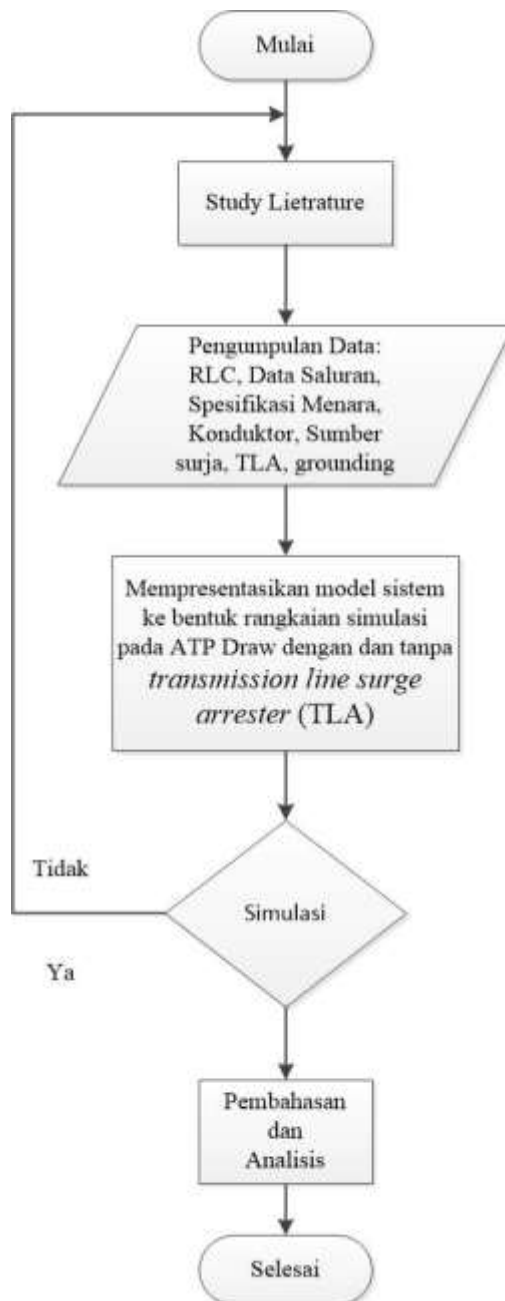


BAB III METODA PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Secara keseluruhan prosedur penelitian ini akan dijadikan sesuai dengan diagram alir (*Flowchart*) pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Pada bagian ini terdiri dari metodologi penelitian, pemodelan simulasi rangkaian Transmisi 150 kV dengan TLA dan tanpa TLA Serta pemodelan simulasi dengan *ATPDraw*. Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai sambaran petir yang terjadi pada tower transmisi 150 kV. Studi literatur ini berisi tentang teori petir, jenis tower transmisi, bahan konduktor yang di gunakan, prinsip kerja TLA dan *Grounding*.
- Memodelkan rangkain transmisi 150 kV.
- Setelah penulis memodelkan rangkaian transmisi 150 kV, maka selanjutnya penulis merepresentasikan model *System* transmisi 150 kV ke dalam bentuk rangkaian simulasi pada *ATPDraw*.
- Memasukan parameter-parameter yang dibutuhkan, yaitu data menara, jenis penghantar yang digunakan, nilai resistansi dan reaktansi penghantar, spesifikasi dan karakteristik TLA, nilai resistanti menara dan jenis pentanahan menara.
- Pengujian pertama di lakukan dengan waktu muka dan waktu ekor yang ditetapkan yaitu 1.2/50 μ s dengan variasi sambaran 30 kA, 40 kA, 50 kA.
- Pengujian kedua dilakukan ketika nilai arus sambaran sebesar 40 kA, nilai waktu muka divariasikan mulai dari 0.5 μ s, 1.2 μ s, 3 μ s, 5 μ s, dengan waktu ekor di tetapkan sebesar 50 μ s.
- Pengujian ketiga dilakukan ketika nilai arus sambaran sebesar 40 kA, nilai waktu ekor divariasikan mulai dari 40 μ s, 50 μ s, 60 μ s, dengan waktu muka di tetapkan sebesar 1.2 μ s.
- Analisa bentuk gelombang hasil keluaran simulasi.

3.3 Studi Literatur

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai sambaran petir yang terjadi pada tower transmisi 150 kV. Studi literatur ini berisi tentang teori petir, jenis tower transmisi, bahan konduktor yang di gunakan, prinsip kerja TLA dan *Grounding*.

3.4 Komponen Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Komponen yang akan rusak pada jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) Akibat Sambaran Petir diantara nya:

1. Menara Transmisi Atau Tiang Transmisi, Beserta Pondasinya.

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang bisa berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu. menurut penggunaannya diklasifikasikan menjadi:

- a. Tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu, umumnya digunakan untuk saluran-saluran transmisi dengan tegangan kerja yang relatif rendah (dibawah 70 kV).
- b. Menara baja, digunakan untuk saluran transmisi yang tegangan kerjanya tinggi (SUTT) dan tegangan ekstra tinggi (SUTET).menara baja itu sendiri diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, menjadi:
 - a. menara dukung.
 - b. menara sudut.
 - c. menara ujung.
 - d. menara percabangan.
 - e. menara transposisi.

2. Isolator.

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya, isolator diklasifikasikan menjadi:

- a. isolator jenis pasak.
- b. isolator jenis pos-saluran.
- c. isolator gantung.

Isolator jenis pasak dan isolator jenis pos-saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan kerja relatif rendah (kurang dari 22-33 kV), sedangkan

isolator gantung dapat digandeng menjadi rentengan/rangkaian isolator yang jumlahnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

3. Kawat Penghantar (Konduktor)

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah:

- a. Tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%)
- b. Tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%)
- c. Aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%)

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium, karena konduktivitas dan kuat tariknya yang lebih tinggi.

Tetapi juga memiliki kelemahan, yaitu untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dan lebih mahal dari aluminium. Oleh karena itu dewasa ini kawat penghantar aluminium telah mulai menggantikan kedudukan kawat penghantar tembaga.

Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium, digunakan campuran aluminium (aluminium alloy). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara/tiang berjauhan, mencapai ratusan meter, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

Kawat penghantar aluminium, terdiri dari berbagai jenis, dengan lambang sebagai berikut:

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

4. Kawat Tanah

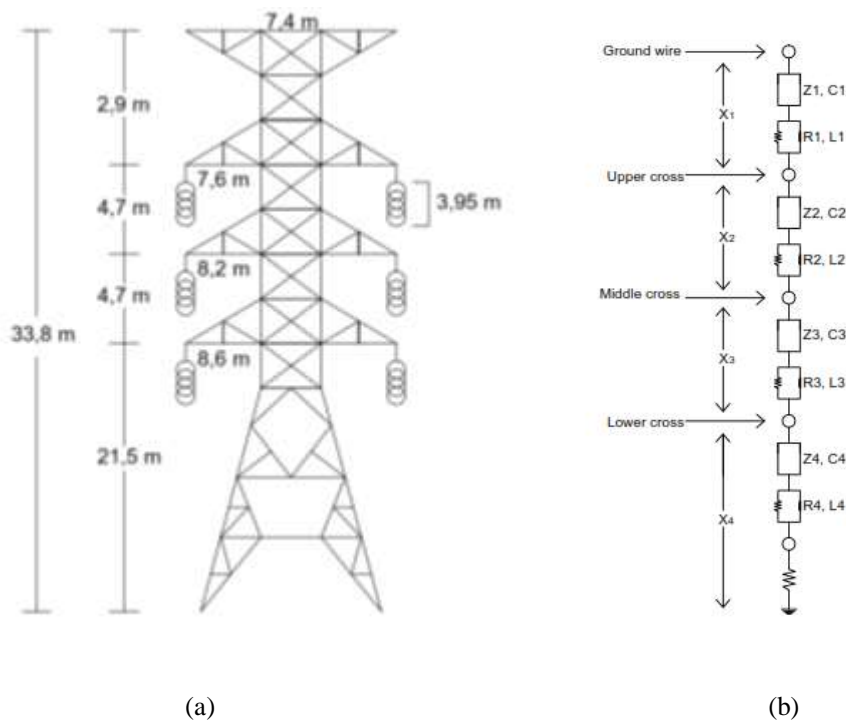
Kawat tanah atau “ground wires” juga disebut kawat pelindung (shield wires), gunanya untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat-kawat fasa terhadap sambaran petir. Jadi kawat tanah itu dipasang diatas kawat fasa, sebagai kawat tanah umumnya digunakan kawat baja (steel wires) yang lebih murah, tetapi tidak jarang digunakan ACSR.

3.5 Data Penelitian

Saluran udara tegangan tinggi 150 kV yang menghubungkan antara GI Garut dengan GI Darajat. Bisa di lihat secara detail dari diagram satu garis SUTT 150 kV yang menghubungkan antara GI Garut dengan GI Darajat dengan panjang saluran 25,36 km.

3.5.1 Data Menara

SUTT 150 kV yang meghubungkan GI Garut dengan GI Darajat menggunakan menara tipe *Lattice Tower* dengan konfigurasi saluran ganda atau *Double Circuit*.



Gambar 3. 2 (a) Menara Transmisi 150 kV GI Garut – GI Darajat (b) Rangkaian Ekivalen Menara Transmisi

Dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Panjang Saluran GI Garut – GI Darajat : 23,36 km
- Jumlah Menara : 67 buah
- Jarak rata-rata antar menara : 350 m
- Tipe Menara : AA=0
- Jarak antara kawat tanah 1 dan 2 : 7,4 m
- Panjang lengan *Upper Cross Arm* : 7,6 m
- Panjang lengan *Middle Cross Arm* : 8,2 m
- Panjang lengan *Lower Cross Arm* : 8,6 m
- Jarak vertical kawat tanah dengan *Upper Cross Arm* : 2,9 m
- Jarak vertical upper cross arm dengan *Middle Cross Arm* : 4,7 m
- Jarak vertical middle cross arm dengan *Lower Cross Arm* : 4,7 m
- Jarak vertical *Lower Cross Arm* dengan tanah : 21,5 m
- Jarak vertical kawat tanah sampe dengan tanah : 33,8 m

3.5.2 Data Kawat Tanah

- Tipe Konduktor : Tembaga
- Diameter : 1,3 cm
- Tinggi tiang kawat tanah : 33,8 m

3.5.3 Data Kawat Fasa

Pada saluran transmisi SUTT 150 kV yang terkoneksi antara GI Garut sampai GI Darajat, jenis konduktor yang digunakan pada saluran yaitu menggunakan 2 jenis konduktor. Yang pertama konduktor ACSR jenis *Hawk* ($2 \times 291,03 \text{ mm}^2$) sepanjang 17,86 km, sedangkan yang kedua konduktor ACSR jenis *Dove* ($2 \times 327,77 \text{ mm}^2$) sepanjang 7,5 km.

Adapun spesifikasi nya sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Konduktor Saluran Transmisi SUTT 150 kv Garut - Darajat

No	Type Konduktor	Jenis Konduktor	Negara Asal	Luas Penampang (mm ²)	Diameter (mm ²)	R AC 75° C Ohm/km	R _{react} AC 70° C Ohm/km
1	ACSR	Hawk	USA	291,03	21,79	0.075	0.059
2	ACSR	Dove	Canada	327,77	23,55	0.069	0.047

3.5.4 Data Sistem Pentanahan Menara

- Jenis sistem pentanahan menara : *Driven rod* empat batang
- Panjang konduktor : 5 m
- Diameter Konduktor : 1,3 cm
- Resistivitas tanah : 38,7 Ωm
- Jarak antara Konduktor (S1) : 10 m
- Jarak antara Konduktor (S2) : 10 √2 m
- Tahanan Rata-rata : 2,3 Ω

3.5.5 Data Isolator Saluran

Pada saluran transmisi SUTT 150 kV yang terkoneksi antara GI Garut sampai GI Darajat, jenis isolator yang digunakan yaitu jenis kaca (*Glass*). Dengan jumlah 10-15 piringan/buah serta panjang rentangan 3,95m.



Gambar 3. 3 Isolator Kaca 150 kV

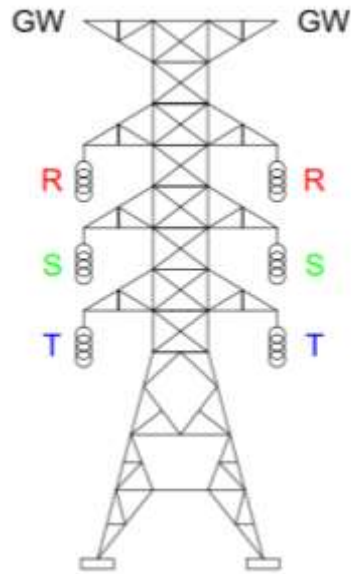
3.5.6 Data TLA

- Manufacturer : BOWTHORPE EMP TLA4C150L1E1MO
Tyco Electronic
- Specification : IEEE
- Frequency : 50 Hz
- MCOV : 150 kV
- Rated Voltage : 120 kV
- Maximum residual voltage with lightning current 8/20 μ s
 - 5 kA = 367 kV
 - 10 kA = 396 kV
 - 20 kA = 449 Kv
- Insulation material : Porcelain
- Energy Capability : 8 kJ/kV

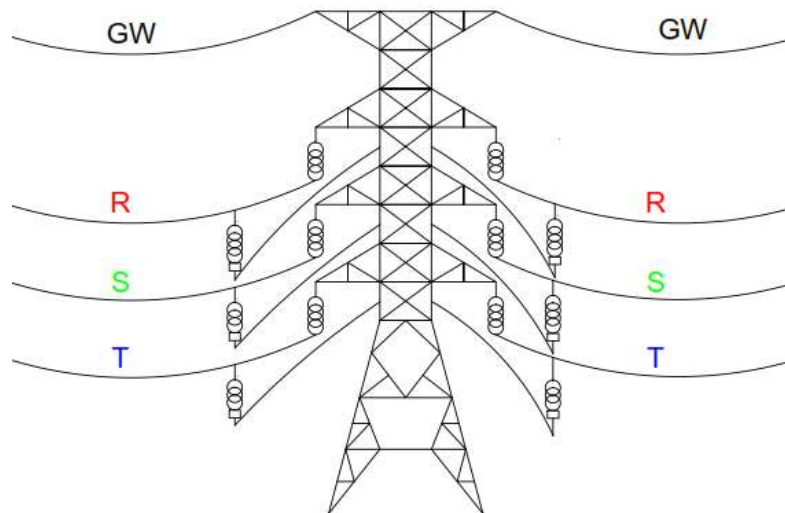
3.6 Representasi Model Rangkaian Kedalam Software ATPDraw

3.6.1 Menara Transmisi 150 kV

Berikut adalah menara transmisi yang digunakan dalam pengujian penulis, yaitu jenis menara transmisi *Pyramid Double Circuit* pada jaringan GI Garut – GI Darajat:

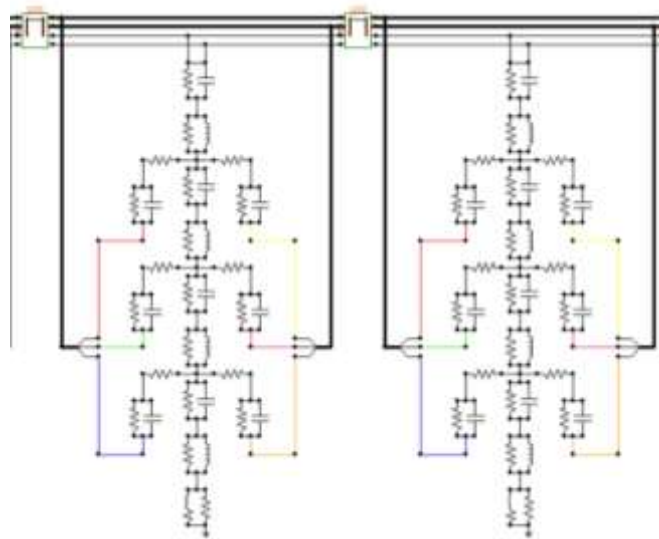


Gambar 3. 4 Menara Transmisi 150 kV Tanpa TLA



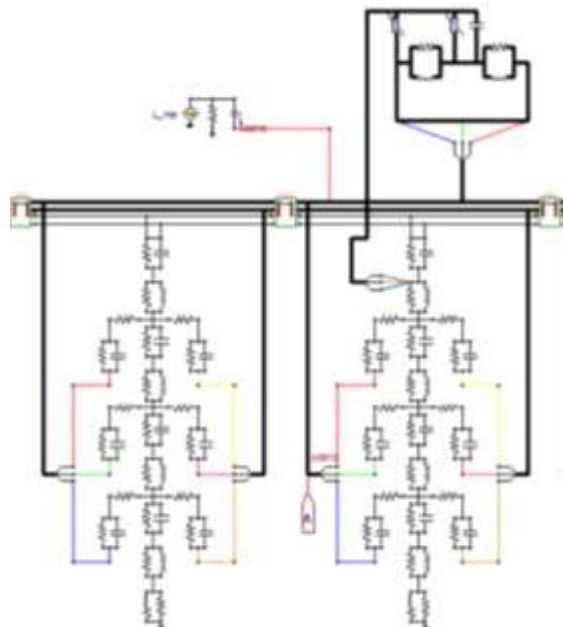
Gambar 3. 5 Menara Transmisi 150 kV dengan TLA

Berikut adalah pemodelan rangkaian menara transmisi 150 kV pada ATPDraw tanpa TLA:



Gambar 3. 6 Model Rangkaian Menara Transmisi 150 kV pada ATPDraw tanpa TLA

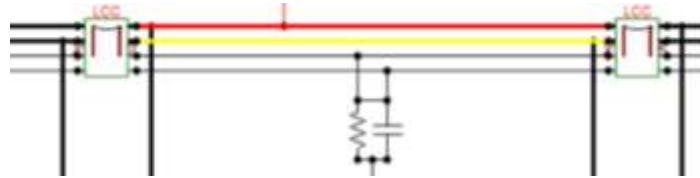
Berikut adalah pemodelan rangkaian menara transmisi 150 kV pada ATPDraw dengan TLA :



Gambar 3. 7 Model rangkain menara transmisi 150 kV pada ATPDraw dengan Transmission Line Surge Arrester (TLA)

3.6.2 Pemodelan Kawat Fasa

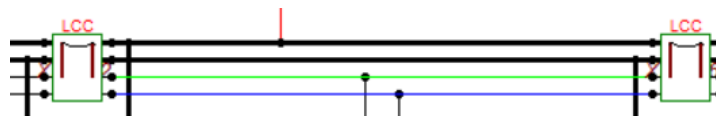
Pada saluran ganda tiga fasa terdapat 2 konduktor paralel per fasa dan arus antara kedua konduktor terbagi rata. Gambar 3.8 dibawah ini menunjukkan bentuk pemodelan kawat fasa (merah: line 1, kuning line 2) pada simulasi ATPDraw.



Gambar 3. 8 Model Kawat Fasa pada ATPDraw

3.6.3 Pemodelan Kawat Tanah

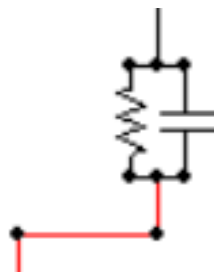
Kawat tanah sering disebut juga sebagai kawat perisai (*Shielding wire*) yang di tempatkan di atas kawat fasa pada sebuah sakuran trasnmisi. Pada gambar 3.9 dibawah ini menunjukkan bentuk pemodelan kawat tanah (ditandai dengan Hijau: Kawat Tanah 1, Biru: Kawat tanah 2) pada simulasi ATPDraw.



Gambar 3. 9 Model Kawat Tanah pada ATPDraw

3.6.4 Pemodelan Isolator

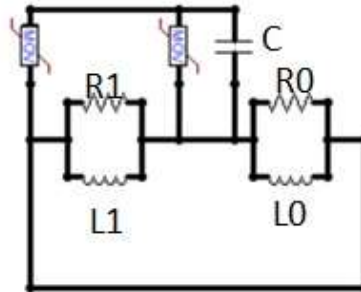
Pada jaringan trasnmisi GI Garut – GI Darajat isolator yang digunakan adalah jenis kaca (*glass*). Gambar 3.10 dibawah ini menunjukkan bentuk pemodelan Isolator pada simulasi ATPDraw.



Gambar 3. 10 Model Isolator Pada simulasi ATPDraw

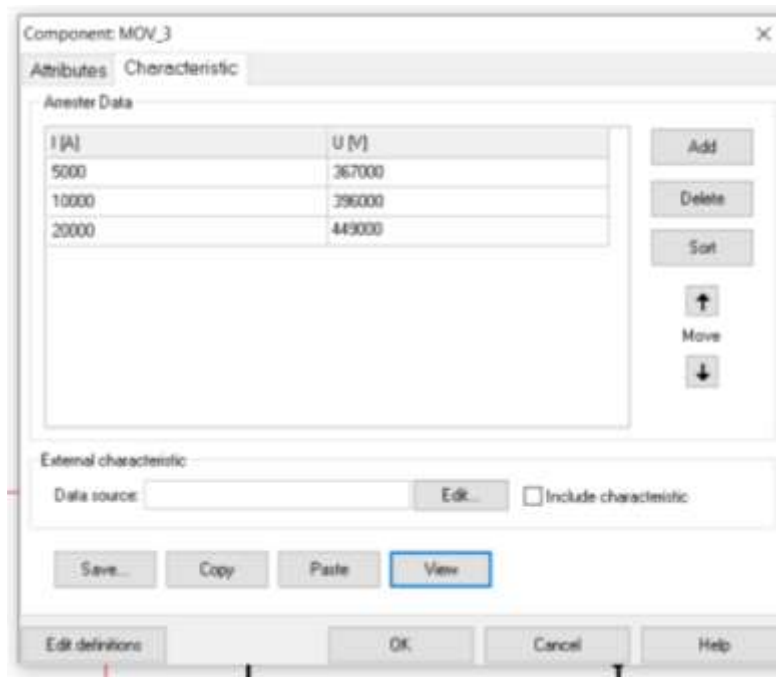
3.6.5 Pemodelan dan Karakteristik TLA

Untuk pemodelan dari lightning arrester pada ATP Draw digunakan model dari standar IEEE seperti Gambar 3.11. berikut ini :



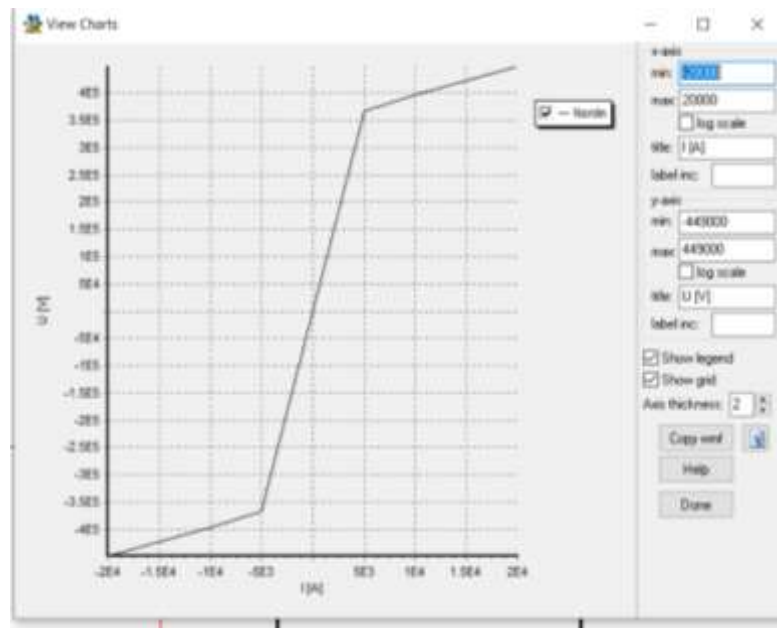
Gambar 3. 11 Model TLA Pada simulasi ATPDraw

- Nilai R_0 = 133 Ω
- Nilai R_1 = 86,45 Ω
- Nilai L_0 = 0,00026 mH
- Nilai L_1 = 0,01995 m
- Nilai C = 7,52E-5 = 75,2 μ F



Gambar 3. 12 Parameter Metal Oxide Varistor (MOV)

Berikut karakteristik dari TLA



Gambar 3. 13 Karakteristik TLA

3.6.6 Pemodelan Pentanahan Menara

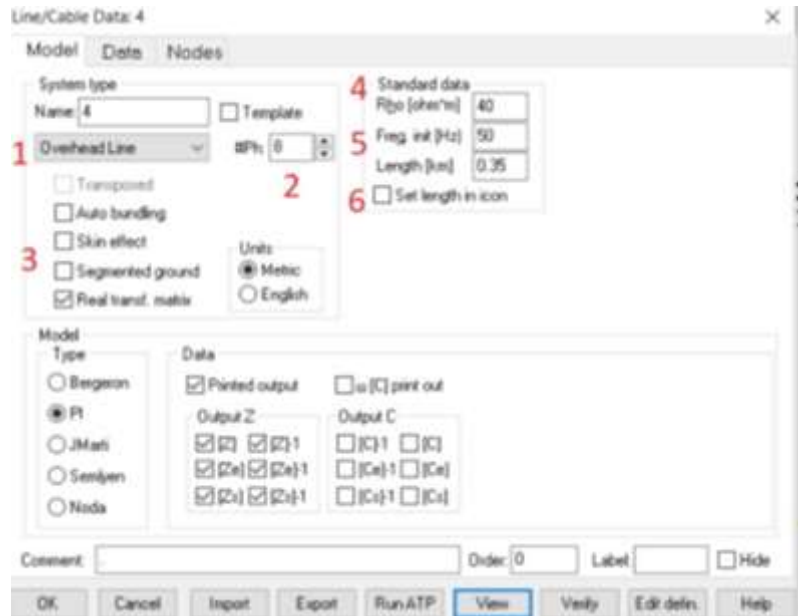
Sistem pentanahan menara yang digunakan di tower transmisi 150 kV GI Garut – GI Darajat adalah sistem *Driven Rod* empat batang konduktor. Pada gambar 3.14. menunjukkan sistem pentanahan menara menara yang dimodelkan kedalam simulasi ATP Draw.



Gambar 3. 14 Model Pentanahan Menara Pada Simulasi ATPDraw

3.7 Parameter *Line Constant, Cable Constant (LCC)*

LCC merupakan saluran yang kemudian dijabarkan dalam bentuk menara transmisi pada Gambar 3.6. Dibawah ini menunjukkan parameter yang ada dalam LCC:



Gambar 3. 15 Parameter LCC

- Nomor 1 : Sistem Tipe Transmisi Listrik
Dalam penelitian ini sistem yang digunakan adalah *Overhead Line*.
- Nomor 2 : *Number of Phasa*
Dalam penelitian ini jenis menara yang digunakan adalah tipe *Lattice Tower* dengan konfigurasi *Double Circuit* maka jumlah phasa 8 dengan rincian 6 buah kawat fasa dan 2 buah kawat tanah.
- Nomor 3 : *Real Trans Matrix*
Diasumsikan untuk kondisi stabil.
- Nomor 4 : Rho (ohm m)
Rho (ohm m) adalah resistivitas tanah, dalam penelitian ini nilai Rho (ohm/m) adalah $38.7 \Omega \text{ m}$.
- Nomor 5 : Frekuensi

- Nomor 6 : Length (km)
Length (km) merupakan jarak antar menara transmisi. Dalam penelitian ini jarak antar menara GI Garut – GI Darajat adalah 350 m.
- Nomor 7 : Tipe Saluran
Dalam pemilihan tipe saluran penulis memilih tipe PI dikarenakan tipe saluran termasuk kategori *Short Line*.

#	Ph.no	React [ohm/km AC]	Flout [cm]	Resis [ohm/km AC]	Horiz [m]	Vtower [m]	Vmid [m]
1	1	0.059	2.179	0.075	-3.8	31.9	17
2	2	0.059	2.179	0.075	-3.8	26.2	14
3	3	0.059	2.179	0.075	-3.8	21.5	11
4	4	0.059	2.179	0.075	3.8	31.9	17
5	5	0.059	2.179	0.075	3.8	26.2	14
6	6	0.059	2.179	0.075	3.8	21.5	11
7	7	0.059	2.179	0.075	-3.8	33.8	20
8	8	0.059	2.179	0.075	3.8	33.8	20

Gambar 3. 16 Parameter Data LCC

- Nomor 8 : *Number of Phasa*
Terdiri dari kawat fasa dan kawat tanah. Ditujukan dengan nomor 1 sampe dengan nomor 6 adalah kawat fasa, sedangkan kawat tanah ditujukan dengan nomor 7 dan 8.
- Nomor 9 : React ohm / km AC / Reaktansi *Conductor*
Jenis konduktor yang digunakan pada saluran transmisi SUTT 150 kV GI Garut – GI Darajat adalah jenis ACSR jenis Hawk ($2 \times 291,03 \text{ mm}^2$) dengan nilai reaktansi konduktor 0.059 ohm / km AC.

- Nomor 10 : Rout / Diameter *Conductor*
Diameter konduktor 2.179 cm
- Nomor 11 : Resis ohm / km AC / Resistansi *Conductor*
Jenis konduktor yang digunakan pada saluran transmisi SUTT 150 kV GI Garut – GI Darajat adalah jenis ACSR jenis Hawk ($2 \times 291,03 \text{ mm}^2$) dengan nilai resistansi konduktor 0.075 ohm / km AC.
- Nomor 12 : Panjang *Cross Arm*
- Nomor 13 : Tinggi *Cross Arm* dari permukaan tanah
- Nomor 14 : Tinggi *Conductor* antar menara dari permukaan tanah

3.8 Software ATP-DRAW

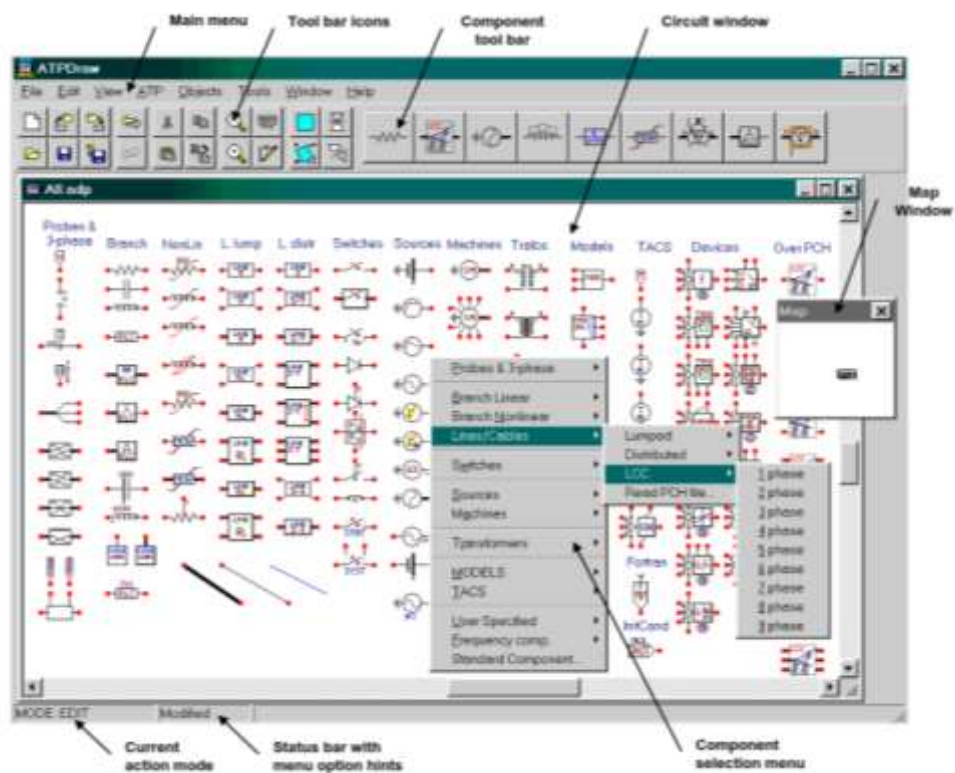
Software Alternative Transient Programs (ATP) merupakan sistem program universal yang digunakan untuk simulasi digital terhadap gejala fenomena transien serta sifat elektromekanis dalam sistem tenaga elektrik. Dengan program digital ini, jaringan yang kompleks dan sistem control dapat disimulasikan. 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 didapatkan lebih mendekati keadaan yang sebenarnya.

ATP memiliki kemampuan pemodelan yang luas dan fitur penting tambahan selain perhitungan transien. ATP memprediksi variabel-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 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 System*) adalah modul untuk analisis domain waktu sistem control yang awalnya dikembangkan untuk simulasi control HVDC converter. Untuk TACS, digunakan sistem diagram blok control. *Intercafe* 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 control dan komponen dengan karakteristik nonlinear seperti busur api dan korona. Sistem dinamis tanpa jaringan listrik juga dapat disimulasikan dengan menggunakan pemodelan sistem control TACS dan MODELS. Gambar 3.17 memperlihatkan tampilan pada software ATP.



Gambar 3. 17 Main Window ATP-Draw

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