

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan di Gardu Induk 150 KV Teluk Betung Tragi Tarahan, Bandar Lampung, Provinsi Lampung.

B. Data Penelitian

Untuk mendukung terlaksananya penelitian ini maka diperlukan berbagai macam data peralatan yang terdapat pada Gardu Induk Teluk Betung. Data peralatan-peralatan tersebut antara lain:

1. Data Menara Transmisi

- Bahan tiang : Besi Galvanis
- Tinggi menara : 31 m
- Jenis Konduktor : ACSR
- Diameter konduktor : 240 mm²
- Inom konduktor : 645 A

2. Data Kawat Tanah

- Tipe konduktor : Tembaga
- Diameter : 1,3 cm
- Tinggi tiang kawat tanah : 18 m

3. Data Kawat Fasa

- Tipe konduktor : Aluminium
- Diameter : 3 cm

4. Data Sistem Pentanahan Menara

- Jenis sistem pentanahan : Driven rod empat batang konduktor
- Panjang konduktor : 5 m
- Diameter konduktor : 1,3 cm
- Resistivitas tanah : 50 Ω m
- Jarak antara konduktor (S1) : 10 m
- Jarak antara konduktor (S2) : $10\sqrt{2}$ m
- Tahanan rata-rata : 2,3 Ω

5. Data Isolator Saluran

- Bahan isolator : Kaca, Keramik
- Jumlah : 11 piring isolator
- Panjang rentengan : 1,606 m
- BIL : 750 KV

6. Data *Lightning Arrester*

- Manufacturer : BOWTHORPE EMP LIMITED
MBA 4-150
- *Frequency* : 50 Hz

7. Data *Current Transformer*

- *Manufacturer* : GEC ALSTHOM BALTEAU QDR 170
- *Standard* : IEC 185
- *Nominal voltage* : 150 kV
- *Highest system voltage* : 170 kV

- *Frequency* : 50 Hz
- *BIL* : 750 kV

8. Data Voltage Transformer

- *Manufacturer* : GEC ALSTHOM BALTEAU CCV 170
- *Standard* : IEC 186
- *Nominal voltage* : 150 kV
- *Highest system voltage* : 170 kV
- *Frequency* : 50 Hz
- *BIL* : 750 kV

9. Data Transformator Daya

- *Manufacturer* : UNINDO
- *Rated voltage in KV* : 150 KV
- *Rated current* : 161,7/230,9
- *Connection* : star
- *Rated power frequency* : 275 KV
- *withstand voltage*
- *Rated lightning impulse withstand* : 750 KV
- *voltage 1,2/50 mikro-sec*

C. Prosedur Penelitian

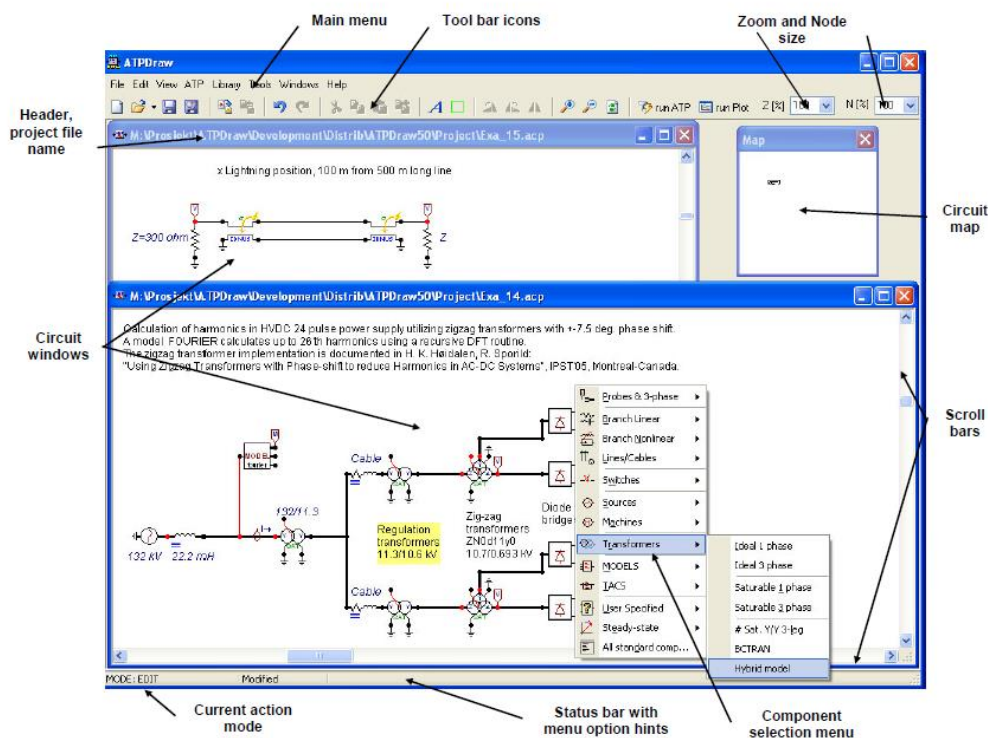
Penelitian ini dilakukan dengan perhitungan untuk menghitung nilai variabel yang akan dimasukkan pada simulasi dan selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan software *Alternative Transients Program* (ATP). ATP merupakan sistem program universal yang digunakan untuk simulasi digital terhadap gejala fenomena transien serta sifat elektromekanis dalam sistem tenaga elektrik. Dengan program digital ini, jaringan yang kompleks dan sistem kontrol dapat disimulasikan ^[12]. Software ATP dipilih untuk penelitian ini karena ATP memiliki fitur-fitur yang lengkap untuk simulasi tegangan lebih transien, namun dengan sistem operasi *user* yang tidak terlalu kompleks dan data yang dimasukkan dalam program simulasi dapat menggunakan data yang real sehingga hasil yang didapat akan lebih mendekati keadaan yang sebenarnya.

ATP memiliki kemampuan pemodelan yang luas dan fitur penting tambahan selain perhitungan transien. ATP memprediksi variabel kepentingan dalam jaringan tenaga listrik sebagai fungsi waktu, biasanya dimulai oleh beberapa gangguan. ATP memiliki banyak model termasuk motor, transformator, surja arrester, saluran transmisi, dan kabel.

MODELS (bahasa simulasi) pada ATP ditujukan sebagai bahasa deskripsi yang didukung oleh serangkaian alat simulasi untuk representasi dan studi tentang sistem varian waktu. Sebagai tujuan umum pemrograman, MODELS dapat digunakan untuk hasil simulasi pengolahan baik dalam domain *frequency* atau dalam domain waktu.

TACS (*Transien Analysis of Control Systems*) adalah modul simulasi untuk analisis domain waktu sistem kontrol yang awalnya dikembangkan untuk simulasi kontrol HVDC konverter. Untuk TACS, digunakan sistem diagram blok kontrol. *Interface* antara jaringan listrik dan TACS dilakukan dengan pertukaran sinyal seperti node tegangan, saklar arus, resistansi variasi waktu serta tegangan dan sumber arus.

Kemampuan untuk modul program TACS and MODELS memungkinkan pemodelan sistem kontrol dan komponen dengan karakteristik nonlinear seperti busur api dan korona. Sistem dinamis tanpa jaringan listrik juga dapat disimulasikan dengan menggunakan pemodelan sistem kontrol TACS dan MODELS. Gambar 3.1. berikut ini akan memperlihatkan tampilan pada software ATP.



Gambar 3.1. Main Window ATP [12]

Gangguan simetris atau tidak simetris dapat dibuat, seperti surja petir dan beberapa jenis operasi *switching*. Model pada ATP terdiri dari komponen sebagai berikut : element R,L,C, saluran transmisi, dan kabel, resistansi nonlinear dan induktansi, transformator, surge arrester, saklar, dioda, thyristor, triacs, mesin sinkron 3 fasa.

Adapun prosedur dalam penelitian ini yaitu :

1. Penyiapan Data-Data dan Spesifikasi Peralatan

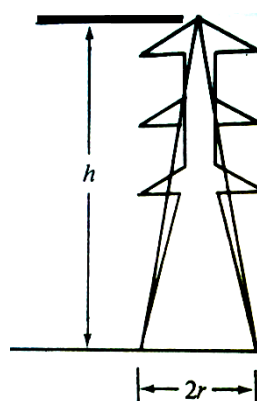
Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah konfigurasi menara transmisi, sistem pentanahan, isolator saluran, data kawat konduktor, BIL peralatan pada Gardu Induk 150 KV Teluk Betung, serta data spesifikasi setiap peralatan yang terdapat pada *switchyard* Gardu Induk 150 KV Teluk Betung.

2. Perhitungan Parameter Saluran

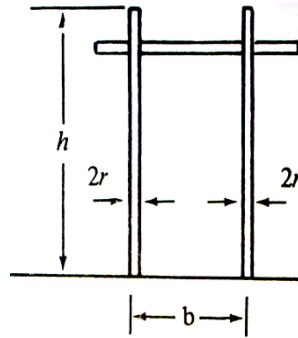
Perhitungan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Impedansi Surja Menara

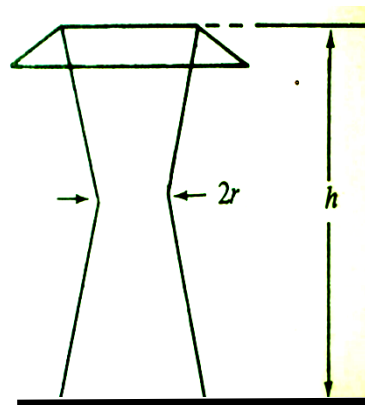
Impedansi surja menara dihitung menurut rumus-rumus Sargent dan Daveniza ^[7]:



Gambar 3.2. Menara Jenis A ^[5]



Gambar 3.3. Menara Jenis B ^[5]



Gambar 3.4. Menara Jenis C ^[5]

Pada Gambar 3.2. diperlihatkan penampang menara pada menara jenis A.

Impedansi surja menara untuk menara jenis A :

$$Z_t = 30 \ln \left[\frac{2(h^2 + r^2)}{r^2} \right] \dots \dots \dots 3.1.$$

Pada Gambar 3.3. diperlihatkan penampang menara pada menara jenis B.

Impedansi surja menara untuk menara jenis B :

$$Z_t = \frac{1}{2} (Z_s + Z_m) \dots \dots \dots 3.2.$$

Dimana :

$$Z_s = 60 \ln\left(\frac{h}{r}\right) + 90 \left(\frac{r}{h}\right) - 60$$

$$Z_m = 60 \ln\left(\frac{h}{b}\right) + 90 \left(\frac{b}{h}\right) - 60$$

Pada Gambar 3.4. diperlihatkan penampang menara pada menara jenis C.

Impedansi surja menara untuk menara jenis C :

$$Z_t = 60 \left[\ln\left(\sqrt{2} \frac{2h}{r}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots 3.3.$$

- Dimana :
- Z_t = Impedansi surja menara, ohm
 - h = Tinggi menara, meter
 - Z_s = Impedansi dengan ketebalan menara, ohm
 - Z_m = Impedansi dengan jarak antar kaki menara, ohm
 - r = Jarak kawat antar menara, meter

Jenis menara dan perhitungan yang digunakan pada penelitian ini adalah menara jenis A karena menara transmisi yang digunakan merupakan SUTT 150 kV dengan data menara seperti yang terdapat pada lampiran.

b. Menghitung Impedansi Surja Kawat Tanah

Untuk 1 Kawat Tanah

$$Z_g = 60 \sqrt{\ln \frac{2h_t}{r} \ln \frac{2h_t}{R}} \dots\dots\dots 3.4.$$

c. Perhitungan Nilai Koefisien a Pada Puncak Menara Untuk Gelombang Datang

Dari Dasar Menara

$$a = \frac{2 Z_g}{Z_g + 2Z_t} \dots\dots\dots 3.5.$$

d. Menghitung Koefisien Pantulan b Pada Puncak Menara

$$b = a - 1 \quad \dots\dots\dots 3.6.$$

e. Menghitung Tegangan Puncak Menara

$$E = \frac{Z_g Z_t}{Z_g + 2Z_t} I_s \quad I_s = \text{ arus kilat, kA } \dots\dots\dots 3.7.$$

f. Perhitungan nilai Koefisien d Pada Dasar Menara Untuk Gelombang Datang Dari Puncak Menara

$$d = \frac{R - Z_t}{R + Z_t} \quad R = \text{ Tahanan Kaki Menara, ohm } \dots\dots\dots 3.8.$$

g. Menghitung Tegangan Pada Isolator

perhitungan dilakukan dengan diagram tangga :

$$\begin{aligned} V_i = e_o \{ (1 - K) T + d \{ \{ T - 2 \left(\frac{2h_t}{c} - \frac{x_1}{c} \right) \} + (b - Ka) \left(T - \frac{2h_t}{c} \right) \} + d^2 b \\ [\{ T - 2 \left(\frac{2h_t}{c} - \frac{x_1}{c} \right) \} + (b - Ka) \left(T - \frac{4h_t}{c} \right) + d^3 b^2 [\{ \{ T - 2 \left(\frac{3h_t}{c} - \frac{x_1}{c} \right) \} + \\ (b - Ka) \left(T - \frac{4h_t}{c} \right) \}] \dots\dots\dots 3.9. \end{aligned}$$

h. Perhitungan Lompatan Api Balik

$$V_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \quad \dots\dots\dots 3.10.$$

Dimana : $K_1 = 0,4 \text{ W}$

$K_2 = 0,71 \text{ W}$

$W = \text{ Panjang rentengan isolator, meter}$

$t = \text{ waktu lompatan api isolator, mikro-det}$

i. Penentuan Rating Arrester

Setiap arrester memiliki beberapa hal yang diperlukan untuk menentukan rating arrester. Pada tugas akhir ini akan dibahas beberapa hal yang dapat digunakan sebagai pertimbangan penentuan rating arrester untuk gardu induk Teluk Betung. Hal yang menjadi penentuan rating arrester tersebut adalah tegangan pengenalan arrester, arus pelepasan kerja arrester. Di bawah ini akan dijelaskan tegangan pengenalan arrester dan arus kerja arrester dengan dimasukkan nilai parameternya.

1. Tegangan Pengenal Arrester

Untuk mencari besar nilai tegangan pengenalan diperlukan untuk mengetahui tegangan tertinggi sistem dan koefisien pentanahan. Sistem yang digunakan diketanahkan secara efektif melalui arrester dan tidak melampaui 80% dari tegangan sistem. Sehingga diperoleh nilai tegangan pengenalan arrester sebagai berikut^[19] :

$$\begin{aligned} U_c &= \text{Tegangan sistem} \times 1,1 \times \text{koefisien pentanahan} \\ &= 150 \times 1,1 \times 0,8 \\ &= 132 \text{ kV} \end{aligned}$$

2. Arus Kerja Arrester

Beberapa hal yang diperlukan untuk mengetahui arus kerja dari arrester yang akan digunakan adalah tegangan tembus isolator (U_d), tegangan kerja arrester (U_a), serta besar nilai impedansi surja (Z_t)^[19]. Untuk besar tegangan tembus isolator dapat dilihat pada lampiran A, sebesar 1320,4 kV. Besar tegangan kerja arrester

yang digunakan sebesar 454 kV. Serta besar nilai impedansi surja pada lampiran A diperoleh 141,27 Ω .

Sehingga :

$$I_a = \frac{2U_d - U_a}{z}$$

$$= \frac{2(1320,4) - 454}{141,27} = 15,47 \text{ kA}$$

j. Perhitungan Tegangan Terminal Transformator^[7]

$$T_T = 1,15 \frac{\text{Etrafo (tegangan surja peralatan)}}{1,10}$$

3. Pembuatan Simulasi Saluran Transmisi dan Gardu Induk Teluk Betung

Setelah mendapatkan data dan spesifikasi peralatan maka data-data tersebut akan diolah dan selanjutnya akan dilakukan pemodelan menggunakan software ATP dimana hasil dari pemodelan tersebut selanjutnya akan dianalisis. Pemodelan yang dibuat adalah menara transmisi, kawat fasa, kawat tanah, arrester serta peralatan gardu induk.

a. Menara Transmisi

Menara transmisi dimodelkan sebagai saluran dimana harga impedansi surjanya tergantung dari penampang menara tersebut. Model menara transmisi yg digunakan pada simulasi ini adalah menggunakan LCC atau *Line Constant, Cable Constant*. Gambar 3.5. dibawah ini menunjukkan pemodelan menara pada simulasi ATP^[11] :



Gambar 3.5. Model Menara Transmisi

b. Kawat Tanah

Kawat tanah sering disebut juga sebagai kawat perisai (*shielding wire*) yang ditempatkan diatas kawat fasa pada sebuah saluran transmisi. Semakin dekat jarak antara kawat tanah dan kawat fasa maka akan semakin baik tingkat perlindungan. Pada Gambar 3.6. dibawah ini menunjukkan bentuk pemodelan kawat tanah pada simulasi ATP^[3] :



Gambar 3.6. Model Kawat Tanah

c. Kawat Fasa

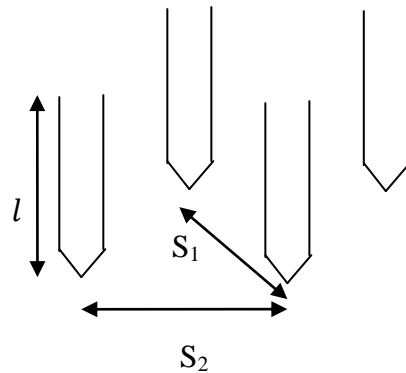
Pada saluran ganda tiga fasa terdapat dua konduktor paralel per fasa dan arus antara kedua konduktor terbagi rata. Gambar 3.7. dibawah ini menunjukkan bentuk pemodelan kawat fasa pada simulasi ATP^[3]:



Gambar 3.7. Model Kawat Fasa

d. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan menara yang digunakan di Gardu Induk 150 KV Teluk Betung adalah sistem *driven rod* empat batang konduktor. Pada Gambar 3.8. menunjukkan sistem pentanahan driven rod empat batang konduktor.



Gambar 3.8. Sistem Pentanahan Driven Rod Empat Batang Konduktor

Dari gambar 3.8. dapat dilihat empat batang konduktor dengan panjang l , dimana setiap konduktor memiliki radius r dan ditanam tegak lurus dalam tanah, sehingga tahanan (R), induktansi (L), dan kapasitansi (C) pada konduktor adalah ^[9] :

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{\sqrt[4]{2^2 \cdot s_2^3 \cdot r}} \right) \text{ ohm}$$

$$L = \frac{1}{2} \left(\ln \frac{16l^3}{r \cdot s_1 \cdot s_2} \right) \cdot 10^{-7} \text{ henry}$$

$$C = \frac{l \cdot \epsilon_r}{9 \ln \left[\frac{2l}{\sqrt[4]{2^2 \cdot s_2^3 \cdot r}} \right]} \cdot 10^{-9} \text{ farad}$$

Dimana : ϵ_r = permitivitas relatif tanah

ρ = resistivitas tanah, ohm-meter

s_2 = jarak antara dua buah konduktor, meter

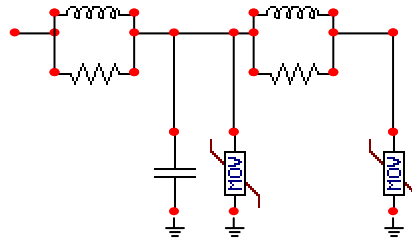
Gambar 3.9. dibawah ini menunjukkan bentuk pemodelan pentanahan menara pada simulasi ATP :



Gambar 3.9. Model Pentanahan Menara

e. Arrester

Untuk pemodelan dari lightning arrester pada ATP digunakan model dari standar IEEE WG.3.4.11 tahun 1992 seperti Gambar 3.10. berikut ini :



Gambar 3.10. Model Arrester

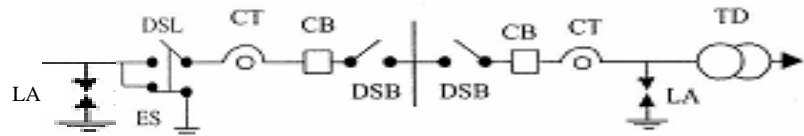
4. Analisis dan Pembahasan

Setelah simulasi rangkaian dilakukan dengan menggunakan software ATP selanjutnya hasil dari simulasi akan dianalisis dan kemudian diambil kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan tersebut.

D. Diagram Segaris Sederhana Gardu Induk

Untuk membuat pemodelan dari sebuah saluran transmisi dan gardu induk maka diperlukan mengetahui diagram segaris terlebih dahulu. Pada gambar 3.11.

dibawah ini menunjukkan diagram segaris sederhana dari sebuah gardu induk :

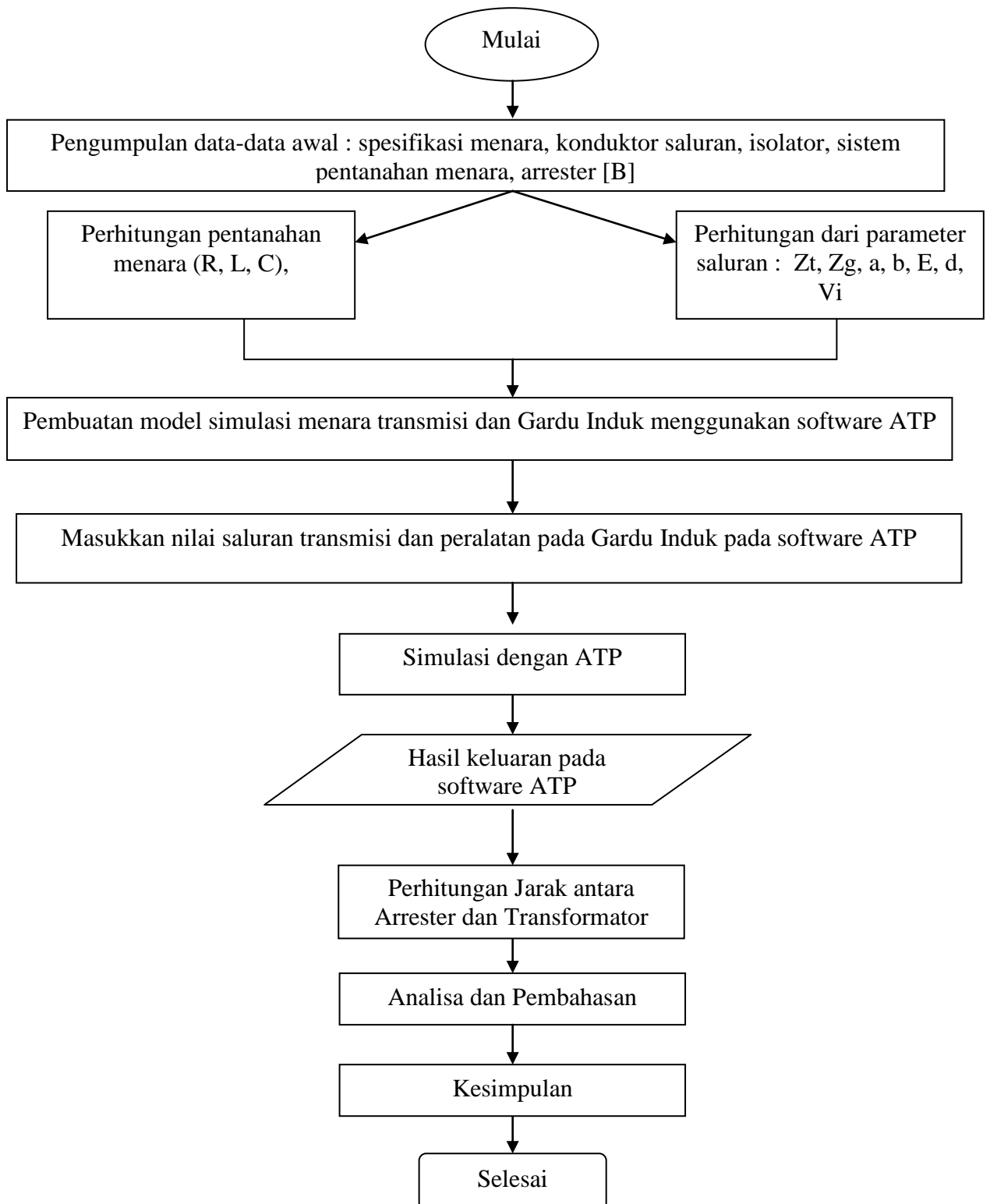


Gambar 3.11. Diagram Segaris Gardu Induk

Keterangan :

- a. Saklar Pembumian (ES)
- b. Saklar Pemisah (DSB, DSL), berfungsi untuk memutuskan dan menutup rangkaian yang arusnya rendah.
- c. Transformator Arus (CT), berfungsi untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere dan arus yang mengalir dalam jaringan tegangan tinggi.
- d. *Circuit Breaker* (CB) , berfungsi untuk memutuskan dan menutup jaringan tanpa menyebabkan kerusakan pada pemutus daya.
- k. *Lightning Arrester* (LA) , berfungsi sebagai pelindung sehingga tegangan lebih surja petir tidak melebihi batas isolasi.
- f. Transformator Daya (TD)

E. Alur Penelitian



Keterangan Alur Penelitian :

[B] : Data spesifikasi dapat dilihat pada subbab B. Data Penelitian pada bab ini.