

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS PENGARUH INDUKSI TEGANGAN TINGGI TERHADAP SISTEM PROTEKSI KATODIK PADA JALUR PIPA GAS DENGAN DIAMETER 16 INCHI WILAYAH STASIUN WAMPU SAMPAI SEI SEMAYANG**

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Fakultas Teknik Program Studi  
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Oleh :**

**KHAIRINALDY TRI UTAMA**

**NPM : 1307220096**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2018**

LEMBARAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH INDUKSI TEGANGAN TINGGI TERHADAP  
SISTEM PROTEKSI KATODIK PADA JALUR PIPA GAS DENGAN  
DIAMETER 16 INCHI WILAYAH STASIUN WAMPU  
SAMPAI SEI SEMAYANG

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Fakultas Teknik Program Studi  
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Telah Diuji dan Disidang Pada Tanggal:

25 Agustus 2018

Oleh :

KHIRINALDY TRI UTAMA

NPM : 1307220096

Disetujui Oleh :

Pembimbing I

Faisal Irsan Pasaribu, ST., MT

Pembimbing II

Partawan Harahap, ST., MT

Penguji I

Muhammad Adam, ST., MT

Penguji II

Cholish, ST., MT



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2018

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khirinaldy Tri Utama

NPM : 1307220096

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir yang berjudul :

**“ANALISIS PENGARUH INDUKSI TEGANGAN TINGGI TERHADAP  
SISTEM PROTEKSI KATODIK PADA JALUR PIPA GAS DENGAN  
DIAMETER 16 INCHI WILAYAH STASIUN WAMPU  
SAMPAI SEI SEMAYANG”**

Dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Medan, 8 September 2018

Saya yang menyatakan,



Khirinaldy Tri Utama

## **ABSTRAK**

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh induksi tegangan tinggi terhadap sistem proteksi katodik pada pipa gas yang sejajar dengan saluran transmisi listrik.. Perhitungan menggunakan Metode Bayangan dan dibandingkan dengan pengukuran dilapangan menggunakan multimeter. Hasil perhitungan pada ketinggian -2 meter di tengah konduktor adalah 0.38 KV/m, dan hasil pengukuran menunjukkan nilai induksi tertinggi pada Test Point adalah 0.01732 KV. Hasil ini lebih tinggi dari batas nilai tegangan sentuh aman yang diizinkan yaitu 0.015 KV. Mitigasi untuk mengatasi induksi tegangan tinggi ini agar melindungi sistem proteksi katodik adalah dengan membumikan pipa, dipasang pada titik-titik test point yang dilakukan pengukuran. Setelah dilakukan mitigasi kembali dilakukan pengukuran pada titik yang sama dan diperoleh nilai induksi tertinggi adalah 0.00574 KV. Nilai ini aman untuk tegangan sentuh dan peralatan sistem proteksi katodik.

Kata kunci: Induksi Medan Listrik, Metode Bayangan, Proteksi Katodik

## KATA PENGANTAR



Assalamu' Alikum Wr.Wb

Puji syukur kepada Allah Subhanahu Wataalla, atas rahmat, hidayahdan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul:

**”ANALISIS PENGUJIAN RANGKAIAN METAL OXYDE  
SEMIKONDUKTOR (MOSFET) DAN CATHODE RAY OSCILOSCOPE  
(CRO) TERHADAP HASIL KARAKTERISTIK DARI HASIL  
PENGUKURAN**

”

Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi tugas-tugas dan syarat-syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Pada kesempatan yang berbahagia ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas motivasi, semangat dan dorongan dari berbagai pihak, baik berupa secara langsung atau tidak langsung maka pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih dan rasa hormat kepada :

1. Kepada ayahanda dan Ibunda tercinta beserta keluarga besar yang saya sayangi.
2. Bapak Munawar Al Fansury Siregar, ST.MT selaku Dekan Fakultas Teknik
3. Bapak Dr. Ade Faisal, ST. M.Sc. selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik
4. Bapak Khairul Ummurani, ST.MT selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik

5. Faisal Irsan Pasaribu, ST. MT selaku Ketua Prodi Teknik Elektro yang juga sebagai Pembimbing I yang banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis demi kebaikan tugas akhir ini.
6. Partaonan Harahap, ST.MT selaku Sekretaris Prodi Teknik Elektro yang juga sebagai Pembimbing II yang banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis demi kebaikan tugas akhir ini.
7. Dan keluarga yang telah memberikan semangat serta motivasi sehingga terselesaikannya Tugas Akhir saya ini.

Serta seluruh Staf Pengajar, Staf Administrasi dan rekan-rekan mahasiswa angkatan 2013 Program Studi Teknik Elektro atas bantuan dan kontribusinya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Dan tidak melupakan sahabat dan saudara di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan yang telah memberi banyak dukungan, semangat, bantuan dan pengorbanan waktunya. Semoga Allah Subhanahu Wataalla memberikan kebahagiaan, berkah dan karunia kepada semua pihak yang telah membantu penulis sehingga selesai tugas akhir ini.

Harapan penulis kiranya tugas akhir ini dapat bermanfaat kepada siapa saja yang membaca, semua pengguna atau pemakai alat-alat dan kepada yang berminat dalam meneliti masalah ini saya ucapkan terima kasih.

Medan, .....2018

Penulis,

Khirinaldy Tri Utama  
1307220096

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1. Tinjauan Pustaka .....	7
2.2. Teori Dasar Transistor.....	8
2.2.1 Transistor NPN.....	10
2.2.2 Transistor PNP .....	11
2.2.3 Karakteristik Operasi Transistor .....	12
2.2.4 Pemberian Tegangan Pada Transistor .....	18
2.2.5 Transistor Sebagai Penguat .....	19
2.2.6 Dioda Infra Merah .....	20
2.3 LDR.....	22

2.4 Photo Transistor .....	22
2.5 Buzzer.....	23
2.6 Transistor Pengaruh Medan (Field-Effect Transistor).....	24
2.7 Transistor Pengaruh Medan Hubungan (JFET).....	24
2.7.1 JFET Kanal-N .....	26
2.7.2 JFET Kanal-P .....	27
2.7.3 Mosfet.....	27
2.7.4 Mosfet tipe N.....	28
2.7.5 Mosfet tipe P .....	28
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>38</b>
3.1. Tempat Lokasi Penelitian.....	38
3.2. Alat dan bahan.....	38
3.3. Jalanya Penelitian.....	39
3.4 Pengujian Rangkaian Mosfet .....	40
3.4.1 Pengujian rangkaian kerja Mosfet Pengukuran karakteristik input .....	40
3.4.2 Pengukuran karakteristik input.....	40
3.4.3 Pengukuran karakteristik output .....	40
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
4.1. Analisa dan Perhitungan Rangkaian Ekuivalen Sinyal Besar.....	44
4.2. Analisa Data Perhitungan Rangkaian Mosfet pada DC .....	45
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>50</b>
5.1. Kesimpulan.....	50
5.2. Saran.....	51

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
-----------------------------	-----------

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Perbandingan transistor bipolar dan unipolar .....	8
--	---

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Simbol Transistor .....	8
Gambar 2.2 Karakteristik operasi tegangan transistor .....	12
Gambar 2.3 Transistor NPM .....	14
Gambar 2.4 Dasar Polaritas Transistor .....	19
Gambar 2.5 Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	21
Gambar 2.6 Lambang LDR.....	22
Gambar 2.7 Simbol Buzzer .....	23
Gambar 2.8 Transistor Pengaruh Medan Hubungan (JFET) .....	25
Gambar 2.9 Struktur Dasar JFET Jenis Kanal-N .....	26
Gambar 2.10 Struktur dasar JFET Jenis kanal-P .....	27
Gambar 2.11 Mosfet tipe N.....	28
Gambar 2.12 Mosfet tipe P .....	29
Gambar 2.13 Struktur Mosfet depletion-mode .....	30
Gambar 2.14 Penampang D-Mosfet .....	31
Gambar 2.15 Struktur Mosfet enhancement-mode .....	31
Gambar 2.16 Mosfet a. Simbol Mosfet b. Karakteristik Mosfet c. Karakteristik ideal Mosfet sebagai saklar .....	33
Gambar 2.17 Kurva transfer mosfet.....	34
Gambar 3.1 Rangkaian Kerja Mosfet.....	40
Gambar 3.2 Pengukuran karakteristik input dan output .....	41
Gambar 3.2 Rangkaian Mosfet .....	42
Gambar 3.4 Untuk mendapatkan arus $I_D$ .....	42

Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian .....	43
--	----



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Sistem interkoneksi dan transmisi listrik dinamakan dengan sistem Saluran Udara Tegangan Tinggi yang disingkat dengan SUTT. SUTT merupakan bagian dari sistem transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan listrik dari pembangkit tenaga listrik ke Gardu Induk. SUTT juga digunakan untuk menghubungkan satu Gardu Induk dengan Gardu Induk lainnya. SUTT dimanfaatkan untuk menyalurkan listrik bertegangan 70 KV dan 150 KV. Dalam penerapannya dilapangan, SUTT dapat mengakibatkan permasalahan bagi infrastruktur yang berada disekitar jalur SUTT, seperti jaringan pipa bahan bakar bawah tanah yang seyogyanya berfungsi untuk menyalurkan bahan bakar ke pembangkit listrik tersebut.

Salah satu permasalahan yang ditimbulkan adalah induksi medan listrik yang disebabkan oleh aliran arus SUTT yang berpotensi terjadinya interupsi pada sistem proteksi katodik pipa yang berfungsi mengendalikan laju korosi pada pipa. Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi teroksidasi (antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya) sehingga terurai kelingkungannya. Salah satu jenis korosi adalah karat.

Dalam proses korosi tercipta aliran listrik rangkaian tertutup. Ion Anoda akan mengalir menjadi arus keluar dari logam, dan ion Katoda akan menjadi arus masuk logam. Untuk mengendalikan korosi cara yang dapat digunakan adalah

dengan memisahkan logam dari lingkungan menggunakan coating, atau merekayasa logam menjadi katoda yaitu menggunakan Sistem Proteksi Katodik.

Proteksi Katodik adalah:

1. Teknik Pengendalian korosi dengan cara memperlakukan struktur yang diproteksi sebagai katoda dalam suatu sel elektrokimia. (*NACE SP0169-2007*)
2. Teknik menjadikan logam imun dari serangan korosi dengan jalan mengalirkan arus listrik searah dalam elektrolit ke arah seluruh permukaan logam. (*BS 7361 dan CP 1021*)

Pada jaringan pipa gas yang menggunakan pipa dengan bahan logam (baja) kontrol korosi sangat perlukan untuk menjamin kehandalan pipa agar tetap dapat beroperasi sesuai dengan umur jaringan pipa yang diharapkan. Coating pada pipa adalah hal yang wajib ada, namun keberadaannya tidak dapat menjamin keseluruhan sistem jaringan pipa terpisah dari lingkungan, maka ditambahkan perlindungan dengan sistem katodik proteksi untuk membantu coating agar pipa dapat imun dari lingkungannya.

Sistem proteksi katodik terdiri dari dua cara, yaitu: *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) yaitu dengan mengorbankan logam yang lebih rendah nilai potensialnya dari logam yang dilindungi, dan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) yaitu dengan menambahkan arus searah untuk meningkatkan nilai potensial pipa. Untuk struktur yang panjang atau berada di area yang luas digunakan sistem ICCP karena mampu mejangkau hingga lebih dari 50 km.

Pipa transmisi gas milik PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk jalur Wampu-Sei Semayang menggunakan sistem proteksi katodik ICCP. Jaringan pipa ini dibangun untuk menyalurkan gas dari sumbernya Stasiun Wampu sampai dengan Sei Semayang. Energi listrik yang dihasilkan PLTG inilah yang akan ditransmisikan ke pusat beban di Kota Medan.

Dalam penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (*electric power station*) ke pusat beban (*load centers*) dapat dilakukan melalui saluran transmisi udara (*overhead line*) atau saluran transmisi bawah tanah (*underground line*). Pada penyaluran bahan bakar gas yang menjamin kehandalan suplai, metode yang digunakan adalah menggunakan jaringan pipa. Jalur yang digunakan dalam penyaluran energi listrik dan bahan bakar ini disebut Koridor Energi.

Untuk optimalisasi penggunaan lahan, Koridor Energi dapat digunakan secara bersama oleh beberapa pemilik utilitas. Bagaimana jika utilitas yang berada pada satu jalur paralel adalah saluran transmisi listrik dan saluran pipa gas? Pada hukum tangan kanan Ampere, yaitu bila ada arus yang mengalir pada sebuah kawat pengantar, maka akan menimbulkan medan elektromagnet yang mengelilingi kawat penghantar tersebut. Medan elektromagnet tersebut akan melepaskan tenaga kepada benda-benda di sekelilingnya. Dalam hal ini saluran pipa gas akan menjadi bagian dari sirkuit listrik pada jaringan transmisi, disebabkan karena kopling elektrostatis potensial pipa. Untuk struktur yang panjang atau berada di area yang luas digunakan sistem ICCP karena mampu mejangkau hingga lebih dari 50 km.

Pipa transmisi gas milik PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk jalur Wampu menggunakan sistem proteksi katodik ICCP. Jaringan pipa ini dibangun

untuk menyalurkan gas dari sumbernya di Wampu untuk digunakan masyarakat sekitar Kota Medan dan Sei Semayang.

Pada penyaluran bahan bakar gas yang menjamin kehandalan suplai, metode yang digunakan adalah menggunakan jaringan pipa. Jalur yang digunakan dalam penyaluran energi listrik dan bahan bakar ini disebut Koridor Energi.

Untuk optimalisasi penggunaan lahan, Koridor Energi dapat digunakan secara bersama oleh beberapa pemilik utilitas. Bagaimana jika utilitas yang berada pada satu jalur paralel adalah saluran transmisi listrik dan saluran pipa gas? Pada hukum tangan kanan Ampere, yaitu bila ada arus yang mengalir pada sebuah kawat penghantar, maka akan menimbulkan medan elektromagnet yang mengelilingi kawat penghantar tersebut. Medan elektromagnet tersebut akan melepaskan tenaga kepada benda-benda di sekelilingnya. Dalam hal ini saluran pipa gas akan menjadi bagian dari sirkuit listrik pada jaringan transmisi, disebabkan karena kopling elektrostatik dan kopling elektromagnetik. Kopling ini dapat menimbulkan arus dan tegangan induksi pada saluran pipa gas.

Keberadaan saluran transmisi listrik sejajar dengan saluran pipa gas yang menimbulkan tegangan induksi pada saluran pipa gas akan mempengaruhi sistem proteksi katodik pada pipa gas yang menggunakan arus listrik searah untuk meningkatkan nilai potensial pipa terhadap tanah. Selain itu, tegangan induksi akan membahayakan personil yang bekerja dan penduduk yang beraktivitas disekitar lingkungan tersebut.

Menyingkapi kondisi teknis lapangan yang disampaikan diatas yang akan sering ditemui pada jalur koridor energi, maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul:

“ANALISIS PENGARUH INDUKSI TEGANGAN TINGGI TERHADAP SISTEM PROTEKSI KATODIK PADA JALUR PIPA GAS WILAYAH STASIUN WAMPU SAMPAI SEI SEMAYANG”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka secara rinci rumusan masalah yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah terdapat pengaruh induksi tegangan tinggi terhadap sistem proteksi katodik pada jalur pipa yang sejajar dengan saluran listrik tegangan tinggi?
2. Bagaimana cara memitigasi tegangan induksi menggunakan *grounding system* yang terjadi pada jalur pipa gas yang sejajar dengan saluran transmisi listrik?

## **1.3 Batasan Masalah**

Pada penulisan penelitian ini, batasan masalah yang akan dibahas adalah: Pengamatan dan pengukuran data yang diperlukan dilakukan pada pipa gas diameter 16 inchi milik PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk jalur Stasiun Wampu Sampai Sei Semayang, yang sejajar dengan saluran transmisi listrik 150 Kv sepanjang 12,3 Km. Analisis dilakukan dengan perhitungan medan listrik yang dihasilkan dari saluran transmisi. Pengukuran nilai induksi Tegangan Tinggi pada test point, dan pengukuran nilai potensial pipa pada test point yang ada di jalur tersebut. Selanjutnya nilai perhitungan dan pengukuran akan dibandingkan dengan nilai batas aman yang sesuai dengan standard.

Penelitian juga membatasi pembahasan pada metode mitigasi dengan *grounding system* sebagai cara untuk menghilangkan tegangan induksi pada jalur

pipa. *Grounding system* yang dianalisis adalah permodelan dalam menghilangkan tegangan induksi pada jalur pipa gas diameter 16 inchi jalur Stasiun Wampu Sampai Sei Semayang.

Perhitungan medan listrik pada menara saluran transmisi akan dilakukan pada 3 tipe lokasi, yaitu:

1. Pada posisi *test point* yang sejajar saluran transmisi dengan menara terdekat.
2. Pada posisi *test point* yang mulai menjauh dari saluran transmisi dengan menara terdekat.
3. Pada posisi *test point* yang lebih jauh dari saluran transmisi dengan menara terdekat.

Analisis pengaruh induksi akan berdasarkan pada hasil pengukuran *test point* dalam sistem proteksi katodik yang dilakukan di 5 (lima) titik sepanjang jalur Stasiun Wampu Sampai Sei Semayang

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penulisan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui adanya pengaruh induksi tegangan tinggi terhadap sistem proteksi katodik pada jalur pipa gas yang sejajar dengan saluran transmisi listrik.
2. Untuk mengetahui metode mitigasi yang efektif pada tegangan induksi dalam menjaga kehandalan sistem proteksi katodik pada jaringan pipa gas yang sejajar agar tetap dapat berfungsi dengan baik dalam lingkungan dengan induksi medan listrik.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Bagi PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk hasil penelitian ini dapat bermanfaat untuk menentukan rekayasa yang dibutuhkan agar jaringan pipa yang dibangun dapat terjaga keandalannya sesuai dengan umur desain yang diinginkan.
2. Bagi akademik hasil penelitian ini diharapkan dapat untuk menambah wawasan tentang sistem proteksi katodik pada jaringan pipa dan pengaruh induksi tegangan tinggi terhadap sistem proteksi katodik pada jalur pipa gas yang sejajar dengan saluran transmisi listrik.
3. Dengan hasil penelitian ini dan penerapan mitigasi pada jalur pipa gas yang sejajar dengan saluran transmisi listrik, maka diharapkan dapat menjamin keselamatan pekerja di lokasi, terutama masyarakat yang beraktivitas di lingkungan tersebut.

## **1.6 Sistematik Penulisan**

Skripsi ini tersusun atas beberapa bab pembahasan. Sistematikan penulisan tersebut adalah sebagai berikut:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini menguraikan secara singkat latar belakang, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematik penelitian.

### **BAB II : LANDASAN TEORI**

Dalam bab ini dijelaskan tentang teori-teori pendukung yang digunakan untuk pembahasan dan kelayakan air minum.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan menerangkan tentang Bagaimana cara memitigasi tegangan induksi menggunakan *grounding system* yang terjadi pada jalur pipa gas yang sejajar dengan saluran transmisi listrik?

#### **BAB IV : ANALISIS DAN PENGUJIAN**

Pada bab ini berisi hasil Bagaimana cara memitigasi tegangan induksi menggunakan *grounding system* yang terjadi pada jalur pipa gas yang sejajar dengan saluran transmisi listrik.

#### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulisan skripsi.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sumber listrik berasal dari pembangkit tenaga listrik. Lokasi pembangkit tenaga listrik umumnya jauh dari sumber beban, sehingga untuk menyalurkan energi listrik harus disalurkan melalui sistem transmisi. Sistem tenaga listrik secara umum adalah suatu sistem yang terdiri dari lima sub sistem utama untuk menyalurkan energy listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik menuju ke pusat beban. Diagram segaris dari sistem tenaga listrik dalam penyaluran energi listrik secara umum dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1: Diagram Segaris Sistem Tenaga Listrik Sederhana**

Dari Gambar 2.1 energi listrik yang bersumber dari pembangkit tenaga listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTP, PLTGU dan PLTD akan disalurkan melalui sistem transmisi. Energi listrik yang dibangkitkan tegangannya akan dinaikkan menggunakan transformator penaik tegangan dengan tujuan untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi sehingga dapat mengurangi rugi-rugi daya transmisi. Energi listrik kemudian disalurkan melalui sistem transmisi menuju gardu induk untuk kemudian disalurkan ke sumber beban.

Tegangan transmisi akan diturunkan lagi melalui transformator penurun tegangan (*step-down transformer*) di gardu induk menjadi tegangan menengah 20 KV untuk dapat disalurkan ke gardu distribusi. Gardu distribusi akan kembali menurunkan tegangan menjadi tegangan rendah 220 V / 380 V sebelum disalurkan melalui saluran distribusi menuju pusat-pusat beban.

## **2.2 Saluran Transmisi Tenaga Listrik**

Transmisi tegangan tinggi adalah sebuah proses penyaluran energi listrik dari satu gardu induk ke gardu induk lainnya. Proses penyaluran energi listrik tersebut terdiri dari konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (*tower*) melalui isolator-isolator, dengan sistem tegangan tinggi. Besaran tegangan transmisi dapat dibagi menjadi beberapa kelas, yaitu : Tegangan Ultra Tinggi (UHV), Tegangan Ekstra Tinggi (EHV), Tegangan Tinggi (HV), Tegangan Menengah (MHV), dan Tegangan Rendah (LV). Standar tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia adalah: 30 KV, 70 KV dan 150 KV.

## **2.3 Kategori Saluran Transmisi**

Saluran transmisi memiliki kriteria mengenai panjang atau jarak dari saluran transmisi serta ketelitian yang diinginkan. Dilihat dari segi panjangnya saluran transmisi tegangan tinggi dapat dikategorikan menjadi 3 (tiga), yaitu:

1. Saluran transmisi pendek, dengan jarak kurang dari 80 km (50 mil)
2. Saluran transmisi menengah, dengan jarak antara 80 km (50 mil) dan 240 km (150 mil)
3. Saluran transmisi panjang, dengan jarak lebih dari 240 km (150 mil)

## **2.4 Saluran Transmisi Berdasarkan Tegangan**

1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200 kV – 500 kV

Pada umumnya digunakan pada pembangkitan dengan kapasitas di atas 500 MW. Tujuannya adalah agar drop tegangan dan penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Permasalahan mendasar pembangunan SUTET adalah: konstruksi tiang (*tower*) yang besar dan tinggi, memerlukan tapak tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga pembangunannya membutuhkan biaya yang besar. Pembangunan transmisi ini cukup efektif untuk jarak 100 km sampai dengan 500 km.

## 2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 30 kV – 150 kV

Saluran udara tegangan tinggi (SUTT) memiliki tegangan operasi antara 30 kV sampai dengan 150 kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya *single* atau *double* sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya digantikan oleh tanah sebagai saluran kembali. Apabila kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing fasa terdiri dari dua atau empat kawat (*double* atau *qudrapole*) dan berkas konduktor disebut *bundle conductor*.

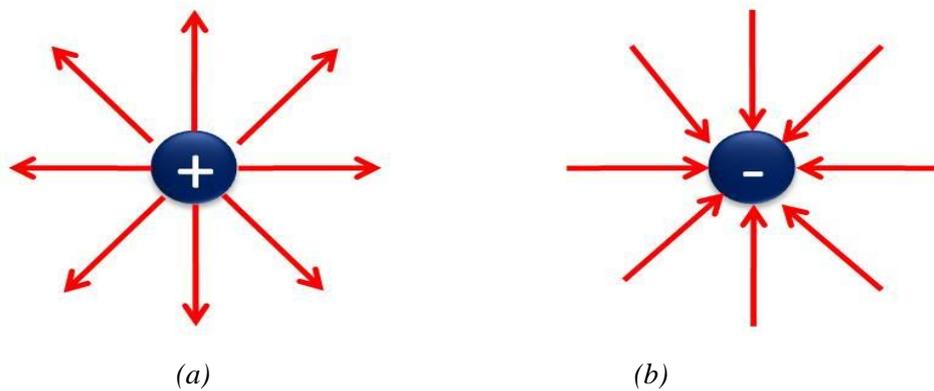
## 2.5 Medan Listrik

### 2.5.1. Pengertian Medan Listrik

Medan Listrik merupakan daerah atau ruang disekitar benda yang bermuatan listrik dimana jika sebuah benda bermuatan lainnya diletakkan pada daerah itu masih mengalami gaya elektrostatik. Gaya elektrostatik adalah gaya yang timbul pada dua benda yang memiliki muatan listrik statik. Jika muatannya sama atau sejenis maka akan saling menolak sementara jika muatannya

berlawanan jenis maka akan saling menarik. Arah medan listrik dari suatu benda bermuatan listrik dapat digambarkan menggunakan garis-garis gaya listrik. Sebuah muatan positif memiliki garis gaya listrik dengan arah keluar dari muatan tersebut. Adapun, sebuah muatan negatif memiliki garis gaya listrik dengan arah masuk ke muatan tersebut.

Menurut Faraday suatu medan listrik keluar dari setiap muatan dan menyebar ke seluruh ruangan. Untuk memvisualisasikan medan listrik, dilakukan dengan menggambarkan serangkaian garis untuk menunjukkan arah medan listrik pada berbagai titik di ruang, yang disebut garis-garis gaya listrik. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.2.

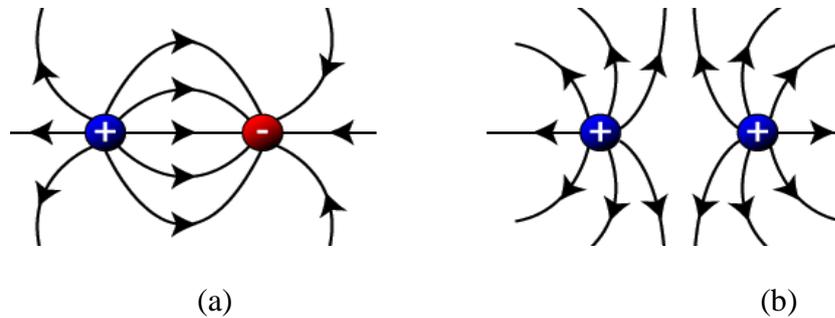


**Gambar 2.2: (a) Garis Gaya Listrik bermuatan Positif**

**(b) Garis Gaya Listrik Bermuatan Negatif**

Gambar (a) merupakan partikel bermuatan positif. Garis-garis yang keluar dari partikel a disebut dengan medan listrik. Arah medan listrik pada gambar (a) keluar dari partikel bermuatan positif. Sedangkan pada gambar (b), merupakan partikel bermuatan negatif, sama dengan gambar (a) garis-garis yang ada pada gambar (b) merupakan medan listrik. Bedanya dengan partikel bermuatan positif,

arah medan listrik pada partikel bermuatan negatif menuju pusat arah partikel. Dengan demikian, maka dapat dijelaskan bagaimana dua partikel yang sejenis tolak-menolak dan partikel yang lain jenis tarik-menarik, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3.



**Gambar 2.3:**

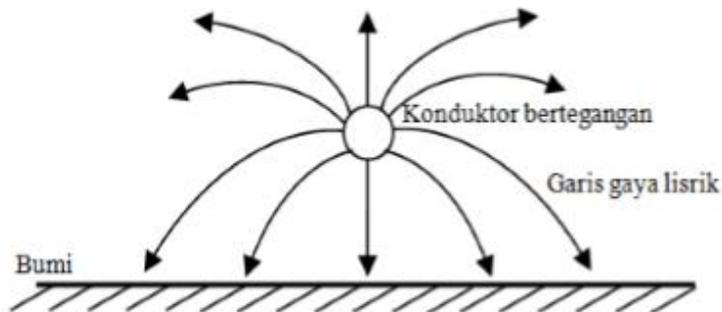
**(a) Garis Gaya Listrik Dengan Interaksi Dua Partikel Yang Berlainan Jenis**

**(b) Garis Gaya Listrik Dengan Partikel Yang Muatannya Sama**

Pada gambar 3 (a) merupakan interaksi dua partikel yang berlainan jenis. Perhatikan garis medan listriknya, garis dari partikel positif menuju partikel negatif. Sedangkan pada (b) merupakan partikel yang muatannya sama. Garis medan listrik pada partikel tersebut saling menjauh satu sama lain. Sehingga kedua partikel tersebut saling tolak-menolak.

Kuat medan listrik juga merupakan besaran vektor karena memiliki arah, maka penjumlahan antara dua medan listrik atau lebih harus menggunakan penjumlahan vektor. Arah medan listrik dari sebuah muatan positif di suatu titik adalah keluar atau meninggalkan muatan tersebut. Adapun arah medan listrik dari sebuah muatan negatif di suatu titik adalah masuk atau menuju ke muatan tersebut.

Medan listrik pada suatu konduktor terjadi jika suatu konduktor dialiri tegangan pada ujung-ujungnya, maka akan menghasilkan medan gaya disekitar penghantar tersebut. Medan gaya yang dihasilkan inilah yang disebut medan listrik. Bentuk medan listrik pada sebuah konduktor dapat dinyatakan oleh garis khayal atau garis gaya listrik (Gambar 2.4).



**Gamba2.4: Medan listrik pada permukaan konduktor tunggal yang bertegangan**

**A. Kuat Medan Listrik**

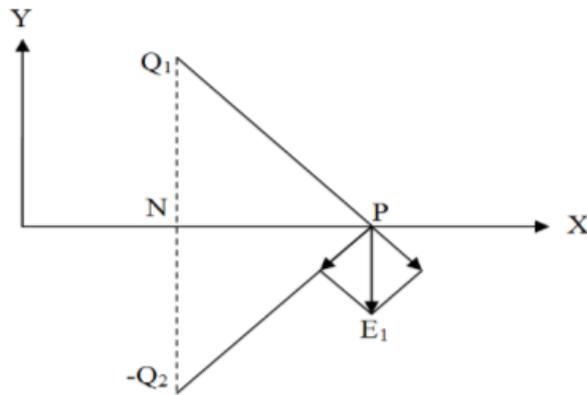
Kuat medan listrik adalah gaya elektrostatis yang di alami oleh suatu muatan positif yang diletakkan di titik tertentu setiap satuan muatannya. Didefinisikan sebagai hasil bagi gaya listrik yang bekerja pada suatu muatan uji dengan besar muatan uji tersebut. Sehingga kuat medan listrik dibawah saluran transmisi dapat menggunakan persamaan 2.1.

Besar medan listrik dari sebuah benda bermuatan listrik dinamakan kuat medan listrik. Jika dalam sebuah daerah ruang, sebuah muatan uji  $q$  mengalami sebuah gaya  $F$ , maka daerah itu dicirikan oleh sebuah medan listrik yang kuat medan listriknya  $E$ .

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

**B. Kuat Medan Listrik Di Sekitar Saluran Transmisi**

Untuk menentukan besar kuat medan listrik disekitar saluran transmisi, digunakanlah metode bayangan. Pada metode ini dijelaskan bahwa medan listrik diatas bumi dipengaruhi oleh muatan saluran dan bayangannya sebagai akibat pengaruh bumi (saluran transmisi dianggap tak terhingga). Bila terdapat “n” buah saluran, maka kuat medan listrik disuatu titik merupakan penjumlahan dari kuat medan akibat masing-masing saluran beserta bayangannya.



**Gambar 2.5: Kuat medan listrik di titik P, dibawah saluran transmisi**

Kuat medan listrik di titik “P” pada gambar 2.5 diatas, dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$E_1 = E_{x1}ax + E_{y1}ay \text{ N/C} \dots\dots\dots (2.2)$$

$E_{x1}$  dan  $E_{y1}$  masing masing diberikan oleh:

$$E_{x1} = \frac{Q_1}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{(X_1 - X_p)}{(X_1 - X_p)^2 + (Y_1 - Y_p)^2} - \frac{(-X_1 - X_p)}{(X_1 - X_p)^2 + (Y_1 - Y_p)^2} \right] \text{N/C} \dots\dots(2.3)$$

$$E_{y1} = \frac{Q_1}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{(Y_1 - Y_p)}{(X_1 - X_p)^2 + (Y_1 - Y_p)^2} - \frac{(-Y_1 - Y_p)}{(X_1 - X_p)^2 + (Y_1 - Y_p)^2} \right] \text{N/C} \dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$E_{x1}$  = kuat medan listrik untuk komponen horisontal (N/C)

$E_{y1}$  = kuat medan listrik untuk komponen vertikal (N/C)

- $Q_1$  = muatan konduktor l (C)
- $X_1, Y_1$  = koordinator konduktor (m)
- $X_p, Y_p$  = koordinator pengamatan (m)
- $\epsilon$  = konstanta dielektrik ( $C^2/Nm^2$ )

Komponen horisontal dan vertikal, EX dan EY dari medan listrik dihitung dengan menjumlahkan vektor kuat medan listrik dari masing-masing muatan titik.

$$E_x + E_{x1} + E_{x2} + \dots + E_{xn} \text{ N/C} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$E_y + E_{y1} + E_{y2} + \dots + E_{yn} \text{ N/C} \dots\dots\dots (2.6)$$

C. Kuat Medan Listrik Di Permukaan Tanah

Persamaan 2.5 dan 2.6 adalah untuk menentukan kuat medan listrik secara umum. Dalam kondisi kuat medan listrik diatas permukaan tanah, terdapat kesamaan dalam komponen x, sehingga persamaannya akan menjadi lebih sederhana. Medan listrik diatas permukaan tanah dinyatakan sebagai vector vertikal kuat medan. Medan yang dihasilkan di titik P diatas permukaan tanah oleh muatan Q1 pada konduktor 1, dinyatakan oleh persamaan:

$$E_1 = \frac{Q_{r1} + jQ_{rl}}{\pi\epsilon} \frac{Y_1}{(X_1 - X_p)^2 + Y_1^2} \text{ N/C} \dots\dots\dots (2.7)$$

**2.6 Teori Maxwell**

Menurut teori Maxwell tentang gelombang elektromagnetik bahwa cahaya adalah suatu bentuk radiasi gelombang elektromagnetik. Gelombang

elektromagnetik dihasilkan oleh muatan yang dipercepat terdiri dari medan magnet (B) dan Medan listrik (E) yang bergetar saling tegak lurus serta keduanya tegak lurus arah perambatan gelombang. Sehingga gelombang elektromagnetik termasuk gelombang transversal. Dengan Teori Maxwell tentang gelombang ekektromagnetik, Maxwell menghitung cepat rambat gelombang elektromagnetik dengan persamaan:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

C = Cepat rambat gelombang elektromagnetik

$\mu_0$  = Permeabilitas ruang hampa =  $4\pi \times 10^{-7}$  Wb/Am

$\epsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa =  $8,85418 \times 10^{-12}$  C<sup>2</sup>/Nm<sup>2</sup>

Dengan memasukkan harga  $\mu_0$  dan  $\epsilon_0$  diatas maka di peroleh cepat rambat gelombang elektromagnetik sebesar  $C = 3 \times 10^8$  m/s. Nilai tersebut ternyata sesuai dengan cepat rambat cahaya dalam ruang hampa. Dengan hasil ini maka Maxwell mengatakan bahwa cahaya termasuk gelombang elektromagnetik. Seperti gelombang mekanik maka cahaya mengalami gejala gelombang pada umumnya yaitu refleksi (pemantulan), refraksi (pembiasan), interferensi, difraksi serta polarisasi.

Dengan Teori Maxwell tentang gelombang ekektromagnetik menyimpulkan bahwa sifat-sifat gelombang elektromagnetik adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan medan listrik dan medan magnet terjadi pada saat yang bersamaan sehingga kedua medan memiliki harga maksimum dan minimum pada saat yang sama dan pada tempat yang sama.
- b. Arah medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambat gelombang.
- c. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang transversal.
- d. Mengalami peristiwa pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi juga polarisasi.
- e. Tidak dipengaruhi oleh medan listrik dan medan magnet karena gelombang elektromagnetik tidak memiliki muatan.
- f. Kecepatan dalam ruang hampa sama dengan kecepatan di udara  $3 \times 10^8$  m/s.

## **2.7 Sistem Proteksi Katodik**

Korosi pada dasarnya merupakan sifat alamiah dari logam untuk kembali ke bentuk semula. Dengan demikian korosi tidak dapat dihilangkan sama sekali. Akan tetapi dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, proses korosi dapat dikendalikan sampai pada titik minimum yang dilakukan berdasarkan proses terjadinya. Salah satu metode pengendalian korosi untuk sistem perpipaan adalah proteksi katodik.

Proteksi katodik untuk pertama kalinya diperkenalkan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1820-an sebagai sarana control korosi utama pada alat pengiriman naval di Inggris. Kemudian lebih dikenal dan banyak dipakai pada tahun 1930-an di *Gulf Coast* Amerika dalam mengendalikan korosi pada pipa

yang membawa hidrokarbon (gas bumi dan produk minyak) bertekanan tinggi. Di Indonesia metode ini dipergunakan secara lebih luas sejak tahun 1970-an.

Pada dasarnya proteksi katodik merupakan kontrol korosi secara elektrokimia dimana reaksi oksida pada sel galvanis dipusatkan di daerah anoda dan menekan proses korosi pada daerah katoda dalam sel yang sama. Dengan demikian, teknologi ini sebenarnya merupakan gabungan yang terbentuk dari unsur-unsur elektrokimia, listrik dan pengetahuan tentang bahan. Unsur elektrokimia mencakup dasar-dasar proses terjadinya reaksi korosi, sedangkan unsur kelistrikan mencakup konsep dasar perilaku obyek yang diproteksi dan lingkungannya jika arus listrik dialirkan.

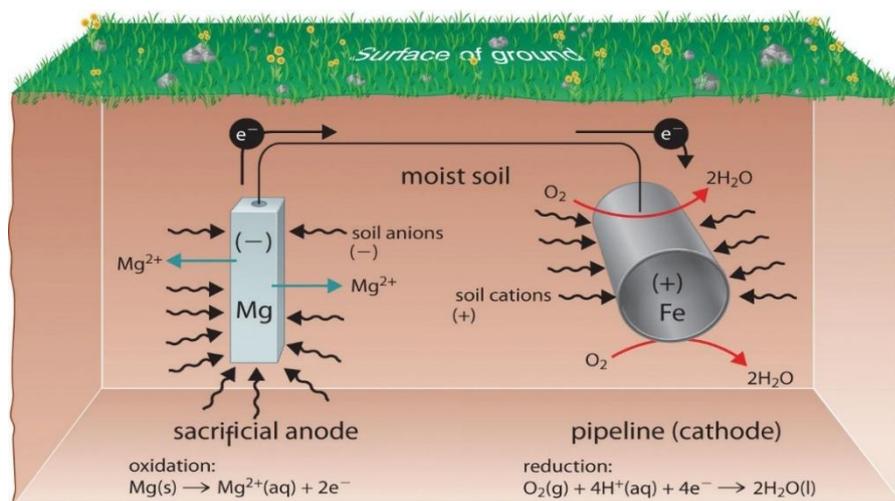
Pada aplikasi dilapangan, struktur yang dilindungi akan diusahakan menjadi lebih katoda dibandingkan dengan bahan lain yang dikorbankan untuk terkorosi. Proses ini dilakukan dengan cara mengalirkan arus searah dari sumber lain melalui elektrolit ke permukaan pipa dan menghindari adanya arus yang meninggalkan pipa. Jika jumlah arus yang dialirkan diatur dengan baik, maka akan mencegah mengalirnya arus korosi yang keluar dari daerah anoda dipermukaan pipa dan arus akan mengalir dalam pipa pada daerah tersebut. Sehingga permukaan pipa tersebut akan menjadi bersifat katodik, dengan demikian maka proteksi menjadi lengkap.

Arus mengalir ke pipa pada daerah dimana sebelumnya sebagai anoda. *Driving voltage system* proteksi katodik harus lebih besar dari pada *driving voltage* sel korosi yang sedang berlangsung. Supaya sistem proteksi katodik bekerja, harus ada arus yang mengalir dari *groundbed*. Selama terjadinya aliran arus ketanah, maka material *groundbed* akan menjadi subjek korosi. Oleh karena

kegunaan *groundbed* untuk mengeluarkan arus, maka sebaiknya menggunakan bahan yang laju konsumsinya lebih rendah dari pada pipanya itu sendiri. Atau secara termodinamika, potensial pipa/struktur yang diproteksi dibuat menjadi imun yaitu pada -850 mV (CSE).

### 2.7.1 Sistem Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Sistem ini dikenal juga dengan *galvanic anode*, dimana cara kerja dan sumber arus yang digunakan berasal hanya dari reaksi galvanis anoda itu sendiri. Prinsip dasar dari sistem anoda korban adalah hanya dengan cara menciptakan sel elektrokimia galvanik dimana dua logam yang berbeda dihubungkan secara elektrik dan ditanam dalam elektrolit alam (tanah atau air). Dalam sel logam yang berbeda tersebut, logam yang lebih tinggi dalam seri elektromotive-Emf series (lebih aktif) akan menjadi anodik terhadap logam yang kurang aktif dan terkonsumsi selama reaksi elektrokimia. Logam yang kurang aktif menerima proteksi katodik pada permukaannya karena adanya aliran arus melalui elektrolit dari logam yang anodic.



**Gambar 2.6: Proteksi Katodik SACP**

Keuntungan yang diperoleh jika menggunakan sistem anoda korban diantaranya:

- a. Tidak memerlukan arus tambahan dari luar, karena arus proteksi berasal dari anodanya itu sendiri.
- b. Pemasangan dilapangan relative lebih sederhana
- c. Perawatannya mudah
- d. Ditinjau dari segi biaya, sistem ini lebih murah dibanding sistem arus tanding.
- e. Kemungkinan menimbulkan efek interferensi kecil.
- f. Kebutuhan material untuk sitem anoda korban relative sedikit yaitu anoda, kabel dan *test box*.
- g. Kelemahan proteksi katodik dengan anoda korban dibandingkan dengan sistem arus tanding adalah:

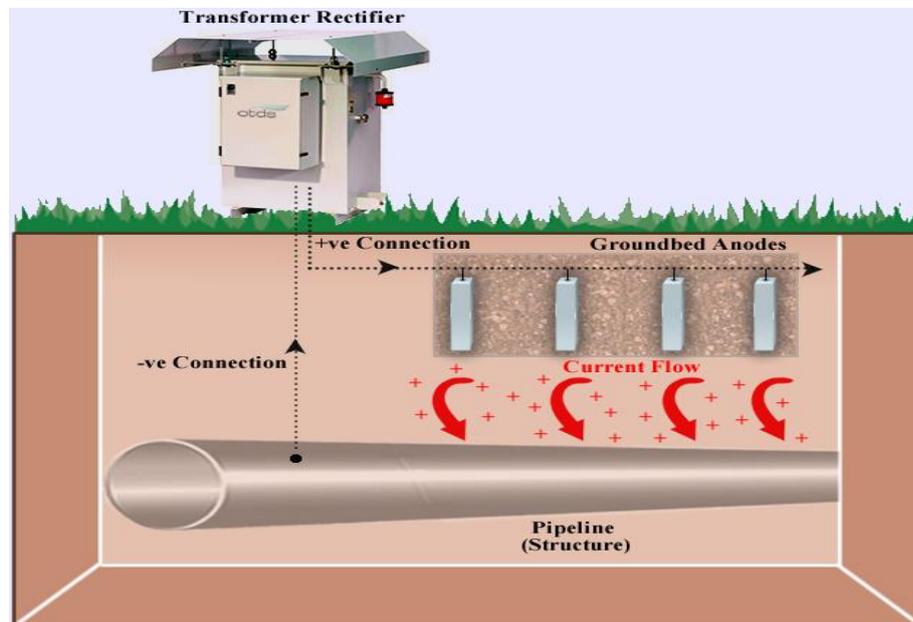
1. Driving voltage dari sistem ini relatif rendah karena arus proteksi hanya terjadi dari reaksi galvanis material itu sendiri sehingga sistem ini hanya dapat digunakan untuk memproteksi struktur yang arus proteksinya relatif kecil dan resistivitas lingkungan rendah. Karena kondisi yang demikian itu, sistem ini akan menjadi kurang ekonomis jika dipakai unguk keperluan memproteksi struktur yang relatif besar.
2. Kemampuan untuk mengontrol variable efek arus sesat terhadap struktur yang diproteksi relative kecil.

### 2.7.2 Sistem Arus Tanding (*Impressed Current*)

Berbeda dengan sistem anoda korban, sumber arus pada sistem arus tanding berasal dari luar, biasanya berasal dari DC dan AC yang dilengkapi dengan penyearah arus (*rectifier*), dimana kutub negative dihubungkan ke struktur

yang dilindungi dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Arus mengalir dari anoda melalui elektrolit ke permukaan struktur, kemudian mengalir sepanjang struktur dan kembali ke *rectifier* melalui konduktor listrik. Karena struktur menerima arus dari elektrolit, maka struktur menjadi terproteksi.

Keluaran (*output*) arus *rectifier* diatur untuk mengalirkan arus yang cukup sehingga dapat mencegah arus korosi yang akan meninggalkan daerah anoda pada struktur yang dilindungi. Dengan keluaran arus dari anoda ini maka anoda tersebut terkonsumsi. Untuk itu maka sebaiknya menggunakan bahan yang laju konsumsinya lebih rendah dari magnesium, zinc dan alumunium yang biasa dipakai untuk sistem tersebut, umumnya digunakan paduan kombinasi bahan yang khusus.



**Gambar 2.7: Proteksi Katodik ICCP**

Sistem arus tanding digunakan untuk melindungi struktur yang besar atau yang membutuhkan arus proteksi yang lebih besar dan dipandang kurang ekonomis jika menggunakan anoda korban. Sistem ini dapat dipakai untuk

melindungi struktur baik yang tidak *dicoating*, kondisi *coating* yang kurang baik maupun yang kondisi *coating*nya baik.

Kelebihan sistem arus tanding adalah dapat didesain untuk aplikasi dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi karena mempunyai rentang kapasitas output arus yang luas. Artinya kebutuhan arus dapat diatur baik secara manual maupun secara otomatis dengan merubah tegangan *output* sesuai dengan kebutuhan. Kelebihan lain dari sistem ini, dengan hanya memasang sistem di salah satu tempat dapat memproteksi struktur yang cukup besar.

Kekurangan dari sistem ini yaitu memerlukan perawatan yang lebih banyak dibanding sistem anoda korban sehingga biaya operasional akan bertambah. Sistem ini juga mempunyai ketergantungan terhadap kehandalan pemasok energi (*rectifier*) sehingga kerusakan pada sistem ini akan berakibat fatal terhadap kinerja sistem proteksi. Kekurangan yang lain sistem arus tanding adalah cenderung lebih mahal karena peralatan dan bahan yang digunakan lebih banyak. Disamping itu ada kemungkinan dapat menimbulkan masalah efek interferensi arus terhadap struktur disekitarnya.

Dengan mempertimbangkan kelebihan dan kerugian dari masing-masing sistem dapat ditentukan sistem proteksi yang paling optimum. Bila struktur yang akan diproteksi berupa pipa yang ada di daerah padat struktur, misalkan berada dalam daerah perkotaan, maka dipastikan instalasi bawah tanah yang ada sangat kompleks dan ada aplikasi proteksi katodik yang beragam. Untuk menghindari terjadinya interferensi dengan sistem lain dan kemudahan instalasi, sistem yang terbaik adalah sistem anoda korban. Sebaliknya bisa struktur yang akan diproteksi

adalah pipa sepanjang 200 km, maka karena besarnya struktur sehingga besar pula kebutuhan arus proteksi maka sistem terbaik adalah sistem arus tanding.

Dari segi kelebihan dan kekurangan secara umum dapat dijelaskan seperti diatas, hal selanjutnya yang terpenting adalah masalah desain untuk masing-masing sistem proteksi. Untuk perawatan terhadap pipa terproteksi dengan sistem katodik diperlukan pemantauan minimal setiap 3 bulan atau sesuai dengan kebutuhan. Pada proses ini dilakukan pengukuran terhadap potensial proteksi dan arusnya. Pada waktu patroli jaringan pipa secara visual dapat memeriksa kondisi *test box* dan *transformer rectifier* terutama yang terletak ditempat padat penduduk perbaikan dilakukan apabila kondisinya tidak memenuhi syarat.

### **2.7.3 Interferensi pada Sistem Proteksi Katodik**

Interferensi yang dapat terjadi pada sistem katodik proteksi adalah:

- a. Gangguan yang diakibatkan oleh adanya arus listrik sesat, yaitu arus listrik yang mengalir tidak sesuai dengan yang kita kehendaki.
- b. Interferensi dapat merugikan sistem struktur primer, yaitu struktur yang kita proteksi maupun struktur sekunder.
- c. Arus akan cenderung masuk logam yang terlewati karena logam mempunyai tahanan listrik yang lebih rendah dari elektrolit.
- d. Prosesnya adalah elektrokimia, proses anodik dan katodik. Korosi terjadi di daerah anodik

Interferensi yang terjadi dapat berupa interferensi katodik, interferensi anodik atau kombinasi interferensi katodik dan anodik. Interferensi katodik adalah ketika *voltage gradient overlap* dengan struktur asing dan negatif terhadap *remote earth* maka akan membuat *stray current* keluar dari struktur asing tersebut. Voltage

gradient menjadi faktor pengendali dalam situasi ini. Jika ada *stray current* yang keluar maka pasti ada tempat dimana *stray current* masuk kedalam struktur asing diluar area yang terpengaruh.

Standar yang digunakan untuk sistem pemipaan transmisi dan distribusi gas adalah ASME B31.8. Pada pipa gas paralel atas jalur transmisi listrik, harus dipertimbangkan untuk menganalisa perlunya melindungi *Insulating Joint* dalam pipa terhadap tegangan induksi yang dihasilkan dari kesalahan pembumian dan petir. Perlindungan tersebut dapat diperoleh dengan menghubungkan anoda galvanik yang tertanam ke pipa dekat *insulating joint* dan/atau dengan *bridging* isolator pipa dengan *spark gap*, atau dengan cara lain yang efektif.

Melakukan analisa dan perbaikan dengan mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut:

- a. Mengurangi induksi tegangan AC untuk mengatasi efeknya pada keselamatan personil selama konstruksi atau operasi dengan desain yang sesuai
- b. Kemungkinan kesalahan arus tegangan yang menginduksi lapisan pipa atau pipa.
- c. Kemungkinan efek buruk pada proteksi pipa, komunikasi, atau fasilitas elektronik lainnya.
- d. Efek korosif dari induksi tegangan tinggi (*High Voltage Dirrect Current*)  
*ASME B.31.8-2012, Gas Transmission and Distribution Piping Systems*  
*“Chapter VI-Corrosion Control, 861.1.3 Electrical Isolation”* Dalam hal ini ASME B.31.8 menyampaikan bahwa untuk kontrol korosi jaringan pipa gas yang berada sejajar dengan transmisi listrik saluran udara perlu

dilakukan penyelidikan dan penelitian untuk perlindungan dari tegangan induksi serta menentukan metode untuk menangani efek dari tegangan tinggi.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian**

Dalam analisis ini pengamatan dan pengukuran data yang diperlukan dilakukan pada lokasi daerah kerja PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk Area Medan, jalur pipa gas 16 inchi Belawan-Klumpang sepanjang 12,3 Km. Jalur ini menggunakan sistem proteksi katodik arus tanding (ICCP). Pengukuran nilai tegangan listrik AC pada pipa dilakukan pada *test station* proteksi katodik yang berada tersebar di sepanjang jalur pipa sebanyak 5 titik, serta 1 titik pengukuran pada *transformer rectifier* yang menyalurkan arus DC ke lokasi pipa tersebut.

#### **3.2 Metode Penelitian dan Pengumpulan Data**

Penelitian dalam Analisis Pengaruh Induksi Tegangan Tinggi Terhadap Sistem Proteksi Katodik Pada Jalur Pipa Gas yang Sejajar Dengan Saluran Transmisi menggunakan metode rekayasa nilai (*value engineering*). Pendekatan yang digunakan dalam analisis dengan cara kualitatif dan kuantitatif dari berbagai sumber data yang diperoleh.

Metode pengumpulan data yang digunakan yaitu studi pustaka dan studi lapangan, yaitu:

##### **3.2.1. Studi Pustaka**

Studi pustaka dilakukan upaya mempelajari dan mengumpulkan data sekunder untuk menunjang penelitian. Data yang dikumpulkan berasal dari buku referensi, jurnal, prosiding, dokumen-dokumen dan artikel dari

internet, serta bahan kuliah yang mendukung dan berkaitan dengan judul skripsi ini.

### 3.2.2. Studi Lapangan

Pengumpulan data melalui studi lapangan adalah untuk mendapatkan data primer, dilakukan dengan cara observasi, yaitu dengan mengamati dan pengukuran secara langsung objek yang diteliti, yaitu:

1. Pengukuran nilai Tegangan AC pada pipa
2. Pengukuran nilai Tegangan AC pada *Transformer Rectifier*

Data yang digunakan dalam menganalisis permasalahan juga diperoleh dari hasil perhitungan dengan parameter yang berlaku dengan menggunakan metode bayangan untuk menentukan besar kuat medan listrik disekitar saluran transmisi.

### 3.3 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam pengukuran dilapangan adalah *Multimeter Digital Fluke 175 True RMS*. Multimeter atau multimeter adalah alat pengukur listrik yang juga dikenal sebagai VOM (Volt-Ohm meter) yang dapat mengukur tegangan (voltmeter), hambatan (ohm-meter), maupun arus (amperemeter).



**Gambar: 3.1 Multimeter Digital Fluke 175 True RMS**

Pengukuran dilakukan pada titik-titik pengukuran nilai potensial pipa dan *supply* arus DC untuk proteksi katodik, yaitu:

### 3.3.1. *Test Point*

*Test point* adalah semua titik lokasi pada jaringan pipa dimana pengukuran potensial proteksi katodik dapat dilakukan untuk mengetahui kondisi sistem proteksi katodik. *Test point* dapat berupa *valve*, anak tangga, *test station*, fasilitas distribusi lainnya seperti MR/S, Jembatan pipa dan sebagainya. *Test station* adalah *test point* yang spesifik disiapkan untuk pengukuran proteksi katodik yang terdiri dari *test box* berisi terminal dan kabel yang terhubung dengan pipa bawah tanah.

*Test station* atau tiang ukur haruslah berbentuk simple dan mudah dalam pengoperasian dan biasanya terbuat dari bahan-bahan seperti polikarbonat, besi cor, aluminium cor, polimer atau *high impact molded plastic*.

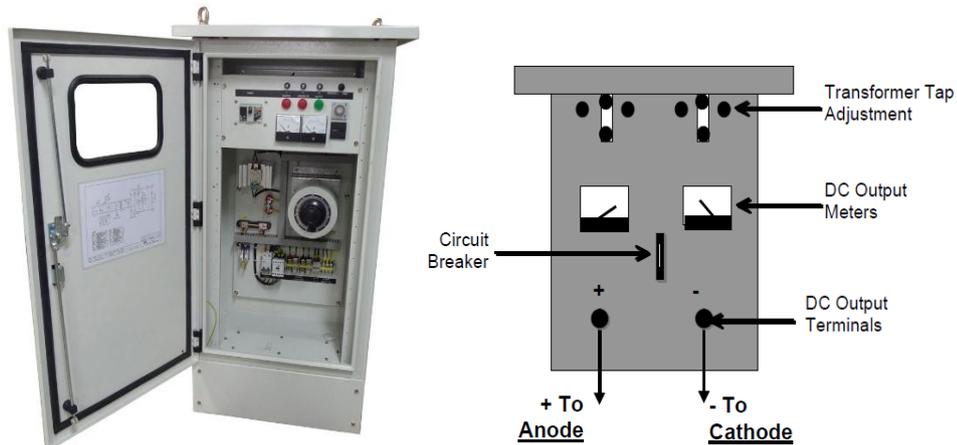


**Gambar:3.2 Test Station**

### 3.3.2. *Transformer Rectifier*

Sumber listrik AC yang paling mudah dan umum digunakan untuk *impressed current system* adalah *Transformer Rectifier*. *Transformer* berfungsi

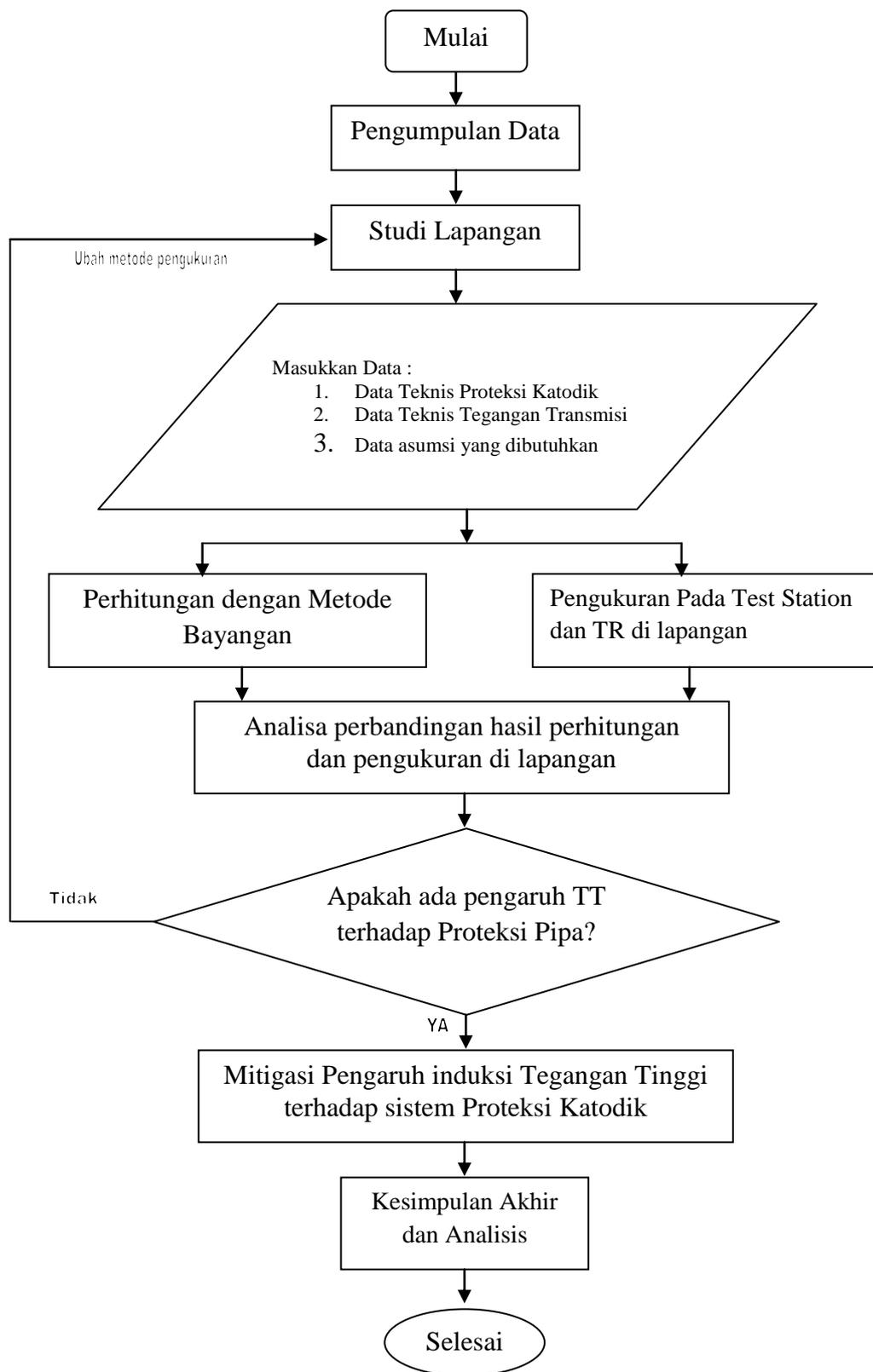
untuk menurunkan voltase AC PLN sebesar 380 V atau 220 V menjadi voltase operasi yang dibutuhkan sedangkan *Rectifier* berfungsi mengubah arus AC menjadi arus DC yang akan digunakan untuk proteksi katodik.



**Gambar: 3.3 Transformer Rectifier**

### 3.4 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini, analisis dilakukan dengan perbandingan besar medan listrik disekitar saluran transmisi yang diperoleh dari perhitungan menggunakan metode bayangan dengan hasil pengukuran tegangan AC pada pipa gas. Secara menyeluruh dapat diuraikan langkah-langkah penelitian digambarkan dengan diagram alir sebagai berikut:



**Gambar : 3.4 Flowchart Langkah Penelitian**

### 3.5. Analisis Data

Dalam analisis ini dibahas tegangan induksi yang terjadi pada saluran pipa gas yang dititikberatkan pada perhitungan dan pengukuran tegangan induksi yang diakibatkan medan magnet saluran transmisi listrik 150 KV yang paralel dengan saluran pipa gas. Untuk membahas tegangan induksi yang terjadi pada saluran pipa gas, terlebih dahulu dibahas induksi medan magnet dan saluran transmisi listrik, kemudian cara menginterpretasi pengaruh induksi medan magnet saluran transmisi listrik pada pipa.

Tegangan induksi dari Saluran Udara Tegangan Tinggi dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan Metode Bayangan, dan untuk membandingkan hasil perhitungan dilakukan pengukuran pada 6 titik *test station* sepanjang 12,3 Km pipa yang sejajar dengan SUTT.

Pengukuran pada *test station* dilakukan menggunakan multimeter digital, dengan menghubungkan kabel positif (merah) ke titik di *test point* dan kabel negative (hitam) ke elektroda pembanding (*half cell-C<sub>u</sub>S<sub>o</sub>4*). Pengukuran ini untuk mengetahui perbandingan nilai potensial pipa terhadap tanah. Pada setting pengukuran VDC, maka nilai yang diukur adalah nilai perlindungan potensial pipa dengan proteksi katodik. Pada setting pengukuran VAC, maka nilai yang diukur adalah tegangan induksi AC yang terdapat di tanah sekitar pipa.

Dari hasil perhitungan dan pengukuran dapat ditemukan nilai tegangan AC dipipa gas yang sejajar dengan saluran transmisi, maka dapat dinyatakan terjadi interferensi arus AC pada sistem proteksi katodik pipa gas dan dibutuhkan mitigasi untuk menghilangkan induksi tegangan AC tersebut.

Metode mitigasi yang digunakan adalah dengan mengalirkan tegangan listrik AC di pipa ke tanah dengan sistem *grounding*. Mitigasi dengan *grounding* melalui tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah *grounding* dan materialnya
2. Menentukan lokasi pemasangan *grounding*
3. Menaikkan tahanan pada fasilitas TR agar lebih tinggi dari tahanan *grounding*.

Setelah mitigasi diterapkan, maka kembali dilakukan pengukuran pada *test station* untuk menyimpulkan mitigasi dapat dilaksanakan dengan baik.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Perhitungan Medan Listrik**

##### **4.1.1. Menentukan Asumsi**

Dalam Skripsi ini dituliskan beberapa asumsi yang digunakan dalam perhitungan. Pada perhitungan medan listrik dibawah saluran transmisi perlu ditentukan beberapa asumsi dengan justifikasi yang akan dibahas sebelum masuk kedalam proses perhitungan.

a. Ketinggian Konduktor

Dalam perhitungan kuat medan listrik perlu diambil asumsi terhadap tinggi konduktor, yaitu dengan menetapkan setiap konduktor memiliki ketinggian yang sama pada setiap titiknya.

b. Konfigurasi Konduktor

Konfigurasi konduktor transmisi mengacu pada Menara tipe AA. Saluran Udara Tegangan Tinggi diketahui beberapa jenis Menara transmisi.

c. Permukaan Konduktor

Permukaan konduktor dianggap sebagai permukaan dengan potensial listrik yang sama. Asumsi ini dibutuhkan agar rumus kuat medan listrik dari konduktor dapat digunakan.

Untuk menyederhanakan perhitungan permukaan tanah dianggap rata, walaupun pada kenyataannya permukaan tanah tidak semuanya rata. Permukaan tanah dianggap bertegangan nol dan penghantar sempurna untuk mendukung Metode Bayangan yang menyatakan bahwa permukaan tanah sebenarnya adalah cermin dari konduktor transmisi terhadap bayangannya.

d. Pengaruh Pentanahan

Menara dengan pentanahan sesungguhnya mempengaruhi kuat medan listrik di sekitar konduktor transmisi. Pengaruh dari pentanahan ini diasumsikan nol untuk menyederhanakan perhitungan dan pengaruhnya kecil.

e. Pengaruh Bangunan dan Pohon

Pengaruh dari bangunan-bangunan dan pohon-pohon disekitar menara diabaikan untuk mempermudah perhitungan.

f. Permittivitas Ruang Hampa

Udara disekitar konduktor transmisi dapat diasumsikan sebagai ruang hampa. Adanya partikel kecil dan debu yang ada diudara dapat mempengaruhi permittivitas dari udara tersebut, sehingga dapat berubah-ubah.

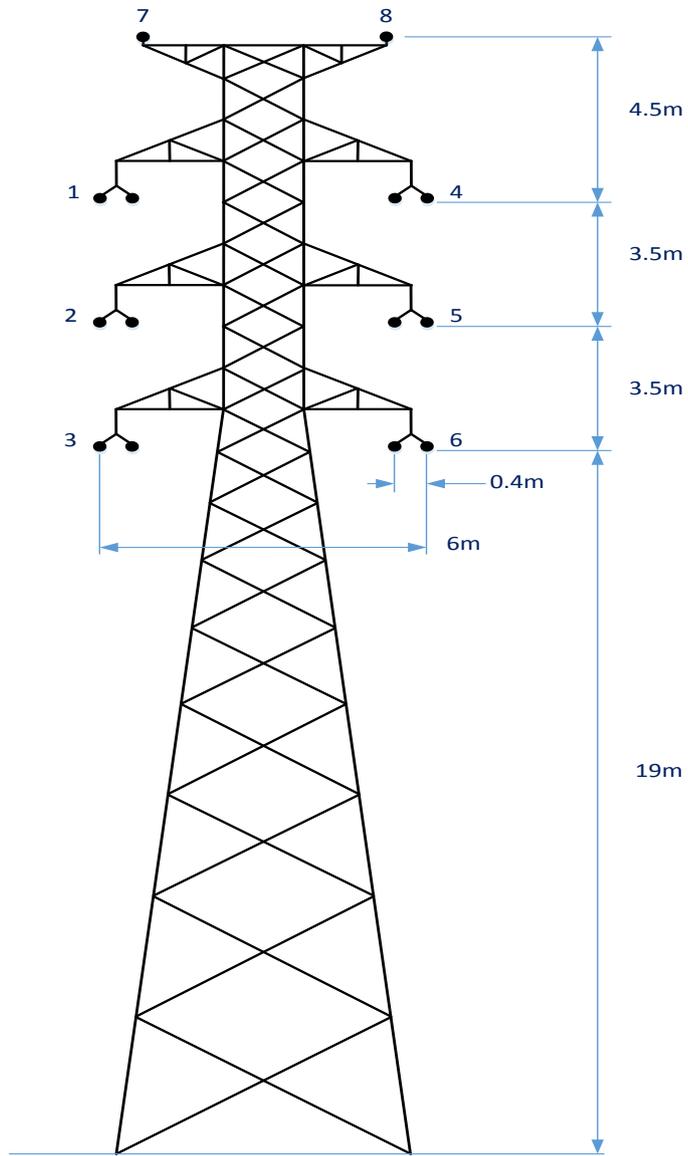
#### **4.1.2. Proses Perhitungan Medan Listrik**

Untuk perhitungan kuat medan listrik dibawah saluran transmisi, diperlukan koordinat, tegangan, dan jari-jari dari tiap-tiap konduktor transmisi.

Data data untuk transmisi ini adalah sebagai berikut:

Tipe Menara	: Saluran ganda, susunan vertical
Konduktor	: ACSR, $2 \times 240 \text{ mm}^2$
Spasi sub konduktor	: 40 cm (0,40 m)
Tegangan	: 150 KV
Arus per fasa	: 1347 A (max) $\approx$ 350 MW
Diameter kawat tanah	: 8 mm (0,08 m)
Panjang Transmisi sejajar pipa Gas	: 12,3 Km

Susunan konduktor pada transmisi 150 KV mengacu pada menara tipe AA seperti dalam Gambar 12.



**Gambar : 4.1 Susunan Konduktor pada Transmisi 150 KV menara tipe AA**

Keterangan:

$$1 = (-3 ; 26) \text{ m}$$

$$2 = (-3 ; 22.5) \text{ m}$$

$$3 = (-3 ; 19) \text{ m}$$

$$4 = ( 3 ; 26) \text{ m}$$

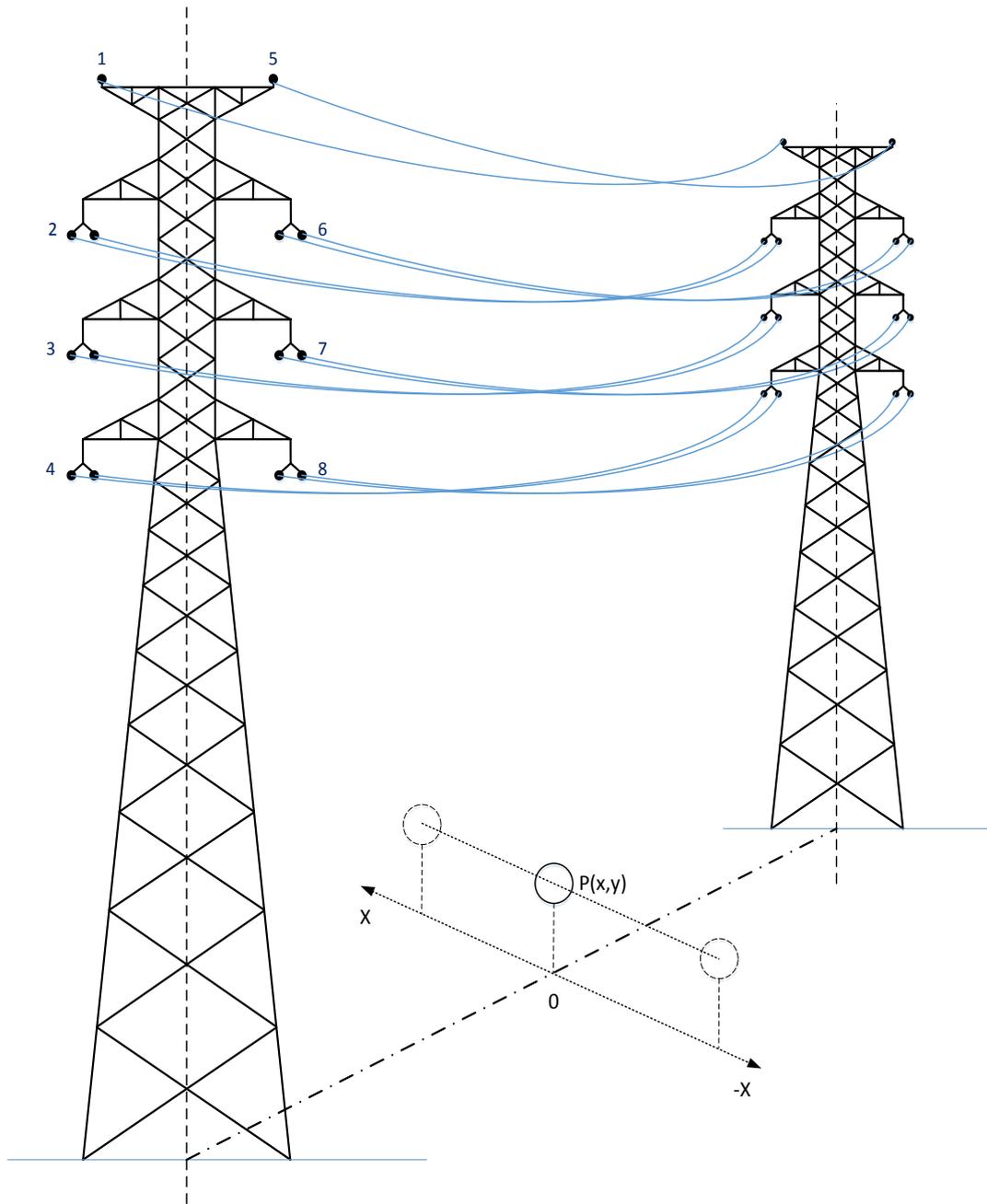
$$5 = ( 3 ; 22.5) \text{ m}$$

$$6 = ( 3 ; 19) \text{ m}$$

$$7 = (-2.5 ; 30.5) \text{ m}$$

$$8 = (2.5 ; 30.5) \text{ m}$$

Untuk menghitung besar kuat medan listrik pada titik setinggi  $x$  meter dari permukaan tanah dan ditengah-tengah saluran transmisi, harus diambil sumbu sebagai acuan, seperti dalam Gambar 13.



**Gambar: 4.2 Sumbu Menara Untuk Acuan Perhitungan Kuat Medan Listrik**

Perhitungan kuat medan listrik dengan tinggi konduktor terendah transmisi adalah tinggi ruang bebas minimum dari tanah (*minimum ground clearance*). Tinggi ruang bebas minimum dalam saluran transmisi ini adalah 19 meter.

Untuk menghitung kuat medan listrik dibawah transmisi menggunakan program MATLAB (*Matlab R2009a-trial version*) yang dibagi menjadi 3(tiga) *file*, yaitu:

1. *data\_medan\_listrik.m* untuk input data-data yang diperlukan dalam perhitungan.
2. *menu\_medan\_listrik.m* untuk menampilkan menu pilihan setelah melakukan input data, meliputi: menghitung kuat medan listrik pada titik (P), menggambar grafik kuat medan listrik pada ketinggian yang berbeda di bawah transmisi, menggambar kontur kuat medan listrik disekitar konduktor transmisi, dan *exit*.
3. *medan\_listrik.m* untuk menghitung kuat medan listrik pada titik-titik yang dibutuhkan. Disebut titik P( $X_p, Y_p$ ).

Bagian pertama dalam perhitungan ini adalah menginputkan data-data konduktor. Konduktor pada transmisi 150 KV dari Stasiun Wampu sampai dengan Sei Semayang merupakan konduktor berkas yang terdiri dari 2 sub konduktor berjarak 40 cm. Sebuah konduktor berkas dalam perhitungan dianggap sebagai konduktor tunggal yang memiliki GMR atau  $r_{ek}$ .

Setelah dianggap konduktor tunggal, dari gambar 12 didapatkan koordinat dari konduktor transmisi adalah:

$X_1 = -3$	$Y_1 = 26$	$V_1 = 86,6025$	(Fasa R)
$X_2 = -3$	$Y_2 = 22.5$	$V_2 = -43,3013-75j$	(Fasa S)
$X_3 = -3$	$Y_3 = 19$	$V_3 = -43,3013+75j$	(Fasa T)
$X_4 = 3$	$Y_4 = 26$	$V_4 = -43,3013+75j$	(Fasa T)

$$X_5 = 3 \quad Y_5 = 22.5 \quad V_5 = -43,3013-75j \quad (\text{Fasa S})$$

$$X_6 = 3 \quad Y_6 = 19 \quad V_6 = 86,6025 \quad (\text{Fasa R})$$

$$X_7 = -2.5 \quad Y_7 = 30.5$$

$$X_8 = 2.5 \quad Y_8 = 30.5$$

$$\text{Jari-jari Konduktor adalah} = 0,010 \text{ meter}$$

$$\text{Jari-jari kawat tanah} = 0,004 \text{ meter.}$$

Setelah data dimasukkan, program Matlab akan menghitung GMR atau  $r_{ek}$  dari konduktor berkas. Kemudian program akan menghitung matriks P dan kerapatan muatan dari masing-masing konduktor  $\lambda$  (dalam program matlab disimbolkan Q).

Berikut adalah isi programnya:

```
%Nama File: data_medan_listrik.m
%-----
%Memasukkan Data Konduktor Transmisi
%=====
clc;
clear;
disp(['Perhitungan Kuat Medan Listrik']);
disp(['=====']);
disp([' ']);
n=input('Jumlah Konduktor      : ');
N=input('Jumlah Sub Konduktor   : ');
B=input('Jarak Antar Sub Konduktor : ');
disp([' ']);
disp([' ']);
for a=1:n,
    disp(['Data Konduktor ',int2str(a)]);
    disp(['=====']);
    disp([' ']);
    x(a)=input('Koordinat X : ');
    y(a)=input('Koordinat Y : ');
    r(a)=input('Jari-jari (m)  : ');
    V(a)=input('Tegangan (KV): ');
```

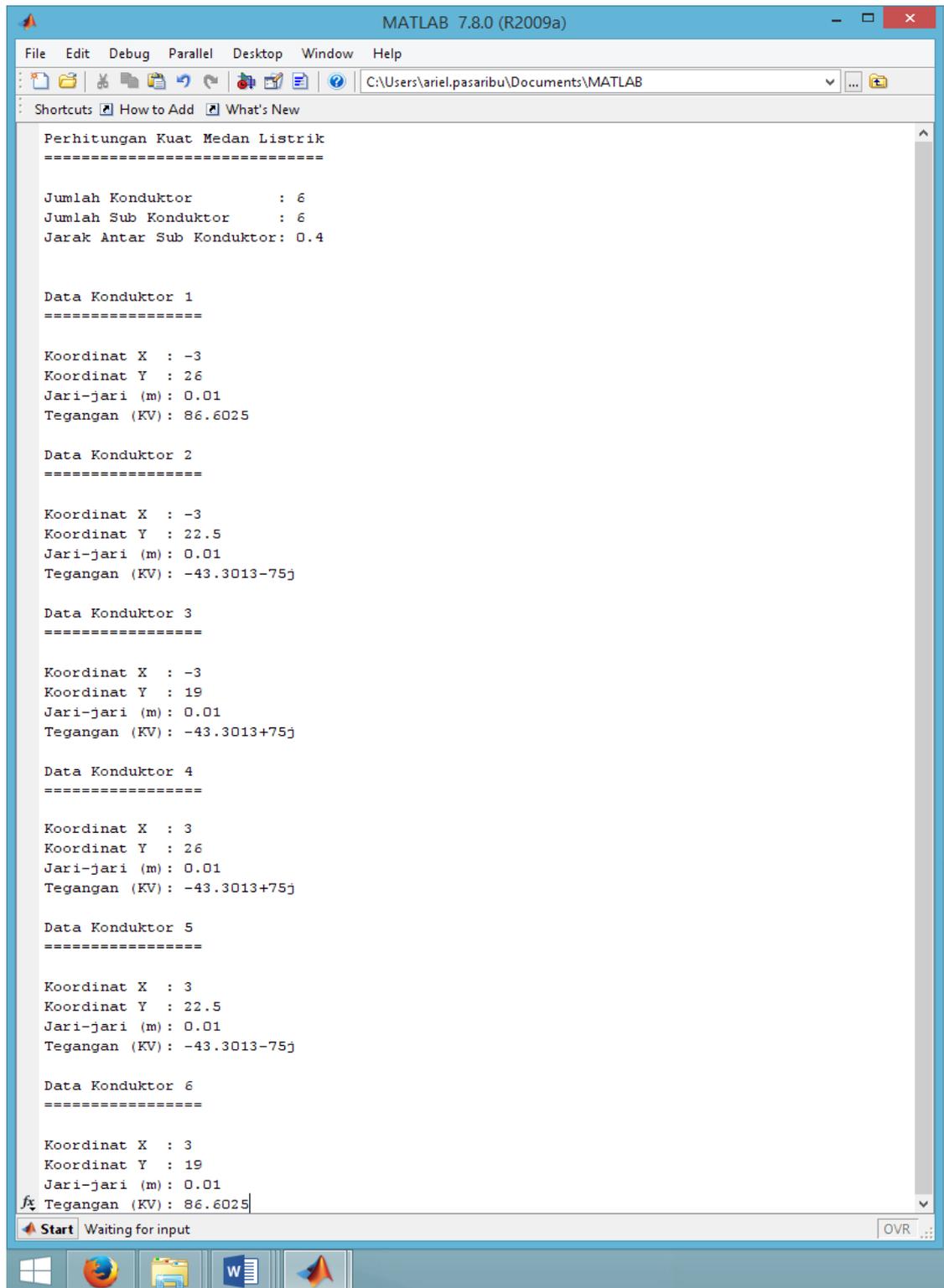
```

h(a)=y(a);
disp([' ']);
if (N==1),
    R=r(a);
else
    R=(B/2)*sin(pi/N);
end
Rek(a)=(N*r(a)*R^(N-1))^(1/N);
End

%Menghitung Matriks Koefisien Maxwell [P]
%=====
for a=1:n,
    for b=1:n
        if b~=a
            D(a,b)=sqrt((x(a)-x(b))^2+(y(a)+y(b))^2);
            d(a,b)=sqrt((x(a)-x(b))^2+(y(a)-y(b))^2);
            P(a,b)=log(D(a,b)/d(a,b));
        else
            P(a,b)=log(2*h(a)/Rek(a));
        end
    end
end
%Menghitung Kerapatan Muatan Konduktor
%=====
Q=(1/18)*1e-9*(inv(P)*transpose(V));
% Tahapan Selanjutnya
%=====
menu_medan_listrik;

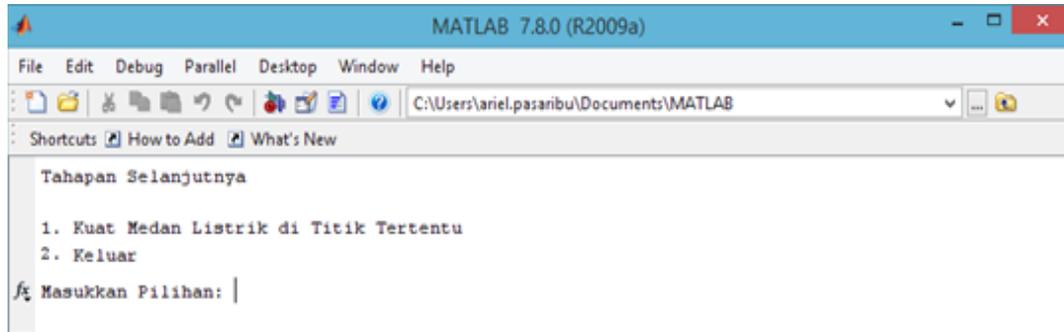
```

Proses input data akan ditampilkan sebagai berikut:



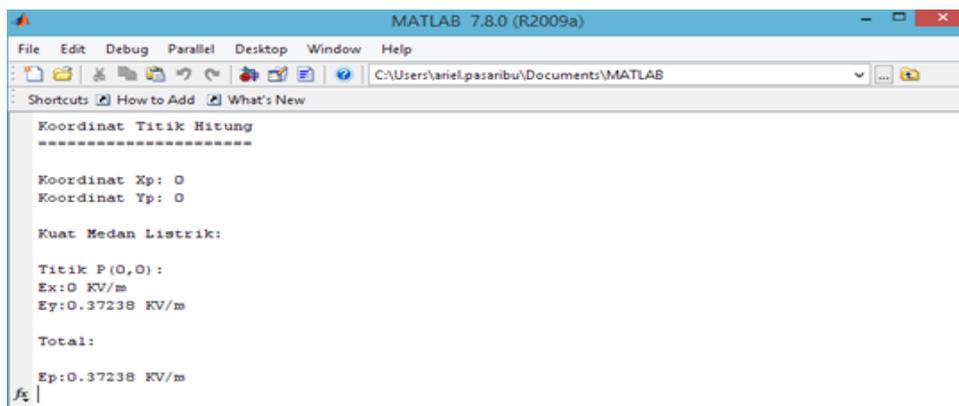
**Gambar : 4.3 Tampilan pada Matlab setelah penginputan data**

Setelah input data dilakukan, maka akan tampil menu pilihan untuk tindakan yang dibutuhkan selanjutnya, yaitu:



**Gambar : 4.5 Tampilan Pilihan pada Matlab setelah penginputan data**

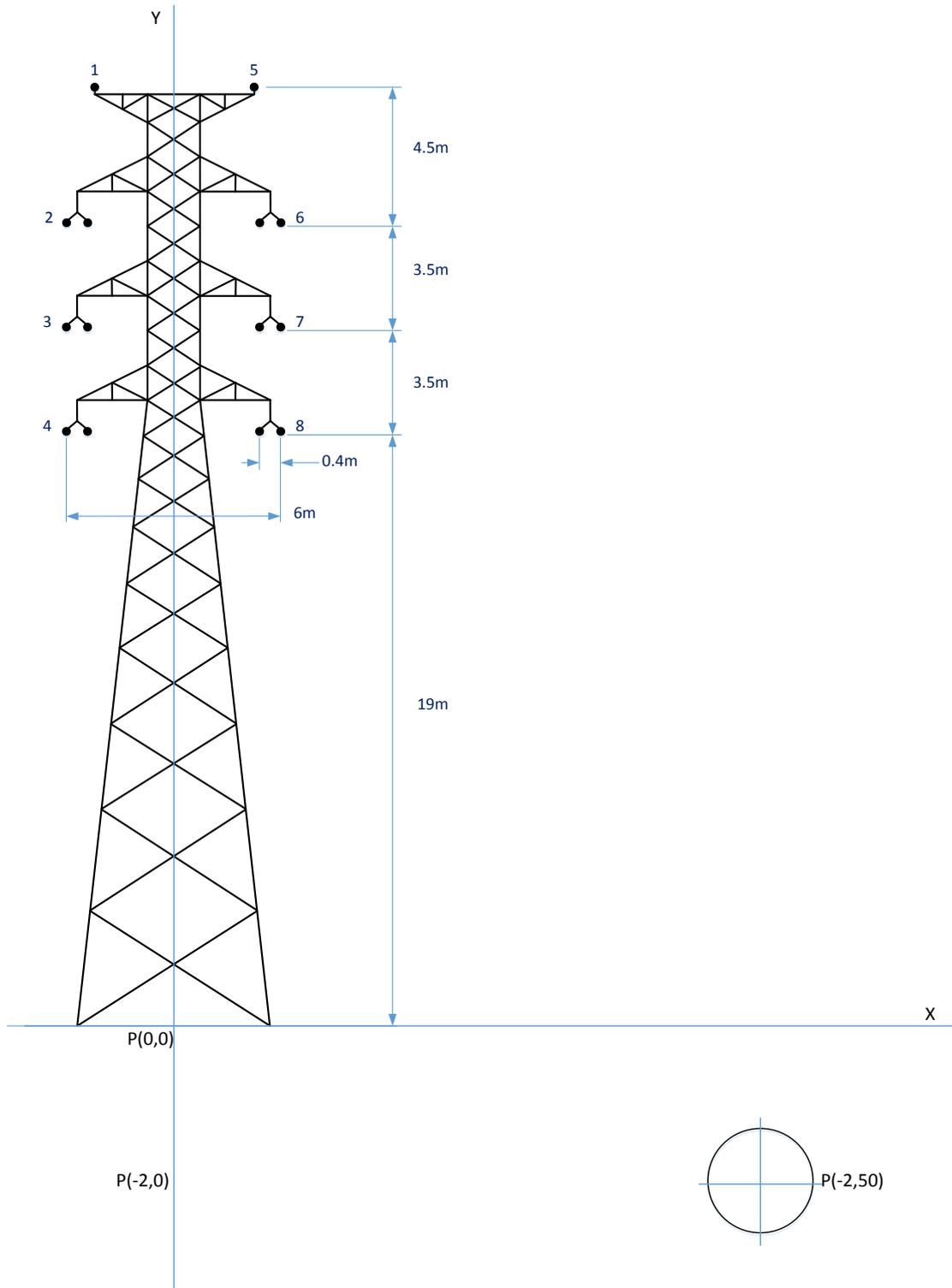
Pada tampilan menu pilihan, selanjutnya dipilih untuk tindakan yang dibutuhkan, yaitu "1" untuk Menghitung Kuat Medan Listrik di Titik Tertentu. Maka tampilan pada Matlab akan meminta Koordinat titik hitung, dan misalkan diinginkan untuk mengetahui kuat medan listrik ditengah-tengah konduktor pada ketinggian nol dari permukaan tanah, maka diinputkan P(0,0). Sehingga didapatkan tampilan sebagai berikut:



**Gambar : 4.6 Tampilan setelah dimasukkan koordinat Titik Hitung**

Dalam penentuan koordinat perhitungan dilakukan pendekatan ke kondisi lapangan, dimana pipa gas berada tertanam dibawah tanah, dan saluran transmisi

berada diatas tanah. Diasumsikan resistivitas tanah adalah nol. Ilustrasi koordinat pengukuran posisi tower transmisi dan pipa sesuai dengan gambar berikut:



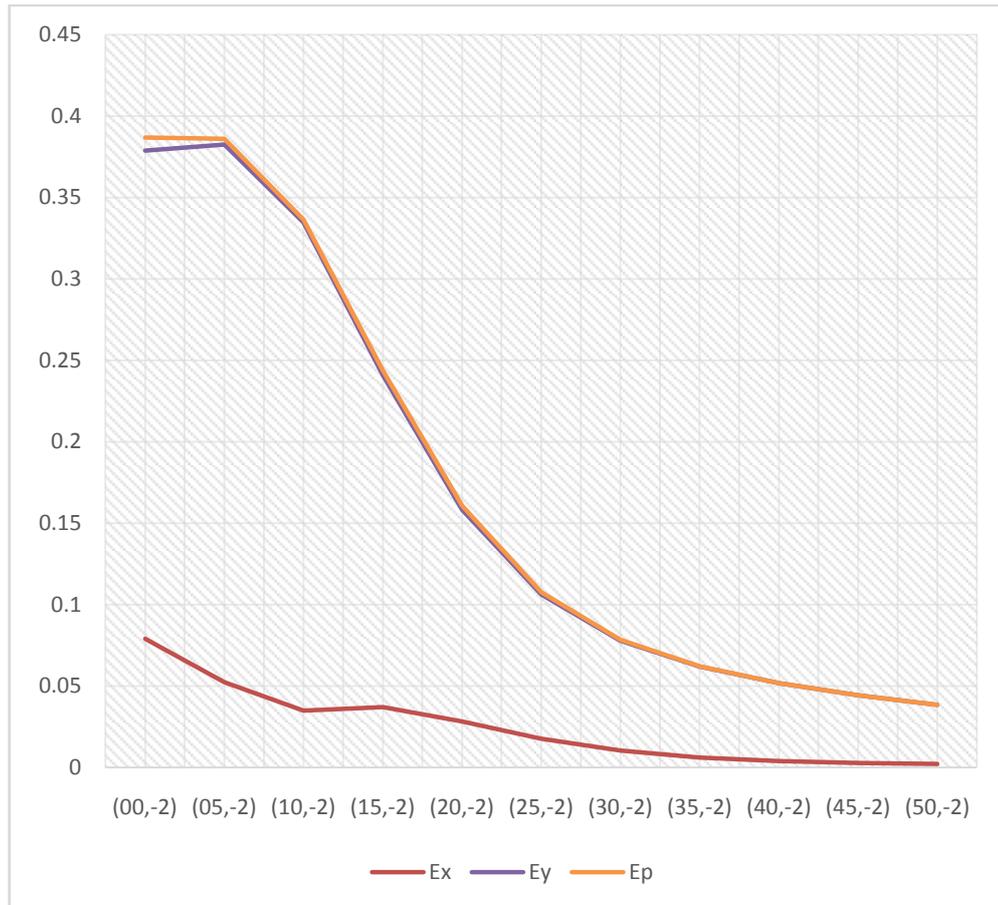
**Gambar:4.7 Koordinat Pengukuran Tower terhadap pipa Gas**

Kuat medan listrik pada titik-titik berbeda yang menjadi referensi di posisi pipa yang berada  $\pm 2$  meter dibawah tanah, di bawah saluran transmisi 150 KV

Koordinat P(Xp,Yp) m	Kuat Medan Listrik di bawah Saluran Transmisi (KV/m)		
	Komponen Horisontal (E <sub>x</sub> )	Komponen Vertikal (E <sub>y</sub> )	Total (E <sub>p</sub> )
(00,-2)	0.079125	0.37865	0.38683
(05,-2)	0.052491	0.38244	0.38602
(10,-2)	0.034938	0.33467	0.33649
(15,-2)	0.037235	0.2408	0.24366
(20,-2)	0.028303	0.15831	0.16082
(25,-2)	0.017751	0.10635	0.10782
(30,-2)	0.010405	0.077855	0.078548
(35,-2)	0.006193	0.061957	0.062265
(40,-2)	0.0039882	0.051822	0.051975
(45,-2)	0.0028528	0.044396	0.044488
(50,-2)	0.0022189	0.038488	0.038552

diberikan dalam tabel berikut:

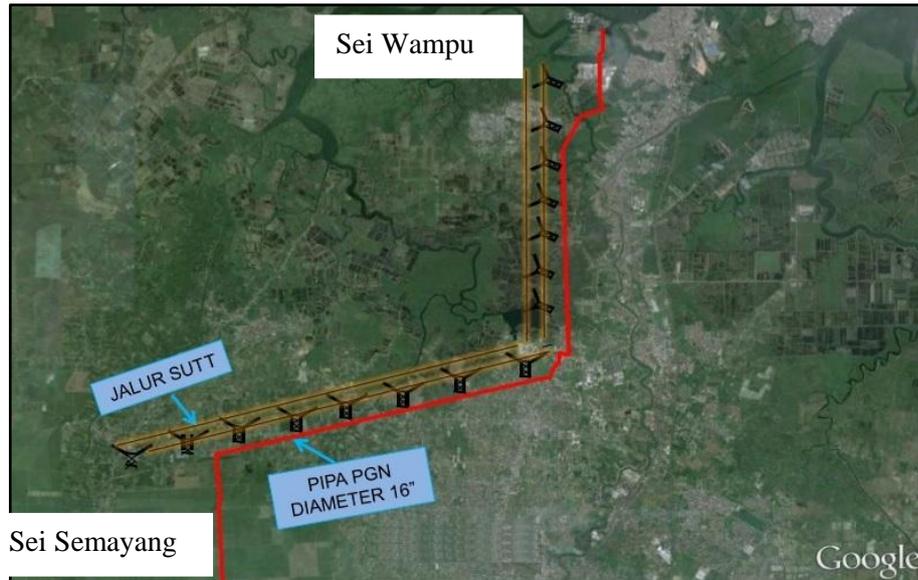
**Tabel : 4.1 Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik di bawah Saluran Transmisi**



**Gambar: 4.8 Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik di bawah Saluran Transmisi**

#### 4.2 Pengukuran Tegangan AC pada Pipa Gas

Pengukuran tegangan AC pada pipa gas dilakukan pada lokasi jalur pipa gas Stasiun Wampu sampai dengan Sei Semayang yang sejajar dengan saluran transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Pipa yang sejajar dengan SUTT berjarak 12,3 Km dengan spesifikasi pipa API 5L Gr.B. Peta lokasi ditampilkan pada gambar berikut:

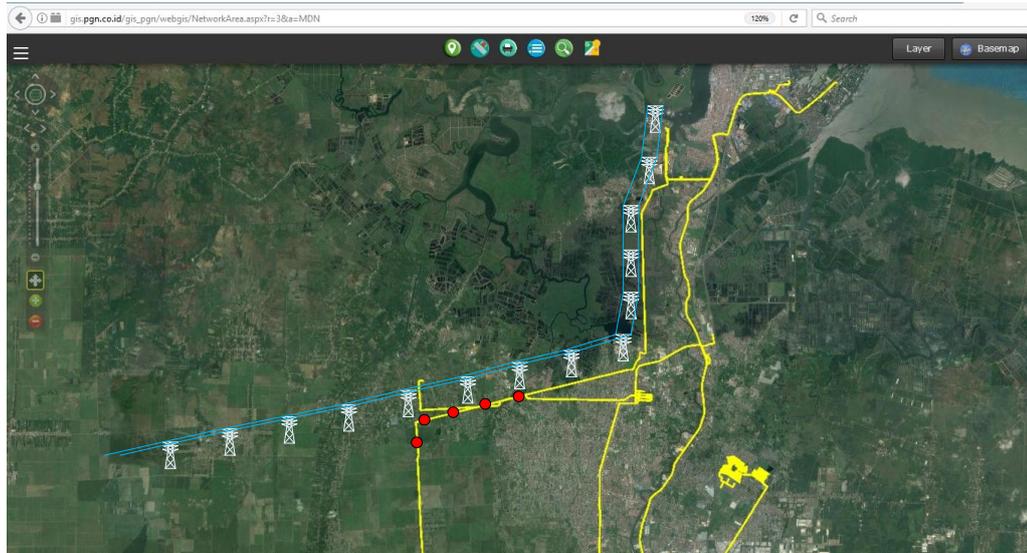


**Gambar: 4.9 Peta Lokasi Jalur SUTT Sejajar dengan Pipa Gas**

Pengukuran tegangan AC pada pipa dilakukan menggunakan alat ukur multimeter di 5 (lima) titik *test station* yang tersedia untuk pengukuran nilai potensial pipa. Tahapan pengukuran sebagai berikut:

1. Setting satuan ukuran pada multimeter untuk pembacaan Volt AC.
2. Hubungkan pointer Positif (+) warna merah ke test point yang terhubung dengan pipa.
3. Hubungkan pointer Negatif (-) warna hitam ke elektroda pembanding (half cel  $\text{CuSo}_4$ ).
4. Lihat pembacaan tegangan pada layar multimeter. Jika kabel terbalik, maka pembacaan akan positif.

Pengukuran dilakukan pada test point yang berada di posisi yang dianggap mewakili kondisi pipa untuk jalur yang sejajar, mulai tidak sejajar, dan menjauhi saluran transmisi, yang posisinya diilustrasikan pada gambar berikut:

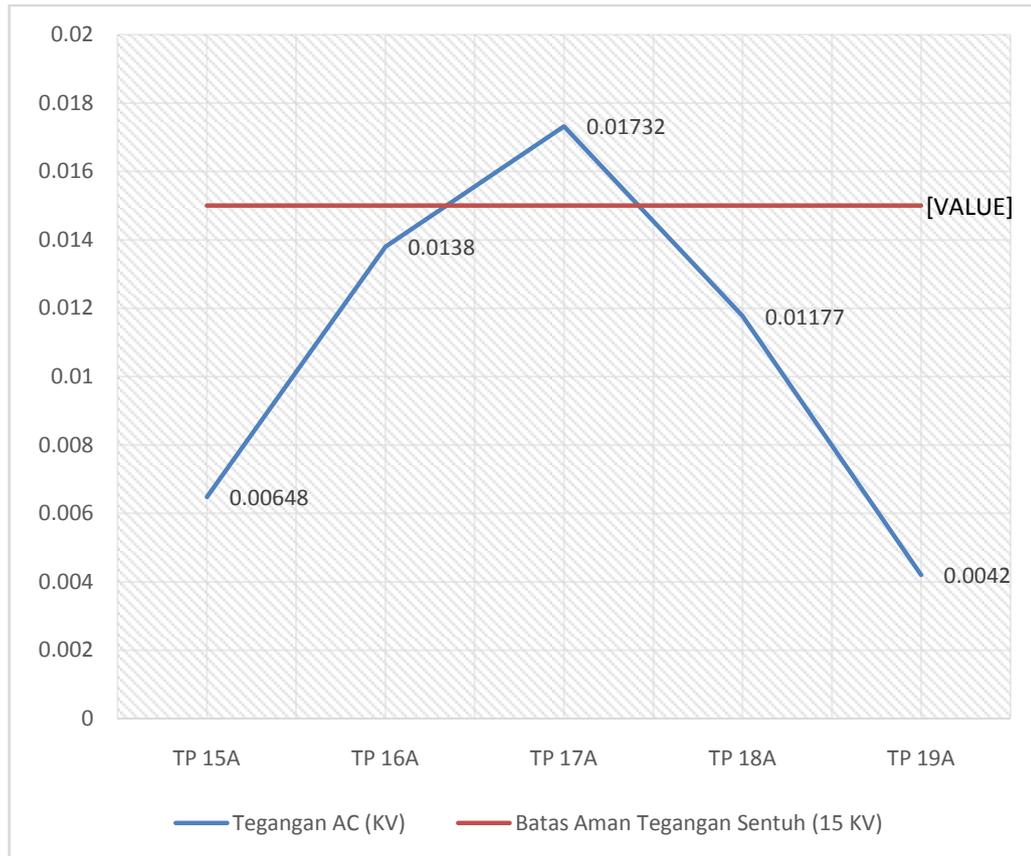


**Gambar 4. 10 Peta Lokasi Pengukuran Tegangan Pada Jalur Pipa Gas**

Dari hasil pengukuran pada 5 lima titik test point, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Test Point	Tegangan Listrik (KV AC)
TP 15 A	0.00648
TP 16 A	0.01380
TP 17 A	0.01732
TP 18 A	0.01177
TP 19 A	0.00420

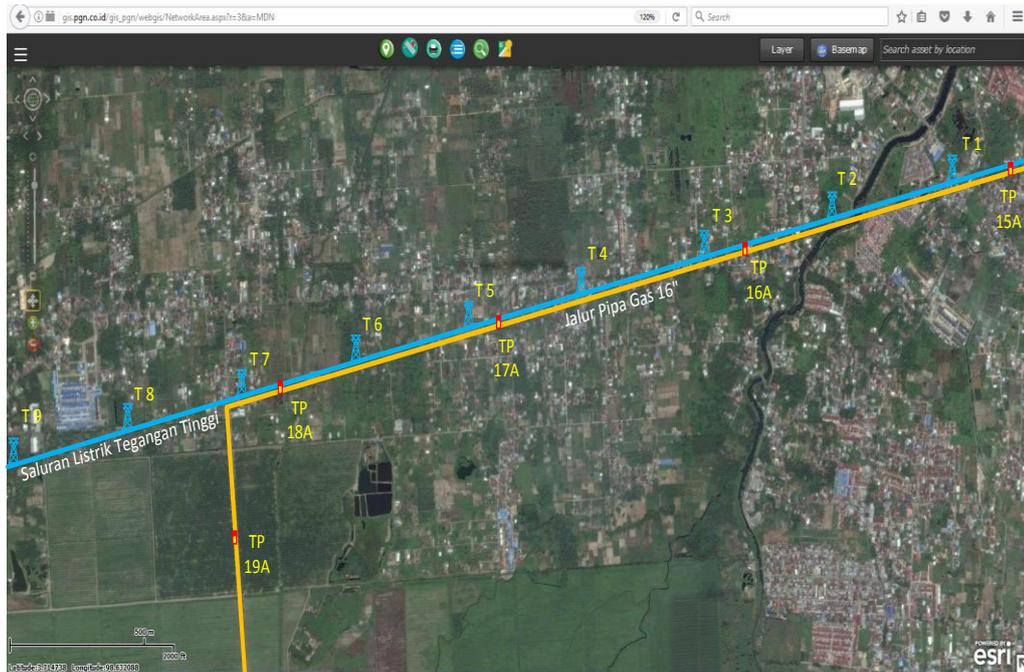
**Tabel : 4.2 Hasil Pengukuran Tegangan AC pada Pipa**



**Gambar 4. 11 Hasil Pengukuran Tegangan AC pada Pipa**

Hasil pengukuran tersebut menjadi referensi tegangan AC pada pipa di posisi pipa untuk jalur yang sejajar, mulai tidak sejajar, dan menjauhi saluran transmisi. Batas aman yang menjadi acuan bahaya sengatan listrik minimum adalah 15 V (0.015KV). (*NACE SP 0177-2007-5.2.1.1*) (*PUIL 2000-SNI 04-225 2000.3.3.1.5.2.b*)

Untuk memperoleh data yang komprehensif antara perhitungan dan pengukuran, maka dilakukan perhitungan untuk jarak posisi test point dengan posisi tower terdekat. Visualisasi posisi test point dan tower digambarkan dalam peta Gambar 22 berikut:



**Gambar 22. Peta posisi test point dan menara terdekat**

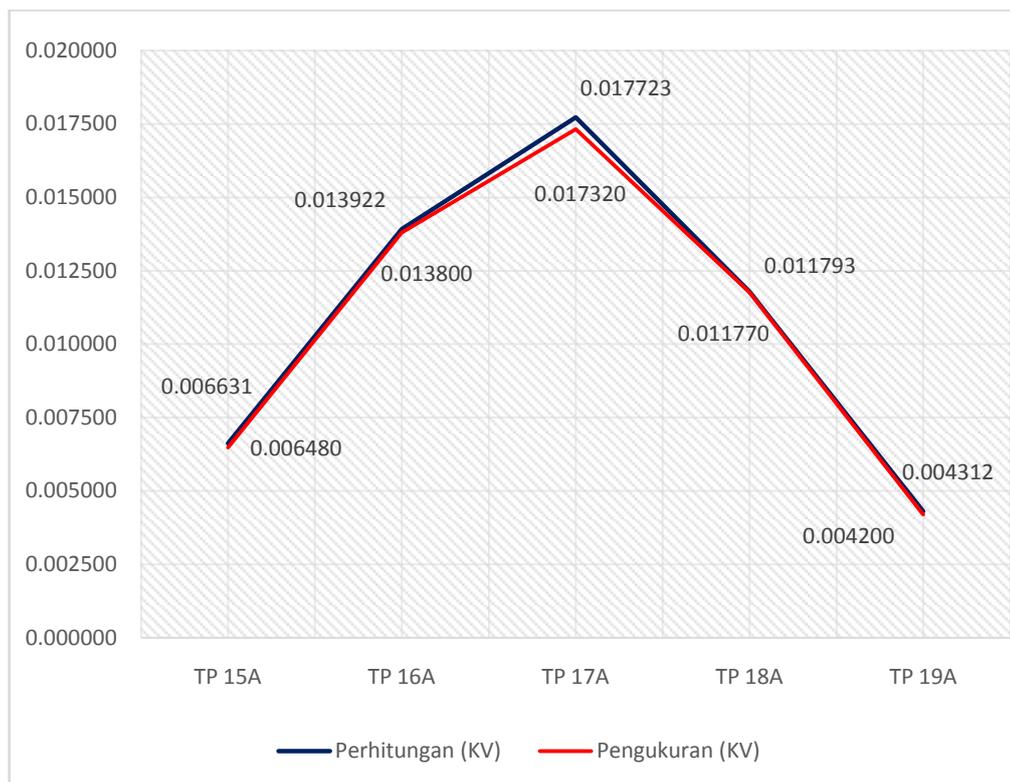
Hasil perhitungan kuat medan listrik pada titik *test point* sebagai berikut:

Test Point	Jarak terhadap tower (m)	Koordinat P(Xp, Yp) m	Kuat Medan Listrik di bawah Saluran Transmisi (KV/m)		
			Komponen Horizontal (E <sub>x</sub> )	Komponen Vertikal (E <sub>y</sub> )	Total (E <sub>p</sub> )
TP 15A	140	(140,-2)	0.00018137	0.0066283	0.0066308
TP 16A	94	(94,-2)	0.00053321	0.0139120	0.0139220
TP 17A	82	(82,-2)	0.00074980	0.0177070	0.0177230
TP 18A	103	(103,-2)	0.00042026	0.0117850	0.0117930
TP 19A	175	(175,-2)	0.00009594	0.0043106	0.0043116

**Tabel 3: Hasil Perhitungan Medan Listrik pada jarak Test Point**

Nilai hasil perhitungan tegangan AC di bawah saluran transmisi lebih tinggi dari pengukuran tegangan AC pada pipa. Hal ini dikarenakan asumsi nilai-nilai yang digunakan pada perhitungan, dan posisi real pipa dalam tanah yang

dihitung pada kedalaman yang sama dari permukaan tanah. Perbandingan Nilai hasil perhitungan kuat medan listrik dibawah saluran transmisi pada jarak posisi test point dengan nilai hasil pengukuran tegangan AC pada test point dapat dilihat pada grafik berikut:



**Gambar 23. Perbandingan hasil Perhitungan dan Pengukuran**

Maka berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan, dinyatakan bahwa kondisi pipa gas memiliki tegangan AC yang berada diatas ambang batas aman sentuh sesuai visualisasi pada gambar 21. Untuk itu diperlukan mitiasi agar menghilangkan induksi tegangan AC pada pipa.

### **4.3 Mitigasi Tegangan AC pada Pipa Gas**

#### **4.3.1. Grounding Tegangan AC pada Pipa Gas**

Tegangan induksi dapat diperkecil dengan metode mitigasi (peringanan) yaitu:

- a. Membuat sistem saluran transmisi listrik setimbang.
- b. Mengisolasi saluran pipa dengan bahan non metal.
- c. Mentanahkan (*grounding*) pipa.

Pada pembahasan ini diasumsikan bahwa pemilik utilitas saluran listrik dan pemilik utilitas pipa gas bukan pemilik yang sama, sehingga pengaturan untuk perolehan listrik setimbang akan merugikan pemilik utilitas listrik. Maka PT PGN selaku pemilik utilitas pipa mengupayakan metode lain yaitu mengisolasi saluran pipa dengan bahan non metal (*coating*) untuk mengisolasi metal pipa dari lingkungannya. Namun perlindungan ini memiliki kekurangan yang memungkinkan terjadinya ketidaksempurnaan perlindungan karena cacat coating. Hal ini yang menyebabkan induksi tegangan AC masih terjadi pada pipa. Maka metode lain yang harus digunakan adalah dengan membumikan pipa.

#### 4.3.2. Menentukan Material dan Jumlah *Grounding*

*Grounding* yang digunakan untuk menghilangkan induksi tegangan AC adalah material yang digunakan dalam anoda korban dalam sistem proteksi katodik anoda korban (SACP). Pemilihan anoda sebagai *grounding* berdasarkan tahanan yang dimiliki material *grounding*, diperlukan perhitungan tahanan anoda menggunakan *Dwight Formula*.

$$R_h = \frac{\rho}{2 \pi L} \left( \ln \frac{4L}{D} - 1 \right) \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

R<sub>h</sub> = Tahanan anoda dipasang horizontal (ohm)

ρ = Tahanan tanah sepanjang jalur pipa (ohm/cm)

L = Panjang Anoda (cm)

D = Diameter Anoda (cm)

Rentang dari potensial anoda dinamakan *Driving Voltage*, dimana:

$$DV = E = \text{Potensial Anoda} - \text{Potensial Minimum Proteksi} \dots\dots\dots (12)$$

Deret Galvanik (atau deret elektropotensial) adalah serangkaian logam dan semi logam. Saat dua logam di-submerger dalam suatu elektrolit, dimana dihubungkan secara elektrik maka hal itu termasuk dalam korosi Galvanik. Laju dari korosi dideterminasi oleh elektrolit dan perbedaan dari nobility. Perbedaan tersebut dapat dihitung dalam *voltage potential*.

Deret Galvanik adalah suatu daftar harga-harga potensial korosi suatu logam atau paduannya sehingga dapat diketahui logam manakah yang bersifat lebih aktif dibandingkan dengan logam lainnya. Deret Galvanik berguna sebagai pedoman didalam menentukan sebuah material yang terbuat dari beberapa logam atau paduan logam sehingga material yang dihasilkan terhindar dari korosi galvanik. Agar material yang dipilih terhindar dari korosi galvanic maka logam-logam atau paduan logam yang digunakan haruslah mempunyai perbedaan potensial. Material dengan nilai potensial lebih rendah akan menjadi anoda bagi material dengan nilai potensial lenih tinggi.

Dapat diketahui Potensial Anoda dari tabel deret galvanic berikut:

## Deret Galvanic

Metal	volts <sup>(1)</sup>
Commercially Pure Magnesium	-1,75
Magnesium Alloy (6% Al, 3% Zn, 0.15% Mn)	- 1,6
Zinc	- 1,1
Alluminium Alloy (5 % Zinc)	- 1,05
Commercially Pure Alluminium	- 0,8
Mild steel (Clean and Shiny)	- 0,5 to - 0,8
Mild steel (Rusted)	- 0,2 to - 0,5
Mild steel (not Graphitized)	- 0,5
Lead	- 0,5
Mild steel in concrete	- 0,2
Copper, brass, Bronze	- 0,2
High Silicon cast iron	- 0,2
Mill Scale on steel	- 0,2
Carbon, Graphitic, coke	+ 0,3

↑ Anodic

↓ Cathodic

<sup>(1)</sup> Typical potential normally observed in neutral soils and, water, measured with respect to copper sulfate reference electrode

**Tabel 4: Tabel Deret Galvanic untuk Penentuan Material Anoda**

Diketahui bahwa nilai potensial pipa adalah -400 s/d 600 mV, maka dari tabel tersebut dipilih anoda yang lebih kecil nilai potensialnya yaitu *Magnesium Alloy*, dengan nilai potensial -1600 mV,CSE.

Maka kebutuhan jumlah anoda sebagai grounding sebagai berikut:

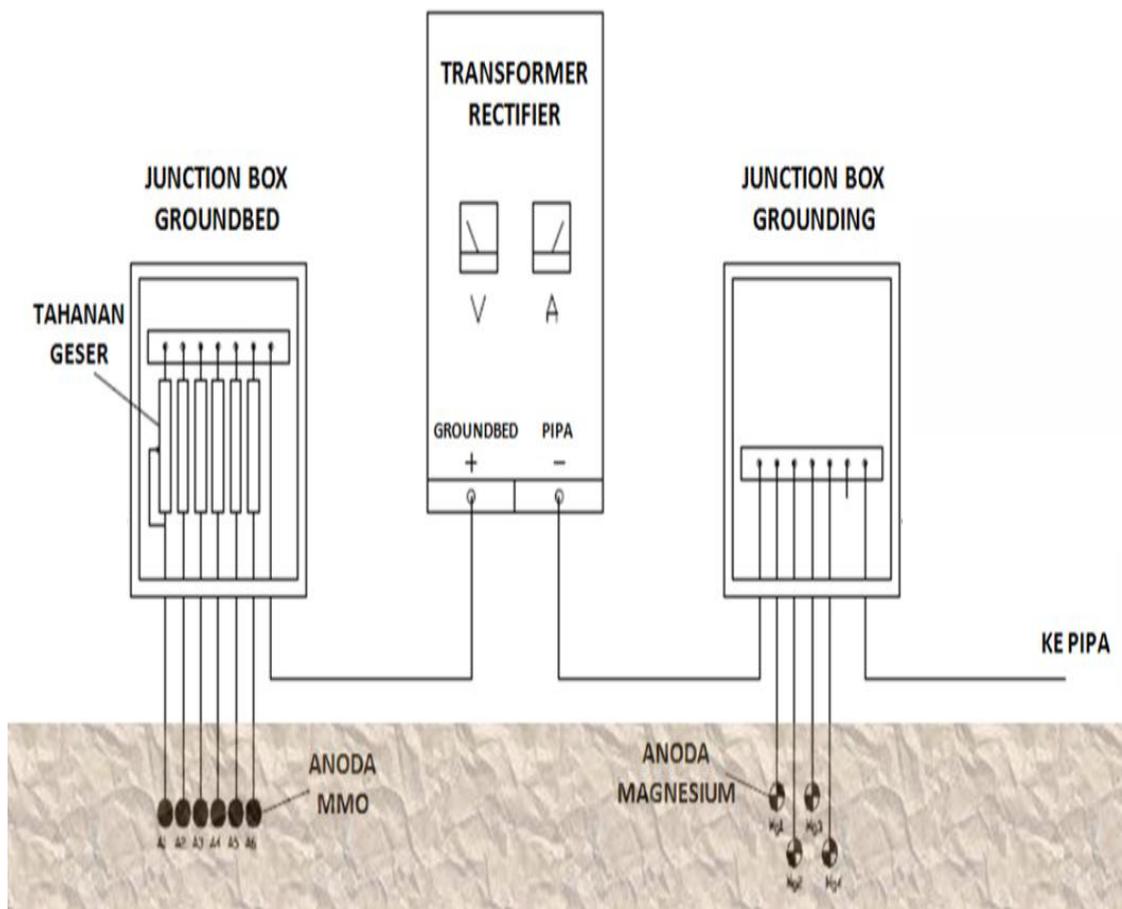
Lokasi Grounding	Tegangan (Volt AC)	$\rho$ (ohm/cm)	Tahanan (ohm)	Jumlah Anode	Tahanan Grounding (ohm)
TP 15 A	06.48	2.512	9.90	2	4.950
TP 16 A	13.80	1.632	6.43	2	3.215
TP 17 A	17.32	2.110	8.32	2	4.160
TP 18 A	11.77	1.884	7.42	2	3.710
TP 19 A	04.20	1.250	0.49	1	0.490
TR KpN	-	0.929	3.66	4	0.915

**Tabel 5: Penentuan Jumlah Grounding**

Setelah diketahui jenis dan jumlah anoda sebagai grounding maka dilakukan pemasangan grounding pada titik-titik pengukuran, yaitu pada lokasi Test Point.

#### 4.3.3. Mitigasi pada Transformer Rectifier

Pada transformer rectifier tahapan pemilihan dan perhitungan anoda korban sebagai grounding juga dilakukan dengan cara yang sama seperti dijelaskan dalam pemilihan grounding di *test point*. Skematik pemasangan grounding pada TR dilakukan seperti pada gambar berikut:



**Gambar 24: Skematik Pemasangan Anoda korban pada TR**

Pada fasilitas TR, Tahanan Geser (*Resistor Variabel*) pada *JuctionBox Grounbed* berfungsi mengatur hambatan pada groundbed agar lebih besar daripada grounding.

#### 4.4 Hasil Pengukuran Tegangan AC pada Pipa Gas setelah Mitigasi

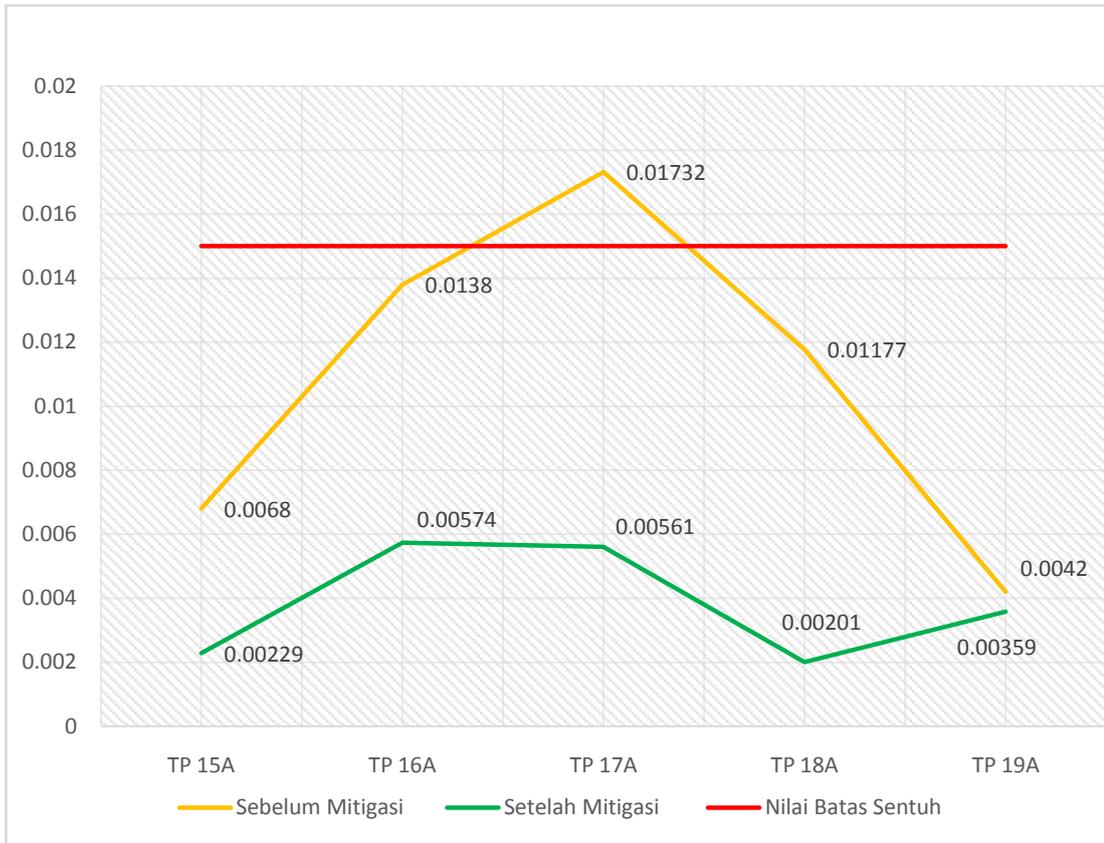
Setelah dilakukan pemasangan grounding pada test point, maka dilakukan pengukuran kembali Tegangan AC pada pipa, dan diperoleh hasil pengukuran sebagai berikut:

Test Point	Tegangan Listrik (KV AC)
TP 15 A	0.00229
TP 16 A	0.00574
TP 17 A	0.00561
TP 18 A	0.00201
TP 19 A	0.00359

**Tabel 5: Hasil pengukuran setelah dilakukan mitigasi pemasangan grounding**

Dari hasil pengukuran pada *test point* diketahui terjadi penurunan nilai tegangan listrik pada pipa setelah dilakukan pemasangan grounding pada *test point*. Nilai ini berada di bawah Nilai Tegangan sentuh yang diizinkan yaitu 15 V.

Visualisasi hasil pengukuran dapat dilihat dapat gambar 24 berikut:



**Gambar 25: Hasil pengukuran setelah dilakukan mitigasi pemasangan grounding (KVolt AC)**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari pembahasan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

1. Semakin besar tegangan dari sebuah saluran transmisi maka kuat medan listrik juga akan semakin besar. Pada transmisi tegangan 150 KV, kuat medan listrik pada ketinggian -2 meter di tengah konduktor sekitar 0,38 KV/m.
2. Batas aman sentuh bagi pipa yang berada dalam pengaruh induksi tegangan AC adalah 15 V. Hasil pengukuran menunjukkan terdapat titik titik yang melebihi batas aman sentuh. Hasil perhitungan lebih tinggi dari hasil pengukuran karena menggunakan asumsi-asumsi untuk perhitungan kondisi ideal.
3. Hasil perhitungan medan listrik lebih besar dari hasil pengukuran di *test point* disebabkan parameter yang diasumsikan untuk mempermudah perhitungan. Pada kenyataannya dilapangan posisi pipa terhadap menara saluran listrik tegangan tinggi akan tertanam lebih dalam atau kurang dari 2 meter akibat dari pergerakan tanah karena pemadatan.
4. Setelah diketahui adanya induksi tegangan AC pada pipa, sistem proteksi katodik pada pipa akan terpengaruh di *Transformer Rectifier (TR)*. Tegangan AC masuk ke *rectifier* melalui kabel yang terhubung dengan pipa yang seharusnya mengalirkan arus searah dari TR ke pipa. Hal ini mempengaruhi kinerja *rectifier*, bahkan dapat merusaknya.

5. Perlu dilakukan mitigasi pada pipa untuk menghilangkan induksi tegangan AC yang dapat merusak TR sehingga mempengaruhi sistem proteksi katodik.
6. Mitigasi yang efektif untuk menghilangkan tegangan AC adalah dengan *grounding system*, yang dipasang pada *test station*. Pemilihan material *grounding* harus lebih rendah dari nilai potensial pipa.

## **5.2. Saran**

1. Untuk menjaga kehandalan sistem proteksi katodik ICCP pada jalur pipa yang sejajar dengan saluran transmisi, perlu dilakukan mitigasi untuk menghilangkan induksi tegangan listrik pada pipa.
2. Induksi tegangan listrik pada pipa juga berbahaya bagi personil yang bekerja di lokasi tersebut. Sehingga dibutuhkan Alat Pengaman Diri yang sesuai, dan pengetahuan penanggulangan bagi personil untuk dapat bekerja dengan aman di lokasi tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

ASME B31.8, 2012, **Gas Transmission and Distribution Piping Systems**, The American Society Of Mechanical Engineers, New York.

Alexander Juswan, 2003, **Studi Perhitungan Kuat Medan Listrik Dan Medan Magnet Di bawah Saluran Transmisi 150 KV**, Tugas Akhir Jurusan Teknik elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra, Surabaya.

M. H. Shwehdi and U. M. Johar, 2003, **Transmission Line EMF Interference with Buried Pipeline: Essential & Cautions**, Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR 2003), Dhahran, Saudi Arabia.

NACE Standard RP 0177, 2000, **Standard Recommended Practice Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems**, NACE International, Texas.

NACE SP 0169, 2007, **Standard Practice Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems**, NACE International, Texas.

Ouadah M'hamed, Zergoug Mourad, Ziouche Aicha, Touhami Omar, Ibtouen Rachid, Bouyegh Saida and Dehchar Cherif1, 2014, **AC Corrosion Induced by High Voltage Power Line on Cathodically Protected Pipeline**, Proceedings International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT'14), Algeria.

SNI 04-0225, 2000, **Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)**,  
Badan Standardisasi Nasional, Yayasan PUIL, Jakarta.

SNI 04-6950, 2003, **Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran  
Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)-Nilai Ambang batas Medan  
Listrik dan Medan Magnet**, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Syafril Ramadan dan Hendra Zulkarnain, 2013, **Perbandingan Kuat Medan  
Listrik Di Bawah Saluran Transmisi 150 KV antara G.I. T.Kuning  
Dan G.I. Berastagi Berdasarkan Pengukuran Dan Perhitungan  
Dengan Menggunakan Metode Bayangan**, Jurnal Departemen Teknik  
Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.

V. Sozi Karnefi, 2006, **Tegangan Induksi Pada Saluran Pipa Minyak Yang  
Paralel Dengan Saluran Transmisi Listrik**, Jurnal Gradien Fakultas  
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu, Bengkulu.

