**SISTEM PENTANAHAN SALURAN DISTRIBUSI 20 KV TERHADAP GANGGUAN SURJA PETIR**

Allan Indra Gunawan1, Sapto Nisworo2, dan Agung Trihasto3

*1,2,3Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar*

[allanindra48@gmail.com1,](mailto:allanindra48@gmail.com1,%20%20%20) saptonisworo@untidar.ac.id2, [agungtrihasto@untidar.ac.id3](mailto:agungtrihasto@untidar.ac.id3)

**ABSTRAK**

Listrik merupakan kebutuhan utama masyarakat saat ini untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem yang dapat menyediakan pasokan listrik yang baik agar dapat mendistribusikan energi listrik ke seluruh lapisan masyarakat. Dalam sistem distribusi tenaga listrik sering terjadi gangguan, namun hanya terdapat gangguan yang menyebabkan tegangan menjadi tidak konstan salah satunya karena gangguan petir, sambaran petir ada dua macam yaitu sambaran petir langsung dan petir tidak langsung pemogokan. Sambaran petir langsung terjadi ketika petir menyambar langsung kabel fase atau kabel pelindungnya. Sedangkan sambaran petir tidak langsung terjadi ketika petir menyambar suatu benda di dekat saluran, Indonesia merupakan negara yang terletak di wilayah ekuator yang panas dan lembab, sehingga memiliki hari petir yang sangat tinggi per tahun dibandingkan dengan negara lain di dunia yaitu sekitar 180 hari. per tahun dari hasil pengukuran tiang pentanahan di temanggung penyulang 1 masih kurang baik untuk mendapatkan nilai standar kurang baik, karena nilai standar sebaran tiang bumi adalah 5 ohm sampai dengan 50 ohm,

**Kata kunci:** sistem pentanahan, sambaran petir

***ABSTRACT***

*Electricity is a major requirement for the community today to meet their daily needs. Therefore, we need a system that can provide a good electricity supply in order to distribute electrical energy to all levels of society. In the electric power distribution system there is often a disturbance, but there are only disturbances that cause the voltage to be not constant, one of them is due to lightning interference, There are two kinds of lightning strikes, namely direct lightning strikes and indirect lightning strikes. Direct lightning strikes occur when lightning strikes directly the phase wire or its protective wire. Whereas indirect lightning strikes occur when lightning strikes an object near the channel, Indonesia is a country located in a hot and humid equatorial region, so that it has a very high thunder day per year compared to other countries in the world which is around 180 days per year , from the measurement results of the grounding pole at Temanggung, the feeder 1 is still not good enough to get the standard value is not good, because the standard value of the earth pole distribution is 5 ohms to 50 ohms,*

**Keywords:** grounding system, lightning strike

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat saat ini untuk memenuhi kebutuhan hidup mereka sehari-hari. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang dapat memberikan pasokan listrik yang baik agar dapat mendistribusikan energi listrik ke seluruh lapisan masyarakat [1].

Kontinuitas pelayanan yang merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan tergantung kepada macam sarana penyalur dan peralatan pengaman. Jaringan distribusi sebagai sarana penyalur tenaga listrik mempunyai tingkat kontinuitas tergantung kepada susunan saluran dan cara pengaturan operasinya. Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyalur disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah mengalami gangguan [2].

Distribusi tenaga listrik mempunyai peran penting karena terhubung langsung dengan penggunaan energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Pada sistem pendistribusian tenaga listrik biasanya sering terjadi gangguan (fault). Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal [3].

Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah katulistiwa yang panas dan lembab, sehingga memiliki hari guruh per tahun yang sangat tinggi dibandingkan dengan negara-negara lain di dunia yaitu sekitar 180 hari per tahun [4].

II. LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Salah satu sarana yang sangat penting dan dibutuhkan manusia adalah tersedianya listrik. Untuk itu di perlukan adanya pelayanan yang bisa menjamin akan ketersediaan listrik secara kontinu dengan kualitas daya yang baik. Namun ada saja gangguan-gangguan yang mengakibatkan tegangan listrik menjadi tidak konstan, salah satunya adalah akibat gangguan petir [5]

Gangguan yang terbesar dalam sistem tenaga listrik terjadi di daerah penyaluran distribusi, karena hampir sebagian besar sistem terdiri dari penyaluran dan diantara sekian banyak gangguan yang terjadi, petir merupakan salah satu penyebabnya, hal ini dikarenakan letak indonesia pada daerah katulistiwa dengan iklim tropis dan kelembaban yang tinggi, sehingga menyebabkan kerapatan sambaran petir di indonesia jauh lebih besar dibandingkan dengan negara lainnya. Terdapat dua macam sambaran petir, yaitu sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung. Sambaran petir langsung terjadi apabila petir menyambar langsung kawat fasa atau kawat pelindungnya. Sedangkan sambaran petir tidak langsung terjadi apabila petir menyambar objek di dekat saluran.

Salah satu gangguan dari luar sistem adalah sambaran petir, baik secara langsung maupun tidak langsung mengenai kawat penghantar atau kawat tanah dari saluran udara tegangan menengah. Apabila saluran udara tegangan menengah disambar oleh petir, dimana pada saluran tersebut terjadi kegagalan perisaian sehingga petir menyambar langsung kawat fasa, maka muatan yang dilepas oleh petir pada konduktor akan mengalir pada dua arah yang berlawanan dalam bentuk gelombang berjalan (surja). Tegangan induksi didefinisikan sebagai tegangan yang disebabkan oleh muatan-muatan pada sambaran petir terjadi disuatu titik di sekitar saluran konduktor [6].

B. Dasar Teori

1. Petir

Muatan awan bawah yang negatif akan menginduksi permukaan tanah menjadi positif sehingga terbentuklah medan listrik antara awan dan tanah (permukaan bumi). Semakin besar muatan yang terdapat di awan, semakin besar pula medan listrik yang terjadi dan bila kuat medan listrik tersebut telah melebihi kemampuan isolasi udara antara awan dan tanah, maka akan terjadi pelepasan muatan listrik. Peristiwa inilah yang disebut dengan petir.

2.Surja petir

Surja Petir adalah gejala tegangan lebih transien yang disebabkan oleh sambaran petir baik secara langsung maupun tidak langsung yang terjadi pada sebuah rangkaian listrik. Bentuk gelombang surja petir dapat didefinisikan sebagai sebuah tegangan impuls yaitu, tegangan yang naik dalam waktu yang sangat singkat disusul dengan penurunan ke nilai tegangan nol yang lambat.

3.Fenomena surja petir

Proses awal terjadi petir disebabkan karena adanya awan bermuatan di atas bumi. Pembentukan awan bermuatan disebabkan karena adanya kelembaban udara dan adanya gerakan udara keatas (*up draft*). Kelembaban udara timbul oleh pengaruh sinar matahari yang kemudian akan

4.Gangguan kilat pada saluran udara tegangan menengah

Gangguan petir pada saluran udara tegangan menengah dibedakan menjadi dua gangguan yaitu sambaran petir langsung dan sambaran induksi. Sebagaimana diketahui panjang gawang saluran udara tegangan menengah berkisar antara 40 sampai 80 meter, tetapi pengetanahan tiang dilakukan selang 3 sampai 4 gawang yaitu untuk saluran dengan kawat tanah atau kawat netral jadi sambaran langsung dianggap pada semua tiang baik pada tiang yang diketnahkan maupun pada yang tidak diketanahkan dengan jumlah sambaran dianggap sama , jumlah gangguan pada saluran tegangan menengah dapat dituliskan sebagai ;

N0 = Ni + Nt................................................................................................(1)

Keterangan

No = jumlah gangguan petir

Ni = jumlah akibat gangguan sambaran induksi

Nt = jumlah akibat gangguan sambaran langsung

5.Sambaran langsung

Sambaran langsung adalah petir yang menyambar langsung ke kawat fasa atau pada kawat tanah, pada saluran udara tegangan menengah diasumsikan bahwa pada saluran dengan kawat tanah tidak ada kegagalan perisaian. Asumsi ini dapat dibenarkan karena tinggi kawat diatas tanah relatif rendah dan juga karena dengan sudut perisaian yang biasanya lebih kecil 60 º sudah dapat dianggap semua sabaran petir mengenai kawat tanah, jadi tidak ada kegagalan perisaian.

Waktu kilat menyambar kawat tanah atau kawat fasa akan timbul arus besar dan sepasang gelombang berjalan yang merambat pada kawat. Arus yang besar ini dapat membahayakan peralatan – peralatan yang ada pada saluran. Besarnya arus atau tegangan akibat sambaran ini tergantung pada besar arus kilat. Oleh karena saluran tegangan menengah tidak begitu tinggi di atas tanah, maka jumlah sambaran langsung pun rendah.

6.Sambaran tidak langsung atau sambaran induksi

Bila terjadi sambaran petir ke tanah di dekat saluran maka akan terjadi fenoena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis dari kanal petir. Fenomena petir ini terjadi pada kawat penghantar. Akibat dari kejadian ini timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat di tempat sambaran berlangsung, fenomena transien pada kawat berlangsung hanya dibawah pengaruh gaya yang memaksa muatan-muatan bergerak sepanjang hantaran.

7.Tegangan induksi pada saluran akibat sambaran induksi

Menghitung tegangan lebih pada saluran akibat sambaran induksi terlebih dahulu harus diketahui medan elektromagnetis dari sambaran kilat. Arus kilat pada tanah mempunyai waktu muka yang kecil, Selama proses pelompatan suatu muatan q0 telah terdistribusi secara merata sepanjang kanal kilat. Kemudian sambaran balik yang berupa surja arus dengan bentuk fungsi langkah akan bergerak ke atas dengan kecepatan sama dengan kecepatan sinar dan menetralkan muatan yang ada pada kanal kilat. Bila waktu muka dari arus kilat tidak diperhatikan pendekatan ini dapat digunakan untuk bagian bawah dari kanal kilat, di mana variasi muatan dan kecepatan pada ketinggian di atas permukaan tanah dapat diabaikan.

Hubungan antara arus I0 dan muatan q0 adalah :

I0 = c q0.................................................................................(2)

Keterangan :

Io = harga puncak arus kilat selama sambaran balik,

c = kecepatan merambat sambaran balik,

qo= muatan listrik pada lintasan kilat persatuan panjang.

Dengan menurunkan besar potensial skalar penginduksi :

Vind=2 Z0 I0 h (c0/c)..............(3)

Zo=μo/єo)1/2=1/2.....................................(4)

h = tinggi kawat diatas tanah

co = kecepatan merambat sinar

c = kecepatan merambat sinar balik

l = panjang total kilat

ro = jarak antara kawat dengan sambaran kilat

t = waktu

Dari persamaan (3) diperoleh harga gelombang tegangan induksi untuk masing-masing komponen, yaitu :

V1 = Zo Io h (c/co)

x

V2 = V2 (-x)......................................................................(5)

Jadi jumlah gelombang tegangan induksi akibat sambaran kilat tidak langsung adalah,

V = V2+V2.............................................................................(6)

Dalam persamaan (4)

x = kordinat sepanjang kaat; x = 0 adalah titik yang terdekat dengan sambaran kilat.

y = jarak kawat dengan sambaran kilat vertikal.

Pada titik x = 0, yaitu titik terdekat ke sambaran, maka setelah subsitusisi dalam persamaan (4) dan (5) dan mengingat c/co kecil, diperoleh harga maksimum,

Vo, maks = ............................(7)

Harga c/co = 0,1 sampai 0,5, jadi

Vo, maks = (1,07-1,38).

Pengaruh Kawat Tanah Terhadap Tegangan Induksi

Dalam menghitung pengaruh kawat tanah terhadap tegangan induksi diperkenalkan Faktor Perisaian (FP) yang di definisikan sebagai hasil bagi tegangan induksi dengan kawat tanah dan tegangan induksi tanpa kawat tanah, kawat tanah ideal adalah kawat tanah yang mempunyai titik pentanahan pada setiap tiik sepanjang kawat tanah, sehingga potensialnya sepanjang kawat adalah nol. Pada kenyataannya tidak ada kawat ideal, jadi kawat tanah itu mempunyai beda tegangan tertentu terhadap tanah. Keadaan dengan satu kawat tanah dan tahanan kontak tiang sebesar R, Diasumsikan bahwa tidak terjadi pantulan pada ujung saluran, bila gelombang tegangan yang timbul pada kawat 2 (kawat tanah) sebelum diketanahkan adalah V2 maka arus yang melalui impendansi setelah di ketanahkan dengan tahanan R adalah

I2 = ...........................................................................(8)

Keterangan :

V2 = tegangan induksi pada kawat 2 sebelum diketanahkan,

Z22 = impedansi surja kawat 2,

R = tahanan kontak ke tanah

I2 = arus yang mengalir pada hubungan ke tanah.

Arus ini memberikan kenaikan pada gelombang tegangan pada kawat fasa 1 sebesar V2 yaitu :

V2 = Z12 = ....................................(9)

Keterangan :

Z12 = impedansi surja bersama kawat tanah dengan kawat fasa

Jadi besar tegangan pada kawat fasa 1 setelah kawat tanah 2 diketanahkan,

V1 = V1 .............................................(10)

Jadi Faktor perisaian (FP) adalah

FP = = 1 ......................................(11)

Keterangan :

Vi ' = tegangan induksi pada kawat 1 setelah kehadiran kawat tanah 2.

V1 = tegangan induksi pada kawat 1 sebelum kehadiran kawat tanah 2.

Tegangan induksi sebelum diketanahkan sebanding dengan tinggi kawat di atas tanh, atau (V2/V1) = (h2/h1), maka persamaan menjadi,

FP = 1 .............................................(12)

Dan persamaan (2.11) menjadi,

V1 = V1......................................(13)

Dalam persamaan (2.12) dan (2.13),

h1 = tinggi rata-rata kawat fasa 1 di atas tanah.

h2 = tinggi rata-rata tanah 2 di atas tanah.

Pada saluran fasa tiga dengan empat kawat, yaitu tiga kawat fasa dan satu kawat netral, dan tidak ada kawat tanah, maka pengaruh kawat netral itu terhadap tegangan induksi pada kawat fasa sama seperti pengaruh kawat tanah pada tegangan induksi pada kawat fasa. Tinggi kawat netral diatas tanah h2 lebih rendah dari tinggi kawat fasa h1, jadi besar faktor perisaian lebih besar di banding dengan faktor perisaian dari saluran dengan kawat tanah.

Perhitungan Jumlah Gangguan Kilat Akibat Sambaran Induksi. Suatu kawat setinggi h di atas tanah. Misalkan suatu sambaran kilat vertikal menyambar tanah pada jarak y dari kawat, besar tegangan induksi pada kawat telah diberikan oleh persamaan

V1 =

Keterangan :

V1 = tegangan induksi pada kawat, kV

Io = besar arus kilat, kA

h = tinggi rata- rata kawat diatas tanah

y = jarak horizontal antara sambaran kilat dengan kawat, v.

Bila saluran itu dilengkapi dengan kawat tanah, maka besar tegangan induksi pada kawat fasa telah diberikan dari persamaan :

V1 = V1...................................................(14)

Keterangan :

Vi ' : tegangan induksi pada kawat fasa dengan kawat tanah, kV

Vi : tegangan induksi pada kawat fasa tanpa kawat tanah, kV

Z22 :impedansi surja sendiri kawat tanah 2, ohm

Z12 : impedansi surja bersama antar kawat tanah 2 dan kawat

fasa 1, ohm

tabel 1 data pentanahan tiang kontak

sumber: APJ Temangguang

h1 : tinggi rata-rata kawat fasa 1 diatas tanah, meter

h2 : tahanan rata-rata kawat tanah 2 di atas tanah, meter

R : Hambatan tiang, ohm

Jumlah sambaran untuk panjang 100 km saluran,

N= 0,015 IKL......................................................................(15)

a. tanpa kawat tanah :

Ni = x η....................................................(16)

b. dengan kawat tanah :

Ni = 30,6 . IKL . FP . ht . x η....................(17)

c. saluran dengan satu kawat tanah

Nt = 0,015 IKL (b +4h1,09) e x η.................(18)

d. saluran dengan satu kawat tanah (b = 0),

Nt = 0,015 IKL (4h1,09) e x η...........................(20)

III. METODOLOGI PENELITIAN

1.Tahap Penelitian

Penelitian dalam menganalisa sistem pentanahan distribusi dibagi dalam tahap-tahap yang dilakukan secara urut dan di susun secara sistematis untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan teori. Tahapan-tahapan penelitian tersebut mencakupi studi literatur, pengambilan data dan pengolahan data. Kemudian dilakukan analisis dan evaluasi hasil penelitian yang selanjutnya dapat dibuat kesimpulan.

Berikut adalah diagram alur perhitungan pada tiang 1:

Gambar 1 Diagram alir perhitungan pada tiang

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian sistem pentanahan diperlukan data masukkan berdasarkan data resistansi pentanahan pada temanggung penyulang 1

|  |  |
| --- | --- |
| Titik pentanahan | Nomor Tiang |
| 1 | TMG01-356 |
| 2 | TMG01-227-B48 |

4.2 Analisa Data

Sambaran petir secara total adalah hasil jumlah sambaran petir secara langsung (NT) dan sambaran petir secara induksi (Ni) , pada saluran distribusi 20 kV Temanggung penyulang 1. Perhitungan dapat di tentukan apabila dilengkapi dengan data hari guruh atau IKL pada daerah sekitar saluran distribusi. Berdasarkan data hari guruh di indonesia nilai IKL adalah 180.

Tabel 2 Data resistansi tanah Temanggung Penyulang 1

|  |  |
| --- | --- |
| Titik Pentanahan | Hambatan kontak Tiang pentanahan (Ω) |
| 1 | 0,655 |
| 2 | 773 |

Sumber: APJ Rayon Temanggung

4.3 Pembahasan

4.4 Perhitungan Tiang Pentanahan 1

Pada saluran udara tegangan menengah 20 kV Temanggung penyulang 1 dengan kawat netral tanpa kawat tanah, menggunakan tiang beton, impedansi surja sendiri dari kawat fasa dan kawat netral adalah sama 500 ohm, sedangkan impedansi surja bersama antara kawat fasa palin pinggir dan kawat netral 216 ohm dan Tahanan kontak tiang R= 0,655. IKL = 180.

Kekuatan impuls isolator V50 % = 160 kV, sedangkan tebal beton 4 cm (2 cm di puncak dan 2 cm di dasar tiang)



Sumber : APJ Rayon Temanggung

Gambar 2 Tiang distribusi temanggung penyulang 1 dengan no tiang TMG01-356

Kekuatan impuls isolator V50 % = 160 kV, sedangkan tebal beton 4 cm (2 cm di puncak dan 2 cm di dasar tiang)



Sumber : APJ Rayon Temanggung

Gambar 3 Hasil pengukuran pentanahan pada tiang 1

Perhitungan pada tiang pentanahan dengan no tiang TMG01-318 Temanggung penyulang 1 akan mudah di tentukan apabila nilai tahanan kontak pentanahan tiang hasil pengukuran telah di ketahui

Perhitungan tiang pentanahan 1

1. Tinggi kawat netral = 10,04 m

2. Tinggi kawat fasa paling pinggir = 8,99 m

3. Tinggi kawat paling atas = 9,51 m

a. Gangguan kilat induksi :

Ketahanan impuls isolator dan beton :

160 + 80 = 240 kV

Jumlah gangguan induksi dapat diperoleh dari tinggi kawat tanah digunakan tinggi kawat fasa paling atas, terlebih dahulu dihitung Faktor Perisaian dari perisaian

FP = 1-

= 1 –

= 0,66

Jumlah gangguan induksi :

Ni = 30,6 . IKL . FP . h . e

= 30,6 . 180 . 1,31 . 10,04 . e

= 32 gangguan

b. Gangguan kilat langsung :

Karena kawat netral terletak di bawah kawat fasa, maka kawat netral itu hanya efektif terhadap gangguan induksi, tetapi tidak terhadap sambaran langsung.

Nt = 0,015 . IKL ( b + 4 h 1,09 )

= 0,015 . 180 . ( 4 . 9,511,09 ) e –

= 60 gangguan

Jadi jumlah gangguan kilat pada tiang 1 adalah :

No = Ni + Nt

= 92 gangguan per 100 km/ tahun

Perhitungan Tiang Pentanahan 2

Pada saluran udara tegangan menengah 20 kV Temanggung penyulang 1 dengan satu kawat tanah, tiang beton.

Impedansi surja sendiri kawat tanah Z22 = 500 ohm impedansi surja bersama antara kawat tanah dan kawat fasa paling pinggir Z12 = 150 ohm. Tahanan kontak tiang yang diketanahkan = 773 ohm dan tahanan kontak tiang yang tidak di ketanahkan = 500 ohm.

  
Sumber : APJ Rayon Temanggung

Gambar 4 Tiang distribusi temanggung penyulang 1 dengan no tiang TMG01-227-B48

Kekuatan impuls isolator V50 % = 160 kV, dan tebal beton 4 cm (2 cm di puncak dan 2 cm di dasar tiang) dengan ketahanan impuls 20 kv/cm. Probabilitas peralihan lompatan api 0,5 dan IKL = 180.



Sumber : APJ Rayon Temanggung

Gambar 5 Hasil pengukuran pentanahan pada tiang 2

Perhitungan pada tiang pentanahan dengan tiang nomor TMG01-318 Temanggung penyulang 1 akan mudah di tentukan apabila nilai resistensi tanah hasil pengukuran telah di ketahui

Perhitungan pada tiang 2

Tinggi kawat tanah diatas tanah = 10,04 m

Tinggi kawat fasa di atas tanah = 8,99 m

a. Gangguan kilat induksi

Ketahanan impuls isolator dan beton :

160 + 80 = 240 kV

Besar faktor perisaian,

FP = 1-

= 1 –

= 0,91

Ni = 30,6 . IKL . FP . h . e

= 30,6 . 180. 0,98 . 10,04 . e

= 53 gangguan

b. Gangguan kilat langsung :

Setelah sambaran kilat mengenai tiang yang di ketanahkan dan setengah mengenai tiang yang tidak di ketanahkan.

Untuk tiang yang diketanahkan digunakan tahanan impuls isolator V50 % = 160 kV, dan tiang yang tidak di ketanahkan impuls isolator terhubung seri dengan ketahanan impuls dari lapisan beton, 80 kV. Jadi ketahanan impuls total untuk tiang yang tidak di ketanahkan = 160 + 80 = 240 kV

Perhitungan tiang pentanahan 2

Nt = NL . PFL . η

= 0,015 . IKL ( b + 4 h 1,09 )

= 0,015 . 180. (4 . 9,511,09 ) –

= 66,32

Nt = 0,015 . 180 . (4 . 9,511,09 ) –

= 65,8

Jadi jumlah gangguan kilat karena sambaran langsung ke kawat tanah adalah

Nt = = 66 gangguan per 100 km/tahun

Jadi jumlah gangguan kilat adalah

N0 = N1 + Nt

= 51 + 66

= 107 gangguan per 100 km/tahun

V. PENUTUP

Berdasarkan proses yang telah di kerjakan pada skripsi ini, dapat di simpulkan bahwa total jumlah sambaran petir pada tiang TMG01-227-B48 berjumlah 107 kali gangguan per 100 km/tahun sedangkan jumlah total sambaran petir pada tiang TMG01-318 berjumlah 92 kali gangguan per 100 km/ tahun, dari perbandingan kedua tiang maka gangguan di tiang TMG01-227-B48 lebih banyak gangguannya di bandingkan pada tiang TMG01-318, berdasarkan hasil dari nilai alat uji yang sudah tertera pada tiang TMG01-227-B48 dengan nilai resistansi 773 ohm, maka sistem pentanahan pada

DAFTAR PUSTAKA

[1] Malandes, Adrianus D. 2005. Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya. Manado: *Politeknik Negeri Manado*.

[2] Saodah, Siti .2008. Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Saidi Dan Saifi. Yogyakarta. *Institut Teknologi Nasional.*

[3] Christophe Prévé. 2006 “*Protection of Electrical Networks*”, Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire, pp 77-111

[4] Irianto Chairul G. 2003. Proteksi Petir Pada Transisi Saluran Udara Dan Bawah Tanah Tegangan Menengah 20 kV. Jakarta. *Universitas Trisakti Jakarta*

[5] Sabdullah, Mursid, 2005, Analisis Distribusi Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir Untuk Pertimbangan Proteksi Peralatan Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV, Yogyakarta. *Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan.*

[6] Fadillah Chandra , Haryono T, Suharyanto .2014. Simulasi Distribusi Tegangan Petir Di Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Kentungan 2 Yogyakarta. Yogyakarta. *Jurnal Penelitian Teknik Elektro dan Teknologi Informasi.*

[7] Hutauruk,. T.S, 1991. *Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja* , Penerbit Erlangga, Jakarta, Hal 171-197