



**PERBANDINGAN KUAT MEDAN LISTRIK DENGAN MEDAN MAGNET
DI BAWAH SALURAN TRANSMISI TEGANGAN TINGGI TERHADAP
FAKTOR KELENGKUNGAN KONDUKTOR**

Disusun dan Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Mengikuti Ujian Akhir
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro dari Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi

SKRIPSI

OLEH:

NAMA : M. ZUL AJRI
NPM : 1614210373
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

MEDAN

2022

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

JUDUL : PERBANDINGAN KUAT MEDAN LISTRIK DENGAN MEDAN MAGNET DI BAWAH SALURAN TRANSMISI TEGANGAN TINGGI TERHADAP FAKTOR KELENGKUNGAN KONDUKTOR

NAMA : M. ZUL AJRI
N.P.M : 1614210373
FAKULTAS : SAINS & TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI : Teknik Elektro
TANGGAL KELULUSAN : 18 November 2022



DEKAN



Hamdani, ST., MT.

KETUA PROGRAM STUDI



Siti Anisah, S.T., M.T.

DISETUJUI
KOMISI PEMBIMBING

PEMBIMBING I



Solly Aryza, ST., M.Eng

PEMBIMBING II



Muhammad Rizki Syahputra, S.T., M.T.

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Medan, 18 November 2022



M. ZUL AJRI
NPM: 1614210373

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Zul Ajri
NPM : 1614210373
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Sains dan Teknologi
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi **Hak Bebas Royalti Noneklusif** (*Nonexclusive Royaltiy-free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: **Perbandingan Kuat Medan Listrik Dengan Medan Magnet di Bawah Saluran Transmisi Tegangan Tinggi Terhadap Faktor Kelengkungan Konduktor**, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan, mengalih-media/alih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*data base*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sebenarnya.

Medan, 18 November 2022



M. ZUL AJRI
NPM: 1614210373

Perbandingan Kuat Medan Listrik Dengan Medan Magnet di Bawah Saluran Transmisi Tegangan Tinggi Terhadap Faktor Kelengkungan Konduktor

M. Zul Ajri*

Solly Ariza Lubis, ST., M.Eng.**

Muhammad Rizky Syahputra, ST., MT.**

Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Saluran transmisi merupakan bagian dari system tenaga listrik untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit listrik ke gardu induk yang selanjutnya di distribusikan ke konsumen. Dalam penyaluran nya, jarak yang dilalui kadang cukup jauh sehingga tegangan nya dinaikkan melalui transformator penaik tegangan untuk mendapat tegangan yang diinginkan. Pemakaian tegangan tinggi pada transmisi daya listrik selain dapat mengurangi rugi-rugi daya, juga menghasilkan kuat medan listrik yang tinggi di sekitar konduktor bertegangan. Kuat medan listrik dipengaruhi oleh jarak titik tinjau dari konduktor fasa. Semakin dekat jarak antara titik tinjau dengan konduktor fasa, maka kuat medan yang timbul juga semakin besar. Sebaliknya, semakin jauh titik tinjau dari konduktor fasa, maka medan listrik yang timbul akan berkurang. Berdasarkan pada tabel 4.9 kuat medan listrik pada jalur pertama sebesar 515 V/M, sedangkan kuat medan magnetnya sebesar 0,57 uT. Pada jalur kedua diperoleh kuat medan listriknya sebesar 1.210 V/M sedangkan kuat medan magnetnya sebesar 0,789 uT.

Kata Kunci: *Medan Magnet, Medan Listrik, Konduktor.*

*Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : zulajri35@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur peneliti haturkan kepada Allah SWT., Tuhan Yang Maha Esa, Tuhan Penguasa semesta alam atas izin dan karunia-Nya, kepada peneliti, sehingga skripsi ini dapat peneliti selesaikan dengan kerja keras. Sholawat dan salam kepada junjungan Ummat Nabi Besar Muhammad SAW., semoga syafaatnya menyertai dikemudian kelak. Adapun judul skripsi yang peneliti susun ini berjudul: **“Perbandingan Kuat Medan Listrik Dengan Medan Magnet di Bawah Saluran Transmisi Tegangan Tinggi Terhadap Faktor Kelengkungan Konduktor”**. Skripsi ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan strata satu pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi di Universitas Pembangunan Panca Budi Medan. Peneliti menyadari banyak kelemahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh sebab itu, saran dan kritik yang dapat membangun sangat peneliti harapkan demi perbaikan dan kemampuan peneliti pada karya tulis lainnya dimasa mendatang.

Skripsi ini dapat diselesaikan dengan bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada yang saya hormati :

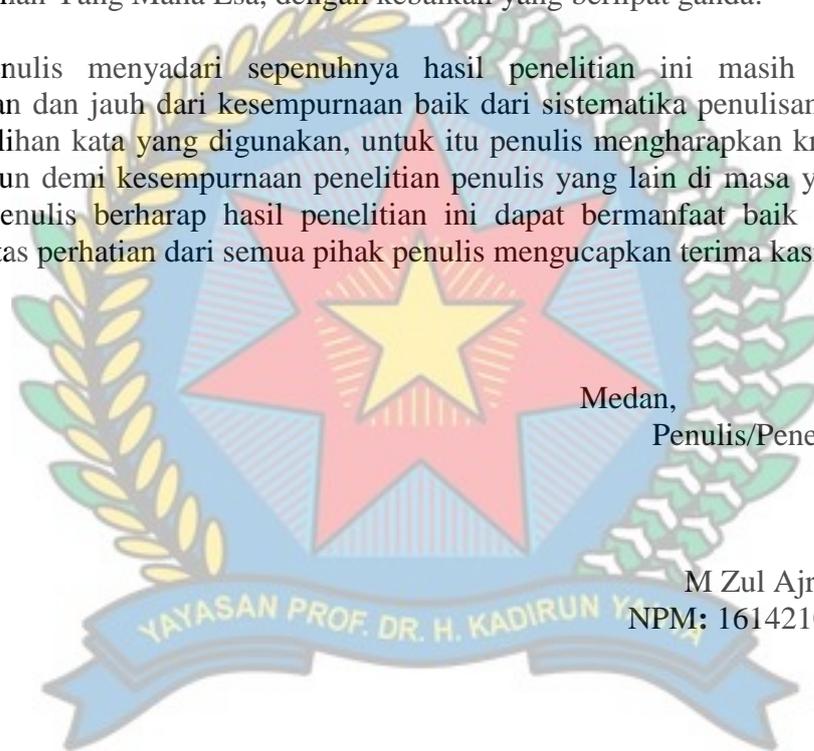
1. Bapak Dr. H. Muhammad Isa Indrawan, SE, MM., selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
2. Bapak Hamdani, ST, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
3. Ibu Siti Anisah ST, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
4. Bapak Solly Ariza ST.,M.Eng selaku Pembimbing I, dan Bapak M Rizki Syahputra, ST.,MT selaku Pembimbing II, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, masukan serta waktu bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu penguji yang memberikan saran, masukan dan kritikan untuk membuat skripsi ini menjadi lebih baik.
6. Bapak dan Ibu staf pengajar dan administarasi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan yang telah memberikan ilmu dalam penulisan skripsi ini, serta kepada karyawan dan karyawan yang telah membantu di bidang administrasi.
7. Bapak dan Ibu Staf perpustakaan pusat dan ruang baca Universitas Pembangunan Panca Budi Medan yang telah memberikan penulis kemudahan dalam mendapatkan bahan bacaan.
8. Teristimewa penulis ucapkan pada Ayahanda dan Ibunda tercinta, serta saudara-saudaraku, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan mendoakan penulis demi terwujudnya cita-cita penulis.
9. Rekan-rekan seperjuangan serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu persatu.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan menjadi kebaikan dan di balas Allah SWT., Tuhan Yang Maha Esa, dengan kebaikan yang berlipat ganda.

Penulis menyadari sepenuhnya hasil penelitian ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan baik dari sistematika penulisan maupun dari pemilihan kata yang digunakan, untuk itu penulis mengharapkan kritik yang membangun demi kesempurnaan penelitian penulis yang lain di masa yang akan datang. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat bermanfaat baik bagi kita semua. Atas perhatian dari semua pihak penulis mengucapkan terima kasih.

Medan,
Penulis/Peneliti

M Zul Ajri
NPM: 1614210373



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB 1 : PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Metode Penelitian	6
1.7. Sistematika Penulisan	6
BAB 2: DASAR TEORI	8
2.1. Saluran Transmisi	8
2.2. Komponen Saluran Transmisi	12
2.3. Jenis jenis Tower Transmisi	13
2.4. Medan Listrik	14
2.5. Medan Magnet.....	19
2.6. Medan Magnet disekitar Tegangan Listrik.....	20
2.7. Gelombang Elektromagnetik.....	24
2.8. Konduktor.....	24
BAB 3: METODE PENELITIAN	35
3.1. Jenis Dan Pendekatan Penelitian	35
3.2. Lokasi Dan Waktu Penelitian	35
3.3. Informan Peneltian	36
3.4. Sumber Dan Jenis Data.....	36

3.5. Teknik Pengumpulan Data	36
3.6. Teknik Analisis Data	37
3.7. Langkah-Langkah Penelitian	39
3.8. Alat Pengukuran	40
BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Hasil Penelitian.....	41
4.1.1. Kuat Medan Listrik.....	41
4.1.2. Kuat Medan Magnet	49
4.1.3. Perbandingan Kuat Medan Listrik Dengan Medan Magnet Terhadap Kelengkungan Konduktor	55
4.2. Pembahasan	57
BAB 5. PENUTUP	60
5.1. Kesimpulan.....	60
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1.....	9
Gambar 2.2.....	13
Gambar 2.3.....	14
Gambar 2.4.....	15
Gambar 2.5.....	16
Gambar 2.6.....	22
Gambar 2.7.....	33
Gambar 3.1.....	38
Gambar 3.2.....	40
Gambar 4.1.....	42
Gambar 4.2.....	43
Gambar 4.3.....	51
Gambar 4.4.....	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1.....	17
Tabel 2.2.....	18
Tabel 4.1.....	43
Tabel 4.2.....	45
Tabel 4.3.....	45
Tabel 4.4.....	46
Tabel 4.5.....	47
Tabel 4.6.....	47
Tabel 4.7.....	53
Tabel 4.8.....	53
Tabel 4.9.....	54
Tabel 4.10.....	54
Tabel 4.11.....	57

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada suatu Sistem Tenaga Listrik, energy listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit listrik lalu di transmisikan ke pusat-pusat pengatur beban melalui suatu saluran trsnmisi, saluran transmisi tersebut dapat berupa saluran jaringan udara atau saluran jaringan bawah tanah, namun pada umumnya berupa saluran udara, PT PLN (Persero) sebagai perusahaan yang salah satu bisnisnya mencakup penyedia pembangkit tenaga listrik lebih cenderung menaikkan tegangan di sisi jaringan transmisi. Sistem pengiriman daya listrik dengan jaringan transmisi saluran udara tegangan tinggi memiliki berbagai keuntungan diantaranya: memberikan kerugian daya yang semakin kecil, pengiriman daya listrik lebih besar, memiliki keandalan sistem yang lebih memadai dan lain sebagainya, namun disatu sisi juga mengakibatkan efek medan listrik yang ditimbulkan bagi mereka yang tinggal di sekitar saluran udara tegangan tinggi.

Fungsi utama suatu saluran transmisi adalah untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit listrik ke gardu induk – gardu induk di daerah berbeban. Untuk mengurangi rugi-rugi daya disepanjang saluran transmisi, maka dipakailah tegangan tinggi. Pemakaian tegangan tinggi ini selain mengurangi rugi-rugi daya, juga menghasilkan medan listrik yang tinggi di sekitar kawat penghantar (Pabla, 1994).

Medan listrik adalah daerah di sekitar benda bermuatan listrik yang masih mengalami gaya listrik. Berdasarkan penelitian terkait medan listrik jika ada

muatan lain berada di dalam dari sebuah benda bermuatan listrik, muatan tersebut akan mengalami gaya listrik berupa gaya tolak-menolak dan atau gaya tarik (Pabla, 1994).

Pembangunan pembangkit tenaga listrik yang kadang lokasinya berada jauh dari pusat pemukiman atau beban membutuhkan saluran transmisi untuk dapat menyalurkan energi listrik. Saluran transmisi tersebut juga tidak jarang melewati kawasan penduduk yang menimbulkan munculnya keluhan-keluhan masyarakat akan efek yang dirasakan dibawah saluran transmisi tegangan tinggi.

Listrik menjadi kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan modern manusia saat ini, hal ini terbukti bahwa peralatan dan kebutuhan hidup manusia tidak terlepas dari listrik. Hal lain membuktikan apabila listrik mati, maka masyarakat merasa resah dan gelisah, terutama ketika listrik mati pada malam hari, aktivitas di rumah akan sulit dilakukan. Meningkatnya kebutuhan listrik tentunya berpengaruh pada kawat penghantar listrik itu sendiri. Medan listrik yang tidak seimbang akan menimbulkan dampak yang buruk bagi masyarakat.

Arus listrik juga dapat memunculkan sifat kemagnetan, dengan demikian saat ada arus listrik melewati suatu benda yang bersifat menghantarkan listrik, maka akan menghasilkan suatu medan magnet. Pengertian inilah yang melandasi konsep dimana saat jarum kompas diletakkan berdekatan dengan bagian yang lurus dari kawat pembawa arus. Sumber medan magnetik berupa arus searah yang dapat dibayangkan berupa arus differensial yang merupakan bagian kecil dari

filamen konduktor yang dialiri arus, yang filamennya merupakan limit dari tabung konduktor berpenampang lingkaran yang jejaringnya menuju nol (Putra, 2013).

Banyak bahan penunjang dan peralatan penghantar kelistrikan yang digunakan oleh PT PLN Persero. Sebagaimana diketahui sistem ketenagalistrikan terdapat atas tiga komponen utama yaitu: sistem pembangkitan, sistem transmisi dan distribusi, serta beban. Energi listrik yang dihasilkan pada tahap pembangkitan akan dikirim melalui jaringan transmisi ke gardu induk untuk selanjutnya di distribusikan ke pelanggan dengan kuantitas yang stabil dan kualitas yang baik. Salah satu komponen utama dari jaringan sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik adalah kawat penghantar arus listrik.

Penghantar listrik sebagai salah satu komponen utama sistem transmisi saluran udara harus memiliki kemampuan hantar arus besar. Guna mencukupi kemampuan hantar arus tersebut, maka penghantar yang digunakan harus dibuat dari bahan dengan karakteristik temperatur yang tinggi (*thermal resistance*) (William, 1990). Arus yang dimakzulkan atau di izinkan (*allowable current*) untuk suatu saluran transmisi udara dibatasi oleh kenaikan suhu yang diakibatkan oleh mengalirnya arus dalam saluran tersebut. Pemuluran (*creep*) dan jarak *saggingan* atau *clereance* yang dihasilkan tidak boleh melebihi batas aman dari ruang dan jarak bebas minimum yang telah ditetapkan, dengan mengetahui pengaruh pembebanan arus saluran terhadap unjuk kerja mekanis konduktor yang meliputi tegangan tarik konduktor, andongan, dan panjang pemuluran konduktor,

diharapkan akan berguna dalam struktur konstruksi saluran transmisi udara yang sesuai dengan sifat dari sebuah penghantar listrik (konduktor).

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut bahwa kuat medan listrik dapat memberikan dampak bagi masyarakat, dan kuat medan magnet juga memberikan dampak pada masyarakat dibawah saluran transmisi tegangan tinggi, maka perlu dilakukan analisis perbandingan antara kuat medan listrik dan medan magnet dibawah transmisi tegangan tinggi terhadap lingkungan, karena pada dasarnya sistem kerja medan magnet dan medan listrik memiliki persamaan dan perbedaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kuat medan listrik dan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan konduktor.

1.2. Rumusan Masalah

Berkaitan dengan uraian yang disampaikan di atas tadi maka dapat disampaikan rumusan masalah pada penelitian saya sebagai berikut:

- a. Bagaimana kuat medan listrik dan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap kelengkungan konduktor di Jaringan Transmisi Rantau Prapat-Labuhan Bilik?
- b. Bagaimana kuat medan listrik dan kuat medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap kelengkungan konduktor di Jaringan Transmisi Simangkuk-Sarulla?.
- c. Bagaimana Pengaruh Kuat Medan Listrik dan Medan Magnet di Jaringan Transmisi di Kedua Jalur Tersebut Terhadap Kelengkungan Konduktor ?.

1.3. Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini perlu dibatasi agar penjelasan dalam penelitian ini menjadi terarah. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Saluran yang di analisis adalah Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) Rantau Prapat – Labuhan Bilik dan SUTET Simangkuk – Sarulla.
2. Metode Perhitungan dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi Microsoft Excel dengan variasi jarak.
3. Data lapangan diambil dari data yang diambil secara komersial berupa kerjasama antara PT PLN UIP SBU dengan LP USU.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui Kuat Medan Listrik dan Medan Magnet di Jaringan Transmisi Jalur Rantau Prapat – Labuhan Bilik.
- b. Mengetahui Kuat Medan Listrik dan Medan Magnet di Jaringan Transmisi Jalur Simangkuk – Sarulla.
- c. Mengetahui Pengaruh Kuat Medan Listrik dan Medan Magnet di Jaringan Transmisi di Kedua Jalur Tersebut Terhadap Kelengkungan Konduktor.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan supaya dapat memberikan kontribusi yang positif dan juga dari penelitian yang dilakukan tentunya ada harapan yang akan dicapai, adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

- a. Dapat memberikan informasi bagi pembaca mengenai pengaruh konfigurasi konduktor terhadap kuat medan listrik dan medan magnet pada saluran transmisi tegangan tinggi.
- b. Mampu memberikan informasi mengenai jarak aman untuk menghindari kuat medan listrik dan medan magnet di bawah saluran transmisi berdasarkan standart batas yang sudah ditetapkan.
- c. Hasil penelitian dapat dijadikan modul pembelajaran

1.6. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini, menggunakan 2 macam metode yaitu:

- a. Metode Literatur, mengumpulkan bahan-bahan yang berhubungan dengan judul penelitian dari buku-buku yang ada di perpustakaan dan ada hubungannya dengan kuat medan listrik dengan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan konduktor.
- b. Metode Perhitungan, untuk memperoleh Informasi data yang telah diperoleh secara pengukuran langsung untuk dilakukan perbandingan dengan hasil yang diperoleh dengan menggunakan rumus.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir bertujuan untuk memberikan pengarahan secara jelas tentang isi yang akan dimuat pada penulisan skripsi ini yang

merupakan garis besar dari keseluruhan skripsi. Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah:

Bab I Pendahuluan, pada bab ini membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II Dasar Teori, pada bab ini mengemukakan teori-teori yang melandasi pembahasan masalah yang akan dibahas yaitu saluran transmisi, komponen saluran transmisi, medan listrik, medan magnet dan penjelasan konduktor.

BAB III Metode Penelitian, pada bab ini berisi mengenai data-data dan mengenai langkah-langkah untuk melakukan analisis menggunakan metode kuantitatif.

BAB IV Hasil Dan Pembahasan, Pada bab ini membahas tentang hasil perbandingan kuat medan listrik dengan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan konduktor.

BAB V Kesimpulan, pada bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil yang telah dilakukan sesuai dengan masalah yang dibahas dalam penyusunan skripsi.

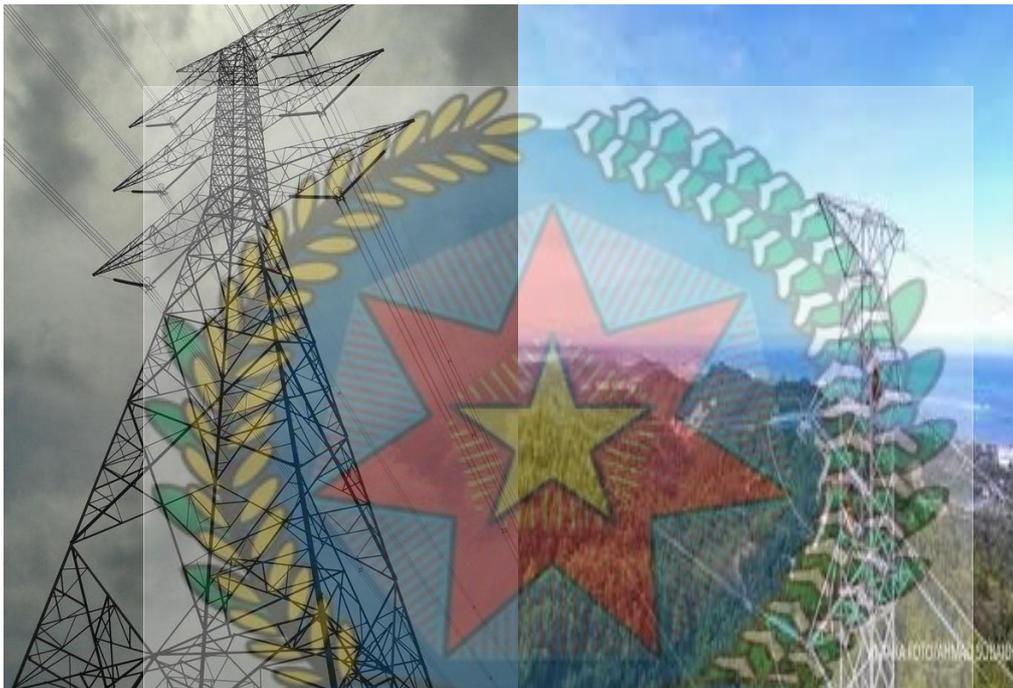
BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Saluran Transmisi

Energi listrik yang dihasilkan oleh suatu Sistem Tenaga Listrik, dibangkitkan dari pusat pembangkit listrik lalu di transmisikan ke pusat-pusat pengatur beban melalui suatu saluran transmisi, saluran transmisi dapat berupa saluran udara (*Overhead Line*) atau saluran bawah tanah (*Underground Line*) dan pada umumnya kita memakai jenis saluran yang pertama. Energi listrik yang disalurkan melalui saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang yang mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar dengan lingkungan sekelilingnya. Kawat penghantar disangga oleh suatu konstruksi bangunan yaitu menara/tower dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, Diantara tower dan kawat penghantar listrik disekat oleh isolator.

Transmisi adalah proses penyaluran energy listrik dari suatu tempat ke tempat lain yang besaran tegangan nya dibagi menjadi Tegangan Ultra Tinggi (UHV) dengan besaran tegangan nya >500 kV, Tegangan Ekstra Tinggi (EHV) dengan besaran tegangan nya 200 kV sampai 500 kV, Tegangan Tinggi (HV) dengan besaran tegangan operasi antara 30 kV sampai 150 kV, Tegangan Menengah (MV) sebesar 20 kV, dan Tegangan Rendah (LV) yang biasa digunakan dalam kebutuhan rumah tangga dengan besaran tegangan 220 V sampai 340 V.



Gambar 2.1 Jenis Jenis Saluran Udara

Sumber: Penulis

Tegangan pada saluran transmisi yang dapat mencapai puluhan sampai ratusan kilo volt, sehingga diantara saluran transmisi dengan saluran distribusi kepada konsumen dibutuhkan trafo daya *step down*. Trafo-trafo daya ini beserta dengan perlengkapan-perengkapannya disebut gardu induk. Gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik yang berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi gardu induk atau disebut *step up*, sebaliknya dari tegangan tinggi ke tegangan rendah gardu induk di sebut *step down*. Selain itu, gardu induk juga dapat digunakan untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan sistem tenaga listrik.

Sistem penyaluran energi listrik adalah bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara daya besar (*bulk power source*, BPS) dan peralatan hubung pelanggan (*customers service switches*). Selain itu, suatu sistem distribusi biasanya tersusun atas beberapa peralatan maupun komponen pendukung lainnya seperti gardu induk distribusi, sistem sub-transmisi, feeder dan trafo distribusi, maupun layanan pelanggan (Logahan, 2012). Pada penyaluran sistem distribusi sangat memperhatikan kualitas pelayanan yang terpadu dan memadai. Faktor yang dapat menentukan kualitas pelayanan tersebut yaitu seperti kemampuan sistem distribusi dalam menyalurkan energi listrik kepada pelanggan secara kontiniu, dengan tingkat frekuensi gangguan seminimal mungkin.

Adapun kontinuitas penyaluran sistem distribusi erat kaitannya dengan konfigurasi jaringan, serta komponen tegangan menengah yang terpasang pada jaringan. Selain itu, agar fungsi jaringan distribusi dapat berjalan dengan baik maka diperlukan upaya untuk menanggulangi gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi dengan cepat, efisien, dan dalam waktu yang singkat. Maka unsur tersebut dapat berpengaruh terhadap tingkat kehandalan sistem distribusi dalam menyalurkan tenaga listrik yang berkualitas. Sistem jaringan distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi 2 sistem yaitu sistem jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah) dan sistem jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah).

Kedua sistem distribusi tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Pada umumnya tegangan kerja pada sistem distribusi primer adalah 6 KV atau 20

KV, sedangkan tegangan kerja pada sistem distribusi sekunder 380 V atau 220 V. Jaringan distribusi primer merupakan suatu jaringan yang terletak sebelum gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah. Pada sistem ini menggunakan saluran penghantar tiga fasa dengan jumlah satu hingga dua sirkuit. Penghantar yang digunakan dapat berupa saluran bawah tanah atau kawat udara yang menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) dengan gardu distribusi atau gardu hubung (sisi primer gardu distribusi). Tegangan pada sistem distribusi primer diperoleh dari proses menurunkan level tegangan dari tingkat tegangan transmisi. Langkah yang dilakukan di gardu induk (GI), dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah dari tegangan 500 KV menjadi 150 KV, penurunan ini bisa juga dari level 500 KV menjadi 70 KV. Tegangan yang sudah diturunkan di gardu induk selanjutnya diturunkan kembali dari tegangan 150 KV menjadi 20 KV atau dari tegangan 70 KV menjadi 20 KV.

2.2 Komponen Saluran Transmisi

Suatu Jaringan transmisi terdiri dari beberapa komponen/bagian penting dalam menunjang efektifitas atau fungsinya, komponen konstruksi jaringan transmisi yaitu :

1. Tower Transmisi

Tower transmisi memiliki struktur tinggi dengan ketinggian berkisar 18 sampai 55 meter. Bahan-bahan selain baja yang dapat digunakan di tower transmisi adalah beton dan kayu.

2. Isolator

Isolator adalah bahan penahan konduktor agar tegangan tidak berpindah ke struktur non-konduktif, sifat bahan yang memisahkan secara elektris dua buah atau lebih penghantar listrik bertegangan yang berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus,lompatan api, atau percikan api. Isolator merupakan pemisah daerah bertegangan dengan daerah yang tidak bertegangan.

3. Konduktor

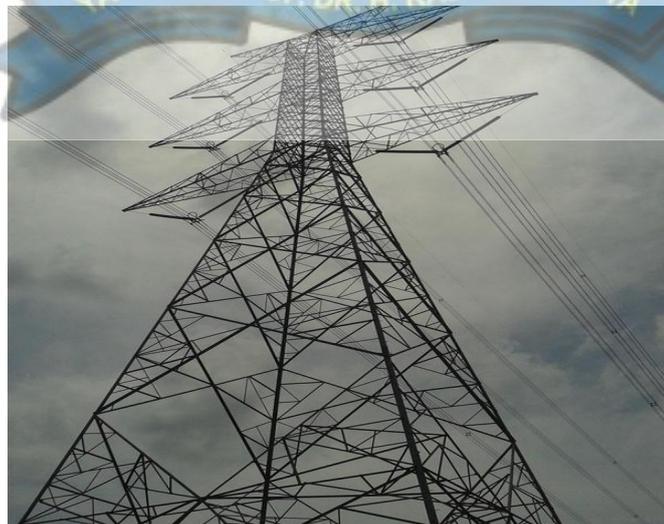
Konduktor adalah media pengalir arus listrik dari pembangkit listrik ke Gardu Induk atau dari GI ke GI lainnya, yang terbentang melalui *tower-tower*. Konduktor yang ada pada *tower tension* ditopang oleh *tension clamp*, sedangkan konduktor yang ada pada *suspension tower* ditopang oleh *suspension clamp*. Dibelakang *clamp-clamp* tersebut dipasang rencengan isolator yang terhubung ke *tower*.

2.3 Jenis Tower Transmisi

Tower transmisi memiliki banyak bentuk dan bahan yang beragam dan dapat dijelaskan menurut bentuk konstruksinya, fungsi, dan tipenya. Menurut bentuk konstruksinya, tower transmisi yang umum digunakan ada 2 macam yaitu :

1. Lattice Tower

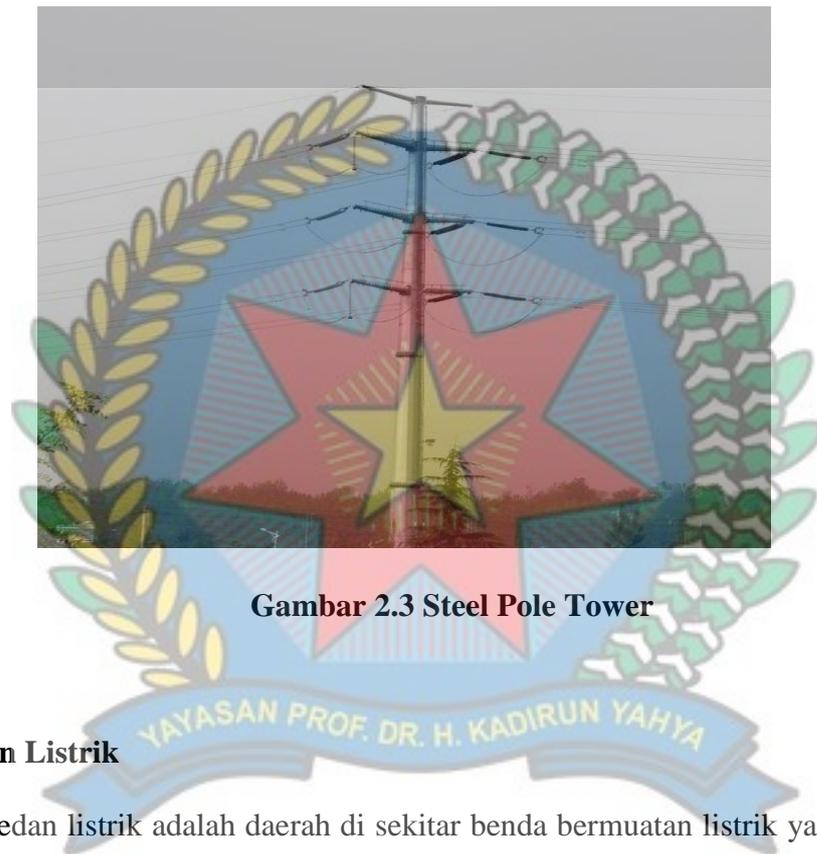
Lattice tower adalah konstruksi badan tower transmisi yang terbuat dari baja atau aluminium. Tower jenis ini digunakan hampir disemua jenis tegangan listrik dan merupakan jenis tower yang paling umum digunakan untuk transmisi tegangan tinggi khususnya di Indonesia. Lattice tower biasanya terbuat dari baja galvanis, tetapi aluminium juga digunakan untuk mengurangi berat badan tower.



Gambar 2.2 Lattice Tower

2. Steel Pole Tower

Tiang jenis ini terbuat dari pipa baja pada dirakit terlebih dahulu di pabrik. Karena daya tahan dan kemudahan manufaktur dan instalasi, dalam beberapa tahun terakhir banyak saluran transmisi yang lebih memilih menggunakan jenis ini dari pada Lattice Tower.



Gambar 2.3 Steel Pole Tower

2.4 Medan Listrik

Medan listrik adalah daerah di sekitar benda bermuatan listrik yang masih mengalami gaya listrik. Jika muatan lain berada di dalam medan listrik dari sebuah benda bermuatan listrik, muatan tersebut akan mengalami gaya listrik berupa gaya tarik atau gaya tolak-menolak (Pabla, 1994). Medan listrik adalah gaya listrik per satuan muatan. Karena gaya listrik mengikuti prinsip superposisi secara vektor, demikian juga yang terjadi pada medan listrik. Hal ini berarti kuat medan listrik dari beberapa muatan titik adalah jumlah vektor kuat medan listrik dari masing-masing muatan titik. Sehingga kuat medan listrik dari beberapa muatan titik adalah jumlah vektor kuat medan listrik dari masing-masing muatan titik (Sakinah, 2016).

Suatu titik dikatakan berada dalam medan listrik apabila suatu benda yang bermuatan listrik ditempatkan pada titik tersebut akan mengalami gaya listrik.

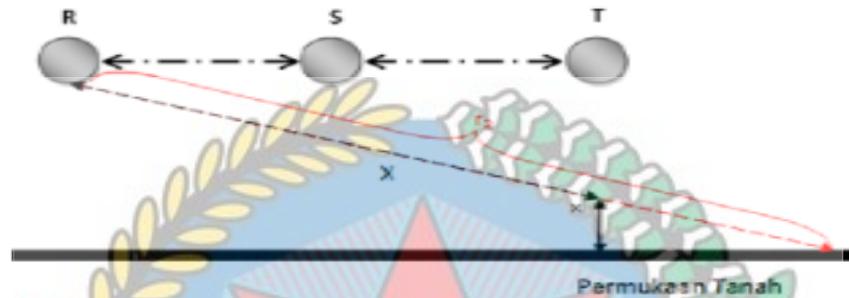
Untuk menggambarkan medan listrik, dapat dilakukan dengan memvisualisasikan serangkaian garis untuk menunjukkan arah medan listrik pada berbagai titik di ruang, yang disebut dengan garis-garis gaya listrik. Garis-garis yang keluar dari partikel disebut dengan medan listrik. Arah medan listrik keluar dari partikel disebut bermuatan positif. Kebalikannya dengan partikel bermuatan negatif, garis-garis yang merupakan medan listrik, arah medan listrik pada partikel bermuatan negatif adalah menuju pusat arah partikel (Hadiyanti, 2012). Medan listrik ini dapat digambarkan sesuai gambar berikut ini:



Gambar 2.4 Medan Listrik Positif dan Negatif

Sumber: Google

Berdasarkan penelitian sebelumnya Penelitian oleh I.P.H Wahyudi (2015) tentang “Kajian Kuat Medan Listrik pada Konfigurasi Horizontal Saluran Transmisi 150 Kv” Pada penelitian ini disebutkan bahwa besarnya intensitas medan listrik E merupakan penjumlahan intensitas kuat medan listrik pada saluran horizontal dan intensitas medan listrik tersebut dihitung bersamaan dengan suatu koordinat tertentu pada suatu titik. Gambar berikut ini merupakan ilustrasi letak titik pengukuran kuat medan listrik.



Gambar 2.5. Ilustrasi Letak Titik Pengukuran Kuat Medan Listrik

Sumber: Penulis

Dimana dalam menghitung besaran kuat medan listrik dibawah saluran transmisi nya menggunakan persamaan berikut ini :

$$E = \frac{V}{X \cdot \ln r_2/r_1}$$

Dimana:

E : Kuat Medan Listrik di Titik x (kV/M)

V : Tegangan (kV)

X : Jarak Titik x Terhadap Konduktor (m)

r^2 : Jarak Konduktor Terhadap Tanah (m)

r^1 : Jari-jari Konduktor (m)

Prinsip super posisi medan listrik untuk mencari intensitas medan listrik yang dihasilkan oleh sekumpulan muatan titik yaitu dapat dilakukan dengan menghitung E_n yang dihasilkan oleh setiap muatan titik yang diberikan dengan menganggap seakan-seakan tiap muatan tersebut adalah satu-satunya muatan yang hadir, setelah itu medan listrik yang telah dihitung secara terpisah ini dijumlahkan secara vektor untuk mencari resultan medan E (Hadiyanti, 2012).

Berdasarkan Rekomendasi SNI 04-6950-2003 Badan Standarisasi Nasional tentang Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), nilai ambang batas medan listrik dan medan magnet. Bahwa Standart ini berlaku sebagai pedoman untuk menetapkan ruang batas dan jarak bebas minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Standart ini berlaku untuk SUTT dengan tegangan nominal 66 kV dan 150 kV, serta SUTET dengan tegangan nominal 275 kV dan 500 kV di Indonesia, baik dengan menggunakan menara baja maupun tiang baja/beton (Sakinah, 2016), adalah:

Tabel 2.1. Nilai Ambang Batas Medan Listrik dan Medan Magnet

Hubungan	Klasifikasi	Kuat Medan Listrik (KV/M)	Kuat Medan Magnet (mT)
Dengan Pekerjaan Kerja	Seluruh Hari	10	0,5
	Jangkauan Pendek	30	5
	Hanya pada lengan	-	25
Dengan Masyarakat Umum	Sampai 24 jam /hari	5	0,1
	Beberapa jam/hari	10	1

Sumber: Penulis

Durasi yang dibolehkan untuk kuat medan listrik antara 10-30 kV/m dapat dihitung dengan menggunakan rumus: $t \leq 80/E$ dimana t = lama exposure (jam) dan E = Kuat medan listrik (kV/m). Durasi pemaparan maksimum/hari adalah 2 jam. Pembatasan ini berlaku untuk ruang terbuka dimana anggota masyarakat umum dapat secara wajar diperkirakan menghabiskan sebahagian besar waktu selama satu hari, seperti kawasan rekreasi, lapangan untuk bertemu dan lain-lain (Sakinah, 2016). Nilai kuat medan listrik dan kuat medan magnet dalam kegiatan yang terpaksa dapat dilampaui untuk durasi beberapa menit/hari asalkan diambil tindakan pencegahan untuk mencegah efek samping tak langsung.

Sementara itu, berdasarkan rekomendasi WHO, 1990 memberikan rekomendasi untuk nilai ambang batas medan listrik seperti berikut ini:

Tabel 2.2. Nilai Ambang Batas Medan Listrik Menurut WHO

Intensitas Medan Listrik (kV/m)	Lama Exposure per 24 jam (kV/m) yang diperbolehkan (menit)
5	Tidak terbatas
10	180
15	90
20	10
25	5

Sumber: Penulis

Bagi masyarakat umum, WHO 1990 merekomendasikan tingkat paparan maksimum adalah 5 kV/m untuk medan listrik (Pabla, 1994).

2.5 Medan Magnet

Medan magnet adalah daerah yang berada disekitar titik pusat magnet dimana tempat benda-benda tertentu mengalami gaya magnetik. Gaya magnetik dapat ditimbulkan oleh benda-benda yang bersifat magnetik dan juga arus listrik/muatan listrik yang bergerak. Medan magnet dipengaruhi gerakan dari perpindahan muatan, kekuatannya diukur dalam satuan amper per meter (A/m) tetapi dinyatakan dalam istilah yang sama dengan induksi magnetic yang terukur dalam satuan tesla (T), mili tesla (mT) atau mikro tesla (uT).

Medan magnet terbentuk dari gerak electron. Mengingat arus listrik yang melalui suatu hantaran merupakan aliran electron, maka pada sekitar kawat hantaran listrik tersebut akan ditimbulkan suatu medan magnet. Medan magnet memiliki arah, kerapatan, dan intensitas yang digambarkan sebagai “garis garis fluks”. Besaran kerapatan medan magnet dinyatakan dengan banyaknya garis-garis fluks yang menembus suatu kuas bidang tertentu dan mempunyai symbol (B). Intensitas medan magnet disebut sebagai kuat medan magnet dan dinyatakan dengan besarnya fluksi sepanjang jarak tertentu dan mempunyai symbol (H). dan dapat dicari dengan persamaan :

$$H = \frac{I}{2\pi R}$$

Dimana :

H = Kuat Medan Magnet.

I = Arus yang mengalir di penghanta.

R = Jarak radial penghantar ke titik yang dituju.

Garis gaya magnetik selalu memancar dari kutub utara ke kutub selatan dan tidak pernah memotong, semua garis kekuatan mulai pada kutub utara dan berakhir pada kutub selatan. Kontinu dan selalu membentuk loop yang lengkung, tidak pernah memotong, cenderung memendek sendiri, karenanya garis magnet diantara kutub yang berbeda menyebabkan kutub ditarik lebih dekat. Masuk dan keluarnya material magnet pada sisi kanan permukaan. Melewati semua material, magnet ataupun non magnet (Putra, 2013). Selain itu, tidak ada isolator untuk kuat garis magnet.



Gambar 2.6 Medan Magnet

Sumber: Google

2.6 Medan Magnet di Sekitar Tegangan Listrik

Percobaan yang dilakukan oleh Hans Christian Oersted (1777-1851 warga Denmark) merupakan orang pertama yang menemukan adanya medan magnet

disekitar arus listrik. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa ketika arus tidak terhubung, pada kawat tidak ada arus listrik yang mengalir dan jarum kompas pada posisi sejajar dengan kawat. Apabila saklar ditutup sehingga arus mengalir pada kawat penghantar, maka jarum kompas menyimpang. Simpangan jarum kompas tergantung arah arus pada kawat dan letaknya. Percobaan Oersted menunjukkan bahwa: Arus listrik menghasilkan gaya yang dapat memutar sebuah magnet yang ada didekatnya. Besarnya gaya bergantung kepada kedudukan relatif antara arus dan magnet (Putra, 2013).

Berdasarkan hasil percobaan tersebut, Oersted menyimpulkan bahwa "disekitar penghantar berarus listrik timbul medan magnet". Sementara itu, percobaan yang dilakukan Ampere, bahwa Ampere menyatakan bahwa kawat yang berarus listrik mengadakan gaya tarik atau tolak satu sama lain. Pada dua arus yang sama arahnya akan saling menarik dan dua arus yang berlawanan arahnya akan saling menolak (Giancoli, 2001).

Pada kaidah penarik gabus arah kuat medan magnet dapat ditentukan dengan kaidah penarik gabus seperti; Jika arah gerak penarik gabus menggambarkan arah arus listrik, maka arah putaran penarik gabus menunjukkan arah kuat medan atau garis gaya. Sementara kaidah Tangan Kanan bila ibu jari tangan menunjukkan arah arus, maka arah garis gaya atau kuat medan sama dengan arah jari-jari yang digenggam. Besarnya gaya listrik di suatu titik dalam medan listrik menyatakan kuat medan listrik di titik tersebut.

Pada hukum Biot-Savart Induksi magnetik di sekitar kawat panjang lurus yang berarus listrik dapat dicari dengan Hukum Biot-Savart. Sementara induksi magnetik di pusat arus melingkar Induksi magnetik di pusat kumparan yang berbentuk lingkaran. Induksi magnetik pada sumbu kumparan Induksi magnetik di sebuah titik pada sumbu kumparan berjari-jari r meter yang berada pada jarak a meter dari keliling lingkaran. Induksi magnetik di dalam selenoida Induksi magnetik di sebuah titik p pada sumbu selenoida yang panjangnya 1 meter yang terdiri dari N lilitan serta berarus i ampere (Dwinugraha, 2016).

Energi mekanik dapat dikonversikan menjadi energi listrik dengan jalan induksi elektromagnetik. Dengan induksi elektro magnetik dapat dibangkitkan energi listrik secara besar-besaran. Sifat magnetik dapat ditimbulkan dengan arus listrik, maka sebaliknya arus listrik dapat ditimbulkan dengan gaya magnet. Hal ini dapat dinyatakan dengan percobaan Faraday yaitu apabila sebuah kumparan kawat yang kedua ujungnya dihubungkan dengan galvanometer, didekati oleh kutub utara suatu magnet batang, maka selama ada gerakan, jarum galvanometer akan menyimpang dari kedudukan seimbang. Apabila kutub magnet dijauhkan kembali dari kumparan, maka galvanometer akan menyimpang dengan arah yang berlawanan. Bila percobaan di atas dilakukan dengan kutub selatan, maka waktu didekatinya, arah simpangan galvanometer sama dengan arah simpangan ketika kutub utara dijauhkan daripadanya dan sebaliknya. Simpangan jarum galvanometer makin besar apabila jumlah lilitan kawat kumparan makin banyak. Pada gerakan yang perlahan-lahan simpangan sedikit dan perlahan-lahan, pada gerakan cepat simpangan jarum besar dan menyentak (Giancoli, 2001).

Percobaan-percobaan Faraday seperti yang telah disebutkan di atas menunjukkan bahwa selama magnet digerakkan, di dalam kumparan terjadi arus yang arahnya bolak-balik. Oleh karena arus ini terjadi karena adanya induksi maka dinamakan arus induksi, induksi menyebabkan arus induksi itu disebut induksi elektro magnetik. Beda tegangan yang demikian dinamakan Gaya Gerak listrik induksi (GGL induksi), arus yang terjadi disebut juga arus induksi atau arus imbas.

Sementara hukum Lenz menjelaskan arah arus induksi dapat ditentukan dengan hukum Lenz, yang bunyinya: "Arah arus induksi dalam suatu pengantar sedemikian, sehingga menghasilkan medan magnet yang melawan perubahan garis gaya yang menimbulkannya". Arus searah mempunyai nilai tetap, tidak berubah terhadap waktu. Sedangkan arus bolak-balik adalah arus yang nilainya berubah terhadap waktu secara periodik (Putra, 2013). Bila dalam arus searah lambang sumber tegangannya, dan dalam arus bolak-balik lambang sumber tegangannya \sim Arus bolak-balik diukur dengan galvanometer, maka alat-alat tersebut (alat ukurnya), angka menunjukkan angka nol. Karena kumparan koilnya terlalu lambat untuk mengikuti bentuk gelombang yang dihasilkan oleh sumber arus bolak-balik tersebut. Tetapi bila diukur dengan osiloskop kita dapat melihat nilai-nilai arus atau tegangan yang dihasilkan yang selalu berubah terhadap waktu secara periodik, sehingga memperlihatkan sebuah bentuk gelombang.

Berdasarkan penjelasan tersebut, bahwa di daerah teraliri arus listrik terdapat gaya magnetik, bila hal tersebut mengandung unsur listrik. Begitu sebaliknya di daerah yang dialiri magnetic terdapat arus listrik. Hal ini menjelaskan ada persamaan di daerah arus listrik dan arus magnetik.

2.7 Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang bisa merambat tanpa medium perantara. Dasar teori dari perambatan gelombang elektromagnetik pertama kali dijelaskan pada tahun 1873 oleh James Clerk Maxwell dalam papernya di Royal Society mengenai teori dinamika medan elektromagnetik. Pada tahun 1900 fisikawan berkebangsaan Jerman Max Planck (1858 – 1947) mengemukakan bahwa setiap muatan listrik yang memiliki percepatan memancarkan radiasi elektromagnetik. Waktu kawat atau penghantar seperti antena menghantarkan arus bolak-balik, radiasi elektromagnetik dirambatkan pada frekuensi yang sama dengan arus listrik.

2.8 Konduktor

Kawat penghantar adalah suatu komponen listrik yang dipergunakan untuk mengalirkan arus listrik. Oleh karena itu sifat terpenting yang harus dipunyai oleh kawat penghantar adalah konduktivitas listrik yang baik dan sifat tahan panas yang tinggi. Pada saluran transmisi udara kawat penghantar yang digunakan adalah kawat telanjang (*bare wire*). Berbagai macam jenis penghantar saluran transmisi udara dapat dikenal dari lambang-lambang berikut ini:

- a. ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan baja.
- b. AAAC (*All-Aluminium-Alloy Conductor*) yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- c. AAC (*All-Aluminium Conductor*) yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium
- d. ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*) yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Kawat penghantar aluminium dengan kandungan zirkonium (Zr) dapat meningkatkan sifat tahan panas sehingga dapat menaikkan kemampuan hantar arus pada jaringan transmisi atau distribusi. Secara spesifik sifat tahan panas dinyatakan sebagai ketahanan terhadap pelunakan (*annealing*) dan pemuluran (*creep*). Fukui (Kusmono dan Samsudin, 2005) melaporkan bahwa titanium, niobium dan zirkonium meningkatkan kekuatan pemuluran dan keuletan pada paduan, karena unsur tersebut membentuk titanium karbida, niobium karbida dan zirkonium karbida yang relatif stabil pada temperatur tinggi. Karbida-karbida tersebut berfungsi sebagai penghambat pergerakan dislokasi sehingga paduan menjadi tetap stabil kekuatannya meskipun beroperasi pada temperatur tinggi. Dengan kata lain bahwa kawat penghantar tidak mengalami penurunan kekuatan / degradasi yang berarti bila dioperasikan pada temperatur tinggi.

Kawat penghantar aluminium tahan panas ini dikenal dengan sebutan TAL (*Thermal Resistance Aluminium Alloy*). Kawat TAL yang sering disebut TACSR ini dapat beroperasi secara kontinyu sampai dengan temperatur 150°C sedangkan

kawat penghantar yang menggunakan bahan aluminium dari jenis *EC grade* hanya dapat dioperasikan sampai temperatur 90°C .

Sebagian besar jalur transmisi dalam sistem kelistrikan memanfaatkan *all aluminium conductor* (AAC), *aluminium-alloy* (AAAC) atau *steelrein forced aluminum conductors* (ACSR). Aluminium digunakan karena mempunyai konduktivitas yang tinggi dan ringan. Baja ditambahkan dalam ACSR untuk memberi kekuatan ekstra dan ketahanan terhadap andongan. Aluminium digunakan dalam konstruksi konduktor konvensional memberikan sebagian besar kekuatan pada konduktor. Dalam rangka memberikan kekuatan yang memadai, aluminium melakukan pengerjaan dingin (*cold working*) untuk meningkatkan kekuatan fisik mereka.

Peningkatan kekuatan disebabkan dislokasi dalam struktur kristal dari material yang membuat sulit bagi lapisan atom menyelinap melewati satu sama lain. Dislokasi ini juga sedikit meningkatkan hambatan listrik pada konduktor (Slegers, 2011). Pemanasan pada konduktor yang bekerja dalam fase pengerjaan dingin (*cold working*) dapat menyebabkan terjadinya *annealing*. *Annealing* adalah sebuah proses perlakuan panas yang digunakan untuk meniadakan pengaruh dari pengerjaan dingin (*cold work*) yang berarti *annealing* mempengaruhi sifat mekanis dari baja. Dengan dilakukannya *annealing* itu menurunkan kekuatan tarik dari sebuah baja. Hal ini terjadi karena dengan adanya *annealing* maka terjadi penyusunan kembali dislokasi yang sebelumnya dislokasi tersusun secara tidak teratur dengan adanya penyusunan kembali dislokasi berarti membuat material

tersebut menjadi kurang kuat (Sitorus, 2011). Maka dari itu, konduktor seharusnya tidak dioperasikan pada suhu yang menyebabkan konduktor mengalami fase *annealing*. Hal ini adalah dasar pengoperasian temperatur yang digunakan pada konduktor secara umum (Sleger, 2011).

All Aluminium Cable (AAC) merupakan konduktor yang seluruhnya terbuat dari aluminium. Konduktor ini sederhana dan murah. Tetapi, kekuatan konduktor ini hanya terbatas pada susunan dari aluminium dalam konduktor, selain itu konduktor ini juga memberikan andongan yang cukup besar disebabkan modulus elastisitas yang rendah dari aluminium (Slegers, 2011). Beberapa konduktor yang dibuat dengan menggunakan *aluminium alloy* (AAAC), yang memberikan mereka kekuatan tarik (*tensile strength*) yang tinggi. Konduktor aluminium tidak umum digunakan dalam proyek-proyek transmisi baru, tetapi masih banyak yang digunakan pada jalur transmisi.

Steel reinforced aluminum conductor (ACSR) merupakan konduktor dibuat dengan menggunakan baja pada sisi inti yang dikelilingi oleh aluminium pada sisi luarnya. Baik baja maupun aluminium, keduanya memberi andil pada kekuatan tarik daripada konduktor tersebut. Saat dipanaskan, pemanjangan konduktor sangat dipengaruhi oleh inti baja dimana membentang lebih pendek dibandingkan aluminium (Slegers, 2011).

Konduktor AAC, AAAC, dan ACSR mempunyai batas operasi pada temperatur 90°C sampai 100°C. Jika dioperasikan diatas batas maksimum tersebut, maka konduktor aluminium akan mengalami proses *annealing* yang

membuat konduktor kehilangan kekuatannya (Slegers, 2011). Pada saluran transmisi, konduktor ini sering kali didesain untuk beroperasi pada temperature dibawah 60° sampai dengan 70°C guna membatasi ukuran andongan.

Mengoperasikan saluran transmisi pada batas arus maksimalnya dapat menyebabkan pemanasan signifikan pada konduktor tersebut. Pemanasan pada konduktor dapat meningkatkan andongan konduktor tersebut secara signifikan. ketika andongan sudah mencapai batas maksimal yang diperbolehkan, maka konduktor harus dibatasi panjang bentangnya atau dengan menambah ketinggian dari stuktur tiang yang digunakan. Konduktor konvensional juga mungkin dibatasi oleh pada besarnya temperatur operasi, dimana jika konduktor beroperasi pada batas temperatur maksimum yang diperbolehkan akan mengurangi keandalan dari konduktor tersebut (Slegers, 2011).

Salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas saluran transmisi adalah dengan menggantikan konduktor lama (*reconductor*) dengan konduktor yang lebih besar atau yang lebih kuat. Penggantian konduktor ini akan dibatasi oleh ukuran kabel yang dapat didukung oleh struktur yang ada. Konduktor HTLS ini mempunyai banyak variasi yang dikembangkan, dimana konduktor jenis ini mempunyai kemampuan lebih baik dibandingkan konduktor konvensional. Konduktor HTLS mempunyai harga yang mahal, dengan harga yang mahal tersebut membuat konduktor ini jarang digunakan untuk diaplikasikan pada proyek pembangunan saluran transmisi baru, namun dapat menjadi pertimbangan

ekonomis untuk peningkatan kapasitas saluran transmisi yang telah beroperasi (Slegers, 2011).

Konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*) tersusun atas perpaduan karbon dan *glass fiber* yang disatukan guna mendapatkan kekuatan tarik yang tinggi. Serat ini dikelilingi oleh serat *boron-free* untuk meningkatkan fleksibilitas dan ketangguhan serta mencegah korosi galvanik antara serat karbon dan aluminium. Serat campuran (*composite core*) mempunyai kekuatan yang baik, dan nilai koefisien ekspansi termal yang rendah dimana dapat mengurangi kelendutan pada kondisi beban yang tinggi/ temperatur operasi yang tinggi. Serat inti konduktor ACCC dikelilingi oleh aluminium yang disusun berbentuk trapezium guna memberikan konduktivitas terbaik dengan resistansi sekecil mungkin pada konduktor dengan berbagai diameter.

Konduktor ACCC dapat beroperasi pada temperatur 180°C secara kontiniu dan dapat beroperasi pada temperatur 200°C pada kondisi darurat. Konduktor ACCC dapat beroperasi dengan lebih dingin jika dibandingkan dengan konduktor dengan aluminium yang disusun dengan bentuk bulat (*round wire*) pada besar diameter dan berat yang sama dan pada kondisi beban yang serupa berkat kandungan aluminium yang ditingkatkan sebesar 28% (U.S Department Of Energy, 2015), serta menggunakan aluminium jenis 1350-O untuk performa konduktivitas yang tinggi. Meskipun konduktor ACCC pada awalnya dikembangkan sebagai konduktor HTLS yang digunakan untuk *reconductoring* saluran transmisi guna meningkatkan kapasitas saluran transmisi dan distribusi

yang ada, namun seiring dengan peningkatan kemampuan konduktivitas dan nilai resistansi yang diperkecil membuat konduktor ini cocok digunakan untuk mengurangi kerugian transmisi pada saluran transmisi dan distribusi yang baru dimana dapat meningkatkan efisiensi saluran dan mengurangi biaya.

Berat inti konduktor yang kecil memungkinkan peningkatan kandungan aluminium (menggunakan penyusunan aluminium dengan bentuk trapezium) tanpa melebihi berat konduktor yang diinginkan. Sebuah konduktor ACCC yang beroperasi baik pada temperatur dibawah 200°C dapat menyalurkan arus dengan kapasitas yang sama dibandingkan dengan konduktor HTLS lainnya yang beroperasi pada suhu diatas 200°C . Selain kerugian yang lebih besar jika menggunakan konduktor HTLS yang lain, operasi terus menerus diatas suhu 200°C memungkinkan percepatan degradasi pada bagian inti dan membuat biaya dari siklus operasi (*maintenance*) membesar. Selain itu, beberapa konduktor HTLS lainnya sering juga membutuhkan peralatan khusus, atau prosedur instalasi yang sulit yang dapat menunda penyelesaian proyek dan meningkatkan biaya proyek secara keseluruhan (Slegers, 2011).

Konduktor ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*) merupakan inovasi yang dikembangkan oleh perusahaan *3M Corporation* (*St.Paul, Minnesota, U.S.*), guna memaksimalkan kapasitas dari saluran transmisi yang ada juga sekaligus memperkuat jaringan transmisi. Konduktor ACCR dikategorikan dalam konduktor jenis HTLS (*High Temperature Low Sag*). Konduktor ini mempunyai inti serat paduan aluminium-matrik dimana membuat

inti tersebut akan menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi tetapi lebih ringan dan konduktivitas yang lebih baik dari pada baja. Serat inti ini terdiri atas ribuan serat aluminium oksida (*Nextel 3M's 650 ceramic*) dengan diameter yang sangat kecil. Untuk bagian luarnya, konduktor ini menggunakan aluminium dengan kandungan zirconium (Al-Zr) yang mempunyai sifat konduktivitas dan ketahanan panas (*thermal resistance*) yang tinggi (Corporation, 2014).

Konduktor ACCR sangat berpeluang untuk menggantikan konduktor konvensional yang ada, konduktor ACCR dapat dipasang dengan cepat dan mudah menggantikan konduktor konvensional dengan ROW (*Rights of way*) yang tersedia dengan sedikit ataupun tanpa perubahan pada tower dan alat-alat pendukung lainnya. Konduktor ACCR dapat beroperasi secara kontinyu pada temperatur 210°C dan 240°C pada kondisi darurat, sehingga akan menaikkan kapasitas penyaluran dua sampai tiga kali lebih besar dari pada menggunakan penghantar konvensional (Corporation, 2014).

Teknologi konduktor ACCR telah diakui oleh Research & Development Magazine dalam penghargaan R&D 100 Award dan oleh Minnesota High Tech Association dalam Tekne Award untuk bidang pengembangan inovasi teknologi (Prairie Business Magazine, 2005). Beberapa pemasangan konduktor ACCR telah dilakukan antara lain; Xcel Energy's pada sistem 115 KV di Minneapolis untuk menaikkan kapasitas penyaluran menggantikan konduktor ACSR dengan clearance dan tower yang tetap, Hawaiian Electric di North Shore pulau Oahu pada sistem 46 kV untuk menaikkan kapasitas penyaluran dengan menggunakan

72% ROW yang ada, WAPA (Western Area Power Administration) di Fargo, North Dakota telah membangun sistem transmisi 230 KV baru dengan menggunakan konduktor ACCR untuk kondisi lingkungan es dan angin yang berat.

Aluminum conductor steel supported (ACSS), atau dalam literatur lama dikenal sebagai *steel supported aluminum conductor* (SSAC) merupakan konduktor yang tahan andongan dengan inti baja. Berbeda dengan ACSR, ACSS hampir seluruhnya didukung oleh inti baja. Aluminium yang digunakan tidak mengalami pengerjaan dingin (*cold working*) dalam pembuatannya, sehingga mereka memiliki sifat yang sama sepenuhnya dengan aluminium sudah sepenuhnya *annealed*. Inti baja memberikan sebagian besar kekuatan tarik pada konduktor ini.

Konduktor ACSS adalah perpaduan inti baja yang dikelilingi oleh aluminium yang sudah sepenuhnya *annealed*, meskipun begitu aluminium membawa sedikit dari beban, disebabkan oleh tegangan luluh (*yield strength*) yang rendah. ACSS dan beberapa konduktor termal lainnya sering dibangun sebagai konduktor yang fleksibel. Konduktor ACSS terdiri dari ACSS dengan aluminium *round wire* dan *trap wire*. ACSS dengan aluminium *trap wire* (ACSS/TW) terdiri dari komposisi aluminium yang disusun berbentuk trapezium (*trap wire*) yang lebih fleksibel dibandingkan dengan aluminium yang disusun berbentuk bulat (*round wire*) dengan luas penampang konduktor yang sama. Konduktor dengan struktur penyusunan kawat secara trapesium dapat mengganti konduktor konvensional dengan diameter yang sama namun dengan luas area konduktor

yang lebih besar dimana Ini akan menurunkan resistensi per-km, dan meningkatkan *ampacity* dari saluran transmisi.

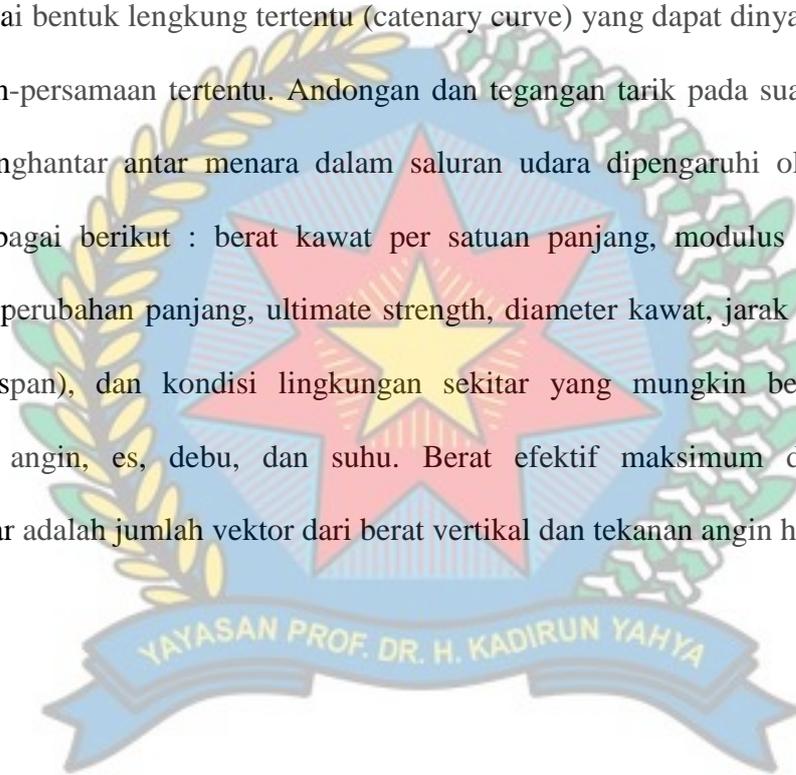
Karakteristik andongan konduktor ACSS saat beroperasi pada temperatur tinggi umumnya lebih baik daripada ACSR. Seringkali sebelum instalasi, inti baja akan di kecangkan terlebih dahulu guna mencegah pemuluran (*creep*). Pemanjangan aluminium tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap andongan dari konduktor ini, namun kelenduran diambil dari perilaku elastis inti baja. Konduktor ACSS merupakan salah satu teknologi HTLS dengan harga termurah, yaitu dengan harga sebesar 1.5-2x harga ACSR. Konduktor ini terdiri dari bahan yang sama yang digunakan untuk membentuk ACSR, dan sering digunakan digunakan untuk menggantikan ACSR ketika *uprating* saluran transmisi. Berikut ini adalah gambar jenis-jenis kawat penghantar.



Gambar 2.7 Konduktor Penghantar

Sumber: Google

Karena beratnya, maka penghantar yang direntangkan antara dua tiang transmisi mempunyai bentuk lengkung tertentu (catenary curve) yang dapat dinyatakan oleh persamaan-persamaan tertentu. Andongan dan tegangan tarik pada suatu rentang kawat penghantar antar menara dalam saluran udara dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut : berat kawat per satuan panjang, modulus elastisitas, koefisien perubahan panjang, ultimate strength, diameter kawat, jarak antara dua menara (span), dan kondisi lingkungan sekitar yang mungkin berpengaruh, misalnya angin, es, debu, dan suhu. Berat efektif maksimum dari kawat penghantar adalah jumlah vektor dari berat vertikal dan tekanan angin horisontal.



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan oleh peneliti adalah penelitian kuantitatif deskriptif, peneliti akan menggambarkan tentang perbandingan kuat medan listrik dengan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan induktor. Metode kuantitatif sebagai prosedur penelitian yang menghasilkan data perbandingan melalui hasil perhitungan, sedangkan deskriptif berupa kata-kata tertulis atau lisan dari orang-orang dan perilaku yang dapat diamati. Peneliti tidak diwajibkan membentuk teori-teori tertentu terlebih dahulu mengenai aspek yang ditelitinya, tetapi ia dapat memusatkan perhatiannya kepada peristiwa-peristiwa alamiah sebagaimana adanya sesuai data yang ditentukan. Sedangkan pendekatan keilmuan penelitian ini adalah menggunakan pendekatan analitik perbandingan melalui perhitungan.

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi untuk pengambilan data terkait tugas akhir saya ini dilaksanakan di PT PLN (Persero) yang kuat medan listrik dan medan magnetnya tinggi tentang faktor kelengkungan konduktor akibat kuat medan listrik dan medan magnetnya. Waktu penelitian yang akan peneliti gunakan dalam penyusunan skripsi ini diperkirakan mulai dari bulan Januari hingga Februari 2022.

3.3. Informan Penelitian

Adapun yang menjadi informan dalam penelitian ini yaitu pimpinan, kepala cabang, teknik, dan informan penting yang nantinya peneliti butuhkan untuk mendapatkan data pada PT. PLN Persero.

3.4. Sumber dan Jenis Data

Sumber data utama dalam penelitian kuantitatif ialah data-data, perhitungan, dan tindakan, selebihnya adalah data tambahan seperti dokumen dan lain-lain. Dari penjelasan tersebut maka sumber data dapat dibagi menjadi 2 (dua) bagian:

- a. Data primer, sumber data primer dalam penelitian ini adalah seluruh data yang didapat langsung dari informan sebagai sumber pertama yang berupa data tentang kuat medan listrik dan medan magnet di bawah saluran tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan konduktor dan informan penting yang nantinya peneliti butuhkan untuk mendapatkan data tentang hal tersebut.
- b. Data sekunder, data sekunder adalah data pendukung atau data tambahan dalam penelitian ini yang diperoleh dari sumber tertulis seperti dokumen, buku-buku, dan juga data statistik yang berkaitan dengan penelitian ini.

3.5. Teknik Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data yang peneliti butuhkan dalam penelitian ini, peneliti menggunakan instrumen pengumpulan data sebagaimana yang dipergunakan pada setiap penelitian lapangan. Teknik pengumpulan data dalam

penelitian ini yang berhubungan dengan teknik pengumpulan data kuantitatif yang terdiri dari observasi, dan pengambilan kesimpulan.

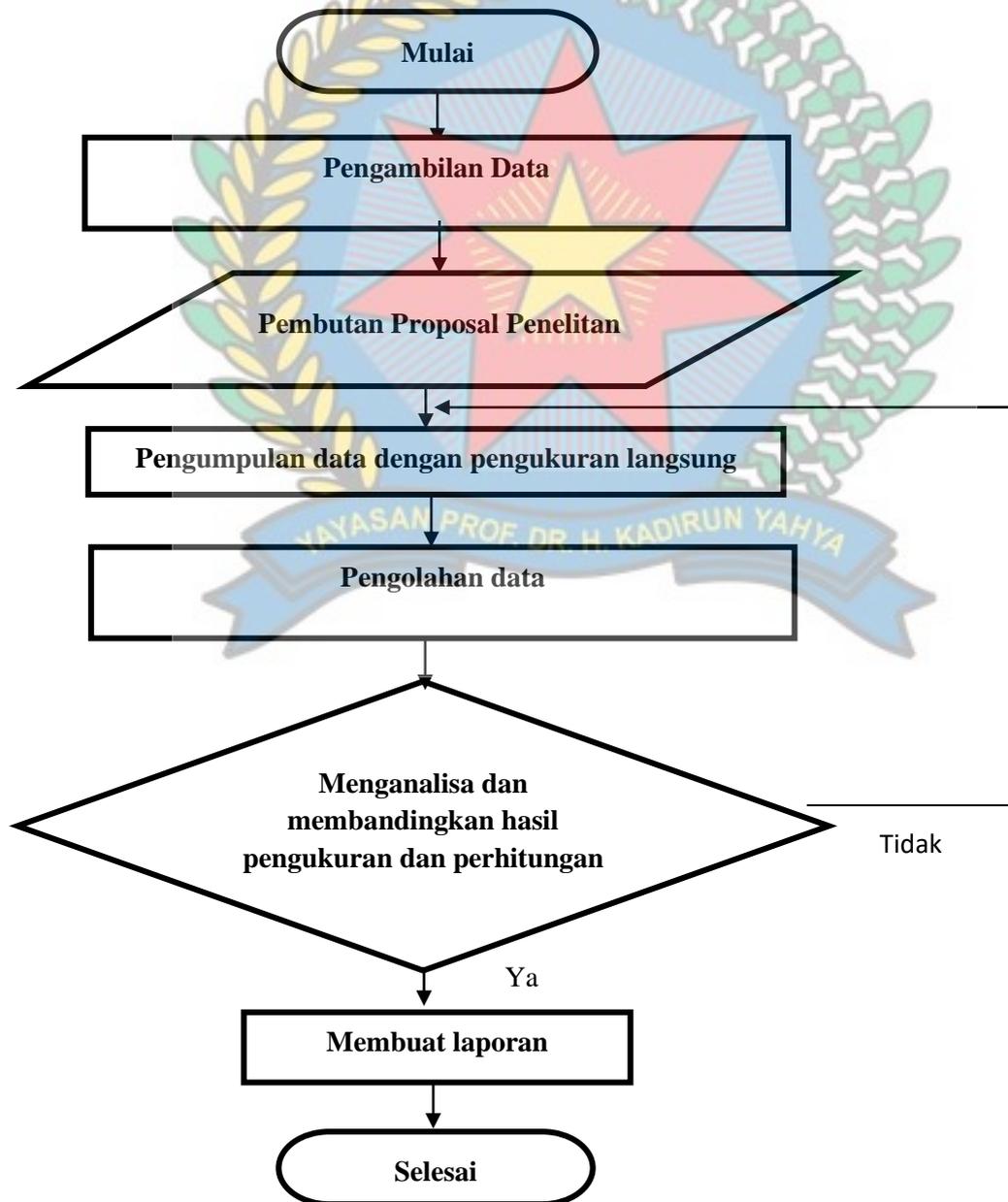
Sementara *library research*, yaitu menganalisa literatur-literatur yang ada kaitannya dan didalamnya terdapat data-data yang diperlukan untuk penelitian ini yang berkenaan dengan teori dan permasalahan kuat medan listrik dan medan magnet di bawah saluran tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan induktor. Observasi, yaitu melakukan pengukuran langsung ke lapangan tentang kuat medan listrik dan medan magnet di bawah saluran tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan induktor.

3.6. Teknik Analisis Data

Setelah data, informasi dan keterangan terkait sudah terkumpul, maka penelitian ini dioalah sesuai dengan metodologi dan teknik analisis data yang ada. Adapun data penelitian ini bersifat kuantitatif, dimana sumber data utamanya adalah pengukuran langsung dilokasi.

Guna mengolah hasil penelitian ini tentulah menggunakan prosedur penelitian kuantitatif, yakni dengan melakukan pengukuran langsung atau memaparkan hasil penelitian ini dengan angka-angka sesuai data yang ada dan menarik kesimpulan dengan menggunakan metode induktif. Sementara proses analisis data yang digunakan adalah metode perbandingan tetap. Dinamakan metode perbandingan tetap atau *constant comparative method* karena dalam analisa data, secara tetap membandingkan satu data dengan data yang lain. Setelah

data berhasil dikumpulkan, penulis membuat sebuah tahapan penelitian. Berikut adalah langkah-langkah yang peneliti lakukan:



Gambar. 3.1 Flowcart

3.7. Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- a. Pengumpulan Data, data-data yang berhubungan dengan pengukuran kuat medan listrik dengan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan induktor.
- b. Survei Lokasi, lokasi sebagai pengumpulan data dan sebagai pembuatan judul tugas akhir adalah saluran transmisi tegangan tinggi.
- c. Pengukuran, pengukuran ini adalah salah satu teknik untuk melihat kuat medan listrik dengan medan magnet.
- d. Pengukuran kuat medan listrik dan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan induktor, dengan melakukan perhitungan manual, untuk mengetahui nilai kuat medan listrik dengan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan konduktor.

3.8. Alat Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan pengambilan sampel lokasi di beberapa titik pembangunan jaringan saluran udara tegangan tinggi. Peralatan yang digunakan menggunakan alat pengukuran dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merk : Holaday EMF Measurement

Seri : HI-3604

Sensitifitas Medan Listrik : 1 V/m – 199 KV/m

Sensitifitas Medan Magnet : 0,1 mG – 20 G

Adapun gambar alat ukur Holaday EMF Measurement yang dipakai dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.2 Alat Pengukur Holaday EMF Measurement

Sumber: Google

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

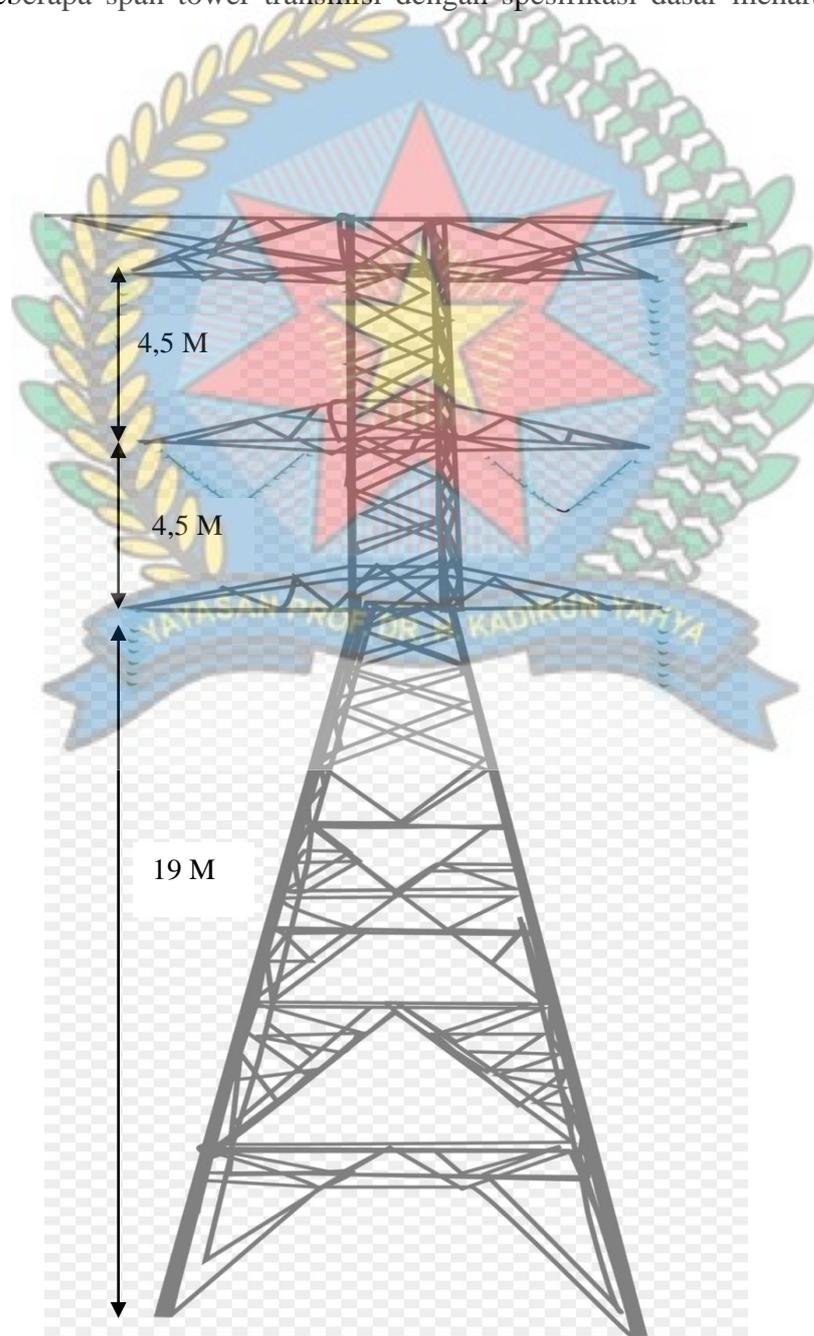
4.1.1. Kuat Medan Listrik

Perhitungan dan pengukuran pada penelitian ini dilakukan pada dua lokasi berbeda. Lokasi pertama dilakukan di bawah konduktor di beberapa lokasi tiang nomor acak jalur transmisi 150 Kv Rantau Prapat – Labuhan Bilik. Lokasi kedua dilakukan di beberapa lokasi tiang nomor acak jalur transmisi 275 Kv Simangkuik – Sarulla. Perhitungan dan pengukuran kuat medan listrik di bawah konduktor saluran transmisi tegangan tinggi ini dilakukan dibawah andongan terendah di titik yang telah ditentukan dengan tinggi pengukuran dari tanah adalah tetap 1.5M, Berikut adalah spesifikasi Tower dan Konduktor untuk jalur pertama:

- A. Tipe Tower : Lattice Tower
- B. Jumlah Sirkuit : Double Sirkuit
- C. Konduktor Fasa : 2 x 240 mm² ACSR
- D. Konduktor Tanah : 1 x 55 mm² GSW
- E. Tinggi Menara : 30 m
- F. Jarak Antar Phase : 4.5 m

Lokasi pengukuran pertama dilakukan di Desa Sungai Kasih, Sungai Tampang, Perk. Sennah, Kampung Sennah, dan Desa Pangkatan dengan segmen/arah pengukuran dari Rantau Prapat ke Labuhan Bilik. Kondisi lingkungan tanah padat dan serta berada di lingkungan pemukiman penduduk,

lahan perkebunan, serta dilakukan pada saat udara cerah dengan lokasi titik sampel beberapa span tower transmisi dengan spesifikasi dasar menara sebagai berikut:



Gambar 4.1 Spesifik Menara Transmisi Medan Listrik

Sumber: Google

Guna menghitung besar kuat medan listrik pada titik setinggi x (1.5 meter) dari permukaan tanah dan di tengah-tengah saluran transmisi, maka menara

transmisi harus diambil sebagai sumbu acuan. Sumbu menara menjadi sumber acuan untuk menghitung kuat medan listrik. Sebagaimana gambar berikut ini.



Gambar 4.2 Sumbu Menara Titik Perhitungan Medan Magnet

Sumber: Google

Berdasarkan hasil pengukuran yang peneliti lakukan diperoleh data kuat medan listrik sebagai berikut:

Tabel 4.1
Kuat Medan Listrik Jalur 1 Berdasarkan Hasil Pengukuran

Titik	Tower	Ground Clearance (M)	Kuat Medan Listrik (V/M)
1	10-11	17,9	347
2	27-28	17,5	273

3	78-79	18	377
4	98-99	17,7	244
5	110-111	18,2	515

Selanjutnya kita melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagaimana yang telah penulis tampilkan sebelumnya dengan contoh perhitungan titik pertama sebagai berikut :

$$E = \frac{V}{X \cdot \ln r_2/r_1}$$

Dimana:

E : Kuat Medan Listrik di Titik x (kV/M)

V : 150.000 (V)

X : 16.4 (m)

r^2 : 17.9 (m)

r^1 : 0.00874 (m)

$$E = \frac{150.000}{16,4 \times \ln 17,9/0,00874}$$

$$E = \frac{150.000}{16,4 \times 7,6246}$$

$$E = \frac{150.000}{125,0442}$$

$$E = 1,199 \text{ Kv/M}$$

Tabel 4.2
Kuat Medan Listrik Jalur 1 Berdasarkan Perhitungan

Titik	Tower	Jarak Pengukuran (M)	Kuat Medan Listrik (V/M)
1	10-11	17,9	1199
2	27-28	17,5	1233
3	78-79	18	1191
4	98-99	17,7	1216
5	110-111	18,2	1175

Tabel 4.3
Perbandingan Kuat Medan Listrik Jalur 1 Berdasarkan Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Titik	Tower	Hasil Pengukuran (V/M)	Hasil Perhitungan (V/M)
1	10-11	347	1199
2	27-28	273	1233
3	78-79	377	1191
4	98-99	244	1216
5	110-111	515	1175

Grafik Perbandingan antara Hasil Pengamatan dan Standar Aman



Selanjutnya Untuk lokasi pengukuran kedua dilakukan di Desa Simpang Bahalbatu, Pangarsinondi, Simorangkir Julu, Lontung Dolok dan Desa Pahae Julu. Kondisi lingkungan tanah padat dan serta berada di lingkungan pemukiman penduduk, lahan perkebunan, serta dilakukan pada saat udara cerah dengan lokasi titik sampel beberapa span tower transmisi

Tabel 4.4
Kuat Medan Listrik Jalur 2 Berdasarkan Hasil Pengukuran

Titik	Tower	Ground Clearance (M)	Kuat Medan Listrik (V/M)
1	115-114	29,7	506
2	134-135	27,3	607
3	170-171	28,5	288
4	201-202	26,6	1.210
5	215-216	29,1	861

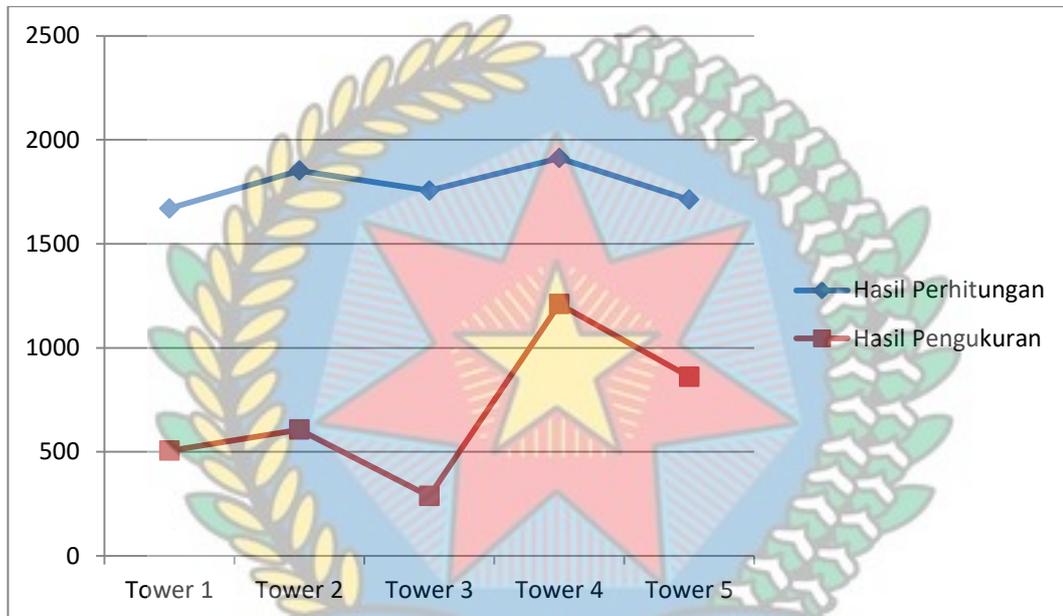
Tabel 4.5
Kuat Medan Listrik Jalur 2 Berdasarkan Perhitungan

Titik	Tower	Jarak Pengukuran (M)	Kuat Medan Listrik (V/M)
1	115-114	29,7	1670
2	134-135	27,3	1852
3	170-171	28,5	1756
4	201-202	26,6	1912
5	215-216	29,1	1712

Tabel 4.6
**Perbandingan Kuat Medan Listrik Jalur 2 Berdasarkan Hasil Pengukuran
 dan Perhitungan**

Titik	Tower	Hasil Pengukuran (V/M)	Hasil Perhitungan (V/M)
1	115-114	506	1670
2	134-135	607	1852
3	170-171	288	1756
4	201-202	1.210	1912
5	215-216	861	1712

Grafik Perbandingan antara Hasil Pengamatan dan Standar Aman



Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kuat medan listrik di semua lokasi pemantauan atau pengukuran yang dilakukan masih di bawah nilai ambang batasan kuat medan listrik berdasarkan kriteria WHO maupun kriteria SNI 04-6950-2003. Hasil pengukuran kuat medan listrik yang masih berada di bawah ambang batas yang ditentukan, menunjukkan bahwa kuat medan listrik tersebut masih dalam rentang yang sangat aman bagi masyarakat sekitar untuk melakukan aktivitas di bawah jaringan transmisi.

4.1.2. Kuat Medan Magnet

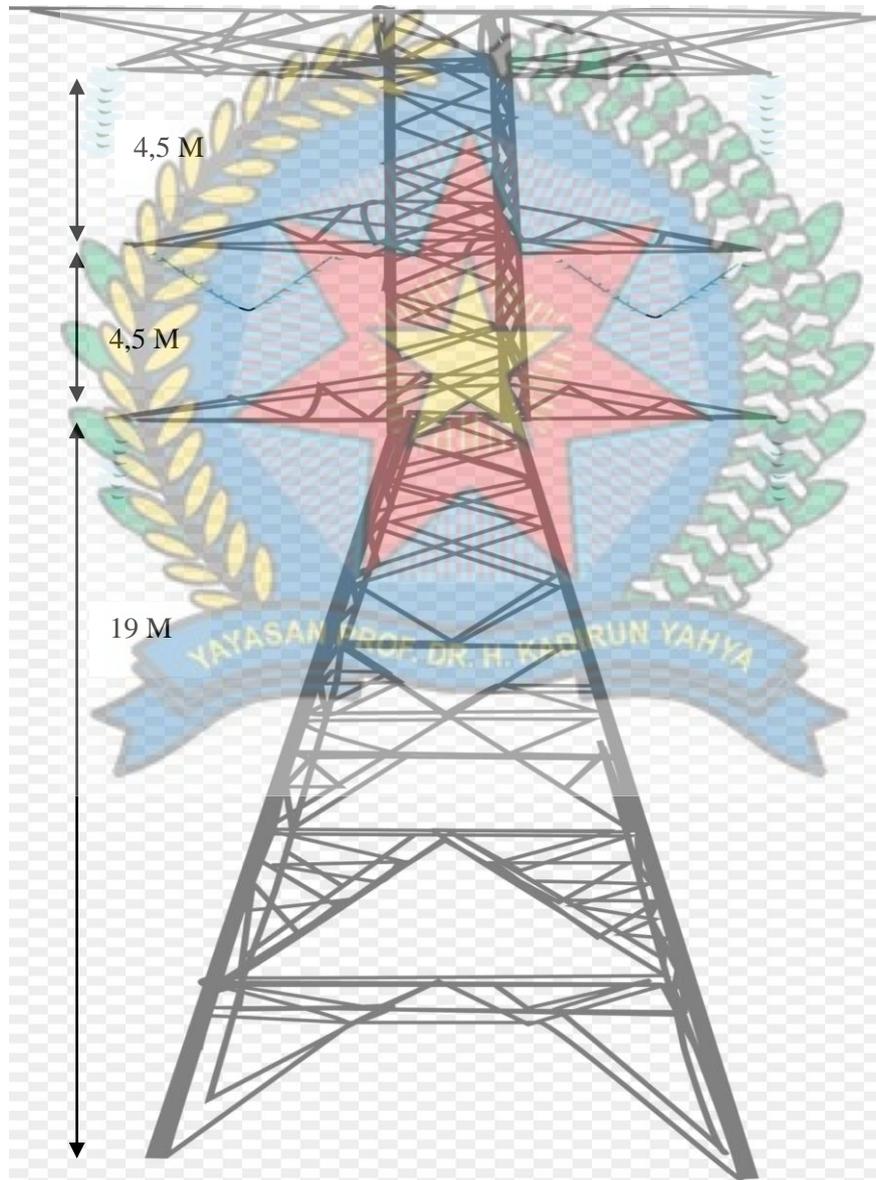
Medan magnet merupakan daerah disekitar magnet yang masih merasakan adanya gaya magnet. Jika sebatang magnet diletakkan dalam suatu ruang, maka terjadi perubahan dalam ruang ini yaitu setiap titik dalam ruang akan terdapat medan magnetik. Arah medan magnetik di suatu titik sebagai arah yang ditunjukkan oleh kutub utara jarum kompas ketika ditempatkan pada titik tersebut.

Medan magnet disekitar kawat berarus dikatakan apabila sebuah magnet jarum didekatkan pada suatu penghantar yang beraliran listrik, magnet jarum akan menyimpang. Gejala ini akan muncul jika kawat dialiri arus listrik. Jika kawat tidak di aliri arus listrik, medan magnet tidak terjadi sehingga magnet jarum kompas tidak bereaksi. Hal ini menunjukkan bahwa di sekitar kawat berarus terdapat medan magnet.

Perhitungan dan pengukuran pada penelitian ini dilakukan pada dua lokasi berbeda. Lokasi pertama dilakukan di bawah konduktor di beberapa lokasi tiang nomor acak jalur transmisi 150 Kv Rantau Prapat – Labuhan Bilik. Lokasi kedua dilakukan di beberapa lokasi tiang nomor acak jalur transmisi 275 Kv Simangkuk – Sarulla. Perhitungan dan pengukuran kuat medan listrik di bawah konduktor saluran transmisi tegangan tinggi ini dilakukan dibawah andongan terendah di titik yang telah ditentukan dengan tinggi pengukuran dari tanah adalah tetap 1.5M, Berikut adalah spesifikasi Tower dan Konduktor untuk jalur pertama:

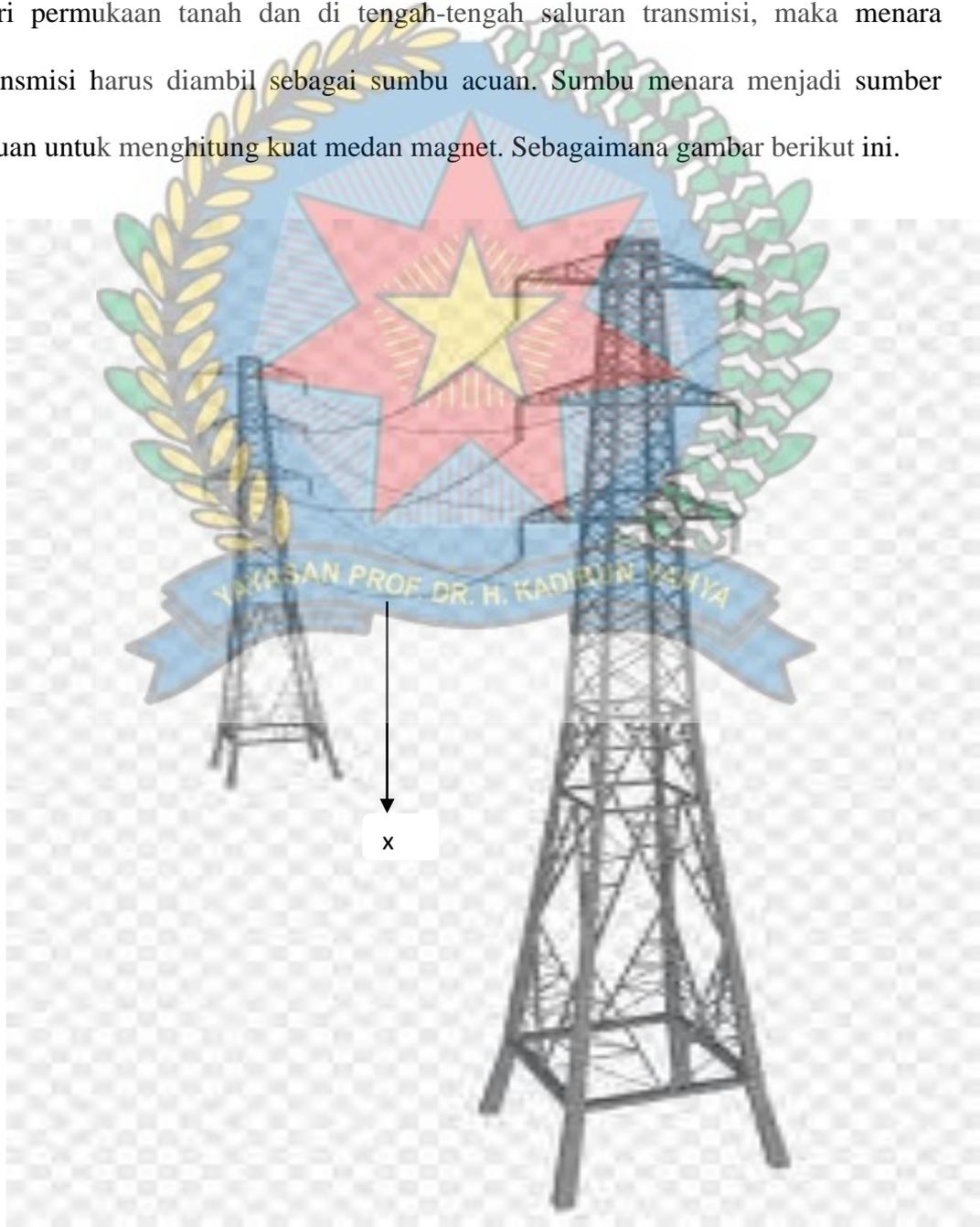
- A. Tipe Tower : Tower Lattice
- B. Jumlah Sirkit : Double Sirkit
- C. Konduktor fasa : 2 x 240 mm² ACSR
- D. Konduktor Tanah : 1 x 55 mm² GSW
- E. Tinggi Menara : 30 m
- F. Jarak Antar Phase : 4.5 m

Lokasi pengukuran pertama dilakukan di Desa Sungai Kasih, Sungai Tampang, Perk. Sennah, Kampung Sennah, dan Desa Pangkatan dengan segmen/arah pengukuran dari Rantau Prapat ke Labuhan Bilik. Kondisi lingkungan tanah padat dan serta berada di lingkungan pemukiman penduduk, lahan perkebunan, serta dilakukan pada saat udara cerah dengan lokasi titik sampel beberapa span tower transmisi dengan spesifikasi dasar menara sebagai berikut:



Gambar 4.3. Spesifik Menara Transmisi Medan Magnet
Sumber: Google

Guna menghitung besar kuat medan magnet pada titik setinggi x meter dari permukaan tanah dan di tengah-tengah saluran transmisi, maka menara transmisi harus diambil sebagai sumbu acuan. Sumbu menara menjadi sumber acuan untuk menghitung kuat medan magnet. Sebagaimana gambar berikut ini.



Gambar 4.4. Sumbu Menara Titik Perhitungan Medan Magnet
Sumber: Google

Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan yang peneliti lakukan diperoleh data kuat medan magnet sebagai berikut:

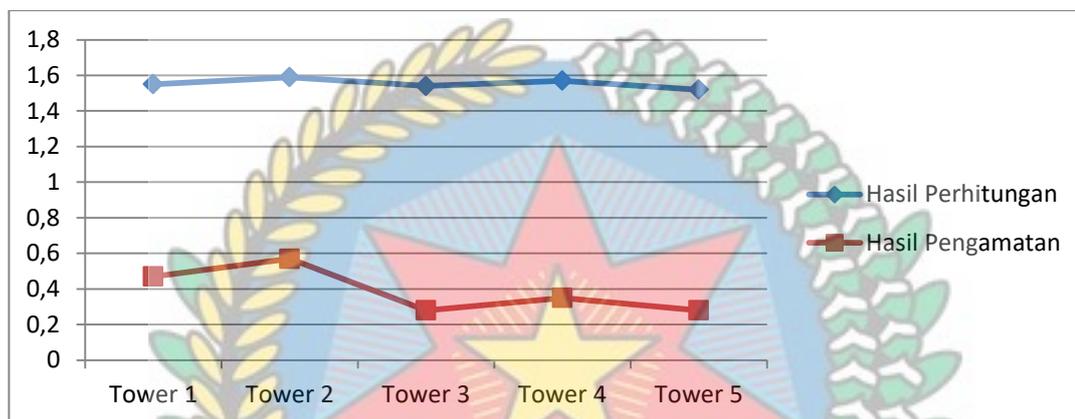
Tabel 4.7
Kuat Medan Magnet Jalur 1

Titik	Tower	Ground Clearance (M)	Kuat Medan Magnet pengukuran (μT)	Kuat Medan Magnet perhitungan (μT)
1	10-11	17,9	0,47	1,55
2	27-28	17,5	0,57	1,59
3	78-79	18	0,28	1,54
4	98-99	17,7	0,35	1,57
5	110-111	18,2	0,28	1,52

Tabel 4.8
Kuat Medan Magnet Jalur 1 di Bandingkan Batas Aman

Titik	Tower	Kuat Medan Magnet pengukuran (μT)	Kuat Medan Magnet perhitungan (μT)	Batas Aman (mT)
1	10-11	0,47	1,55	0,1
2	27-28	0,57	1,59	0,1
3	78-79	0,28	1,54	0,1
4	98-99	0,35	1,57	0,1
5	110-111	0,28	1,52	0,1

Grafik Perbandingan antara Hasil Pengamatan dan Hasil Perhitungan



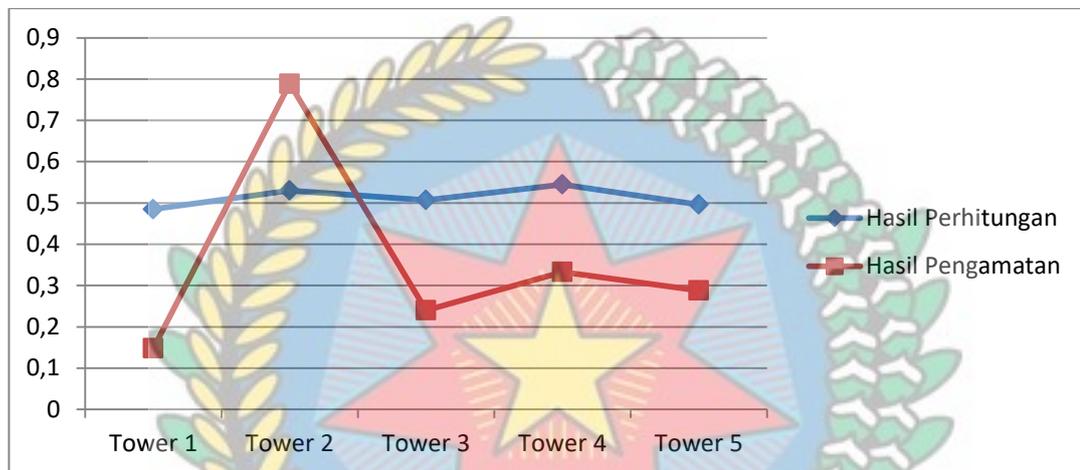
Tabel 4.9
Kuat Medan Magnet Jalur 2

Titik	Tower	Ground Clearance (M)	Kuat Medan Magnet pengukuran (μT)	Kuat Medan Magnet perhitungan (μT)
1	115-114	29,7	0,148	0,485
2	134-135	27,3	0,789	0,530
3	170-171	28,5	0,240	0,507
4	201-202	26,6	0,333	0,545
5	215-216	29,1	0,288	0,496

Tabel 4.10
Kuat Medan Magnet Jalur 2 di Bandingkan Batas Aman

Titik	Tower	Kuat Medan Magnet pengukuran (μT)	Kuat Medan Magnet perhitungan (μT)	Batas Aman (mT)
1	115-114	0,148	0,485	0,1
2	134-135	0,789	0,530	0,1
3	170-171	0,240	0,507	0,1
4	201-202	0,333	0,545	0,1
5	215-216	0,288	0,496	0,1

Grafik Perbandingan antara Hasil Pengamatan dan Hasil Perhitungan



Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kuat medan magnet di semua lokasi pemantauan atau pengukuran yang dilakukan masih di bawah nilai ambang batas kuat medan magnet berdasarkan kriteria WHO maupun kriteria SNI 04-6950-2003.

Hasil pengukuran kuat medan magnet yang masih berada di bawah ambang batas yang ditentukan, menunjukkan bahwa kuat medan magnet tersebut masih dalam rentang yang sangat aman bagi masyarakat sekitar untuk melakukan aktivitas di bawah jaringan transmisi.

4.1.3. Perbandingan Kuat Medan Listrik Dengan Medan Magnet Terhadap Kelengkungan Konduktor

Perbedaan yang terjadi antara titik satu dengan titik ke dua disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya jarak konduktor terhadap konduktor lain akibat adanya andongan menyebabkan jarak setiap konduktor disepanjang saluran transmisi tidak tetap, namun dalam perhitungan jarak setiap konduktor

disepanjang saluran transmisi selalu sama. Faktor lainnya adalah kondisi cuaca disaat pengukuran, memang disaat melakukan pengukuran kondisinya cerah tapi terkadang juga berawan sehingga memungkinkan terjadinya perbedaan disaat melakukan pengukuran disaat cerah dan berawan.

Pengaruh bangunan, pepohonan dan benda lainnya yang ada di sekitar menara transmisi juga mempengaruhi perhitungan kuat medan listrik dan medan magnet. Selain itu, permitivitas udara disekitar konduktor transmisi berubah-ubah, hal ini disebabkan oleh adanya debu dan partikel-partikel kecil lain yang ada di udara. Faktor lainnya adalah titik terendah dan titik tengah saluran transmisi yang mengakibatkan adanya andongan, titik terendah saluran transmisi berada di tengah-tengah saluran transmisi tersebut. Kesalahan dalam penentuan titik terendah saluran transmisi menyebabkan kesalahan dalam pengukuran kuat medan listrik dan medan magnet. Koordinat titik ukur menjadi hal terpenting dalam pengukuran kuat medan listrik dan medan magnet. Koordinat titik ukur ditentukan sebelum melakukan pengukuran.

Berdasarkan hasil penelitian yang peneliti lakukan menegaskan bahwa perbandingan kuat medan listrik dengan medan magnet terhadap faktor kelengkungan konduktor menunjukkan kuat medan magnet dan besar kuat medan listrik terhadap permukaan juga dipengaruhi oleh tinggi dan rendahnya andongan dari konduktor itu sendiri. Oleh sebab itu, apabila terjadi arus bocor atau induksi, maka pada manusia terjadi gaya tarik oleh medan magnet, kemudian tarikan

tersebut mengarah ke medan listrik. Berdasarkan data yang peneliti peroleh dapat peneliti paparkan sebagai berikut:

Tabel 4.11
Perbandingan Kuat Medan Listrik Dengan Medan Magnet

Titik Tertinggi	Kuat Medan Listrik Dan Magnet	
	Jalur 1	Jalur 2
Medan Listrik	515 V/M	1.210 V/M
Medan Magnet	1,59 μ T	0,789 μ T

4.2. Pembahasan

Proses penyaluran energy listrik dari sumber pembangkitan ke gardu induk di dekat daerah beban listrik adalah salah satu fungsi dari saluran transmisi. Untuk mencegah kerugian daya disepanjang saluran transmisi, maka digunakan lah sistem tegangan tinggi. Pemakaian tegangan tinggi ini selain mengurangi rugi-rugi daya, juga menghasilkan medan listrik yang tinggi di sekitar kawat penghantar.

Mekanisme induksi medan elektomagnetik pada arus yang terdapat pada suatu *down conductor*, sehingga menimbulkan daerah sekeliling *down conductor* akan mengalami induksi elektromagnetik atau *mutual inductance* yang menginduksikan peralatan listrik pada bangunan di sekitarnya, kuat medan listrik dapat memberikan dampak bagi masyarakat, dan kuat medan magnet juga memberikan dampak pada masyarakat dibawah saluran transmisi tegangan tinggi, maka perlu dilakukan analisis perbandingan antara kuat medan listrik dan medan magnet dibawah trans misi tegangan tinggi terhadap lingkungan, karena pada

dasarnya sistem kerja medan magnet dan medan listrik memiliki persamaan dan perbedaan.

Hasil penelitian yang peneliti lakukan menunjukkan bahwa konduktor yang kelengkungannya dekat dengan permukaan tanah besaran medan listriknya akan lebih besar dibandingkan konduktor yang permukaannya jauh dari permukaan tanah. Hal ini berdasarkan hasil penelitian pada dua titik yang berbeda, bahwa kelengkungan konduktor mengakibatkan medan listrik lebih besar.

Begitu pula dengan kuat medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap kelengkungan konduktor, bahwa semakin lengkung konduktor bertambah besar pula kuat medan magnet yang terjadi terhadap daya tarik menarik yang ada didekat jalur transmisi listrik. Oleh sebab itu, terdapat batasan terhadap transmisi listrik guna menghindari hal-hal yang tidak diinginkan terutama pada manusia dan bangunan-bangunan perumahan di sekitar jalur transmisi listrik.

Perbandingan kuat medan listrik dengan medan magnet di bawah saluran transmisi tegangan tinggi terhadap faktor kelengkungan konduktor berdasarkan hasil penelitian yang peneliti peroleh menunjukkan lebih kuat medan magnet dibandingkan medan listrik pada kelengkungan konduktor yang dekat pada permukaan tanah, sehingga daya tarik menariknya juga lebih besar.

Kelengkungan konduktor dapat bergeser dari pemasangan semula akibat hembusan angin yang sangat kencang, sehingga terjadi pergeseran pada pengikat konduktor. Faktor kelengkungan konduktor juga dapat terjadi akibat adanya surja

atau arus bocor dan besar, sehingga mengakibatkan beban pada konduktor juga mengalami beban yang besar. Hal ini tentunya mengakibatkan pengikat pada konduktor akan terjadi pergeseran sejalan dengan terjadinya berulang-ulang permasalahan tersebut.

Kondisi yang sangat fatal dari pergeseran kelengkungan konduktor adalah terjadinya pergeseran tanah yang mengakibatkan menara penyangga konduktor bergeser dari tempat semula, atau terjadi kemiringan pada menara, sehingga kelengkungan konduktor sangat dekat dengan permukaan tanah. Hal seperti ini lazim terjadi. Akan berbeda dengan kelengkungan konduktor di daerah berbukitan, karena jarak yang cukup jauh dari satu bukit-kebukit lainnya sehingga di lereng terdapat menara konduktor tegangan tinggi yang dekat dengan permukaan tanah.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang peneliti lakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Nilai Medan Listrik terbesar yang didapati melalui pengukuran langsung pada jalur pertama yaitu sebesar 515 V/m, dan pada jalur kedua sebesar 1.210 V/m, sedangkan nilai terbesar yang didapati secara perhitungan pada jalur pertama yaitu sebesar 1.233 V/m, dan pada jalur kedua sebesar 1.910 V/m.
- b. Nilai Medan Magnet terbesar yang didapati melalui pengukuran langsung pada jalur pertama yaitu sebesar 0,57 μ T, dan pada jalur kedua sebesar 0,789 μ T. sedangkan nilai terbesar yang didapati secara perhitungan pada jalur pertama yaitu sebesar 1.59 μ T, dan jalur kedua sebesar 0.545 μ T.
- c. Kuat medan listrik dan Medan magnet bervariasi terhadap kelengkungan konduktor baik dekat dengan permukaan tanah maupun tidak tapi kemungkinan akan lebih besar dibandingkan konduktor yang permukaannya jauh dari permukaan tanah.
- d. Berdasarkan hasil penelitian yang peneliti lakukan pada jalur pertama dengan jalur kedua, hasil pengukuran maupun perhitungan untuk Medan Listrik dan Medan Magnet nya masih dibawah ambang batas dari yang ditetapkan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang peneliti lakukan, maka saran-saran yang dapat peneliti sampaikan adalah sebagai berikut:

- a. Sebaiknya PLN maupun Badan Kesehatan Lingkungan lebih aktif mensosialisasikan dampak ataupun pengaruh radiasi medan listrik dan medan magnet kepada masyarakat sekitar yang tinggal di kawasan transmisi listrik.
- b. Masyarakat dianjurkan untuk mematuhi peraturan untuk tidak menanam tumbuhan tahunan maupun mendirikan bangunan dikarenakan ambang batas yang ditentukan oleh IRPA, UNEP, WHO pada jalur transmisi listrik.
- c. Penggunaan energi listrik yang efisien harus menjadi kebiasaan pada masyarakat, dan minset nya adalah bahwa dalam menggunakan energi listrik harus sesuai dengan kebutuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Zuhal. (1992) *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*. Gramedia, Jakarta.
- Abdul Kadir. (1998). *Transmisi Tenaga Listrik*. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- Giancoli. (2001). *Medan Magnet dan Dampaknya*. Riawan. Bandung
- Cekmas, Taufik Barlian. (2013). *Transmisi Daya Listrik*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Ginarsa. (2017). *Analisis Tegangan Lebih Induksi Disekitar Down Conductor yang Terinjeksi Arus Petir*. DIELEKTRIKA. Mataram .
- Hadiyanti. (2012). *Induksi Pada Peralatan Listrik Akibat Sambaran Petir*. Prosiding. Sultar.
- Pabla. (1994). *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Erlangga. Jakarta.
- Sakinah. (2016). *Analisis Parameter Saluran dan Kuat Medan Listrik untuk Berbagai Konfigurasi Konduktor Saluran Transmisi 500 KV AC Empat Sirkuit*. Siklus. Jakarta.
- PT. PLN (Persero). (2009). SPLN No.68-2: *Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik Sistem Distribusi* .Jakarta:Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- Putra, Y., dkk.. 2013. *Pengaruh Kuat Medan Magnet Dan Lama Perendaman Terhadap Perkecambahan*. Tirtayasa. Banten.
- Sakinah. (2016). *Analisis Parameter Saluran dan Kuat Medan Listrik untuk Berbagai Konfigurasi Konduktor Saluran Transmisi 500 KV AC Empat Sirkuit*. Siklus. Jakarta.
- William D. Stevenson, Jr. (1984). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Penerbit Erlangga. Jakarta.