



**ANALISIS MEDAN MAGNET ELF DI SEKITAR SALURAN UDARA
TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET) 500 KV
DI KABUPATEN PASURUAN**

SKRIPSI

Oleh
Rio Dermawan
NIM 140210102010

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN IPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS MEDAN MAGNET ELF DI SEKITAR SALURAN UDARA
TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET) 500 KV
DI KABUPATEN PASURUAN**

SKRIPSI

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

Oleh

**Rio Dermawan
NIM 140210102010**

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

2018

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ayahandaku Kukuh dan Ibundaku Utami yang tercinta, Serta kakakku Andi Iswanto dengan seluruh keluarga besarku, 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 hingga perguruan tinggi, yang telah memberikan ilmu, membimbing dengan kesabaran dan keikhlasan hati;
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

MOTO

Katakanlah (Muhammad), “Tidaklah sama yang buruk dengan yang baik, meskipun banyaknya keburukan itu menarik hatimu, maka bertaqwalah kepada Allah wahai orang-orang yang mempunyai akal sehat, agar kamu beruntung”.

(terjemahan Surat *Al-Maidah* ayat 100)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rio Dermawan

NIM : 140210102010

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Medan Magnet ELF di Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV di Kabupaten Pasuruan” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 25 April 2018

Rio Dermawan
NIM 140210102010

SKRIPSI

**ANALISIS MEDAN MAGNET ELF DI SALURAN UDARA
TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET)
DI KABUPATEN PASURUAN**

Oleh

Rio Dermawan
NIM 140210102010

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sudarti, M.Kes

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Alex Harijanto, M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Medan Magnet ELF di Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV di Kabupaten Pasuruan” karya Rio Dermawan telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 25 April 2018

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Sudarti M.kes
NIP. 196201231 198802 2 001

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

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Yushardi, S.Si, M.Si
NIP. 19650420 199512 1 001

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.
NIP 19680710 199302 1 001

Mengesahkan,
Dekan,

Prof. Drs. Dafiq, M.Sc., Ph. D.
NIP 19680802 199303 1 004

RINGKASAN

Analisis Medan Magnet di Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV di Kabupaten Pasuruan; Rio Dermawan; 140210102010; 89 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Dewasa ini dengan meningkatnya kebutuhan industri dan masyarakat akan tenaga listrik, Maka PLN mengembangkan pembangunan sarana kelistrikan di Indonesia antara lain dengan dibangunnya Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) (Didik dan Sudarti, 2000:212). Secara alamiah manusia telah terpapar medan listrik dan medan magnet, mengingat bumi itu sendiri merupakan sumber medan listrik dan medan magnet. Paparan tersebut semakin meningkat seiring dengan peningkatan pemakaian peralatan bertenaga listrik dalam kehidupan. Salah satu sumber paparan medan listrik dan medan magnet di lingkungan adalah jaringan transmisi energi listrik baik saluran udara tegangan tinggi (SUTT) maupun saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) (Sudarti, 2013:47). Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis medan magnet SUTET-500 kV di Kabupaten Pasuruan dibandingkan dengan medan magnet alamiah, menganalisis medan magnet SUTET-500 kV pada jarak lateral, Serta menganalisis medan magnet SUTET-500 kV sekitar tower. Penelitian dilaksanakan dalam tiga hari dengan adanya variasi jam pada ketiga hari tersebut. Pengukuran pertama dilakukan pada hari Sabtu tanggal 27 Januari 2018 pukul 05.00 WIB, 09.00 WIB, 12.00 WIB, 15.00 WIB dan 19.00 WIB. Sedangkan pengukuran kedua dilakukan pada hari Senin tanggal 26 Maret 2018 pukul 05.00 WIB, 09.00 WIB, 12.00 WIB, 15.00 WIB dan 19.00 WIB. Serta hari ketiga pada hari Selasa tanggal 27 Maret 2018. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan di daerah kontrol yang jauh dengan sumber medan magnet buatan menunjukkan adanya peningkatan besarnya medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) dibandingkan dengan pengukuran di sekitar Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV dengan mengukur tiap

waktu yang berbeda secara berulang-ulang. Menurut *World Health Organization* (WHO) dan *International Radiation Protection Association* (IRPA) bahwa batas ambang aman paparan medan magnet yang di perbolehkan keberadaannya tidak mempengaruhi organisme maupun efek biologis untuk umum yaitu 0,5 mT (mili tesla). Penyebab dari menurunnya besarnya medan magnet di peroleh dari semakin jauhnya titik pengukuran dengan titik sumber medan magnet yaitu Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV dan perbedaan waktu pengukuran yang menjadikan besarnya medan magnet berbeda-beda. Apabila dibandingkan medan magnet jarak lateral Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV dengan medan magnet alamiah maka terdapat perbedaan yang signifikan. Dapat dilihat dari grafik bahwa besarnya medan magnet yang diukur menunjukkan nilai yang tinggi pada titik pengukuran tepat di bawah SUTET-500 kV dengan waktu 19.00 WIB, Pada pengukuran sekitar tower terlihat bahwa pada posisi utara dan posisi selatan dari tower rata-rata besarnya medan magnet, Bahwa semakin jauh jarak dengan tower maka akan semakin kecil nilai rata-rata besarnya medan magnet, Akan tetapi pada posisi barat tower dan timur tower nilai rata-rata besarnya medan magnet apabila semakin jauh jaraknya maka nilai besarnya medan magnet mengalami peningkatan, karena pada posisi barat dan timur tower letak peneliti tepat di bawah kawat penghantar, pada posisi ini kawat penghantar mengalami pemuaiian yang menyebabkan andongan semakin kendor ke bawah sehingga jarak alat ukur dengan kawat penghantar semakin dekat maka akan mengasilkan nilai medan magnet yang bertambah besar sampai titik maksimal di tengah-tengah di antara 2 tower SUTET-500 kV namun hal tersebut masih di bawah ambang batas rekomendasi dari WHO dan IRPA yaitu dengan radiasi sebesar 0,5 mili Tesla (mT)

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Medan Magnet ELF di Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV di Kabupaten Pasuruan”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

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

1. Rektor Universitas Jember;
2. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Ketua Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Ketua Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
5. Dr. Sudarti, M.Kes. selaku Dosen Pembimbing Utama, Drs. Alex Harijanto, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota, Dr. Yushardi, S.Si, M.Si. selaku Dosen Penguji Utama, dan Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Prof. Indrawati, M.Pd dan Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
7. Keluarga besar Yuda Wardani Suwito yang telah membantu dan memberikan tepat penginapan selama pengambilan data di lokasi penelitian Kabupaten Pasuruan;
8. Alfi Firman Syah dan Yuda Wardani Suwito yang telah membantu dalam pengambilan data di lokasi penelitian

9. Muh. Ihsan Sholeh, Wawan Juliyanto, Qorifa Damayanti dan Seluruh teman-teman seperjuangan S1 Pendidikan Fisika 2014 yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi;
10. Bapak Hendri, Umik, Galih, Ofid, Risdid, Bayu, Arul, Idham, Yuda, Alfi, Wawan, Ihsan, Afif, Bima, Rizal, Elphas dan seluruh warga Kost Wisma Kartika Puspa;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 25 April 2018

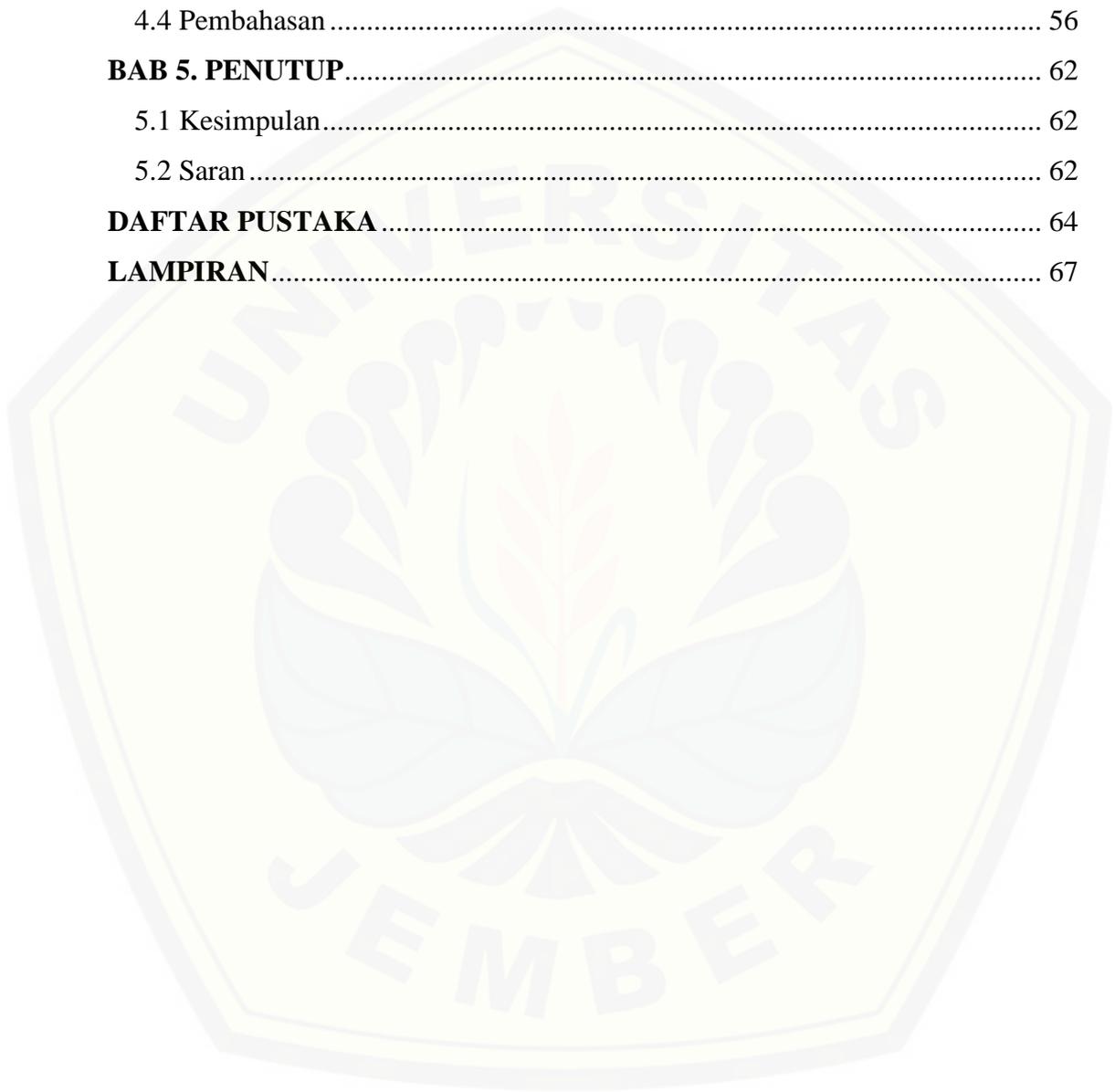
Penulis,

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Gelombang Elektromagnetik.....	6
2.1.1 Pengertian Gelombang Elektromagnetik.....	6
2.1.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik Berdasarkan Frekuensinya.....	7
2.2 Medan Magnet di Sekitar Kawat Berarus	9
2.3 Teori Maxwell	12
2.4 Persamaan Gelombang Elektromagnetik	16
2.5 Energi dalam Gelombang Elektromagnetik dan Vektor Poynting	18
2.6 Medan Elektromagnetik	19
2.6.1 Medan Listrik	19

2.6.2 Medan Magnet.....	19
2.7 Gelombang Elektromagnetik <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF).....	20
2.7.1 Karakteristik Medan Magnet ELF.....	21
2.7.2 Sumber Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet ELF.....	22
2.8 Batas Ambang Radiasi Medan Listrik dan Medan Magnet ELF	24
2.9 Medan Listrik dan Medan Magnet di Sekitar Arus AC	25
2.10 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)	26
2.10.1 Tower SUTET 500 KV	27
2.11 Hasil Penelitian Medan Magnet dan Dampak Radiasi	29
BAB 3. METODE PENELITIAN	31
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.2 Jenis Penelitian	31
3.3 Variabel Penelitian	31
3.3.1 Klasifikasi Variabel Penelitian	31
3.3.2 Definisi Operasional Variabel Penelitian	32
3.4 Populasi dan Sampel Penelitian	32
3.4.1 Populasi Penelitian	32
3.4.2 Sampel Penelitian	32
3.5 Metode Pengambilan Data	32
3.5.1 Alat Ukur <i>Electromagnetic Radiation Tester</i> (EMR Tester)	32
3.5.2 Penentuan Titik Pengukuran Medan	34
3.6 Prosedur Penelitian.....	34
3.6.1 Observasi	34
3.6.2 Penentuan Titik Pengukuran	34
3.6.3 Pengambilan Data.....	35
3.6.4 Analisis Data	36
3.6.5 Pembahasan	36
3.6.6 Kesimpulan.....	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Pola distribusi medan magnet alamiah terhadap waktu di daerah kontrol..	37

4.2 Pola distribusi medan magnet pada jarak lateral saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV	38
4.3 Pola distribusi medan magnet di sekitar tower saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV	47
4.4 Pembahasan	56
BAB 5. PENUTUP	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	67



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan medan listrik dan medan magnet.....	20
Tabel 2. 2 Pedoman radiasi oleh ICNIRP	24
Tabel 2. 3 Paparan maksimum medan elektromagnetik	25
Tabel 2. 4 Hasil penelitian sebelumnya	29
Tabel 4. 1 Rerata medan magnet alamiah	37
Tabel 4. 2 Rerata medan magnet jarak lateral jam 05.00 WIB	39
Tabel 4. 3 Rerata medan magnet jarak lateral jam 09.00 WIB	40
Tabel 4. 4 Rerata medan magnet jarak lateral jam 12.00 WIB	42
Tabel 4. 5 Rerata medan magnet jarak lateral jam 15.00 WIB	43
Tabel 4. 6 Rerata medan magnet jarak lateral jam 19.00 WIB	45
Tabel 4. 7 Rerata medan magnet sekitar tower jam 05.00 WIB	47
Tabel 4. 8 Rerata medan magnet sekitar tower jam 09.00 WIB	49
Tabel 4. 9 Rerata medan magnet sekitar tower jam 12.00 WIB	50
Tabel 4. 10 Rerata medan magnet sekitar tower jam 15.00 WIB	52
Tabel 4. 11 Rerata medan magnet sekitar tower jam 19.00 WIB	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Medan magnet dan medan listrik yang membentuk gelombang elektromagnetik (sumber: kajianpustaka.com). 6

Gambar 2. 2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik (sumber: Sumber : <http://pertiwi-hahaha.blogspot.co.id/2014/08/gelombang-elektromagnetik.html>). 7

Gambar 2. 3 Menentukan kuat medan magnet yang di hasilkan oleh elemen kawat (Sumber: Abdullah, 2006). 9

Gambar 2. 4 Menentukan kuat medan yang dihasilkan oleh elemen kawat lurus panjang (Sumber: Abdullah, 2006). 10

Gambar 2. 5 Menentukan kuat medan yang dihasilkan oleh elemen kawat lurus panjang (Sumber: Abdullah, 2006). 10

Gambar 2. 6 Kekuatan medan magnet di permukaan bumi (Swerdlow, 2008:9)..23

Gambar 2. 7 Tower SUTET 500 KV sirkuit tunggal (PT.PLN(PERSERO):46)...27

Gambar 2. 8 Tower SUTET 500 KV sirkuit ganda (PT.PLN(PERSERO):47).....28

Gambar 3. 1 EMR *tester* Benetech GM 3120 (Sumber:<http://www.indiamart.com/proddetail/digital-radiation-meters-8984743312.html>).33

Gambar 3. 2 Ilustrasi titik pengukuran di SUTET 500 KV (Sumber:curvetube.com)..... 35

Gambar 3. 3 Bagan Prosedur Penelitian 36

Gambar 4. 1 Pola distribusi medan magnet alamiah pada lokasi lapangan Universitas Jember..... 37

Gambar 4. 2 Pola Distribusi medan magnet jarak lateral jam 05.00 WIB 39

Gambar 4. 3 Pola Distribusi medan magnet jarak lateral jam 09.00 WIB 41

Gambar 4. 4 Pola Distribusi medan magnet jarak lateral jam 12.00 WIB 42

Gambar 4. 5 Pola Distribusi medan magnet jarak lateral jam 15.00 WIB 44

Gambar 4. 6 Pola Distribusi medan magnet jarak lateral jam 19.00 WIB 45

Gambar 4. 7 Pola Distribusi medan magnet jarak lateral SUTET-500 kV 46

Gambar 4. 8 Pola Distribusi medan magnet sekitar tower jam 05.00 WIB 48

Gambar 4. 9 Pola Distribusi medan magnet sekitar tower jam 09.00 WIB	49
Gambar 4. 10 Pola Distribusi medan magnet sekitar tower jam 12.00 WIB	51
Gambar 4. 11 Pola Distribusi medan magnet sekitar tower jam 15.00 WIB	52
Gambar 4. 12 Pola Distribusi medan magnet sekitar tower jam 19.00 WIB	54
Gambar 4. 13 Pola Distribusi medan magnet sekitar tower.....	55



DAFTAR LAMPIRAN

Matrik Penelitian.....	67
Foto Penelitian.....	69
Data Hasil Pengukuran.....	71



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini dengan meningkatnya kebutuhan industri dan masyarakat akan tenaga listrik, Maka PLN mengembangkan pembangunan sarana kelistrikan di Indonesia antara lain dengan dibangunnya Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) (Didik dan Sudarti, 2000:212). Secara alamiah manusia telah terpapar medan listrik dan medan magnet, mengingat bumi itu sendiri merupakan sumber medan listrik dan medan magnet. Paparan tersebut semakin meningkat seiring dengan peningkatan pemakaian peralatan bertenaga listrik dalam kehidupan. Salah satu sumber paparan medan listrik dan medan magnet di lingkungan adalah jaringan transmisi energi listrik baik saluran udara tegangan tinggi (SUTT) maupun saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) (Sudarti, 2013:47).

Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari Generator Station/ Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Dimana tujuannya adalah agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan mendasar dalam pembangunan SUTET ialah konstruksi tiang (tower) yang besar dan tinggi, memerlukan tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga memerlukan biaya besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET adalah masalah kesehatan yang sering di keluhkan masyarakat yang tinggal disekitarnya. Bahwa keberadaan SUTET-500 kV terbukti dapat meningkatkan Intensitas paparan medan listrik dan medan magnet ELF di lingkungan. Peningkatan intensitas paparan medan listrik ELF di wilayah sekitar SUTET-500 kV mencapai 21 kali lebih tinggi dibandingkan wilayah kontrol, sementara peningkatan intensitas medan magnet ELF (*Electromagnetic Low Frequency*) mencapai 9 kali lebih besar, namun masih berada di bawah nilai ambang batas paparan yang diperkenankan WHO (Sudarti, 2013:51).

Banyak kalangan mengklaim bahwa gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh saluran transmisi dapat mengganggu kesehatan pengguna dan orang-orang yang berdiri di sekitarnya. Anggapan ini dibenarkan oleh para ahli bidang telekomunikasi, namun tidak sedikit pula bantahan-bantahan oleh beberapa pihak yang menyangkal sebaliknya (Swamardika, 2009:106). Awal tahun 2006 merupakan puncak akumulasi protes yang dilakukan oleh masyarakat yang bertempat tinggal di bawah SUTET. Berbagai bentuk protes, mulai dari demo, aksi mogok makan, menjahit mulut, sampai ancaman untuk merobohkan tower SUTET dilakukan untuk menuntut ganti rugi lahan tempat tinggal mereka yang dilintasi SUTET (Anies, 2007:6). Sampai sekarang masyarakat masih khawatir tinggal dibawah Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV. Ketakutan ini tampaknya berawal dari pernyataan ahli Epidemiologi bahwa SUTET dapat membangkitkan medan listrik dan medan magnet yang berpengaruh buruk terhadap kesehatan manusia. Masyarakat bahkan ada yang mengeluh pusing-pusing walaupun belum dapat dibuktikan penyebabnya. Kehadiran medan listrik dan medan magnet di sekitar kehidupan manusia tidak dapat dirasakan oleh indera manusia, kecuali jika intensitasnya cukup besar dan terasa hanya bagi orang yang hipersensitif saja. Medan listrik dan medan magnet termasuk kelompok radiasi non-pengion. Radiasi ini relatif tidak berbahaya, berbeda sama sekali dengan radiasi jenis pengion seperti radiasi nuklir atau radiasi sinar rontgen.

Kekhawatiran akan pengaruh buruk medan listrik dan medan magnet terhadap kesehatan dipicu oleh publikasi hasil penelitian yang dilakukan oleh Wertheimer dan Leeper (1979) di Amerika. Penelitian tersebut menggambarkan adanya hubungan kenaikan risiko kematian akibat kanker pada anak dengan jarak tempat tinggal yang dekat jaringan transmisi listrik tegangan tinggi. Banyak ahli yang meragukan hasil penelitian tersebut dengan menunjuk berbagai kelemahannya, antara lain tidak adanya data hasil pengukuran kuat medan listrik dan medan magnet yang mengenai kelompok anak-anak yang diteliti. Koreksi yang dilakukan oleh peneliti lainnya seperti yang dilakukan oleh Savitz dan kawan-kawan serta temuan studi Fulton dan kawan-kawan, ternyata hubungan tersebut tidak ada. Hasil penelitian dengan metoda yang lebih disempurnakan

pernah dilakukan oleh Maria Linett dan kawan-kawan dari National Cancer Institute – Amerika tahun 1997. Penelitian yang melibatkan lebih kurang 1200 anak ini melaporkan bahwa tidak ada hubungan antara kejadian leukemia pada anak yang terpapar medan listrik dan medan magnet dengan anak-anak yang tidak terpapar. Temuan ini mengukuhkan penolakan terhadap hasil penelitian yang dilakukan oleh Wertheimer dan Leeper tersebut.

Dapat diketahui bahwa medan magnet terbesar adalah didekat penghantar, dan semakin jauh jaraknya maka nilainya akan semakin kecil dan perubahan penurunan intensitas medan magnet di bawah saluran transmisi bukan dipengaruhi oleh jenis atap yang digunakan, melainkan hal tersebut terjadi karena pengaruh jarak pengukuran dari penghantar. Bila digunakan acuan kesehatan menurut WHO mengenai batas paparan medan elektromagnetik untuk saluran transmisi maka intensitas radiasi medan magnet di sekitar SUTT 150 kV seluler masih jauh dibawah ambang batas paparan (Yulia, 2016:69). Para ahli telah sepakat bahwa medan listrik dan medan magnet yang berasal dari jaringan listrik digolongkan sebagai frekuensi ekstrim rendah dengan konsekuensi kemampuan memindahkan energi sangat kecil, sehingga tidak mampu mempengaruhi ikatan kimia pembentuk sel-sel tubuh manusia. Disamping itu sel tubuh manusia mempunyai kuat medan listrik sekitar 10 juta Volt/m yang jauh lebih kuat dari medan listrik luar. Medan listrik dan medan magnet dengan frekuensi ekstrim rendah ini juga tidak mungkin menimbulkan efek panas seperti yang dapat terjadi pada efek medan elektromagnet gelombang mikro, frekuensi radio, dan frekuensi yang lebih tinggi seperti pada telepon seluler. Adanya orang yang tinggal dekat dengan jaringan transmisi listrik melaporkan keluhan-keluhan seperti sakit kepala, pusing, berdebar dan susah tidur serta kelemahan seksual adalah bersifat subyektif, karena persepsi mereka yang kurang tepat. Maka dari itu peneliti ingin melakukan “ANALISIS MEDAN LISTRIK DAN MEDAN MAGNET ELF DI SEKITAR SALURAN UDARA TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET) 500 KV DI KABUPATEN PASURUAN” untuk mengetahui ambang batas aman paparan yang dapat diterima manusia dan jarak aman pembangunan rumah penduduk.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Apakah medan magnet dibawah SUTET 500 kV lebih tinggi dibandingkan medan magnet alamiah?
- b. Bagaimana pola distribusi medan magnet pada jarak lateral oleh SUTET 500 kV?
- c. Bagaimana pola distribusi medan magnet di sekitar tower?

1.3 Batasan Masalah

Adanya batasan masalah adalah agar penelitian yang dilakukan tetap pada jalurnya

- a. Peneliti tidak melakukan penelitian terkait kesehatan yang dialami penduduk disekitar SUTET.
- b. Peneliti melakukan penelitian hanya sampai pada jarak aman pembangunan rumah penduduk tidak sampai pada tata ruang pembangunan SUTET.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis medan magnet dibawah SUTET 500 kV dengan dibandingkan medan magnet alamiah
- b. Menganalisis pola distribusi medan magnet pada jarak lateral oleh SUTET 500 kV
- c. Menganalisis pola distribusi medan magnet di sekitar tower

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

- a. Bagi peneliti adalah sebagai pengaplikasian dari ilmu yang diterima selama masa perkuliahan
- b. Bagi umum adalah untuk menambah referensi pengetahuan terkait dengan saluran udara tegangan ekstra tinggi.

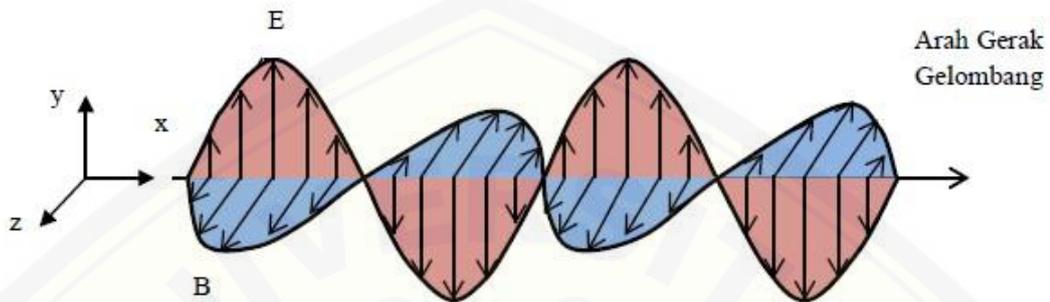
- c. Bagi kalangan mahasiswa adalah skripsi ini bisa dikembangkan kembali dengan mengetahui keluhan-keluhan baru yang di alami warga sekitar SUTET atau mengukur intensitas medan listrik dan medan magnet SUTET 500 kV.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik

2.1.1 Pengertian Gelombang Elektromagnetik



Gambar 2. 1 Medan Magnet dan Medan Listrik yang membentuk gelombang elektromagnetik (sumber: kajianpustaka.com).

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walau tidak ada mediumnya yang terdiri dari medan listrik dan medan magnet (Young, 2012:762). Medan elektromagnetik merupakan gabungan antara medan listrik dan medan magnetik. Medan listrik dihasilkan dari perbedaan pada voltase sedangkan medan magnet dihasilkan apabila arus listrik mengalir. Kekuatan medan magnetik akan berbeda dengan tenaga yang digunakan tetapi kekuatan medan listrik akan konstan (WHO, 2014).

Gambar 2.1 menunjukkan gelombang elektromagnetik polarisasi linier berjalan di arah $+x$. Medan listrik dan medan magnet berosilasi pada fase: \vec{E} adalah maksimum dimana \vec{B} adalah maksimum dan \vec{E} adalah nol dimana \vec{B} adalah nol. dimana \vec{E} di arah $+y$, \vec{B} di arah $+z$; dimana \vec{E} di arah $-y$, \vec{B} di arah $-z$. Pada semua titik hasil vektor $\vec{E} \times \vec{B}$ adalah arah dimana gelombang merambat (arah $+x$) (young dan Freedman, 2015:1060). Kuantitas medan yang dipetakan sebagai fungsi posisi \vec{E} dan \vec{B} 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. Karena gelombang elektromagnetik maka dapat merambat tanpa memerlukan medium atau dapat bergerak pada ruang hampa. Gelombang elektromagnetik

dihasilkan oleh muatan listrik yang beresilasi sehingga mengalami percepatan (Giancoli, 2014:629). Kecepatan gelombang elektromagnetik yaitu :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

Maka $\mu = \mu_0$

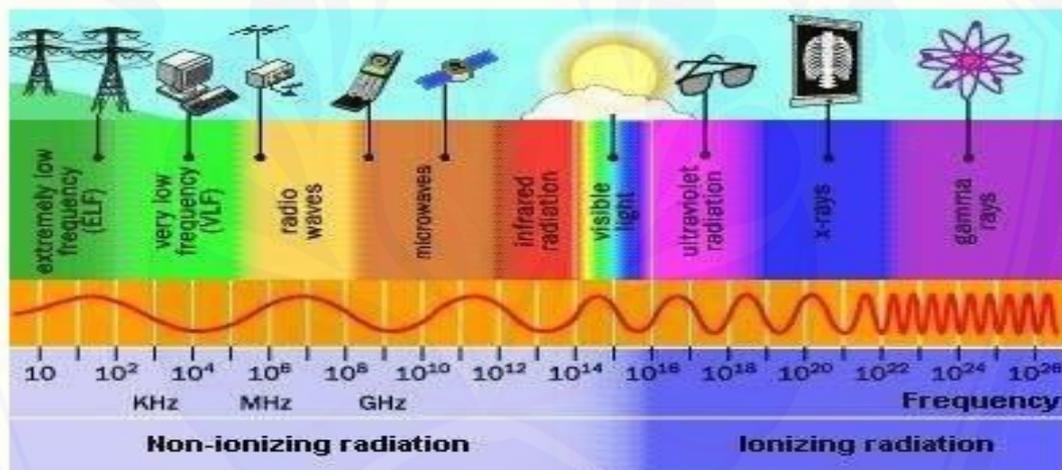
$$\epsilon = \epsilon_0$$

Sehingga $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$

$$v = \frac{1}{\sqrt{(8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2)(4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2)}}$$

$$v = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (2.1)$$

2.1.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik Berdasarkan Frekuensinya



Gambar 2. 2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik (Sumber : <http://pertiwi-hahaha.blogspot.co.id/2014/08/gelombang-elektromagnetik.html>)

Radiasi gelombang elektromagnetik memiliki frekuensi yang sangat luas, mulai dari frekuensi ekstrim rendah hingga yang sangat tinggi (Bafaai, 2004). Gelombang elektromagnetik diprediksikan oleh James Clerk Maxwell dan di konfirmasi secara eksperimental oleh Heinrich Hertz. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang melintang, karena bidang listrik dan magnetik bersilang secara tegak lurus dengan arah rambatan gelombang tersebut (Serway dan Vuille, 2007).

Menurut Alonso dan Finn (1992:319-321), Klasifikasi untuk spektrum gelombang elektromagnetik mempunyai tujuh kategori yang khas, klasifikasi ini

tidak mempunyai batas yang tegas karena sumber yang berbeda mungkin menghasilkan gelombang dalam jangkauan frekuensi yang tumpang tindih.

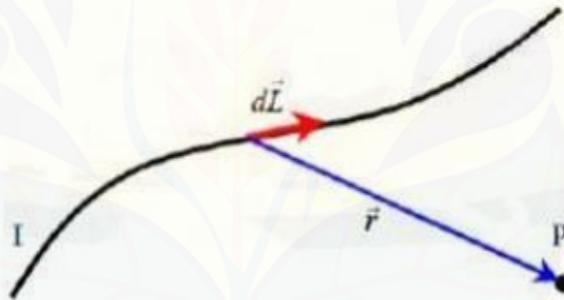
Klasifikasinya sebagai berikut:

- a. Gelombang frekuensi radio. Gelombang ini mempunyai jangkauan panjang gelombang dari beberapa kilometer turun hingga 0,3 m. Jangkauan frekuensinya dari beberapa Hz hingga 10^9 Hz. Energi foton berkisar antara hampir nol hingga 10^{-5} eV. Gelombang ini digunakan dalam siaran TV dan radio, dan dihasilkan oleh alat-alat elektronika.
- b. Gelombang mikro. Gelombang ini memiliki panjang gelombang antara 0,3 m turun hingga 10^{-3} m dengan jangkauan frekuensi dari 10^9 hingga 3×10^{11} Hz. Energi foton berkisar antara 10^{-5} eV sampai 10^{-3} eV. Gelombang ini digunakan dalam radar dan analisis struktur atom dan molekul dan juga dihasilkan oleh alat-alat elektronika.
- c. Spektrum inframerah. Daerah ini meliputi panjang gelombang dari 10^{-3} m turun hingga $7,8 \times 10^{-7}$ m. Jangkauan frekuensinya dari 3×10^{11} Hz hingga 4×10^{14} Hz dan energi foton berkisar antara 10^{-3} eV hingga 1,6 eV. Gelombang ini dihasilkan oleh molekul dan benda-benda panas dan memiliki banyak penggunaan dalam industri, obat-obatan, astronomi, dan lain lain
- d. Cahaya atau spektrum yang tampak. Spektrum yang tampak adalah suatu pita sempit yang dibentuk oleh panjang gelombang terhadap retina manusia. Pita ini memiliki panjang gelombang $7,8 \times 10^{-7}$ m turun hingga $3,8 \times 10^{-7}$ m. Jangkauan frekuensinya dari 4×10^{14} Hz hingga 8×10^{14} Hz. Energi foton berkisar dari 1,6 eV hingga 3,2 eV. Cahaya tampak ini terdiri dari 6 warna yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, dan ungu.
- e. Sinar ultra ungu (*ultraviolet*). Sinar ultra ungu memiliki panjang gelombang mencakup dari $3,8 \times 10^{-7}$ m turun hingga kira-kira 6×10^{-10} m dengan frekuensi antara 8×10^{14} Hz hingga 3×10^{17} Hz. Energi foton berkisar 3 eV hingga 2×10^3 eV.
- f. Sinar-X. Bagian spectrum ini memiliki panjang gelombang kira-kira 10^{-9} m turun hingga kira-kira 6×10^{-12} dan frekuensi antara 3×10^{17} Hz hingga 5×10^{19} Hz. Energi foton berkisar antara 2×10^3 eV hingga $2,4 \times 10^5$ eV.

- g. Sinar *gamma*. Gelombang elektromagnetik ini berasal dari inti, panjang gelombangnya bergerak dari 10^{-12} m turun hingga dibawah 10^{-14} m, dengan frekuensi dari 3×10^{19} Hz hingga lebih dari 3×10^{22} Hz. Energi foton berkisar antara 10^4 eV hingga kira-kira 10^7 eV.

2.2 Medan magnet di Sekitar Kawat Berarus

Besarnya medan magnet di sekitar arus listrik dapat ditentukan dengan hukum Biot-Savart. Sebuah kawat konduktor yang dialiri arus I dengan element kecil kawat tersebut yang panjang $d\vec{L}$. dan arah $d\vec{L}$ sama dengan arus. Elemen kawat tersebut dapat dinyatakan dengan notasi vektor, untuk menentukan medan magnet pada posisi \mathbf{P} dengan vektor posisi \vec{r} terhadap elemen kawat.



Gambar 2.3 Menentukan kuat medan magnet yang di hasilkan oleh elemen kawat (Sumber: Abdullah, 2006).

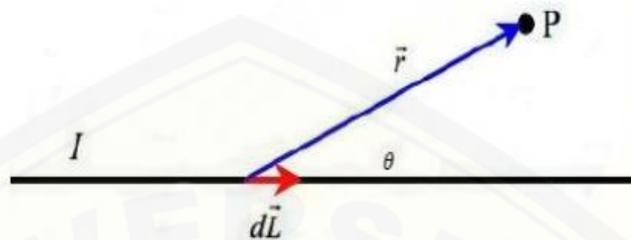
Kuat medan magnet di titik \mathbf{P} yang dihasilkan oleh $d\vec{L}$ diberikan oleh hukum Biot-Savart yakni:

$$d\vec{B} = \frac{-\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3} \quad (2.2)$$

Dengan μ_0 disebut permeabilitas magnetik vakum yakni $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$. Medan total di titik \mathbf{P} yang dihasilkan oleh kawat diperoleh dengan mengintegalkan persamaan:

$$\vec{B} = \frac{-\mu_0}{4\pi} I \int \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3} \quad (2.3)$$

Medan magnet yang dihasilkan kawat arus tak berhingga dimudahkan oleh arah vektor \vec{d}_L, \vec{r} yang selalu tetap, yaitu mengikuti arah kawat.



Gambar 2.4 Menentukan kuat medan yang dihasilkan oleh elemen kawat lurus panjang (Sumber: Abdullah, 2006).

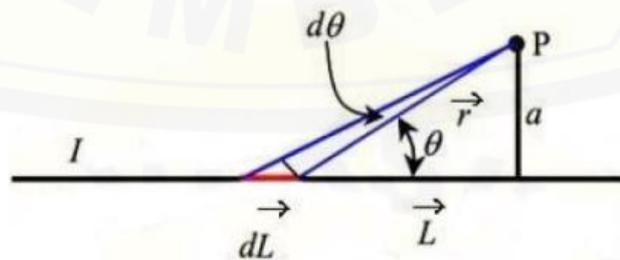
Titik **P** berjarak a pada kawat (arah tegak lurus). Dengan aturan perkalian silang maka

$$|\vec{dL} \times \vec{r}| = dL r \sin \theta \quad (2.4)$$

Dengan θ adalah sudut vektor \vec{dL} dan \vec{r} . Dengan demikian, besar medan magnet yang dihasilkan vektor \vec{dL} adalah

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\vec{dL} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\vec{dL} r \sin \theta}{r^2} \quad (2.5)$$

Persamaan 2.3, baik \vec{dL} dan \vec{r} maupun $\sin \theta$ merupakan variabel, agar integral dapat dikerjakan maka ruas kanan hanya boleh mengandung 1 variabel. Oleh karena itu, harus menyatakan 2 variabel lain ke dalam salah satu variabel saja.



Gambar 2.5 Menentukan kuat medan yang dihasilkan oleh elemen kawat lurus panjang (Sumber: Abdullah, 2006).

Berdasarkan gambar 2.5

$$\sin \theta = \frac{a}{r} \quad (2.6)$$

$$\sin^2 \theta = \frac{a^2}{r^2} \quad (2.7)$$

$$\frac{1}{a^2} \sin^2 \theta = \frac{1}{r^2} \quad (2.8)$$

Untuk \vec{L}

$$L = \frac{a}{\tan \theta} = a \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \quad (2.9)$$

Selanjutnya mencari differensial $d\vec{L}$ sebagai berikut. Dengan melakukan differensial persamaan di atas diperoleh

$$d\vec{L} = a \left[\frac{d \cos \theta}{\sin \theta} - \cos \theta \frac{d \sin \theta}{\sin^2 \theta} \right] \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} &= a \left[\frac{-\sin \theta d\theta}{\sin \theta} - \cos \theta \frac{\cos \theta d\theta}{\sin^2 \theta} \right] = a \left[1 + \frac{\cos^2 \theta}{\sin^2 \theta} \right] d\theta = -a \frac{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta}{\sin^2 \theta} d\theta \\ &= -a \frac{d\theta}{\sin^2 \theta} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Substitusi r dan $d\vec{L}$ dari persamaan ke dalam persamaan diperoleh

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{-a d\theta}{r^3} \frac{\sin^2 \theta}{a^2} \sin \theta \quad (2.12)$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\sin \theta d\theta}{a} \quad (2.13)$$

Tampak bahwa persamaan dengan variabel θ sehingga dapat diintegral. Kawat panjang tak berhingga, maka batas bawah adalah L mendekati $-\infty$ dan batas atas adalah L mendekati $+\infty$. Jika nilai $\tan \theta = \frac{a}{L}$, maka untuk L mendekati $-\infty$ diperoleh $\tan \theta = -0$ atau mendekati 180° dan maka untuk L mendekati $+\infty$ diperoleh $\tan \theta$ mendekati $+0$ atau 0° , sehingga batas bawah integral adalah 180° dan batas atas adalah 0° . Medan magnet total yang dihasilkan kawat adalah

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_{180^\circ}^{0^\circ} \sin \theta d\theta \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} &= -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} [-\cos \theta]_{180^\circ}^{0^\circ} \\ &= -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} [-1 - (+1)] \\ &= \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Keterangan: \vec{B} = medan magnetik (wb/m^2 atau T)

μ_0 = permeabilitas udara/vakum ($4\pi \times 10^{-7} TmA^{-1}$)

I = kuat arus yang melalui penghantar (A)

a = jarak titik ke penghantar (m)

2.3 Teori Maxwell

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

1. Persamaan I Maxwell

Persamaan I Maxwell (Hukum Gauss tentang medan listrik) menyatakan bahwa fluks medan listrik yang melalui sembarang permukaan tertutup sama dengan $\frac{1}{\epsilon_0}$ dikalikan dengan muatan total di dalam permukaan tersebut. Hukum ini menerangkan bagaimana muatan listrik dapat menciptakan dan mengubah medan listrik. Muatan listrik cenderung bergerak dari muatan positif ke muatan negatif. Muatan-muatan tersebut menciptakan medan listrik yang ditanggapi oleh muatan lain melalui gaya listrik. Hukum Gauss pada medan listrik dapat dinyatakan:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v \quad (2.16)$$

dimana ρ adalah nilai kerapatan dan \mathbf{D} perpindahan elektrik (Guenther, 1990: 27).

2. Persamaan II Maxwell

Persamaan II Maxwell (Hukum Gauss tentang magnetik) menyatakan bahwa fluks vektor medan magnetik dalam ruang tertutup adalah nol. maksudnya kutub-kutub utara dan selatan magnet selalu berpasangan atau muatan magnet itu tidak pernah ada. Hukum Gauss tentang magnetik dapat dinyatakan:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.17)$$

(Guenther, 1990:27).

3. Persamaan III Maxwell

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

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0 \quad (2.18)$$

(Guenther, 1990:27).

4. Persamaan IV Maxwell

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

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

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

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) \quad (2.19)$$

Dimana diasumsikan bahwa hubungan fungsional yang berdiri sendiri dari jarak dan waktu ditulis:

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad (2.20)$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (2.21)$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (2.22)$$

ϵ = konstanta dielektrik dalam satuan C/m^2 atau F/m

σ = konduktivitas (Hukum Ohm) dalam satuan Ω^{-1}

μ = permeabilitas dalam satuan Wb/Am

\mathbf{D} dan \mathbf{B} didefinisikan sebagai;

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad (2.23)$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{M} \quad (2.24)$$

Persamaan-persamaan maxwell bentuk diferensial untuk medan listrik dan medan magnetik yang berubah-ubah dengan waktu adalah

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v \quad (2.25)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.26)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.27)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) \quad (2.28)$$

(Effendi, dkk. 2007:123).

Bentuk integral dari keempat persamaan maxwel di atas untuk medan listrik dan medan magnetik yang berubah-ubah dengan waktu adalah

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = -\int \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \quad (2.29)$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{I} = \mu_0 + \mu_0 \epsilon_0 \int_S \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \quad (2.30)$$

$$\int \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \int_{V=\text{volume}} \rho_v dV \quad (2.31)$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (2.32)$$

(Effendi, dkk. 2007:123).

Di ruang hampa atau di ruang bebas, di mana terdapat perambatan gelombang datar atau gelombang bidang, persamaan Maxwell bentuk diferensialnya tanpa arus konduksi \mathbf{J} , tanpa muatan bebas ($\rho_v = 0$) dan permeabilitas $\mu = \mu_0$.

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (2.33)$$

$$\nabla \times \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} = -\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = -\epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2.34)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \epsilon_0 \nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (2.35)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = \mu_0 \nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (2.36)$$

Sisi kiri dari persamaan (2.33) menyatakan medan listrik yang diturunkan terhadap jarak mempunyai produk yang tegak lurus terhadap medan magnetik yang diturunkan terhadap waktu. Sebaliknya pada persamaan (2.34), medan magnetik yang diturunkan terhadap jarak mempunyai produk yang tegak lurus terhadap medan listrik yang diturunkan terhadap waktu. Analisis tiga dimensi dalam sistem koordinat kartesian dari persamaan (2.33) adalah

$$\nabla \times \mathbf{E} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) \mathbf{a}_x + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \mathbf{a}_y + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) \mathbf{a}_z \quad (2.37)$$

$$= -\mu_0 \frac{\partial H_x}{\partial t} \mathbf{a}_x - \mu_0 \frac{\partial H_y}{\partial t} \mathbf{a}_y - \mu_0 \frac{\partial H_z}{\partial t} \mathbf{a}_z \quad (2.38)$$

(Effendi, dkk. 2007:123).

Untuk gelombang datar terpolarisasi linier atau terpolarisasi bidang dengan arah polarisasi sumbu-z (medan listrik E selalu bergerak ke arah sumbu-z) dan arah perambatan gelombang datar ditentukan searah dengan sumbu-y positif, maka untuk penerapan satu dimensi dari persamaan (2.38) adalah

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} = -\mu_0 \frac{\partial H_x}{\partial t} \quad (2.39)$$

Untuk medan E dan medan H yang berubah-ubah secara sinusoidal terhadap waktu, persamaan (2.39) menjadi

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} = -j\omega\mu_0 H_x \quad (2.40)$$

atau

$$\nabla \times \mathbf{E}_z = -j\omega\mu_0 \mathbf{H}_x \quad (2.41)$$

Persamaan (2.41) jika dirotasi menjadi

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E}_z = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}_z) - \nabla^2 \mathbf{E}_z = -j\omega\mu_0 \nabla \times \mathbf{H}_x \quad (2.42)$$

Tetapi dari persamaan (2.35) diperoleh $\nabla \cdot \mathbf{E}_z = 0$ dan dari persamaan (2.34) diperoleh

$$\nabla \times \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} = \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}_z}{\partial t} = j\omega\varepsilon_0 \mathbf{E}_z \quad (2.43)$$

Maka persamaan (2.42) menjadi

$$\nabla^2 \mathbf{E}_z = -\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \mathbf{E}_z \quad (2.44)$$

atau

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}_z}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \mathbf{E}_z \quad (2.45)$$

Untuk gelombang terpolarisasi linier arah-z, Persamaan (2.45) yang dikenal sebagai persamaan Helmholtz menjadi

$$\frac{d^2 \mathbf{E}_z}{dy^2} = -\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \mathbf{E}_z \quad (2.46)$$

Solusi persamaan (2.46) dengan memasukkan faktor $e^{j\omega t}$ dan gelombang bergerak di sepanjang sumbu-y positif adalah

$$\mathbf{E}_z = \mathbf{E}_{0z} \cos \omega \left(t - \frac{y}{c} \right) \quad (2.47)$$

di mana: $c = \frac{1}{(\mu_0 \varepsilon_0)^{1/2}} = 3,18^8 \text{ m/s}$

= kecepatan perambatan gelombang di ruang vakum atau di udara bebas

(Effendi, dkk. 2007:124).

Keterangan: \mathbf{B} = medan magnetik (wb/m^2 atau T)

\mathbf{E} = medan listrik (V/m)

\mathbf{H} = Intensitas medan magnet (A/m)

\mathbf{J} = jarak titik ke penghantar (m)

\mathbf{D} = medan pergeseran listrik (C/m^2)

μ_0 = permeabilitas udara/vakum ($4\pi \times 10^{-7} TmA^{-1}$)

2.4 Persamaan Gelombang Elektromagnetik

Perambatan gelombang elektromagnetik pada ruang bebas, persamaan Maxwell mengatur kembali untuk dijelaskan secara eksplisit bergantung waktu dan koordinat.

$$\frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{B} = \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2.48)$$

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla \times \left(-\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{B}) = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\epsilon \mu \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) \quad (2.49)$$

Asumsikan bahwa ϵ dan μ berdiri sendiri dari waktu memenuhi persamaan untuk ditulis kembali

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (2.50)$$

Menggunakan identitas vektor, sehingga dapat ditulis

$$\nabla (\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E} = -\epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (2.51)$$

Karena ruang bebas merupakan bebas muatan $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$, diberikan

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu \epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (2.52)$$

Persamaan (2.38) merupakan persamaan gelombang pada medan listrik. Gunakan prosedur yang sama untuk memperoleh

$$\nabla^2 \mathbf{B} = \mu \epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} \quad (2.53)$$

Persamaan (2.39) merupakan persamaan gelombang pada medan magnet, dengan kecepatan gelombang

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} \quad (2.54)$$

Pada sebuah bahan, kecepatan dari cahaya kurang dari c . Dapat dikelompokkan ke bahan yang dilukiskan oleh indeks refraksi, perbandingan dari kecepatan cahaya pada ruang hampa terhadap kecepatan dalam suatu medium

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\epsilon \mu}{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (2.55)$$

Jika bahan magnetik tidak dipertimbangkan, dan nilai $\mu/\mu_0 \approx 1$ sehingga

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0}} \quad (2.56)$$

(Guenther, 1990:29-30).

2.5 Energi dalam Gelombang Elektromagnetik dan Vektor Poynting

Gelombang elektromagnetik membawa energi dari satu daerah ruang yang lain Energi ini berkaitan dengan gerak listrik dan gerak magnet (Giancoli, 2014: 633). Kerapatan energi (J/m^3) berhubungan dengan gelombang elektromagnetik diberikan oleh:

$$U = \frac{(\mathbf{D} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{H})}{2} \quad (2.57)$$

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

$$U = \frac{1}{2} \left(\epsilon \mathbf{E}^2 + \frac{\mathbf{B}^2}{\mu} \right) = \frac{1}{2} \left(\epsilon + \frac{1}{\mu c^2} \right) \mathbf{E}^2 \quad (2.58)$$

Pada ruang vakum, dapat disederhanakan

$$U = \epsilon_0 \mathbf{E}^2 = \frac{\mathbf{B}^2}{\mu_0} \quad (2.59)$$

(Guenther, 1990:33).

Intensitas gelombang elektromagnetik atau laju energi yang dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik disebut poynting (\mathbf{S}). Vektor poynting, dengan besaran \mathbf{S} atau \mathbf{P} , didefinisikan sebagai produk vektor dari vektor medan listrik \mathbf{E} dengan vektor medan magnetik \mathbf{B} pada suatu gelombang elektromagnetik, yaitu:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} \quad (2.60)$$

(Effendi, 2007:153).

Unit dari vektor poynting adalah $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$ menggunakan bidang gelombang untuk menjelaskan beberapa bagian dari vektor. 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 detektor 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)

$$I = |\langle \mathbf{S} \rangle| = \left| \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \mathbf{A} \cos^2(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi) dt \right| \quad (2.61)$$

(Guenther, 2015:24).

2.6 Medan Elektromagnetik

2.6.1 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 \mathbf{E} di setiap titik pada ruang dapat didefinisikan sebagai gaya \mathbf{F} yang diberikan pada muatan test positif yang kecil pada titik tersebut dibagi dengan besar muatan tes q . Secara matematis dirumuskan:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \quad (2.62)$$

\mathbf{E} merupakan medan listrik, \mathbf{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 disekitarnya. Medan listrik memiliki satuan N/C atau dibaca newton/coloumb (Gornick, 2005).

2.6.2 Medan Magnet

Medan magnet adalah suatu medan yang dibentuk dengan menggerakkan muatan listrik (arus listrik) yang menyebabkan munculnya gaya di muatan listrik yang bergerak. Oersted menyatakan perpindahan muatan listrik (arus listrik) akan menimbulkan medan magnet di sekitarnya (Gornick, 2005). Medan magnet dihasilkan oleh gerakan muatan listrik, dan sebenarnya di dalam bahan magnet secara mikroskopis dalam skala atom terjadi arus-arus kecil yang karena elektron beredar mengelilingi inti atom ataupun elektron berputar terhadap sumbunya (Loeksmanto, 1993:122). Muatan yang bergerak menghasilkan medan magnetik dan medan ini selanjutnya mengerahkan suatu gaya pada muatan bergerak lainnya. Adanya medan magnet di dalam ruang dapat ditunjukkan dengan mengamati pengaruh yang ditimbulkan, apabila muatan q memiliki kecepatan \vec{v}

dalam medan magnetik, akan terdapat gaya yang bergantung pada q , besar kecepatan dan arahnya. Dengan kata lain apabila suatu muatan q bergerak dengan kecepatan \vec{v} dalam medan magnetik \vec{B} , gaya magnetik \vec{F} pada muatan adalah:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (2.63)$$

(Tipler, 2001:211).

Karena \vec{F} adalah tegak lurus terhadap \vec{v} dan \vec{B} , \vec{F} tegak lurus terhadap bidang didefinisikan oleh dua vektor tersebut (Tipler, 2008:888). Medan magnet \vec{B} dapat didefinisikan sebagai besaran vektor yang mengarah sepanjang sumbu nol gaya. Selanjutnya kita dapat menentukan besarnya \vec{F} ketika \vec{v} mengarah tegak lurus pada sumbu tersebut lalu menentukan besarnya \vec{B} dalam hal besarnya gaya:

$$B = \frac{F}{|q|\vec{v}} \quad (2.64)$$

Dimana q adalah partikel bermuatan (Halliday dan walker, 2008:737).

Tabel 2. 1 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 militesla (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, 2002.

2.7 Gelombang Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF)

Berdasarkan teori medan magnet, bahwa disekitar kawat konduktor yang dialiri arus akan timbul medan magnet, jika arus yang mengalir adalah arus bolak-balik (AC atau *Alternating Current*) maka menurut Maxwell disekitar kawat konduktor tersebut akan timbul rambatan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari komponen medan listrik dan medan magnet (Simanjuntak, 1985). Energi yang ditransmisikan melalui saluran transmisi dari sumber daya PLN adalah berupa gelombang tegangan listrik bolak-balik yang merambatkan arus AC

melalui kawat konduktor dengan frekuensi 50 Hz atau 60 Hz, sehingga konduktor pada jaringan transmisi PLN merupakan sumber paparan medan elektromagnetik. Radiasi yang dihasilkan oleh muatan yang bergerak osilasi, seperti arus AC pada konduktor dari sumber PLN tersebut adalah tergolong radiasi tidak mengion dan di dalam spektrum gelombang elektromagnetik berada pada frekuensi sangat rendah yaitu kurang dari 300 Hz dan disebut sebagai gelombang elektromagnetik frekuensi sangat rendah (*Extremely Low Frequency*) (Grotel, 1992).

2.7.1 Karakteristik Medan Magnet ELF

Menurut Tarigan (2013), medan magnet ELF termasuk dalam spektrum gelombang elektromagnetik yang berada pada frekuensi kurang dari 300 Hz dan tergolong dalam *non ionizing radiation* atau radiasi non pengion. Radiasi non pengion dapat didefinisikan sebagai penyebaran atau emisi energi yang bila melalui suatu media dan terjadi proses penyerapan, berkas energi radiasi tersebut tidak akan mampu menginduksi terjadinya proses ionisasi dalam media tersebut (Alatas, 2003). Istilah radiasi non pengion secara fisika mengacu pada radiasi elektromagnetik dengan energi lebih kecil dari 10 eV yang antara lain meliputi sinar ultraviolet, cahaya tampak, inframerah, gelombang mikro (*microwave*) dan elektromagnetik radiofrekuensi. Selain itu *ultrasound* juga termasuk dalam radiasi non pengion (Glaser, 1992). Organisasi kesehatan dunia (WHO, 2007) menyatakan bahwa pada frekuensi antara 0 hingga 300 Hz adalah panjang gelombang di udara yang sangat panjang (6000 km pada frekuensi 50 Hz dan 5000 km pada frekuensi 60 Hz) dan dalam situasi praktis, medan listrik dan medan magnet bertindak independen satu sama lain sehingga dapat diukur. Sehingga dapat disimpulkan bahwa medan magnet ELF memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. termasuk dalam spektrum gelombang elektromagnetik
- b. memiliki frekuensi antara 0 hingga 300 Hz
- c. termasuk dalam radiasi non-pengion (*non ionizing radiation*)
- d. memiliki energi yang lebih kecil dari 10 eV

- e. medan listrik dan medan magnet bertindak independen satu sama lain sehingga dapat diukur secara terpisah
- f. medan magnet tidak bisa dihalangi oleh material biasa seperti dinding bangunan
- g. sumber paparan medan magnet mudah untuk didapat yaitu dari piranti elektronika yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti pada saluran listrik, kabel listrik, dan lain sebagainya.

2.7.2 Sumber Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet ELF

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

a. Sumber Buatan

Paparan medan listrik dan medan magnet ELF dapat dihasilkan oleh aliran arus pada kabel pembangkit listrik dan penggunaan peralatan elektronik. Medan listrik dan medan magnet muncul ketika listrik dihasilkan, ditransmisikan dan di distribusikan dalam kabel atau menggunakan alat-alat elektronika (WHO, 2007:1).

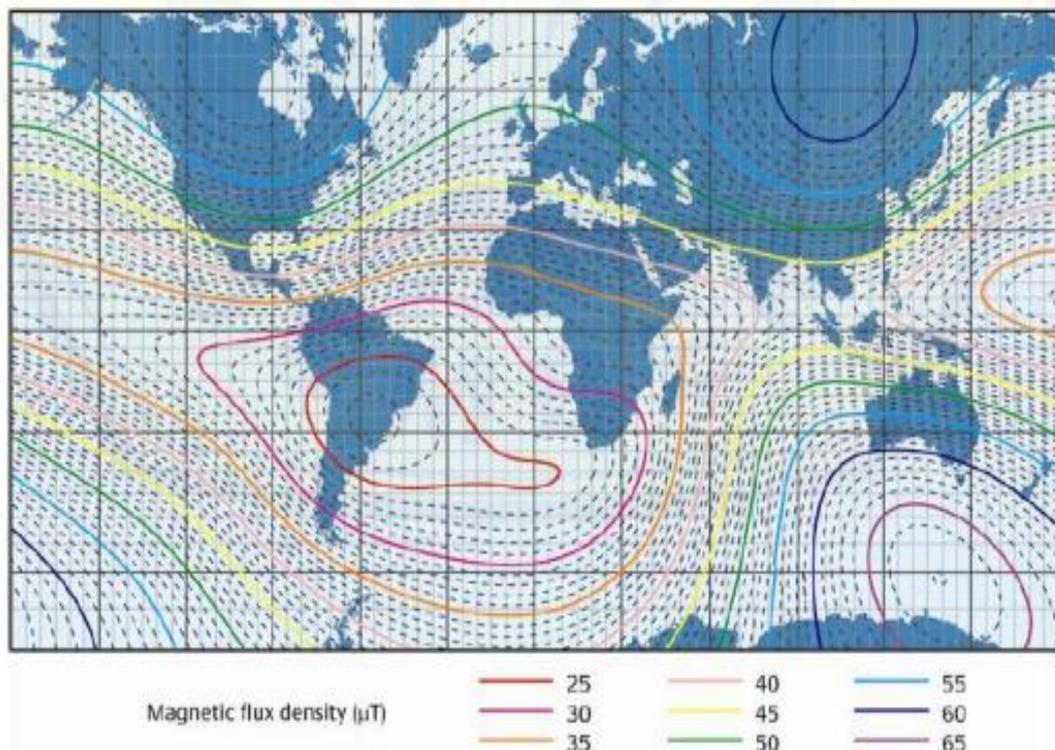
Dalam beberapa sentimeter dari beberapa peralatan listrik, medan magnet ELF mungkin jauh lebih kuat daripada kuat medan magnet di bawah tiang listrik. Namun, medan biasanya mengalami penurunan ke tingkat yang lebih rendah dalam beberapa meter. Medan paling kuat berada di dekat peralatan yang berasal dari motor listrik, seperti *hair dryer*, dan pengolah makanan. Bagi kebanyakan orang sumber utama paparan medan magnet ELF berasal dari peralatan rumah tangga dan rangkaian kabel rumah tangga (WHO, 2002).

b. Sumber Alamiah

Pada dasarnya kita telah terpapar medan magnet ELF secara alamiah, mengingat bumi adalah magnet alamiah. Paparan medan listrik dan medan magnet ELF alamiah dihasilkan dari proses alami tanpa peran manusia. Swerdlow

(2006:12) menjelaskan bahwa medan listrik dihasilkan dari proses di atmosfer dan magnetosfer yang menghasilkan sinyal dengan frekuensi mencapai beberapa megahertz ($1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$). Variasi *Extremely Low Frequency* muncul akibat aktivitas matahari di ionosfer dan efek atmosfer seperti pelepasan muatan oleh petir yang menyebabkan resonansi osilasi dalam ionosfer bumi yang disebut resonansi Schumann, sedangkan medan magnet dihasilkan dari medan magnet bumi yang secara berkelanjutan berubah-ubah dengan rentang dari beberapa milisekon hingga 10^{12} tahun. Resonansi Schumann menghasilkan medan magnet sekitar $10^{-5} \mu\text{T}$ pada frekuensi 6-60 Hz.

Medan magnet pada permukaan bumi mempunyai struktur serupa dengan batang magnet cenderung 11° dari sumbu rotasi bumi. Kenyataannya, struktur dari sumber medan magnet di dalam bumi lebih rumit dan mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Model magnetik dunia yang dikembangkan berdasarkan survey geologi US dan UK dan diperbarui setiap lima tahun sekali. Besarannya medan magnet bumi berkisar antara 25 sampai $60 \mu\text{T}$ (Swerdlow, 2008:9). Gambar 2. 3 menunjukkan suatu prediksi besarnya medan magnet bumi pada tahun 2007



Gambar 2. 6 Kekuatan medan magnet di permukaan bumi (Swerdlow, 2008:9)

2.8 Batas Ambang Radiasi Medan Listrik dan Medan Magnet ELF

Standar (batas ambang) telah disiapkan untuk melindungi kesehatan kita dan banyak diketahui untuk banyak zat aditif makanan, untuk konsentrasi bahan kimia dalam air atau polutan udara. Demikian pula, standar lapangan ada untuk membatasi terlalu banyak pengaruh tingkat medan elektromagnetik yang ada dalam lingkungan kita.

Beberapa negara mengatur standar nasionalnya sendiri untuk paparan medan elektromagnetik. Namun, sebagian besar standar nasional ini menggunakan ketentuan yang telah ditetapkan oleh *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP). Lembaga swadaya ini, secara resmi diakui oleh *World Health Organization* (WHO), mengevaluasi hasil ilmiah dari seluruh dunia. Berdasarkan tinjauan literatur yang mendalam, ICNIRP menghasilkan pedoman rekomendasi batas paparan. Pedoman tersebut akan ditinjau sekala berkala dan diperbaharui jika diperlukan. Tingkat medan elektromagnetik berubah-ubah seiring dengan frekuensi. Mendaftar setiap nilai dalam setiap standar dan pada setiap frekuensi dapat sulit untuk dipahami. Tabel di bawah merupakan rangkuman dari pedoman paparan pada tiga wilayah yang menjadi fokus perhatian: listrik di rumah, telepon genggam, dan microwave.

Tabel 2.2 Pedoman radiasi oleh ICNIRP

<i>Frequency</i>	<i>European power frequency</i>		<i>Mobile phone base station frequency</i>		<i>Microwave oven frequency</i>
	50 Hz	50 Hz	900 MHz	1.8 GHz	2.45 GHz
	<i>Electric field (V/m)</i>	<i>Magnetic field (μT)</i>	<i>Power density (W/m^2)</i>	<i>Power density (W/m^2)</i>	<i>Power density (W/m^2)</i>
<i>Public exposure limits</i>	5000	100	4.5	9	10
<i>Occupational exposure limits</i>	10000	500	22.5	45	

Sumber: WHO, 2002.

Seperti yang banyak diketahui, medan elektromagnetik frekuensi rendah mendorong arus dalam tubuh manusia. Tetapi berbagai reaksi biokimia dalam tubuh manusia itu sendiri juga menghasilkan arus. Sel-sel atau jaringan-jaringan

tidak dapat untuk mendeteksi adanya penyebab arus di tingkat dasar. Oleh karena itu, pada frekuensi rendah, pedoman paparan memastikan bahwa tingkat arus disebabkan oleh suatu medan elektromagnetik yang berada di bawah arus alami tubuh. Efek utama dari energi radiofrekuensi adalah pemanasan jaringan. Akibatnya, pedoman paparan untuk frekuensi radio dan gelombang mikro sudah siap untuk mencegah efek kesehatan yang disebabkan oleh pemanasan seluruh tubuh. Sesuai dengan pedoman tersebut akan memastikan bahwa efek pemanasan yang cukup kecil tidak merugikan.

Tabel 2. 3 Paparan maksimum medan elektromagnetik

<i>Source</i>	<i>Typical maximum public exposure</i>	
	<i>Electric field (V/m)</i>	<i>Magnetic flux density (μT)</i>
<i>Natural fields</i>	200	70 (<i>earth's magnetic field</i>)
<i>Mains power (in homes not close to power lines)</i>	100	0.2
<i>Mains power (beneath large power lines)</i>	10 000	20
<i>Electric trains and trams</i>	300	50
<i>TV and computer screens (at operator position)</i>	10	0.7
	<i>Typical maximum public exposure (W/m^2)</i>	
<i>TV and radio transmitters</i>	0.1	
<i>Mobile phone base stations</i>	0.1	
<i>Radars</i>	0.2	
<i>Microwave ovens</i>	0.5	

Sumber: WHO, 2002.

2.9 Medan Listrik dan Medan Magnet di Sekitar Arus AC

Medan listrik dan medan magnet muncul disekitar rangkaian listrik baik pada listrik AC maupun DC. Arus bolak-balik (AC) merupakan arus yang secara konstan berubah dalam amplitudo, serta memiliki arah bolak-balik pada interval regular (Jackson, 1998:1). Arus bolak-balik memiliki keunggulan utama dalam hal energi listrik yang dapat disalurkan dalam jarak jauh pada tegangan yang tinggi dan arus rendah untuk menghindari kerugian energi dalam bentuk kalor joule. Lebih dari 99 persen energi listrik yang digunakan sekarang dihasilkan oleh generator listrik dalam bentuk arus bolak balik. Di Amerika utara, daya dihantarkan oleh arus sinusoidal yang berfrekuensi 60 Hz. Piranti seperti radio, pesawat televisi, dan panggangan gelombang mikro mendeteksi atau

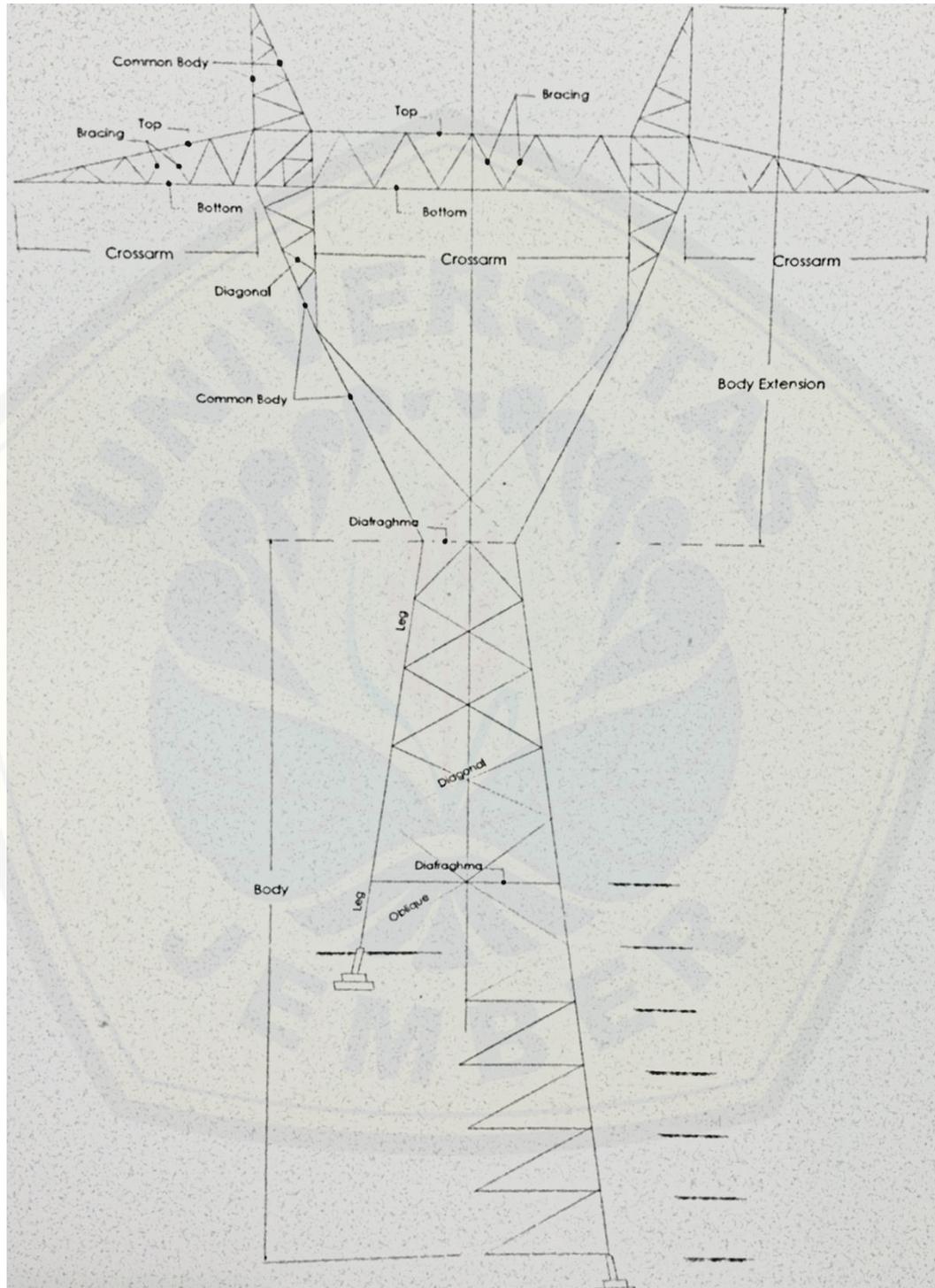
membangkitkan arus bolak-balik dengan frekuensi yang jauh lebih tinggi (Tipler, 2001:348). Menurut Samuelsson (2015:14) medan yang dihasilkan oleh arus bolak balik merupakan medan variasi waktu (*time-varying fields*), medan ini memiliki frekuensi yang dinyatakan dalam Hz (putaran tiap detik). Sehingga medan magnet yang terdapat disekitar arus boal balik (AC) merupakan medan magnet variasi waktu yang memiliki frekuensi (frekuensi tidak sama dengan 0 Hz).

2.10 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

SUTET merupakan media penyaluran listrik oleh PLN (di Indonesia) berupa kawat dengan tegangan dinaikkan hingga mencapai 500 KV, untuk menyalurkan listrik dari pusat pembangkit listrik menuju pusat-pusat beban yang jaraknya sangat jauh. Tujuan penaikan tegangan listrik tersebut adalah untuk mengurangi energi listrik yang terbuang akibat diubah menjadi energi panas saat melewati penghantar sehingga energi listrik bisa disalurkan secara efisien. Hal tersebut penting dilakukan mengingat keadaan geografis Indonesia yang sangat luas dan terdiri atas pulau-pulau dimana tidak semua pulau memiliki sumber daya alam yang mampu diolah menjadi energi listrik (Adiputra, I . B Bawa, dkk. 2014:2). Instalasi tenaga listrik terdiri dari suatu sistem yang terintegrasi yang terdiri dari sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari sisi pembangkit ke gardu induk tegangan tinggi/ekstra tinggi dari GITET/GI/GIS ke GITET/GI/GIS lain melalui kawat telanjang dengan aman dan dengan rugi daya yang kecil. Keandalan dari sistem tenaga listrik khususnya sistem transmisi SUTT/SUTET akan sangat ditentukan oleh bagaimana sistem tersebut dikelola, Apalagi SUTT/SUTET melintasi daerah terbuka sehingga sangat rawan terhadap gangguan baik gangguan berasal dari kondisi internal transmisi maupun yang berasal dari gangguan eksternal seperti gangguan alam, gangguan binatang, tumbuh tumbuhan, maupun yang berasal dari aktivitas manusia (PT.PLN(PERSERO):1).

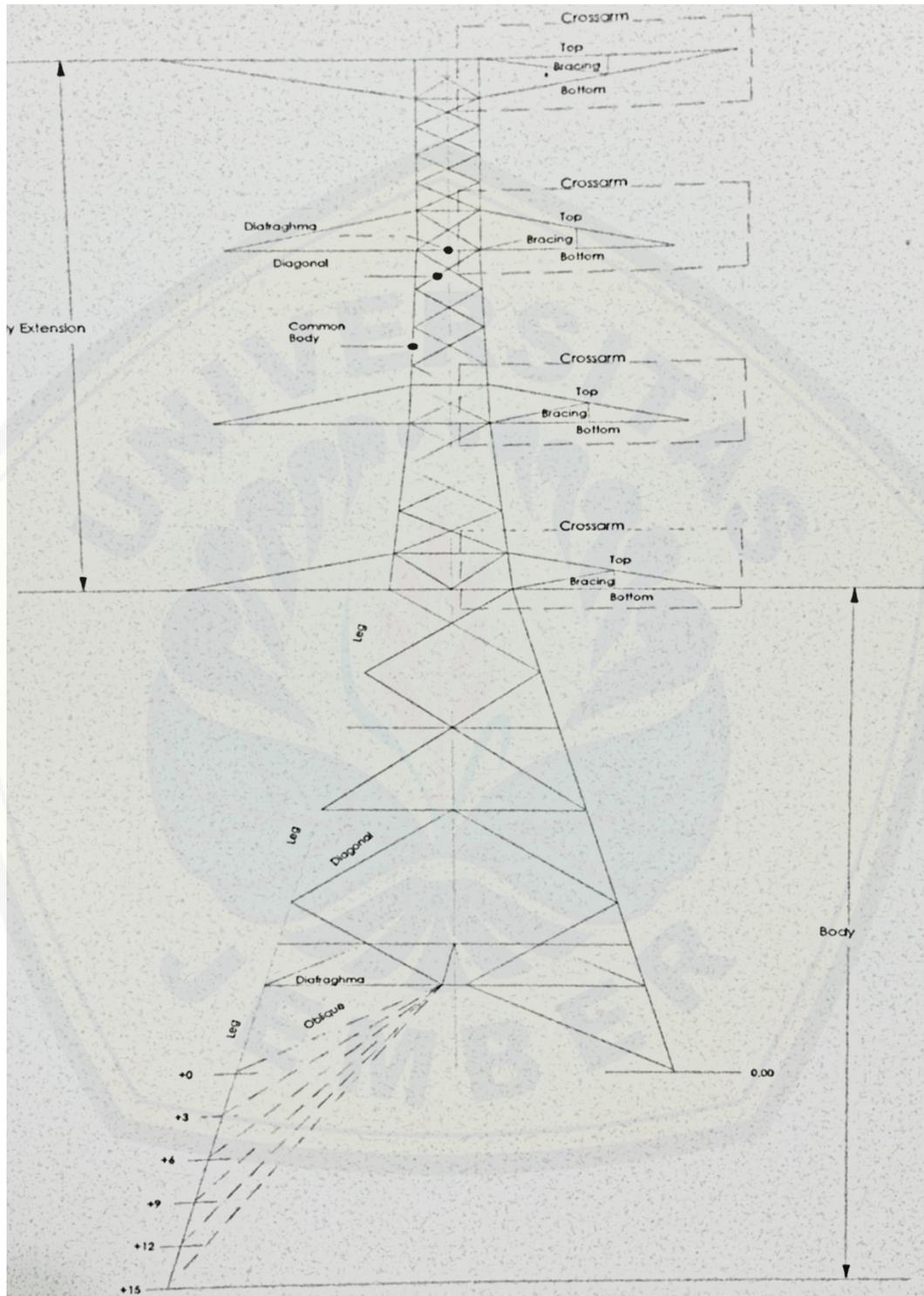
2.10.1 Tower SUTET 500 kV

a. Tower SUTET 500 kV sirkuit tunggal



Gambar 2. 7 tower SUTET 500 KV sirkuit tunggal (PT.PLN(PERSERO):46)

b. Tower SUTET 500 KV sirkuit Ganda



Gambar 2. 8 tower SUTET 500 KV sirkuit ganda (PT. PLN (PERSERO):47).

2.11 Hasil Penelitian Medan Magnet dan Dampak Radiasi

Tabel 2. 4 Hasil penelitian sebelumnya

No	Penelitian Sebelumnya	Metode	Hasil
1.	Analisis Faktor Penyebab Timbulnya Keluhan Kesehatan Masyarakat di Sekitar SUTET-500 kV	Sampel dalam penelitian ini adalah penduduk yang berusia 15-49 tahun dengan jumlah keseluruhan 180 orang, pengukuran intensitas medan listrik dan medan magnet ELF menggunakan ELF Surveymeter pada ketinggian 1,5 m diatas permukaan tanah	Adanya perbedaan proporsi keluhan anoreksia, kram perut, kegerahan, dan mudah lelah antara kelompok terpapar dan kelompok kontrol bukan disebabkan adanya perbedaan intensitas paparan medan listrik dan medan magnet, namun kemungkinan karena faktor kecemasan yang dialami oleh penduduk yang bertempat tinggal di bawah jaringan
2.	Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Manusia	Sampel dalam penelitian ini adalah telepon seluler, saluran transmisi tenaga listrik, pengukuran radiasi pada masing-masing sampel	Bahwa bejana medan elektromagnetik yang berasal dari SUTET 500 kV beresiko menimbulkan gangguan kesehatan pada penduduk yaitu berupa keluhan sakit kepala.
3.	Mengatasi Gangguan Kesehatan Masyarakat Akibat Radiasi Elektromagnetik dengan Manajemen Berbasis Lingkungan	Manajemen berbasis lingkungan, perhatian utama pada faktor penyebab, media transmisi, dengan memperhatikan faktor penduduk sebagai objek yang terjangkau atau terpajan, sebelum melakukan penanganan pada manusia yang menderita penyakit	Manajemen simpul A: idealnya tidak ada permukiman, Simpul B: diharapkan dapat mengurangi atau bahkan mentiadakan radiasi yang sampai pada lingkungan, Simpul C: deteksi dini, Simpul D: pengobatan pada penduduk yang beresiko
4.	Analisis Kecenderungan Keluhan Kesehatan Pada Paparan Medan Elektromagnetik	Pengukuran pemaparan medan listrik dan medan magnet dilakukan dengan alat EMF survei meter sedangkan keluhan kesehatan diukur melalui kuesioner pengukuran kuat medan listrik dan medan magnet dilakukkan di dalam rumah sebanyak 3 titik dan di luar (halaman) rumah sebanyak 4 titik	Berdasarkan hasil analisis secara keseluruhan terlihat bahwa pajanan medan listrik dan medan magnet berkaitan erat dengan beberapa keluhan kesehatan, di antaranya: jantung sering berdebar, sakit kepala dan vertigo

No	Penelitian Sebelumnya	Metode	Hasil
5.	Pengaruh Atap Rumah Terhadap Penurunan Intensitas Medan Magnet di Bawah SUTT 150 kV	Metode purposive sampling area, adapun jenis atap yang di jadikan sampel yaitu genteng, asbes, seng, dan plastik	Keberadaan penghalang atap di bawah saluran transmisi jenis SUTT 150 kV tidak berpengaruh terhadap penurunan nilai intensitas medan magnet ELF

Pada hasil penelitian medan magnet dan dampak radiasi pada penelitian sebelumnya yaitu Analisis faktor penyebab timbulnya keluhan kesehatan masyarakat di sekitar SUTET-500 kV, Pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik terhadap kesehatan manusia, Mengatasi gangguan kesehatan masyarakat akibat radiasi elektromagnetik dengan manajemen berbasis lingkungan, Analisis kecenderungan keluhan kesehatan pada pajanan medan elektromagnetik, Pengaruh atap rumah terhadap penurunan intensitas medan magnet di bawah SUTT 150 kV menghasilkan spekulasi hasil dampak yang positif ataupun dampak negatif bagi masyarakat dan lingkungan sekitar di kawasan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), Hal ini menjadikan kecemasan tersendiri bagi masyarakat yang tinggal di dekat kawasan tersebut.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di area Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV. Adapun kriteria yang ditentukan yaitu SUTET yang bertegangan 500 kV. Tempat penelitian ini dilaksanakan di SUTET yang berada di kabupaten Pasuruan, Waktu penelitian dilaksanakan pada semester ganjil tahun ajaran 2017/2018.

3.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif, Penelitian yang bertujuan untuk menjelaskan atau mendeskripsikan suatu keadaan, peristiwa, objek apakah orang, atau segala sesuatu yang terkait dengan variabel-variabel yang bisa dijelaskan baik dengan angka-angka maupun kata-kata (Punaji, Setyosari. 2010) dan penelitian deskriptif merupakan penelitian yang tidak ada perlakuan dalam pengambilan datanya sehingga pengambilan data intensitas radiasi SUTET murni dari SUTET itu sendiri tanpa ada penambahan radiasi dari komponen lainnya.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Klasifikasi Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah Jarak pengukuran tepat di bawah dan Lateral kanan-Kiri
- b. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah radiasi medan magnet yang di hasilkan SUTET 500 kV
- c. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah alat ukur medan magnet EMF tester Benetech GM 3120

3.3.2 Definisi Operasional Variabel Penelitian

Secara operasional variabel penelitian ini didefinisikan sebagai berikut.

- a. Medan magnet dihasilkan dari SUTET 500 kV yang di ukur tepat dibawah dan lateral kanan-kiri. Penelitian ini menentukan besar medan magnet ELF dibawah dan Lateral kanan-kiri pada SUTET 500 kV di Kabupaten Pasuruan
- b. SUTET pada penelitian in adalah SUTET yang memberikan tegangan sebesar 500 kV di Kabupaten Pasuruan
- c. Jarak pengukuran yang digunakan adalah tepat dibawah, 50 m ke kanan dan ke kiri, 100 m kekanan dan ke kiri, 150 m kekanan dan ke kiri, 200 m ke kanan dan ke kiri, 250 m ke kanan dan ke kiri

3.4 Populasi dan Sampel Penelitian

3.4.1 Populasi Penelitian

Populasi adalah seluruh objek yang diteliti. Populasi pada penelitian ini adalah SUTET 500 kV di Kabupaten Pasuruan

3.4.2 Sampel Penelitian

Sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling*. Memilih SUTET 500 kV yang berada di Kabupaten Pasuruan karena pada daerah Kabupaten Pasuruan perkembangan permukiman penduduk di dekat SUTET 500 kV meningkat.

3.5 Metode Pengambilan Data

3.5.1 Alat Ukur *Electromagnetic Field Tester* (EMF Tester)

Electromagnetic Field Tester digunakan untuk mengukur besarnya medan listrik dan medan magnet. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat pengukur digital yaitu *Electromagnetic Field Tester* versi 3120-EN-00.



Gambar 3. 1 EMF *tester* Benetech GM 3120 (Sumber: <https://www.indiamart.com/proddetail/digital-radiation-meters-8984743312.html>)

Langkah-langkah dalam menggunakan alat adalah sebagai berikut

- Tekan tombol “on” sampai alat benar-benar hidup. Setelah tampilan layar penuh, nilai medan listrik dan medan magnet akan ditampilkan
- Pegang alat dengan tangan untuk membuat zona induktif di ujung depan mendekati sumber radiasi elektromagnetik yang akan diuji secara perlahan. Jika nilai radiasi sebenarnya berada dalam indeks teknis alat, akan ada nilai yang ditampilkan; Jika alat tidak menampilkan bacaan, ini menunjukkan bahwa nilai radiasi elektromagnetik dari sumber radiasi lebih kecil daripada pembacaan minimum alat , yaitu 1 V / m atau $0,01 \mu\text{T}$
- Selama pengukuran tekan “HOLD” untuk mengunci pembacaan alat. Simbol “**HOLD**” akan tampil pada layar. Sedangkan untuk membuka penguncian, tekan “HOLD” lagi. Alat ini akan menghasilkan bunyi bip secara default setelah dinyalakan dan  akan ditampilkan di layar. Tekan lama “BEEP” untuk menghidupkan atau mematikan bunyi bip.
- Dengan menekan “AVG/VPP” selama pengukuran pada kondisi tidak mengunci pembacaan, kita dapat mengganti antara nilai rata – rata atau nilai puncaknya.
- Jika gambar yang ditampilkan tidak jelas atau gambar berkedip atau gambar tidak bisa dibersihkan, ini menunjukkan bahwa baterai kehabisan daya. Segera ganti baterai tepat waktu.

3.5.2 Penentuan Titik Pengukuran Medan

Menentukan titik pengukuran medan listrik dan medan magnet ELF mengacu pada kabel di tengah untuk menentukan tepat dibawah dan lateral kiri kanan.

- a. Titik pengukuran pertama dilakukan pada titik tepat di bawah Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV.
- b. Titik pengukuran kedua dilakukan pada lateral kiri mulai dari 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 250 m dan lateral kanan mulai dari 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 250m

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Tahap Observasi

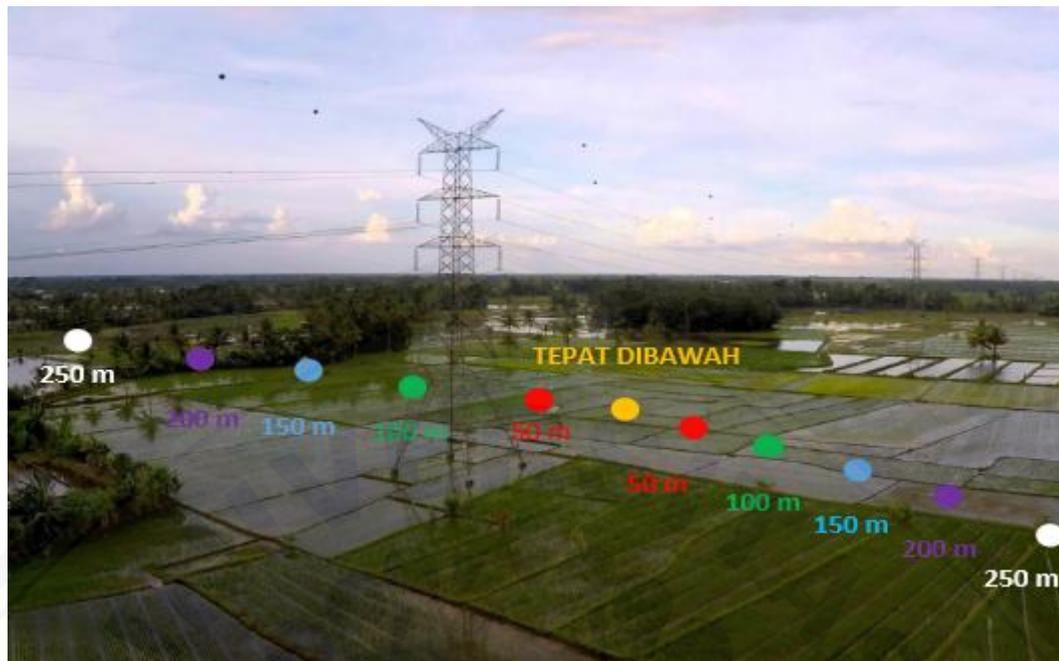
Tahapan ini dilakukan di kantor PLN wilayah Genteng-Banyuwangi untuk memastikan keberadaan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV di wilayah Banyuwangi. Setelah melakukan observasi ternyata keberadaan SUTET 500 kV di wilayah Banyuwangi tidak ada, dan di sarankan di SUTET 500 kV jalur Situbondo-Gresik.

3.6.2 Tahap Penentuan sampel

Penentuan sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling*. Memilih SUTET 500 kV yang berada dekat permukiman penduduk di Kabupaten Pasuruan karena pada daerah Kabupaten Pasuruan perkembangan permukiman penduduk di dekat SUTET 500 kV meningkat.

3.6.3 Penentuan Titik Pengukuran

Penentuan titik pengukuran pada tahapan ini mengacu pada bentuk SUTET 500 kV di lokasi penelitian.



Gambar 3. 2 Ilustrasi titik pengukuran di SUTET 500 kV (Sumber: curvetube.com)

Keterangan gambar:

- = Tepat di bawah SUTET
- = 50 m ke kanan dan ke kiri SUTET
- = 100 m ke kanan dan ke kiri SUTET
- = 150 m ke kanan dan ke kiri SUTET
- = 200 m ke kanan dan ke kiri SUTET
- = 250 m ke kanan dan ke kiri SUTET

3.6.4 Tahapan Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini adalah data primer. Data yang didapat dari hasil pengukuran secara langsung dari titik-titik yang telah ditentukan, Kemudian menggunakan alat EMF tester Benetech GM 3120 dan di lakukan pengambilan data 1 hari dengan pengulangan masing-masing sebanyak sepuluh kali selama 3 hari.

3.6.5 Tahapan Analisis Data

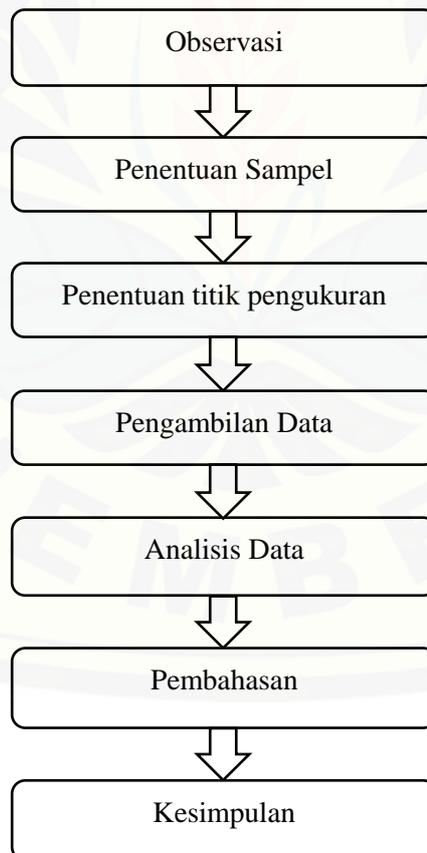
Data yang telah diperoleh pada saat pengamatan dan pengukuran akan dimasukkan ke dalam tabel penelitian yang telah ditentukan. Data tersebut kemudian diolah dan dianalisis menurut teori yang ada.

3.6.6 Tahapan Pembahasan

Data-data yang telah diperoleh pada saat penelitian di masukkan ke dalam tabel yang telah di tentukan selanjutnya akan di lakukan perbandingan sesuai dengan literatur yang ada. Pembahasan tersebut meliputi data hasil pengukuran, perbandingan hasil pengukuran, nilai batas ambang yang telah di tentukan.

3.6.7 Kesimpulan

Gambar 3.3 Bagan prosedur penelitian.



Gambar 3. 3 Bagan Prosedur Penelitian



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari data hasil dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

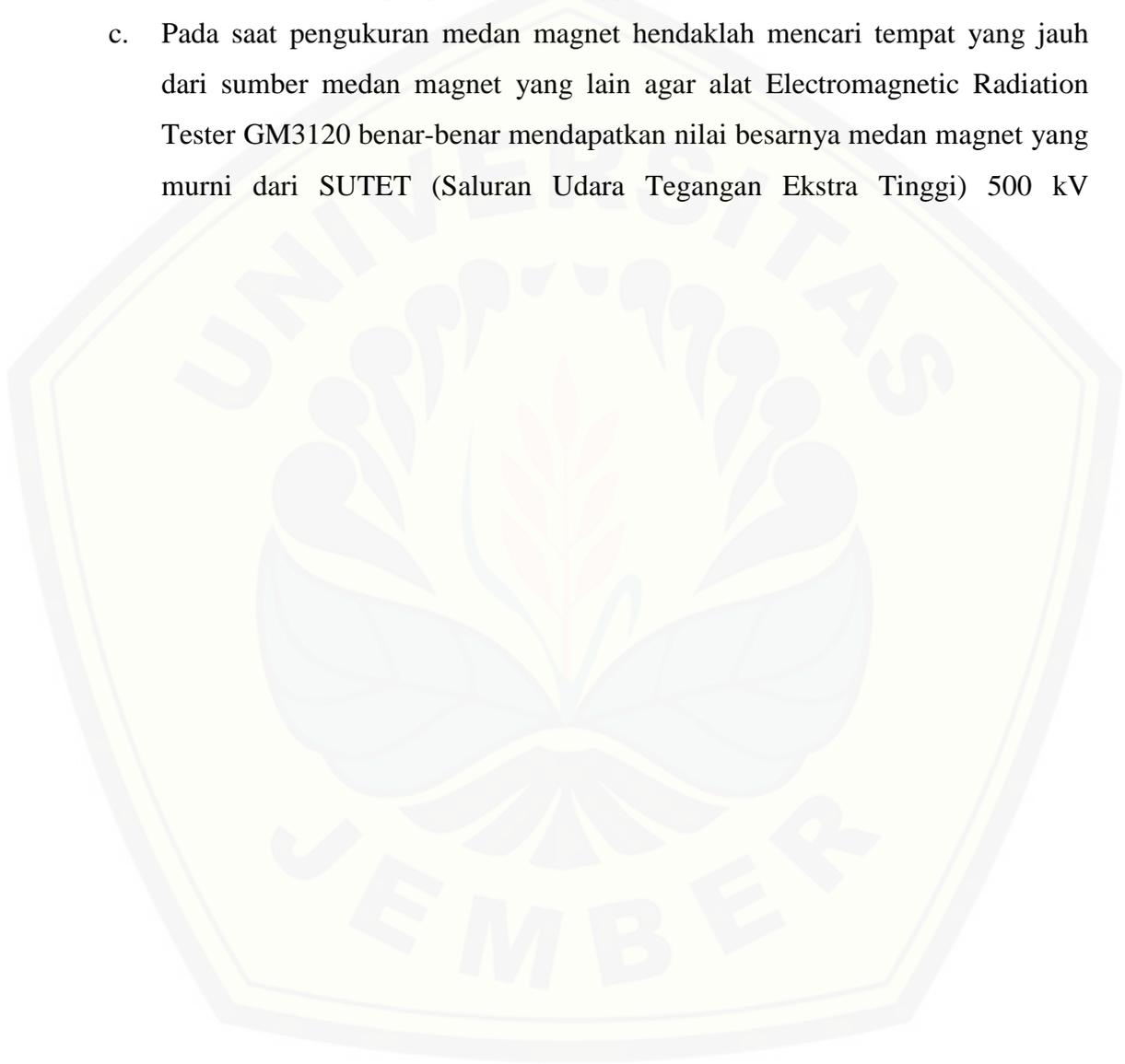
- a. Terdapat peningkatan yang sangat signifikan antara besarnya medan magnet *Extremely Low Frequency (ELF)* di sekitar SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV dibandingkan dengan besarnya medan magnet alamiah.
- b. Dari grafik dapat diketahui pola distribusi medan magnet pada jarak lateral kanan dan lateral kiri SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV bahwa semakin jauh jaraknya dengan posisi SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV maka akan semakin kecil radiasi yang di timbulkan oleh SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV tersebut.
- c. Dari grafik dapat diketahui pola distribusi medan magnet pada sekitar tower SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV bahwa semakin jauh jaraknya dengan posisi sekitar tower SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV maka akan semakin kecil radiasi yang di timbulkan oleh SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV tersebut

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka saran yang dapat diberikan, adalah sebagai berikut.

- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengukuran besarnya medan listrik *Extremely Low Frequency (ELF)* pada SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV dengan ketinggian dan jarak titik pengukuran yang lebih dekat dengan kawat konduktor namun pada jarak yang tetap aman.

- b. Karena besarnya medan magnet yang terukur lebih tinggi dari pada besarnya medan magnet alamiah maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh yang ditimbulkan medan magnet SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV tentang kesehatan pada penduduk sekitar SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV
- c. Pada saat pengukuran medan magnet hendaklah mencari tempat yang jauh dari sumber medan magnet yang lain agar alat Electromagnetic Radiation Tester GM3120 benar-benar mendapatkan nilai besarnya medan magnet yang murni dari SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2006. *Diktat Kuliah Fisika Dasar II*. Bandung: ITB
- Adipura, I. B Bawa, dkk. 2014. *Studi keamanan dan keandalan suplai sistem kelistrikan bali sesuai rencana operasi SUTET 500 kV*. Universitas Udayana: 2
- Alatas, Z., dan Y. Lusiyanti. 2001. *Efek Kesehatan Radiasi Non Pengion pada Manusia*. Prosiding Seminar Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan I. 23-24 Oktober 2001.
- Alonso, M., dan E. J. Finn. 1992. *Dasar-dasar Fisika Universitas (Jilid 2) Medan dan Gelombang*. Terjemahan Lea Prasetyo dan Kusnul Hadi. Jakarta: Erlangga.
- Anies. 2007. *Mengatasi gangguan kesehatan masyarakat akibat radiasi elektromagnetik dengan manajemen berbasis lingkungan*. ISBN: 6
- Baafai, U. S. 2004. *Sistem tenaga Listrik: Polusi dan pengaruh Medan Elektromagnetik terhadap Kesehatan Masyarakat. Makalah Orasi Ilmiah*. Medan: Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara.
- Budijanto, D dan Sudarti. 2000. *Analisis kecenderungan keluhan kesehatan*. Bul. Penerbi. Kesehatan. 27(2): 212
- Effendi, R. *et al.* 2007. *Medan Elektromagnetik Terapan*. Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, Douglas C. 1998. *Fisika Dasar*. Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, Douglas C. 2014. *Physics: Principles with Applications, 7 th Edition*. San Francisco: Pearson Education Inc.
- Glaser, Z. R. 1992. *Organization and Management of A non-Ionizing Safety Program*. Handbook of Management of Radiation Protection Programs 2nd ed: 43-52.
- Gornick, L. 2005. *Kartun Fisika*. Jakarta: KPG. Hal: 149-156, 117-122.
- Grotel, E. G. K. Peter, H. Grobinski. 1992. EMF and ELF Fact Sheet. *Electronok*. 77: 255-260.
- Guenther, R. D. 1990. *Modern Optics*. USA: John Willey & Sons, Inc.
- Guenther, B. D. 2015. *Modern Optics: Second Edition*. Duke University, United States of America: Oxford University Press.

- Halliday, Resnik and Walker. 2008. *Fundamental of Physics 8th Ed.* Danvers: Clearance Center Inc.
- Hewitt, P. G. 2008. *Conceptual Physics Fundamental.* San Fransisco: Pearson Education, Inc.
- Jackson, R. A. 1998. *Introduction to Alternating Current and Transformers.* USA: NAVAL Education and Training Professional Development and Technology Center.
- Loeksmanto, W. 1993. *Medan Elektromagnetik.* Bandung: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Moulder, J. 2006. Power Lines and Cancer FAQs. <http://www.spinspace.com/biophysics/powerlinefaq.html>. [Diakses pada 20 Agustus 2017].
- Nugroho, D. 2009. *Pengaruh Perubahan Konfigurasi Saluran Jaringan SUTET 500 kV Terhadap Medan Magnet.* Media ElektriKA, Vol. 2, No. 1, 2009 : 9 – 17
- Punaji, Setyosari. 2010. *Metode Penelitian Pendidikan dan Pengembangan.* Jakarta Kencana.
- PT. PLN(PERSERO). 2014. *buku pedoman dan pengawasan asesmen saluran udara tegangan tinggi dan saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTI/SUTET).* Jakarta: 56-57.
- Rosid, S. 2008. *Geomagnetic Method Lecture Note.* Physic Departement. Depok: FMIPA UI
- Samuelsson, A. 2015. *Bioelectromagnetics for Improved Crop Productivity.* Swedia: Swedish University of Agricultural Science.
- Septiani, dkk. 2016. *Analisis Distribusi Medan Magnet Pada Daerah Sekitar Gardu Induk (GI) PT PLN (Persero) P3B Sumatra Teluk Betung Selatan-Bandar Lampung Menggunakan Surfer.* Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika Vol. 04, No.01, Januari Tahun 2016.
- Serway, R. and Vuille, C., 2007. *Alternating Current Circuits and Electromagnetic Waves.* In: Serway, R. and Vuille, C., 2007. *Serway's Essentials of College Physics.* USA: Thomson. 563-572
- Sudarti. 2013. *Analisis faktor penyebab timbulnya keluhan kesehatan masyarakat di sekitar SUTET-500 kV.* FKIP Universitas Jember: 47
- Sudibyo, A. 2016. *Pengaruh Besarnya Medan Magnet Dalam Aliran Fluida Bahan Bakar Terhadap Performance Pembakaran.* Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri (SENIATI) 2016 ISSN : 2085-4218

- Suhatin, D, dkk. 2017. *Analisis Medan Magnet ELF (Extremely Low Frequency) Di Sekitar Peralatan Elektronik dengan Daya ≥ 1000 W*. Jurnal Pembelajaran Fisika Vol 6 No. 2, Juni 2017, Hal 208-214
- Swamardika, I. B Alit. 2009. *Pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik terhadap kesehatan manusia*. Teknologi Elektro: 106
- Swerdlow, A. J. 2006. *Power Frequency Electromagnetic Fields, Melatonin, and The Risk of Breast Cancer (Report of An Independent Advisory Group on Non-Ionizing Radiation)*. Series B: Radiation, Chemical and Environmental Hazards. London: The Health Protection Agency.
- Swerdlow, A. J. 2008. *Static Magnetic Field*. London: The Health Protection Agency.
- Tarigan, T. R. P. 2013. *Studi Tingkat Radiasi Medan Elektromagnetik yang Ditimbulkan oleh Telepon Seluler*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura. 1(1).
- Telford. W. M, et al. 1982. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Tipler, P. A. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Wertheimer N and Leeper E. *Electrical wiring configurations and childhood cancer*. Am J Epidemiol 1979.109 (3): 272-284.
- WHO. 2002. *What are Electromagnetic Fields?*. <http://www.who.int/pehemf/about/WhatisEMF/en/>. [Diakses 26 Agustus 2017].
- WHO. 2007. *Electromagnetic Field and Public Health*. <http://www.who.int/pehemf/publications/facts/fs322/en/>. [Diakses 26 Agustus 2017].
- WHO. 2014. *Electromagnetic Fields (EMF)* [Serial Online]. <http://www.who.int/pehemf/about/Whatisemf/en/> [Diakses tanggal 10 Agustus 2017]
- Yulia, E. 2017. *Pengaruh Jenis Atap Rumah Terhadap Penurunan Intensitas Medan Magnet Di Bawah SUTT 150 kV*. Jurnal Pembelajaran Fisika, Vol 6 No. 1, Maret 2017, hal 83-91
- Young, H. D. dan Freedman, R. A. 2015. *Sears and Zemansky's University Physics: With Modern Physics, 14th Edition*. San Francisco: Pearson Education, Inc.
- Young, H. G. 2012. *College Physics 9th Edition*. San Fransisco: Person Education, Inc.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Matrik Penelitian

Matrik Penelitian

JUDUL	RUMUSAN MASALAH	VARIABEL	INDIKATOR	SUMBER DATA	METODE PENELITIAN
Analisis Medan Magnet ELF di Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV di Kabupaten Pasuruan	<p>a. Apakah medan magnet dibawah SUTET 500 kV lebih tinggi dibandingkan medan magnet alamiah?</p> <p>b. Bagaimana pola distribusi medan magnet pada jarak lateral oleh SUTET 500 kV?</p> <p>c. Bagaimana pola</p>	<p>a. Variabel Bebas (Independen Variable)</p> <ul style="list-style-type: none"> • jarak pengukuran. <p>b. Variabel Terikat (Dependen Variable)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radiasi medan magnet yang dihasilkan 	<ul style="list-style-type: none"> • Jarak: <ol style="list-style-type: none"> 1. Tepat dibawah 2. Lateral kiri dan kanan • Intensitas medan magnet • Kondisi jaringan • Keberadaan rumah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil pengukuran medan magnet pada saluran udaran tegangan ekstra tinggi (SUTET) 2. Sumber rujukan berupa jurnal, buku, 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jenis penelitian: <ul style="list-style-type: none"> • Deskriptif 2. Tempat Penelitian: <ul style="list-style-type: none"> • Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) di Kabupaten Pasuruan 3. Metode

	<p>distribusi medan magnet di sekitar tower?</p>	<p>SUTET 500 kV. c. Variabel Kontrol</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alat ukur medan magnet tipe EMF-827 atau <i>Electromagnetic Radiation Tester</i> versi 3120-EN-00. 		<p>skripsi, dan lain-lain</p>	<p>Pengumpulan Data:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observasi • Pengukuran • Dokumentasi
--	--	---	--	-------------------------------	---

Lampiran 2. Foto penelitian





Lampiran 3. Data Hasil Penelitian

Kuat medan magnet alamiah															
Jam pengukuran	jam 05.00			jam 09.00			jam 12.00			jam 15.00			jam 19.00		
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 1	Hari 2	Hari 3
	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04
	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,03	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05
	0,03	0,05	0,04	0,03	0,02	0,04	0,05	0,04	0,06	0,04	0,05	0,03	0,03	0,05	0,04
	0,04	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,06	0,05	0,06	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04
	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,06	0,04	0,07	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05
	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,07	0,07	0,06	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04
	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,08	0,05	0,07	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04
	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,07	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,06	0,07	0,06	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
rata-rata	0,034	0,033	0,038	0,035	0,034	0,036	0,061	0,054	0,062	0,036	0,040	0,038	0,040	0,041	0,045