

**ANALISIS KEMAMPUAN PENTANAHAN MENARA SUTT TERHADAP  
SAMBARAN PETIR LANGSUNG YANG MENAKIBATKAN  
BACKFLASHOVER PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV  
PONOROGO – MANISREJO**

**SKRIPSI**



**Disusun Oleh:**

**YOPPI KURNIA PUTRA**

**NIM. 1312013**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2017**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS KEMAMPUAN PENTANAHAN MENARA SUTT  
TERHADAP SAMBARAN PETIR LANGSUNG YANG  
MENGAKIBATKAN *BACKFLASHOVER* PADA SALURAN  
TRANSMISI 150 KV PONOROGO – MANISREJO**

**SKRIPSI**

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan  
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*

**Disusun Oleh:**

**YOPPI KURNIA PUTRA  
NIM. 1312012**

**Dosen Pembimbing I**



**Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT**  
**NIP. 196105031992021001**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
**NIP.Y. 1038900209**



**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1**



**Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT**  
**NIP. 197706152005012002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2017**

## ABSTRAK

### ANALISIS KEMAMPUAN PENTANAHAN MENARA SUTT TERHADAP SAMBARAN PETIR LANGSUNG YANG MENAKIBATKAN *BACKFLASHOVER* PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV PONOROGO – MANISREJO

Yoppi Kurnia Putra, NIM: 13.12.012

Dosen pembimbing : Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT. dan Ir. Teguh Herbasuki, MT  
Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik  
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang  
Email : yoppikurniaputra@gmail.com

Saluran transmisi merupakan saluran untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Lokasi menara saluran transmisi pada suatu daerah tertentu sangat menentukan banyaknya gangguan yang terjadi akibat sambaran petir. Besar sambaran petir langsung pada menara atau kawat tanah dapat mengakibatkan *back flashover* pada isolator. Besarnya arus sambaran petir dan besarnya nilai resistansi pentanahan menara dapat mempengaruhi besarnya tegangan gangguan yang terjadi. Pada skripsi ini untuk mengurangi besar dampak tegangan gangguan yaitu dengan memperkecil nilai pentanahan menara. Dengan menambah panjang elektroda pentanahan dapat memperkecil nilai pentanahan menara. Dan dengan program PSCAD dapat mengetahui besar lonjakan gelombang sebelum dan sesudah merubah nilai resistansi menara. Arus sambaran petir 180 kA dapat mengakibatkan backflashover, karena nilai tegangan *crossarm* melebihi tegangan lompatan api yaitu sebesar 1324,31 kV sedangkan batas tegangan lompatan api sebesar 1315,46 kV pada kondisi pentanahan menara 2,24  $\Omega$ . Dengan penambah panjang elektroda sepanjang 20 meter hasil nilai pentanahan menara sebesar 0,84  $\Omega$ . Sehingga dapat menurunkan tegangan pada *crossarm* menjadi 1292,25 kV.

**Kata kunci:** Sambaran petir langsung, *backflashover*, resistansi pentanahan menara, PSCAD.

## **ABSTRACT**

### **THE ANALYSIS OF SUTT TOWER RESISTANCE CAPABILITY TO DIRECT LIGHTNING STRIKE RESULTING IN BACKFLASHOVER ON THE 150 KV TRANSMISSION LINE IN PONOROGO-MANISREJO**

**Yoppi Kurnia Putra, NIM: 13.12.012**

**Supervisors : Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT. dan Ir. Teguh Herbasuki, MT  
Electrical Engineering Major S-1, The Concentration of Electrical Energy  
Techniques**

**Industrial Technology Faculty, National Institute Technology Malang**

**Email : [yoppikurniaputra@gmail.com](mailto:yoppikurniaputra@gmail.com)**

Transmission line is a distribution line for electrical energy from generator to consumer. The location of the transmission line towers in a particular area greatly determine the number of disturbances that occur due to the lightning strike. A large direct lightning strike on the tower or ground wire can lead to backflasover on the insulator. The amount of lighting strike current and the magnitude of the tower grounding resistance value can affect the magnitude of the disturbance voltage that occurs. This thesis explains the way to reduce the magnitude of the impact of voltage disturbance by reducing the value tower resistance. Increasing the length of the earth electrode can reduce the value of the tower resistance. The 180 kA lighting current result in a backflashover, because the value of crossarm voltage exceeds fire jump voltage that is equal to 1324,31 kV, while the limit of fire jump is equal to 1315,46 kV on the grounding tower. With the addition of 20 meters long electrode of the tower grounding value of 0,84 Ohm. So, it can reduce voltage at crossarm to be 1292,25 kV.

**Keywords : Direct lightning strike, backflashover,tower grounding resistance.**

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah Yang Maha Esa, karena atas Rahmat dan Hidayah-Nya ,sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini dengan Judul:

**” ANALISIS KEMAMPUAN PENTANAHAN MENARA SUTT TERHADAP  
SAMBARAN PETIR LANGSUNG YANG MENGAKIBATKAN  
BACKFLASHOVER PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV PONOROGO –  
MANISREJO”.**

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S-1) Teknik Elektro,Program Studi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri di Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tua tercinta yaitu Bapak Waluyo dan Ibu Musitik.
2. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT selaku Dosen pembimbing I.
5. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen pembimbing II.
6. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro S-1 selaku pengamat dan penguji.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro S-1 dan teman kos Udin, terima kasih untuk bantuan dan dukungannya selama menjalani perkuliahan dan pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Sehingga skripsi ini bisa bermanfaat bagi para pembaca sekalian.

Malang, 14 Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                      |             |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>LEMBAR PERSETUJUAN.....</b>                                       | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                 | <b>ii</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                           | <b>ivii</b> |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                              | <b>iv</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                            | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR GRAFIK.....</b>                                            | <b>ix</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                                             |             |
| 1.1 Latar Belakang.....                                              | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                             | 2           |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                          | 2           |
| 1.4 Batasan Masalah .....                                            | 2           |
| 1.5 Sistematika Penulisan.....                                       | 2           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                                       |             |
| 2.1 Pengertian SUTT .....                                            | 5           |
| 2.1.1. Tower SUTT .....                                              | 5           |
| 2.2 Sambaran Langsung.....                                           | 6           |
| 2.3 Gelombang berjalan pada saluran transmisi .....                  | 6           |
| 2.4 Penangkapan Kilat Oleh Saluran Transmisi .....                   | 7           |
| 2.5 Radius Efektif Kawat Tanah dan Kawat Fasa dengan Korona.....     | 8           |
| 2.5.1 Radius Efektif Kawat Tanah dengan Korona .....                 | 8           |
| 2.5.2 Radius Efektif Kawat Berkas dengan Korona <sup>[4]</sup> ..... | 9           |
| 2.6 Impedansi Surja Kawat dan Impedansi Surja Menara.....            | 9           |
| 2.7 Tegangan Pada Puncak menara dan Tegangan Lengan Menara.....      | 11          |
| 2.8 Dampak Gangguan Kilat .....                                      | 12          |
| 2.8.1 Kegagalan Perisaian.....                                       | 12          |
| 2.8.2 Lompatan Api Balik.....                                        | 14          |

|        |                                                                  |    |
|--------|------------------------------------------------------------------|----|
| 2.9    | Pelindung Saluran Transmisi .....                                | 15 |
| 2.9.1  | Kawat Ground Steel Wire (GSW)/ Optic Ground Wire<br>(OPGW) ..... | 15 |
| 2.9.2  | Pentanahan (Grounding) .....                                     | 15 |
| 2.10   | Tahanan Jenis Tanah .....                                        | 17 |
| 2.11   | Pengukuran Tahanan Jenis Tanah .....                             | 18 |
| 2.12   | Sistem Pengetanahan .....                                        | 19 |
| 2.12.1 | Driven Ground .....                                              | 19 |
| 2.12.2 | Counterpoise .....                                               | 20 |

### **BAB III METODE PENELITIAN**

|       |                                              |    |
|-------|----------------------------------------------|----|
| 3.1   | Metode yang Digunakan .....                  | 21 |
| 3.2   | Software PSCAD .....                         | 21 |
| 3.2.1 | Simulasi Pada PSCAD .....                    | 22 |
| 3.3   | Algoritma simulasi pada Software PSCAD ..... | 26 |
| 3.4   | Flowchart Penyelesaian Masalah .....         | 27 |
| 3.4.1 | Flowchart Kemampuan Resistansi Menara .....  | 27 |
| 3.4.2 | Flowchart Menghitung Nilai Resistansi .....  | 28 |

### **BAB IV ANALISIS DAN HASIL**

|       |                                                                                   |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1   | Uji Standart Sistem .....                                                         | 29 |
| 4.1.1 | Simulasi Sambaran Petir pada Saluran Transmisi .....                              | 30 |
| 4.1.2 | Simulasi Sambaran Petir dengan Merubah Nilai Resistansi Menara .....              | 31 |
| 4.2   | Pemodelan Saluran Transmisi Dengan Menggunakan Software<br>PSCAD .....            | 32 |
| 4.3   | Data Pentanahan Kaki Menara Saluran Transmisi Ponorogo<br>-Manisrejo 150 kV ..... | 33 |
| 4.4   | Data Menara Transmisi dan Konduktor .....                                         | 34 |
| 4.5   | Data Kerapatan Sambaran Petir .....                                               | 34 |
| 4.6   | Simulasi Sambaran Petir dengan Menggunakan software PSCAD .....                   | 35 |
| 4.7   | Analisis Nilai Ketahanan Pentanahan Menara Terhadap Arus                          |    |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sambaran Petir .....                                                            | 35 |
| 4.7.1 Analisis Hasil Perhitungan dan Simulasi .....                             | 36 |
| 4.8 Analisis Perubahan Pentanahan Menara Terhadap Besar Arus                    |    |
| Sambaran Petir .....                                                            | 42 |
| 4.8.1 Perhitungan Resistansi Menara .....                                       | 42 |
| 4.8.2 Analisis Setelah Mengubah Nilai Resistansi dengan<br>Simulasi PSCAD ..... | 43 |

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

|                      |    |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan ..... | 45 |
| 5.2 Saran .....      | 45 |

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1. Spesifikasi Gelombang Berjalan.....                              | 6  |
| Gambar 2.2. Lebar jalur perisaian terhadap sambaran kilat .....              | 7  |
| Gambar 2.3. Penampang Menara Transmisi.....                                  | 11 |
| Gambar 2.4 Model Elektromagnetis Untuk Kegagalan Perisaian .....             | 13 |
| Gambar 2.5 Kawat Tanah .....                                                 | 16 |
| Gambar 2.6 Pentanahan Tiang.....                                             | 16 |
| Gambar 2.7 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat elektroda..... | 18 |
| Gambar 2.8 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda tiga titik. ....     | 19 |
| Gambar 3.1 Tampilan Utama PSCAD.....                                         | 23 |
| Gambar 3.2 Title Bar .....                                                   | 23 |
| Gambar 3.3 Lembar Kerja PSCAD .....                                          | 24 |
| Gambar 3.4 Resistansi Menara .....                                           | 24 |
| Gambar 3.5 Model Isolator.....                                               | 25 |
| Gambar 3.6 Model Arus Petir.....                                             | 25 |
| Gambar 3.7 Model Saluran Transmisi.....                                      | 26 |
| Gambar 3.8 Flowchart Penyelesaian Masalah.....                               | 27 |
| Gambar 3.9 Flowchart Mencari Nilai Resistansi Menara.....                    | 28 |
| Gambar 4.1 Pemodelan Saluran Transmisi Single Circuit .....                  | 29 |
| Gambar 4.2 Single Line Diagram GI Ponorogo .....                             | 32 |
| Gambar 4.3 Pemodelan Saluran Transmisi 150 Kv.....                           | 33 |
| Gambar 4.4 Peta Kerapatan Sambaran Petir.....                                | 35 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 2.1 Tipe tower 150 kV .....                                                                                        | 5  |
| Table 2.2 Type tower 500 kV .....                                                                                        | 5  |
| Tabel 2.2. Hubungan Antara Puncak Arus Kilat dan Seringnya Terjadi.....                                                  | 14 |
| Tabel 2.3 Hubungan Antara Waktu Untuk Mencapai Puncak dan Seringnya Terjadi ...                                          | 14 |
| Tabel 2.4 Standart evaluasi pengujian resistansi pentanahan tower .....                                                  | 17 |
| Tabel 2.5 Resistansi beberapa jenis tanah .....                                                                          | 18 |
| Tabel 4.1 Data Parameter Uji Sistem.....                                                                                 | 29 |
| Tabel 4.2 Hasil Nilai Tegangan Puncak Pada Kondisi Awal dan Sesudah Nilai<br>Resistansi Diubah.....                      | 31 |
| Table 4.3 Nilai Tahanan Pentanahan Menara .....                                                                          | 33 |
| Table 4.4 Tahanan Jenis Tanah.....                                                                                       | 33 |
| Tabel 4.5 Spesifikasi Menara Transmisi.....                                                                              | 34 |
| Tabel 4.6 Kawat Fasa dan Kawat Tanah .....                                                                               | 34 |
| Tabel 4.7 Hasil Perhitungan dengan Perubahan Arus Sambaran yang Mengakibatkan<br>Back Flashover .....                    | 39 |
| Table 4.8 Hasil perhitungan dan simulasi akibat sambaran petir .....                                                     | 41 |
| Tabel 4.9 Hasil Resistansi Penambahan Panjang Elektroda.....                                                             | 42 |
| Tabel 4.10 Tegangan Puncak Menara dan Tegangan Lengan Menara Sebelum dan<br>Sesudah Merubah Nilai Resistansi Menara..... | 44 |

## DAFTAR GRAFIK

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafik 4.1 Gelombang Arus Petir 100 kA .....                                                             | 30 |
| Grafik 4.2 Gelombang Tegangan Puncak Menara.....                                                         | 30 |
| Grafik 4.3 Tegangan Puncak Menara dengan Nilai Resistansi 0,5 $\Omega$ .....                             | 31 |
| Grafik 4.4 Gelombang Petir.....                                                                          | 35 |
| Grafik 4.5 Tegangan Puncak Menara Dengan Sambaran 20 kA.....                                             | 39 |
| Grafik 4.6 Tegangan Lengan Menara Dengan Sambaran 20 kA.....                                             | 40 |
| Grafik 4.7 Tegangan Puncak Menara Dengan Sambaran 180 kA.....                                            | 40 |
| Grafik 4.8 Tegangan Lengan Menara Dengan Sambaran 180 kA.....                                            | 41 |
| Grafik 4.9 Tegangan Lengan Menara Dengan Sambaran 180 kA dengan<br>Resistansi Menara 2,24 $\Omega$ ..... | 43 |
| Grafik 4.10 Tegangan Lengan Menara Dengan Sambaran 180 kA Resistansi Menara<br>0,84 $\Omega$ .....       | 43 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Letak geografis Indonesia berada pada iklim tropis mengakibatkan Indonesia memiliki hari guruh rata-rata per tahun sangat tinggi yaitu sekitar 180-260 guruh per tahun. Dengan demikian potensi sambaran petir pada bangunan di Indonesia memiliki potensi dan probabilitas terkenanya sambaran petir sangatlah besar, terutama pada saluran transmisi [1]. Kerusakan yang di timbulkan oleh sambaran petir dapat membahayakan peralatan dan manusia yang berada disekitar area tersebut.

Petir dikatakan sebagai fenomena probabilitas yang tidak dapat diprediksi kejadiannya<sup>[2]</sup>. Sambaran petir memiliki 2 jenis sambaran yaitu sambaran langsung dan sambaran tidak langsung. Sering terjadinya sambaran petir dapat dilihat dari nilai iso keraunik level (IKL), yang mempresentasikan jumlah hari guruh dalam satu tahun pada suatu wilayah. Nilai iso keraunik level yang tercatat pada BMKG Karangates di daerah Jawa Timur pada tahun 2016 yaitu 134 sambaran dalam satu tahun.

Sistem transmisi merupakan sistem yang sering terkena gangguan sambaran petir terutama sambaran langsung sebab objek dari menara transmisi yang tinggi dan menempati suatu area objek dengan iklim pada daerah tersebut [1]. Sambaran petir yang mengenai kawat tanah maupun menara, akan timbul arus yang mengalir pada menara menuju ke dasar menara kemudian diketanahkan. Apabila tegangan yang timbul pada isolator sama atau melebihi garis *Critical Flashover Voltage* (CFO), maka terjadi *back flashover*.

Dengan pentanahan pada kaki menara transmisi merupakan salah satu faktor yang penting untuk usaha pengamanan dan perlindungan dari gangguan arus lebih dan tegangan lebih yang diakibatkan oleh gangguan petir. Besar kecilnya nilai pentanahan dipengaruhi oleh jenis tanah dan keadaan tanah serta pada ukuran dan susunan elektrode. Sehingga nilai pengukuran tahanan pentanahan, tidak boleh melebihi dari standart yang telah ditentukan oleh PLN.

Di skripsi ini menganalisis kemampuan pentanahan menara SUTT pada saluran transmisi 150 kV Ponorogo-Manisrejo. Untuk mengetahui kemampuan pentanahan akibat dari sambaran petir. Dengan metode pentanahan *driven ground* menggunakan penambahan panjang elektroda menara untuk mendapatkan nilai resistansi yang baik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik arus sambaran langsung pada kawat tanah yang menyebabkan *back flashover* ?
2. Bagaimana cara menentukan nilai resistansi yang baik pada pentanahan menara transmisi SUTT 150 kV Ponorogo-Manisrejo?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik arus sambaran langsung pada kawat tanah yang menyebabkan *back flashover*.
2. Menentukan nilai resistansi yang baik pada pentanahan menara transmisi SUTT 150 kV Ponorogo-Manisrejo.

## 1.4 Batasan Masalah

Supaya tidak terjadi penyimpangan antara maksud dan tujuan dalam penyusunan skripsi ini, maka penulis memberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Analisis dilakukan pada saluran jaringan transmisi SUTT 150 kV Ponorogo-Manisrejo.
2. Analisis data hanya menggunakan parameter-parameter dari pentanahan menara SUTT 150 kV Ponorogo-Manisrejo.
3. Menganalisis nilai ketahanan resistansi menara terhadap sambaran petir.
4. Nilai arus sambaran petir diasumsikan dari 20 kA- 50 kA.
5. Analisis dilakukan mengambil beberapa sampel menara transmisi.
6. Simulasi menggunakan *software* PSCAD/EMTDC dengan mensimulasikan 3 menara.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan arah yang tepat mengenai hal-hal yang akan dibahas, maka dalam skripsi ini disusun sebagai berikut :

**BAB I : PENDAHULUAN**

Dalam bab ini berisikan Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian, dan Sistematika Penulisan yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini dibahas tentang teori-teori yang mendukung dalam perhitungan dan analisa skripsi ini.

**BAB III : METODE PENELITIAN**

Dalam bab ini akan membahas tentang pengolahan data pentanahan menara 150 KV Ponorogo-Manisrejo dan pemodelan simulasi pada PSCAD.

**BAB IV : HASIL DAN ANALISIS HASIL**

Dalam bab ini merupakan bab yang akan memaparkan hasil perhitungan dan hasil simulasi dari PSCAD-EMTDC.

**BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini berisi kesimpulan–kesimpulan yang diperoleh dari analisa dan perhitungan dari pembuatan skripsi ini serta saran–saran guna menyempurnakan dan mengembangkan sistem lebih lanjut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian SUTT**

SUTT adalah suatu sarana saluran udara untuk menyalurkan tenaga listrik berskala besar dari Pembangkit menuju ke pusat-pusat beban dengan menggunakan tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi [3].

Pembangunan jaringan SUTT/SUTET sudah melalui proses rancang bangun yang aman bagi lingkungan serta sesuai dengan standar keamanan internasional, diantaranya:

- Ketinggian kawat penghantar
- Penampang kawat penghantar
- Daya isolasi Medan listrik dan Medan magnet
- Desis korona

Macam Saluran Udara yang ada di Sistem Ketenagalistrikan PLN P3B Jawa Bali antara lain :

- a. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV
- b. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV
- c. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV

##### **2.1.1. Tower SUTT**

Tenaga listrik yang disalurkan melalui sistem transmisi umumnya menggunakan kawat/konduktor telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekitarnya. menara merupakan konstruksi bangunan yang kokoh, yang berfungsi untuk menyangga/merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya [3].

Tower SUTT memiliki berbagai jenis bentuk yaitu sebagai berikut:

- a. Menurut bentuk konstruksi
  - Lattice tower
  - Tubular steel pole
  - Concrete pole
  - Wooden pole

- b. Menurut fungsinya
- Dead end tower
  - Section tower
  - Suspension tower
  - Tension tower
  - Transposition tower
  - Gantry tower
  - Combined tower
- c. Menurut susunan/konfigurasi kawat fasa
- Jenis delta
  - Jenis piramida
  - Jenis zig-zag
- d. Menurut type tower

Table 2.1 Tipe tower 150 kV

| <b>TIPE TOWER</b> | <b>FUNGSI</b>     | <b>SUDUT</b> |
|-------------------|-------------------|--------------|
| Aa                | Suspension        | 0° – 3°      |
| Bb                | Tension / section | 3° – 20°     |
| Cc                | Tension           | 20° – 60°    |
| Dd                | Tension           | 60° – 90°    |
| Ee                | Tension           | > 90°        |
| Ff                | Tension           | > 90°        |
| Gg                | Transposisi       |              |

Sumber: PT. PLN (Persero)

Table 2.2 Type tower 500 kV

| <b>TIPE TOWER</b>     |                     | <b>FUNGSI</b> | <b>SUDUT</b> |
|-----------------------|---------------------|---------------|--------------|
| <b>SIRKIT TUNGGAL</b> | <b>SIRKIT GANDA</b> |               |              |
| A                     | AA                  | Suspension    | 0° – 2°      |
| A R                   | AA R                | Suspension    | 0° – 5°      |
| B                     | BB                  | Tension       | 0° – 10°     |
| C                     | CC                  | Tension       | 10° – 30°    |
| D                     | DD                  | Tension       | 30° – 60°    |
| E                     | EE                  | Tension       | 60° – 90°    |
| F                     | FF                  | Dead end      | 0° – 45°     |
| G                     | GG                  | Transposisi   |              |

Sumber: PT. PLN (Persero)



## 2.2 Sambaran Langsung

Sambaran langsung adalah apabila kilat/petir menyambar langsung pada kawat fasa (untuk saluran tanpa kawat tanah) atau pada kawat tanah (untuk saluran dengan kawat tanah). Apabila sambaran petir menyambar pada tiang menara SUTT, terjadilah gelombang tegangan balik dan kemudian berjalan sepanjang tiang, terkumpul di puncak maupun di dasar tiang, sehingga meningkatkan nilai tegangan yang terdapat di lengan-lengan menara dan kemudian mengganggu isolasi. Isolasi ini akan menyambar balik (*back flash*) jika tegangan transien yang melebihi batas kemampuan isolasi [4].

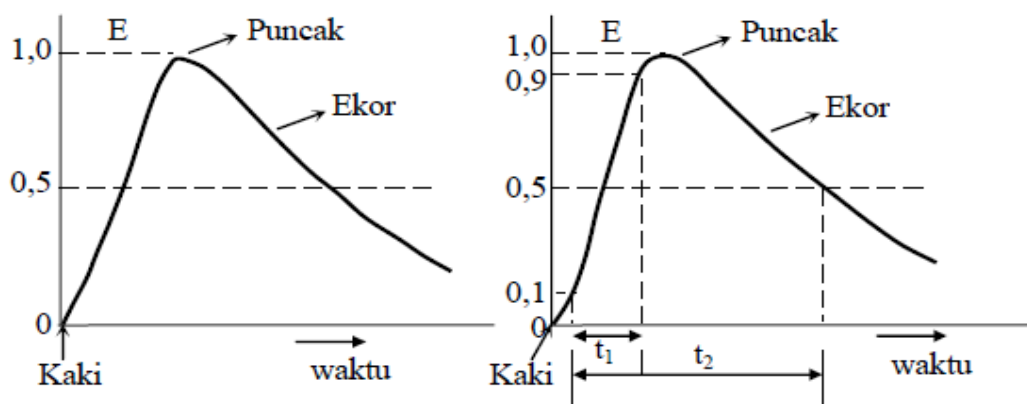
Sambaran langsung merupakan penyebab utama dari gangguan yang akibat dari kilat. Bila sambaran petir mengenai pada suatu menara transmisi, arus yang terjadi sangat besar lalu mengalir ke tanah dan sepasang gelombang berjalan merambat pada kawat tanah.

## 2.3 Gelombang berjalan pada saluran transmisi

Karakteristik dari gelombang serta keadaan pada titik peralihan kawat transmisi, dari sudut energi dapat dikatakan bahwa surja pada kawat disebabkan oleh penyuntikan energi secara tiba-tiba pada kawat. Pada kawat di udara, kecepatan merambat kira-kira 300 meter per mikro-detik jadi sama dengan kecepatan cahaya [4].

Amplitudo gelombang berjalan sepanjang sebuah penghantar daya ke peralatan yang dihubungkan ke saluran udara berpengaruh pada [4]:

- Tingkat kemampuan isolator dalam menahan pulsa.
- Tipe tiang penyangga (baja, kayu dan lain-lain).
- Tipe pentanahan yang digunakan.



Gambar 2.1. Spesifikasi Gelombang Berjalan

Sumber: T.S. Hutaeruk.1989

Spesifikasi dari suatu gelombang berjalan [4]:

- Puncak (*crest*) gelombang,  $E$  (kV), yaitu amplitude maksimum dari gelombang.
- Muka gelombang,  $t_1$  (mikrodetik), yaitu amplitude maksimum dari gelombang. Muka gelombang diambil dari 10%  $E$  sampai 90%  $E$ .
- Ekor gelombang, yaitu bagian dibelakang puncak. Panjang gelombang,  $t_2$  (mikrodetik), yaitu waktu dari permulaan sampai titik 50%  $E$  pada ekor gelombang.
- Polaritas, yaitu polaritas dari gelombang, positif atau negatif.

Suatu gelombang berjalan (surja) dinyatakan sebagai:

$$E, t_1 \times t_2$$

## 2.4 Penangkapan Kilat Oleh Saluran Transmisi

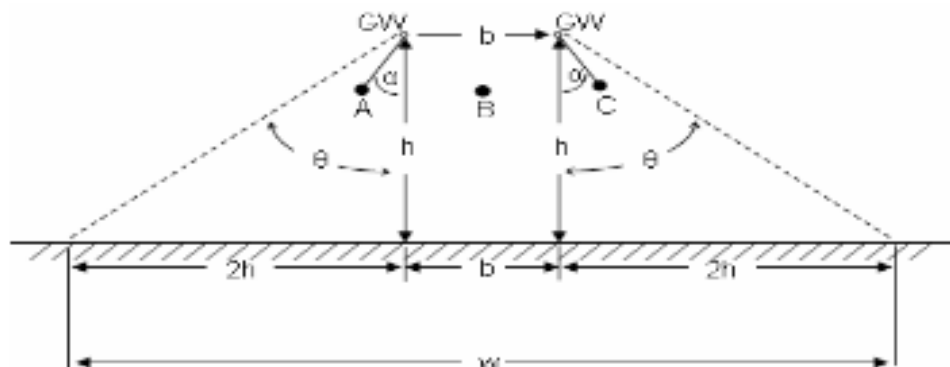
Suatu saluran transmisi di atas tanah dapat dikatakan membentuk bayang-bayang listrik pada tanah yang berada dibawah saluran transmisi.

Kilat yang biasanya menyambar tanah didalam bayang-bayang itu akan menyambar saluran transmisi sebagai gantinya, sedang kilat diluar bayang-bayang itu sama sekali tidak menyambar saluran<sup>[4]</sup>.

Lebar bayang-bayang  $W$ ,

$$W = (b + 4h^{1.09}) \text{ meter}$$

.....(2.1)



Gambar 2.2. Lebar jalur perisaian terhadap sambaran kilat

Sumber: T.S. Hutaeruk.1989

dimana,

$b$  = jarak pemisah antara kedua kawat tanah, meter (bila kawat tanah hanya satu,  $b = 0$ )

$h$  = tinggi rata-rata kawat tanah di diatas tanah =  $h_t - 2/3$  andongan, meter,

$h_t$  = tinggi kawat tanah pada menara, meter.

Tinggi rata-rata kawat diatas tanah untuk ketiga jenis lintasan adalah:

a. Tanah datar :

$$h = h_t - 2/3 \text{ andongan}$$

b. Tanah bergelombang :

$$h = h_t$$

c. Tanah bergunung-gunung :

$$h = 2 h_t$$

## 2.5 Radius Efektif Kawat Tanah dan Kawat Fasa dengan Korona

Pada saluran-saluran tegangan tinggi terutama pada saluran tegangan ekstra tinggi ke atas sering digunakan kawat-kawat berkas (*bundled conductor*). Kawat-kawat berkas direduksi menjadi kawat tunggal ekivalen. Setelah tiap kawat berkas direduksi menjadi kawat tunggal ekivalen, kemudian perlu dicari radius korona apabila ada tegangan yang cukup tinggi pada kawat itu [4].

Sama halnya untuk kawat fasa, amplop (*envelop*) korona yang timbul bila kawat tersebut disambar kilat bisa sangat besar dan memperbaiki penampilan terhadap kegagalan perisaian.

### 2.5.1 Radius Efektif Kawat Tanah dengan Korona

Secara umum kawat tanah terdiri dari kawat tunggal, jadi radius dari amplop korona itu dapat dihitung berdasarkan persamaan (2).

$$R \ln \left( \frac{2h_t}{R} \right) = \frac{v}{E_o} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana,

$R$  = radius amplop korona (m)

$h_t$  = tinggi kawat diatas tanah pada menara (m)

$V$  = tegangan yang diterapkan pada kawat (kV)

$E_o$  = batas gradien korona, (kV/m)

Perhitungan lompatan api balik (*back flashover*) dalam perhitungan kegagalan perisaian besar tegangan yang diterapkan itu diambil 1,8 kali tegangan lompatan api pada 6 $\mu$ s. Besar tegangan lompatan api dari renteng isolator dihitung dalam persamaan (3). Harga  $E_o$  yang digunakan sebesar 1500 kV/meter atau 15 kV/cm [4].

$$V_{fo} = \left( K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan  $K_1$  adalah 0,4 X panjang isolator,  $K_2$  adalah 0,71 X panjang isolator,  $t$  adalah waktu tembus atau waktu lompatan api pada isolator ( $\mu$ s).

### 2.5.2 Radius Efektif Kawat Berkas dengan Korona

Pada saluran udara tegangan ekstra tinggi dan ultra tinggi pada umumnya kawat-kawat fasa terdiri dari kawat berkas. Untuk kawat berkas, dengan adanya sub-konduktor menyebabkan pengurangan yang sangat besar pada diameter korona efektif dari tiap sub-konduktor. Konduktor berkas terlebih dahulu dihitung radius ekivalen dari konduktor berkas tanpa korona pada persamaan 2.4 [4].

$$r_{eki} = \sqrt[N]{r_1 d_{12} d_{13} \dots\dots\dots d_{1N}} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana,

$r_1$  = radius sub-konduktor 1

$d_{1j}$  = jarak sub-konduktor 1 ke sub-konduktor j sampai N, N = jumlah sub-konduktor

## 2.6 Impedansi Surja Kawat dan Impedansi Surja Menara

Seperti yang dikatakan di sebelumnya bahwa amplop korona mengubah kapasitansi kawat tetapi tidak merubah nilai induktansi. Radius efektif dari kawat tunggal adalah harga rata-rata geometris dari radius kawat tanpa korona dan dengan korona. Impedansi surja dari kawat tunggal dengan memperhitungkan pengaruh korona [4].

$$Z_\phi = 60 \sqrt{\ln \frac{2h}{r_{eki}} \times \ln \frac{2h}{R_c}} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana,

$h$  = tinggi rata-rata kawat fasa diatas tanah (m),

$r_{eki}$  = radius ekivalen kawat berkas (m),

$R_c$  = radius korona kawat berkas (m).

Perhitungan impedansi surja kawat tanah dibedakan dalam dua keadaan, yaitu keadaan terjadi korona dan keadaan tidak ada korona. SUTT biasanya digunakan rumus-rumus tanpa korona sedangkan untuk SUTET dan SUTUT selalu dianggap terjadi korona.

Bila tidak terjadi korona:

$$Z_g = 60 \ln \left( \frac{2h_t}{r_{gw}} \right) \quad \text{untuk} \quad \text{satu} \quad \text{kawat} \quad \text{tanah} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Z_g = 60 \ln \left( \frac{2h_t}{\sqrt{a_{12} r_{gw}}} \right) \quad \text{untuk dua kawat tanah} \dots \dots \dots (2.7)$$

Bila terjadi korona :

$$Z_g = 60 \sqrt{\ln \frac{2h_t}{r} \ln \frac{2h_t}{R}} \quad \text{untuk satu kawat tanah} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$Z_g = \frac{Z_{11} + Z_{12}}{2} \quad \text{untuk} \quad \text{dua} \quad \text{kawat} \quad \text{tanah} \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana,

$Z_{11}$  = impedansi surja sendiri dari satu kawat tanah

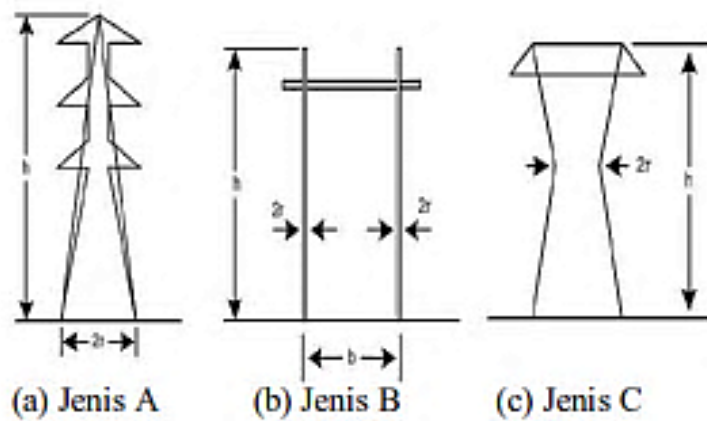
$Z_{12}$  = impedansi surja bersama antara kedua kawat tanah

$R$  = radius amplop korona dari kawat tanah

$r_{gw}$  = radius kawat tanpa korona

$h_t$  = tinggi kawat tanah pada menara

Sedang impedansi surja menara dapat dihitung menurut model menara transmisi.



Gambar 2.3. Penampang Menara Transmisi  
Sumber: T.S. Hutaeruk.1989

Untuk menara jenis A besar impedansi totalnya adalah

$$Z_t = 30 \ln \left[ \frac{2(h^2 + r^2)}{r^2} \right] \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk menara jenis B besar impedansi totalnya adalah

$$Z_t = \frac{1}{2} (Z_s + Z_m) \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana,

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

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

Untuk menara jenis C besar impedansi totalnya adalah

$$Z_t = 60 \left[ \ln \left( \sqrt{2} \frac{2h}{r} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

## 2.7 Tegangan Pada Puncak menara dan Tegangan Lengan Menara

Untuk menghitung tegangan pada puncak menara diperoleh persamaan sebagai berikut [5]:

$$V_T = \left[ Z_I - \frac{Z_W}{1-\psi} \left( 1 - \frac{\tau_T}{1-\psi} \right) \right] \cdot I \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan,

$$\tau_T = \frac{h}{300} \mu S \dots\dots\dots (2.14)$$

$$Z_I = \frac{Z_g Z_t}{Z_g + 2Z_t} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$Z_w = \left[ \frac{2Z_g^2 Z_t}{(2Z_g + Z_t)^2} \right] \left[ \frac{Z_t - R}{Z_t + R} \right] \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\psi = \left[ \frac{2Z_t - Z_g}{(2Z_t + Z_g)^2} \right] \left[ \frac{Z_t - R}{Z_t + R} \right] \dots\dots\dots (2.17)$$

dimana,

$Z_g$  = impedansi surja kawat tanah

$Z_t$  = impedansi surja menara

$R$  = tahanan kaki menara

Tegangan pada crossarm dapat dihitung dengan interpolasi tegangan puncak menara dengan tegangan dasar menara. Persamaan dari tegangan crossarm sebagai berikut.

$$V_{pn} = V_R + \frac{\tau_T - \tau_{pn}}{\tau_T} [V_T - V_R] \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan menghitung tegangan pada kaki menara terlebih dahulu.

$$V_R = \left[ \frac{\alpha_R Z_l}{1 - \psi} \right] \left[ 1 - \frac{\psi \tau_T}{(1 - \psi)} \right] \cdot I \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\alpha_R = \frac{2R}{Z_t + R} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\tau_T = \frac{Y_n}{300} \mu s \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana,

$\tau_{pn}$  = waktu rambat dari puncak menara ke crossarm

$\tau_T$  = waktu rambat dari puncak menara ke dasar menara

$Y_n$  = jarak vertikal puncak tower ke crossarm

## 2.8 Dampak Gangguan Kilat

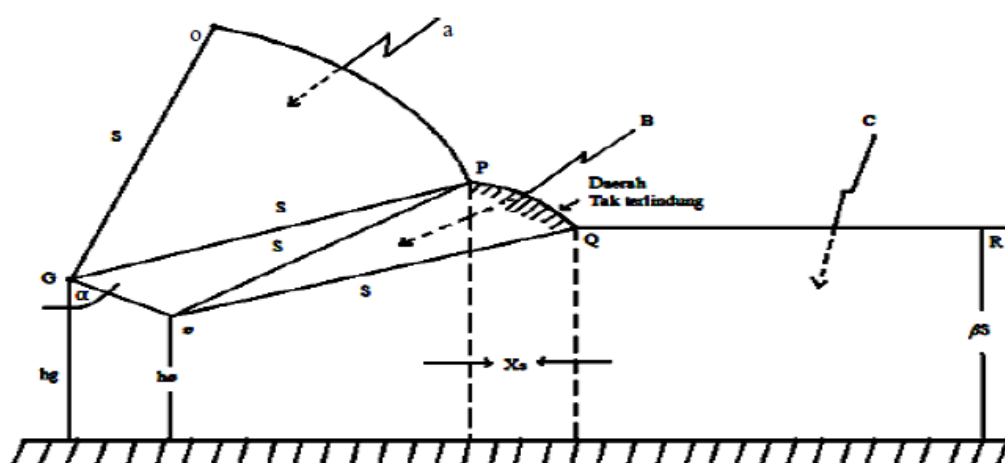
### 2.8.1 Kegagalan Perisaian

Pada tahun 1960 Provoost mengemukakan suatu resume yang sangat baik mengenai peranan kawat tanah. Berdasarkan teori itu Provoost menarik kesimpulan bahwa<sup>[13]</sup>:

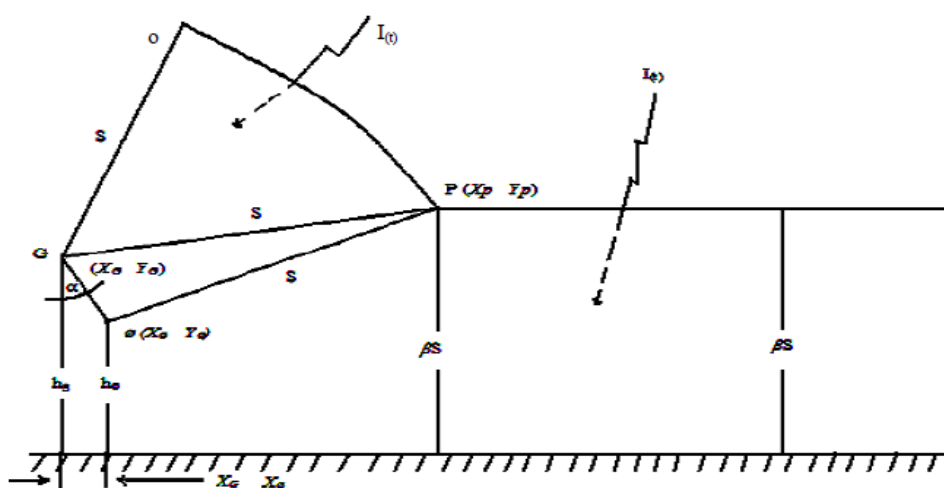
- Untuk sudut perisaian  $\leq 18^\circ$  perisaian kawat transmisi itu baik.
- Untuk sudut perisaian  $\leq 30^\circ$  kurang baik, dan
- Untuk sudut perisaian  $> 40^\circ$  jelek.

Jumlah gangguan kilat karena kegagalan perisaian adalah sebagai fungsi dari sudut perisaian dan tinggi menara, seperti terlihat pada persamaan berikut.

Sebagai gambaran untuk dapat memahami tentang kegagalan perisaian dijelaskan berikut ini. Bila sambaran kilat mendekat pada jarak  $S$  dari saluran dan bumi, maka sambaran kilat itu akan dipengaruhi oleh benda apa saja yang berada dibawah dan melompati jarak  $S$  untuk mengadakan kontak dengan benda itu. Jarak  $S$  disebut jarak sambaran dan inilah konsep dari teori elektro geometris, bila  $X_s = 0$  dinamakan perisaian efektif (Gambar 2.4a. dan 2.4b.)



a. Perisaian tidak sempurna,  $X_s$  daerah tidak terlindung



b. Perisaian efektif

Gambar 2.4 Model Elektromagnetis Untuk Kegagalan Perisaian

Sumber: T.S. Hutaauruk.1989



Jarak sambaran adalah sebagai fungsi dari muatan, oleh karena itu dari arus dalam kanal dari sambaran kilat yang mendekatinya. Jarak sambaran itu diberikan oleh Whitehead sebagai.

$$S = 8.I^{0,65} \text{ meter} \quad \text{.....(2.22)}$$

dimana:

S = jarak sambaran, meter

I = arus kilat, kA

### 2.8.2 Lompatan Api Balik [12]

Sambaran petir pada menara transmisi atau kawat tanah dapat mengakibatkan *Back Flashover* (BFO), hal ini dapat terjadi apabila isolasi udara mengalami kegagalan akibat kenaikan tegangan yang sangat tinggi pada menara transmisi. Besarnya tegangan yang timbul pada isolator transmisi tergantung pada kecuraman, puncak, dan waktu muka gelombang kilat atau petir. Hubungan antara puncak arus kilat dan seringnya terjadi sambaran seperti Tabel 2.2 dan hubungan antara waktu untuk mencapai puncak dan seringnya terjadi seperti Tabel 2.3

Tabel 2.2. Hubungan Antara Puncak Arus Kilat dan Seringnya Terjadi

| Arus Puncak Kilat (kA) | Seringnya Terjadi (%) |
|------------------------|-----------------------|
| Sampai 60              | 90                    |
| 80                     | 8                     |
| 100                    | 1,2                   |
| 160                    | 0,5                   |
| 200 atau lebih         | 0,3                   |

Tabel 2.3 Hubungan Antara Waktu Untuk Mencapai Puncak dan Seringnya Terjadi

| Muka Gelombang Kilat ( $\mu$ s) | Seringnya Terjadi (%) |
|---------------------------------|-----------------------|
| Sampai 0,5                      | 7                     |
| 1                               | 23                    |
| 1,5                             | 22                    |
| 2,0 dan lebih                   | 48                    |

Arus puncak kilat yang biasanya dapat menyebabkan *flashover* adalah yang mempunyai nilai lebih dari 80 kA. Perhitungan waktu muka gelombang kilat biasanya

diambil sampai 2  $\mu$ s, karena pada waktu itu gelombang pantulan negatif dari menara yang berdekatan dengan menara yang disambar kilat telah sampai kembali pada tempat kilat menyambar tadi sehingga tegangan menara turun.

## 2.9 Pelindung Saluran Transmisi

Sambaran langsung adalah penyebab utama dari gangguan yang disebabkan oleh kilat. Gangguan akibat sambaran kilat langsung yaitu kawat tanah sambaran pada kawat fasa (*shielding failure outage*) atau sambaran pada menara <sup>[4]</sup>. *Lighting Performance* (LP) merupakan gangguan *Shielding Failure* (NSF) antara gangguan *Back Flashover* (BFO), sehingga dapat dituliskan:

$$LP = NSF + BFO$$

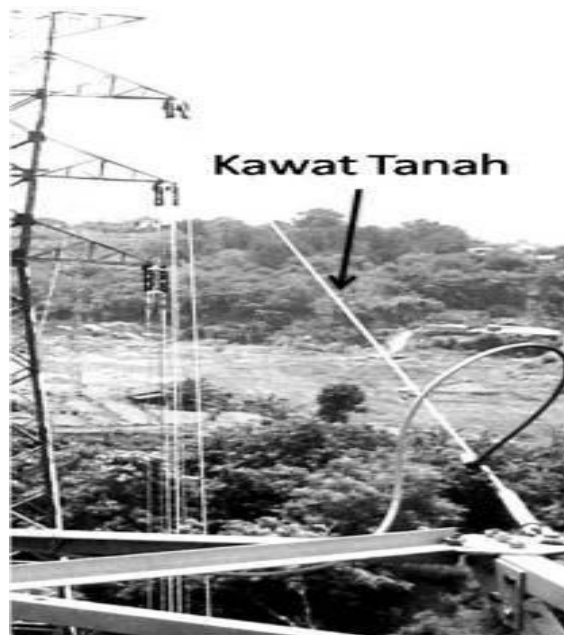
### 2.9.1 Kawat Ground Steel Wire (GSW)/ Optic Ground Wire (OPGW)

Kawat GSW/ OPGW adalah media untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir. Kawat tanah dipasang berada di atas kawat fasa dengan sudut perlindungan yang sekecil mungkin, dengan anggapan petir menyambar dari atas konduktor. Namun, apabila petir menyambar dari samping maka dapat berakibat kawat fasa tersambar dan dapat mengakibatkan terjadinya gangguan [3].

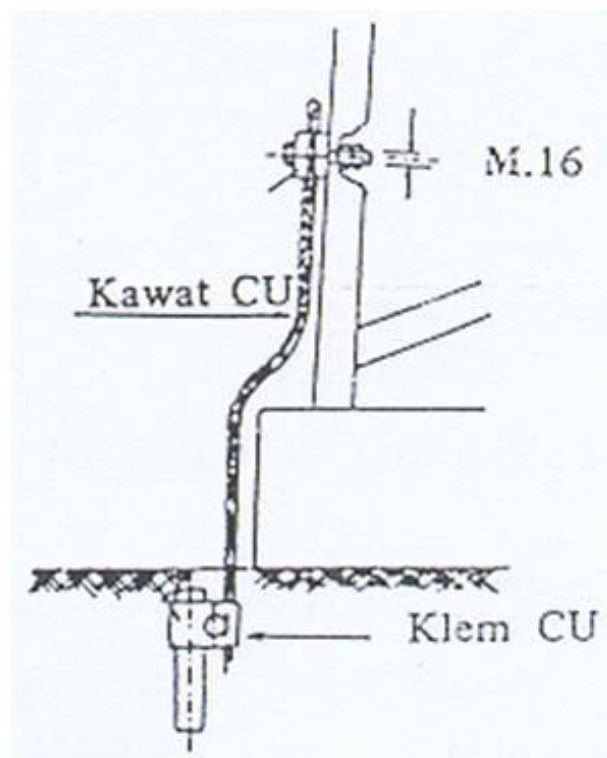
Jumlah Kawat GSW/OPGW pada SUTT maupun SUTET paling sedikit ialah satu buah di atas konduktor fasa, namun pada umumnya dipasang dua buah. Pemasangan satu buah konduktor tanah untuk dua penghantar fasa akan membuat sudut perlindungan menjadi besar sehingga kawat fasa mudah tersambar petir. Gambar kawat tanah pada Menara dapat dilihat pada Gambar 2.5.

### 2.9.2 Pentanahan (*Grounding*) [3]

Pentanahan menara adalah perlengkapan pembumian dari sistem transmisi yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari tiang SUTT maupun SUTET ke tanah. Pentanahan tiang terdiri dari kawat baja atau kawat tembaga yang diklem pada pipa pentanahan yang ditanam di dekat pondasi tiang, atau dengan menanam plat tembaga / aluminium disekitar pondasi tiang yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari kawat tanah akibat dari sambaran petir.



Gambar 2.5 Kawat Tanah



Gambar 2.6 Pentanahan Tiang

Pentanahan tiang berfungsi untuk mengalirkan arus dari kawat tanah akibat sambaran petir yang kemudian arus di netralkan melalui pentanahan, oleh karena itu nilai pentanahan menara harus dibuat sekecil mungkin agar tidak mengakibatkan

tegangan tiang yang tinggi yang pada akhirnya dapat mengakibatkan gangguan disistem penyaluran. Batasan nilai pentanahan tiang sebagai berikut [4]:

Tabel 2.4 Standart evaluasi pengujian resistansi pentanahan tower

| PERALATAN<br>YANG<br>DIPERIKSA | TEGANGAN<br>OPERASI | STANDAR               |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Pentanahan<br>(Grounding)      | 70 kV               | $\leq 5 \text{ Ohm}$  |
|                                | 150 kV              | $\leq 10 \text{ Ohm}$ |
|                                | 275 kV/500 kV       | $\leq 15 \text{ Ohm}$ |

Salah satu faktor kunci dalam usaha perlindungan sistem tenaga listrik adalah pentanahan. Suatu tindakan pengamanan yang baik akan dilaksanakan, maka harus terdapat sistem pentanahan yang dirancang dengan benar. Pentanahan sistem tenaga listrik, baik dari pentanahan titik netral dan pentanahan perlengkapan mempunyai pengaruh dalam kelancaran dan keamanan dari sistem tersebut, terutama dalam keadaan gangguan yang berhubungan dengan tanah. Dengan suatu metode cara pentanahan atau pembumian yang baik dan efektif dapat diharapkan kerugian yang ditimbulkan oleh gangguan petir dapat dikurangi atau dapat dihindari.

## 2.10 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang dipresentasikan dengan  $\rho$ . Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu<sup>[6]</sup> :

- Jenis tanah
- Lapisan tanah
- Kelembaban tanah
- Temperatur

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 Ohm Per  $\text{cm}^3$ . Untuk mengurangi perubahan tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pengetanahan dapat dilakukan dengan menanam elektroda sampai dengan kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan. Pada sistem pengetanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar.

Tahanan tanah ditentukan dari tahanan elektroda dan pada kedalaman beberapa pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah sangat

bervariasi di berbagai tempat, dan akan berubah menurut iklim, tahanan tanah tersebut di tentukan oleh kandungan elektrolit di dalamnya, seperti air, mineral-mineral garam-garaman. Tanah kering dan berbatu mempunyai nilai tahanan yang tinggi, tetapi tanah basah juga dapat mempunyai tahanan tinggi, apabila tidak mengandung garam-garaman yang dapat larut. Pengaruh Jenis Tanah, nilai resistansi pentanahan untuk berbagai jenis tanah adalah berbeda. Hal ini disebabkan karena struktur tanah yang berlainan antara jenis tanah yang satu dengan jenis tanah lainnya.

Tabel 2.5 Resistansi beberapa jenis tanah

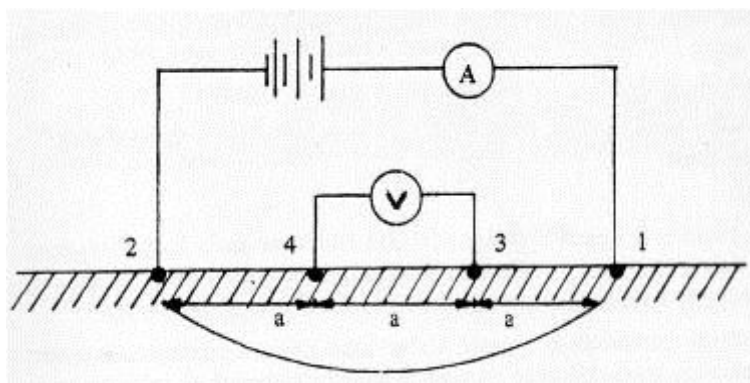
| Jenis Tanah              | Resistansi Jenis ( $\Omega\text{-m}$ ) |
|--------------------------|----------------------------------------|
| Tanah rawa               | 30                                     |
| Tanah liat dan ladang    | 100                                    |
| Pasir basah              | 200                                    |
| Kerikil basah            | 500                                    |
| Pasir dan kerikil kering | 1000                                   |
| Tanah berbatu            | 3000                                   |

## 2.11 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dengan menggunakan metode, sebagai berikut:

- Metode empat elektroda ( *four electrode method* )
- Metode tiga titik ( *three-point method* ).

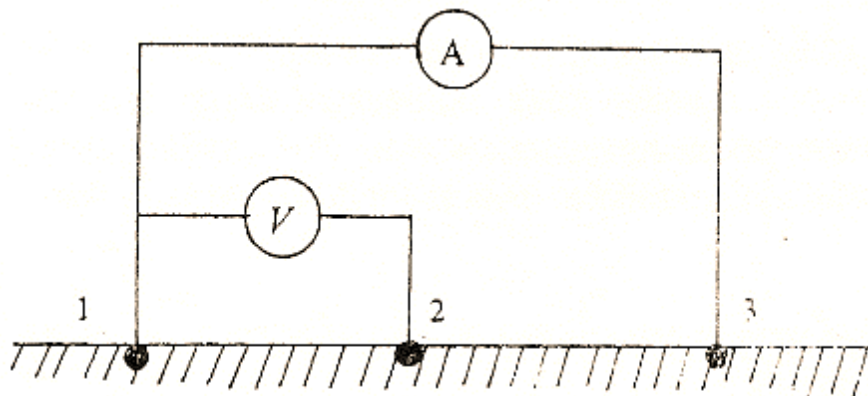
Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat elektroda yaitu dengan menggunakan empat buah elektroda, sebuah baterai, sebuah amperemeter dan sebuah voltmeter yang sensitif.



Gambar 2.7 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat elektroda

Sumber: T.S. Hutaaruk.1987

Metoda tiga titik yaitu pengukuran tahanan jenis tanah dengan tiga buah batang electrode dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang 2 dan 3 sebagai batang pengetanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya.



Gambar 2.8 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda tiga titik.

Sumber: T.S. Hutaeruk.1987

## 2.12 Sistem Pengetanahan

### 2.12.1 Driven Ground [9]

Bila menggunakan batang pengetanahan, tahanan kaki menara dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = \left( \frac{\rho}{2\pi L} \right) \ln \left( \frac{2L}{d} \right) \dots \dots \dots (2.24)$$

dimana:

$R$  = tahanan kaki menara, Ohm.

$\rho$  = tahanan jenis tanah, Ohm-meter.

$L$  = panjang dari batang pengetanahan, meter.

$d$  = diameter batang pengetanahan, meter.

Menurut persamaan diatas, tahanan kaki menara akan berkurang dengan menambah panjang batang pengetanahan. Tetapi hubungan ini tidak langsung dan akan mencapai satu titik dimana penambahan panjang batang pengetanahan hanya akan mengurangi tahanan kaki menara sedikit. Dalam hal ini batang pengetanahan parallel digunakan. Dalam hal ini digunakannya batang pentanahan parallel, rumus diatas tetap dapat digunakan untuk menghitung tahanan kaki menara, bila variable " $d$ " diubah menjadi " $A$ ". Harga  $A$  adalah kelipatan dari batang pengetanahan yang tergantung dari penempatan masing-masing batang pengetanahan sebagai berikut:

### Penempatan batang

2 batang diletakkan dimana saja

$$A = \sqrt{ar}$$

3 batang diletakkan membentuk segitiga

$$A = \sqrt[3]{a^2 r}$$

4 batang diletakkan membentuk segi empat

$$A = \sqrt[4]{2^{1/2} a^3 r}$$

Dimana:

$r$  = jari-jari dari masing-masing batang pengetanahan.

$a$  = jarak antara batang pengetanahan.

### 2.12.2 Counterpoise [9]

Untuk daerah-daerah yang mempunyai lapisan tanah yang berkotur keras dan berbatu-batu atau daerah yang tahanan jenis tanahnya tinggi, batang pengetanahan tidak praktis digunakan. Bilamana digunakan system *counterpoise*, tahanan kaiki menara secara teoritis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = \sqrt{r \cdot \rho} \cdot \text{Coth} \left( L \sqrt{r/\rho} \right) \text{ Ohm} \dots \dots \dots (2.25)$$

Dimana:

$L$  = panjang kawat, meter.

$\rho$  = tahanan jenis tanah, Ohm-meter.

$r$  = tahanan kawat tanah, Ohm/meter

Ketika surja petir mencapai *counterpoise*, tahanan efektif *counterpoise* tersebut permulaan tinggi, (sekitar 150 Ohm). Tahanan mula ini adalah impedansi surja dari *counterpoise*. Pada saat surja merambat sepanjang kawat, tahanannya menurun sampai suatu harga yang tetap yang diberikan oleh rumus diatas.

Tujuan desain *counterpoise* adalah mencapai tahanan yang tetap dari *counterpoise* sebelum tegangan puncak menara mencapai loncatan api dari isolator. Panjang minimum kawat sebagai berikut:

$$L = \sqrt{\frac{\rho}{r}} \text{Coth}^{-1} [R/\sqrt{r \rho}] \dots \dots \dots (2.26)$$

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Metode yang Digunakan**

Dalam analisis kemampuan pentanahan menara terhadap sambaran petir langsung, penelitian ini menggunakan bentuk gelombang impuls petir standar IEC. Penelitian ini dimulai dengan melakukan survey data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) TJBTB APP MADIUN, dengan data sistem saluran transmisi 150kV Ponorogo-Manisrejo maka simulasi dapat dilakukan. Pada simulasi ini untuk mengetahui kemampuan pentanahan menara jika terkena sambaran hingga mengakibatkan *back flashover*. Setelah itu melakukan analisis besar nilai pentanahan dengan metode rumus *driven ground* untuk mendapatkan nilai pentanahan menara yang baik untuk mengurangi gangguan yang terjadi.

#### **3.2 Software PSCAD**

*Power System Computer Aided Design (PSCAD)* merupakan *software* pendukung untuk simulasi, desain, dan verifikasi semua sistem tenaga listrik. *Software* ini memberikan fasilitas untuk penelitian dan analisis dalam bidang elektronika daya, kualitas daya, proteksi dan perancangan peralatan yang mendukung kinerja sistem tenaga listrik. Dibandingkan dengan *software* lain, *software* ini memiliki kecepatan dan akurasi yang lebih baik serta lebih mudah. PSCAD biasa dikenal dengan nama PSCAD/EMTDC karena EMTDC adalah bagian fungsi simulasi yang terintegrasi dengan PSCAD untuk mendukung fungsi tampilan grafis PSCAD. Dengan adanya fasilitas EMTDC, *software* ini sangat sesuai untuk mendesain simulasi suatu sistem tenaga listrik beserta sistem kontrol secara online berdasarkan rentang waktu tertentu (*time domain instantaneous response*). Fungsi desain, analisis dan tampilan grafik untuk suatu sistem tenaga listrik yang akan dianalisa dapat ditampilkan dalam suatu paket dengan dilengkapi fasilitas kontrol unit, meter, dan online plotting grafis yang interaktif. Dengan kemampuan ini, *software* PSCAD/EMTDC sudah digunakan dalam bidang manufaktur, penelitian, dan konsultan sebagai alat analisa yang utama. PSCAD memberikan fasilitas untuk studi dan analisis dalam bidang elektronika daya, kualitas daya, proteksi, dan perencanaan peralatan yang mendukung kinerja sistem tenaga listrik.



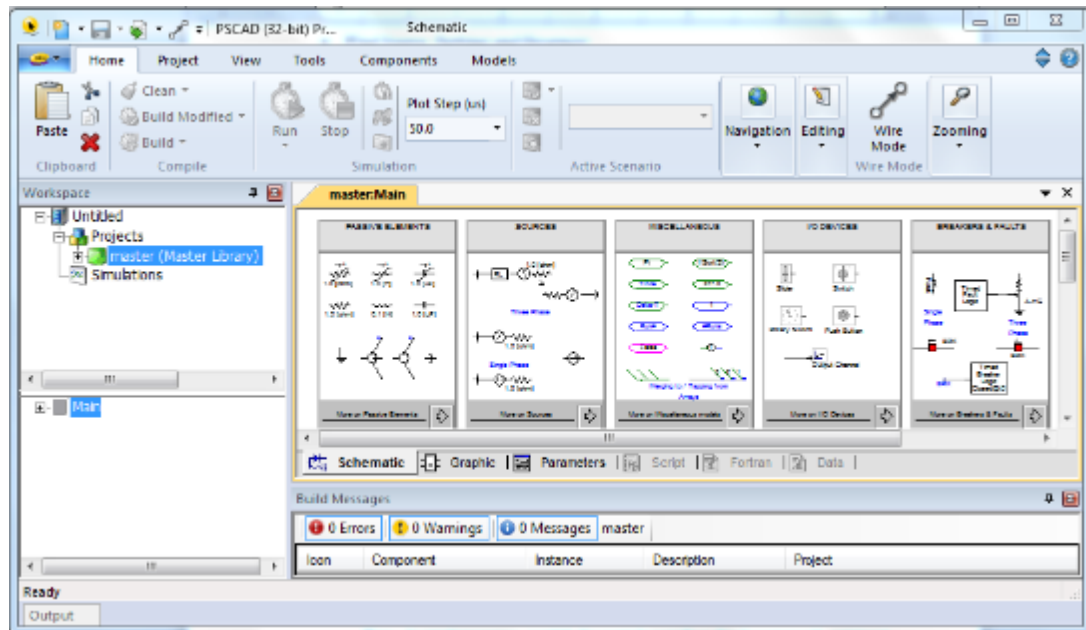
Untuk mendukung berbagai fungsi skenario simulasi pada sistem tenaga listrik, PSCAD dilengkapi dengan *library* dan model peralatan mulai dari elemen pasif dan sistem kontrol yang sederhana sampai dengan model yang kompleks seperti mesin elektrik, peralatan *FACTS* dan sistem transmisi serta model penghantar dan kabel. Apabila model yang diinginkan belum ada, PSCAD menyediakan fasilitas untuk *editing* dan desain model sesuai dengan kebutuhan baik dengan menggabungkan model yang sudah ada maupun dengan menggunakan fasilitas editor desain. Berikut beberapa model yang dapat digunakan dalam *software* PSCAD, antara lain :

- *Resistors, Inductors, Capacitors*
- *Mutually Coupled Windings, such as Transformers*
- *Frequency dependent transmission lines and cable (including the most accurate time domain line model in the world)*
- *Current and Voltage sources*
- *Switches and breakers*
- *Protection and relaying*
- *Diodes, thyristors, GTOs, IGBTs*
- *Analog and Digital Control Functions*
- *AC and DC machines, Exciters, Governors, Stabilizers, and Inertial Models*
- *Meters and Measuring Functions*
- *Generic DC and AC Control*
- *HVDC, SVC, and other FACTS Controllers*
- *Wind Source, Turbines and Governors*

### **3.2.1 Simulasi Pada PSCAD**

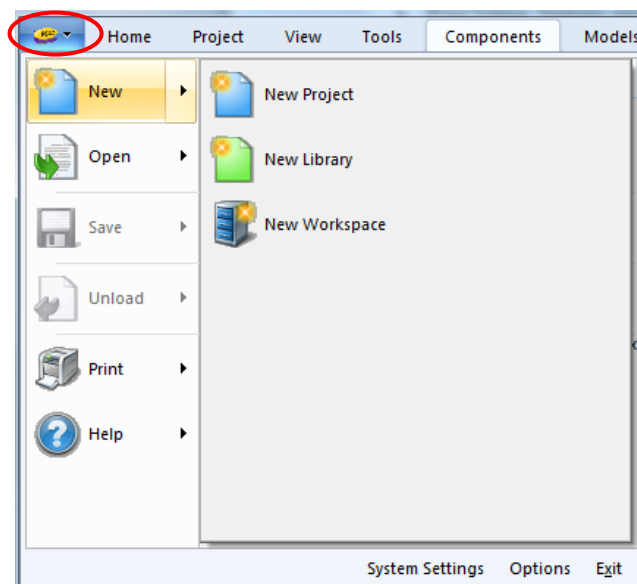
Pada bagian ini akan membahas tentang langkah-langkah dalam penggunaan simulasi PSCAD untuk keperluan desain dan analisa sistem tenaga listrik. Secara garis besar pada bagian ini memaparkan cara pengoperasian simulasi.

Untuk memulai menjalankan program PSCAD, langkah awal ialah klik menu Start|All Program|pilih PSCAD pada Windows Start Menu dan pilih PSCAD yang telah terinstall pada perangkat komputer. Setelah melakukan langkah tersebut maka tampilan menu PSCAD akan terbuka.



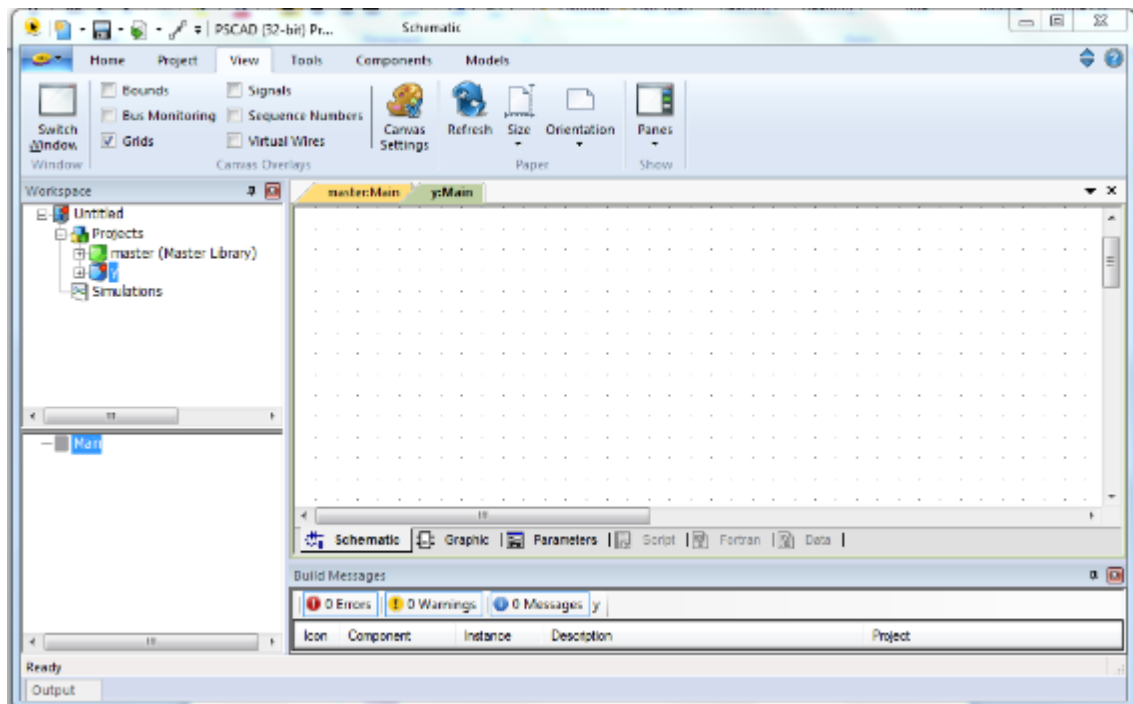
Gambar 3.1 Tampilan Utama PSCAD

Untuk memulai sebuah project baru klik PSCAD Boton yang berada pojok kiri atas, lalu pilih New | New Project.



Gambar 3.2 Title Bar

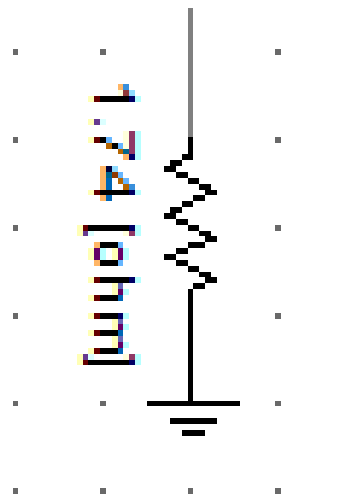
Setelah melakukan prosedur diatas maka lembar kerja PSCAD terbuka, tampilan lembar kerja seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Lembar Kerja PSCAD

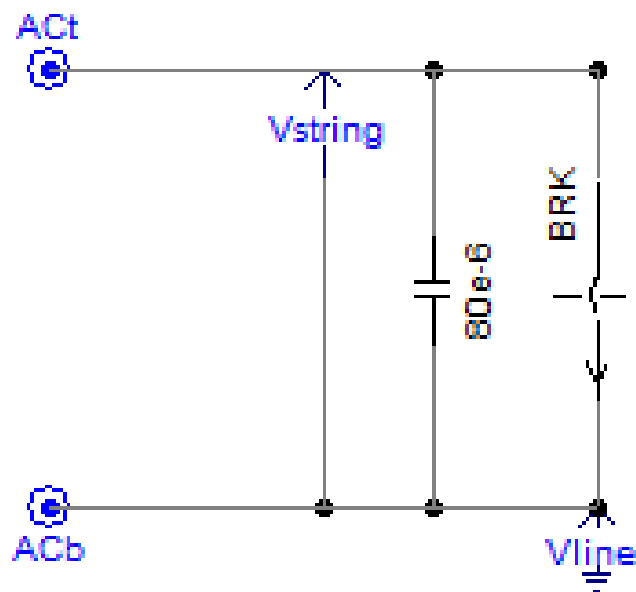
Setelah lembar kerja terbuka maka dapat memulai memodelkan saluran transmisi untuk sistem analisis kemampuan pentanahan menara SUTT.

Untuk memberi nilai pada pentanahan kaki menara dipresentasikan dengan komponen resistor.



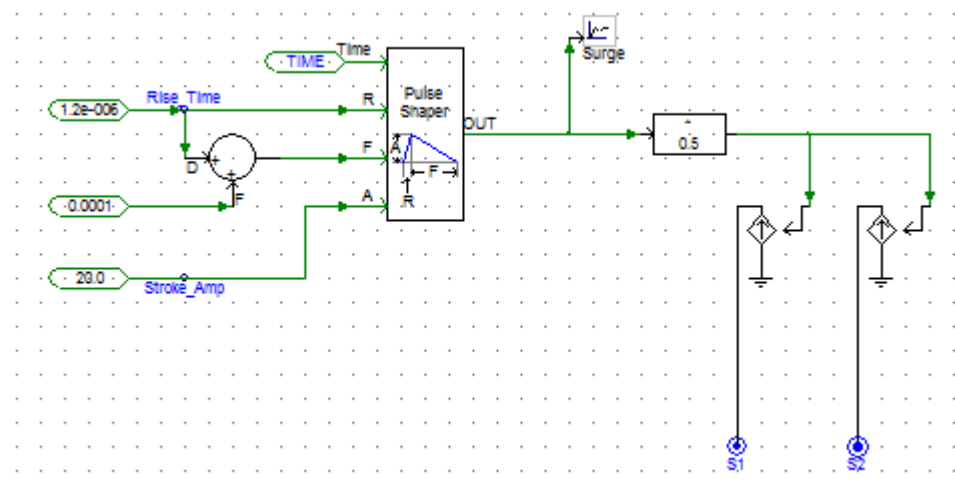
Gambar 3.4 Resistansi Menara

Pada Gambar 3.5 isolator dimodelkan seperti.



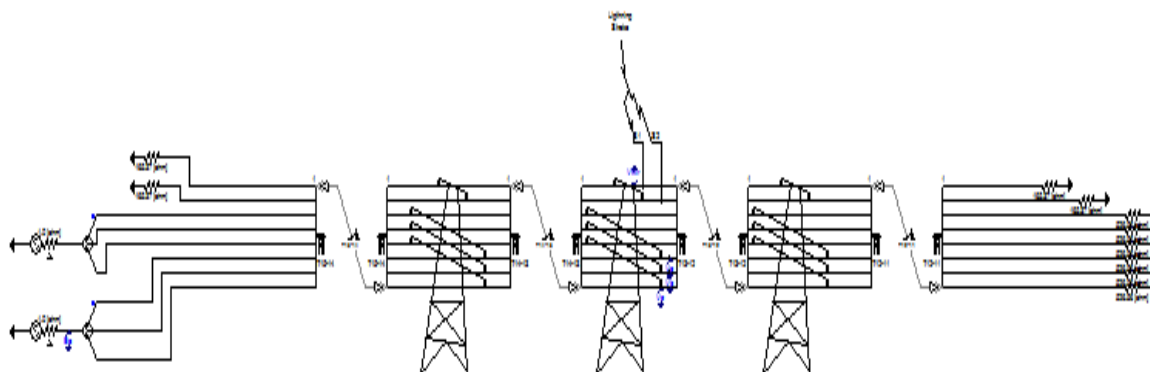
Gambar 3.5 Model Isolator

Untuk memberi nilai sumber arus petir dipresentasikan seperti Gambar 3.8



Gambar 3.6 Model Arus Petir

Sehingga didapat sebuah pemodelan saluran transmisi pada simulasi PSCAD digambarkan seperti Gambar 3.6. Yang mana terdapat 3 gambar simulasi menara dan sumber arus petir sebagai gangguan pada saluran transmisi yang menyambar pada kawat tanah.



Gambar 3.7 Model Saluran Transmisi

### 3.3 Algoritma simulasi pada *Software PSCAD*

a. Mulai

b. Input data

Data : konstruksi menara, jumlah dan jenis kawat fasa dan kawat tanah, resistansi menara, dan tahanan jenis tanah.

c. Menghitung impedansi surja kawat tanah ( $Z_g$ ) dengan persamaan 2.7, impedansi surja menara ( $Z_T$ ) dengan persamaan 2.10, dan tegangan impuls isolator ( $V_{fo}$ ) dengan menggunakan persamaan 2.3.

d. Memodelkan saluran transmisi 150 kV pada program simulasi PSCAD.

e. Memodelkan sumber arus petir (kA).

f. Jalankan simulasi *back flashover* dengan gangguan sambaran langsung pada kawat tanah.

g. Bandingkan nilai perhitungan tegangan lengan menara dengan nilai disimulasi menggunakan persamaan 2.18.

h. Apakah terjadi *back flashover* ( $V_{pn} \leq V_{fo}$ ).

- Jika “Tidak” mensimulasikan *back flashover*, jika “Ya” naikan arus petir antara 20 kA – 200 kA kemudian ulangi langkah 6.

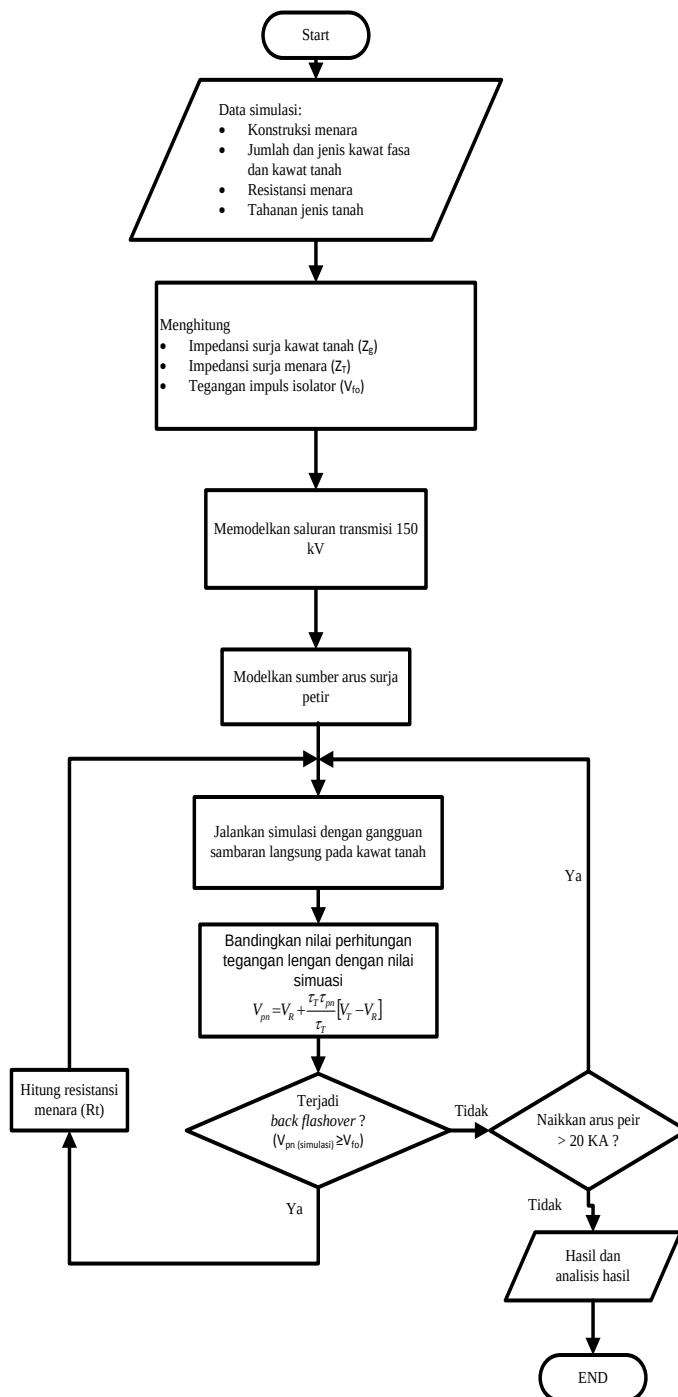
- Jika “Ya” hitung resistansi menara ( $R_T$ ), ulangi langkah 6 bila sudah  $R_T$  baik, jika “Tidak” terjadi *back flashover*, kelangkah berikut jika “Tidak” menaikkan arus petir maka lanjut langkah berikutnya.

i. Hasil dan analisis hasil

j. Selesai.

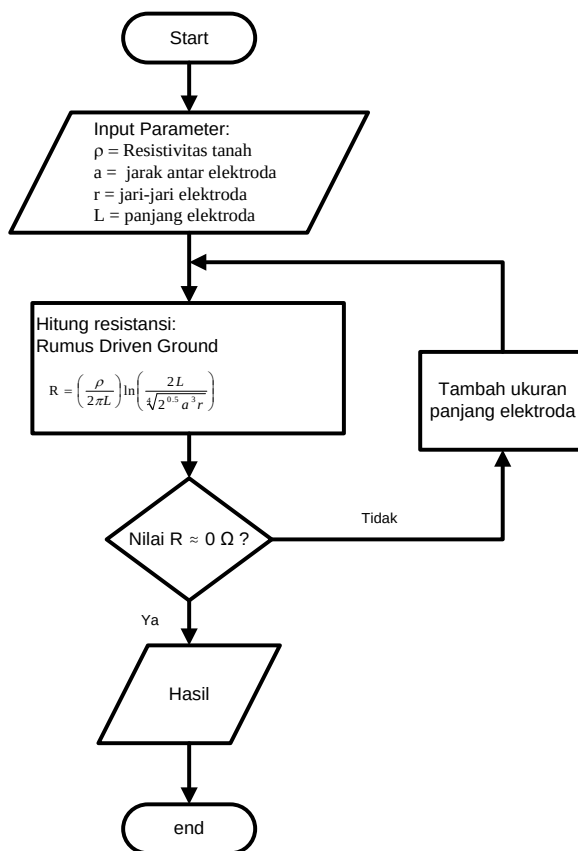
### 3.4 Flowchart Penyelesaian Masalah

#### 3.4.1 Flowchart Kemampuan Resistansi Menara



Gambar 3.8 Flowchart Penyelesaian Masalah

### 3.4.2 Flowchart Menghitung Nilai Resistansi



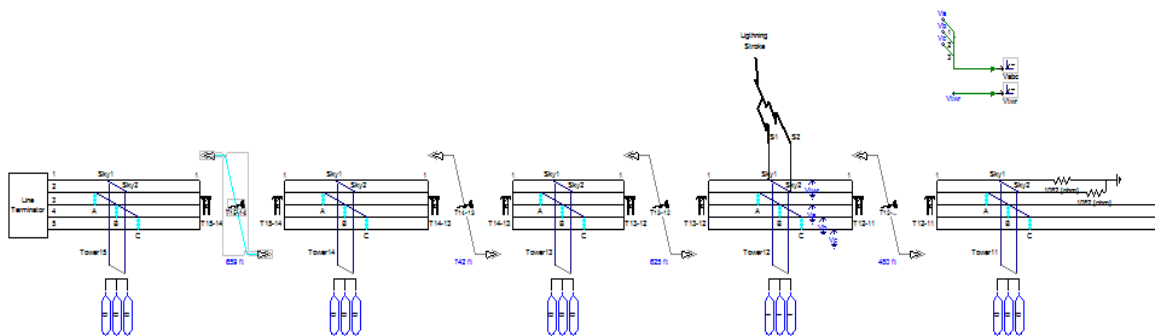
Gambar 3.9 Flowchart Mencari Nilai Resistansi Menara

## BAB IV

### ANALISIS DAN HASIL

#### 4.1 Uji Standart Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk melihat proses untuk penyelesaian dari hasil skripsi, dengan pengujian sistem tersebut bertujuan untuk membandingkan dari hasil analisis yang akan dilakukan.



Gambar 4.1 Pemodelan Saluran Transmisi *Single Circuit*

Adapun data yang diinputkan pada pemodelan saluran pada uji sistem ini dalam *software PSCAD/EMTDC power simulation* yaitu :

Tabel 4.1 Data Parameter Uji Sistem

| Keterangan    | Nilai      |
|---------------|------------|
| Arus Sambaran | 100 kA     |
| Resistansi    | 5 $\Omega$ |
| Tinggi Menara | 29,56 m    |

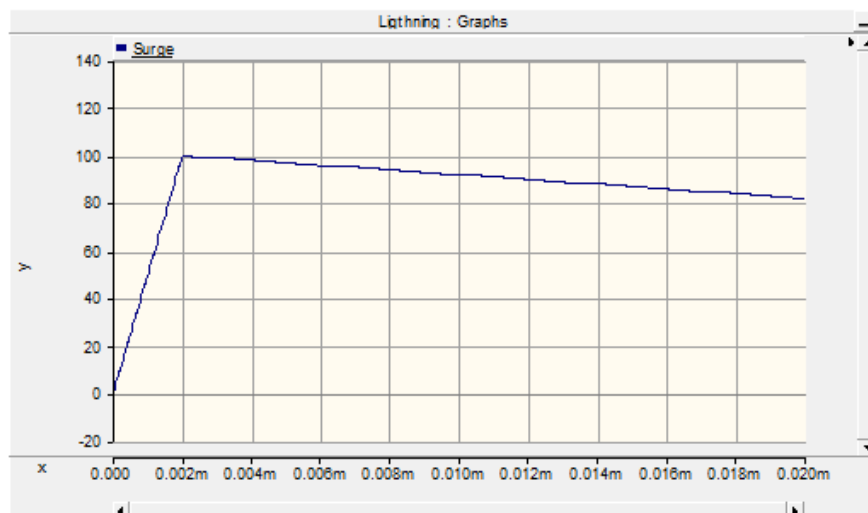
Pada simulasi nantinya akan dilakukan analisis besar tegangan puncak akibat dari sambaran petir dengan nilai resistansi yang telah ditetapkan sebelumnya, kemudian setelah didapat nilai hasil tegangan puncak maka akan dilakukan perubahan nilai pentanahan yang dimaksud agar untuk memperkecil tegangan yang terjadi pada puncak menara.



#### 4.1.1 Simulasi Sambaran Petir pada Saluran Transmisi

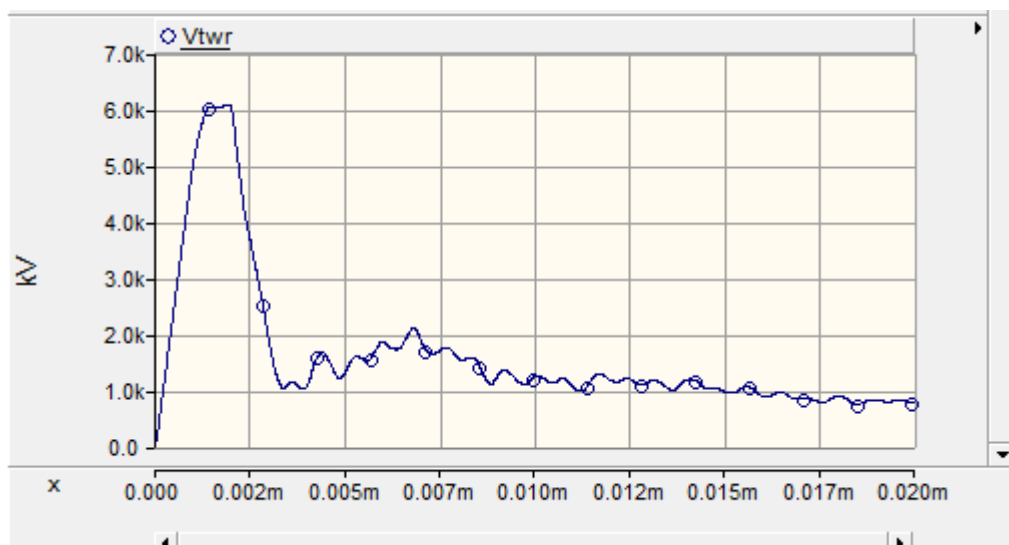
Pada simulasi ini bertujuan untuk mengetahui dampak tegangan puncak menara yang timbul akibat dari terjadinya sambaran petir pada kawat tanah yang dapat mengakibatkan gangguan pada sistem.

Setelah memasukkan nilai arus sambaran petir, maka hasil dari gelombang impuls petir dapat dilihat pada Grafik 4.1.



Grafik 4.1 Gelombang Arus Petir 100 kA

Setelah menjalankan simulasi dengan sambaran petir pada kawat tanah maka didapat hasil besar gelombang tegangan puncak menara sebagai berikut.

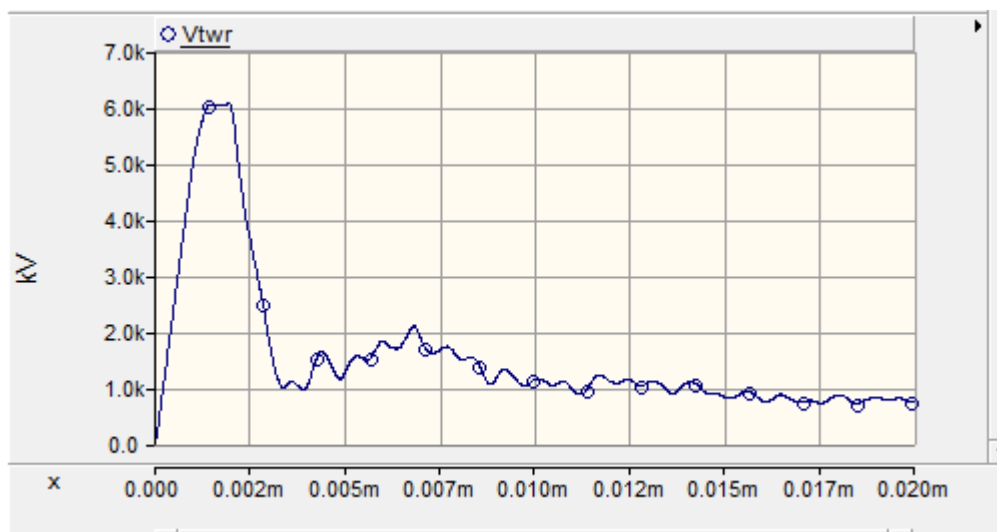


Grafik 4.2 Gelombang Tegangan Puncak Menara

Pada Grafik 4.2 besar tegangan yang terjadi pada arus sambaran 100 kA dan besar nilai resistansi menara  $5 \Omega$  yaitu sebesar 5992,69 kV.

#### 4.1.2 Simulasi Sambaran Petir dengan Merubah Nilai Resistansi Menara

Pada arus sambaran 100 kA terjadi lonjakan tegangan puncak sebesar 5992,56 kV. Sehingga dapat menimbulkan gangguan pada sistem transmisi, maka dilakukan pencegahan untuk mengurangi tegangan puncak menara dengan cara menurunkan nilai pentanahan menara. Dengan penurunan nilai resistansi menara dari 5  $\Omega$  menjadi 0,5  $\Omega$  maka hasil perlihatkan pada Grafik 4.3.



Grafik 4.3 Tegangan Puncak Menara dengan Nilai Resistansi 0,5  $\Omega$

Dari hasil Grafik 4.3 besar tegangan yang terjadi pada puncak menara sebesar 6042,6 kV. Maka dapat dilihat pada Tabel 4.2 hasil tegangan puncak menara kondisi awal dan setelah diubah nilai resistansi menara.

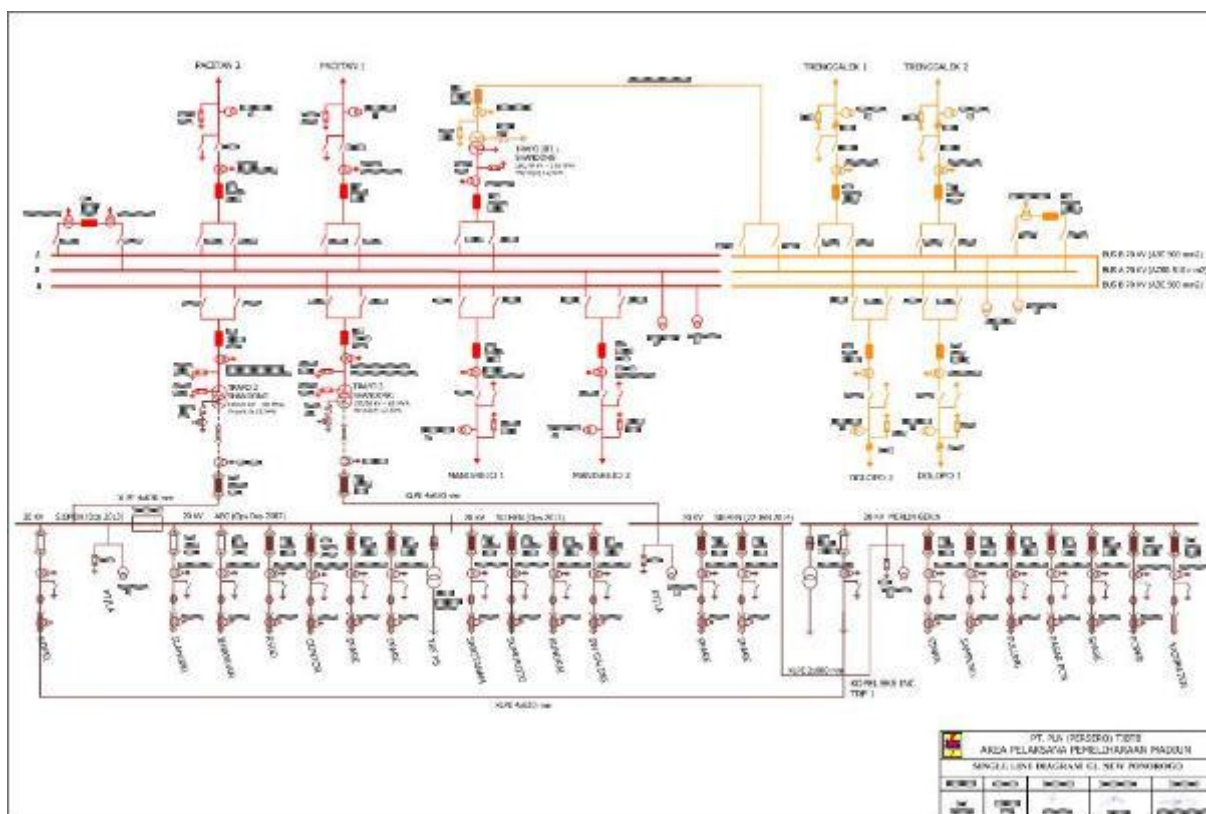
Tabel 4.2 Hasil Nilai Tegangan Puncak Pada Kondisi Awal dan Sesudah Nilai Resistansi Diubah

| Keterangan                                 | Tegangan Puncak Menara ( kV ) |
|--------------------------------------------|-------------------------------|
| Kondisi Resistansi awal ( 5 $\Omega$ )     | 6063,8                        |
| Setelah Resistansi Diubah ( 0,5 $\Omega$ ) | 6042,6                        |

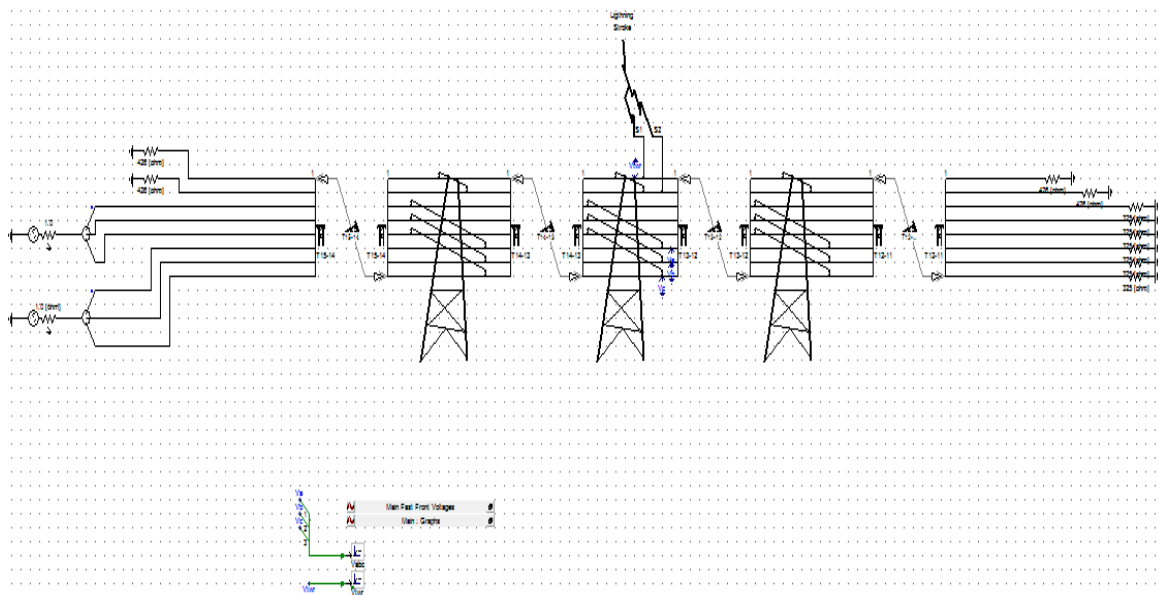
Dari tabel diatas dapat menunjukkan bahwa dengan memperkecil nilai resistansi menara maka dapat menurunkan tegangan puncak menara yang terjadi akibat sambaran langsung pada kawat tanah dengan besar nilai penurunan yaitu 21,2 kV.

## 4.2 Pemodelan Saluran Transmisi Dengan Menggunakan Software PSCAD

Sebelum menjalankan simulasi diperlukan dahulu pemodelan sistem transmisi Gardu Induk Ponorogo. Berikut Gambar 4.2 merupakan *single line* transmisi 150 Ponorogo-Manisrejo. Dengan menggunakan *software* PSCAD pemodelan saluran transmisi 150 kV Ponorogo-Manisrejo digambarkan pada Gambar 4.3. Gardu Induk Ponorogo dinaungi oleh APP Madiun yang mempunyai panjang saluran transmisi 27,8 km dengan 89 menara yang membentangkan saluran dari GI Ponorogo ke GI Manisrejo. Saluran transmisi melintasi 7 kecamatan dengan kondisi jenis tanah yaitu tanah ladang dan tanah sawah. Dengan rata-rata nilai pentanahan menara pada saluran transmisi sebesar  $0,52 \Omega$ .



Gambar 4.2 Single Line Diagram GI Ponorogo



Gambar 4.3 Pemodelan Saluran Transmisi 150 Kv

#### 4.3 Data Pentanahan Kaki Menara Saluran Transmisi Ponorogo-Manisrejo 150 kV

Pentanahan kaki menara pada saluran transmisi Ponorogo-Manisrejo 150 kV menggunakan alat ukur *Earthtester Kyoritsu 4105 A*.

Table 4.3 Nilai Tahanan Pentanahan Menara

| No. Tower | Jenis Tower | Arde & Tower (Total) | Hasil Pengukuran ( $\Omega$ )                |      |      |      |       |
|-----------|-------------|----------------------|----------------------------------------------|------|------|------|-------|
|           |             |                      | Arde & Tower Total (Klem dilepas dari Tower) |      |      |      |       |
|           |             |                      | A                                            | B    | C    | D    | Tower |
| 48        | AA6+12      | 1.38                 | 2.16                                         | 2.73 | 2.81 | 3.15 | 3.77  |
| 49        | CC6+12      | 0.79                 | 3.27                                         | 2.51 | 3.67 | 3.07 | 1.08  |
| 50        | AA6+0       | 0.24                 | 3.3                                          | 3.02 | 2.32 |      | 0.63  |
| 51        | AA6+9       | 0.32                 | 4.55                                         | 3.54 |      | 3.32 | 1.32  |
| 52        | AA6+9       | 2.24                 | 2.51                                         |      | 2.84 |      | 2.26  |
| 53        | BB6+0       | 1.39                 | 7.9                                          |      | 0.55 |      | 1.64  |

Sumber : PT. PLN TJBTB APP Madiun

Table 4.4 Tahanan Jenis Tanah

| Jenis Tanah                    | Tahanan Jenis Tanah (Ohm.m) |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Tanah rawa                     | 30                          |
| Tanah basah                    | 100                         |
| Pasir basah                    | 200                         |
| Kerikil basah                  | 500                         |
| Tanah pasir dan kerikil kering | 1000                        |
| Tanah berbatu                  | 3000                        |

#### 4.4 Data Menara Transmisi dan Konduktor

Tabel 4.5 Spesifikasi Menara Transmisi

| Spesifikasi                                   | Panjang (meter) |
|-----------------------------------------------|-----------------|
| Tinggi menara                                 | 35.3            |
| Lebar menara                                  | 7.551           |
| Panjang lengan kawat tanah                    | 2.668           |
| Panjang lengan kawat fasa                     | 4.013           |
| Jarak antar lengan kawat tanah dan kawat fasa | 2.9             |
| Jarak antar lengan kawat fasa                 | 4.7             |
| Jarak antar menara                            | 300             |

Sumber : PT. PLN TJBTB APP Madiun

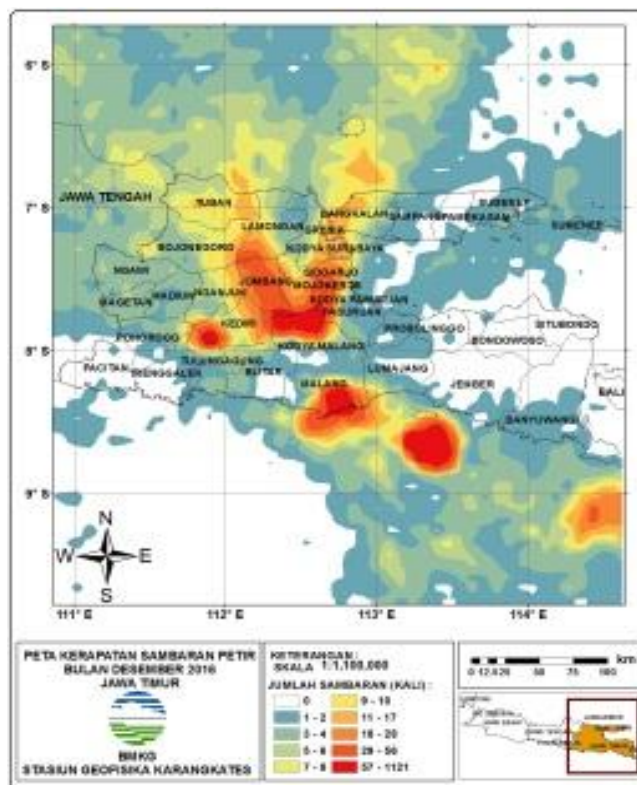
Tabel 4.6 Kawat Fasa dan Kawat Tanah

| Ket.        | Kawat Fasa          | Kawat Tanah        |
|-------------|---------------------|--------------------|
| Jenis Kawat | TACSR               | OPGW               |
| Luas        | 410 mm <sup>2</sup> | 80 mm <sup>2</sup> |
| R dc 20°C   | 0,112 Ohm/Km        | 0.4363 Ohm/Km      |

Sumber : PT. PLN TJBTB APP Madiun

#### 4.5 Data Kerapatan Sambaran Petir

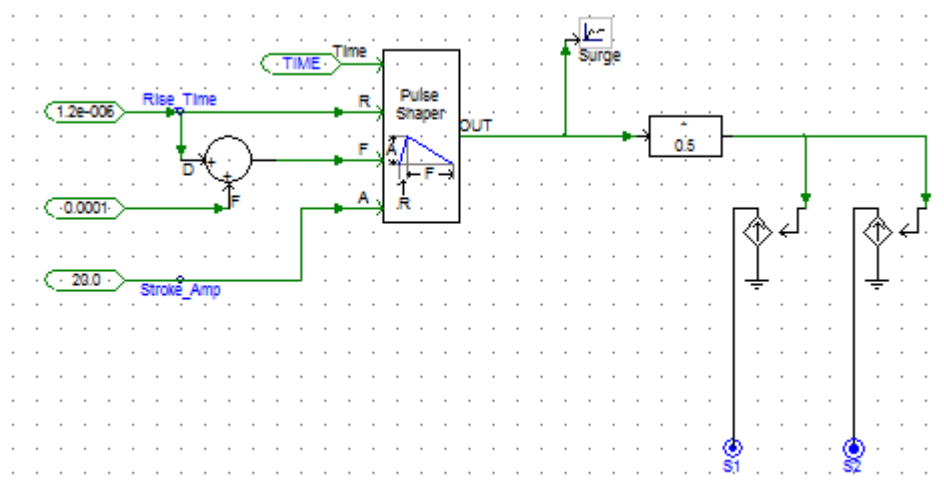
Dilihat pada Gambar 4.4 letak lokasi saluran transmisi Ponorogo-Manisrejo pada lokasi yang jumlah sambarannya tergolong kecil yaitu 1- 4 sambaran per bulan.



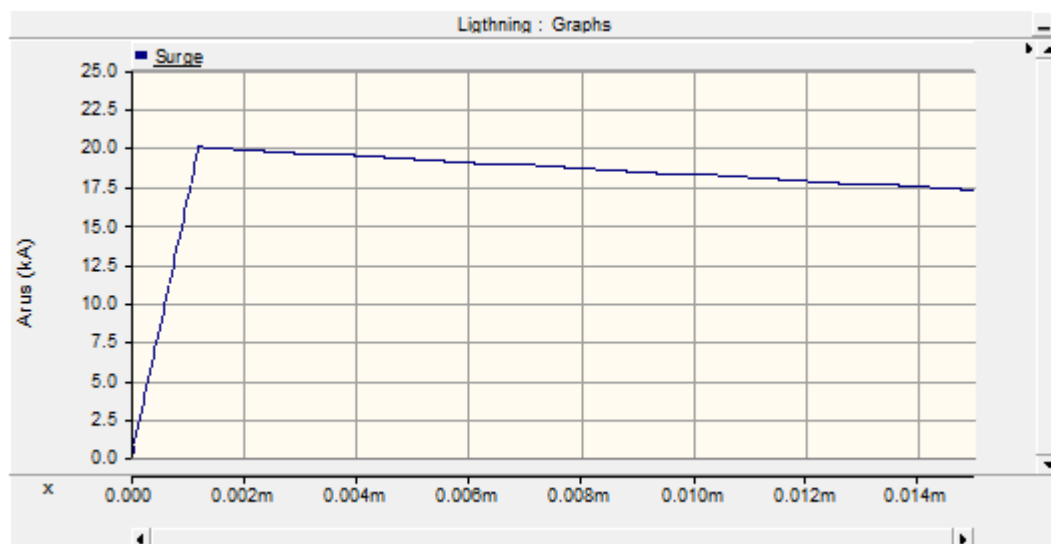
Gambar 4.4 Peta Kerapatan Sambaran Petir  
Sumber : BMKG Karangates

#### 4.6 Simulasi Sambaran Petir dengan Menggunakan *software* PSCAD

Simulasi sambaran ini bertujuan untuk mengetahui besar arus sambaran petir yang menyambar pada saluran transmisi, sehingga dapat mengetahui besar sambaran yang dapat mengakibatkan gangguan *back flashover*.



Gambar 4.5 Pemodelan Sumber Petir



Grafik 4.4 Gelombang Petir

#### 4.7 Analisis Nilai Ketahanan Pentanahan Menara Terhadap Arus Sambaran Petir

Pada analisis kemampuan pentanahan menara SUTT ini menggunakan analisis perhitungan manual dan dengan menggunakan simulasi *software* PSCAD. Data nilai resistansi pentanahan menara mengambil nilai resistansi yang terbesar dari nilai resistansi menara SUTT 150 kV Ponorogo-Manisrejo yaitu pada tower 52 dengan nilai resistansi 2.24  $\Omega$ . Dan nilai arus petir diasumsikan antara 20 kA sampai 200 kA.

#### 4.7.1 Analisis Hasil Perhitungan dan Simulasi

##### 4.7.1.1 Perhitungan Tegangan Lompatan Api

$$V_{fo} = \left( K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}} \right) \times 10^3 \text{ kV}$$

$$V_{fo} = \left( (0,4 \times 1,6) \times \frac{(0,71 \times 1,6)}{2^{0.75}} \right) \times 10^3$$

$$= 1315,46 \text{ kV}$$

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.3), diperoleh nilai batas tegangan kemampuan isolator sebesar 1315, 46 kV. Dari perolehan hasil tegangan ini maka nantinya dijadikan sebagai batasan tegangan terjadinya *back flashover* pada isolator.

##### 4.7.1.2 Perhitungan Impedansi Surja Menara, Surja Kawat Tanah, Instrinsik dan Gelombang Menara

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

$$Z_t = 30 \ln \left[ \frac{2(35,3^2 + 3,77^2)}{3,77^2} \right] = 155,34 \Omega$$

$$Z_g = 60 \ln \left( \frac{2h_t}{\sqrt{a_{12} r_{gw}}} \right)$$

$$Z_g = 60 \ln \left( \frac{2 \times 35,3}{\sqrt{5,336 \times 0,0055}} \right) = 361,28 \Omega$$

$$Z_l = \frac{Z_g Z_t}{Z_g + 2Z_t}$$

$$Z_l = \frac{361,28 \times 155,34}{361,28 + (2 \times 155,34)} = 73,12 \Omega$$

$$Z_w = \left[ \frac{2Z_g^2 Z_t}{(2Z_g + Z_t)^2} \right] \left[ \frac{Z_t - R}{Z_t + R} \right]$$

$$Z_w = \left[ \frac{(2 \times 361,28^2) 155,34}{(2 \times 361,28 + 155,34)^2} \right] \left[ \frac{155,34 - 2,24}{155,34 + 2,24} \right]$$

$$= 51,08 \Omega$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan (2.10), (2.7), (2.15), (2.16) diperoleh hasil nilai impedansi menara sebesar  $155,34 \Omega$ , impedansi surja kawat tanah sebesar  $361,28 \Omega$ , impedansi intrinsik sebesar  $73,12 \Omega$ , dan impedansi gelombang menara sebesar  $51,08 \Omega$ .

#### 4.7.1.3 Menghitung Faktor Redaman

$$\begin{aligned}\psi &= \left[ \frac{2Z_t - Z_g}{(2Z_t + Z_g)^2} \right] \left[ \frac{Z_t - R}{Z_t + R} \right] \\ \psi &= \left[ \frac{2 \times 155,34 - 316,26}{(2 \times 155,34 + 316,26)^2} \right] \left[ \frac{316,28 - 1,74}{316,28 + 1,74} \right] \\ &= -0,072\end{aligned}$$

Dengan persamaan (2.17), parameter untuk menghitung faktor redaman didapatkan dari hasil impedansi menara, impedansi surja kawat tanah dan nilai resistansi pentanahan menara. Sehingga didapat hasil faktor redaman yaitu -0,072.

#### 4.7.1.4 Menghitung Waktu Rambat Gelombang dari Puncak ke Dasar Menara dan dari Puncak ke Crossarm

Untuk mengetahui waktu rambat gelombang dari puncak ke dasar menara dapat dihitung dengan persamaan (2.14).

$$\begin{aligned}\tau_T &= \frac{h}{300} \mu s \\ \tau_T &= \frac{35,3}{300} = 0,12 \mu s\end{aligned}$$

Waktu rambat puncak yang menuju ke *crossarm* dengan persamaan (2.21).

$$\begin{aligned}\tau_{pn} &= \frac{Y_n}{300} \mu s \\ \tau_{pn} &= \frac{2,9}{300} = 0,0097 \mu s\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai waktu untuk rambat gelombang dari puncak ke dasar menara yang sebesar  $0,12 \mu s$ , dan rambat gelombang puncak ke *crossarm* sebesar  $0,0097 \mu s$ . waktu rambat gelombang puncak ke *crossarm* lebih cepat dibanding ke dasar menara, dikarenakan *crossarm* lebih dekat dari puncak menara.



#### 4.7.1.5 Menghitung Tegangan Puncak Menara

$$V_T = \left[ Z_I - \frac{Z_W}{1-\psi} \left( 1 - \frac{\tau_T}{1-\psi} \right) \right] \cdot I$$

$$V_T = \left[ 73,12 - \frac{51,08}{1+0,072} \left( 1 - \frac{0,12}{1+0,072} \right) \right] \cdot 20$$

$$= 614,23 \text{ kV}$$

Tegangan puncak menara terjadi karena adanya sambaran petir dan arus yang merambat menghadapi besaran impedansi. Sesuai persamaan (2.13) didapat nilai tegangan puncak menara sebesar 614,23 kV.

#### 4.7.1.6 Menghitung Tegangan Dasar Menara

Untuk mencari tegangan pada dasar menara, pembiasan pada tahanan kaki menara di hitung terlebih dahulu, dengan persamaan (2.20).

$$\alpha_R = \frac{2 \cdot R}{Z_t + R}$$

$$\alpha_R = \frac{2 \times 2,24}{73,12 + 2,24} = 0,028$$

Setelah nilai pembiasan dihitung dengan hasil sebesar 0,028, selanjutnya menghitung tegangan dasar menara dengan perhitungan persamaan (2.19).

$$V_R = \left[ \frac{\alpha_R \cdot Z_I}{1-\psi} \right] \left[ 1 - \frac{\psi \cdot \tau_T}{(1-\psi)} \right] \cdot I$$

$$V_R = \left[ \frac{0,028 \times 73,12}{1+0,072} \right] \left[ 1 - \frac{-0,072 \times 0,12}{(1+0,072)} \right] \cdot 20$$

$$= 38,4 \text{ kV}$$

Tegangan 38,4 kV yang terjadi pada dasar menara yang diperoleh dari perhitungan diatas.

#### 4.7.1.7 Menghitung Tegangan Crossarm

$$V_{pn} = V_R + \frac{\tau_T - \tau_{pn}}{\tau_T} [V_T - V_R]$$

$$V_{pn} = 38,4 + \frac{0,12 - 0,0097}{0,12} [614,23 - 38,4]$$

$$= 147,808 \text{ kV}$$

Parameter perhitungan tegangan *crossarm* diperoleh dari hasil tegangan menara, tegangan dasar menara dan waktu rambat gelombang. Besar tegangan yang diperoleh dari hasil persamaan (2.18) sebesar 147,808 kV.

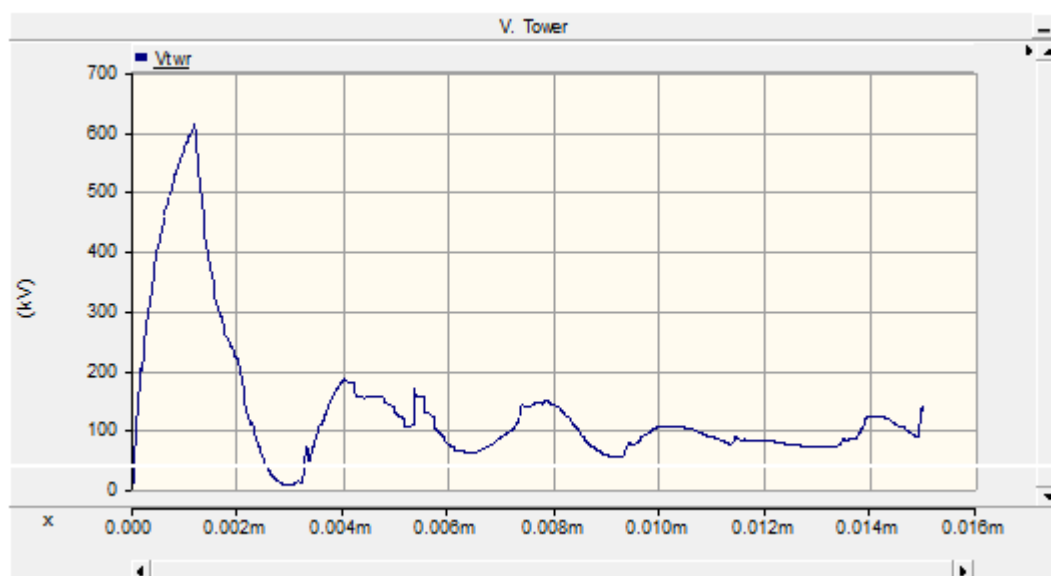
Apabila tegangan  $V_{pn}$  terjadi sama atau melebihi dari tegangan  $V_{fo}$  maka terjadi *back flashover*. Pada perhitungan diatas nilai resistansi menara sebesar  $2,24 \Omega$  pada menara no.52. hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan dengan Perubahan Arus Sambaran yang Mengakibatkan *Back Flashover*

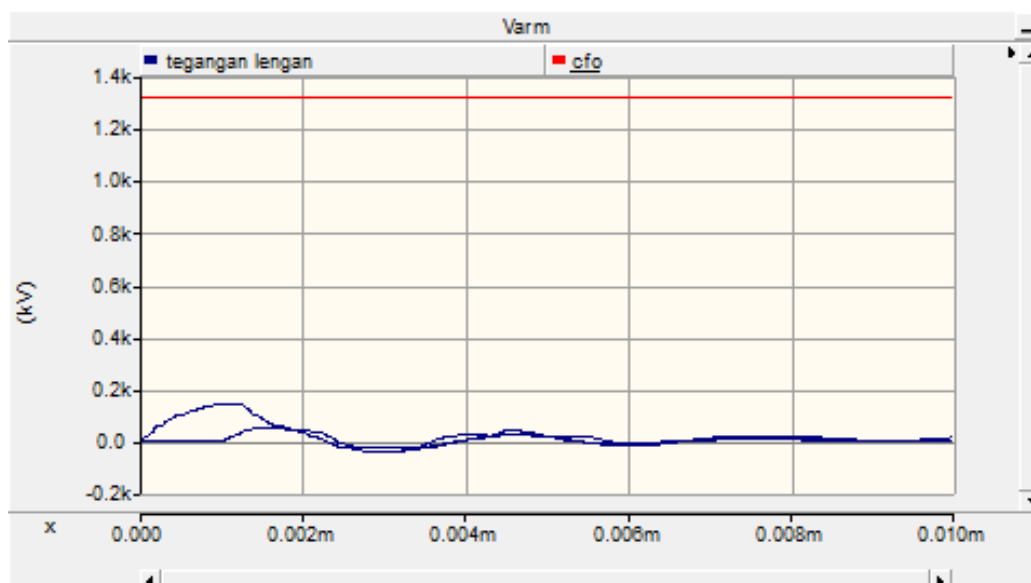
| Arus Sambaran (kA) | Tegangan Crossarm (kV) | Tegangan Lompatan Api (kV) |
|--------------------|------------------------|----------------------------|
| 20                 | 147,808                | 1315,46                    |
| 60                 | 443,406                |                            |
| 100                | 739,01                 |                            |
| 140                | 1034,614               |                            |
| 180                | 1330,218               |                            |

Pada hasil perhitungan diatas kemungkinan sambaran yang dapat mengakibatkan *back flashover* dengan nilai resistansi pentanahan  $2,24 \Omega$  yaitu 180 kA. Sehingga pada tower 52 kemampuan sambaran petir yaitu dibawah arus petir 180 kA.

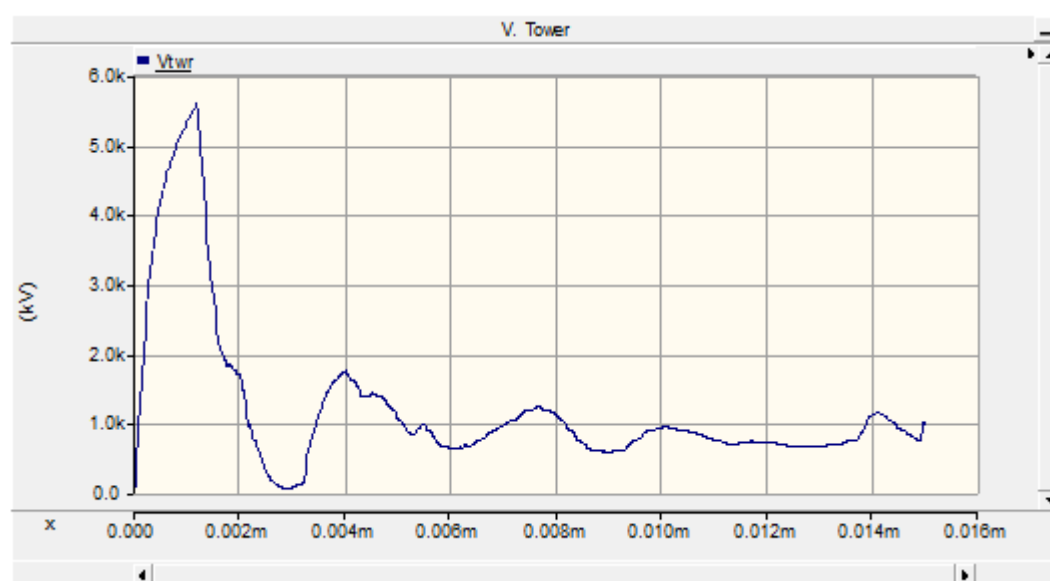
#### 4.7.2 Hasil Analisis Ketahanan dengan Simulasi PSCAD



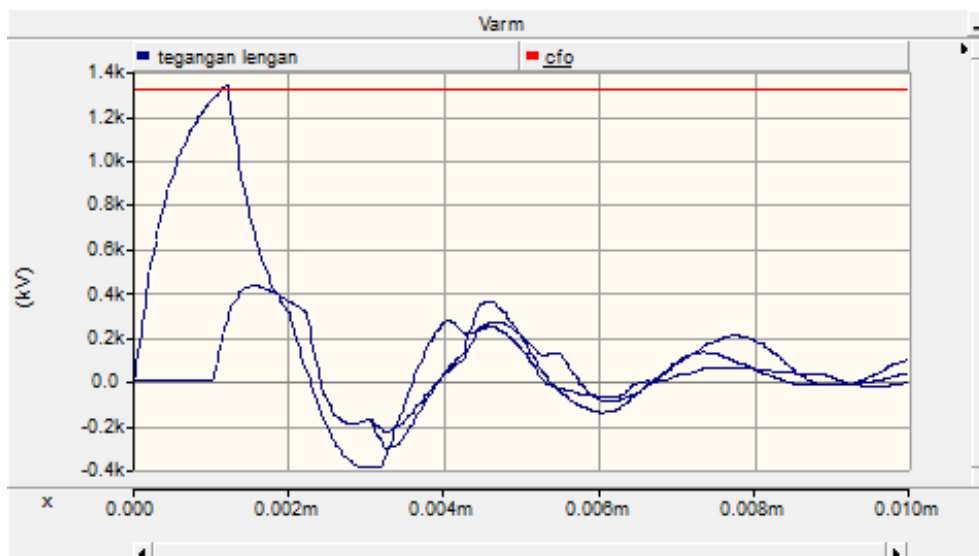
Grafik 4.5 Tegangan Puncak Menara Dengan Sambaran 20 kA



Grafik 4.6 Tegangan Lengan Menara Dengan Sambaran 20 kA



Grafik 4.7 Tegangan Puncak Menara Dengan Sambaran 180 kA



Grafik 4.8 Tegangan Lengan Menara Dengan Sambaran 180 kA

Pada Grafik 4.6 dan Grafik 4.8 dapat dilihat pada saat sambaran petir yang sebesar 20 kA menghasilkan besar tegangan lengan yang ditimbulkan sebesar 147,808 kV, sedangkan pada sambaran 180 kA tegangan lengan lengan sebesar 1324,31 kV dengan waktu puncak petir 1,2  $\mu$ s. Pada tegangan lengan dengan sambaran petir 180 kA grafik gelombang tegangan telah melampaui batas kemampuan tegangan isolator yang ditunjukkan pada grafik garis merah hal ini mengakibatkan terjadinya *back flashover*.

Table 4.8 Hasil perhitungan dan simulasi akibat sambaran petir

| Ket.                       | Arus Sambaran Petir 20 kA |             | Arus Sambaran Petir 180 kA |             |
|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
|                            | Simulasi                  | Perhitungan | Simulasi                   | Perhitungan |
| Tegangan Puncak Tower (kV) | 612,85                    | 614,23      | 5515,07                    | 5527,8      |
| Tegangan Crossarm (kV)     | 147,41                    | 147,808     | 1324,31                    | 1330,218    |

Pada Tabel 4.8 tegangan yang terjadi tergantung pada arus yang menyambar pada kawat tanah atau menara, sehingga semakin besar arus petir maka tegangan menara dan lengan yang terjadi akan semakin besar. Ini dibuktikan pada nilai sambaran 20 kA dan 180 kA dengan tegangan lengan menara sebesar 147,41 kA dan 1324,31 kA.

#### 4.8 Analisis Perubahan Pentanahan Menara Terhadap Besar Arus Sambaran Petir

Pada Tabel 4.5 diperoleh nilai arus sambaran yang dapat menyebabkan *back flashover* yaitu sebesar 180 kA. Tegangan yang terjadi pada lengan menara sebesar 1324,31 kV. Metode untuk menurunkan tegangan akibat sambaran dengan menambah panjang elektroda pentanahan sebagai variabel agar nilai tahanan menara menurun.

##### 4.8.1 Perhitungan Resistansi Menara

Agar mendapatkan nilai resistansi yang kecil hal yang dilakukan ialah menambah panjang elektroda pentanahan. Berikut hasil perhitungan.

$$R = \left( \frac{\rho}{2\pi L} \right) \ln \left( \frac{2L}{\sqrt[4]{2^{1/2} a^3 r}} \right)$$

$$R = \left( \frac{40,7}{2 \times 3,14 \times 20} \right) \ln \left( \frac{2 \times 20}{\sqrt[4]{2^{1/2} \times 10^3 \times 0,045}} \right) = 0,84 \, \Omega$$

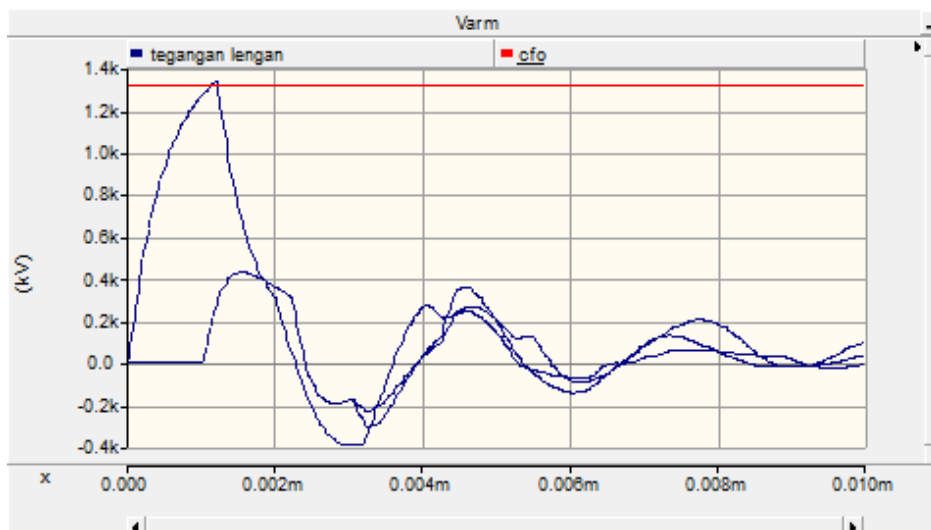
Hasil dari perhitungan didapat nilai resistansi baru sebesar 0,84  $\Omega$ .

Tabel 4.9 Hasil Resistansi Penambahan Panjang Elektroda

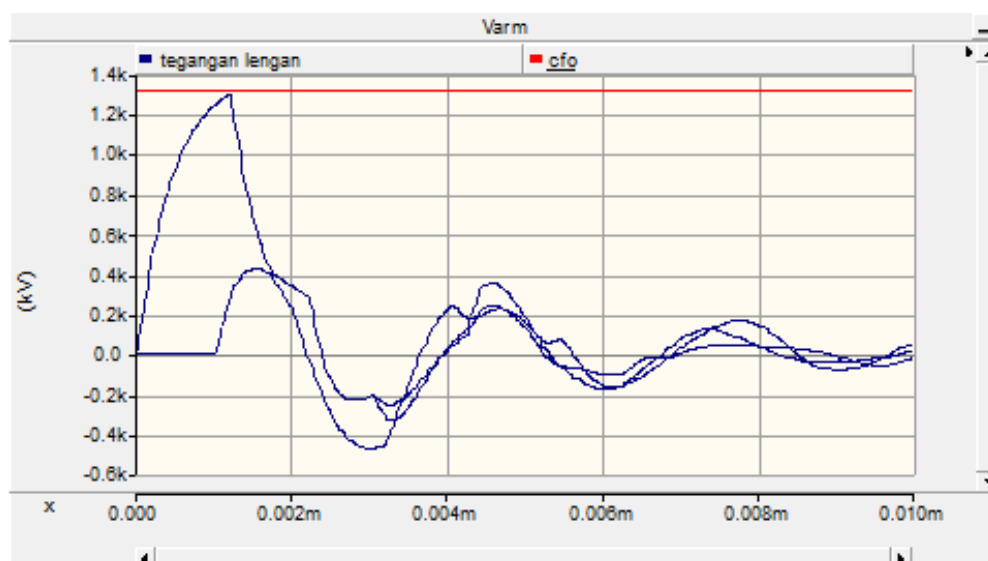
| Panjang Elektroda (m) | Resistansi ( $\Omega$ ) |
|-----------------------|-------------------------|
| 10                    | 1,25                    |
| 15                    | 1,01                    |
| 20                    | 0,84                    |

Pada Tabel 4.9 didapat hasil nilai resistansi menara yang baru setelah menambah panjang elektroda. Dengan panjang elektroda 20 m didapat hasil resistansi sebesar 0,84  $\Omega$ .

#### 4.8.2 Analisis Setelah Mengubah Nilai Resistansi dengan Simulasi PSCAD



Grafik 4.9 Tegangan Lengan Menara Dengan Sambaran 180 kA dengan Resistansi Menara 2,24  $\Omega$



Grafik 4.10 Tegangan Lengan Menara Dengan Sambaran 180 kA Resistansi Menara 0,84  $\Omega$

Dari Grafik 4.9 dan 4.10 memperlihatkan tinggi gelombang tegangan menara sebelum dan sesudah mendapatkan nilai resistansi baru. Pada resistansi sebelum dirubah dengan nilai  $R = 2,24 \Omega$  tegangan yang timbul pada lengan menara sebesar 1335,83 kV ,dan setelah mendapatkan hasil resistansi menara baru sebesar 0,85  $\Omega$  maka tegangan lengan menjadi 1292,25 kV.

Tabel 4.10 Tegangan Puncak Menara dan Tegangan Lengan Menara Sebelum dan Sesudah Merubah Nilai Resistansi Menara

| <b>Ket.</b>                 | <b>Kondisi Resistansi Awal (2,24 <math>\Omega</math>)</b> | <b>Kondisi Resistansi Dirubah (0.84 <math>\Omega</math>)</b> |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Tegangan menara (kV)        | 5515,07                                                   | 5504,54                                                      |
| Tegangan Lengan Menara (kV) | 1324,31                                                   | 1292,25                                                      |

Pada Tabel 4.10 diatas dapat dilihat perbedaan tegangan sebelum dan sesudah nilai resistansi menara. Tegangan lengan dengan nilai resistansi awal 2,24  $\Omega$  adalah sebesar 1324,31 kV dan nilai resistansi sesudah dirubah panjang elektroda 0.84  $\Omega$  diperoleh selisih tegangan sebesar 32,06 kV menjadi 1292,25 kV. Sehingga nilai resistansi 0,84  $\Omega$  sudah dapat menurunkan tegangan lengan menara yang mengakibatkan *back flashover*.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisis dan simulasi, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada kondisi awal nilai resistansi kaki menara  $2,24 \Omega$  dengan karakteristik arus sambaran sebesar 20 kA dan tegangan lengan yang terjadi sebesar 147,808 kV sedangkan karakteristik arus sambaran 180 kA tegangan lengan yang terjadi sebesar 1324,31 kV . sehingga pada arus sambaran petir sebesar 180 kA telah melebihi dari tegangan lompatan api yang sebesar 1315,46 kV, maka ini akan terjadi *back flashover*.
2. Dengan menambah panjang elektroda pentanahan sepanjang 20 meter didapatkan hasil nilai resistansi baru sebesar  $0,84 \Omega$ . Sehingga tegangan lengan menara turun dari 1324,31 kV menjadi 1292,25 kV dengan karakteristik arus sambaran 180 kA. Dengan mengurangi nilai resistansi pentanahan menara dari  $2,24 \Omega$  menjadi  $0,84 \Omega$  hal ini dapat menurunkan gangguan tegangan lebih akibat dari sambaran petir langsung.

#### **5.2 Saran**

Nilai pentanahan menara harus dalam kondisi baik dengan standart yang telah ditentukan oleh standart PLN. Dengan memperpanjang elektroda dan dengan mengganti bahan dari elektroda maka dapat mengurangi nilai resistansi pentanahan menara, sehingga bagus untuk sistem pentanahan menara saluran transmisi. Pada skripsi ini diharapkan dapat dilanjutkan untuk penelitian yang lebih detail dan kompleks.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nash, Putra Rezkyan.(2010). Analisa Pengaruh Resistansi Pentanahan Menara Terhadap *BackFlashover* Pada Saluran Transmisi 500 KV. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro FTI, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [2] Randhika, G. Dr.M.Suryakalavathi. Subramanian, K.Bala.(2013). *Back Flashover Analysis and Protection of a 220 KV Sub Station*. Department of Electrical & Electronics Engineering, VNR VJIET. Hyderabad .
- [3] PT PLN (Persero). (2014). Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET). Jakarta Selatan.
- [4] Hutaaruk, T.S. (1989). Gelombang Berjalan Proteksi Surja. Bandung: Erlangga.
- [5] Anderson, J.G.(1982). *Transmission Line Reference Book 345 kV and Above/Second Edition*. Palo Alto,California, Electrical Power Research Institute.
- [6] Hutaaruk, T.S. (1987).Pengetanahan Netral Sistem Tenaga Pengetanahan Peralatan. Institut Teknologi Bandung.
- [7] Radhikal. G, Dr. Suryakalavathi, M. (2008). *Back flashover Analysis improvement of a 220KV Transmission Line*. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA).
- [8] Qais. Mohammed, Khaled. Usama, 2016. *Evaluation of V-t Characteristics Caused by Lightning Stroke at Different Locations Along Transmission Lines*. Journal of King Saud University-Engineering Sciences. Saudi Arabia.

# LAMPIRAN

## SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yoppi Kurnia Putra  
NIM : 1312012  
Program Studi : Teknik. Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam Skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, 10 Agustus 2017

Yang membuat Pernyataan,



**Yoppi Kurnia Putra**  
NIM : 1312012



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-I  
Jl. Raya Karnage, Km. 2 MALANG

## PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : Yoppi Kurnia Putra  
N I M : 1312012  
Semester : VIII (delapan)  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-I  
- Konsentrasi : **TEKNIK ENERGI LISTRIK**  
**TEKNIK ELEKTRONIKA**  
**TEKNIK KOMPUTER**  
**TEKNIK TELEKOMUNIKASI**  
Alamat : .....

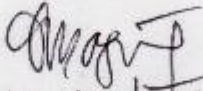
Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat SKRIPSI Tingkat Sarjana. Untuk melengkapi permohonan tersenut, bersama ini kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan- persyaratan pengambilan SKRIPSI adalah sebagai berikut:

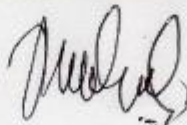
1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh matakuliah > 134 sks dengan IPK > 2 dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar Skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenarannya data tersebut diatas  
Recording Teknik Elektro S-I

  
(..... M. Mulya .....)  
11/2/17

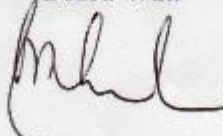
Disetujui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-I

  
**M. Ibrahim Ashari, ST, MT**  
NIP. P. 1030100358

Malang, ..... Januari ..... 2017  
Pemohon

  
(..... Yoppi Kurnia Putra .....)

Mengetahui  
Dosen Wali

  
(.....)

### Catatan:

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Jurusan T. elektro S-I

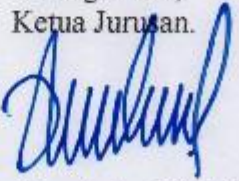
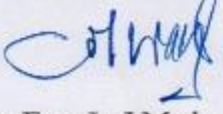
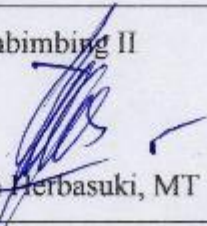
1. SKS = 138 / 3.48 (.....)

2. ....





**BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1**

|                    |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                           |                |         |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|
| <b>KONSENTRASI</b> |                                                                                                                                                           | T. Energi Listrik S1                                                                                                                                        |                                                                                                                                           |                |         |
| 1.                 | Nama Mahasiswa                                                                                                                                            | Yoppi Kurnia Putra                                                                                                                                          |                                                                                                                                           | NIM            | 1312012 |
| 2.                 | Keterangan                                                                                                                                                | Tanggal                                                                                                                                                     | Waktu                                                                                                                                     | Tempat / Ruang |         |
|                    | Pelaksanaan                                                                                                                                               | 12 April 2017                                                                                                                                               |                                                                                                                                           |                |         |
| 3.                 | Judul Skripsi                                                                                                                                             | ANALISIS BACKFLASHOVER TERHADAP PERUBAHAN RESISTANSI PENTANAHAN MENARA SUTET PADA SALURAN TRANSMISI 500 KV PAITON-KEDIRI                                    |                                                                                                                                           |                |         |
| 4.                 | Perubahan Judul                                                                                                                                           | Analisis Kemampuan Pentanahan Menara SUTET thdp. sambaran petir langsung yang mengakibatkan Black Flashover pd saluran transmisi 150KV Ponorogo - Mahesrejo |                                                                                                                                           |                |         |
| 5.                 | Catatan :                                                                                                                                                 | - Tujuan xi 1 & 2 xi belum<br>- Rumus <del>V<sub>i</sub></del> V <sub>i</sub> = ?<br>- Rumus V <sub>50%</sub> berapa xi plus 50% ?                          |                                                                                                                                           |                |         |
|                    |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                           |                |         |
| 6.                 | Mengetahui,<br>Ketua Jurusan.<br><br><br><br>M. Ibrahim Ashari, ST, MT | Disetujui,<br>Dosen Pembimbing                                                                                                                              |                                                                                                                                           |                |         |
|                    |                                                                                                                                                           | Pembimbing I<br><br><br><br>Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT              | Pembimbing II<br><br><br><br>Ir. Teguh Herbasuki, MT |                |         |





PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-085/EL-FTI/2017

28 Februari 2017

Lampiran : -

Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI (Baru)

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT**  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa:

Nama : Yoppi Kurnia Putra  
Nim : 1312012  
Fakultas : **Teknologi Industri**  
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : T. Energi Listrik S1

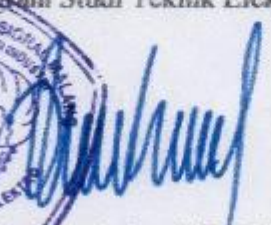
Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

**"Semester Genap Tahun Akademik 2016-2017"**

Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

  
**M. Ibrahim Ashari, ST, MT**  
NIP.P. 1030100358



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-085/EL-FTI/2017  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI (Baru)

28 Februari 2017

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa:

Nama : Yoppi Kurnia Putra  
Nim : 1312012  
Fakultas : Teknologi Industri  
Program Studi : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : T. Energi Listrik S1

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

**" Semester Genap Tahun Akademik 2016-2017"**

Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



**M. Ibrahim Ashari, ST, MT**  
NIP.P. 1030100358





PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : J. Bendungan Sigure-gure No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : J. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-16/EL-FTI/2017  
Lampiran : -  
Perihal : Survey Pengambilan Data Skripsi

13 Januari 2017

Kepada : Yth Bpk. **Kepala PT. PLN (PERSERO) APP Madiun**  
di - Madiun

Dengan hormat,

Bersama ini kami mohon kebijaksanaan Bapak/Ibu agar mahasiswa kami dari Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi T. Energi Listrik S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang dapat diijinkan untuk melakukan survey dalam rangka pengambilan data skripsi, mulai tanggal 1 Februari 2017 sampai dengan 28 Februari 2017.

Mahasiswa tersebut adalah:

| No | Nama               | NIM     |
|----|--------------------|---------|
| 1. | Yoppi Kurnia Putra | 1312012 |
| 2. |                    |         |
| 3. |                    |         |
| 4. |                    |         |

Demikian atas perhatian dan kebijaksanaannya kami ucapkan terima kasih.



Ketua  
Program Studi Teknik Elektro S-1  
**M. Ibrahim Ashari, ST, MT**  
NIP.P. 1030100358





**PT PLN (PERSERO )**  
**TRANSMISI JAWA BAGIAN TIMUR DAN BALI**  
**AREA PELAKSANA PEMELIHARAAN MADIUN**

Jl. Thamrin No. 2 - Madiun Kode Pos : 63115

Telepon : ( 0351 ) 454365, 454369

Facsimile : ( 0351 ) 454469

Nomor : 000 /SDM.04.09/APP-MADN/2017 26 Januari 2017  
Surat Sdr. : -  
Lampiran : 1 (satu) lembar  
Sifat : segera  
Perihal : Persetujuan Pengambilan Data Skripsi

**KEPADA :**

**YTH. DEKAN INSTITUT TEKNOLOGI  
NASIONAL MALANG**  
Jln. Bendungan Sigura-gura No. 2  
Malang 65145

Menanggapi surat Saudara nomor : ITN-16/EL-FTI/2017 tanggal 13 Januari 2017 perihal Survey Pengambilan Data Skripsi, dengan ini diinformasikan bahwa pada prinsipnya kami menyetujui untuk memberikan ijin Pengambilan Data Skripsi di Gardu Induk Ponorogo PT. PLN (PERSERO) TRANS-JBTB APP Madiun, kepada mahasiswa Institut Teknologi Nasional Malang program studi Teknik Elektro S-1 mulai tanggal 1 Februari 2017 sampai dengan 28 Februari 2017.

| No. | Nama               | NIM     | Program Studi  |
|-----|--------------------|---------|----------------|
| 1   | Yoppi Kurnia Putra | 1312012 | Teknik Elektro |

Untuk melengkapi persyaratan administrasi diminta yang bersangkutan menghubungi Kantor PT. PLN (Persero) TRANS-JBTB APP Madiun Jl. Thamrin No.: 2 Madiun c.q. SPV Administrasi dan SDM sebelum Pengambilan Data Skripsi dilaksanakan.

Demikian atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

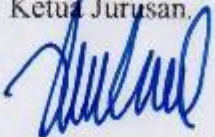
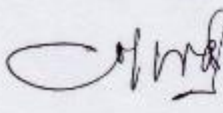
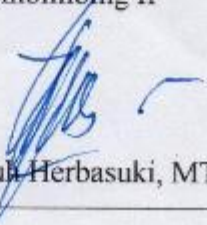
**PLH MANAJER  
SPV PELAKSANA PENGADAAN**







## BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                   |                                                                                       |                            |         |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------|-------------------|
| <b>KONSENTRASI</b>                                                                  |                                                                                     | T. ENERGI LISTRIK S1                                                                                                              |                                                                                       |                            |         |                   |
| 1.                                                                                  | Nama Mahasiswa                                                                      | Yoppi Kurnia Putra                                                                                                                |                                                                                       | NIM                        | 1312012 |                   |
| 2.                                                                                  | Keterangan                                                                          | Tanggal                                                                                                                           | Waktu                                                                                 | Tempat / Ruang             |         |                   |
|                                                                                     | Pelaksanaan                                                                         | 21-02-2017                                                                                                                        | 08.00                                                                                 | Rm 2-1                     |         |                   |
| 3.                                                                                  | Spesifikasi Judul (berilah tanda silang *)                                          |                                                                                                                                   |                                                                                       |                            |         |                   |
|                                                                                     | a.                                                                                  | Sistem Tenaga Elektrik                                                                                                            | e.                                                                                    | Embbded System             | i.      | Sistem Informasi  |
|                                                                                     | b.                                                                                  | Konversi Energi                                                                                                                   | f.                                                                                    | Antar Muka                 | j.      | Jaringan Komputer |
|                                                                                     | c.                                                                                  | Sistem Kendali                                                                                                                    | g.                                                                                    | Elektronika Telekomunikasi | k.      | Web               |
|                                                                                     | d.                                                                                  | Tegangan Tinggi                                                                                                                   | h.                                                                                    | Elektronika Instrumentasi  | l.      | Algoritma Cerdas  |
| 4.                                                                                  | Judul Proposal yang<br>diseminarkan Mahasiswa                                       | ANALISIS BACKFLASHOVER TERHADAP PERUBAHAN RESISTANSI PENTANAHAN<br>MENARA SUTET PADA SALURAN TRANSMISI 500 KV PATTON-KEDIRI       |                                                                                       |                            |         |                   |
| 5.                                                                                  | Perubahan Judul yang<br>diusulkan oleh Kelompok<br>Dosen Keahlian                   | 150 KV Patton Ponorogo                                                                                                            |                                                                                       |                            |         |                   |
| 6.                                                                                  | Catatan :                                                                           |                                                                                                                                   |                                                                                       |                            |         |                   |
|                                                                                     | - Model Petir<br>- Tabel tahanan.<br>- Flow chart?                                  |                                                                                                                                   |                                                                                       |                            |         |                   |
| 7.                                                                                  | Catatan :                                                                           |                                                                                                                                   |                                                                                       |                            |         |                   |
|                                                                                     | Persetujuan Judul Skripsi                                                           |                                                                                                                                   |                                                                                       |                            |         |                   |
|                                                                                     | Disetujui,<br>Dosen Keahlian I                                                      |                                                                                                                                   | Disetujui,<br>Dosen Keahlian II                                                       |                            |         |                   |
|                                                                                     |  |                                                                                                                                   |  |                            |         |                   |
|                                                                                     | Bambang Prio Hartono, ST., MT                                                       |                                                                                                                                   | Ir. Taufik Hidayat, MT                                                                |                            |         |                   |
| Mengetahui,<br>Ketua Jurusan.                                                       |                                                                                     | Disetujui,<br>Calon Dosen Pembimbing                                                                                              |                                                                                       |                            |         |                   |
|  |                                                                                     |                                                |                                                                                       |                            |         |                   |
| M. Ibrahim Ashari, ST, MT<br>NIP. P. 1030100358                                     |                                                                                     | Pembimbing I<br>Dr. Eng. Ir. I Made Wartana,<br>MT                                                                                |                                                                                       |                            |         |                   |
|                                                                                     |                                                                                     | Pembimbing II<br><br>Ir. Teguh Herbasuki, MT |                                                                                       |                            |         |                   |

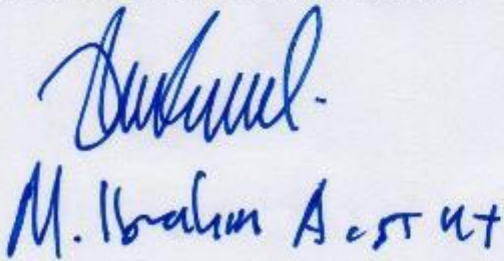
Keterangan :

\*) dilingkari a, b, c, ..... sesuai dengan bidang keahlian



**BERITA ACARA RAPAT PERSETUJUAN JUDUL/PROPOSAL SKRIPSI**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
**Konsentrasi : T. Energi Listrik S1**

Tanggal :

|                                                                                                                                                                   |                            |                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.                                                                                                                                                                | NIM                        | 1312012                                                                                                                   |
| 2.                                                                                                                                                                | Nama                       | Yoppi Kurnia Putra                                                                                                        |
| 3.                                                                                                                                                                | Judul yang diajukan        | Analisis Backflashover terhadap pembahan resistansi Pentanahan menara silet pada saluran transmisi 500 kv Paiton - Kediri |
| 4.                                                                                                                                                                | Disetujui/Ditolak          |                                                                                                                           |
| 5.                                                                                                                                                                | Catatan:                   |                                                                                                                           |
| 6.                                                                                                                                                                | Pembimbing yang diusulkan: | 1. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT<br>2. Ir. Teguh Herbasukhi, MT                                                         |
| Menyetujui<br>1. Koordinator Dosen Kelompok Keahlian<br><br>M. Ibrahim Aestut |                            |                                                                                                                           |

\* : Coret yang tidak perlu



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang

## MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2017-2018

Nama Mahasiswa : Yoppi Kurnia Putra  
NIM : 1312012  
Nama Pembimbing : Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT  
Judul Skripsi : Analisis Kemampuan Pentanahan Menara Sutt Terhadap Sambaran Petir Langsung Yang Mengakibatkan *Backflashover* Pada Saluran Transmisi 150 Kv Ponorogo – Manisrejo

| Minggu Ke- | Hari, Tanggal        | Waktu Bimbingan | Materi Bimbingan                                                                                                 | Paraf |
|------------|----------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1          | Jumat, 3 Maret 2017  |                 | Bab I Pendahuluan                                                                                                |       |
| 2          | Kamis, 9 Maret 2017  |                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Konsep</li><li>Makalah progres</li></ul>                                   |       |
| 3          | Kamis, 30 Maret 2017 |                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Simulasi program</li><li>Jurnal acuan</li></ul>                            |       |
| 4          | Senin, 3 April 2017  |                 | Makalah progres                                                                                                  |       |
| 5          | Senin, 10 April 2017 |                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Pemantapan makalah progress</li><li>Revisi Flowchart</li></ul>             |       |
| 6          | Rabu, 12 April 2017  |                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Revisi Flowchart</li><li>Data sekunder simulasi</li></ul>                  |       |
| 7          | Rabu, 13 April 2017  |                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Revisi metode penelitian</li><li>Revisi format penulisan makalah</li></ul> |       |





PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang

## MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2017-2018

Nama Mahasiswa : Yoppi Kurnia Putra  
NIM : 1312012  
Nama Pembimbing : Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT  
Judul Skripsi : Analisis Kemampuan Pentanahan Menara Sutt Terhadap Sambaran Petir Langsung Yang Mengakibatkan *Backflashover* Pada Saluran Transmisi 150 Kv Ponorogo – Manisrejo

| Minggu Ke- | Hari, Tanggal        | Waktu Bimbingan | Materi Bimbingan                                                                                                      | Paraf              |
|------------|----------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 8          | Senin, 17 April 2017 |                 | Revisi Flowchart                                                                                                      | <i>[Signature]</i> |
| 9          | Jumat, 28 April 2017 |                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Konsep dan revisi Flowchart</li><li>Data petir</li></ul>                        | <i>[Signature]</i> |
| 10         | Selasa, 9 Mei 2017   |                 | Pengarahan simulasi                                                                                                   | <i>[Signature]</i> |
| 11         | Jumat, 26 Mei 2017   |                 | Makalah seminar hasil                                                                                                 | <i>[Signature]</i> |
| 12         | Senin, 29 Mei 2017   |                 | Presentasi seminar hasil                                                                                              | <i>[Signature]</i> |
| 13         | Rabu, 31 Mei 2017    |                 | ACC makalah seminar hasil                                                                                             | <i>[Signature]</i> |
| 14         | Rabu, 14 Juni 2017   |                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Revisi format penulisan</li><li>Revisi algoritma penyelesaian masalah</li></ul> | <i>[Signature]</i> |

Malang, 2017  
Dosen Pembimbing I,

**Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT**  
NIP. 196105031992021001



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

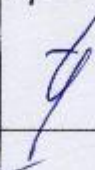
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang

## MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2016-2017

Nama Mahasiswa : Yoppi Kurnia Putra  
NIM : 1312012  
Nama Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT  
Judul Skripsi : Analisis Kemampuan Pentanahan Menara Sutt Terhadap Sambaran Petir Langsung Yang Mengakibatkan Backflashover Pada Saluran Transmisi 150 Kv Ponorogo – Manisrejo

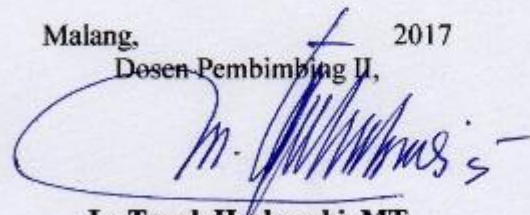
| Minggu Ke- | Hari, Tanggal        | Waktu Bimbingan | Materi Bimbingan                                                                                         | Paraf |
|------------|----------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1          | Senin, 6 Maret 2017  |                 | Bab I Pendahuluan                                                                                        |       |
| 2          | Rabu, 8 Maret 2017   |                 | Revisi latar belakang, rumusan masalah dan tujuan                                                        |       |
| 3          | Jumat, 24 Maret 2017 |                 | Revisi Flowchart                                                                                         |       |
| 4          | Rabu, 29 Maret 2017  |                 | Data dan perhitungan                                                                                     |       |
| 5          | Senin, 10 April 2017 |                 | Makalah seminar progress                                                                                 |       |
| 6          | Senin, 08 Mei 2017   |                 | Perubahan dan pementapan judul                                                                           |       |
| 7          | Selasa, 16 Mei 2017  |                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Revisi bab II</li><li>• Simulasi dan hasil perhitungan</li></ul> |       |



| Minggu Ke- | Hari, Tanggal       | Waktu Bimbingan | Materi Bimbingan                                                                                                | Paraf                                                                               |
|------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 8          | Sabtu, 20 Mei 2017  |                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Makalah seminar hasil</li> <li>• Bab IV</li> </ul>                     |  |
| 9          | Kamis, 2 Juni 2017  |                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ACC makalah seminar hasil</li> <li>• Prestasi seminar hasil</li> </ul> |  |
| 10         | Kamis, 13 Juli 2017 |                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abstrak</li> <li>• Bab I-V</li> </ul>                                  |  |
| 11         |                     |                 |                                                                                                                 |                                                                                     |
| 12         |                     |                 |                                                                                                                 |                                                                                     |
| 13         |                     |                 |                                                                                                                 |                                                                                     |
| 14         |                     |                 |                                                                                                                 |                                                                                     |

Malang, 2017

Dosen Pembimbing II,



**Ir. Teguh Herbasuki, MT**

**NIP. Y. 1038900209**

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di : Trenggalek, Jawa Timur

Pada tanggal : 17 Juni 1994

Nama Penulis : Yoppi Kurnia Putra

Penulis merupakan anak Pertama dari Bapak Waluyo dan Ibu Musitik. Penulis memulai awal Pendidikannya di SDN 1 Tegaren. Dan pada tahun 2007 penulis menempuh pendidikan di SMPN 1 Tugu sampai dengan 2010. Dan melanjutkan ke jenjang berikutnya di SMKN 1 Trenggalek sampai dengan tahun 2013. Dan kemudian melanjutkan studi di perguruan tinggi INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG (ITN MALANG). Dan memilih Jurusan TEKNIK ELEKTRO S-1, KONSENTRASI ENERGI LISTRIK, FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI. Dan di wisuda pada tanggal 30 September 2017. Dimana Judul Skripsi **“ANALISIS KEMAMPUAN PENTANAHAN MENARA SUTT TERHADAP SAMBARAN PETIR LANGSUNG YANG MENAKIBATKAN BACKFLASHOVER PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV PONOROGO – MANISREJO”**.

Selama penulis menjadi Mahasiswa ITN Malang, Penulis menjadi Asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik sampai penulis lulus dari ITN Malang.