

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan unsur penting dalam kehidupan, untuk mendukung kebutuhan sehari-hari dalam rumah tangga, bisnis dan industri. Penggunaannya memberikan banyak manfaat, juga terdapat resiko berbahaya yang perlu diperhatikan seperti kerusakan peralatan listrik seperti cedera dan gangguan kesehatan hingga sampai kematian. Salah satu bahaya yang umumnya timbul yaitu kebocoran arus menyebabkan sengatan listrik, kebakaran, kerusakan peralatan dan peningkatan biaya listrik. Gangguan kebocoran arus ke tanah atau hubungan arus pendek dapat merusak peralatan listrik dan membahayakan keselamatan. Gangguan ini terjadi ketika arus listrik menyimpang dari jalur normalnya dan memasuki komponen yang tidak memadai, sehingga merusak peralatan dan meningkatkan resiko sengatan listrik bagi tenaga kerja [1].

Jika arus listrik mengalir melalui tubuh, arus tersebut dapat mengganggu *impuls* listrik kecil yang berjalan melalui sistem saraf tubuh untuk mengendalikan otot jantung hingga paru-paru. Penting untuk memahami dampak listrik pada tubuh manusia, untuk jaminan keselamatan dari tenaga kerja. Frekuensi listrik standar 50-60 Hz sangat berbahaya karena dapat menyebabkan gangguan seperti fibrilasi, *ventrikel*, detak jantung hingga menjadi tidak *sinkron*, menghentikan aliran darah dan berpotensi menyebabkan kematian. Tingkat bahaya dipengaruhi oleh intensitas, durasi dan jalur arus listrik yang mengalir melalui tubuh. Jumlah arus yang mengalir melalui tubuh manusia secara langsung berkaitan dengan resistansi pada tubuh manusia. Resistansi internal tubuh manusia diperkirakan sebesar 300  $\Omega$  dan resistansi tubuh manusia bervariasi sesuai situasi, dalam kondisi kering resistansi dapat mencapai hingga 100.000  $\Omega$  dan sebaliknya [2].

Sistem pentanahan merupakan aspek yang sangat penting dalam perencanaan distribusi listrik pada industri, keutuhan sistem pentanahan dalam hal keandalan dan keamanan selalu menjadi prioritas utama dalam sektor industri yang operasionalnya menggunakan tenaga listrik. Hal ini berkaitan dengan keselamatan tenaga kerja dan peralatan yang menggunakan listrik dalam industri, pada sektor industri merupakan salah satu dengan jumlah tenaga kerja dan peralatan listrik yang cukup tinggi yang bergantung pada tenaga listrik. Sistem pentanahan yang andal merupakan salah satu persyaratan terpenting bagi sistem kelistrikan dalam sektor industri [3]. Persyaratan daftar instalasi yang meluas harus diimbangi dengan sistem keamanan yang kuat, dalam sistem distribusi perlindungan digunakan untuk mengidentifikasi

potensi ancaman terhadap tautan dan kebocoran tambahan yang disebabkan oleh pembangkit atau distribusi yang tersedia [4].

Menjaga keamanan tegangan sentuh dan tegangan langkah, serta meningkatkan potensi tanah di *area* distribusi listrik industri dalam batas yang diizinkan dengan merancang desain pentanahan yang baik. Menurut standar IEEE 80-2000, frekuensi maksimum gangguan yang dapat dihentikan ialah sampai 50 Hz. Dibutuhkan banyak pekerjaan untuk merancang sistem pentanahan, sebuah rancangan yang dilakukan untuk mengevaluasi titik lemah dalam desain sistem dan strategi untuk meningkatkan ketahanan tanah [5]. Permasalahan isolasi merupakan tantangan utama dalam sistem distribusi listrik, beda potensial harus terjaga sesuai batasan yang ditetapkan oleh standar internasional seperti IEEE 80-2000 dan rutin dipantau untuk memastikan fungsionalitas peralatan yang tepat serta keselamatan individu yang berada di sekitarnya. Resistansi tanah ( $R_g$ ), *ground potential rise* (GPR), tegangan *step* ( $V_s$ ) dan tegangan *touch* ( $V_t$ ), merupakan variabel penting dalam evaluasi jaringan *grid* [6].

Tegangan sentuh, yang sering timbul akibat kegagalan peralatan merupakan tegangan yang terjadi antara 2 permukaan penghantar saat disentuh oleh seseorang. Perhitungan tegangan kontak yang beresiko dan melibatkan parameter seperti waktu gangguan, faktor reduksi dan resistivitas tanah. Tegangan langkah merupakan tegangan yang dihasilkan saat seseorang menghubungkan 2 tempat pada tanah melalui kakinya yang berjarak kurang lebih 1-2 meter. Perbedaan potensial ini menghasilkan timbulnya tegangan, pentingnya untuk memperhatikan kedua tegangan tersebut agar kinerja dan keamanan peralatan dalam keadaan normal [7]. Didalam lingkup industri tanpa pelindung atau kabel netral dapat meningkatkan potensi tanah lokal untuk mengalami arus gangguan. Untuk mengurangi *ground potential rise* (GPR), diperlukan jaringan tanah dengan resistansi rendah dan penggunaan kabel pelindung atau netral [8]. Tegangan sentuh dan tegangan langkah pada sistem pentanahan untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi. Desain kisi-kisi pentanahan harus menetapkan luas penampang konduktor, tegangan sentuh dan tegangan langkah maksimum sesuai dengan ketentuan [9].

Pentanahan sistem *grid* bergantung pada tahanan pentanahan dan tegangan sentuh serta tegangan langkah yang dipengaruhi oleh struktur tanah. Tahanan pada tanah seragam jika semakin dalam kedalaman *grid*, semakin rendah tahanan pentanahan. Penambahan konduktor dalam *grid* akan mengurangi tegangan permukaan tanah dan mendistribusikannya, sistem pembumian merupakan rangkaian yang menghubungkan bagian instalasi listrik ke tanah melalui elektroda dan konduktor. Sistem *grid* dan rod merupakan kombinasi sistem *grid* horizontal dengan vertikal elektroda rod untuk menembus pada lapisan bawah pentanahan.

Sistem ini efektif untuk meratakan tegangan pada permukaan tanah dan menghasilkan tahanan dengan pentanahan rendah. Tahanan pembumian pada sistem *grid* dan rod dipengaruhi oleh jumlah batang elektroda yang terhubung dengan *grid*. Arus gangguan yang mengalir ke tanah menyebabkan peningkatan gradien tegangan permukaan tanah yang sebanding dengan tahanan pentanahan. Panjang batang pembumian dihitung berdasarkan pembagian arus gangguan dengan kerapatan arus yang diizinkan [10].

PT X merupakan anak induk perusahaan, dimana pertama kali dibangun di Bawen didirikan pada bulan Februari tahun 1996 dan diresmikan pada tanggal 13 Juli 1996 sebagai perusahaan penanaman modal dalam negeri (PMDN) dan berubah status menjadi perusahaan penanaman modal asing (PMA). Perusahaan ini merupakan salah satu perusahaan *pulp* dan kertas terbesar di dunia dan produsen *pulp* dan kertas terintegrasi terbesar di Asia non-Jepang, PT X memproduksi kardus, lembaran dan *die cut* [11]. PT X berlokasi di Sidoarjo dan beroperasi dalam pengumpulan serta pengepresan kardus dalam satu ikatan untuk dikirimkan ke perusahaan terkait untuk diproduksi lebih lanjut. Perusahaan ini memiliki alat operasional seperti *balling press* dan timbangan truk, serta menempati lahan seluas 1,017 hektar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan perhitungan aktual dengan simulasi perhitungan dengan *software* ETAP 19.0.1 melalui metode IEEE dan FEM berdasarkan variabel tegangan sentuh dan tegangan langkah, serta melakukan pengoptimalan 4 pola *grid* meliputi bentuk persegi panjang, T, L dan segitiga dengan *software* ETAP 19.0.1 berdasarkan variabel resistansi tanah, *ground potential rise* (GPR), tegangan sentuh dan tegangan langkah pada PT X. Terdapat 3 standar internasional IEEE membahas sistem *grounding* meliputi IEEE 80-2000, IEEE 80-2013 dan IEEE 142-2007 yang sudah diaplikasikan di Indonesia. Pada pengaplikasian standar IEEE 80-2000 terfokus keamanan dan keselamatan sistem *grounding* untuk mengurangi arus gangguan guna menghindari pekerja maupun peralatan dari gangguan aliran listrik, sedangkan pada standar IEEE 80-2013 merupakan pembaruan dari IEEE 80-2000 dimana pendekatan dan desain lebih kompleks lagi untuk area *grounding* dan infrastruktur yang lebih tinggi serta luas lagi. pengaplikasian standar IEEE 142-2007 lebih terfokus *grounding* pada bangunan dan peralatan dalam industri atau domestik. Pada penelitian ini menggunakan standar IEEE 80-2000, karena memiliki korelasi dalam meningkatkan keselamatan, keamanan dan keandalan sistem *grounding* pada lokasi penelitian. Standar ini menggunakan pendekatan yang sederhana dan cukup kuat, dimana relevan dengan infrastruktur yang ada pada lokasi penelitian. Metode perhitungan dan simulasi yang digunakan berdasarkan standar internasional IEEE 80-2000, dimana menetapkan bahwa nilai resistansi  $\leq 1 \Omega$ , sedangkan pada standar nasional PUIL 2020  $\leq 5 \Omega$ .

Dinyatakan maka semakin kecil resistansi semakin baik pada sistem pentanahan. Dengan dilakukan perbandingan perhitungan dengan simulasi melalui *software* ETAP 19.0.1 dan pengoptimalan pola *grid* ini dapat merancang sistem pentanahan yang lebih optimal. Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data lapangan dan pengujian guna untuk data penelitian untuk dilakukan analisa. Hasil analisis dari penelitian ini dapat menjadi panduan pengambilan keputusan dalam peningkatan keselamatan, keandalan dan efisiensi sistem pentanahan berdasarkan standar keselamatan internasional IEEE 80-2000.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dijelaskan pada penelitian ini sehingga dapat merumuskan masalah, sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaplikasian hasil sistem pentanahan sesuai dengan standar internasional IEEE 80-2000 pada lokasi penelitian?
- b. Bagaimana perbedaan perhitungan aktual dengan simulasi perhitungan melalui *software* ETAP 19.0.1 dari hasil variabel tegangan sentuh dan tegangan langkah pada parameter berat badan 50 dan 70 kg dengan lama arus gangguan 0,11 detik?
- c. Bagaimana bentuk pemodelan pola *grid* yang optimal dengan hasil variabel tegangan sentuh, tegangan langkah, *ground potential rise* (GPR) dan resistansi *grid* sistem pentanahan pada lokasi penelitian?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini, sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaplikasian hasil dari sistem pentanahan sesuai dengan standar internasional IEEE 80-2000 pada lokasi penelitian.
- b. Mengetahui perbandingan hasil sistem pentanahan pada perhitungan aktual dengan simulasi perhitungan melalui *software* ETAP 19.0.1. Perbandingan dengan hasil variabel tegangan sentuh dan tegangan langkah pada parameter berat badan 50 dan 70 kg dengan lama arus gangguan 0,11 detik.
- c. Mengetahui pemodelan pola *grid* berbentuk persegi panjang, T, L dan segitiga yang paling optimal dengan hasil variabel tegangan sentuh, tegangan langkah, *ground potential rise* (GPR) dan resistansi *grid* sistem pentanahan pada lokasi penelitian.

Serta manfaat yang didapatkan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

- a. Dapat mengetahui pengaplikasian dan kelayakan sistem pentanahan pada lokasi penelitian sesuai dengan standar keselamatan internasional IEEE 80-2000.

- b. Dengan adanya penelitian ini dapat membantu memastikan bahwa hasil pengujian sistem pentanahan dari perhitungan aktual dengan simulasi perhitungan melalui *software* ETAP 19.0.1 yang relevan.
- c. Diketahui bentuk pemodelan pola *grid* berbentuk persegi panjang, T, L dan segitiga, yang paling optimal pada sistem pentanahan di lokasi penelitian.
- d. Memberikan kesempatan sebagai dasar bagi penelitian lanjutan untuk pengembangan lebih lanjut dalam sistem pentanahan yang relevan dengan penelitian ini, untuk lebih sempurna dan lebih baik lagi serta memberikan pemahaman lebih mendalam.

#### 1.4 Batasan Masalah

Berikut ini merupakan batasan masalah yang terdapat dari penelitian ini, sebagai berikut:

- a. Metode perhitungan dan simulasi yang digunakan ialah standar keselamatan internasional IEEE 80-2000, *guide for safety in AC substation grounding*.
- b. Pada penelitian ini menggunakan variabel hasil tegangan sentuh, tegangan langkah, *ground potential rise* (GPR) dan resistansi pentanahan, serta pada simulasi *software* ETAP 19.0.1 yang terbatas hanya pada parameter berat badan 50 kg dan 70 kg.
- c. Bentuk pemodelan 4 pola *grid* pada simulasi *software* ETAP 19.0.1 yang terbatas yaitu berbentuk persegi panjang, T, L dan segitiga, dengan ketergantungan pada model pentanahan dan *layout* berdasarkan lokasi penelitian.

#### 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi dalam penyusunan penelitian ini merupakan gambaran dari model sistematis yaitu, sebagai berikut:

- a. Metode Studi Literatur

Dalam studi literatur ini menggunakan metode pengumpulan literatur yang melibatkan penelitian terdahulu serta menganalisis sumber atau referensi yang relevan dengan topik penelitian sistem pentanahan merujuk pada tegangan sentuh, tegangan langkah, *grid* dan metode IEEE 80-2000. Sumber yang dikumpulkan meliputi buku, jurnal ilmiah, artikel, laporan penelitian, tesis, dokumen resmi dan sumber online yang terpercaya.

- b. Metode Pengumpulan dan Klasifikasi Data

Dalam metode pengumpulan data yang diperoleh meliputi pentanahan, konduktor *grid*, elektroda rod, sistem distribusi listrik, gangguan arus dan *layout area* serta data lainnya pada lokasi penelitian. Dimana dari pengumpulan data yang telah dikumpulkan, akan dilakukan klasifikasi data yang akan digunakan dalam analisis perhitungan.

c. Metode Perancangan dan Simulasi Pengujian

Dalam metode ini dari data yang telah diklasifikasikan, akan dilakukan perancangan desain dengan *software* Autocad 2017, serta simulasi perhitungan maupun pola *grid* untuk mendapatkan hasil variabel untuk dilakukan simulasi pengujian melalui *software* ETAP 19.0.1 dan melakukan hasil analisa.

d. Metode Diskusi

Dalam metode digunakan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam dari hasil pengujian penelitian melalui skema metode interaksi secara langsung maupun secara tidak langsung. Dengan menggunakan metode pendekatan ini, peneliti berharap dapat memperoleh wawasan lebih luas dan mendalam. Metode ini dilakukan dengan seseorang yang memiliki pemahaman yang relevan dengan pembahasan topik peneliti, dimana meliputi dengan dosen pembimbing, pembimbing lapangan, rekan mahasiswa dan instansi terkait.

e. Metode Penyusunan Laporan

Dalam metode ini, merupakan tahap terakhir yang dilakukan peneliti untuk menyusun semua data maupun semua rancangan yang telah disusun terkait penelitian ini dalam bentuk laporan akhir penulisan penelitian skripsi.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Pada penyusunan laporan akhir ini terbagi menjadi uraian dalam beberapa bab dengan sistematika penulisan tugas akhir ini, sebagai berikut:

a. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisi mengenai tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan serta manfaat, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan penelitian. Dengan demikian, bab ini dilakukan untuk memudahkan pembaca dalam memahami konteks dan tujuan penelitian. Pembahasan dalam bab-bab berikutnya dapat lebih terarah serta sistematis sesuai dengan tujuan dan batasan yang telah ditetapkan.

b. Bab 2 Teori Penunjang

Bab ini berisi mengenai tentang penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian yang diangkat sekaligus menguraikan teori-teori penunjang yang menjadi landasan dalam penelitian ini. Dengan menyajikan kajian pustaka tersebut, penelitian ini memiliki kerangka teoritis yang kuat dan terarah.

c. Bab 3 Metodologi Penelitian

Pada bab 3 ini membahas tentang tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian meliputi *flowchart*, jenis penelitian, objek penelitian, data penelitian,

perhitungan awal sistem pentanahan, hasil desain pola *grid*, pengujian resistansi dan analisa kebutuhan. Pada bab ini sebagai panduan teknis yang memastikan bahwa setiap langkah penelitian dilakukan secara sistematis dan terukur, sehingga hasil yang diperoleh dapat diandalkan serta sesuai dengan tujuan penelitian.

d. Bab 4 Hasil Penelitian dan Analisa

Pada bab ini berisi mengenai hasil penelitian meliputi hasil perhitungan, desain dengan *software* Autocad 2017, simulasi dengan *software* ETAP 19.0.1 dan analisa hasil penelitian, yang telah dilakukan akan diuraikan secara detail serta dilengkapi dengan analisa secara mendalam. Data hasil perhitungan dan pengujian yang telah diperoleh, akan dilakukan analisa hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

e. Bab 5 Penutup

Bab ini berisi mengenai tentang kesimpulan dan saran hasil dari penelitian yang telah dilakukan, hasil dari penelitian ini dapat menjadi pemahaman atau referensi untuk penelitian lanjutan dengan subjek serupa.