

ANALISIS PENGGUNAAN ARRESTER SEBAGAI PENGAMAN TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN SOFTWARE ATP (*ALTERNATIVE TRANSIENT PROGRAMME*) DI GARDU INDUK 150 kV PURWOREJO

Joko Suprayitno, Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M. Eng., Nur Hayati, S.ST., M.T.

Faculty of Electrical Engineering Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183, Indonesia
Corresponding Email: jakka.suprayitna129@gmail.com@gmail.com

Abstract

Electrical energy is a vital energy for survival in a country. In the course of time, problems arise that can be experienced in the management of electrical energy. One external problem that arises is that interference can cause interference with high voltage systems such as Transformers. One function for Transformers in the Substation is Arrester. The work system is by transferring further frequencies from being channeled to the ground. Arrester installed at 150 kV substation Purworejo with OHIO BRASS brand has a spark voltage of 650 kV, while the transformer installed at the substation has a BIL voltage of 715 kV. At this time the distance between arresters and transformers was measured according to the data in the field and obtained a distance of 9.75 meters. While the distance in Purworejo 150 kV Substation was 8 meters. Both values are still below the maximum values of the IEC standard (1958) and SPLN (1978: 4) with a value of 28.5 meters. However, the value of 8 meters in the 150 kV substation in Purworejo is more useful because the arrester is in a position closer to the transformer, the arrester with more than a better voltage. Then from the distance in the field and calculations are carried out simulation and analysis using ATP (Alternative Transient Program) software. The results obtained from the arrangement of arresters with a distance of 8 meters with a better voltage.

Keywords: Arresters, Transformator, ATPSoftware ATP (*Alternative Transient Programme*), Lightning.

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan sumber energi vital bagi kelangsungan hidup disuatu negara termasuk di Indonesia. Industri listrik dituntut untuk senantiasa menaikkan kualitas penyaluran energi listrik.

PT. PLN (Persero) atau Perusahaan Listrik Negara merupakan perusahaan yang bertindak sebagai pengelola dan penyalur sumber daya listrik ke semua wilayah yang ada di Indonesia. Dalam rangka memenuhi kebutuhan pasokan listrik yang semakin meningkat di setiap daerah maka PLN menerapkan interkoneksi antar sistem sejava – bali. Adanya sistem interkoneksi yang terbentang di seluruh pulau jawa dan bali diharapkan dapat memenuhi kriteria yang harus dipenuhi oleh perusahaan penyedia listrik. Namun dalam proses berjalannya waktu, timbul beberapa masalah yang dapat terjadi dalam hal pengelolaan sistem transmisi tersebut. Satu masalah yang timbul yaitu terjadinya masalah eksternal dalam dalam hal pemeliharaan. Pada proses pemeliharaan peralatan sistem transmisi terdapat

kondisi dimana peralatan mengalami masalah atau gangguan yang diakibatkan karena adanya gangguan dari alam yaitu petir.

Gangguan petir dapat menyebabkan gangguan tegangan berlebih pada sebuah sistem tegangan tinggi mulai dari 150 kV maupun sampai 500 kV. Transformator yang merupakan komponen terpenting pada sebuah sistem tegangan tinggi perlu dilindungi maupun diproteksi dari gangguan yang diakibatkan oleh petir tersebut.

Satu peralatan keamanan bagi Transformator yang berada di Gardu Induk adalah Arrester atau bisa disebut *Lightning Arrester (LA)*. Arrester adalah sebuah alat pelindung bagi sistem tenaga listrik terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh petir atau surja hubung (*switch surge*). Oleh karena itu dalam kesempatan ini akan dilakukan penelitian pada penempatan *lightning arrester* sebagai proteksi Transformator pada Gardu Induk yang dapat divariasikan nilai *surge*petir dan variasi jarak pemasangan Arrester dengan transformator yang disimulasikan pada *software ATP (Alternative Transient Programme)*, dimana

study kasus penelitian ini berlokasi di Gardu induk 150 kV Purworejo.

2 DASAR TEORI

2.1 Arrester

Arrester atau yang bisa disebut sebagai *Lightning Arrester* merupakan satu peralatan yang ada di gardu Induk yang diciptakan dengan tujuan melindungi peralatan dari tegangan surja baik surja hubung maupun surja petir. *Lightning arrester* bekerja dengan cara membatasi tegangan *abnormal* serta mengalirkan tegangan *abnormal* tersebut ke tanah. Ketika terjadi gangguan alat ini bekerja sebagai konduktor dengan mengalirkan arus surja ke tanah sampai batas aman peralatan tersebut. Namun ketika tidak terjadi gangguan maka alat ini berubah statusnya menjadi isolator.

Ketika terjadi beberapa arus petir yang melewati arrester, maka arrester mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (*voltage limiting*). Karakteristik dari pembatas tegangan tersebut merupakan tanda bahwa harga tegangan terminal mampu ditahan oleh arrester saat menyalurkan arus tertentu. Arrester juga memiliki batasan termis yang artinya arrester mampu melewatkan arus sambaran petir dalam durasi lama dan berulang. Berikut ditunjukkan gambar rangkaian arrester yang ada di Gardu Induk 150 kV Purworejo.



Gambar 1 Arrester

(sumber: Gardu Induk 150 kV Purworejo)

2.2 Transformator

Transformator atau trafo tenaga berfungsi untuk menyalurkan tenaga/ daya listrik dengan menaikkan atau menurunkan tegangan di Gardu Induk. Dari jumlah belitannya, ada dua macam trafo yaitu trafo 1 fasa dan trafo 3 fasa. Kapasitas dasar transformator dipilih sama dengan daya dasar (*rated output*) generator (kVA). Tegangan primer biasanya dipilih 5% dibawah

tegangan dasar generator. Namun, dalam beberapa hal, khususnya untuk transformator yang dihubungkan dengan kawat transmisi tegangan tinggi sekali (*extra-high voltage*) maka, karena faktor daya mungkin sama dengan 1,0 atau bahkan mendahului (*leading*), tegangan primer dipilih sama dengan tegangan generator. Pemakaian sistem pengaturan tegangan dengan cara mengatur tegangan generator.

Ketika terjadi gangguan *abnormal*/tegangan lebih (*over voltage*) yang diakibatkan oleh sambaran petir (*lightning impulse*) dan surja hubung (*switching*) maka dalam memberikan perlindungan terhadap transformator harus dalam kondisi yang optimal sehingga dalam pendistribusian energi listrik ke beban dapat berjalan dengan semestinya. Transformator tenaga (*step down*) dapat menurunkan tegangan yang berasal dari saluran transmisi 150 kV hingga menjadi 20 kV dan selanjutnya akan diturunkan kembali tegangannya menggunakan transformator *step-down* distribusi jaringan tegangan menengah 20 kV ke jaringan tegangan rendah 380/220 volt. Berikut adalah gambar dari transformator tenaga I di Gardu Induk Purworejo 150 kV.



Gambar 2 Transformator

(sumber: Gardu Induk 150 kV Purworejo)

Basic Impulse Insulation Level (BIL) atau tingkat isolasi dasar impuls transformator adalah batas kemampuan transformator dalam melewatkan tegangan lebih (*over voltage*) akibat sambaran petir (*lightning strike*) dan hubung singkat (*switching*). Pada Gardu Induk 150 kV Purworejo diperlukan kekuatan BIL sampai 750 kV atau lima kali lipat dari tegangan sistem agar dapat menghindari adanya kerusakan pada

transformator tenaga akibat adanya kondisi *abnormal*.

2.3 Software ATP (Alternative Transient Programme)

ATP (Alternative Transient Programme) adalah sebuah *software* komputer sebagai program pada ketenagalistrikan yang didesain untuk menyelesaikan persoalan *transient* pada sistem tenaga listrik. ATP (Alternative Transient Programme) digunakan pada rangkaian distribusi maupun rangkaian terkonsentrasi.

ATP (Alternative Transient Programme) merupakan pengembangan dari program EMTP (Electromagnetic Transient Programme) yang dikembangkan pada tahun 2012 oleh Dr. Hans Kr. Høidalen di SINTEF Energy Research/Norwegian University of Science and Technology in Norway, serta didukung oleh Bonneville Power Administration, Portland-Oregon-USA. Berikut icon dari *software* ATP Draw.



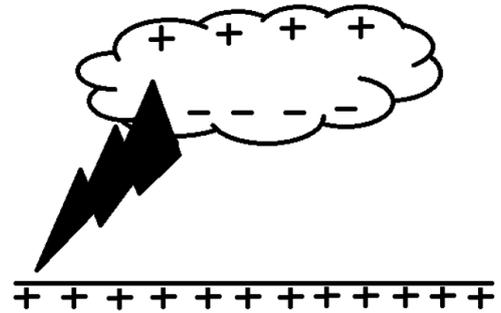
Gambar 3 Icon *software* ATP(Alternative Transient Programme)Draw

ATP Draw dan EMTP lebih ditekankan pada penyelesaian mengenai masalah transien pada sistem tenaga listrik, walaupun demikian program ini juga dapat menyelesaikan persoalan tenaga listrik dalam keadaan lunak. ATP Draw dan EMTP dapat digunakan untuk menganalisis transients pada rangkaian yang mengandung parameter terkonsentrasi (R, L, dan C), saluran transmisi dengan parameter terdistribusi, saluran yang ditransposisi atau saluran yang tidak ditransposisi. ATP Draw dan EMTP sangat tepat jika digunakan untuk menganalisis transien pada operasi surja hubung (*switching surge*) atau surja petir (*lightning surge*) karena program ini secara khusus menyediakan fasilitas pemodelan untuk generator, circuit breaker, transformator, sumber surja petir dan pemodelan berbagai jenis saluran transmisi. (Dommel, Herman, 1996).

2.4 Gangguan di gardu Induk

Terjadinya petir diawali karena adanya awan bermuatan di atas bumi. Ketika terjadi kelembaban udara dan adanya gerakan udara keatas maka akan terjadinya pembentukan awan bermuatan. Adanya pengaruh sinar matahari menimbulkan kelembaban udara yang kemudian akan menyebabkan penguapan air. Kemudian dari

uap air tersebut naik ke atas (*up draft*). Proses *up draft* yang terjadi terus menerus akan membentuk awan bermuatan. Berikut ditunjukkan ilustrasi sambaran petir dari awan ke bumi.



Gambar 4 Sambaran Petir dari Awan ke Bumi

Setelah timbul awan bermuatan, selanjutnya kristal-kristal es yang terdapat pada awan bermuatan tersebut saat terkena angin akan mengalami gesekan sehingga muatan pada kristal es tidak menjadi netral seperti sebelumnya, maka pada awan tersebut terdapat muatan positif (+) dan negative (-). Muatan positif pada awan berkumpul dibagian atas awan, sedangkan muatan negatif berada dibagian bawah awan. Permukaan bumi dianggap memiliki muatan positif sehingga muatan-muatan negatif yang berada di awan akan tertarik menuju muatan positif yang berada di bumi. Saat terjadi proses pengaliran muatan dari awan ke bumi ini yang kemudian disebut sebagai petir.

2.4 Perhitungan Tegangan Arrester

Tegangan dasar arrester ditentukan berdasarkan tegangan sistem maksimum yang mungkin terjadi. Tegangan ini dipilih berdasarkan kenaikan tegangan dari fasa-fasa yang normal pada waktu ada gangguan 1 fasa ke tanah ditambah suatu toleransi. Dalam menentukan tegangan dasar arrester dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Er = \alpha \beta Um \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

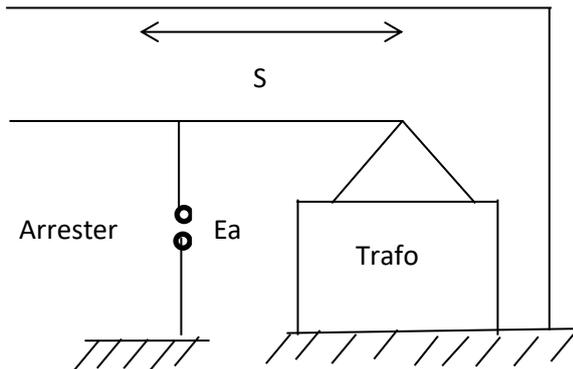
- Er = Tegangan dasar arrester (kV)
- α = Koefisien pembumian
- β = Toleransi
- Um = Tegangan sistem maksimum (kV)

Koefisien α menunjukkan kenaikan tegangan dari fasa yang normal pada waktu ada gangguan 1 fasa ke tanah, tergantung dari

impedansi-impedansi urutan positif, negatif dan nol dilihat dari titik gangguan.

2.5 Perancangan Sistem

Sebagai langkah dalam melindungi transformator dari gangguan tegangan lebih akibat surja hubung maka diperlukan adanya parameter penentuan letak pemasangan Arester. Dalam proses pemasangan arrester penentuan jarak maksimum antara arrester terhadap peralatan yang dilindungi harus sesuai dengan standar seperti gambar dibawah ini :



Gambar 5. Skema jarak transformator dan arester dengan jarak S (Hutauruk, 1989:112)

Sebagai bahan pertimbangan, bahwa letak pemasangan arrester terhadap Transformator secara teori dipasang sedekat mungkin pada gardu induk, namun dalam kenyataanya dilapangan pemasangan antara arrester terhadap transformator dipasang pada letak tertentu sesuai kondisi dilapangan. Sementara berdasarkan rumus perhitungan, jarak antara arrester terhadap transformator dapat dihitung dengan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$E_p = E_a + 2A S/V \dots\dots\dots(2)$$

(Hutauruk, 1988:113)

Keterangan:

- E_a = Tegangan percik arester
- E_p = Tegangan pada jepitan trafo
- a = de/dt = kecuraman gel datang (m)
- v = kecepatan merambat gelombang

3 METODOLGI

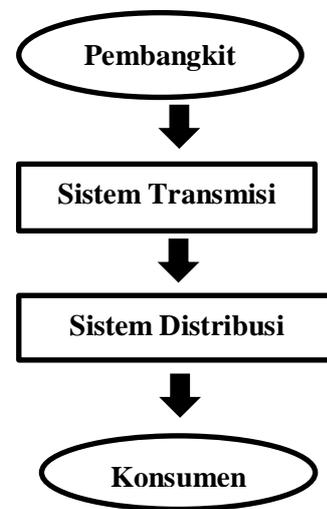
Pada pembuatan skripsi ini dilakukan pengambilan data serta pengamatan dilokasi Gardu Induk, kemudian dari hasil data tersebut penulis melakukan analisis secara matematis bagaimana sistem proteksi pada jarak antara arrester dengan transformator sesuai standar IEC

(1958) dan SPLN (1978:4). Kemudian dilakukan simulasi menggunakan *software* ATP (*Alternative Transient Programme*) dan

4 HASIL DAN ANALISIS

Proses pendistribusian energi listrik di Indonesia dimulai dengan urutan mulainya listrik dibangkitkan oleh pusat pembangkit listrik, selanjutnya tenaga listrik ditransmisikan melalui gardu induk, jaringan transmisi serta gardu distribusi yang berakhir tenaga listrik tersebut di konsumen. Berikut ditunjukkan proses distribusi listrik di Indonesia :

PROSES LISTRIK DISALURKAN



Gambar 6. Sistem Tenaga Listrik

4.1 Pemasangan Arrester dan Transformator di Gardu Induk

Berikut adalah gambar jarak penempatan antara Arrester terhadap Transformator yang berada di Gardu Induk 150 kV Purworejo.



Gambar 6 Jarak penempatan antara Arrester dan Transformator

(sumber: Gardu Induk 150 kV Purworejo)

4.2 Data Lapangan

Dari survey yang dilakukan di Gardu Induk dihasilkan data sebagai berikut :

a. Arrester

Arrester yang ada di GI 150 kV Purworejo terpasang untuk pengamanan Transformator. Arrester tersebut memiliki ukuran, bentuk dan type dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merk	: OHIO BRASS
Type	: PH3170GV132
Tegangan Percik	: 650 kV
Tegangan Nominal	: 132 kV
Jenis Pasangan	: Luar
Tahun Pembuatan	: 2015
Short Circuit	: 63 kA RMS
Arus Nominal	: 10 kA
Panjang Arrester	: 1.2 meter
Frekuensi	: 50 Hz

Adapun tabel karakteristik arrester yang digunakan di Gardu Induk 150 kV Purworejo pada transformator tenaga I dengan durasi waktu 8/20 μ s lightning impulse dan 36/90 μ s switching impulse adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Karakteristik Arrester OHIO BRASS

Arus (A)	Tegangan (V)
1500	271000
3000	282000
5000	295000
10000	316000
20000	342000
40000	390000

b. Transformator

Transformator yang terpasang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Type :	SDDR 30000/170
Tegangan tinggi	: 150 kV
Tegangan rendah	: 20 kV
Basic Impuls Level	: 750 kV
Power:	30 MVA
Frekuensi	: 50 Hz
Macam pendingin	: ONAN
Tahun pembuatan	: 1989
Jenis pasangan	: Luar

4.3 Penghitungan Tegangan Dasar Arrester

Pertama dilakukan penghitungan tegangan dasar arrester dengan persamaan berikut :

$$Er = \alpha \beta Um \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- Er = Tegangan dasar arrester (kV)
- α = Koefisien pembumian (0.8)
- β = Toleransi guna memperhitungkan fluktuasi tegangan dan efek ferranti (1.2)
- Um = 150 kV (Tegangan sistem maksimum di Gardu Induk)

Maka, dari persamaan diatas dapat dilakukan penghitungan tegangan dasar arrester sebagai berikut :

$$Er = 0.8 \times 1.2 \times 150 \text{ kV}$$

$$Er = 144 \text{ kV}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai tegangan dasar arrester di Gardu Induk 150 kV Purworejo adalah 144 kV.

4.4 Penghitungan Jarak Arrester dengan Transformator Menurut IEC (1958) dan SPLN (1978:4)

Menurut standar IEC (1958) dan SPLN (1978:4) dapat dilakukan perhitungan jarak arrester dan transformator adalah dengan persamaan berikut :

$$Ep = Ea + 2A S/V \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- Ep = Tegangan jepitan transformator GITET / SPLN7, 1978:4
- Ea = Tegangan percikan arrester GITET/ SPLN7, 1978:4
- A = Rekomendasi IEC, 1958 *Recommendation for Lightning Arrester*
- V = Kecepatan cahaya

Diketahui pada sistem transmisi menurut standar IEC (1958) dan PLN (1978:4) dengan nilai tegangan jepit transformator 650 kV dilindungi arrester dengan nilai tegangan percik 460 kV serta surja yang datang merambat menuju peralatan yang dilindungi memiliki kecepatan 300 m/ μ dt, maka dapat ditentukan jarak maksimum antara arrester dan transformator adalah sebagai berikut :

$$Ep = Ea + 2 A S/V$$

$$S = \frac{(Ep - Ea)V}{2 \times A}$$

$$S = \frac{(650 - 460) 300}{2 \times 1000}$$

$$S = 28,5 \text{ meter}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai jarak ideal antara arrester dan transformator menurut standar IEC (1958) dan SPLN (1978:4) adalah sebesar 28.5 meter.

4.5 Penghitungan Jarak Arrester dengan Transformator di Gardu Induk

Tegangan sistem peralatan pada Gardu induk Purworejo memiliki tegangan transmisi 150 kV dengan nilai BIL 715 kV dengan nilai tegangan percikan arrester 650 kV, misalkan surja yang datang sebagai variable percobaannya merambat menuju peralatan yang dilindungi arrester dengan kecepatan 300 m/ μ dt, berapakah jarak maksimum antara arrester dan peralatan, sehingga semua peralatan itu terlindungi dari bahaya surja?

Diketahui :

$$E_p = 715 \text{ kV} \quad E_a = 650 \text{ KV}$$

$$A = 1000 \text{ dv/dt} \quad V = 300 \text{ m}/\mu\text{dt}$$

Keterangan :

- E_p = Tegangan jepitan transformator GITET / SPLN7, 1978:4
- E_a = Tegangan percikan arrester GITET/ SPLN7, 1978:4
- A = Rekomendasi IEC, 1958 Recommendation for Lightning Arrester
- V = Kecepatan cahaya

Ditanya :

S (Jarak maksimum antara arester dengan trafo)?

Surja petir sebesar 1000 dv/dt, setelah dihitung secara matematis diperoleh perhitungan jarak maksimum arrester adalah sebesar :

$$E_p = E_a + 2 A S/V$$

$$S = \frac{(E_p - E_a)V}{2 \times A}$$

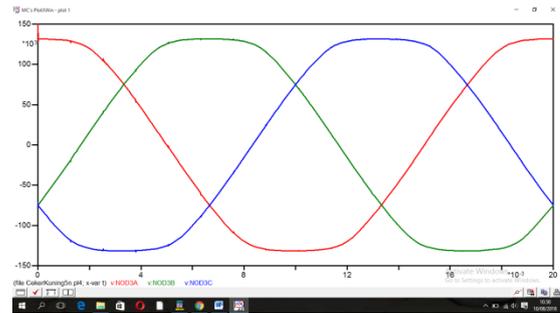
$$S = \frac{(715 - 650) 300}{2 \times 1000}$$

$$S = 9.75 \text{ meter}$$

Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa arrester dipasang dengan transformator sejauh 9.75 meter, sedangkan berdasarkan survey yang dilakukan di GI 150 kV Purworejo, didapatkan nilai jarak antara arrester dan Transformator adalah sejauh 8 meter, artinya pemasangan masih dibawah harga maksimum.

4.6 Pemodelan Rangkaian tanpa Surge Petir

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis saat rangkaian tanpa adanya surge petir. Rangkaian pada sistem transmisi memiliki nilai 150 kV dengan arrester dipasang jarak 8 meter dengan transformator sesuai data dilapangan. Berikut ditunjukkan gambar rangkaian dan hasil simulasi rangkaian pada ATP (*Alternative Transient Programme*). Berikut ditunjukkan hasil simulasi tersebut.



Gambar 7 Grafik sumber tegangan Transmisi 150 kV pada Transformator (sumber: *Software ATP Draw*)

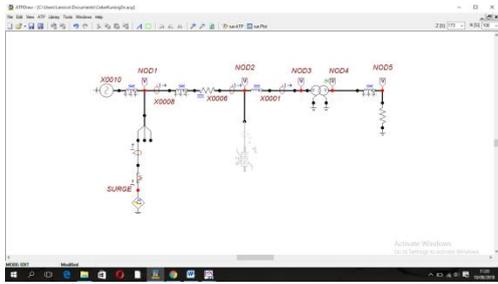
Keterangan :

- = Phasa A
- = Phasa B
- = Phasa C

Dari gambar 4.14 menunjukkan bahwa nilai tegangan Transmisi tetap menunjukkan nilai hampir 150 kV. Dengan adanya losses yang terjadi pada saluran transmisi menuju Transformator maka terjadi penurunan nilai tegangan sistem.

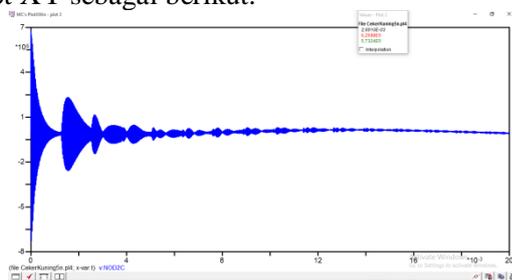
4.7 Pemodelan Rangkaian dengan Surge Petir Tanpa pemasangan Arrester

Pada studi kasus ini akan ditampilkan gambar rangkaian dan hasil simulasi dengan adanya surge petir namun tanpa pemasangan arrester. Surge Petir menyambar phasa C dengan nilai 30 kiloAmpere. Rangkaian disimulasikan untuk melihat kejadian diposisi NOD1 (line), NOD2 (arrester) serta NOD3 (transformator) dengan melihat grafik serta nilai yang ada pada ketiga posisi tersebut. Berikut ditunjukkan gambar simulasi rangkaian pada ATP (*Alternative Transient Programme*) dengan surge petir dan tanpa pemasangan Arrester.



Gambar 8 Gambar Simulasi dengan *Surge* Petir dan Tanpa Arrester
(sumber: *Software ATP Draw*)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 8 dihasilkan simulasi dititik *NOD2C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.

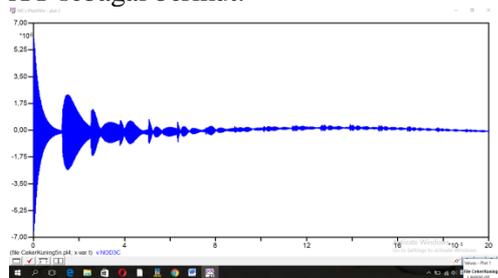


Gambar 9 Grafik Tegangan lebih *NOD2C*
(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :
— = Fasa C

Dari gambar 9 menunjukkan bahwa pada fasa C terjadi respon pada saluran dengan nilai tegangan puncak mencapai 6,7938 MV dengan waktu muka petir $6,000 \times 10^{-6}$ s. Hal ini disebabkan karena *surge* petir dengan nilai 30 kA menyambar mengenai fasa C maka berakibat adanya tegangan lebih yang cukup tinggi pada fasa C. Tanpa adanya pemasangan arrester nilai tegangan lebih ini cukup tinggi dan dapat merusak peralatan vital yang berada di Gardu Induk.

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 8 dihasilkan simulasi dititik *NOD3C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



Gambar 10 Grafik Tegangan lebih *NOD3C*
(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :
— = Fasa C

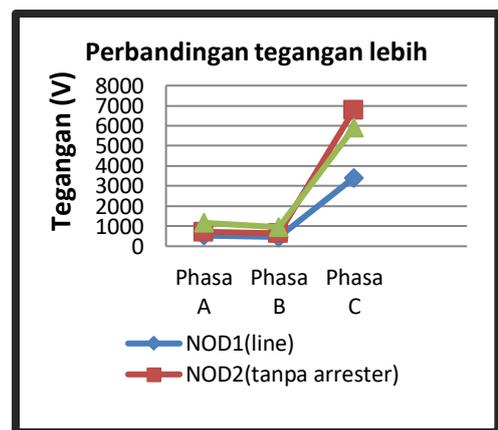
Dari gambar 4.22 menunjukkan bahwa pada fasa C terjadi respon pada saluran dengan nilai tegangan puncak mencapai 5,9118 MV dengan waktu muka petir $8,000 \times 10^{-6}$ s. Hal ini disebabkan karena *surge* petir dengan nilai 30 kA menyambar mengenai fasa C maka berakibat adanya tegangan lebih yang cukup tinggi pada fasa C.

Adapun tabel perbandingan tegangan lebih disetiap titik *NOD1* (line), *NOD2* (tanpa arrester) dan *NOD3* (transformator) adalah sebagai berikut.

Tabel 2 Perbandingan tegangan lebih disetiap titik tanpa arrester.

Titik	fasa (kV)		
	A	B	C
<i>NOD1</i> (line)	547,2 1	463,4 1	3420, 7
<i>NOD2</i> (tanpa arrester)	713,5 9	640,0 9	6793, 8
<i>NOD3</i> (transformator)	1173, 1	949,2 3	5911, 8

Sementara grafik perbandingan disetiap tegangan lebih pada titik *NOD1* (line), *NOD2* (tanpa arrester) dan *NOD3* (transformator) adalah sebagai berikut.



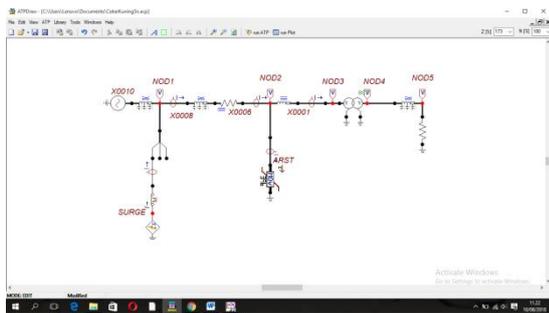
Gambar 11 Grafik Tegangan lebih titik *NOD1* (line), *NOD 2* (tanpa arrester) dan *NOD3* (transformator).

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa dari *NOD1* ke *NOD2* mengalami kenaikan nilai tegangan impuls, kemudian tegangan impuls berjalan merambat melalui *NOD3* dan mengalami penurunan pada fasa C, hal ini disebabkan

karena sumber *surge* petir semakin mendekati beban transformator sementara fase A dan fase B nilainya semakin naik karena terpengaruh induksi adanya petir di fase C.

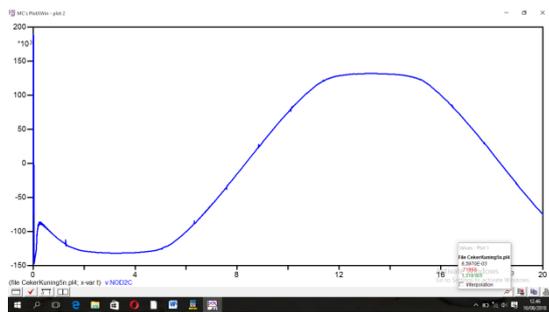
4.8 Pemodelan Rangkaian dengan Surge Petir dan terpasang Arrester dengan jarak 8 meter (Gardu Induk)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan gambar rangkaian dan hasil simulasi dengan adanya *surge* petir arrester jarak sesuai di gardu induk yaitu jarak 8 meter dengan tujuan menghindari kerusakan apabila terjadi petir, karena Amplitudo tegangan impuls akan dipotong secepat mungkin oleh arrester. *Surge* Petir menyambar fase C dengan nilai 30 kiloAmpere. Rangkaian disimulasikan untuk melihat kejadian diposisi *NOD1* (line), *NOD2* (arrester) serta *NOD3* (transformator). Berikut ditunjukkan gambar simulasi rangkaian pada ATP (*Alternative Transient Programme*) dengan *surge* petir dengan dilengkapi pemasangan Arrester dengan jarak 8 meter.



Gambar 12 Gambar Simulasi dengan *Surge* Petir dengan Arrester jarak 8 meter (sumber: *Software ATP Draw*)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 12 dihasilkan simulasi dititik *NOD2C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



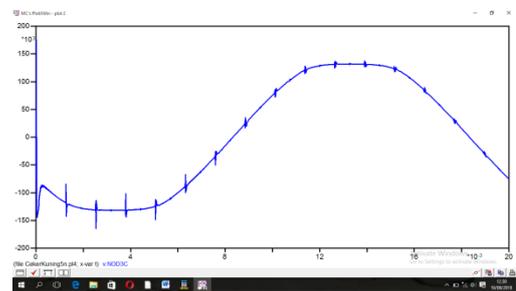
Gambar 13 Grafik Tegangan lebih *NOD2C* (sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

— = Fase C

Pada Gambar 4.28 menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan arrester mampu memotong tegangan impuls secepat mungkin. Hal ini berdasarkan grafik simulasi dengan nilai tegangan menjadi 154,65 kV dengan waktu muka petir $2,000 \times 10^{-5}$ s. Nilai ini turun 97.22 % dibanding dengan sebelum adanya pemasangan arrester.

Berdasarkan data simulasi respon tegangan lebih dari adanya *surge* petir yang datang melalui *NOD2*, puncak nilai tegangan semakin berkurang dengan adanya pemasangan arrester.



Gambar 14 Grafik Tegangan lebih *NOD3C* (sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

— = Fase C

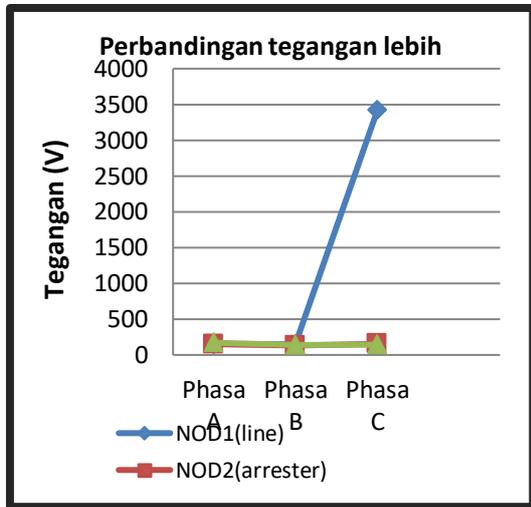
Pada Gambar 14 menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan arrester mampu memotong tegangan lebih secepat mungkin. Jika dibandingkan dengan *NOD2* nilai tegangan lebih yang melewati *NOD3* semakin menurun. Dari grafik menunjukkan bahwa nilai tegangan menjadi 143,23 kV dengan waktu muka petir $2,200 \times 10^{-5}$ s. Nilai ini turun 97.58 % dibanding dengan sebelum adanya pemasangan arrester.

Adapun tabel perbandingan tegangan lebih disetiap titik *NOD1* (line), *NOD 2* (arrester) dan *NOD3* (transformator) adalah sebagai berikut.

Tabel 3 Perbandingan tegangan lebih disetiap titik arrester jarak 8 meter.

Titik	Fase (kV)		
	A	B	C
<i>NOD1</i> (line)	150	149,99	3420,7
<i>NOD2</i> (arrester 8 meter)	149,89	131,81	154,65
<i>NOD3</i> (transformator)	170,79	139,77	143,23

Sementara grafik perbandingan disetiap tegangan lebih pada titik *NOD1* (line), *NOD 2* (tanpa arrester) dan *NOD3* (transformator) adalah sebagai berikut.

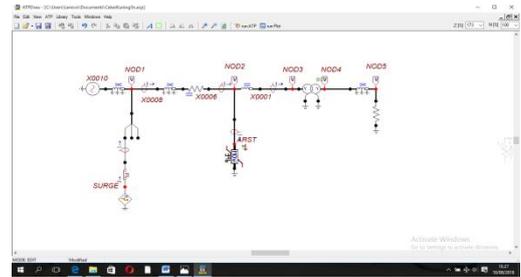


Gambar 14 Grafik Tegangan lebih titik *NOD1* (line), *NOD 2* (arrester 8 meter) dan *NOD3* (transformator).

Berdasarkan grafik diatas bahwa tegangan lebih dari adanya *surge* petir yang datang pada phasa C, puncak nilai tegangan semakin berkurang dengan adanya pemasangan arrester. Hal ini sesuai dengan data diatas bahwa pada phasa C nilai tegangan lebih pada *NOD1* (line) dengan nilai 3.420,7 MV turun pada *NOD2* (arrester) menjadi 154,65 kV dan kemudian turun lagi pada *NOD3* (transformator) menjadi 143,23 kV.

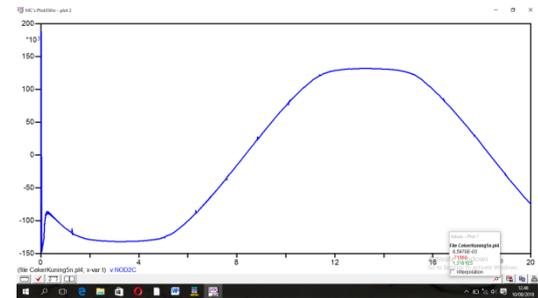
4.9 Pemodelan rangkaian dengan Surge Petir dan terpasang Arrester dengan jarak 9,75 meter (Penghitungan)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan gambar rangkaian dan hasil simulasi dengan adanya *surge* petir dengan dilengkapi pemasangan arrester yang dipasang pada jarak 9,75 meter. Model rangkaian pada kasus ini sama dengan rangkaian pada gambar 4.24, namun yang membedakan adalah jarak yang digunakan sesuai dengan rumus perhitungan. *Surge* Petir menyambar phasa C dengan nilai sama seperti simulasi pada gambar 4.24 dengan nilai 30 kiloAmpere. Rangkaian disimulasikan untuk melihat kejadian diposisi *NOD1* (line), *NOD2* (arrester) serta *NOD3* (transformator) dengan melihat grafik serta nilai yang ada pada ketiga posisi tersebut. Berikut ditunjukkan gambar simulasi rangkaian pada ATP (*Alternative Transient Programme*).



Gambar 15 Gambar Simulasi dengan *Surge* Petir Dilengkapi Arrester (sumber: *Software ATP Draw*)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 15 dihasilkan simulasi dititik *NOD2C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



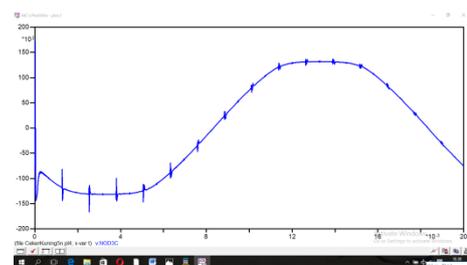
Gambar 16 Grafik Tegangan lebih *NOD2C* (sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

— = Phasa C

Pada Gambar 16 menunjukkan grafik simulasi dengan nilai tegangan menjadi 189,74 kV dengan waktu muka petir 6.000×10^{-6} s. Nilai ini naik 0.31 % dibanding dengan arrester terpasang jarak 8 meter.

Berdasarkan data simulasi respon tegangan lebih dari adanya *surge* petir yang datang melalui *NOD2*, puncak nilai tegangan semakin berkurang dengan adanya pemasangan arrester.



Gambar 17 Grafik Tegangan lebih *NOD3C* (sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :
 = Phasa C

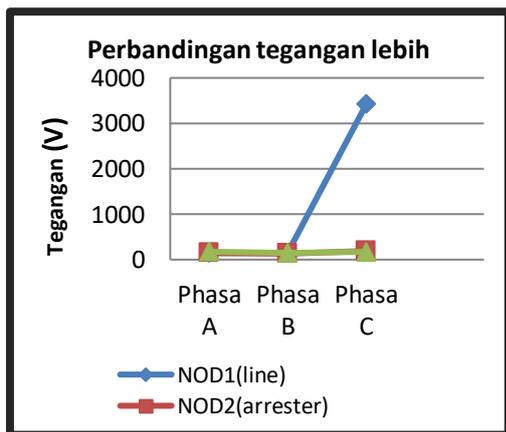
Pada Gambar 17 menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan arrester mampu memotong tegangan lebih secepat mungkin. Jika dibandingkan dengan *NOD2* nilai tegangan lebih yang melewati *NOD3* semakin menurun. Hal ini disebabkan karena *surge* petir dipotong secepat mungkin oleh arrester yang berjalan semakin dekat dengan beban. Dari grafik menunjukkan bahwa nilai tegangan menjadi 172,3 kV dengan waktu muka petir $1,000 \times 10^{-5}$ s. Nilai ini naik 20,30 % dibanding dengan pemasangan arrester dengan jarak 8 meter sesuai data dilampiran.

Adapun tabel perbandingan tegangan lebih disetiap titik *NOD1* (line), *NOD 2* (arrester) dan *NOD3* (transformator) adalah sebagai berikut.

Tabel 4 Perbandingan tegangan lebih disetiap titik arrester jarak 9,75 meter

Titik	Phasa (kV)		
	A	B	C
<i>NOD1</i> (line)	150,08	149,99	3420,7
<i>NOD2</i> (arrester)	149,89	131,81	189,74
<i>NOD3</i> (transformator)	174,17	148,41	172,3

Sementara grafik perbandingan disetiap tegangan lebih pada titik *NOD1* (line), *NOD 2* (tanpa arrester) dan *NOD3* (transformator) adalah sebagai berikut.



Gambar 18 Grafik Tegangan lebih titik *NOD1* (line), *NOD 2* (arrester) 9,75 meter dan *NOD3* (transformator).

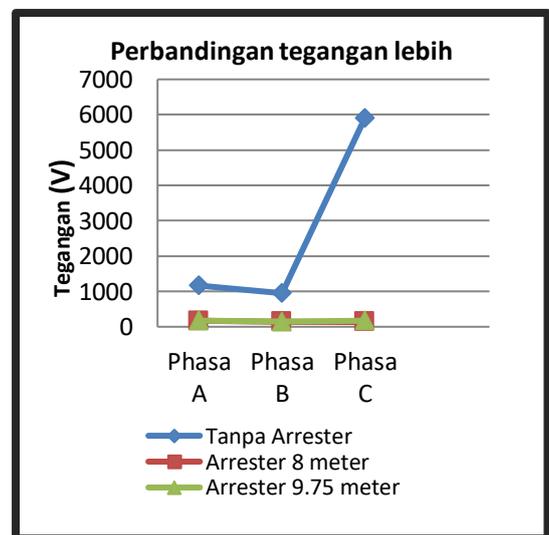
Berdasarkan grafik diatas bahwa tegangan lebih dari adanya *surge* petir yang datang pada phasa C dengan nilai 30 kiloAmpere, puncak nilai tegangan semakin berkurang dengan adanya

pemasangan arrester dengan jarak 9.75 meter. Hal ini disebabkan karena sesuai rumus perhitungan dengan data diatas bahwa pada phasa C nilai tegangan lebih pada *NOD1* (line) dengan nilai 3.420,7 MV kemudian pada *NOD 2* (arrester) turun menjadi 189,74 kV kemudian pada *NOD3* (transformator) turun lagi nilainya menjadi 172,3 kV.

4.10 Grafik Perbandingan Tegangan Lebih

Dari hasil simulasi yang penulis tunjukkan diatas, penulis bandingkan nilai tegangan lebih di setiap *NOD1*, *NOD2* dan *NOD3* dengan membandingkan saat sistem jaringan tanpa adanya Arrester serta terpasang Arrester.

NOD3 (transformator) merupakan kabel sistem jaringan dari phasa A, phasa B serta phasa C yang mengalir dari ujung pembangkit sampai dengan ujung beban. *NOD3* (transformator) merupakan titik transformator terpasang pada gardu induk. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai tegangan lebih disetiap phasa A, phasa B serta phasa C pada *NOD3* (transformator) kemudian dibandingkan nilai tegangan lebih dimasing-masing sistem tanpa adanya Arrester serta terpasang Arrester jarak 8 meter dan jarak 9.75 meter. Adapun grafik perbandingan pada (tanpa/terpasang arrester) ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 19 Grafik Perbandingan *NOD3* tanpa arrester, terpasang arrester 8 meter dan 9.75 meter.

Dari Gambar 4.42 menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan arrester dapat memotong tegangan lebih dengan cepat dan mampu melindungi transformator dengan baik.

Hal ini berdasarkan pada gambar fase C bahwa tegangan lebih dengan nilai 5.911,8 MV dapat dipotong menjadi 143,23 kV pada arrester dengan jarak 8 meter, serta menjadi 172,3 kV pada arrester dengan jarak 9,75 meter.

Dari percobaan simulasi yang dilakukan dari tanpa pemasangan arrester, terpasang arrester dengan jarak 8 meter serta terpasang arrester dengan jarak 9,75 meter dapat disimpulkan bahwa pemasangan arrester dengan jarak 8 meter mampu meredam tegangan lebih lebih baik dibandingkan pemasangan arrester dengan jarak 9,75 meter. Hal ini disebabkan karena arrester berada pada posisi lebih dekat dengan transformator maka arrester mampu melindungi adanya tegangan lebih lebih baik. Pada posisi arrester dipasang pada jarak 8 meter yang berada di Gardu Induk 150 kV Purworejo sudah terpasang sesuai fungsinya dengan baik.

5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah diuraikan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penempatan arrester dengan jarak 8 meter terhadap transformator berdasarkan data di Gardu Induk 150 kV Purworejo lebih efektif dibandingkan jarak sesuai perhitungan dengan nilai 9,75 meter. Hal ini disebabkan karena arrester berada pada posisi lebih dekat dengan transformator maka arrester mampu melindungi adanya tegangan lebih dengan baik.
2. Berdasarkan standar IEC (1958) dan SPLN (1978) dengan nilai jarak 28,5 meter bahwa jarak arrester dengan nilai 8 meter di Gardu Induk 150 kV Purworejo masih mampu menahan adanya tegangan lebih karena jarak arrester tersebut mampu memotong adanya tegangan lebih dengan baik.
3. Nilai tegangan transformator pada simulasi masih berada dibawah batas yang diizinkan yaitu dibawah 750 kV, hal ini disebabkan karena pengaruh pemasangan arrester dengan jarak sesuai data dilapangan.
4. Ketika terjadi sambaran petir pada titik fase C dan terjadi tegangan lebih sepanjang saluran, maka fase A serta fase B juga terpengaruh dengan adanya induksi dan terjadi tegangan lebih sepanjang saluran.

5.2 Saran

Berdasarkan perbandingan pada simulasi sistem transmisi tanpa adanya arrester dan terpasang arrester dengan jarak 8 meter sesuai data di Gardu Induk dan 9,75 meter sesuai rumus perhitungan diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat melakukan analisa pemilihan tipe arrester yang tepat untuk memproteksi transformator pada Gardu Induk 150 kV Purworejo dengan menggunakan *software* ATP (*Alternative Transient Programme*) dan memvariasikan jarak maupun tipe yang berbeda agar pemasangan lebih efektif.

6 REFERENSI

- Arismunandar, A. (1978). *Teknik Tegangan Tinggi*. PT. Pradnya Paramitha. Jakarta.
- Tobing, L. Bonggas. (2001). *Peralatan Tegangan Tinggi*. Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi. Jurusan Teknik ElektroFakultas Teknik Elektro Sumatera Utara, Medan.
- Sintianingrum, Ayu. (2016). "Simulasi Tegangan Lebih Akibat Ambaran Petir Terhadap Penentuan Jarak Maksimum Untuk Perlindungan Peralatan Pada Gardu Induk". *Skripsi*. Universitas Lampung.
- PT. PLN. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester*. Jakarta : PT. PLN (Persero)
- ALI, Shehab Abdulwadood. (2013). *Design of Lightning Arrester for Electrical Power Systems Protection*. Yemen: Department of Physics.
- T. S. Hutauruk. (1991). *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta : Erlangga.
- Hutauruk. (1985). *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga
- Hadi, Abdul. (1994). *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga
- PT. PLN. (2010). *Buku Pedoman Pemeliharaan dan Asesmen Kondisi Peralatan Sistem Tenaga*. Jakarta : PT. PLN (Persero).
- Kholis, Nur. (2006). "Unjuk Kerja Arester Type HLMN 136 Untuk pengaman Reaktor 7R1 Pada Gardu Induk 500 KV DI UPT Semarang". *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Hidayatullah, Nurul. (2009). "Kemampuan Arester untuk pengaman Transformator pada Gardu Induk 150kV Sronдол". *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Hermagasantos. (1994). *Teknik Tegangan Tinggi*. PT. Rosda Jayaputra. Jakarta.

- Gultom, Togar Timoteus. (2017). "Optimasi Jarak Maksimum Penempatan Lightning Arester Sebagai Proteksi Trafo pada Gardu Induk". *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). "Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*", 10(2). pp. 293-304.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). "Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm. *TELKOMNIKA*", 13(3). pp. 759-766.
- Syahputra, R., (2012), "Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik", LP3M UMY, Yogyakarta.
- Syahputra, R., (2016), "Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik", LP3M UMY, Yogyakarta.
- Syahputra, R., (2015), "Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik", LP3M UMY, Yogyakarta.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). "Optimization of Distribution Network Configuration with Integration of Distributed Energy Resources Using Extended Fuzzy Multi-objective Method. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*", 9(3), pp. 629-639.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). "Performance Analysis of Wind Turbine as a Distributed Generation Unit in Distribution System. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*", Vol. 6, No. 3, pp. 39-56.
- Syahputra, R., (2013), "A Neuro-Fuzzy Approach For the Fault Location Estimation of Unsynchronized Two-Terminal Transmission Lines", *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*", Vol.
- Syahputra, R., (2012), "Fuzzy Multi-Objective Approach for the Improvement of Distribution Network Efficiency by Considering DG", *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, Vol. 4, No. 2, pp. 57-68.
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2015). "Control of Synchronous Generator in Wind Power Systems Using Neuro-Fuzzy Approach", *Proceeding of International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE) 2015*", UNESA Surabaya, pp. 187-193.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). "Optimal Distribution Network Reconfiguration with Penetration of Distributed Energy Resources", *Proceeding of 2014 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE) 2014*", UNDIP Semarang, pp. 388 - 393.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2013), "Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method". *International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS)*". 2013; pp. 224-229.

7 BIOGRAFI



Joko Suprayitno, lahir di Purworejo pada tanggal 07 Januari 1994. Saat ini sedang menempuh pendidikan di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik angkatan 2014.