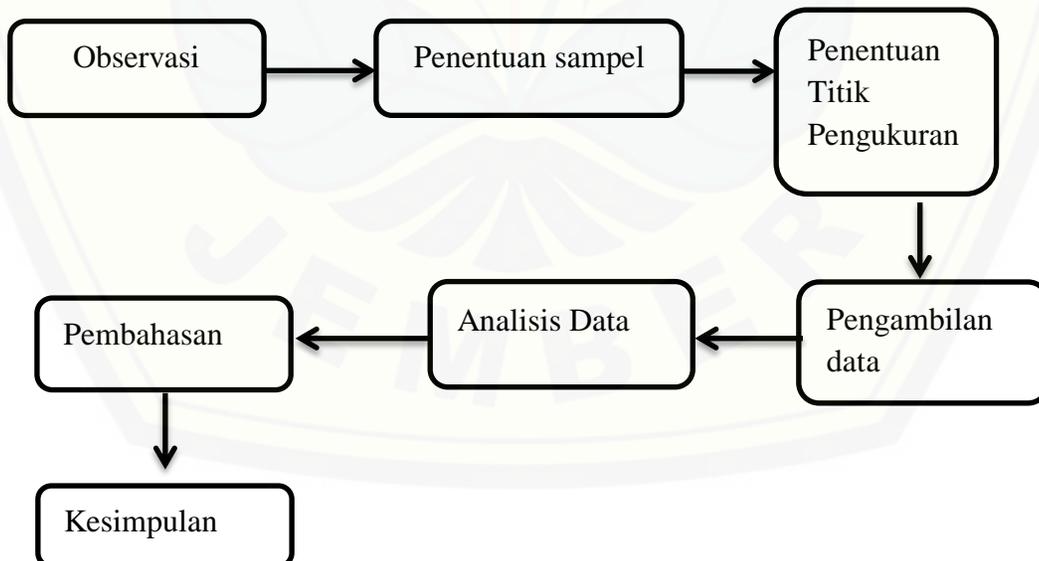
3.5.3 Penentuan Titik Pengukuran Medan Magnet ELF

Penentuan titik pengukuran medan magnet ELF mengacu pada titik tempat karyawan berada setiap harinya. Titik pengukuran berdasarkan ketinggian karyawan ketika duduk dan berdiri.

- Titik pengukuran pertama dilakukan pada ketinggian 0,5 m. Ketinggian ini ditentukan berdasarkan letak organ reproduksi seseorang ketika duduk.
- Titik pengukuran kedua dilakukan pada ketinggian 1 m. Ketinggian ini berdasarkan ketinggian posisi kepala seseorang saat duduk.
- Titik pengukuran ketiga dilakukan pada ketinggian 1,5 m. Ketinggian ini berdasarkan posisi kepala seseorang saat berdiri.

3.5.4 Prosedur Penelitian

Rancangan penelitian akan ditunjukkan diagram berikut ini



Gambar 3.2 Diagram alur penelitian

Sumber : Dokumen Pribadi

a. Observasi

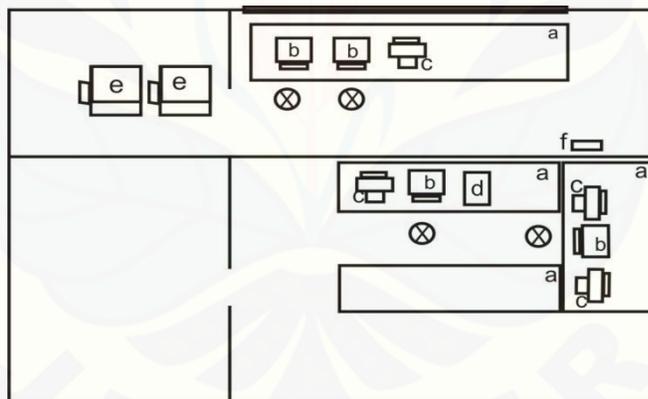
Tahapan observasi dilakukan di ruang kerja lingkungan Universitas Jember. Pada tahapan ini juga meliputi pendataan jumlah peralatan elektronik di dalam tiap-tiap ruang kerja.

b. Penentuan Sampel

Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan kemudian dipilih sampel penelitian. Sampel penelitian terpilih yakni ruang kerja dengan peralatan elektronik ≥ 5 . Penentuan sampel ini menggunakan teknik *purposive sampling*.

c. Penentuan titik pengukuran

Tahapan ini dilakukan setelah sampel terpilih. Penentuan titik pengukuran mengacu pada tempat-tempat dimana karyawan dalam ruang kerja tersebut berada. Pengukuran akan dilakukan di titik tersebut dengan ketinggian 0,5 m - 1,5 m. Berikut ini merupakan gambar ilustrasi titik pengukuran di ruang kerja



Gambar 3.3 Ilustrasi titik pengukuran di ruang kerja

Sumber : Dokumen Pribadi

Keterangan Gambar :

a = meja kerja

b = komputer

c = printer

d = scanner

e = mesin fotokopi

f = kipas angin

x = titik pengambilan data

d. Pengambilan data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data primer. Data primer yang didapatkan diperoleh dari data hasil pengukuran secara langsung dari titik-titik yang telah ditentukan. Pengambilan data ini dilakukan dengan menggunakan alat EMF tester. Data akan diukur disatu titik dengan ketinggian 0,5 m sampai 1,5 m masing-masing tiga kali pengambilan data. Pengukuran akan dilakukan pada dua waktu yang berbeda. Pengukuran akan dilakukan pada saat jam kerja. Pengambilan data tersebut dilakukan selama tiga kali pengukuran dengan waktu berbeda pada pukul 08.00 WIB, 10.00 WIB serta 13.00 WIB. Penentuan waktu tersebut mengacu pada jam buka dan jam istirahat kantor maupun toko elektronik. Pada umumnya toko akan buka pada pukul 08.00, pada jam itu akan dilakukan pengukuran karena alat tersebut baru saja dinyalakan. Pukul 10.00 dan 13.00 dilakukan pengukuran yang kedua dan ketiga, karena pada jam-jam tersebut umumnya peralatan bekerja secara maksimal karena banyaknya penggunaan. Selain itu, pada waktu-waktu tersebut memungkinkan peralatan yang ada di ruang kerja tersebut berada dalam kondisi ON. Data-data yang diukur akan didapatkan dari 7 tempat yang berbeda. Masing-masing tempat akan dilakukan pengukuran sesuai dengan tata letak ruang kerja masing-masing.

e. Analisis data.

Data yang diperoleh pada saat pengukuran akan dimasukkan ke dalam tabel. Dari data-data tersebut diinterpretasikan dalam bentuk grafik

f. Pembahasan

Hasil data yang diperoleh pada saat pengukuran akan dilakukan pembahasan dan dilakukan perbandingan sesuai dengan literatur yang ada. Pembahasan tersebut meliputi data hasil pengukuran, sumber-sumber yang mempengaruhi hasil

pengukuran serta perbandingan hasil pengukuran dan nilai batas ambang yang telah ditentukan.

g. Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan sesuai dengan keseluruhan penelitian yang telah ditentukan. Kesimpulan yang tertulis berisi jawaban singkat dari rumusan masalah yang telah ditentukan sebelum penelitian berlangsung.

3.6 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari penelitian ini selanjutnya disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 3.1 Data Hasil Pengukuran Intensitas Medan Magnet

Ruang Kerja	Intensitas MM alamiah	Intensitas MM yang terukur			Suhu Ruangan
		I	II	III	
		(08.00 WIB)	(10.00 WIB)	(13.00 WIB)	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada semester genap bulan Mei-Juni 2016 tanggal 31 Mei 2016 sampai 11 Juni 2016. Adapun sampel ruang yang digunakan pada penelitian ini yakni laboratorium komputer SMP N 7 Jember, SMA Muhammadiyah 3 Jember, SMP Nurul Islam Jember, Bursa Mahasiswa Jember, Bursa Media Grafika Jember, Fotokopi SEP 3 Jember dan Fotokopi SEP 4 Jember. Pengukuran dilakukan tepat pada posisi karyawan yang sedang bekerja dalam ruangan tersebut dengan pengukuran pada ketinggian 0,5 m, 1 m dan 1,5 m dari permukaan lantai. Pengukuran dengan ketinggian 0.5 m mengacu pada letak organ reproduksi karyawan saat duduk, ketinggian 1 m mengacu pada posisi kepala atau otak karyawan saat duduk, serta ketinggian 1.5 m yang setara dengan posisi kepala atau otak karyawan ketika berdiri. Selain itu, pengukuran akan dilakukan berulang selama tiga kali yang pertama pada pukul 08.00 WIB, 10.00 WIB serta 13.00 WIB dengan pengulangan pengukuran sebanyak tiga kali. Jumlah sampel ruang yang akan diukur besar intensitas medan magnetnya sebanyak tujuh ruangan yang meliputi tiga laboratorium sekolah dan empat diruang percetakan dan fotokopi. Pengukuran yang dilakukan disekolah dilaksanakan pada satu waktu selama pembelajaran sedang berlangsung.

4.1.2 Hasil Pengukuran Intensitas Medan Magnet di Laboratorium Sekolah

Pengukuran intensitas medan magnet pada penelitian ini dilaksanakan di tujuh tempat yang berbeda, dengan sampel tiga laboratorium sekolah dan empat ruang kerja fotokopi dan percetakan. Pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium sekolah diukur pada saat laboratorium digunakan waktu pengukuran yaitu pukul

08.00, 08.45 sampai 09.30. Sedangkan pengukuran di ruang kerja percetakan dan fotokopi pada pukul 08.00, 10.00 dan 13.00

Lokasi di sekolah meliputi laboratorium komputer di SMP Negeri 7 Jember, SMA Muhammadiyah 3 Jember dan SMP Nurul Islam Jember. Berikut rata-rata hasil penelitian di laboratorium sekolah

Tabel 4.1 Hasil rata-rata pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium sekolah pukul

08.00 WIB

Sekolah	Sebelum digunakan		Selama digunakan			Suhu selama pemakaian (°C)
	Intensitas (μT)	Suhu awal (°C)	Intensitas 0.5m(μT)	Intensitas 1 m(μT)	Intensitas 1.5m(μT)	
SMP N 7 Jember	0.02	28	0.0765	0.0730	0.0690	28
SMA Muhammadiyah 3 Jember	0.01	28.5	0.0195	0.0155	0.0120	28
SMP Nurul Islam Jember	0.01	28	0.0295	0.0225	0.0165	28.5

Tabel 4.2 Hasil rata-rata pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium sekolah pukul

08.45 WIB

Sekolah	Sebelum digunakan		Selama digunakan			Suhu selama pemakaian (°C)
	Intensitas (μT)	Suhu awal (°C)	Intensitas 0.5m(μT)	Intensitas 1 m(μT)	Intensitas 1.5m(μT)	
SMP N 7 Jember	0.02	28	0.0810	0.0755	0.0700	28
SMA Muhammadiyah 3 Jember	0.01	28.5	0.0210	0.0155	0.0135	28
SMP Nurul Islam Jember	0.01	28	0.0300	0.0230	0.0170	28.5

Tabel 4.3 Hasil rata-rata pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium sekolah pukul

09.30 WIB

Sekolah	Sebelum digunakan		Selama digunakan			Suhu selama pemakaian (°C)
	Intensitas (μT)	Suhu awal (°C)	Intensitas 0.5m(μT)	Intensitas 1 m(μT)	Intensitas 1.5m(μT)	
SMP N 7 Jember	0.02	28	0.0825	0.0760	0.0710	28
SMA Muhammadiyah 3 Jember	0.01	28.5	0.0220	0.0170	0.0135	28
SMP Nurul Islam Jember	0.01	28	0.0305	0.0235	0.0180	28.5

Hasil pengukuran yang telah dilakukan di tiga sekolah berbeda menunjukkan hasil yang berbeda pula pada tiap sekolah dengan masing-masing ketinggian. Masing-masing laboratorium sekolah mempunyai nilai intensitas masing-masing. Dari ketiga hasil pengukuran pada ketinggian 0.5 m sama-sama menunjukkan intensitas yang paling besar diantara ketinggian yang lain. Perubahan suhu ruang hanya terjadi di SMA Muhammadiyah 3 dan SMP NURIS. Penurunan suhu di SMA Muhammadiyah 3 karena adanya faktor lain yakni penyalaan AC di dalam ruangan. Peningkatan suhu pada laboratorium SMP NURIS disebabkan oleh suhu udara di luar semakin meningkat sehingga suhu di dalam ruang juga mengalami peningkatan karena pintu dan jendela ruang dibiarkan terbuka.

4.1.3 Hasil Pengukuran Intensitas Medan Magnet di Percetakan dan Fotokopi

Lokasi pengukuran intensitas medan magnet di tempat kerja dilaksanakan di ruang kerja fotokopi dan percetakan. Sampel ruang kerja yang digunakan yaitu di Bursa Mahasiswa, Bursa Media Grafika, Setengah Enam Pagi 3 dan Setengah Enam Pagi 4. Berikut hasil rata-rata pengukuran intensitas medan magnet pada keempat ruang kerja tersebut.

Tabel 4.4 Hasil pengukuran intensitas medan magnet di ruang kerja percetakan dan fotokopi pukul 08.00 WIB

Nama Tempat	MM Pukul 08.00 (μT)			T($^{\circ}\text{C}$)	Intensitas alamiah
	0.5 m	1 m	1.5 m		
Bursa Mahasiswa	0.0661	0.2500	0.0288	30	0.02
Bursa Media Grafika	0.1090	0.0636	0.0272	27	0.01
SEP 3	0.0822	0.1888	0.0294	28	0.02
SEP 4	0.1185	0.0881	0.0461	27	0.02

Tabel 4.5 Hasil pengukuran intensitas medan magnet di ruang kerja percetakan dan fotokopi pukul 10.00 WIB

Nama Tempat	MM Pukul 10.00 (μT)			T($^{\circ}\text{C}$)	Intensitas alamiah
	0.5 m	1 m	1.5 m		
Bursa Mahasiswa	0.0822	0.4011	0.0361	30	0.02
Bursa Media Grafika	0.0609	0.0445	0.0345	31	0.01
SEP 3	0.0811	0.2844	0.0561	30	0.02
SEP 4	0.1057	0.0804	0.0495	29	0.02

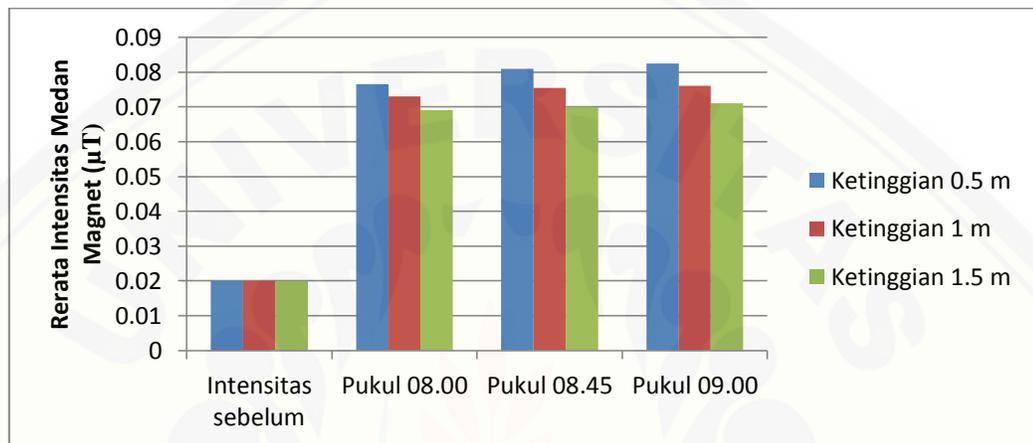
Tabel 4.6 Hasil pengukuran intensitas medan magnet di ruang kerja percetakan dan fotokopi pukul 13.00 WIB

Nama Tempat	MM Pukul 13.00 (μT)			T($^{\circ}\text{C}$)	Intensitas alamiah
	0.5 m	1 m	1.5 m		
Bursa Mahasiswa	0.1072	0.7150	0.0383	32	0.02
Bursa Media Grafika	1.4808	0.2758	0.0458	30	0.01
SEP 3	0.1416	0.3577	0.0444	31	0.02
SEP 4	0.1252	0.0909	0.0557	31	0.02

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah diperoleh besar intensitas di masing-masing tempat keseluruhan memiliki perbedaan. Setiap ketinggian hasil pengukuran intensitas medan magnet juga berbeda.

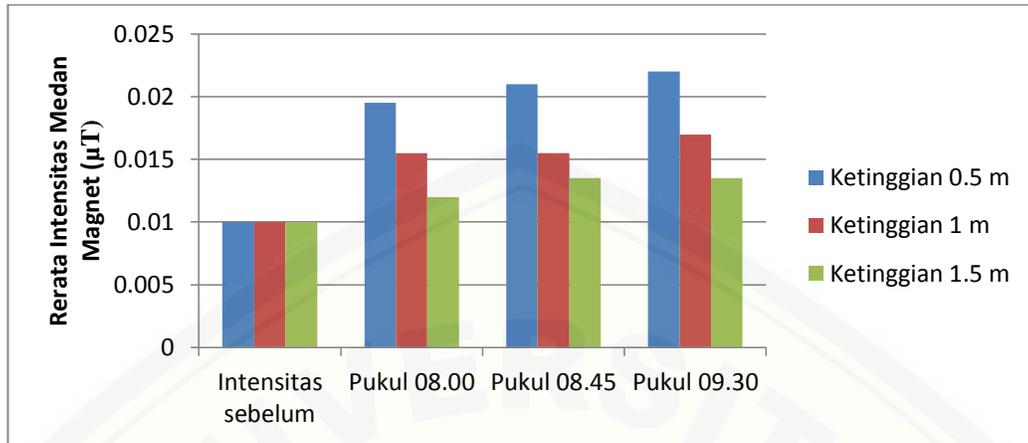
4.2 Analisis Data

Pengukuran intensitas medan magnet di ruang kerja yang telah dilakukan pada penelitian ini akan lebih mudah dilihat dalam bentuk grafik. Berikut ini merupakan gambar grafik rerata hasil pengukuran intensitas medan magnet di ruang laboratorium sekolah.



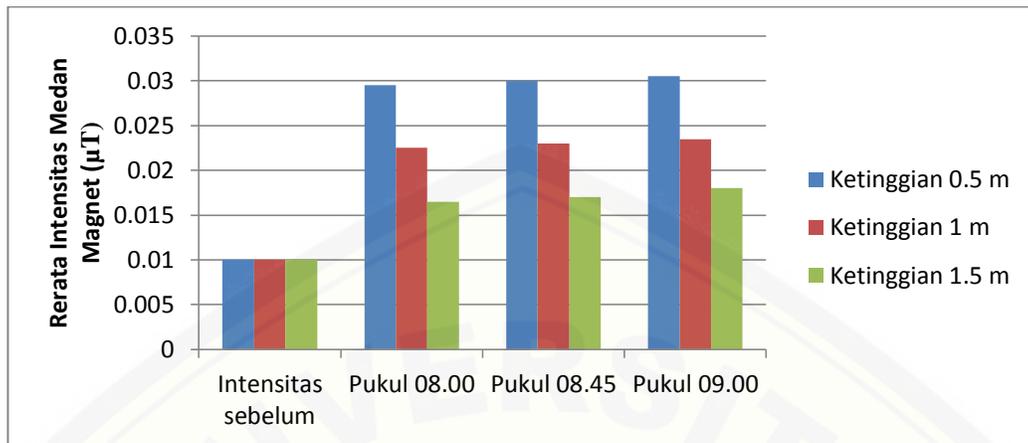
Gambar 4.1 Grafik rerata hasil pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium sekolah SMP N 7 Jember

Grafik 4.1 menunjukkan bahwa intensitas medan magnet yang terukur dalam ruang laboratorium komputer SMPN 7 Jember mengalami peningkatan setiap jamnya. Tetapi penurunan intensitas terjadi ketika pengukuran semakin tinggi dari lantai. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa intensitas medan magnet yang terukur mengalami peningkatan setelah komputer dalam laboratorium dinyalakan, dapat dilihat dari perbedaan intensitas alamiah dan intensitas yang terukur pada pukul 08.00, 08.45 dan 09.30.



Gambar 4.2 Grafik rerata hasil pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium sekolah SMA Muhammadiyah 3 Jember

Grafik 4.2 menunjukkan adanya peningkatan sekaligus penurunan pada hasil pengukuran intensitas medan magnet. Pada grafik terlihat secara nyata intensitas medan magnet mengalami peningkatan intensitas sebelum peralatan dinyalakan setelah peralatan dinyalakan. Penggunaan yang terus menerus juga mengakibatkan peningkatan intensitas medan magnet, tetapi jika dilihat berdasarkan ketinggian intensitas medan magnet mengalami penurunan.

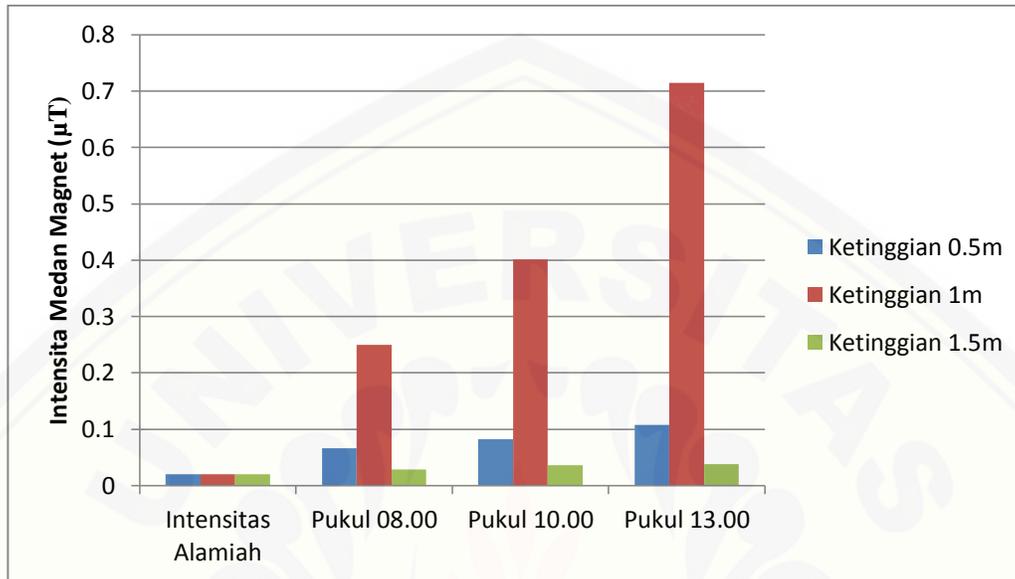


Gambar 4.3 Grafik rerata hasil pengukuran intensitas medan magnet di laboratorium sekolah SMP Nuris Jember

Grafik 4.3 menunjukkan hasil rerata pengukuran di SMP Nuris Jember. Sama halnya dengan grafik sebelumnya pada dua sampel laboratorium sekolah lain sampel ini juga mengalami kenaikan intensitas dan penurunan intensitas medan magnet. Kenaikan intensitas medan magnet yang ditunjukkan pada grafik diatas menyatakan adanya peningkatan selama peralatan dinyalakan. Tetapi, ketika intensitas diukur pada satu titik ketinggian 1 m maupun 1,5 m intensitas yang terukur mengalami penurunan.

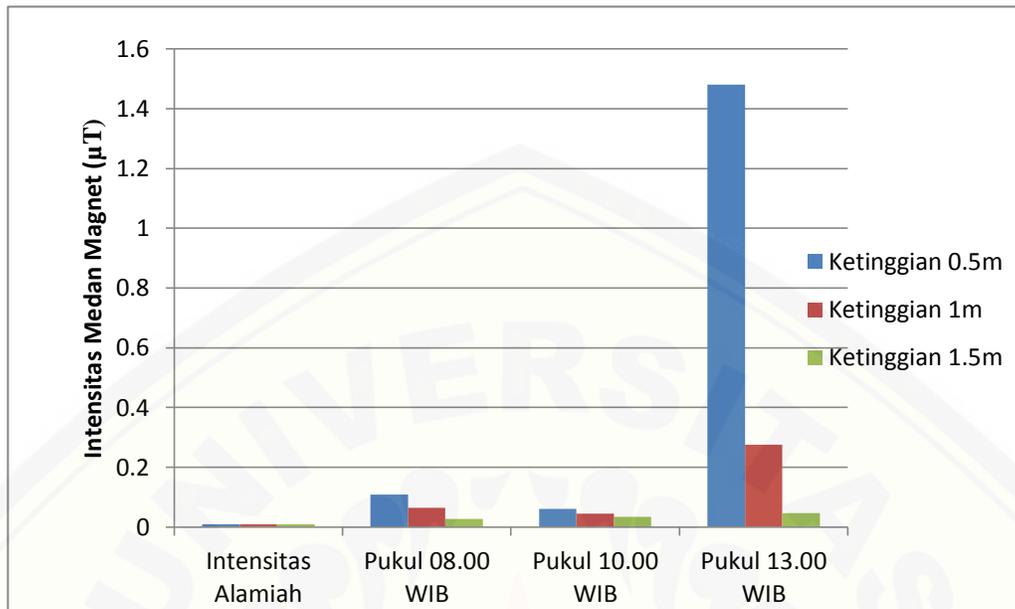
Data hasil pengukuran yang diperoleh pada ketiga sampel memiliki perbedaan intensitas. Hal ini dapat dipengaruhi oleh jenis dari komputer dan perangkat yang digunakan di laboratorium sekolah serta jumlah komputer yang digunakan dalam ruang tersebut. Di SMP N 7 Jember jumlah komputer sebanyak 40 unit komputer, di SMA Muhammadiyah 3 sekitar 38 sedangkan di SMP Nuris 25 unit komputer. Perbedaan tipe komputer dan perangkat elektronik dapat menghasilkan intensitas medan magnet yang berbeda pada masing-masing sekolah. Seluruh laboratorium komputer pada sampel penelitian ini sudah menggunakan komputer layar LED. Intensitas paling rendah berada di ketinggian 1.5 m. Penurunan intensitas ini disebabkan karena semakin jauh dari sumber..

Pengukuran di ruang kerja fotokopi dan percetakan juga disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7 berikut ini



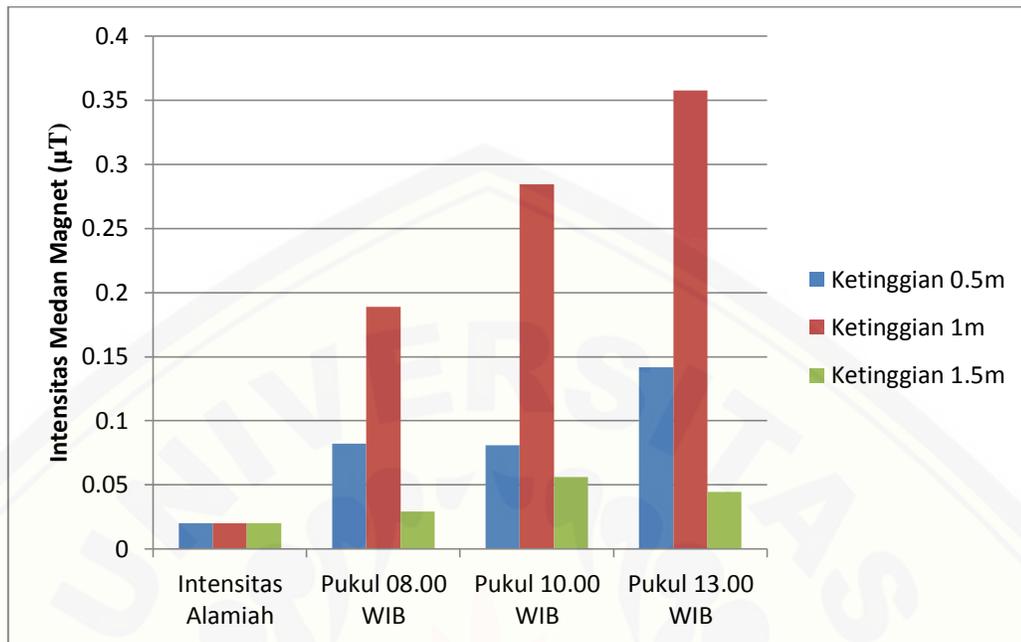
Gambar 4.4 Grafik intensitas medan magnet ELF di Bursa Mahasiswa

Hasil rerata pengukuran intensitas medan magnet di Bursa Mahasiswa Jember telah tergambar dalam grafik 4.4 diatas. Jumlah peralatan elektronik pada ruang tersebut telah memenuhi kriteria penentuan sampel ruang kerja yakni lebih dari lima. Peralatan tersebut antara lain mesin fotocopi, komputer, alat laminating, alat penjilidan, mesin potong, AC dan kipas angin. Peralatan tersebut mulai menyala kurang lebih pada pukul 08.00 WIB. Grafik diatas menunjukkan bukti nyata adanya peningkatan intensitas medan magnet di ruang tersebut meskipun nilainya kecil dan berada di bawah nilai ambang batas yang telah di tetapkan.



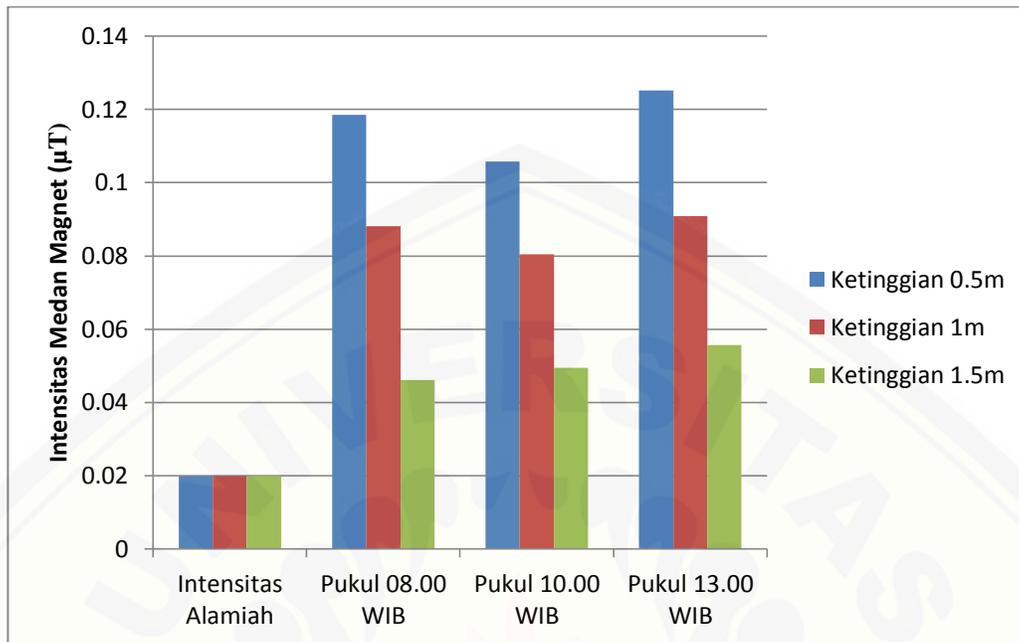
Gambar 4.5 Grafik intensitas medan magnet ELF di Bursa Media Grafika

Grafik 4.5 diatas menunjukkan hasil rerata intensitas medan magnet di ruang kerja Bursa Media Grafika. Keseluruhan hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan intensitas medan magnet. Pada ruang kerja ini terdapat peralatan elektronik antara lain mesin pencetak banner, komputer, mesin laminating dan cetak foto A3, AC, printer televisi dan kulkas. Rata-rata peralatan tersebut mulai menyala pada pukul 7.30 WIB mengacu pada jam buka toko. Intensitas medan magnet pada grafik 4.3 menunjukkan adanya peningkatan intensitas medan magnet dengan puncak pada pukul 13.00. Intensitas tertinggi Nampak pada ketinggian 0.5 m. Hal ini dapat dipicu oleh jarak dengan sumber yang sangat dekat. Sedangkan pada ketinggian 1.5 m intensitas medan magnet mengalami penurunan yang disebabkan karena pada titik tersebut berada jauh dari sumber. Sehingga pada ketinggian 1.5 m paparan intensitas medan magnet sangat kecil.



Gambar 4.6 Grafik Intensitas Medan Magnet ELF di Setengah Enam Pagi (SEP) 3

Rerata hasil pengukuran intensitas medan magnet ELF di SEP 3 disajikan dalam grafik 4.6 diatas. Peralatan elektronik pada ruangan ini meliputi tiga unit komputer, dua unit printer, mesin fotokopi, televisi, dan alat laminating. Peralatan elektronik tersebut mulai menyala pada pukul 05.30 WIB. Hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan intensitas medan magnet akibat penggunaan peralatan elektronik. Sajian data pada grafik 4.4 menunjukkan intensitas tertinggi berada pada ketinggian 1 m. Hal ini dapat dipengaruhi oleh tata letak penempatan alat dan penggunaannya. Pada ruang kerja ini kenaikan intensitas medan magnet akibat adanya peralatan elektronik tampak nyata. Meskipun demikian paparan intensitas medan magnet yang terukur masih berada jauh dibawah ketentuan nilai ambang batas dari WHO.



Gambar 4.7 Grafik Intensitas Medan Magnet di Setengah Enam Pagi (SEP) 4

Hasil rerata pengukuran intensitas medan magnet di SEP 4 disajikan pada grafik 4.7. Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan peralatan elektronik dapat meningkatkan intensitas medan magnet pada ruang tersebut. Peralatan elektronik pada ruang tersebut antara lain, tiga unit mesin fotokopi, empat unit komputer, televisi, printer, dan kipas angin. Peralatan yang berada pada ruangan ini akan menyala pada pukul 05.30 WIB sesuai dengan jam buka toko. Intensitas medan magnet ELF yang terukur pada ketinggian 0.5 m dan 1 m sama-sama mengalami penurunan pada pukul 10.00. Hal ini dapat dipicu oleh ketidakstabilan tegangan pada peralatan elektronik yang ada. Tetapi, perbedaan atau penurunan intensitas tersebut sangatlah kecil yakni pada ketinggian 0.5 m mengalami penurunan sekitar 0.0128 μT dan 0.0077 μT pada ketinggian 1 m. Peningkatan intensitas medan magnet ELF akibat penggunaan peralatan elektronik sangat nyata dilihat dari hasil data pengukuran yang diperoleh saat melakukan penelitian, meskipun kenaikan intensitas tersebut kecil dan berada jauh dibawah nilai ambang batas yang telah ditentukan.

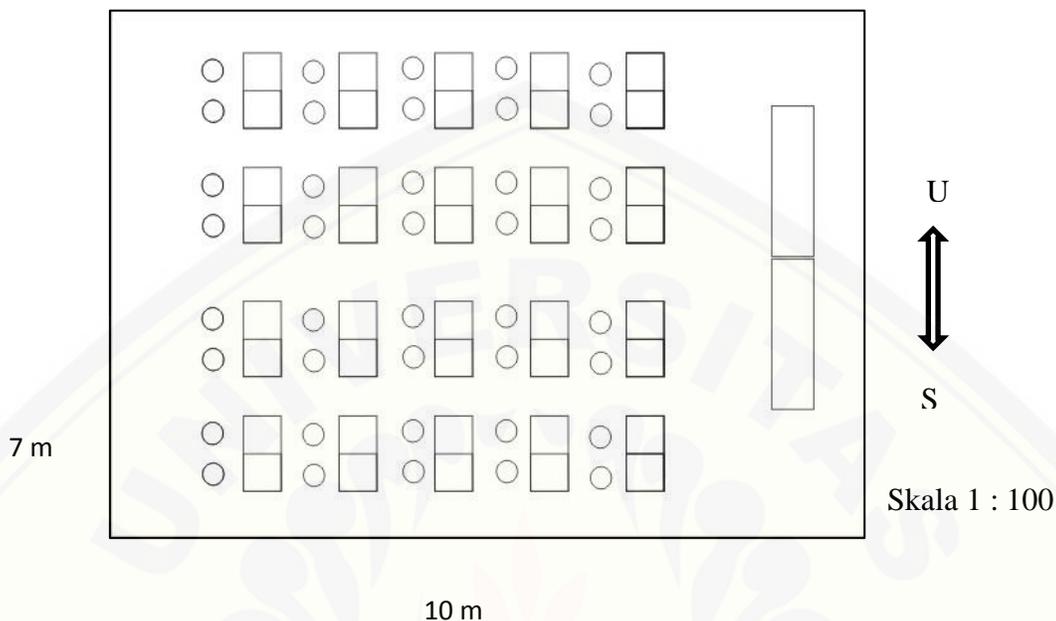
Hasil representasi data dalam bentuk grafik menunjukkan bahwa setiap ruang kerja memiliki intensitas yang berbeda. Intensitas medan magnet yang terukur pada setiap ketinggian tidak berpengaruh terhadap waktu pengukuran. Sehingga masing-masing ruang kerja sampel yang telah diukur mempunyai intensitas paparan medan magnet bagi ruang itu sendiri.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Peningkatan Intensitas Medan Magnet di Ruang Kerja

Intensitas medan magnet pada sampel yang terukur memiliki nilai yang berbeda pada masing-masing sampel. Peningkatan intensitas medan magnet pada ruang kerja dapat dilihat pada perbedaan intensitas alamiah dan intensitas yang terukur. Secara keseluruhan terdapat perubahan intensitas medan magnet akibat adanya peralatan elektronik pada ruang tersebut. Pada pengukuran yang dilakukan di laboratorium komputer sekolah peneliti mengondisikan dalam ruang tersebut komputer yang digunakan pada saat pengukuran sebanyak 20 item dalam keadaan dioperasikan.

Hasil pengukuran yang telah dilaksanakan di laboratorium komputer SMPN 7 Jember terdapat peningkatan intensitas medan magnet dari intensitas alamiah sebesar $0.02 \mu\text{T}$ yang diukur sebelum seluruh peralatan dioperasikan. Pada grafik 4.1 menunjukkan pukul 08.00 setelah peralatan dinyalakan terdapat peningkatan intensitas medan magnet. Selanjutnya ketika pemakaian secara terus menerus intensitas medan magnet juga mengalami peningkatan pukul 08.45 dan 09.30. Pengukuran paling tinggi yang diperoleh yakni pada pukul 09.00 setelah 1,5 jam pemakaian komputer serta pada ketinggian 0.5 m. Setiap jam pengukuran kesamaan hasil yang dapat dilihat yakni adanya penurunan intensitas medan magnet pada ketinggian 1m dan menurun lagi pada ketinggian 1.5 m. Penyebab intensitas medan magnet tersebut menurun adalah menjauhi sumber paparan yang menyebabkan intensitas paparan melemah. Berikut adalah gambar denah ruang laboratorium komputer SMPN 7 Jember.

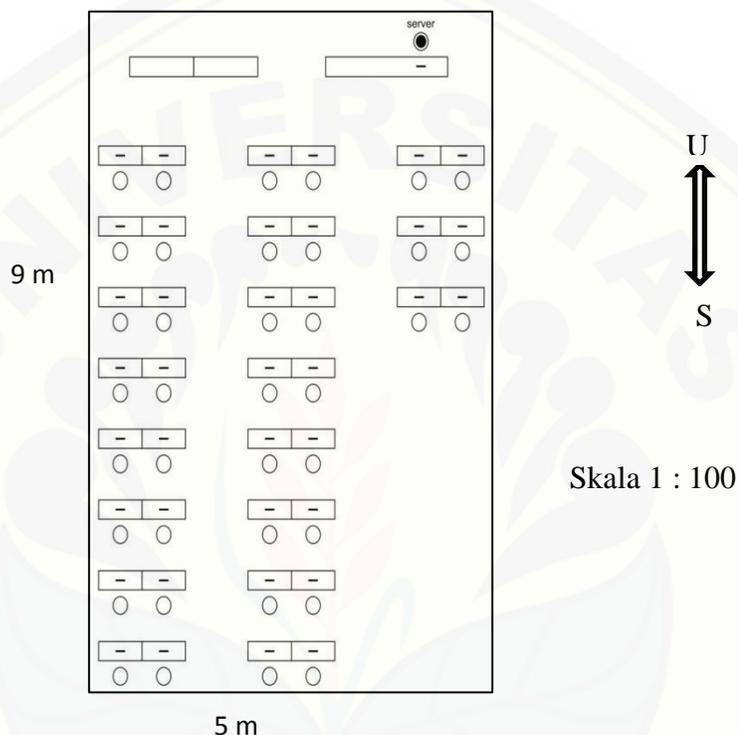


Gambar 4.8 Denah laboratorium komputer SMPN 7 Jember

Data pengukuran yang diperoleh secara nyata menunjukkan bahwa intensitas medan magnet mengalami peningkatan akibat penggunaan peralatan elektronik di ruang laboratorium komputer. Pada ruang laboratorium ini komputer yang digunakan bertipe *inforce* sebanyak 40 unit namun hanya 20 unit yang dioperasikan. Luas ruangan pada laboratorium ini adalah 7 m x 10 m. Intensitas medan magnet ELF ini mengalami peningkatan setelah peralatan digunakan secara terus menerus. Hal ini disebabkan oleh aliran arus listrik yang meningkat dari semula berakibat pada kenaikan intensitas medan magnet. Namun, intensitas medan magnet dengan ketinggian 0.5 m merupakan titik dengan intensitas tertinggi, hal ini disebabkan karena semakin dekat dengan sumber. Paparan medan magnet ELF akan mengalami penurunan dengan sendirinya ketika menjauhi sumber paparan.

Hasil data pengukuran di sampel kedua yakni laboratorium komputer SMA Muhammadiyah 3 juga menunjukkan adanya peningkatan intensitas medan magnet karena peralatan elektronik. Pada grafik 4.2 intensitas awal yang terukur sebesar 0.01 μT dan mengalami peningkatan pukul 08.00. Setelah pukul 08.45 intensitas medan

magnet juga mengalami peningkatan, serta pukul 09.30. Tetapi, peningkatan intensitas di ruang ini tidak sebesar intensitas yang terukur pada laboratorium komputer SMP N 7 Jember. Berikut adalah denah laboratorium komputer SMA Muhammadiyah 3 Jember

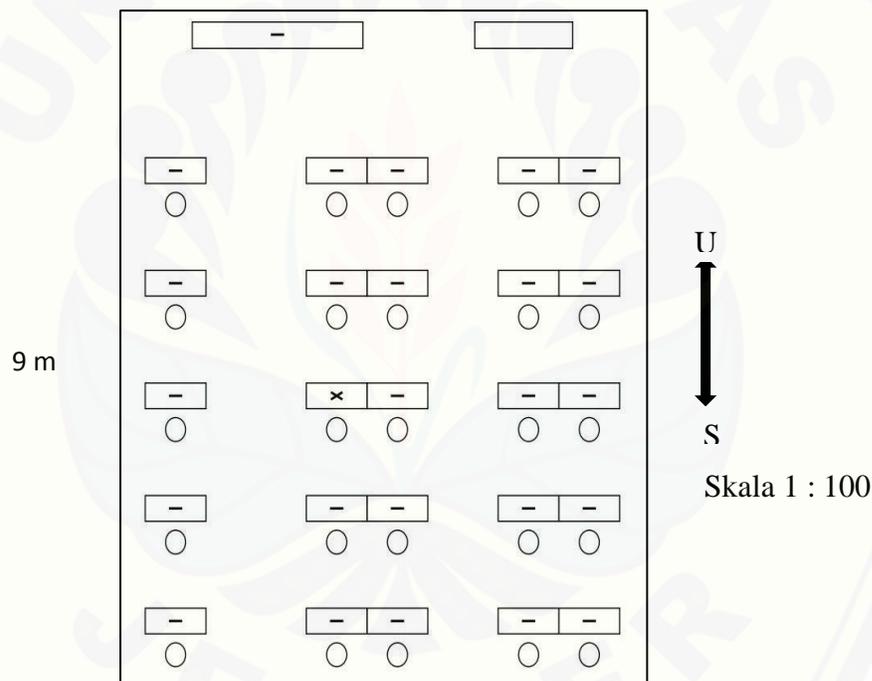


Gambar 4.9 Denah laboratorium komputer SMA Muhammadiyah 3 Jember

Luas ruang pada laboratorium komputer ini adalah 9 m x 5 m. Peningkatan intensitas medan magnet berlangsung setelah digunakan, karena adanya muatan listrik yang terus mengalir dapat membuat intensitas medan magnet meningkat. Namun, ketika menjauhi sumber paparan intensitas medan magnet akan mengalami penurunan. Selain itu, peneliti menemukan intensitas sebesar 0.44 μT yang berada pada posisi server dan akan kembali pada intensitas alamiah pada jarak 1 m. Peneliti juga menemukan intensitas sebesar 0.33 μT pada *earphone* ketika benda tersebut sedang mengeluarkan bunyi.

Pengukuran intensitas medan magnet laboratorium lain dilakukan di SMP Nuris Jember. Intensitas alamiah yang terukur adalah 0.02 μT . Selama pembelajaran

menggunakan komputer terjadi peningkatan intensitas medan magnet pada ruang tersebut. Pada ruang ini setelah lama pemakaian waktu tertentu intensitas medan magnet mengalami kenaikan yang signifikan seperti pada grafik 4.3. Sama halnya dengan kedua laboratorium lain perbedaan intensitas terjadi dimulai ketika komputer mulai dioperasikan. Meskipun kenaikan intensitas medan magnet pada ruang laboratorium komputer kecil tetapi secara nyata dapat menunjukkan intensitas yang semakin lama penggunaan komputer menjadi semakin tinggi. Berikut adalah denah ruang laboratorium komputer SMP Nuris Jember.



Gambar 4.10 Denah laboratorium komputer SMP NURIS Jember

Ruang laboratorium ini memiliki luas 9 m x 7 m. Peningkatan intensitas medan magnet ELF yang terjadi pada sampel ruang laboratorium ini secara nyata disebabkan oleh penggunaan peralatan elektronik. Seperti halnya sampel sampel lain intensitas medan magnet akan meningkat setelah pemakaian peralatan elektronik namun terjadi penurunan ketika menjauhi sumber. Hal ini terjadi pula di

laboratorium SMPN 7 Jember. Jumlah komputer pada ruang ini ada 25 unit dengan tipe *inforce*, dan hanya 20 unit yang digunakan.

Sampel ruang laboratorium komputer di sekolah memiliki peningkatan intensitas medan magnet yang signifikan akibat adanya penggunaan peralatan elektronik. Nilai intensitas medan magnet ELF terbesar di SMPN 7 Jember. Salah satu faktor perbedaan nilai tersebut karena sejak awal pembelajaran siswa telah tersambung pada jaringan Wi-Fi atau internet sedangkan di SMA Muhammadiyah 3 dan SMP Nuris tidak demikian. Pada SMA Muhammadiyah 3 Jember penggunaan internet hanya beberapa siswa saja, sedangkan di SMP Nuris tidak dapat disambungkan dengan internet. Hal lain yang didapatkan peneliti pada saat pengukuran di sampel laboratorium TIK yakni intensitas PC yang terukur sekitar $0.70 \mu\text{T}$ dan akan kembali pada intensitas alamiah dengan jarak 30 cm.

Data yang diperoleh dari hasil penelitian ditempat fotokopi dan percetakan memiliki intensitas yang berbeda dengan laboratorium komputer. Sampel pertama yang diukur adalah ruang kerja di Bursa Mahasiswa. Peralatan yang terdapat pada ruang ini yakni fotokopi, komputer, alat jilid, alat laminating dan pemotong kertas. Peralatan yang digunakan tersebut menyala kurang lebih pada pukul 08.00, karena pada jam tersebut ruang kerja mulai digunakan. Titik pengukuran pada posisi karyawan yang diukur sebanyak tujuh titik. Rata-rata hasil pengukuran pada sampel Bursa Mahasiswa dapat dilihat pada tabel 4.4, 4.5 dan 4.6. Berdasarkan data yang telah diperoleh pada ruang tersebut terjadi peningkatan intensitas medan magnet. Intensitas alamiah medan sebesar $0.02 \mu\text{T}$. Perbedaan intensitas yang terukur pada masing-masing waktu akibat penggunaan peralatan. Pada ruangan sampel ini terjadi peningkatan suhu ruang. Pukul 08.00 suhu ruangan yakni sebesar 30°C , pukul 10.00 suhu ruang 30°C dan pukul 13.00 suhu ruang menjadi 32°C .

Sampel ruang selanjutnya yakni ditempat percetakan bursa media grafika. Peralatan yang terdapat diruang kerja meliputi tiga item mesin cetak baner, operator komputer, mesin cetak foto A3 juga terdapat pendingin ruangan dan kipas angin. Peralatan pada ruangan ini menyala mulai pukul 07.30 mengacu pada jam buka toko.

Titik pengukuran yang diambil terdapat empat titik. Rata-rata hasil pengukuran pada sampel Bursa Media Grafika dapat dilihat pada tabel 4.4, 4.5 dan 4.6. Kenaikan intensitas medan magnet dapat dilihat pada ggraafik 4.5. Sesuai grafik tersebut menunjukkan adanya peningkatan medan magnet ELF secara signifikan pada ketinggian 1 m yang digunakan secara terus menerus. Intensitas yang mengalami kenaikan paling tinggi yakni berada pada ketinggian 0.5 m sesuai dengan peralatan yang ada dalam ruangan. Sumber paparan medan magnet sangat dekat pada ketinggian ini sehingga paparannya paling besar. Namun, setelah pukul 10.00 intensitas medan magnet mengalami penurunan. Beberapa faktor penyebab antara lain dari penggunaan peralatan. Pada pukul 10.00 pengoperasian alat digunakan secara bergantian sehingga ada peralatan yang dalam keadaan *stand by*. Sedangkan pada pukul 13.00 seluruh peralatan digunakan bersamaan. Kondisi ini mengakibatkan adanya penurunan pada pukul 10.00. Pada ruangan sampel ini terjadi peningkatan suhu ruang. Pukul 08.00 suhu ruangan yakni sebesar 27 °C, pukul 10.00 suhu ruang 31 °C dan pukul 13.00 suhu ruang menjadi 30 °C.

Data hasil pengukuran lain diperoleh dari sampel ruang kerja Setengah Enam Pagi 3. Peralatan elektronik pada sampel ruang ini meliputi dua mesin fotokopi, tiga operator. Selain itu terdapat pula printer, televisi dan kipas angin. Peralatan pada ruang kerja ini mulai dinyalakan pukul 05.30 WIB. Rata-rata hasil pengukuran intensitas medan magnet pada sampel ruang SEP 3 dapat dilihat pada tabel 4.4, 4.5 dan 4.6. Hal ini dilihat pada hasil perolehan data pengukuran dimana intensitas alamiah medan magnet yang terukur adalah 0.02 μ T. Intensitas medan magnet secara keseluruhan mengalami peningkatan yang signifikan utamanya pada ketinggian 1 m sesuai pada grafik 4.6. Namun pada jam 10.00 pada ketinggian 0.5 m mengalami penurunan intensitas medan magnet. Sesuai kondisi penelitian saat pengukuran intensitas medan magnet di bawah lantai ada beberapa jalur kabel-kabel dari peralatan elektronik lain. Sedangkan pada saat jam 10.00 tempat fotokopi ini tidak begitu ramai sehingga ada beberapa peralatan elektronik dalam keadaan *stand by*.

Peningkatan intensitas medan magnet akibat adanya peralatan elektronik dalam ruang kerja juga terjadi di ruang kerja fotokopi Setengah Enam Pagi 4. Peralatan elektronik dalam ruang kerja tersebut meliputi tiga item mesin fotokopi, printer dan operator. Selain itu terdapat pula kipas angin, televisi dan pengeras suara. Peralatan yang berada di ruang ini akan mulai dinyalakan pada pukul 05.30 WIB sesuai dengan jam buka toko. Hasil rerata pengukuran intensitas medan magnet dapat dilihat pada tabel 4.4, 4.5 dan 4.6. Intensitas pengukuran tersebut menunjukkan adanya peningkatan intensitas medan magnet secara nyata akibat peralatan elektronik karena intensitas alamiah yang terukur sebelumnya adalah $0.02 \mu\text{T}$. Sesuai dengan grafik 4.7 terdapat penurunan intensitas medan magnet pukul 10.00 dan mengalami kenaikan lagi pada pukul 13.00. Salah satu penyebab penurunan intensitas tersebut karena peralatan dalam keadaan *stand by*. Selain itu karena mengingat pada jam tersebut toko tidak begitu ramai.

Hasil rerata data yang diperoleh pada masing-masing sampel secara keseluruhan menunjukkan adanya peningkatan intensitas medan magnet. Peningkatan intensitas medan magnet yang terukur berbeda nilai setiap titik pengukuran dalam ruang. Peningkatan intensitas medan magnet juga dipengaruhi oleh penggunaan peralatan elektronik dalam ruang tersebut. Peneliti menemukan adanya peningkatan intensitas medan magnet pada alat yang sedang bekerja. Seperti pada data yang terukur pada alat lem penjilidan dalam keadaan off intensitas mengikuti intensitas alamiah yakni sebesar $0.02 \mu\text{T}$. Pada keadaan *standby* intensitas medan magnet pada ketinggian 1 m yakni $0.66 \mu\text{T}$, ketika digunakan intensitas naik menjadi $3.43 \mu\text{T}$.

4.3.2 Nilai Ambang Batas Efek Klinis dan Efek Biologis

Nilai ambang batas radiasi medan magnet telah ditetapkan oleh badan kesehatan dunia WHO yakni sebesar $500 \mu\text{T}$. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tahun 2002 batas paparan radiasi medan magnet di tempat kerja adalah 0.5 mT sepanjang hari kerja. Sedangkan paparan dalam waktu singkat 2 jam per hari yakni sebesar 5 mT .

Data yang diperoleh dari hasil penelitian ini menunjukkan intensitas medan magnet pada ruang kerja yang terukur masih berada dibawah nilai ambang batas yang telah ditetapkan. Hal tersebut dapat dilihat dari rerata data hasil penelitian pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 yang menunjukkan berada di bawah nilai ambang batas yang telah di tetapkan. Pada penelitian ini data intensitas medan magnet paling tinggi berada di Bursa Media Grafika di titik pengukuran 1 yang berada dekat dengan alat pencetak banner. Pengukuran dilakukan pada pukul 13.00 dengan ketinggian 0.5 m secara rinci berada di lampiran hasil penelitian halaman 77 intensitas terukur sebesar 8.20 μT . Meskipun intensitas yang terukur paling tinggi diantara titik-titik pengukuran seluruh sampel tetapi berdasarkan panduan batas ambang radiasi intensitas tersebut masih berada jauh di bawah nilai ambang batas radiasi medan magnet.

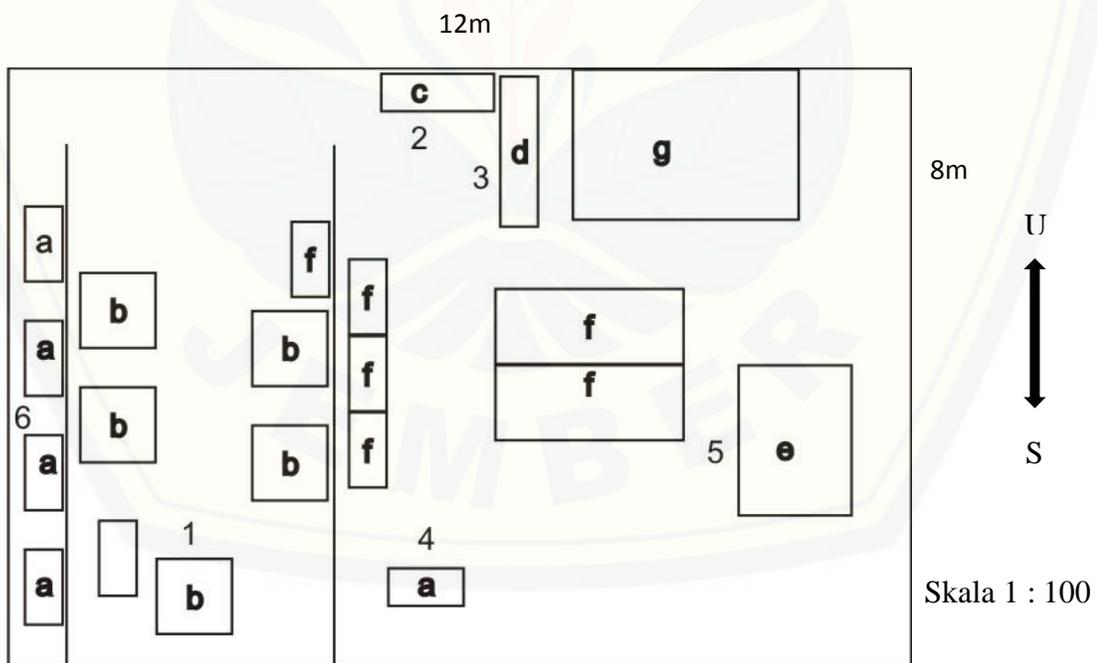
Secara keseluruhan hasil pengukuran yang telah dilakukan di tujuh sampel ruang kerja menunjukkan hasil rerata berada di bawah nilai ambang batas radiasi yang telah di tetapkan oleh WHO yang juga diadopsi Kementerian Kesehatan. Mengacu pada nilai ambang batas yang ditetapkan, intensitas medan magnet yang terukur pada sampel berada jauh di bawah nilai ambang batas radiasi 0.5 mT. Sehingga, para karyawan maupun pengguna ruang tersebut berada dalam keadaan aman dari paparan radiasi medan magnet.

4.3.3 Potensi Efek Biologis Medan Magnet ELF

Data hasil penelitian yang telah dilaksanakan secara keseluruhan berdasarkan WHO berada dibawah NAB yang telah ditetapkan yakni 0.5 mT. Beberapa hasil penelitian yang telah dilaksanakan yang termuat dalam BioInitiating Working Group tahun 2012 menyatakan bahwa intensitas paparan medan magnet 0.2 – 0.3 μT dapat menyebabkan resiko leukemia pada anak. Hasil penelitian lain juga menyatakan hal serupa yang dilakukan oleh Lennart Hardell dan Cindy Sage tahun 2007 intensitas medan magnet 0.3 – 0.4 μT dapat mengakibatkan resiko leukemia. Namun, hasil berbeda dinyatakan oleh Northert Leitgeb tahun 2014 bahwa intensitas medan magnet 0.2 – 0.4 μT tidak memiliki hubungan kausal dengan leukemia pada anak.

Efek biologis lain yang ditemukan yakni berkaitan dengan resiko kanker payudara. Intensitas medan magnet $0.6 - 1.2 \mu\text{T}$ dapat mengganggu efek protektif melatonin terhadap sel-sel kanker payudara (Hardell, L & Sage, C.2007). Hasil penelitian lain yang dimuat dalam BioInitiative Working Group tahun 2012 juga menyatakan hal yang serupa yakni paparan medan magnet sebesar $0.6 - 1.2 \mu\text{T}$ dapat mengganggu kerja melatonin untuk melawan pertumbuhan sel kanker. Sehingga intensitas antara $0.6 - 1.2 \mu\text{T}$ berpotensi pada terganggunya kerja melatonin untuk melawan sel kanker payudara.

Hasil penelitian yang telah dilakukan pada tujuh sampel ruang kerja terdapat beberapa titik yang kemungkinan berpotensi terhadap terganggunya kesehatan sel tubuh seseorang. Ketujuh sampel ruang kerja yang diukur empat diantaranya berpotensi terhadap efek biologis diantaranya yaitu Bursa Mahasiswa, Bursa Media Grafika, SEP 3 dan SEP 4. Berikut ini gambar denah titik-titik pengukuran di Bursa Mahasiswa dengan luas ruangan $8 \text{ m} \times 12 \text{ m}$.



Gambar 4.11 Denah ruang kerja Bursa Mahasiswa

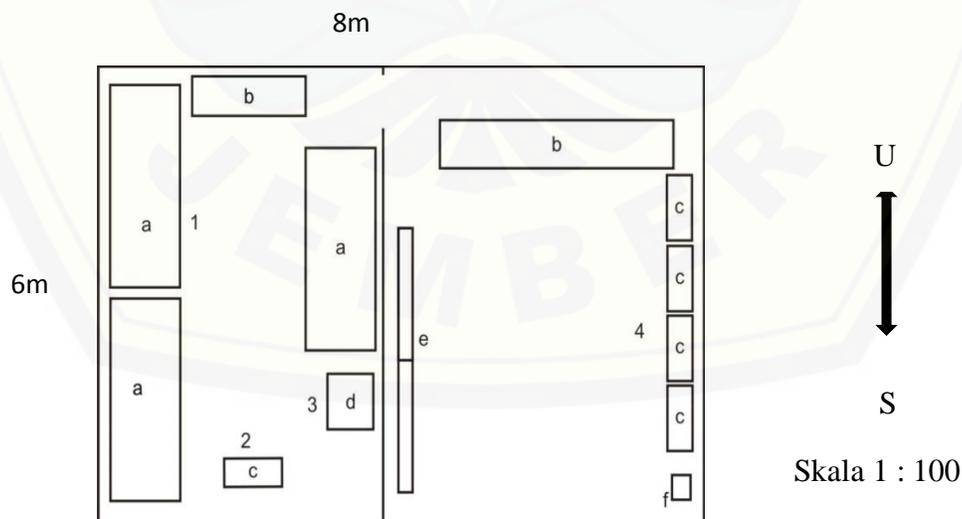
Keterangan Gambar

- a. Meja komputer
- b. Alat Fotokopi
- c. Alat Lem Buku
- d. Alat Laminasi
- e. Mesin Pemotong
- f. Meja
- g. Mushola dan toilet

Titik pengukuran sampel ruang kerja bursa mahasiswa ditandai dengan angka 1 sampai 6. Potensi efek biologi pada ruang kerja ini berada di titik 2, 4 dan 6. Titik 2 berada di dekat mesin lem buku. Intensitas medan magnet yang terukur di titik ini pada ketinggian 1 m, intensitas yang terukur yakni sekitar $0.66 - 3.45 \mu\text{T}$ data lengkap ada di lampiran data hasil penelitian. Pada titik-titik tersebut intensitas yang teukur memiliki potensi terhadap efek biologis yang memungkinkan kesehatan sel menjadi terganggu.

Potensi efek biologis juga terdapat di sampel ruang kerja bursa media grafika.

Berikut denah ruang kerja bursa media grafika dengan luas ruang 8 m x 6 m.



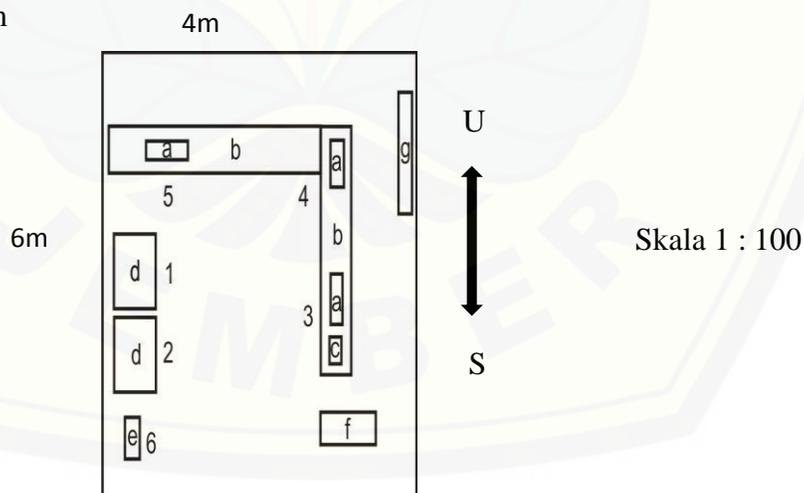
Gambar 4.12 Denah ruang kerja Bursa Media Grafika

Keterangan Gambar :

- a. Mesin cetak banner
- b. Meja
- c. Editor
- d. Mesin scanner dan cetak A3
- e. Kursi
- f. Kulkas

Potensi efek biologis sampel pada ruang kerja Bursa Media Grafika ada di titik 1 dan 3. Titik 1 berada di dekat mesin pencetak banner. Intensitas medan magnet yang berpotensi terhadap efek biologis di titik 1 berdasarkan hasil pengukuran yakni pada ketinggian 0.5 m yang diukur pada jam 13.00 dengan intensitas rata-rata $5.66 \mu\text{T}$. Sedangkan pada ketinggian 1 m intensitas rata-rata $0.89 \mu\text{T}$ secara rinci berada di lampiran hasil penelitian. Kedua titik tersebut berpotensi adanya efek biologis dengan resiko terhadap kesehatan seseorang.

Sampel ruang kerja lain yang berpotensi terhadap efek biologis yakni ruang kerja fotokopi Setengah Enam Pagi 3. Berikut denah ruang kerja SEP 3 dengan luas ruang 6 m x 4 m



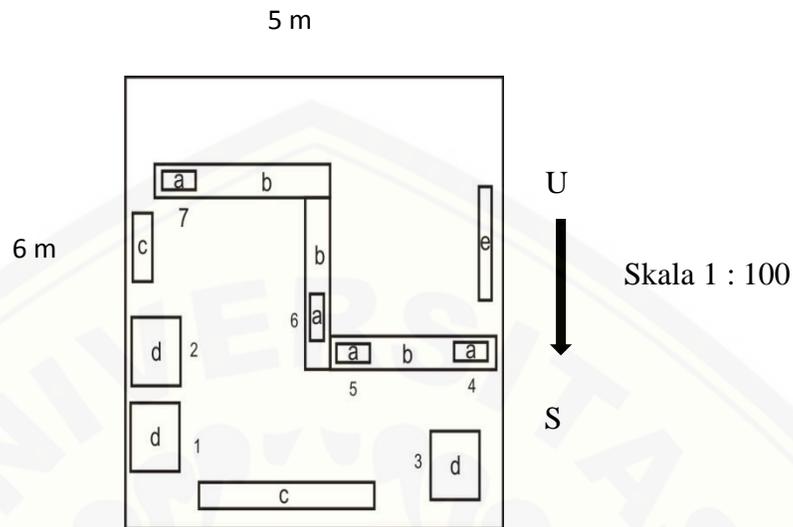
Gambar 4.13 Denah ruang kerja SEP 3

Keterangan gambar :

- a. Komputer operator
- b. Etalase
- c. Printer
- d. Mesin Fotokopi
- e. Mesin Laminating
- f. Meja
- g. Kursi

Efek biologis yang berpotensi muncul pada sampel ruang kerja ini berada di titik 1, 2 dan 6. Titik 1 berdekatan dengan mesin komputer. Data menunjukkan hasil pengukuran di titik 1 pada ketinggian 1 m yang diukur pukul 10.00 intensitas medan magnet rata-rata yakni $0.68 \mu\text{T}$ sedangkan pada pukul 13.00 intensitas rata-rata yakni $1.04 \mu\text{T}$. Potensi efek biologis juga muncul di titik 2 yang berdekatan dengan mesin fotokopi intensitas yang terukur pada ketinggian 0.5 m adalah $0.45 \mu\text{T}$. Titik lain yakni titik 3 berada di dekat mesin laminating. Pada ketinggian 1 m intensitas yang terukur yaitu $0.84 \mu\text{T}$. Ketiga titik tersebut kemungkinan dapat memunculkan potensi efek biologis pada kesehatan seseorang

Sampel ruang kerja lain yang berpotensi terhadap efek biologis adalah ruang kerja fotokopi SEP 4. Pada ruang kerja ini terdapat satu titik yang berpotensi adanya efek biologis akibat paparan medan magnet. Berikut denah ruang kerja SEP 4 dengan luas ruang 5m x 6m



Gambar 4.14 Denah ruang kerja SEP 4

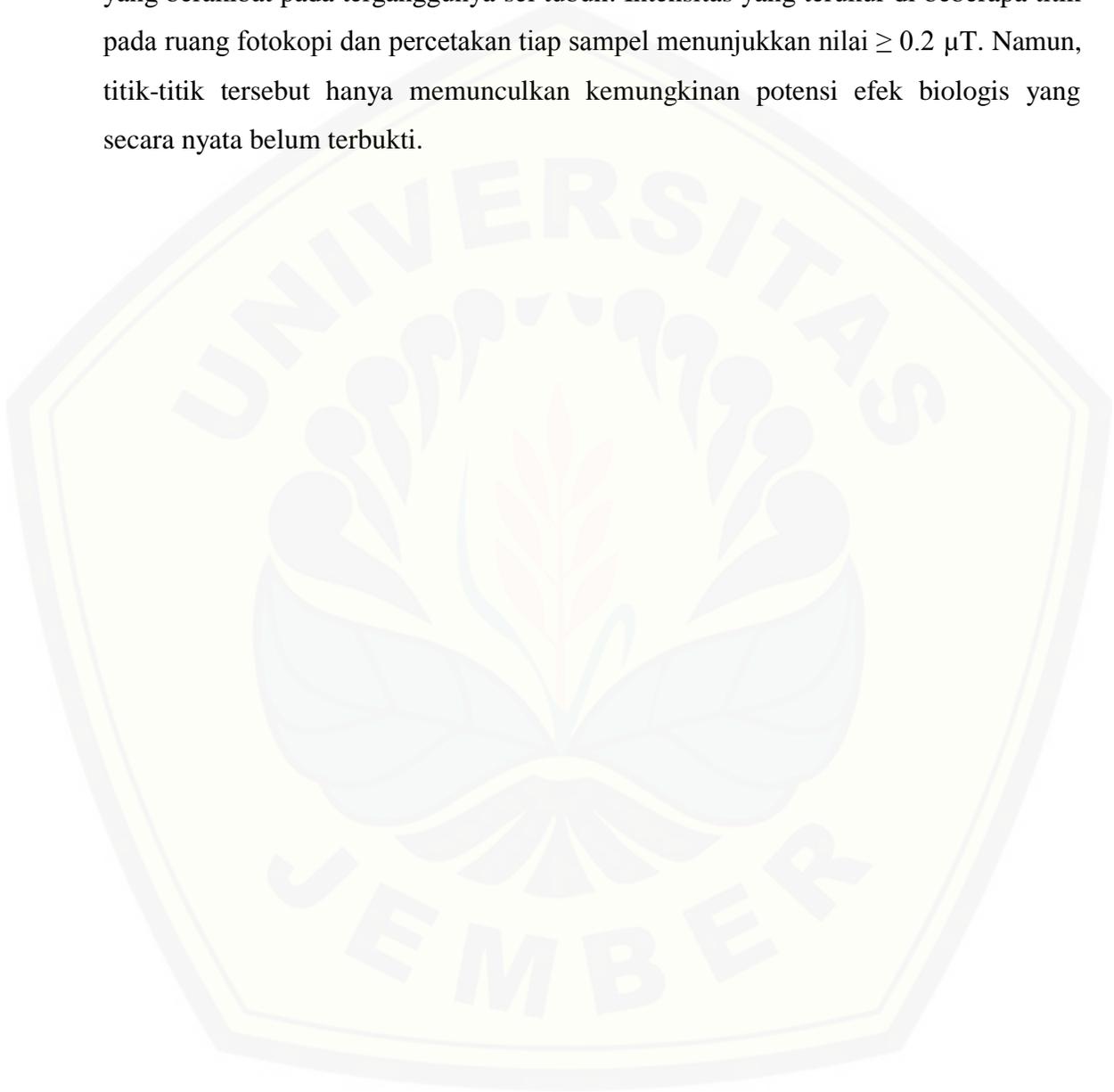
Keterangan gambar :

- a. Komputer operator
- b. Etalase
- c. Meja
- d. Mesin Fotokopi
- e. Kursi

Titik yang berpotensi menimbulkan efek biologis pada sampel ruang kerja ini terletak pada titik 7. Titik ini berada di tempat pengguna komputer operator. Intensitas medan magnet yang terukur di titik ini pada ketinggian 0.5 m sekitar 0.23 – 0.32 μT . Pada titik ini berpotensi terhadap efek biologis yang dapat mengganggu kesehatan seseorang.

Potensi efek biologis dari keseluruhan sampel ruang yang diukur menunjukkan adanya potensi efek biologis pada sampel ruang kerja percetakan dan tempat fotokopi. Sampel ruang laboratorium komputer secara keseluruhan intensitas yang terukur berada di bawah nilai ambang batas sehingga masih berada di zona aman. Berdasarkan hasil pengukuran intensitas yang terukur pada ketiga ruang

laboratorium komputer sekolah tidak menimbulkan efek biologis. Sedangkan di ruang percetakan dan fotokopi ada beberapa titik yang memungkinkan adanya efek biologis yang berakibat pada terganggunya sel tubuh. Intensitas yang terukur di beberapa titik pada ruang fotokopi dan percetakan tiap sampel menunjukkan nilai $\geq 0.2 \mu\text{T}$. Namun, titik-titik tersebut hanya memunculkan kemungkinan potensi efek biologis yang secara nyata belum terbukti.



BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

- a. Intensitas medan magnet dalam ruang kerja mengalami peningkatan akibat adanya beberapa peralatan elektronik dalam ruang kerja tersebut. Peningkatan intensitas medan magnet tersebut dapat dilihat dari perbedaan nilai intensitas alamiah yang dikur sebelum peralatan-peralatan elektronik digunakan. Rerata hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan yang berbeda untuk masing-masing tempat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan intensitas medan magnet selain keberadaan peralatan elektronik pada ruang kerja juga dipicu pengoperasian peralatan elektronik tersebut.
- b. Keseluruhan data yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan di tujuh ruang kerja menghasilkan intensitas medan magnet yang masih berada di bawah nilai ambang batas. Nilai ambang batas yang telah ditetapkan oleh badan kesehatan internasional WHO adalah sebesar 0.5 mT. Sehingga menurut nilai ambang batas tersebut intensitas medan magnet di sampel ruang kerja berada di bawah NAB yang artinya masih dalam kondisi aman dari efek biologis.
- c. Intensitas yang terukur berada di bawah NAB yang telah ditentukan namun terdapat beberapa titik yang berpotensi terhadap efek biologis

5.2 Saran

- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai potensi efek biologis yang dapat mempengaruhi para pekerja ketika bekerja dengan peralatan elektronik yang memiliki daya tinggi

- b. Pada saat memilih sampel sebaiknya ada relasi untuk mempermudah pengukuran yang melibatkan waktu dan sterilisasi ruang untuk menemukan intensitas alamiah
- c. Selain itu untuk beberapa peralatan seperti alat lem buku, mesin baner maupun mesin laminasi karyawan bisa berpindah tempat untuk mengurangi paparan radiasi ketika selesai menggunakan alat tersebut.
- d. Untuk mengurangi paparan radiasi peralatan elektronik dalam ruang kerja lebih baik peralatan dengan daya listrik yang tinggi penempatannya tidak berada di satu tempat sehingga dapat mengurangi paparan intensitas medan magnet di tempat tersebut.
- e. Untuk mengurangi paparan radiasi yang diterima oleh bekerja dapat dilakukan *rolling* penempatan bagian posisi pegawai serta pembagian *shift* kerja yang baik.
- f. Aplikasi dari penelitian ini sebaiknya dijadikan rujukan pada pembelajaran Fisika di sekolah pada materi Gelombang Elektromagnetik.

DAFTAR BACAAN

- Akadi, Mukhlis. 2000. *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. Jakarta : PT Rineka Cipta
- Alonso, Marcelo dan Edward J. Finn. 1980. *University Physics Volume II: Fields and Waves*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc. P: 442, 494, 718
- Anies, M.2007. *Mengatasi Gangguan Kesehatan Masyarakat Akibat Radiasi Elektromagnetik Dengan Manajemen Berbasis Lingkungan*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Australian Government. 2015. *Radiation Protection*. [Serial Online]. <http://www.arpana.gov.au/radiationprotection/basics/elf.cfm>. [13 Januari 2016]
- Baafai, U.S. 2004. *Polusi Dan Pengaruh Medan Elektromagnet Terhadap Kesehatan Masyarakat*. Jurnal Teknik Simetrika. Vol. 2, No.2, Agustus 2003.
- Bio Initiative Working Group. 2012. *A Rationale for Biologically-based Exposure Standards for Low-Intensity Electromagnetic Radiation*. [Serial Online]. <http://www.bioinitiative.org/> . [13 Juli 2016]
- European Commission. 2005. *Health and Electromagnetic Fields*. Luxembourg: Office for Official Publications of the Commission 8pp. ISBN 92-79-00187-6
- FDA. 2014. *Television Radiation*. [Serial Online]. <http://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/ResourcesforYouRadiationEmittingProducts/ucm252764.htm> [31 Desember 2015]
- Gabriel, J.F.1996. *Fisika Kedokteran*. Jakarta: EGC. Hal: 286
- Garip et al.2011. *Effect of Extremely Low Frequency Electromagnetics Fields on Growth Rate and Morphology of Bacteria*. *Int J Radiat. Biol*, 1(8) :1
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 2*. Jakarta : Erlangga.
- Gornick, Larry. 2005. *Kartun Fisika*. Jakarta: KPG. Hal: 149-156, 117-122
- Government of Canada. 2012. *Electric And Magnetic Fields From Power Lines And Electrical Appliances*. [Serial Online]. <http://healthycanadians.gc.ca/healthy->

living-vie-saine/environnement-environnement/home-maison/emf-cem-eng.php [12 Januari 2016].

Halliday, Resnick and Krane. 1994. *Physics 4th Edition Volume 2*. Singapore : John Willey and Sans (SEA)

Halliday, Resnick dan Walker. 2005. *Fisika Dasar Edisi Ketujuh Jilid 2*. Jakarta : Erlangga

Hasan, Iqbal. 2004. *Analisis Data Penelitian dengan Statistik*. Jakarta : PT Bumi Aksara.

Hewitt, Paul G. 2008. *Conceptual Physics Fundamental*. San Fransisco : Pearson Education Inc.

IARC.2002. *Non-ionizing radiation, Part 1, Static and extremely low-frequency (ELF)electric and magnetic fields/IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. France : IARC Press

ICNIRP. 2009. *ICNIRP Guidelines on Limits Of Static Magnetic Fields*. Health Physics, 96(4): 504-514

Ishaq, Mohamad. 2007. *Fisika Dasar Elektisitas dan Magnetisme. Edisi Pertama*. Yogyakarta : Graha Ilmu

Jackson, R.A. 1998. *Introduction To Alternating Current And Transformers*. USA: NAVAL Education And Training Professional Development And Techonology Center

Kulkarni, Girish A & Gandhare, Wamanrao Z. 2014. *Effect of Extremely Low Frequency Electromagnetic Field on Brain Activity*. DOI: 10.5455/ijmsph.2014.080520141 : 904

Lennart Hardell & Cindy Sage. 2007. *Biological Effects From Electromagnetic Field Exposure And Public Exposure Standards*. Biomedicine & Pharmacotherapy 62 (2008) 104-109

Minder et al. 2001. *Leukemia, Brain Tumors, and Exposure to Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields in Swiss Railway Employees*. American Journal of Epidemiology 2001 ; 825

- Ministry of Health, 2013. *Electric and Magnetic Fields and Your Health 2013 Edition*. Wellington : Ministry of Health
- Muchtaruddin, M. 1998. *Dampak Medan Elektromagnetik Terhadap Kesehatan*. Majalah Kedokteran Indonesia. 48:7-264
- Nawawi dan Martini. 1996. *Penelitian Terapan*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Nortbert leitgeb. 2014. *Childhood Leukemia Not Linked with ELF Magnetic Fields*. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications* 2014, 6, 174-183
Published Online June 2014 in SciRes.
- OSHA. 2010. *Extremely Low Frequency (ELF) Radiation*. [Serial Online]. <https://www.osha.gov/SLTC/elfradiation/> [3 Februari 2016]
- Plante, Michel. 2011. *The Power System and Health Electric and Magnetic Fields*. Library and Archives Canada : Hydro-Quebe ISBN 978-2-550-63334-1
- Samuelsson, A. 2015. *Bioelectromagnetics For Improved Crop Productivity*. Swedia: Swedish University of Agricultural Sciene
- SCENIHR. 2015. *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*. Luxembourg : European Commission 2015
- Serway, R. a. & Jewett, J. W. 2004. *Physics for Scientists and Engineers 6th Edition*. Pomona : Thomson Brooks/cole
- Simko M. 2004. *Induction of cell activation processes by low frequency electromagnetic fields*. Scientific World Journal 4(2):4–22.
- Shimizu H and Suzuki Y. 1995. *Biological Effect of Electromagnetics Field*. Nippon Eiseigaku Zasshi.
- Soedoyo, Peter. 2000. *Fisika Dasar*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Subekti, dkk. 2003. *Fisika Biologi dan Kesehatan*. Jember : FMIPA Universitas Jember
- Sudarti. 2013. *Analisis Faktor Penyebab Timbulnya Keluhan Kesehatan Masyarakat Di Sekitar Sutet-500 KV*. Seminar Nasional Mipa Dan Pmipa 31 Maret 2013 FKIP Universitas Jember.

- Sutrisno. 1979. *Fisika Dasar Listrik, Magnet dan Termofisika*. Bandung : ITB Bandung
- Swerdlow, A.J. *et al.* 2008. *Static Magnetic Field*. London : The Health Protection Agency
- Tipler, Paul A. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta : Erlangga
- Tribuana, Ir. Nana. 2000. *Pengukuran Medan Listrik dan Medan Magnet di bawah SUTET 500kV*. [Serial Online] Nomor 32, Tahun VI, Agustus 2000. <http://elektroindonesia.com/elektro/ener32a.html> [2 Februari 2016]
- Walleczek, J. 1991. *Electromagnetic Field Effects on Cells of the Immune System : The Role of Calcium Signalling*. California : University Of California
- WHO. 2007. *Electromagnetic Field and Public Health*. [Serial Online]. <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs322/en/> [24 Januari 2016]
- WHO. 2016. *Electromagnetic Field (EMF)*. [Serial Online]. <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html> [17 April 2016]
- Young, 2012. *College Physics 9th Edition*. San Fransisco : Pearson Education, Inc

LAMPIRAN A. MATRIK PENELITIAN

MATRIK PENELITIAN

NAMA : NURUL HIDAYAH

NIM : 120210102100

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Metode Penelitian	Referensi
Analisis Intensitas Medan Magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF) di Ruang Kerja	a.Apakah intensitas medan magnet ELF di ruang kerja meningkat oleh peralatan listrik? b.Apakah intensitas medan magnet ELF di ruang kerja lebih besar dari pada nilai ambang	Penelitian ini menggunakan variabel besar intensitas medan magnet yang terukur di ruang kerja.	- Intensitas medan magnet - ruang kerja objek penelitian	1. Sumber data berasal dari data primer yakni diperoleh dengan melakukan penelitian lapang. 2. Data sekunder diperoleh dengan mengkaji data dan informasi dari buku maupun sumber-sumber lain terkait batas	1. Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif 2. Penentuan lokasi dilakukan dengan purposive sampling 3. Metode pengumpulan data dilakukan dengan observasi lapangan	1. Dewi I.A & Wulan. A.J. 2015. Efek Paparan Gelombang Elektromagnetik Handphone terhadap Kadar Glukosa Darah.

	batas paparan? c. Apakah paparan medan magnet di ruang kerja berpotensi menimbulkan efek biologis?			paparan yang dianjurkan		Majority Volume 4 Nomor 7 Juni 2015: 31 2. Athena, dkk. Kuat Medan Magnet Pada Peralatan Rumah Tangga Dan Kantor. 2000. Bul. Penelit. Kesehatan. 27
--	---	--	--	-------------------------	--	--

						<p>(1) 1999/2 000</p> <p>3. Vesna Ranković and Jasna Radulović. 2009. Environmental Pollution by Electric Field Around Power Lines. International Journal for Quality Research UDK-</p>
--	--	--	--	--	--	---

						378.01 4.3(497 .11) Short Scienti fic Paper (1.03)
						4. Akadi, Mukhli s. 2000. <i>Dasar- Dasar Proteks i Radiasi</i> . Jakarta : PT Rineka Cipta
						5. Gianco li, Dougl s C. 2001. <i>Fisika</i>

						<p><i>Edisi Kelima Jilid 2. Jakarta : Erlang ga.</i></p> <p>6. Hallida y, Resnic k⁴ l Walker . 2005. <i>Fisika Dasar Edisi Ketuju h Jilid 2. Jakarta : Erlang ga</i></p>
--	--	--	--	--	--	---

LAMPIRAN B. HASIL PENELITIAN

a. Hasil Penelitian SMP Negeri 7 Jember

Posisi	MM Pukul 08.00 (μT)				MM pukul 08.45 (μT)				MM Pukul 9.30 (μT)				Ket
	0.5m	1m	1.5m	T($^{\circ}\text{C}$)	0.5m	1m	1.5m	T($^{\circ}\text{C}$)	0.5m	1m	1.5m	T($^{\circ}\text{C}$)	
1	0.06	0.05	0.05	28	0.06	0.05	0.05	28	0.06	0.07	0.06	28	Intensi tas awal 0.02 μT
2	0.07	0.06	0.06		0.06	0.08	0.06		0.07	0.06	0.06		
3	0.06	0.07	0.06		0.06	0.06	0.05		0.06	0.06	0.06		
4	0.06	0.06	0.06		0.06	0.06	0.06		0.07	0.06	0.06		
5	0.06	0.06	0.06		0.07	0.06	0.06		0.06	0.06	0.06		
6	0.08	0.07	0.07		0.07	0.06	0.06		0.07	0.06	0.06		
7	0.08	0.08	0.07		0.08	0.08	0.08		0.09	0.08	0.08		
8	0.08	0.08	0.07		0.08	0.08	0.08		0.09	0.08	0.08		
9	0.08	0.07	0.07		0.07	0.07	0.07		0.08	0.07	0.07		
10	0.07	0.07	0.07		0.09	0.07	0.06		0.08	0.07	0.06		
11	0.08	0.08	0.07		0.09	0.08	0.08		0.08	0.09	0.08		
12	0.08	0.07	0.07		0.08	0.08	0.07		0.09	0.08	0.08		
13	0.08	0.08	0.08		0.08	0.08	0.08		0.09	0.08	0.08		
14	0.07	0.07	0.06		0.09	0.08	0.06		0.08	0.08	0.06		
15	0.12	0.11	0.11		0.12	0.11	0.11		0.12	0.11	0.1		
16	0.11	0.1	0.1		0.12	0.11	0.11		0.12	0.11	0.11		
17	0.09	0.09	0.08		0.1	0.1	0.09		0.1	0.1	0.09		
18	0.07	0.07	0.06		0.08	0.07	0.06		0.07	0.07	0.06		
19	0.06	0.06	0.06		0.1	0.07	0.06		0.1	0.07	0.06		
20	0.07	0.06	0.05		0.06	0.06	0.05		0.07	0.06	0.05		

b. SMA Muhammadiyah 3 Jember

Posisi	MM Pukul 08.00 (μT)				MM pukul 08.45 (μT)				MM Pukul 9.30 (μT)				Ket
	0.5m	1m	1.5m	T($^{\circ}\text{C}$)	0.5m	1m	1.5m	T($^{\circ}\text{C}$)	0.5m	1m	1.5m	T($^{\circ}\text{C}$)	
1	0.01	0.01	0.01	28.5	0.01	0.01	0.01	28	0.01	0.01	0.01	28	Intensi tas awal 0.01 μT
2	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01		
3	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01		
4	0.02	0.02	0.01		0.02	0.02	0.01		0.02	0.02	0.01		
5	0.03	0.03	0.02		0.03	0.03	0.02		0.03	0.03	0.02		
6	0.04	0.02	0.02		0.06	0.04	0.02		0.06	0.04	0.02		
7	0.06	0.05	0.02		0.04	0.03	0.05		0.06	0.05	0.05		
8	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01		
9	0.01	0.01	0.01		0.02	0.01	0.01		0.03	0.01	0.01		

10	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
11	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
12	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
13	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
14	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
15	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01
16	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
17	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
19	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
20	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01

c. SMP NURIS Jember

Posisi	MM Pukul 08.00 (μT)				MM pukul 08.45 (μT)				MM Pukul 9.30 (μT)				Ket	
	0.5m	1m	1.5m	T($^{\circ}\text{C}$)	0.5m	1m	1.5m	T($^{\circ}\text{C}$)	0.5m	1m	1.5m	T($^{\circ}\text{C}$)		
1	0.03	0.03	0.02	28	0.04	0.03	0.02	28	0.03	0.03	0.03	28,5	Intensitas awal 0.01 μT	
2	0.04	0.02	0.02		0.04	0.02	0.02		0.04	0.02	0.02			
3	0.04	0.04	0.02		0.04	0.04	0.02		0.04	0.04	0.02			
4	0.04	0.03	0.03		0.04	0.03	0.03		0.04	0.03	0.03			
5	0.04	0.04	0.02		0.04	0.04	0.02		0.04	0.04	0.02			
6	0.02	0.02	0.02		0.02	0.02	0.02		0.02	0.02	0.02			0.02
7	0.02	0.02	0.02		0.02	0.02	0.02		0.02	0.02	0.02			0.02
8	0.02	0.02	0.02		0.02	0.02	0.02		0.02	0.02	0.02			0.02
9	0.03	0.02	0.02		0.03	0.02	0.02		0.03	0.03	0.02			
10	0.04	0.03	0.02		0.04	0.03	0.02		0.04	0.04	0.03			
11	0.03	0.02	0.02		0.03	0.02	0.02		0.03	0.02	0.02			
12	0.04	0.03	0.02		0.04	0.03	0.02		0.04	0.03	0.02			
13	0.04	0.02	0.01		0.04	0.03	0.02		0.04	0.02	0.02			
14	0.02	0.01	0.01		0.02	0.01	0.01		0.03	0.01	0.01			
15	0.02	0.01	0.01		0.02	0.01	0.01		0.02	0.01	0.01			
16	0.02	0.01	0.01		0.02	0.01	0.01		0.03	0.01	0.01			
17	0.03	0.02	0.01		0.03	0.02	0.01		0.03	0.02	0.01			
18	0.02	0.02	0.01		0.02	0.02	0.01		0.02	0.02	0.01			
19	0.03	0.03	0.01		0.03	0.03	0.01		0.03	0.03	0.01			
20	0.02	0.01	0.01		0.02	0.01	0.01		0.02	0.01	0.01			

d. Bursa Mahasiswa

Posisi	MM Pukul 08.00 (μT)				MM Pukul 10.00 (μT)				MM Pukul 13.00 (μT)				Ket
	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	
1	0.03	0.18	0.03	30	0.03	0.17	0.04	30	0.03	0.18	0.03	32	Intensitas Alamiah $0.02\mu\text{T}$
	0.03	0.16	0.04		0.03	0.16	0.04		0.03	0.17	0.04		
	0.03	0.18	0.03		0.03	0.17	0.04		0.03	0.17	0.04		
2	0.10	0.99	0.02		0.10	1.71	0.03		0.16	3.43	0.07		
	0.10	1.00	0.01		0.10	1.88	0.03		0.17	3.42	0.05		
	0.10	0.99	0.02		0.10	1.75	0.03		0.18	3.45	0.04		
3	0.05	0.06	0.02		0.06	0.05	0.06		0.06	0.06	0.04		
	0.06	0.05	0.02		0.06	0.05	0.06		0.06	0.06	0.04		
	0.06	0.06	0.02		0.06	0.05	0.06		0.06	0.06	0.04		
4	0.08	0.10	0.04		0.18	0.22	0.03		0.18	0.21	0.04		
	0.09	0.11	0.03		0.18	0.22	0.03		0.18	0.21	0.03		
	0.08	0.11	0.03		0.18	0.22	0.03		0.19	0.23	0.03		
5	0.08	0.06	0.03	0.08	0.06	0.03	0.18	0.07	0.05				
	0.08	0.06	0.04	0.08	0.07	0.04	0.16	0.06	0.04				
	0.06	0.05	0.04	0.06	0.05	0.04	0.16	0.06	0.03				
6	0.05	0.11	0.03	0.05	0.13	0.02	0.04	0.36	0.02				
	0.05	0.12	0.04	0.05	0.13	0.02	0.03	0.34	0.03				
	0.06	0.11	0.03	0.05	0.13	0.02	0.03	0.33	0.03				

e. Bursa Media Grafika

Posisi	MM Pukul 08.00 (μT)				MM Pukul 10.00 (μT)				MM Pukul 13.00 (μT)				Ket
	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	
1	0.03	0.06	0.02	27	0.06	0.04	0.04	31	8.20	1.35	0.04	31	Intensitas Alamiah $0.01\mu\text{T}$
	0.03	0.06	0.02		0.06	0.04	0.05		4.40	0.45	0.03		
	0.03	0.06	0.02		0.06	0.04	0.04		4.38	0.87	0.03		
2	0.03	0.05	0.03		0.04	0.03	0.02		0.04	0.02	0.03		
	0.02	0.04	0.02		0.04	0.03	0.02		0.04	0.02	0.02		
	0.03	0.03	0.02		0.04	0.02	0.03		0.04	0.02	0.02		
3	0.34	0.13	0.03		0.05	0.08	0.05		0.20	0.14	0.09		
	0.24	0.09	0.04		0.06	0.08	0.04		0.15	0.13	0.08		
	0.34	0.06	0.05		0.05	0.06	0.04		0.14	0.14	0.07		
4	0.07	0.07	0.03		0.12	0.04	0.02		0.07	0.07	0.06		
	0.04	0.05	0.02		0.09	0.03	0.03		0.06	0.04	0.05		
	0.03	0.04	0.03		0.05	0.03	0.03		0.05	0.06	0.03		

f. SEP 3

Posisi	MM Pukul 08.00 (μT)				MM Pukul 10.00 (μT)				MM Pukul 13.00 (μT)				Ket
	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	
1	0.12	0.08	0.02	28	0.15	0.73	0.04	30	0.13	1.05	0.02	31	Intensitas Alamiah $0.01\mu\text{T}$
	0.12	0.07	0.02		0.12	0.65	0.04		0.13	1.05	0.03		
	0.13	0.08	0.02		0.13	0.66	0.03		0.13	1.03	0.02		
2	0.02	0.04	0.03		0.02	0.02	0.04		0.46	0.17	0.06		
	0.03	0.02	0.02		0.02	0.02	0.04		0.45	0.17	0.06		
	0.02	0.03	0.02		0.03	0.02	0.05		0.45	0.16	0.06		
3	0.09	0.08	0.05		0.11	0.10	0.12		0.03	0.04	0.09		
	0.07	0.09	0.06		0.11	0.11	0.13		0.02	0.04	0.10		
	0.06	0.10	0.05		0.11	0.13	0.12		0.03	0.04	0.09		
4	0.08	0.06	0.03		0.02	0.02	0.07		0.04	0.01	0.02		
	0.07	0.05	0.02		0.02	0.02	0.06		0.04	0.02	0.02		
	0.06	0.04	0.02		0.01	0.02	0.05		0.03	0.02	0.02		
5	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02				
	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03				
	0.03	0.05	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04				
6	0.17	0.85	0.04	0.17	0.85	0.03	0.17	0.86	0.04				
	0.17	0.84	0.04	0.18	0.86	0.04	0.18	0.85	0.04				
	0.17	0.85	0.03	0.18	0.85	0.04	0.17	0.84	0.04				

g. SEP 4

Posisi	MM Pukul 08.00 (μT)				MM Pukul 10.00 (μT)				MM Pukul 13.00 (μT)				Ket
	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	0.5 m	1 m	1.5 m	T ($^{\circ}\text{C}$)	
1	0.04	0.04	0.04	27	0.05	0.04	0.03	29	0.03	0.05	0.03	31	Intensitas Alamiah $0.02\mu\text{T}$
	0.03	0.03	0.03		0.04	0.04	0.03		0.05	0.05	0.04		
	0.05	0.03	0.03		0.03	0.04	0.05		0.05	0.05	0.05		
2	0.15	0.15	0.04		0.03	0.16	0.03		0.04	0.17	0.04		
	0.16	0.16	0.03		0.03	0.15	0.02		0.04	0.18	0.03		
	0.17	0.15	0.03		0.03	0.16	0.02		0.04	0.17	0.03		
3	0.15	0.08	0.05		0.13	0.07	0.09		0.16	0.08	0.04		
	0.16	0.07	0.06		0.13	0.08	0.08		0.17	0.07	0.06		
	0.16	0.07	0.06		0.12	0.07	0.07		0.17	0.08	0.06		
4	0.08	0.08	0.06		0.08	0.07	0.06		0.09	0.07	0.07		
	0.07	0.07	0.06		0.08	0.07	0.06		0.08	0.06	0.07		
	0.07	0.06	0.05		0.09	0.07	0.06		0.09	0.06	0.07		
5	0.08	0.07	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06				
	0.06	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.08	0.06	0.05				
	0.05	0.05	0.05	0.07	0.06	0.04	0.07	0.06	0.05				

6	0.09	0.08	0.04		0.13	0.09	0.05		0.16	0.09	0.06		
	0.08	0.06	0.04		0.14	0.07	0.04		0.16	0.08	0.05		
	0.07	0.05	0.04		0.13	0.07	0.04		0.14	0.09	0.04		
7	0.28	0.18	0.05		0.26	0.09	0.06		0.32	0.13	0.09		
	0.26	0.16	0.06		0.25	0.09	0.05		0.31	0.12	0.09		
	0.23	0.16	0.06		0.26	0.09	0.05		0.31	0.13	0.09		



LAMPIRAN C. FOTO KEGIATAN PENELITIAN

a. SMP Negeri 7 Jember



b. SMA Muhammadiyah 3 Jember



c. SMP NURIS Jember



d. Bursa Mahasiswa



e. Bursa Media Grafika



f. Setengah Enam Pagi (SEP) 3



g. Setengah Enam Pagi (SEP) 4

