

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, tahapan penelitian, metode dalam pengumpulan data, diagram alir (*flowchart*), komponen yang digunakan dalam simulasi menggunakan *software* ATP (*Analysis Transient Programme*) dan tahap penyusunan tugas akhir.

1.1 Waktu dan Tempat

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di PT. PLN APP Salatiga *basecamp* Gardu Induk Bantul 150 kV Yogyakarta pada tanggal 6-17 Nopember 2017.



Gambar 3.1 Lokasi *basecamp* Gardu Induk Bantul 150 kV

(sumber: Data peta/maps Google, 2017)

1.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop Acer Intel®Core™ i3-4030U

Laptop Acer Intel®Core™ i3-4030U ini digunakan untuk melakukan simulasi dengan *software* ATP (*Analysis Transient Programme*) dan penyusunan tugas akhir.

2. *Software* ATP (*Analysis Transient Programme*)

Software ATP (*Analysis Transient Programme*) digunakan untuk proses simulasi dan uji coba tegangan lebih (*over voltage*) akibat sambaran petir dengan memberikan asumsi jarak yang berbeda antara arrester dengan transformator di Gardu Induk Bantul 150 kV.

1.3 Tahapan Pembuatan Tugas Akhir

1.3.1 Studi Pendahuluan

Pada tahap ini penulis melakukan persiapan yang bertujuan untuk menentukan tema, judul, dan objek penelitian dengan tepat berdasarkan minat dan bidang penulis. Untuk tema yang diangkat pada penelitian ini yaitu sambaran petir (*lightning strike*) yang mengakibatkan adanya tegangan lebih (*over voltage*) pada saluran transmisi di Gardu Induk Bantul 150 kV. Topik yang diangkat oleh penulis yaitu “Studi Analisis Sistem Proteksi Tegangan Lebih (*over voltage*) Menggunakan *Software* ATP (*Analysis Transient Programme*) Pada Gardu Induk Bantul 150 kV”. Pada penelitian ini peneliti mengambil data di Gardu Induk Bantul 150 kV dengan objek penelitiannya adalah arrester sebagai alat perlindungan transformator tenaga 150/20 kV.

1.3.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Setelah melakukan studi pendahuluan, tahap berikutnya adalah mengidentifikasi dan merumuskan masalah. Pada tahap ini peneliti merumuskan permasalahan yaitu bagaimana sistem proteksi dan hasil perhitungan matematis jarak ideal penempatan arrester dari transformator tenaga pada Gardu Induk Bantul 150 kV serta melakukan perbandingan dengan standar dari IEC (1958) dan SPLN (1978:4). Solusi dalam permasalahan tersebut akan dilakukan simulasi dalam penentuan jarak ideal penempatan arrester terhadap transformator tenaga dengan menggunakan *software* ATP (*Analysis Transient Programme*) dan dilakukan perhitungan matematis dengan rumus baku yang sudah tersedia

1.3.3 Studi Pustaka

Pada tahap ini peneliti mengumpulkan informasi dan data dari media cetak maupun elektronik seperti, jurnal ilmiah, buku referensi, *manual book*, karya ilmiah, atau sumber-sumber lain yang yang relevan dan berhubungan dengan topik penelitian. Selanjutnya informasi dan data yang telah dikumpulkan peneliti akan diolah dan disusun menjadi sebuah tinjauan pustaka dan landasan teori dalam penelitian tugas akhir ini.

1.3.4 Metode Pengumpulan Data

Dalam menganalisis sistem proteksi transformator tenaga akibat sambaran surja atau petir pada saluran transmisi di Gardu Induk Bantul 150 kV, metode penelitian yang digunakan adalah pengumpulan data dan informasi. Adapun rincian metode dalam pengumpulan data dan informasi adalah sebagai berikut:

1.3.4.1 Pengamatan Lapangan (Observasi)

Penulis memperoleh data dengan mengadakan pengamatan langsung ke lapangan dengan bimbingan mentor/pembimbing yang ada. Data pada penelitian ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Data Primer

Adapun data primer yang dibutuhkan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Jumlah dan spesifikasi (*nameplate*) transformator tenaga di Gardu Induk Bantul 150 kV
- b. *Single line diagram* (SLD) Gardu Induk Bantul 150 kV
- c. Jumlah, jarak dan jenis arrester yang digunakan untuk melindungi transformator tenaga di Gardu Induk Bantul 150 kV
- d. *Datasheet* arrester yang digunakan di Gardu Induk Bantul 150 kV
- e. Sistem interkoneksi gardu induk DIY-Jateng

2. Data sekunder

Pengambilan data ini diambil secara langsung di Gardu Induk Bantul 150 kV yang bertujuan untuk memudahkan penulis dalam melakukan simulasi. Adapun data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- a. Jenis kabel (konduktor/penghantar) saluran transmisi 150 kV
- b. Jenis menara (*tower*) saluran transmisi Gardu Induk Bantul 150 kV
- c. Jumlah transformator distribusi setiap penyulang (*feeder*) 20 kV
- d. Data lokasi gangguan saluran transmisi selama 5 tahun terakhir yang diakibatkan karena sambaran petir (*lightning surge*) atau hubung singkat (*switching*) serta proses penanggulangannya.

1.3.4.2 Wawancara (*Interview*)

Penulis melakukan wawancara dan diskusi langsung dengan mentor (supervisor, teknisi atau operator) mengenai sistem proteksi tegangan lebih (*over voltage*) akibat sambaran petir di Gardu Induk Bantul 150 kV.

1.3.4.3 Studi Literatur

Dengan metode ini penulis mendapatkan data melalui beberapa buku referensi, buku manual, jurnal dan data percobaan terkait dengan sistem proteksi tegangan lebih (*over voltage*) di Gardu Induk Bantul 150 kV.

1.3.5 Studi Analisis Data

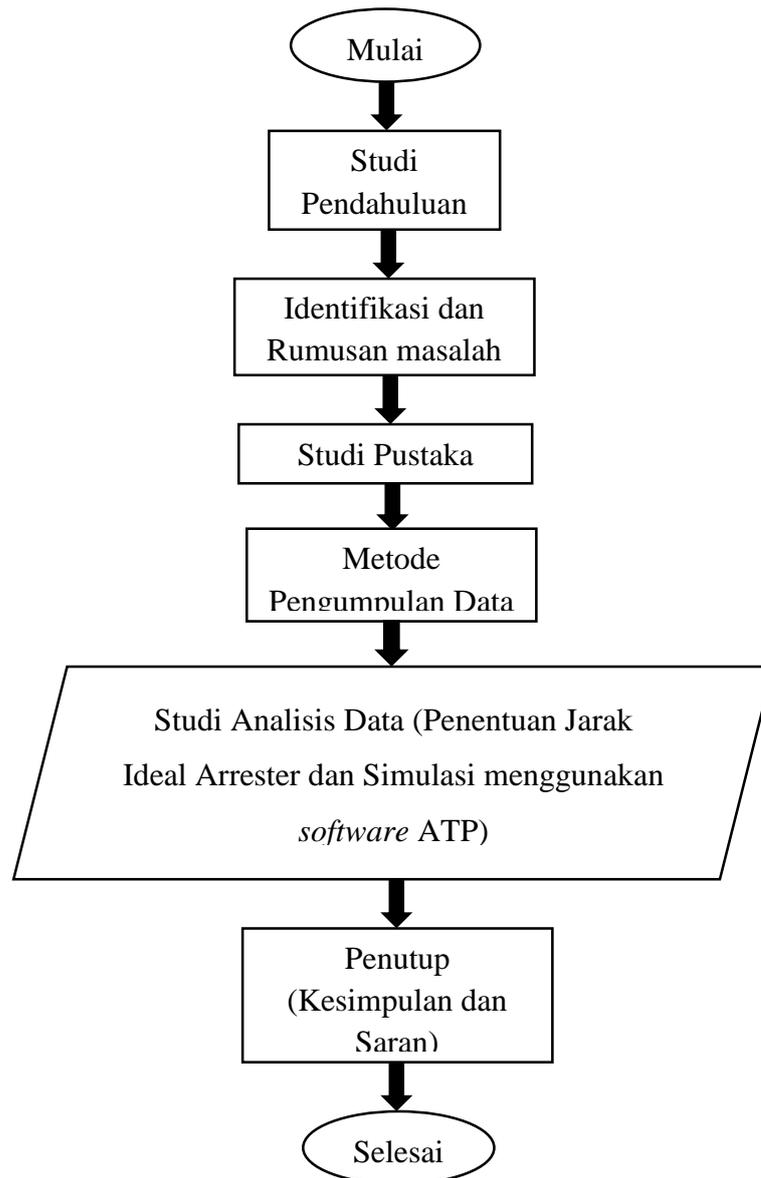
Pada tahap ini, penulis akan menghitung faktor apa saja yang mempengaruhi besar kecilnya impuls sambaran petir. Setelah itu, penulis akan membandingkan data yang telah diperoleh dilapangan (*real data*) berupa jarak ideal penempatan arrester terhadap transformator tenaga (*power transformer*) di Gardu Induk Bantul 150 kV dengan perhitungan secara matematis berdasarkan rumusan yang ada menurut standar dari IEC (1958) dan SPLN (1978:4). Setelah mendapatkan hasil perbandingan, maka penulis akan melakukan simulasi dengan menggunakan *software* ATP. Pada simulasi ini akan diberikan beberapa asumsi jarak arrester terhadap transformator (jarak ideal menurut IEC (1958) dan SPLN (1978:4) dengan jarak sesungguhnya dilapangan) dengan durasi waktu sambaran petir tertentu.

1.3.6 Penutup (Kesimpulan dan Saran)

Pada tahap ini, penulis menyampaikan *point-point* penting dalam penelitian tersebut berdasarkan hasil analisis dan simulasi yang telah diperoleh.

1.4 Diagram Alir Pembuatan Tugas Akhir

Berikut adalah diagram alir dalam pembuatan tugas akhir pada penelitian “Studi Analisis Sistem Proteksi Tegangan Lebih (*Over Voltage*) Menggunakan *Software ATP (Analysis Transient Program)* Studi Kasus di Gardu Induk Bantul 150 kV”.



Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan tugas akhir

1.5 Tahapan Penelitian

1.5.1 Langkah Perhitungan Jarak Ideal Arrester dan Transformator

Berikut adalah langkah-langkah dalam perhitungan jarak ideal arrester dan transformator tenaga di Gardu Induk Bantul 150 kV.

1.5.1.1 Studi Literatur

- a. Pemahaman mengenai rumus perhitungan jarak ideal penempatan arrester terhadap transformator menurut IEC (1958) dan SPLN (1978:4)
- b. Pemahaman prinsip kerja dari arrester
- c. Pemahaman mengenai metode yang digunakan dalam penentuan jarak ideal transformator

1.5.1.2 Pengumpulan Data

- a. Data persamaan matematis menurut standar IEC (1958) dan PLN (1978:4)
- b. Jarak antara arrester dan transformator tenaga di Gardu Induk Bantul 150 kV

1.5.1.3 Penyiapan Alat dan Bahan

- a. Disiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
- b. Dilakukan pengujian alat-alat yang digunakan.

1.5.1.4 Perhitungan Matematis Jarak Arrester-Transformator

- a. Dengan menggunakan persamaan matematis $E_p = E_a + 2A S/v$ menurut standar IEC (1958) dan SPLN (1978:4)
- b. Membandingkan hasil perhitungan jarak ideal penempatan arrester terhadap transformator dengan jarak sebenarnya dilapangan.

1.5.1.5 Hasil Perhitungan

Jika telah diperoleh hasil perhitungan yang tepat terhadap perlindungan transformator tenaga akibat sambaran petir, maka akan digunakan sebagai acuan dan referensi untuk jarak penempatan arrester terhadap transformator tenaga selanjutnya.

1.5.2 Langkah Simulasi Menggunakan *Software* ATP

1.5.2.1 Studi Literatur

- a. Pemahaman mengenai *software* ATP (*Analysis Transient Programme*) yang digunakan untuk simulasi penempatan arrester yang ideal.
- b. Merancang *single line diagram* (SLD) unit pembangkitan 23 kV (transformator *step up*), saluran transmisi, Gardu Induk Bantul 150 kV, dan saluran distribusi beban (*load*) dengan *software* ATP (*Analysis Transient Programme*)
- c. Melakukan simulasi dengan memberikan tegangan impuls petir (*surge impulse*) pada jarak tertentu di saluran transmisi Gardu Induk Bantul 150 kV

1.5.2.2 Pengumpulan Data

- a. Data *software* ATP (*Analysis Transient Programme*) yang digunakan untuk simulasi jarak ideal penempatan arrester terhadap transformator tenaga akibat sambaran petir.
- b. Data sambaran petir dan hubung singkat (*switching*) selama 5 tahun terakhir di saluran transmisi Gardu Induk Bantul 150 kV.

1.5.2.3 Penyiapan Alat dan Bahan

- a. Disiapkan Laptop *Acer* Intel®Core™ i3-4030U sebagai media simulasi dengan menggunakan *software* ATP (*Analysis Transient Programme*).
- b. Dilakukan pengujian *software* ATP (*Analysis Transient Programme*) beserta komponennya sebelum digunakan.

1.5.2.4 Simulasi Program ATP

- a. Merancang *single line diagram* (SLD) dari unit pembangkitan 23 kV (transformator *step up*), saluran transmisi, Gardu Induk Bantul 150 kV, dan saluran distribusi beban (*load*)
- b. Memberikan asumsi sambaran petir dengan durasi waktu tertentu di titik saluran transmisi (fasa R, S atau T) yang terhubung langsung pada transformator tenaga di Gardu Induk Bantul 150 kV.
- c. Memberikan asumsi perubahan jarak arrester terhadap transformator dilapangan dengan jarak analisis perhitungan standar IEC (1958) dan PLN (1978:4).

1.5.2.5 Hasil Simulasi

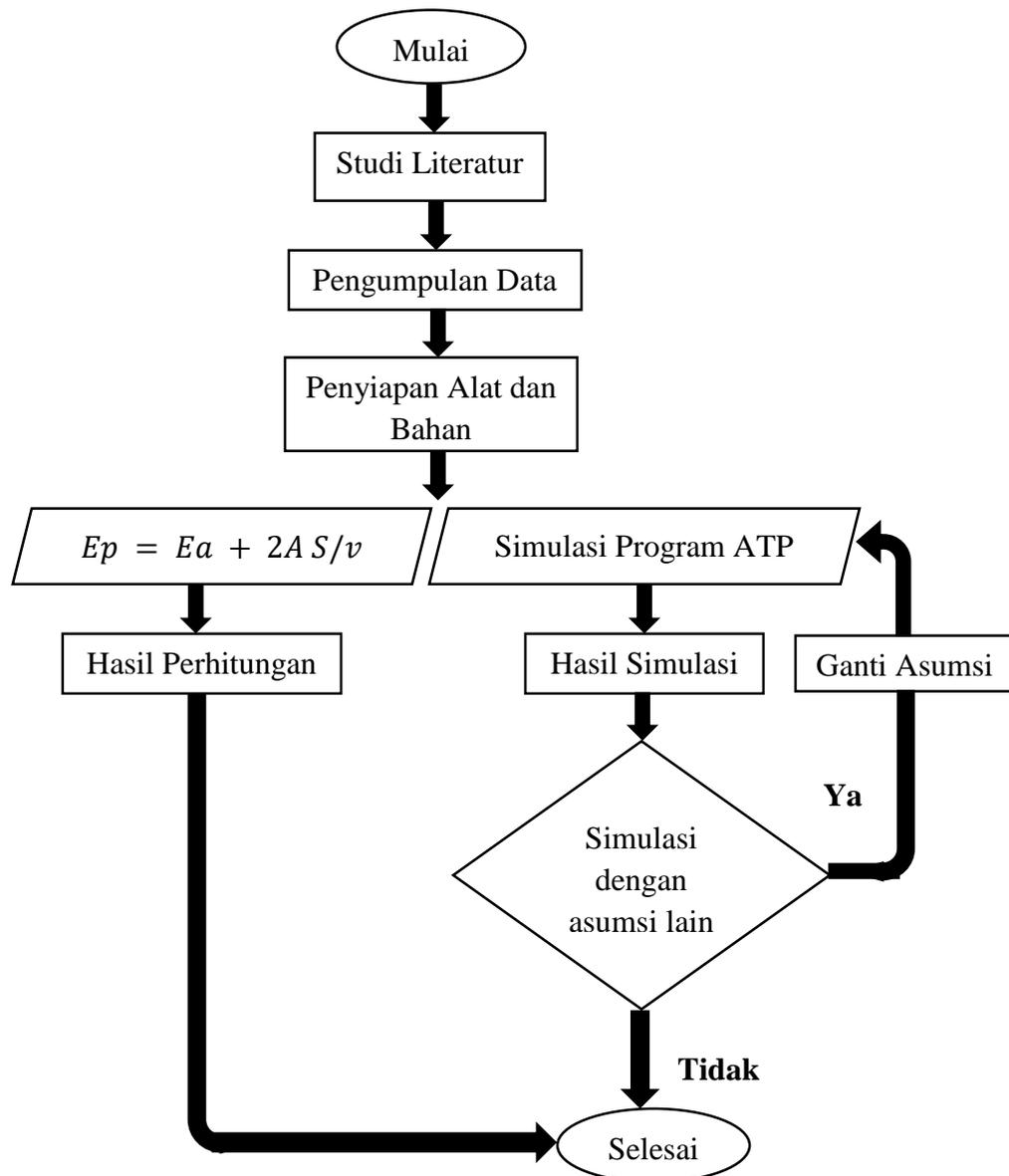
- a. Menentukan jarak penempatan arrester terhadap transformator tenaga yang telah disimulasikan dititik (fasa R, S, atau T) akibat sambaran petir dengan memilih nilai tegangan surja yang mendekati nilai tegangan sistem di Gardu Induk Bantul 150 kV
- b. Membandingkan jarak penempatan arrester terhadap transformator tenaga berdasarkan hasil perhitungan standar IEC (1958) dan PLN (1978:4) dengan simulasi ATP (dilihat dari nilai tegangan surja yang mendekati nilai tegangan sistem di Gardu Induk Bantul 150 kV).

1.5.2.6 Simulasi Asumsi Lain

- a. Memberikan asumsi perubahan jarak penempatan arrester terhadap transformator tenaga dilihat dari data yang ada dilapangan.
- b. Memberikan asumsi perubahan durasi waktu sambaran petir saat menyambar saluran transmisi (fasa R, S, atau T).

1.5.3 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Berikut adalah diagram alir dalam penelitian tugas akhir dengan judul “Studi Analisis Sistem Proteksi Tegangan Lebih (*Over Voltage*) Menggunakan *Software ATP (Analysis Transient Program)* Studi Kasus di Gardu Induk Bantul 150 kV”.



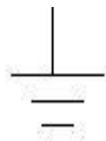
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian tugas akhir

1.6 Komponen Simulasi ATP (*Analysis Transients Programme*)

Berikut adalah komponen (*tools*) yang dibutuhkan dalam mesimulasikan sistem proteksi tegangan lebih (*over voltage*) akibat sambaran petir (*lightning strike*) di Gardu Induk Bantul 150 kV menggunakan *software* ATP Draw.

1.6.1 Pentanahan (*Grounding*)

Pada komponen (*tools*) ini berfungsi sebagai tempat terakhir penyaluran tegangan lebih (*over voltage*) dan arus lebih (*over current*) akibat sambaran petir (*surge impulse*) dan hubung singkat (*switching*). Dengan kata lain, *tools* ini berfungsi sebagai tempat penetralan gangguan yang terjadi agar dapat meminimalisir kerusakan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Setiap ujung komponen ATP yang mengalir langsung ke tanah seperti arrester atau beban harus diberi pentanahan (*grounding*) agar tidak terjadi kesalahan saat sistem *dicompile*. Berikut adalah gambar komponen pentanahan (*grounding*) pada *software* ATP Draw.



Gambar 3.4 Pentanahan (*grounding*)

(sumber: *Software* ATP)

1.6.2 Arrester ZnO (*Metal Oxide Varistor*)

Tools ini digunakan untuk menentukan nilai/kapasitas reduksi tegangan lebih (*over voltage*) pada TACS (*Transien Analysis of Control Systems*) dan model simulasi rangkain lain pada *software* ATP. Pada komponen (*tools*) ini berfungsi sebagai proteksi terhadap tegangan lebih akibat sambaran petir (*surge*). *Tools* ini bekerja dengan cara menyalurkan sebagian impuls tegangan lebih *transient* ke bumi (*ground*). *Tools* ini dipasang secara paralel terhadap saluran transmisi dan transformator. Pada *tools* MOV dapat diatur *output* yang dihasilkan seperti arus, tegangan, (arus dan tegangan) atau (tenaga dan enrgi) serta dapat diubah jumlah fasanya tergantung dari sistem rangkaian simulasi yang akan *dicompile*. Berikut

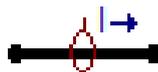
adalah gambar komponen arrester jenis MOV (*metal oxide varistor*) pada *software ATP Draw*.



Gambar 3.5 *Metal oxide varistor (ZnO)*
(sumber: *Software ATP*)

1.6.3 Probe Current

Probe *current* arus adalah komponen (*tools*) yang digunakan untuk menentukan nilai arus cabang pada TACS (*Transien Analysis of Control Systems*) dan model simulasi rangkain lain pada *software ATP*. Pada probe arus ini akan ada pilihan untuk mengisi jumlah fasa *input* dan fasa *output* pada rangkain simulasi. Pada probe ini fasa yang dimasukkan harus sesuai dengan fasa pada sistem rangkaian yang disimulasi agar tidak terjadi kegagalan atau gangguan dalam mengoperasikannya (*compile*). Probe ini memiliki pilihan untuk menambahkan *node* (sambungan atau titik) yang berfungsi sebagai *inputan* arus pada sistem pengendali rangkaian simulasi saat *dcompile*. Berikut adalah gambar komponen probe *current* pada *software ATP Draw*.



Gambar 3.6 Probe *current* 3 fasa
(sumber: *Software ATP*)

1.6.4 Probe Voltage

Probe *voltage* atau tegangan adalah komponen (*tools*) yang digunakan untuk menentukan nilai tegangan pada TACS (*Transien Analysis of Control Systems*) dan model simulasi rangkain lain pada *software ATP*. Pada probe tegangan ini akan ada pilihan untuk mengisi jumlah fasa *inputan* rangkaian simulasi dan skala apabila dalam keadaan tetap (*steady state*). Sama dengan probe arus, pada probe tegangan jumlah fasa yang dimasukkan harus sesuai dengan fasa pada sistem rangkaian yang

disimulasi agar tidak terjadi kegagalan atau gangguan pada saat *dicompile*. Berikut adalah gambar komponen probe *voltage* pada *software ATP Draw*.



Gambar 3.7 Probe *voltage* 3 fasa

(sumber: *Software ATP*)

1.6.5 Resistansi Beban (*Load*)

Pada komponen (*tools*) ini berfungsi sebagai tahanan atau resistansi beban dan dipasang secara seri terhadap saluran distribusi 20 kV. Pada *tools* tahanan beban ini dapat diatur *output* yang dihasilkan seperti arus, tegangan, (arus dan tegangan) atau (tenaga dan energi) serta dapat diubah jumlah fasanya tergantung dari sistem rangkaian simulasi yang akan *dicompile*. Berikut adalah gambar komponen resistansi beban (*load*) pada *software ATP Draw*.



Gambar 3.8 Resistansi beban (*load*) 3 fasa

(sumber: *Software ATP*)

1.6.6 RLC 3 Fasa Generator

Pada komponen (*tools*) ini berfungsi sebagai resistansi dan induktansi pada generator. *Tools* ini dapat *disetting* nilai dari masing-masing R (resistansi), L (induktansi) dan C (kapasitansi) berdasarkan data perhitungan atau *real* yang ada di unit pembangkitan (sumber). Pada *tools* RLC ini terdapat 2 pilihan koneksi tergantung dari generator dan transformator yang digunakan, yaitu koneksi bintang (*star connection*) dan koneksi delta (*delta connection*). *Tools* ini dapat diatur *output* yang dihasilkan seperti arus, tegangan, (arus dan tegangan) atau (tenaga dan energi) sebelum *dicompile*. Berikut adalah gambar komponen RLC 3 fasa generator pada *software ATP Draw*.

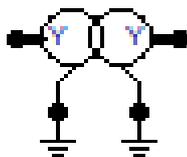


Gambar 3.9 RLC 3 fasa generator

(sumber: *Software ATP*)

1.6.7 Transformator Tenaga (*Power Transformer*)

Pada komponen (*tools*) ini berfungsi sebagai penaik tegangan (20/150 kV) dan penurun tegangan (150/20 kV) pada interkoneksi saluran udara tegangan tinggi (SUTT 150 kV) sebelum menuju beban (*load*). Sama seperti *tools* RLC, *tools* transformator dapat *disetting* nilainya seperti jumlah fasa, *windings*, frekuensi, tegangan input-output, *connection* (star Y, delta Δ atau A), *power* (MVA), magnetisasi inti positif, *open circuit* dan *short circuit* berdasarkan sistem rangkaian simulasi dan data *real* yang ada dilapangan sebelum *dicompile*. Berikut adalah gambar komponen transformator tenaga (Y koneksi) pada *software ATP Draw*.



Gambar 3.10 Transformator tenaga (Y koneksi)

(sumber: *Software ATP*)

1.6.8 Sumber 3 Fasa (Unit Pembangkitan 23 kV)

Pada komponen (*tools*) ini berfungsi sebagai sumber (*supply*) tegangan 23 kV sebelum menuju saluran transmisi. *Tools* sumber ini dapat *disetting* nilainya seperti jenis sumber yang digunakan (arus atau tegangan), jumlah fasa, *amplitude* (output tegangan), frekuensi, satuan sudut dan jenis pentanahan berdasarkan sistem rangkaian simulasi dan data *real* yang ada dilapangan sebelum *dicompile*. Tidak seperti *tools* lainnya, *tools* ini secara otomatis telah ditanahkan (*grounding*) tanpa perlu penyetingan ulang ketika dipilih. Berikut adalah gambar komponen sumber unit pembangkitan 20 kV pada *software ATP Draw*.



Gambar 3.11 Sumber unit pembangkitan 20 kV

(sumber: *Software ATP*)

1.6.9 Sambaran Petir (*Lightning Impulse*)

Pada komponen (*tools*) ini berfungsi sebagai *impulse* dari sambaran petir (*surge*) dan dipasang secara paralel di konduktor/penghantar saluran udara tegangan tinggi dengan impulse tegangan bervariasi berdasarkan simulasi yang ingin dianalisis. Sama seperti *tools* sumber, *tools surge impulse* ini sebelum *dcompile* dapat *disetting* nilainya seperti jenis sambaran (*surge impulse*) yang diinginkan (arus atau tegangan), *amplitude* (output tegangan sambaran), dan durasi waktu (*start* dan *stop*) terjadi sambaran petir. Nilai-nilai yang diinputkan pada *tools* ini dapat disesuaikan berdasarkan standar IEEE atau data *real* yang pernah terjadi di lapangan. Berikut adalah gambar komponen sambaran petir (*lightning impulse*) *type L Heidler* pada *software ATP Draw*.



Gambar 3.12 Sambaran petir (*lightning impulse*) *type L Heidler*

(sumber: *Software ATP*)

1.6.10 Saklar Ukur (*Measuring Switch*)

Measuring Switch atau saklar ukur adalah komponen (*tools*) yang berfungsi sebagai saklar antara sambaran petir dengan salah satu fasa (R, S atau T) dan dipasang secara paralel dengan saluran transmisi. *Tools* ini memiliki titik awal (sambaran petir) dan titik akhir (konduktor/fasa saluran transmisi). Sama seperti *tools* lainnya komponen ini dapat diatur jumlah fasa serta cabang *output* yang

dihasilkan seperti arus, tegangan, (arus dan tegangan) atau (tenaga dan enrgi) sebelum *dicompile*. Berikut adalah gambar komponen saklar (*switch*) pada *software ATP Draw*.



Gambar 3.13 Saklar (*switch*)

(sumber: *Software ATP*)

1.6.11 Parameter Saluran Transmisi (*Clarke 3 Phase Transposed*)

Pada komponen (*tools*) ini berfungsi sebagai saluran transmisi (konduktor/penghantar) dari unit pembangkitan 23 kV (*step up transformer*) menuju Gardu Induk Bantul 150 kV (*step down transformer*). Sama seperti *tools* lainnya, *tools* saluran transmisi ini sebelum *dicompile* dapat *disetting* nilainya, seperti panjang saluran, jenis saluran, konduktansi dan *output* yang dihasilkan seperti arus, tegangan, (arus dan tegangan) atau (tenaga dan enrgi) sebelum *dicompile*. Berikut adalah gambar komponen saluran transmisi (*clarke 3 phase transposed*) pada *software ATP Draw*.



Gambar 3.14 Saluran Transmisi (*Clarke 3 Phase Transposed*)

(sumber: *Software ATP*)

1.7 Penyusunan Tugas Akhir

Pada tahap akhir, setelah selesai melakukan analisis data dan simulasi *single line diagram* jaringan interkoneksi dari unit pembangkitan 23 kV (transformator *step up 23/150 kV*), Gardu Induk Klaten 150 kV, saluran transmisi, Gardu Induk Bantul 150 kV dan saluran distribusi beban (*load*) serta penempatan arrester terhadap transformator mengenai sistem proteksi tegangan lebih (*over voltage*) dengan menggunakan *software ATP*, maka langkah selanjutnya yaitu penulis menyusun tugas akhir sesuai dengan contoh penulisan yang benar berdasarkan data-data yang telah diperoleh.