

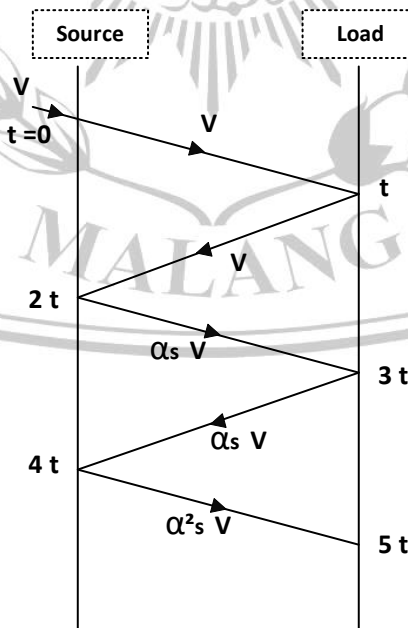
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam rangka menjawab permasalahan yang telah dirumuskan di atas, maka diusulkan metode Koordinasi Insulasi dan metode *Bewley Lattice Diagram* yang secara umum dideskripsikan sebagaimana pada gambar berikut.

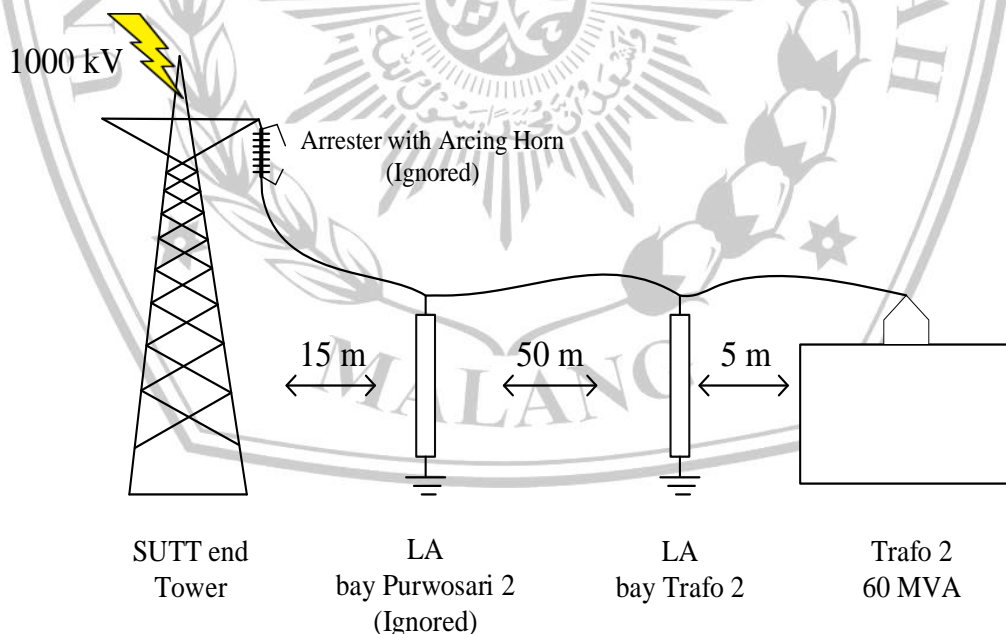
Koordinasi insulasi adalah teknik yang digunakan untuk menetapkan kekuatan insulasi dari peralatan yang sehubungan dengan tegangan lebih yang dapat muncul pada sistem dan karakteristik perangkat proteksi. Metode tersebut dimulai dengan pemilihan kriteria keandalan, kemudian dilangsungkan penelitian untuk menjelaskan detail tegangan lebih pada peralatan. Tegangan lebih tersebut kemudian dibandingkan dengan karakteristik kekuatan insulasi peralatan yang kemudian menjadi dasar pemilihan tingkat kekuatan. Pada koordinasi insulasi di gardu induk untuk system 245 kV dan di bawahnya, penentan tingkat insulasi dasar peralatan memperhatikan parameter impuls petir. Dimana implementasikan metode *Bewley Lattice Diagram* digunakan untuk mendapatkan informasi terhadap impuls petir yang berjalan pada saluran.



Gambar 3.1 Skema *Bewley Lattice Diagram*

Metode ini dapat menggambarkan banyaknya refleksi (pantulan) dan refraksi (terusan) dari gelombang berjalan surja petir dalam satuan waktu. Diagram ini juga menunjukkan pengaruh dari redaman dan distorsi. Sumbu horizontal mewakili garis pantulan pada saluran, dan sumbu vertikal mewakili garis pantulan dalam saluran. Suatu saluran biasanya merupakan bagian-bagian yang pendek, dalam hal ini terjadi proses pantulan gelombang yang berulang-ulang, agar jejaknya dapat representasikan dengan jelas maka dikenalkan suatu diagram tangga yang disebut *Bewley Lattice Diagram* [25].

Pada penelitian ini, metode digunakan untuk memodelkan gelombang berjalan surja impuls maksimum, yang berjalan dari tower akhir saluran kemudian melewati lightning arrester dan menuju transformator. Dengan diberlakukan kondisi bahwa arrester tower dan LA yang terhubung dengan saluran diabaikan, yang bisa diketahui dengan jelas pada gambar di bawah. Oleh karena itu, kinerja LA yang terhubung dengan trafo dapat diketahui dan mengetahui total nilai tegangan lonjakan, tegangan sisa dan waktu untuk setiap titik pada saluran.



Gambar 3.2 Posisi Peralatan Proteksi Petir dengan Trafo

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian dan Pengambilan data dilaksanakan di PT PLN (Persero) Gardu induk Pakis yang berada di wilayah kerja Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali (UIT JBTB), Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Malang.

3.3 Waktu Penelitian

Penelitian dan Pengambilan data dilakukan selama 5 minggu dimulai dari tanggal 11 April 2022 hingga 13 Mei 2022.

3.4 Pengumpulan Data

3.4.1 Data Primer

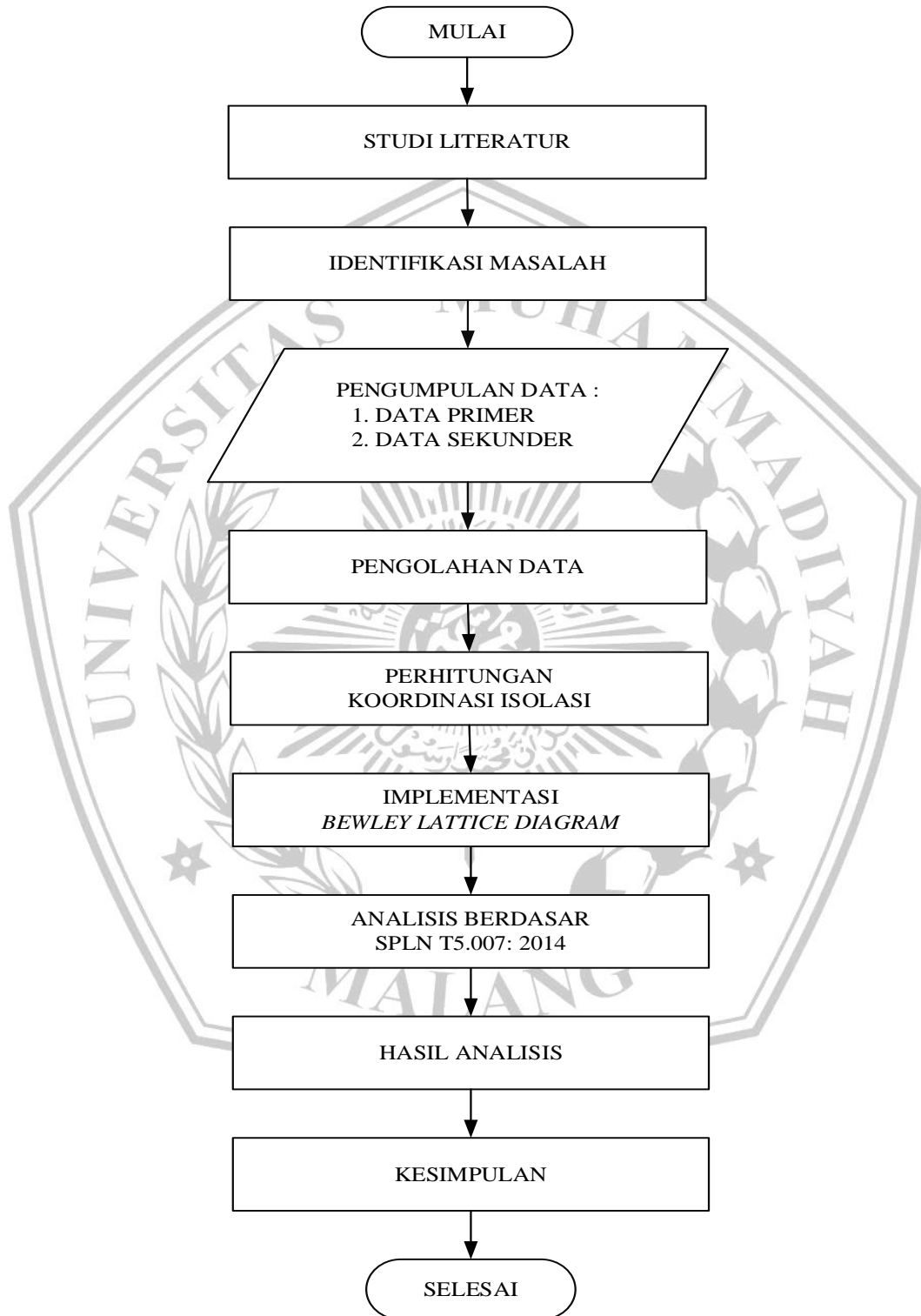
Data primer secara langsung diambil dari objek penelitian, yang pada khusus ini adalah perangkat proteksi petir (LA) yang terhubung dengan trafo 2. Data yang bersangkutan dengan perangkat didapat melalui konsultasi dengan petugas pemelihara gardu induk Pakis.

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder meliputi diagram satu garis (SLD) GI Pakis, data teknik peralatan lightning arrester dan transformator, data tegangan uji percikan impuls maksimum, data kawat penghantar saluran transmisi yang bersumber dari data internal perusahaan. Data penetapan tingkat isolasi transformator dan penangkal petir bersumber dari SPLN 7:1978 [26]. Data tower akhir saluran (Tower DSP) bersumber dari SPLN 121:1996 [27]. Data hari guruh wilayah Malang tahun 2019 bersumber dari BMKG Stasiun Geofisika Class III Malang [28]. Data jarak antara peralatan didapat dengan melakukan pengukuran secara langsung, keterbatasan alat ukur membuat data hasil pengukuran memiliki toleransi.

3.5 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Kemudian, secara garis besar penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagaimana digambarkan dengan *flowchart* pada gambar berikut.



Gambar 3.3 *Flowchart* Tahapan Penelitian

3.6 Mekanisme Perhitungan Koordinasi Insulasi

3.6.1 Menentukan Jumlah Kerapatan Sambaran Petir (N_g) /km²/tahun

$$N_g = 0,04 \times IKL^{1,25} \text{ Sambaran/km}^2/\text{tahun} \quad (3.1)$$

3.6.2 Menentukan Tegangan Tertinggi Sistem (U_m)

$$U_m = 110 \% (\text{Faktor Toleransi}) \times \text{Tegangan Nominal Sistem } (U_n) \quad (3.2)$$

3.6.3 Menentukan Tegangan Pengenal (U_r)

$$U_r = U_m \times 0,8 (\text{Koefisien Pentanahan}) \quad (3.3)$$

3.6.4 Menentukan Tegangan Operasi Kontinu Aktual (U_c)

$$U_c = \frac{U_r}{1,25} \text{ kV} \quad (3.4)$$

3.6.5 Menentukan Tegangan Sisa Uji Proteksi

$$\text{Tegangan sisa proteksi impuls petir } 8/20 \mu\text{s (TSP)} = 329 \text{ kV} \quad (3.5)$$

$$\text{Tegangan sisa proteksi impuls switching (TSS)} = 0,9 \times \text{TSP} \quad (3.6)$$

$$\text{Kemampuan proteksi pada Trafo} = \frac{Bl \text{ Trafo}}{TSP} \quad (3.7)$$

3.6.6 Menentukan Impedansi Surja Pengantar Udara (Z_s)

$$Z_s = \sqrt{L/C} \quad (3.8)$$

$$Z_s = 60 \ln \left(\frac{2h}{r} \right)$$

(3.9)

Dimana, Tinggi tower (h); Jari-jari konduktor (r)

3.6.7 Menentukan Impedansi Surja Kabel (Z_c)

$$Z_c = \left(\frac{60}{\epsilon} \right) \ln \left(\frac{r_i}{r} \right) \quad (3.10)$$

Dimana, Permittivitas (ϵ); Jari-jari isolasi (r_i); Jari-jari konduktor (r)

$$Z_c \text{ untuk kabel udara yang disepakati bernilai} = 50 \Omega \quad (3.11)$$

3.6.8 Menentukan Kecepatan Gelombang Surja Petir Berjalan pada Saluran (v)

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ m/s} \quad (3.12)$$

Dimana, Induktansi (L), Kapasitansi (C)

$$L = 2 \left(\ln 2 \frac{h}{r} \right) \times 10^{-4} \text{ henry / km} \quad (3.13)$$

Dimana, Tinggi tower (h); Jari-jari konduktor (r)

$$C = \frac{10^{-6}}{18 \left(\ln 2 \frac{h}{r} \right)} \text{ farad /km}$$

(3.14)

Dimana, Tinggi tower (h); Jari-jari konduktor (r)

3.6.9 Menentukan Tegangan Tembus Isolator Udara (U_d)

$$U_d = U_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \quad (3.15)$$

Dimana,

W = panjang rentangan isolator untuk tegangan 150 kV = 0,886

$K_1 = 0,4 W = 0,4 \times 0,886 = 0,35$

$K_2 = 0,7 W = 0,7 \times 0,886 = 0,62$

Waktu tegangan berdasarkan waktu muka gelombang (t) = 1,2 μ det

3.6.10 Menentukan Arus Pelepasan (I_a)

$$I_a = \frac{2U_d + U_n}{Z_s} \text{ kA} \quad (3.16)$$

3.6.11 Menentukan Faktor Perlindungan (FP) Trafo

$$FP_{trafo} = \frac{BIL \text{ Trafo} - \text{Tingkat Perlindungan LA}}{BIL \text{ Trafo}} \times 100 \% \quad (3.17)$$

$$\text{Tingkat Perlindungan LA} = E_a \times 10 \% \quad (3.18)$$

3.6.12 Menentukan Jarak Maksimum LA dengan Trafo (S_{max})

$$E_p = E_a + 2 \frac{A S_{max}}{v} \text{ kV} \quad (3.19)$$

$$S_{max} = (E_p - E_a) \frac{v}{2A} \text{ meter} \quad (3.20)$$

Dimana,

E_a = Tegangan percik Arrester

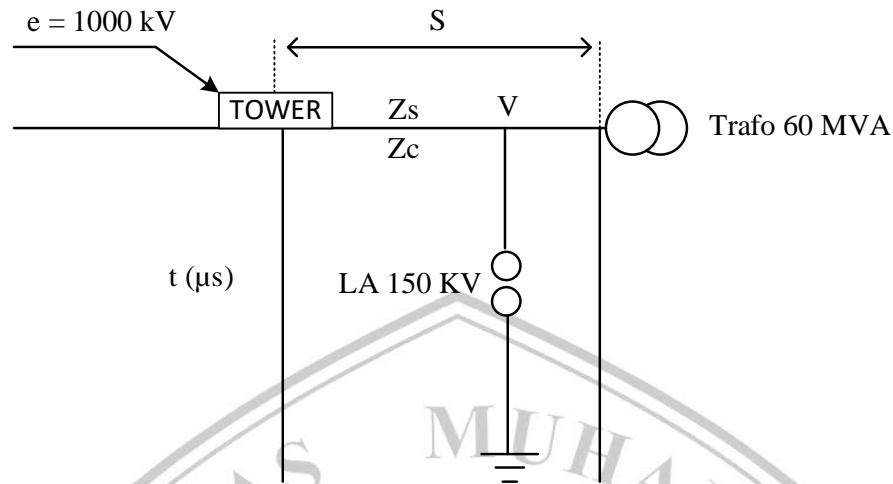
E_p = Tegangan Jepitan Trafo = BIL Trafo

$A = dv/dt$ = kecuraman muka gelombang = 1000 kV / μ s

S_{max} = Jarak arrester dengan tarfo

v = Kecepatan rambat gelombang = 300 m/ μ s

3.7 Mekanisme Implementasi *Bewley Lattice Diagram*



Gambar 3.4 Konstruksi *Bewley Lattice Diagram* LA dengan Trafo

3.7.1 Menentukan Koefisien Refleksi (Pantulan) dan Refraksi (Terusan)

Koefisien Refleksi (Pantulan)

$$a = \frac{Z_c - Z_s}{Z_c + Z_s} \quad (3.21)$$

$$a' = \frac{Z_s - Z_c}{Z_c + Z_s} \quad (3.22)$$

Koefisien Refraksi (Terusan)

$$b = \frac{2 Z_c}{Z_c + Z_s} \quad (3.23)$$

$$b' = \frac{2 Z_s}{Z_c + Z_s} \quad (3.24)$$

Dimana,

a = Operator pantulan untuk gelombang yang datang dari kiri

a' = Operator pantulan untuk gelombang yang datang dari kanan

b = Operator terusan untuk gelombang yang datang dari kiri

b' = Operator terusan untuk gelombang yang datang dari kanan

Z_s = Impedansi surja petir pada saluran udara (Ω)

Z_c = Impedansi surja petir pada kabel listrik (Ω)

3.7.2 Menentukan waktu gelombang surja untuk merambat pada saluran (t)

$$t = \frac{s}{v} \quad (3.25)$$

Dimana, Panjang saluran (s); Kecepatan gelombang (v)