

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

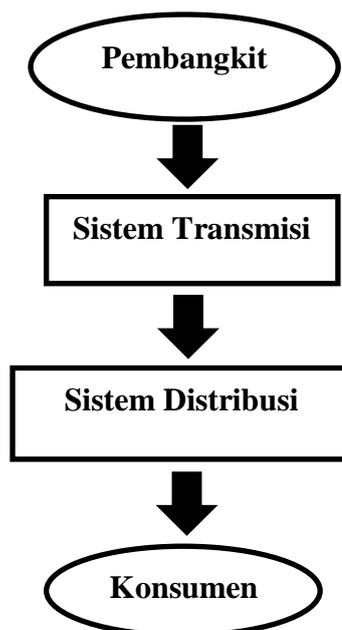
Pada bab ini dilakukan perhitungan dari data survey lapangan, simulasi menggunakan *software* ATP (*Alternative Transient Programme*) serta analisis dari perhitungan maupun percobaan simulasi yang dapat dilakukan beberapa asumsi dari variasi surge petir yang datang serta beberapa asumsi jarak penempatan Arrester terhadap Transformator.

4.1. Letak Objek Penelitian

4.1.1. Proses Listrik Disalurkan

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

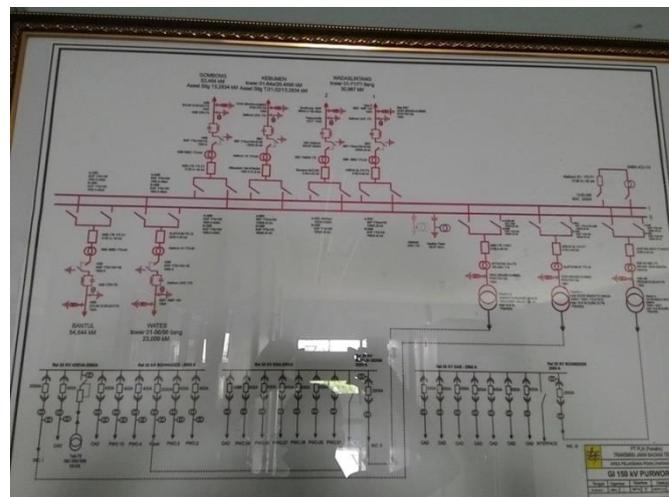


Gambar 4.1 Sistem Tenaga Listrik

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bagian-bagian dari Sistem Tenaga Listrik yang terdiri dari Sistem pembangkit, Sistem transmisi yang terdiri dari Gardu Induk dan Gardu Distribusi, serta Konsumen yang merupakan tujuan akhir dari pendistribusian energi listrik. Pada penelitian ini penulis melakukan penelitian yang berada pada Gardu Induk. Gardu Induk terdiri dari beberapa peralatan listrik seperti Transformator, Pemutus tenaga (PMT), Saklar Pemisah (PMS), dan *Lightning Arrester* (LA). Pada pemasangan Transformator terhadap *Lightning Arrester* harus ditentukan jarak yang sesuai dengan tujuan menghindari kegagalan penyaluran energi listrik.

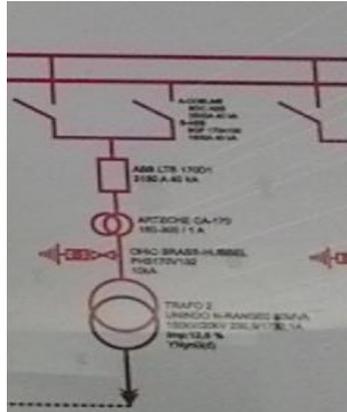
4.1.2. Gambar Instalasi Sistem Tenaga Listrik pada Gardu Induk

Dibawah ini ditunjukkan sebuah gambar instalasi yang berada di Gardu Induk dengan bermacam-macam peralatan beserta dengan simbol dan letak pemasangan pada Gardu Induk Sistem Transmisi :



Gambar 4.2 Instalasi Sistem Transmisi Gardu Induk
(sumber: Gardu Induk 150 kV Purworejo)

Kemudian merucut pada pokok penelitian objek dari pemasangan *Lightning Arrester* dan juga Transformator, *Lightning Arrester* dengan singkatan LA, dan Transformator dengan singkatan IBT. Berikut gambar screenshot dari keseluruhan Instalasi Gardu Induk :



Gambar 4.3 Letak posisi antara arrester dengan transformator
(sumber: Gardu Induk Pedan 500 kV dan 150 kV)

4.1.3. Skema Penempatan Arrester

Dibawah ini ditunjukkan gambar skema penempatan arrester terhadap transformator yang berada di gardu induk adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Penempatan arrester terhadap transformator
(sumber: Andriawan, 2014:1)

4.1.4 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 4.5 Jarak penempatan antara Arrester dan Transformator
(sumber: Gardu Induk 150 kV Purworejo)

4.2 Data Lapangan

Dari survey yang dilakukan di Gardu Induk 150 kV Purworejo dihasilkan data sebagai berikut :

4.2.1 Arrester

Arrester yang ada di GI 150 kV Purworejo terpasang untuk pengamanan Transformator. Arester 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 Peluahan 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 4.1 Karakteristik Arrester OHIO BRASS

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

4.2.2 Transformator

Transformator yang terpasang pada GI 150 kV Purworejo 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 Pembahasan

Dari hasil survey penelitian diketahui bahwa arester terpasang pada saluran guna untuk melindungi semua peralatan, dengan pembahasan :

4.3.1. Penghitungan Tegangan Dasar Arrester

Pada penghitungan pertama dilakukan penghitungan tegangan dasar arrester dengan persamaan berikut :

$$E_r = \alpha \beta U_m \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

E_r = Tegangan dasar arrester (kV)

α = Koefisien pembumian (0.8)

β = Toleransi guna memperhitungkan fluktuasi tegangan dan efek ferranti
(1.2)

U_m = 150 kV (Tegangan sistem maksimum di Gardu Induk)

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

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

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

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

4.3.2. 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 :

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

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 arester dan transformator adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_p &= E_a + 2 A S/V \\ S &= \frac{(E_p - E_a)V}{2 \times A} \\ S &= \frac{(650 - 460) 300}{2 \times 1000} \\ S &= 28,5 \text{ meter} \end{aligned}$$

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

4.3.3. 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 :

$$\begin{aligned} E_p &= 715 \text{ kV} & E_a &= 650 \text{ KV} \\ A &= 1000 \text{ dv/dt} & V &= 300 \text{ m}/\mu\text{dt} \end{aligned}$$

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 arrester dengan trafo)?

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

$$\begin{aligned} E_p &= E_a + 2 A S/V \\ S &= \frac{(E_p - E_a)V}{2 \times A} \\ S &= \frac{(715 - 650) 300}{2 \times 1000} \\ S &= 9.75 \text{ meter} \end{aligned}$$

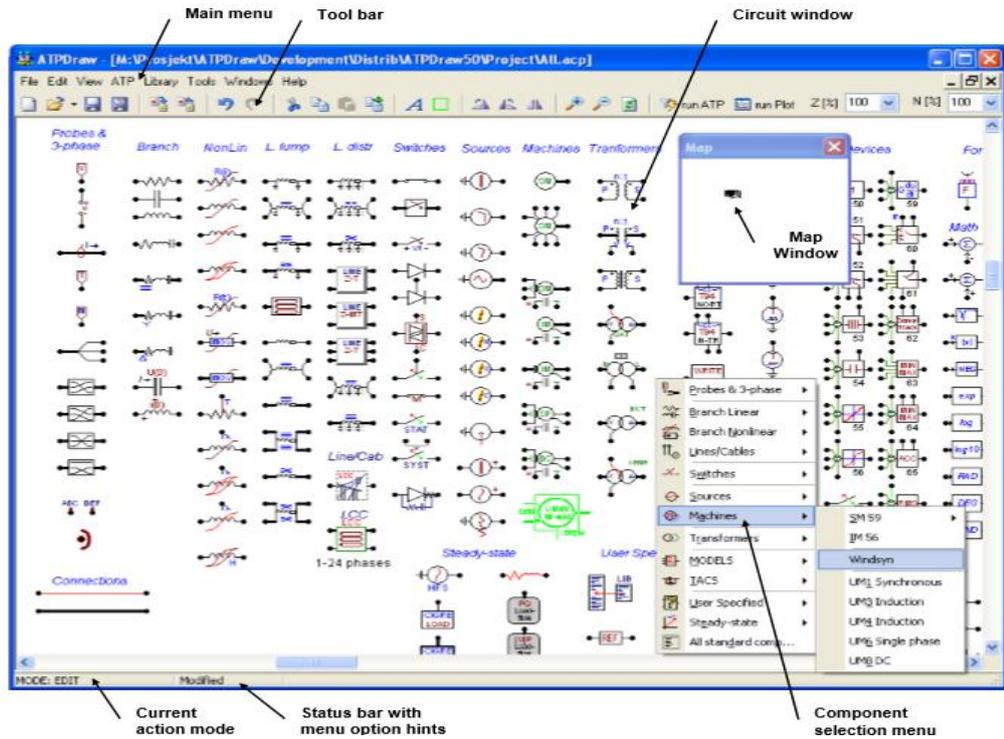
Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa arrester dipasang dengan transformator sejauh 9.75 meter, sedangkan berdasarkan survey yang dilakukan di GI 150 kV Purworejo, didapatkan nilai jarak antara arrester dan Transformator adalah sejauh 8 meter, artinya pemasangan masih dibawah harga maksimum.

4.4 Penggunaan Simulasi Software ATP (*Alternative Transient Programme*).

Pada penelitian digunakan software ATP (*Alternative Transient Programme*) sebagai analisis sarana hasil simulasi untuk mengetahui jarak ideal antara arrester dan transformator berdasarkan impuls dan tegangan yang terjadi pada jepitan transformator. Penelitian ini penulis melakukan simulasi yang diambil dari data berupa jarak antara arrester dan transformator pada Gardu Induk 150 kV Purworejo. Simulasi dilakukan dengan nilai *surge* petir 30 kA dan dengan jarak existing berupa jarak sebenarnya yang ada pada Gardu Induk 150 kV Purworejo serta melakukan perubahan jarak sesuai perhitungan. Kemudian dari hasil simulasi tersebut akan dibandingkan antara satu dengan yang lain.

4.4.1. Pengenalan ATP Draw (Prikler dan Hoidalén, 2002)

ATP (*Alternative Transient Programme*) merupakan versi grafis pengolah awal ATP dari EMTP (*Electromagnetic Transient Program*). Dalam ATPDraw, pengguna dapat membuat dan mengedit suatu model rangkaian listrik yang akan disimulasikan. Selain itu parameter untuk masing-masing komponen yang ada juga dapat diisi sesuai data sebenarnya di lapangan. Selanjutnya ATPDraw akan menghasilkan file masukan untuk simulasi ATP dalam format yang sesuai. ATP (*Alternative Transient Program*) adalah suatu pengembangan penggunaan perangkat lunak untuk simulasi fenomena transien elektromagnetik. Dalam pemrograman, pengguna dapat merangkai suatu rangkaian listrik dengan cara memilih komponen yang diinginkan. ATP Draw menyediakan komponen standar sistem tenaga listrik baik 1 fasa maupun 3 fasa dan objek TACS (*Transient Analysis of Control System*). Berikut ditunjukkan Main Window dari ATP (*Alternative Transient Program*).



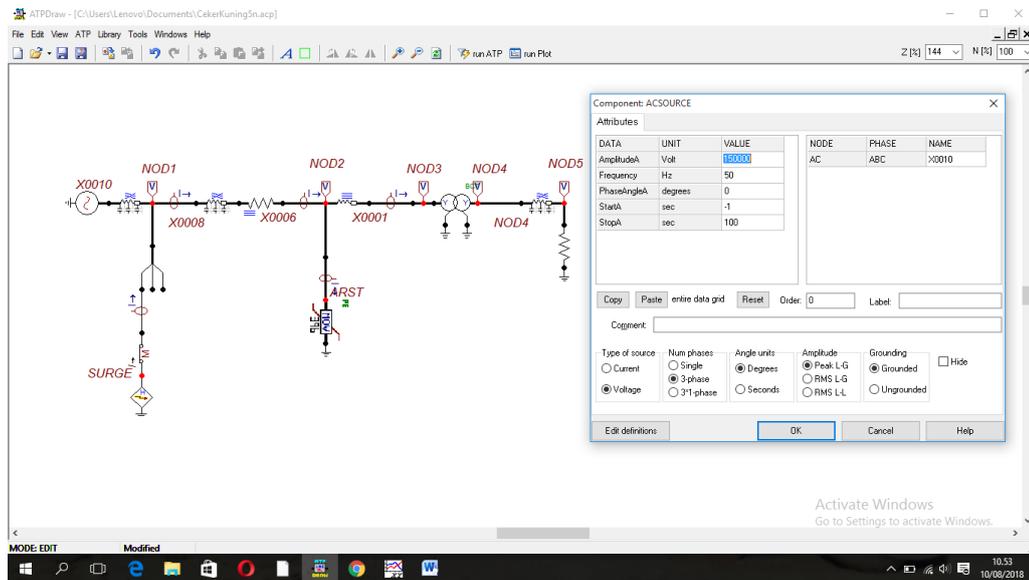
Gambar 4.6 Main Window ATP (*Alternative Transient Programme*)

(sumber: *Software ATP Draw*)

Versi software ATP (*Alternative Transient Programme*) yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir menggunakan versi 5.6. Software ini merupakan pengembangan dari model versi sebelumnya, sementara untuk melihat hasilnya digunakan perangkat lunak PlotXY yang telah terintegrasi di dalam software ATPDraw.

4.4.2. Simulasi ATP Draw

Pada studi kasus ini akan ditampilkan gambar rangkaian menggunakan ATP (*Alternative Transient Programme*) yang terdiri dari sumber tenaga listrik 150 kV, surge petir dengan komponen type L Heidler dengan nilai arus 30 kA, saluran transmisi panjang total 500 m, arrester dengan nilai 150 kV, jarak arrester 8 dan 9,75 m, transformator *step down* (150/20), jaringan distribusi beban dengan jarak 100 km, serta pemasangan beban (*load*). Berikut ditunjukkan gambar *setting* dari masing-masing komponen pada ATP Draw.



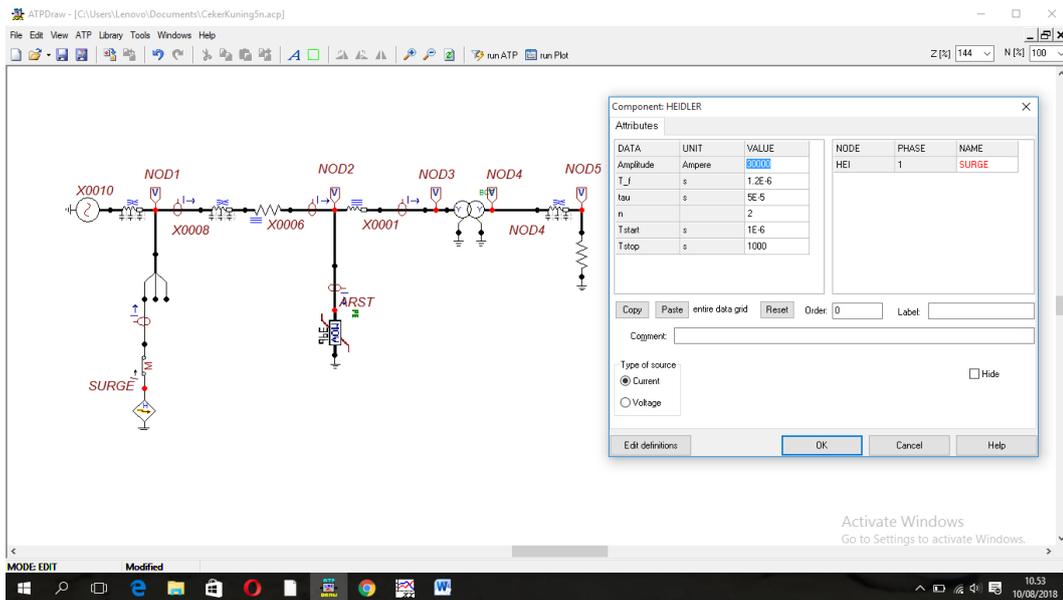
Gambar 4.7 Konfigurasi ACSOURCE

(sumber: *Software ATP Draw*)

Gambar 4.7 menunjukkan konfigurasi AC Sumber Tegangan pada sistem Transmisi dengan nilai 150 kV 3 fasa dengan Amplitudo *Peak Line to Ground* (*Peak L-G*) yang berarti *fasa* ke tanah, serta keterangan pada setiap titik simpul program simulasi tersebut.

Tabel 4.2 Keterangan titik simpul program

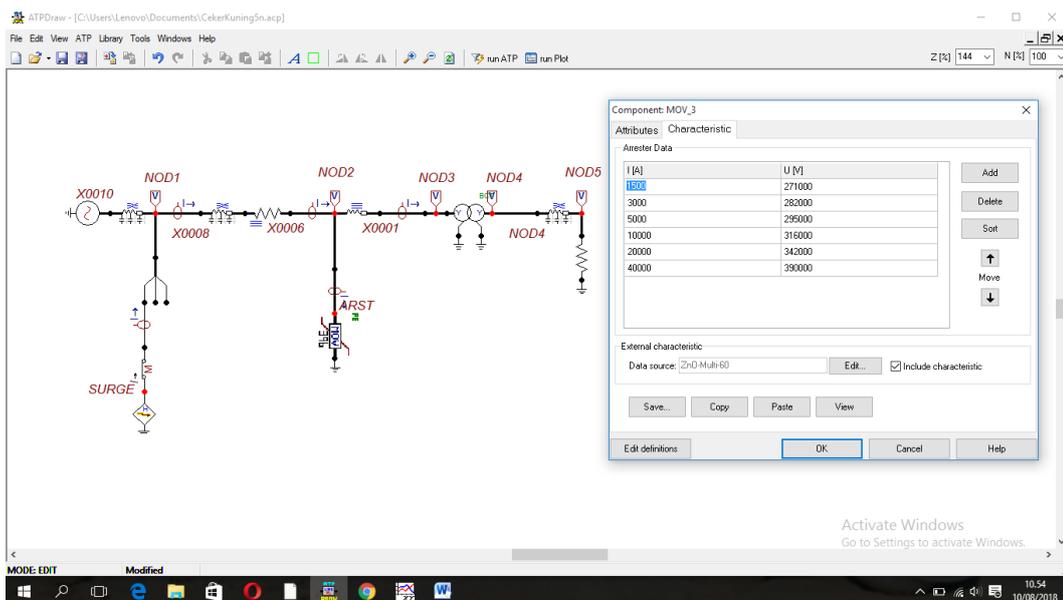
NO	Titik Simpul	Keterangan
1	NOD1A	Line petir Fasa A
2	NOD1B	Line petir Fasa B
3	NOD1C	Line petir Fasa C
4	NOD2A	Tanpa Arrester/Arrester Fasa A
5	NOD2B	Tanpa Arrester/Arrester Fasa B
6	NOD2C	Tanpa Arrester/Arrester Fasa C
7	NOD3A	Transformator Fasa A
8	NOD3B	Transformator Fasa B
9	NOD3C	Transformator Fasa C



Gambar 4.8 Konfigurasi *Surge* type Heidler

(sumber: *Software ATP Draw*)

Gambar 4.8 menunjukkan pengaturan konfigurasi dari komponen petir type Heidler. Arus petir pada titik sambaran dengan nilai arus sebesar 30 kA dan waktu muka sambaran sebesar 1.2×10^{-6} serta lama sambaran sebesar 5×10^5 s.



Gambar 4.9 Inputan Karakteristik Arrester

(sumber: *Software ATP Draw*)

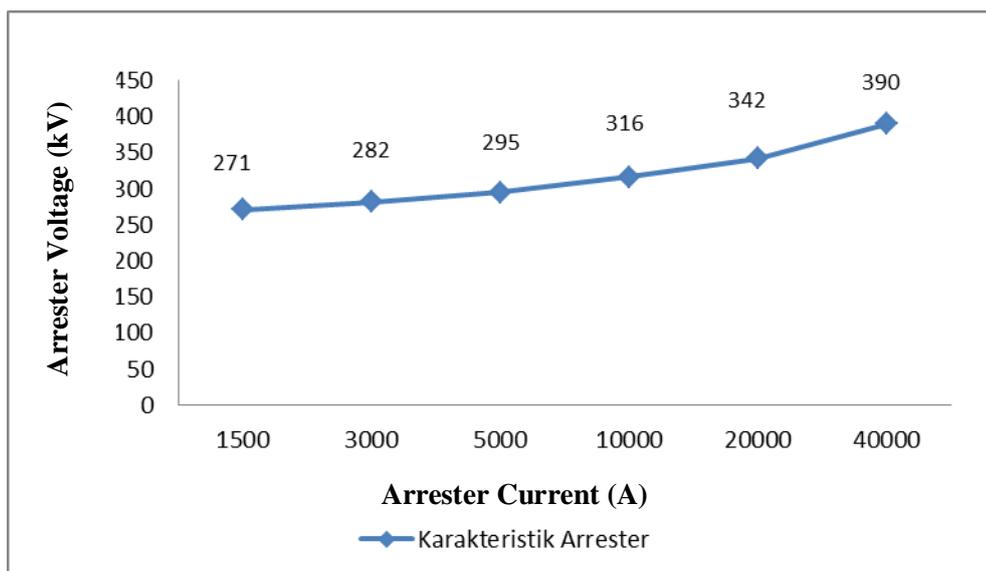
Pada Gambar 4.9 merupakan pengaturan dengan memasukkan nilai karakteristik sesuai data lapangan. Karakteristik dari arrester merupakan sifat dari arrester dengan merk OHIO BRASS tersebut.

Berdasarkan data lapangan nilai karakteristik yang disetting sesuai dengan Arrester type OHIO BRASS. Berikut ditunjukkan tabel Karakteristik Arrester type OHIO BRASS.

Tabel 4.3 Karakteristik Arrester type OHIO BRASS

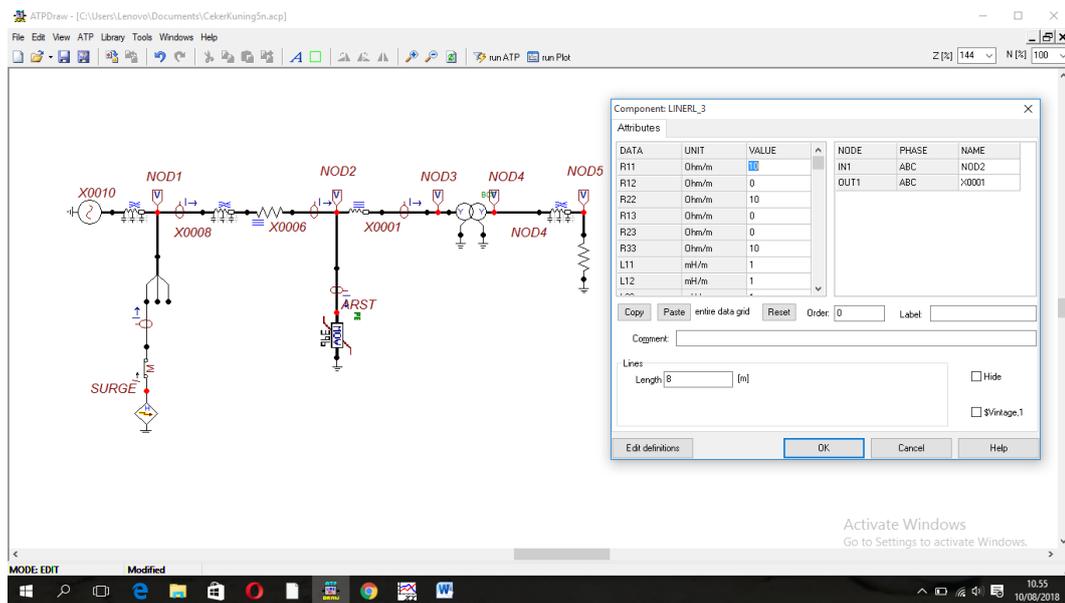
Arus (A)	Tegangan (V)
1500	271000
3000	282000
5000	295000
10000	316000
20000	342000
40000	390000

Adapun grafik karakteristik Arrester type OHIO BRASS adalah sebagai berikut:



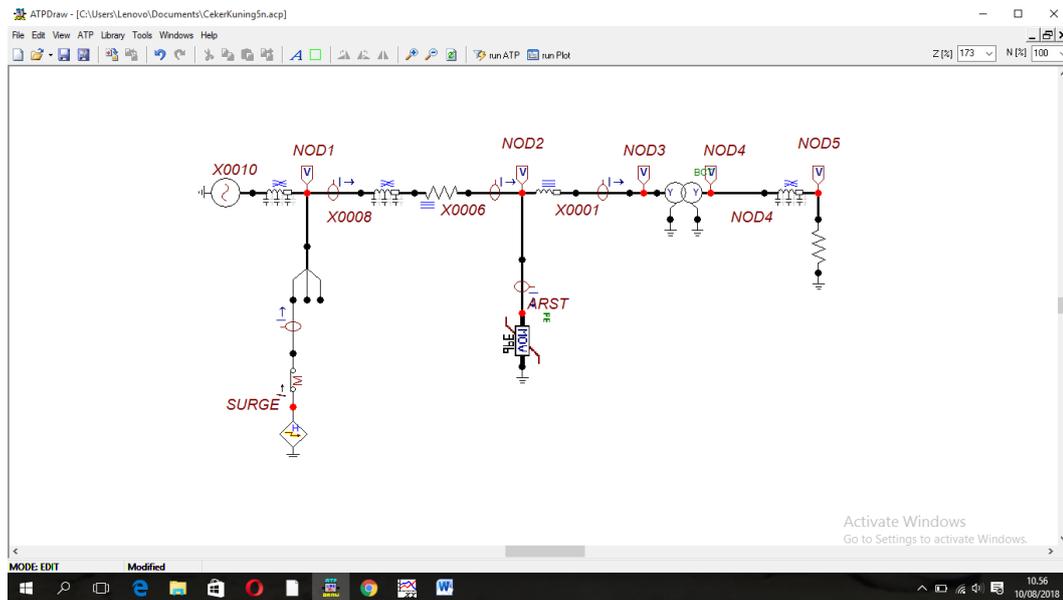
Gambar 4.10 Grafik Kurva Karakteristik Arrester type OHIO BRASS

Nilai karakteristik pada tabel 4.3 dimasukkan sebagai nilai input karakteristik arrester dalam simulasi menggunakan program ATP (*Alternative Transient Programme*) ini. Setelah nilai karakteristik dimasukkan maka selanjutnya menjalankan simulasi. Jika simulasi terdapat pesan *error*, maka perbaiki dari kesalahan *error* yang terjadi. Setelah program berhasil dijalankan, maka kita dapat melihat pola tegangan dari plot grafik XY yang dihasilkan.



Gambar 4.11 Pengaturan nilai jarak antara Arrester dengan Transformator
(sumber: *Software ATP Draw*)

Gambar 4.11 merupakan konfigurasi jarak antara Arrester dengan Transformator. Nilai ini dapat divariasikan berdasarkan data dilapangan maupun berdasarkan nilai perhitungan.



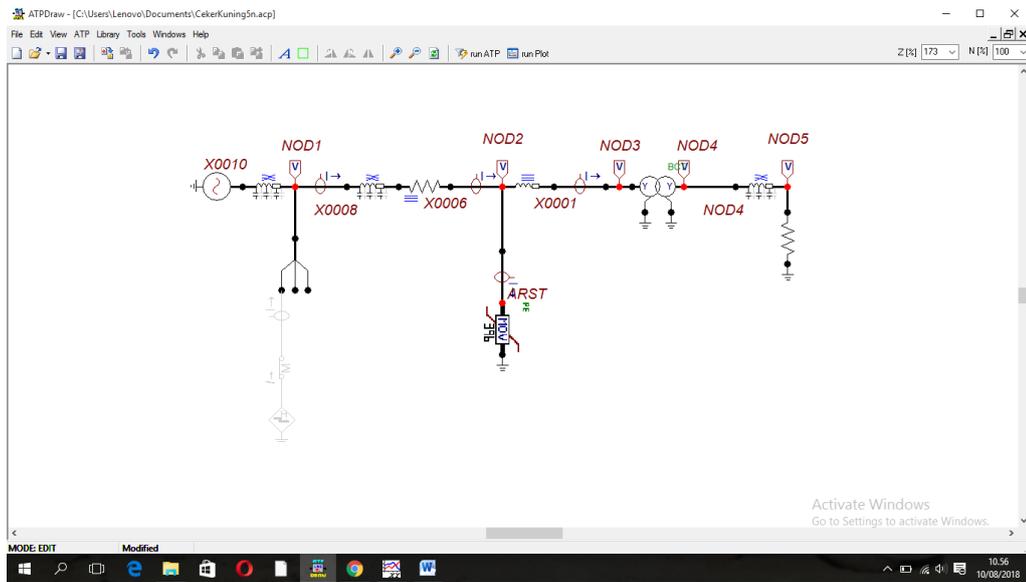
Gambar 4.12 Simulasi Terpasang Arrester

(sumber: *Software ATP Draw*)

Pada Gambar 4.12 merupakan gambar rangkaian dengan adanya *surge* petir serta adanya pemasangan arrester. *Surge* petir datang menuju titik arrester sejauh 500 meter. *Surge* petir dapat divariasikan nilai arus yang datang serta arrester dapat divariasikan jarak dengan transformator.

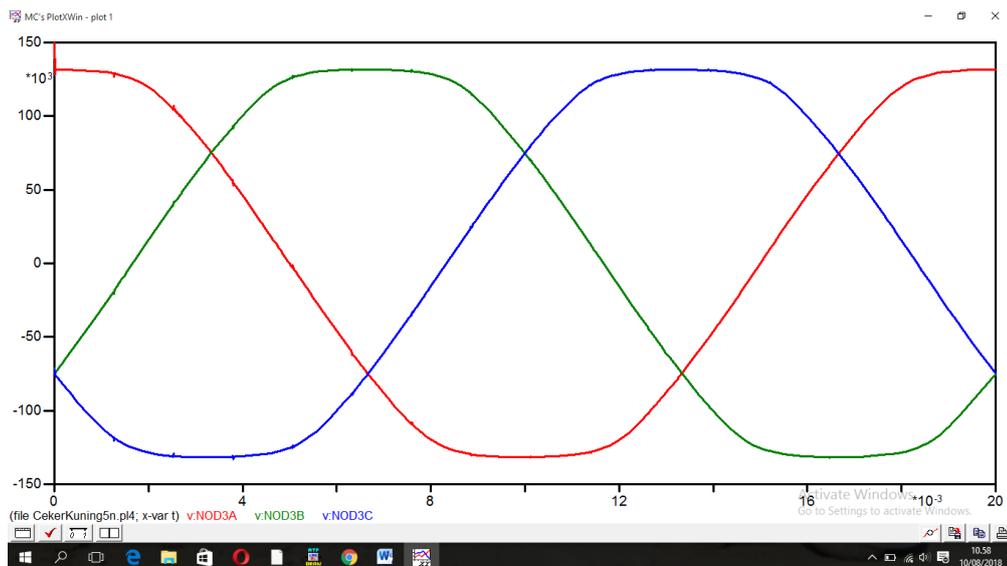
4.4.3. Pemodelan Rangkaian tanpa *Surge* Petir

Pada studi kasus ini akan ditampilkan gambar rangkaian serta 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*).



Gambar 4.13 Gambar Simulasi tanpa *Surge* Petir
(sumber: *Software ATP Draw*)

Gambar 4.13 menunjukkan rangkaian simulasi dengan tanpa adanya *surge* petir. Rangkaian ini ditunjukkan untuk mengetahui besar nilai sistem transmisi dari sumber sampai dengan transformator maupun sampai dengan beban. Berikut ditunjukkan hasil simulasi tersebut.

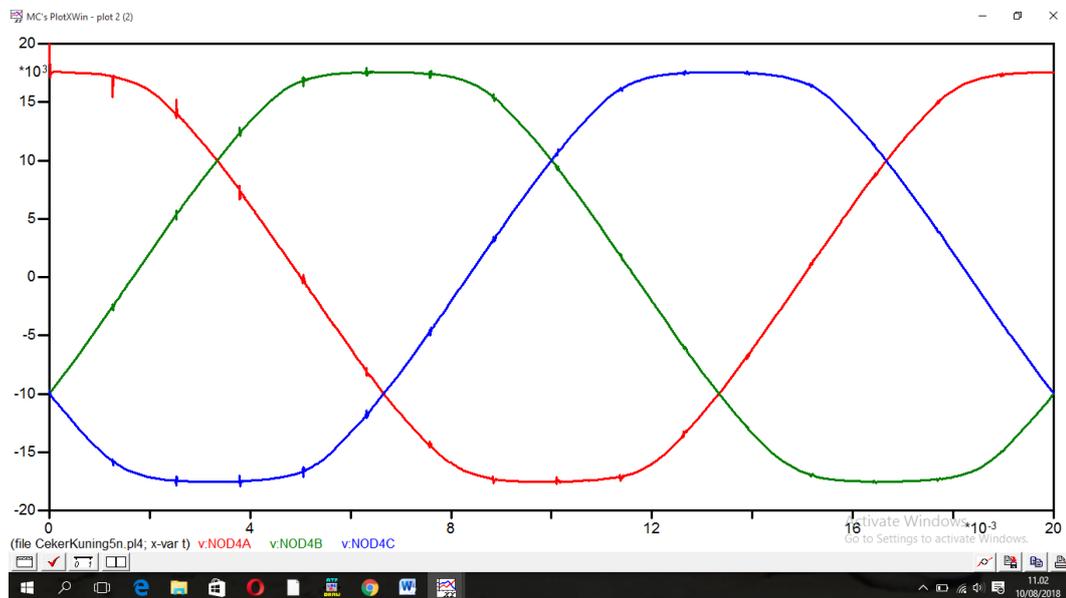


Gambar 4.14 Grafik sumber tegangan Transmisi 150 kV pada Transformator
(sumber: *Software ATP Draw*)

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.



Gambar 4.15 Grafik nilai sumber tegangan Transmisi 20 kV pada Transformator
(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

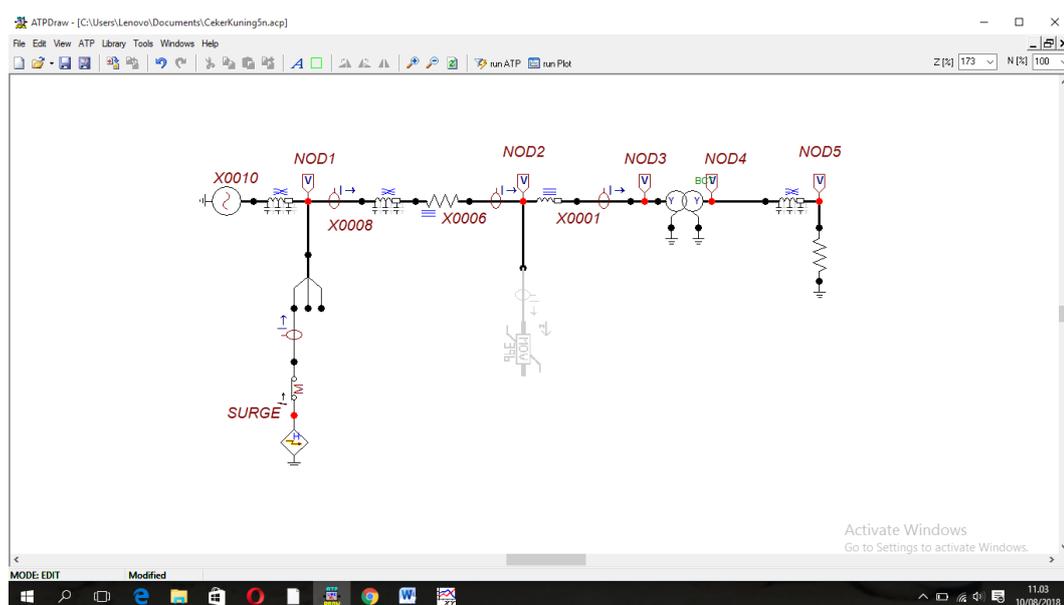
- = Phasa A
- = Phasa B
- = Phasa C

Gambar 4.15 menunjukkan nilai tegangan Transmisi yang menuju beban menunjukkan nilai hampir 20 kV. Dengan adanya *losses* yang terjadi pada saluran transmisi maka terjadi penurunan nilai tegangan sistem menuju beban.

Berdasarkan hasil simulasi gambar 4.14 dan gambar 4.15 dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan transmisi menuju transformator maupun beban tetap stabil. Sehingga sistem transmisi aman dalam kondisi tidak adanya *Surge* Petir yang datang.

4.4.4. Pemodelan Rangkaian dengan *Surge* Petir Tanpa pemasangan Arrester

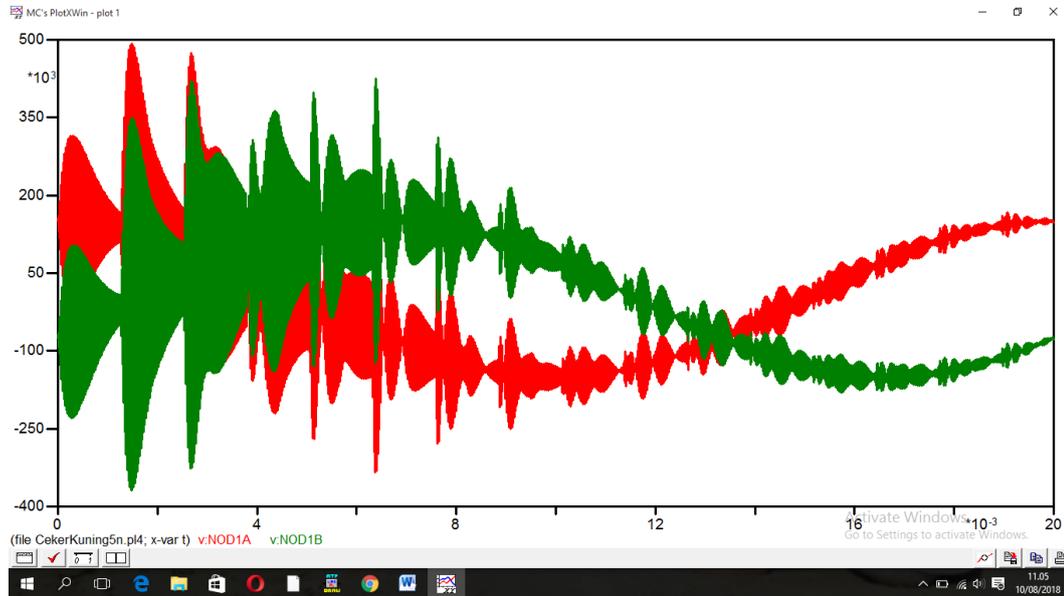
Pada studi kasus ini akan ditampilkan gambar rangkaian dan hasil simulasi dengan adanya *surge* petir namun tanpa pemasangan arrester. *Surge* Petir menyambar fasa C dengan nilai 30 kiloAmpere. Rangkaian disimulasikan untuk melihat kejadian diposisi *NOD1* (line), *NOD2* (arrester) serta *NOD3* (transformator) 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 4.16 Gambar Simulasi dengan *Surge* Petir dan Tanpa Arrester
(sumber: *Software* ATP Draw)

4.4.4.1. Grafik Plot XY *NOD1* (line)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 4.16 dihasilkan simulasi titik *NOD1A*, *NOD1B* serta *NOD1C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.

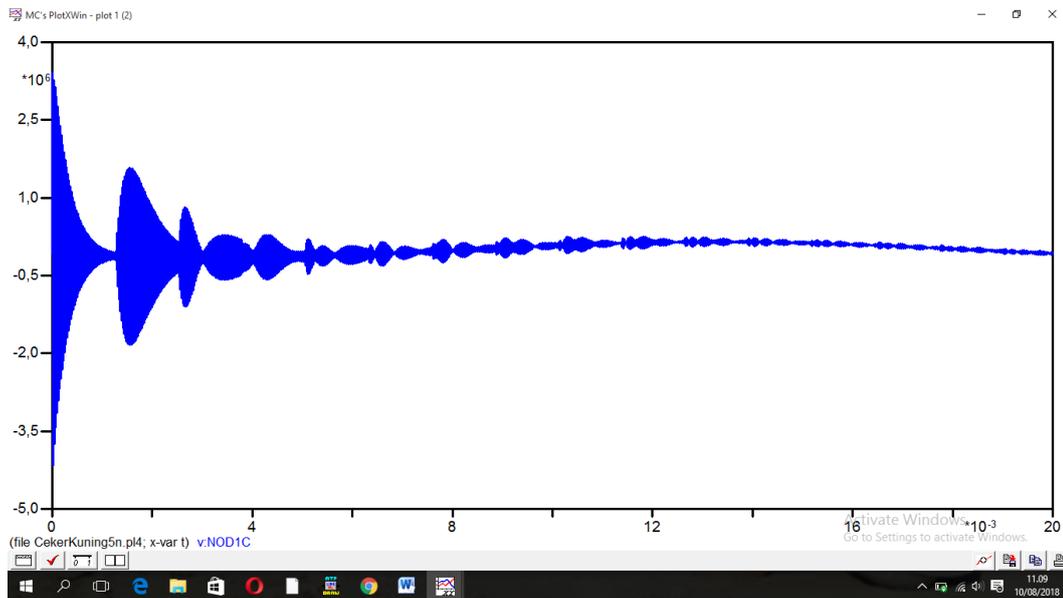


Gambar 4.17 Grafik Tegangan lebih *NOD1A* & *NOD1B*
(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

- = Phasa A
- = Phasa B

Gambar 4.17 menunjukkan dampak adanya *surge* petir pada phasa C juga mempengaruhi phasa A dan phasa B. Hal ini berdasarkan grafik simulasi rangkaian dengan nilai tegangan puncak mencapai 547,21 kV pada waktu muka petir $1,4810 \times 10^{-3}$ s. Sedangkan tegangan sistem pada phasa B juga mengalami kenaikan dengan nilai tegangan puncak mencapai 463,41 kV dengan waktu muka petir $2,681 \times 10^{-3}$ s.



Gambar 4.18 Grafik Tegangan lebih *NOD1C*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

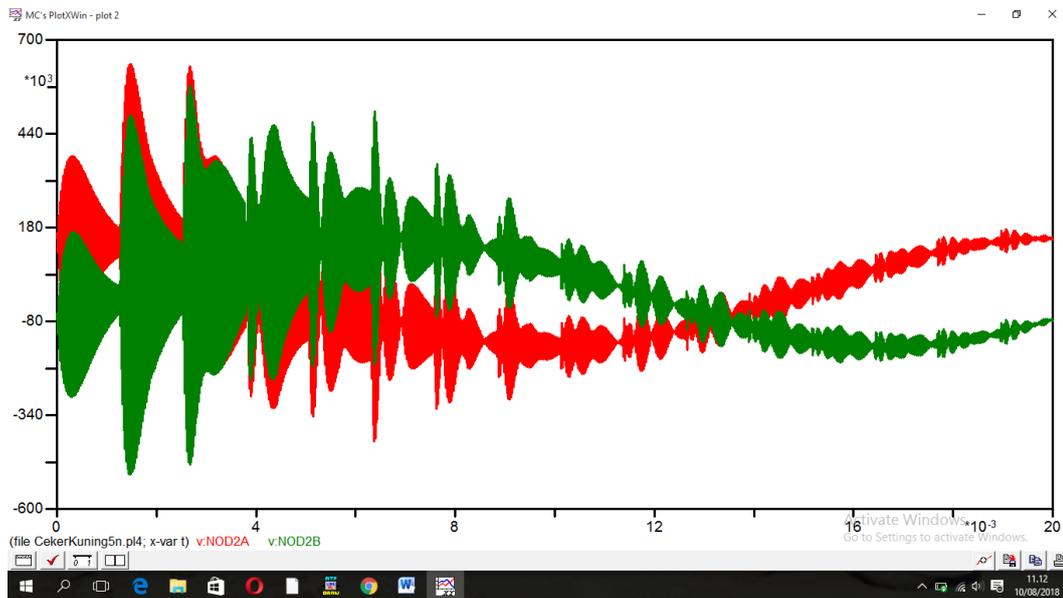
— = Phasa C

Dari gambar 4.18 menunjukkan bahwa pada phasa C terjadi respon pada saluran dengan nilai tegangan puncak mencapai 3.4207 MV dengan waktu muka petir 2.000×10^{-6} s. Hal ini disebabkan karena *surge* petir dengan nilai 30 kA menyambar mengenai phasa C maka berakibat adanya tegangan lebih yang cukup tinggi pada phasa C. Tanpa adanya pemasangan arrester nilai tegangan lebih ini cukup tinggi dan dapat merusak peralatan vital yang berada di Gardu Induk.

Berdasarkan data simulasi respon tegangan lebih dari adanya *surge* petir yang datang dapat disimpulkan bahwa dengan nilai arus petir sebesar 30 kA mengakibatkan adanya lonjakan tegangan yang cukup tinggi.

4.4.4.2. Grafik Plot XY *NOD2* (tanpa arrester)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 4.16 dihasilkan simulasi titik *NOD2A*, *NOD2B* serta *NOD2C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



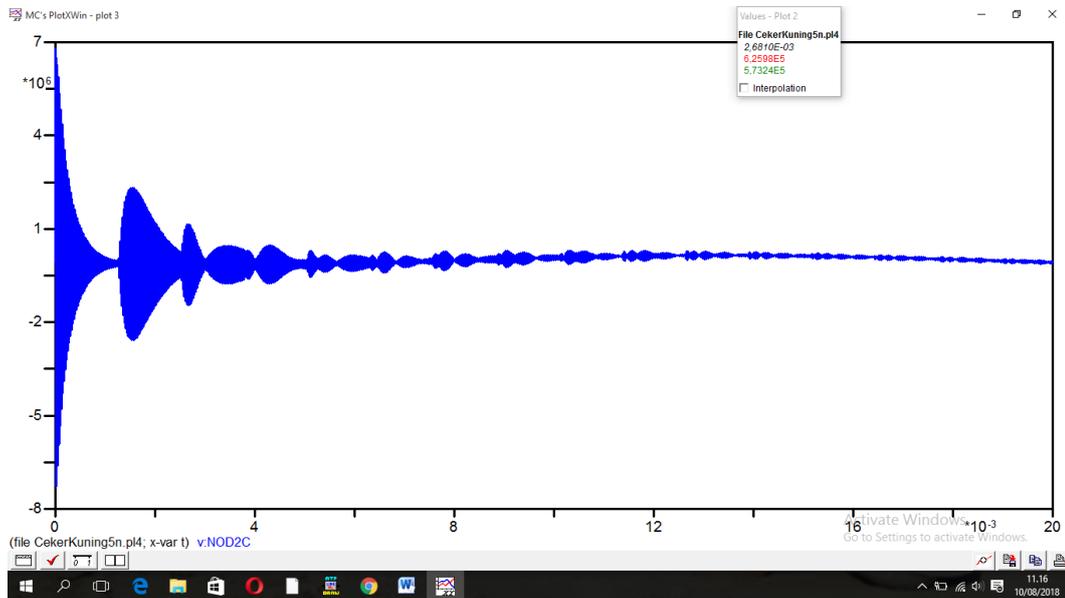
Gambar 4.19 Grafik Tegangan lebih *NOD2A* & *NOD2B*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

- = Phasa A
- = Phasa B

Gambar 4.19 menunjukkan dampak adanya *surge* petir pada phasa C juga mempengaruhi phasa A dan phasa B. Ketika tegangan impuls berjalan melewati *NOD2*, perlahan nilainya semakin bertambah. Hal ini disebabkan karena titik petir di phasa C perlahan mengalir menuju beban. Berdasarkan grafik simulasi rangkaian dengan nilai tegangan puncak mencapai 713,59 kV pada waktu muka petir $1,4810 \times 10^{-3}$ s. Sedangkan tegangan sistem pada phasa B juga mengalami kenaikan dengan nilai tegangan puncak mencapai 640,09 kV dengan waktu muka petir $2,681 \times 10^{-3}$ s.



Gambar 4.20 Grafik Tegangan lebih *NOD2C*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

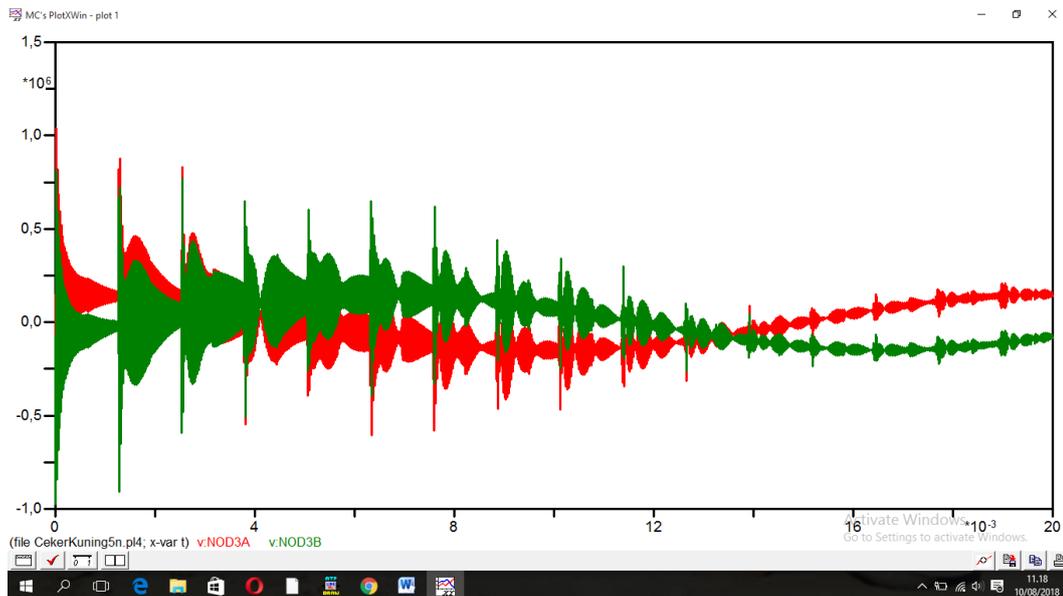
— = Phasa C

Dari gambar 4.20 menunjukkan bahwa pada phasa 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 phasa C maka berakibat adanya tegangan lebih yang cukup tinggi pada phasa C. Tanpa adanya pemasangan arrester nilai tegangan lebih ini cukup tinggi dan dapat merusak peralatan vital yang berada di Gardu Induk.

Berdasarkan data simulasi respon tegangan lebih dari adanya *surge* petir yang datang melalui *NOD2*, puncak nilai tegangan semakin naik karena disebabkan titik petir di phasa C perlahan mengalir menuju beban.

4.4.4.3. Grafik Plot XY *NOD3* (transformator).

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 4.16 dihasilkan simulasi dititik *NOD3A*, *NOD3B* serta *NOD3C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



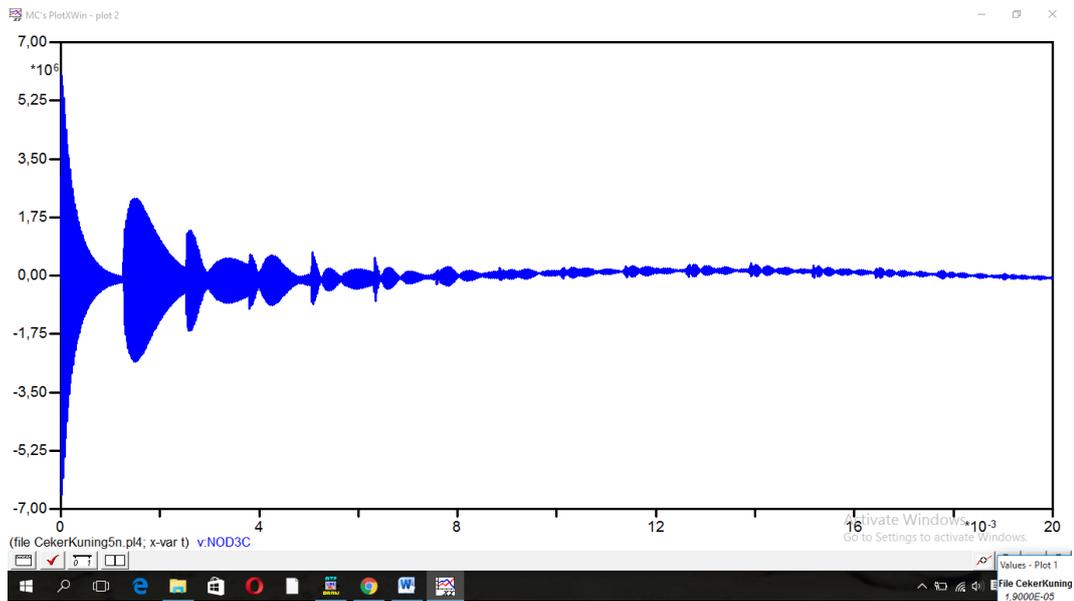
Gambar 4.21 Grafik Tegangan lebih *NOD3A* & *NOD3B*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

- = Phasa A
- = Phasa B

Gambar 4.21 menunjukkan dampak adanya *surge* petir pada phasa C yang mempengaruhi phasa A dan phasa B. Ketika tegangan impuls berjalan melewati *NOD3*, perlahan nilainya semakin bertambah lebih tinggi dibanding nilai puncak tegangan pada *NOD2*. Hal ini disebabkan karena titik petir di phasa C perlahan mengalir semakin dekat dengan beban. Berdasarkan grafik simulasi rangkaian dengan nilai tegangan puncak mencapai 1,1731 MV pada waktu muka petir $1,800 \times 10^{-5}$ s. Sedangkan tegangan sistem pada fasa B juga mengalami kenaikan dengan nilai tegangan puncak mencapai 949,23 kV dengan waktu muka petir $1,8000 \times 10^{-5}$ s.



Gambar 4.22 Grafik Tegangan lebih *NOD3C*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

— = Fasa C

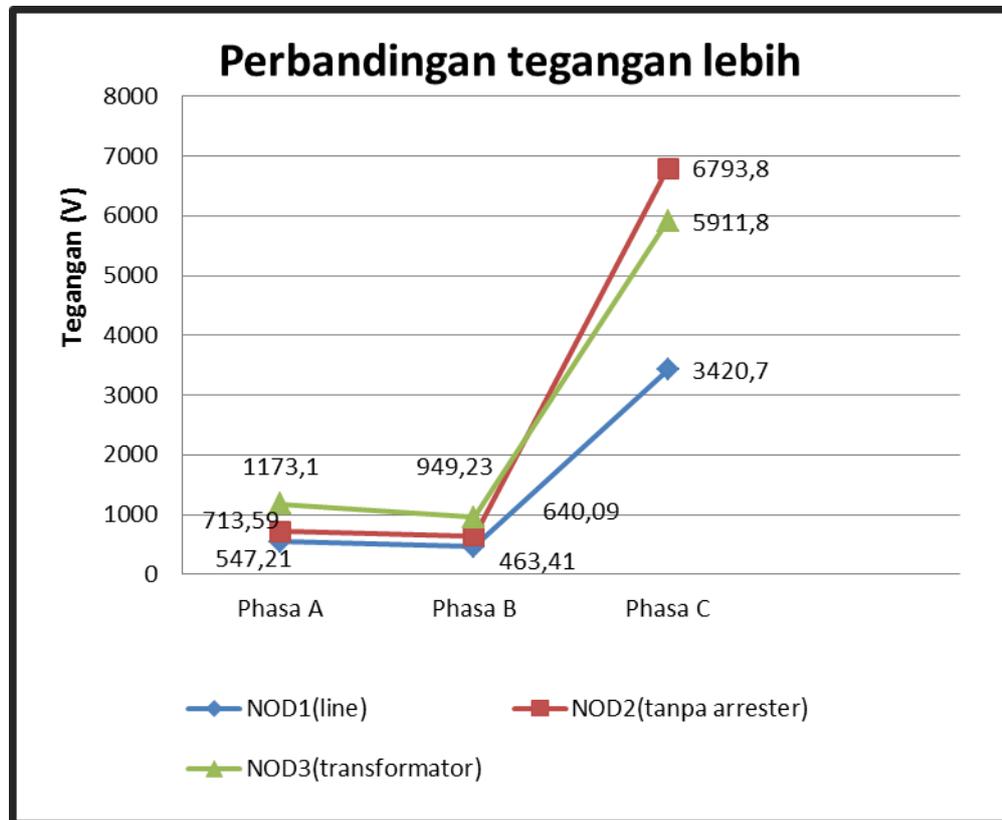
Dari gambar 4.22 menunjukkan bahwa pada fasa C terjadi respon pada saluran dengan nilai tegangan puncak mencapai 5,9118 MV dengan waktu muka petir $8,000 \times 10^{-6}$ s. Hal ini disebabkan karena *surge* petir dengan nilai 30 kA menyambar mengenai fasa C maka berakibat adanya tegangan lebih yang cukup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

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

Tabel 4.3 Perbandingan tegangan lebih disetiap titik tanpa arrester.

Titik	fasa (kV)		
	A	B	C
<i>NOD1</i> (line)	547,21	463,41	3420,7
<i>NOD2</i> (tanpa arrester)	713,59	640,09	6793,8
<i>NOD3</i> (transformator)	1173,1	949,23	5911,8

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

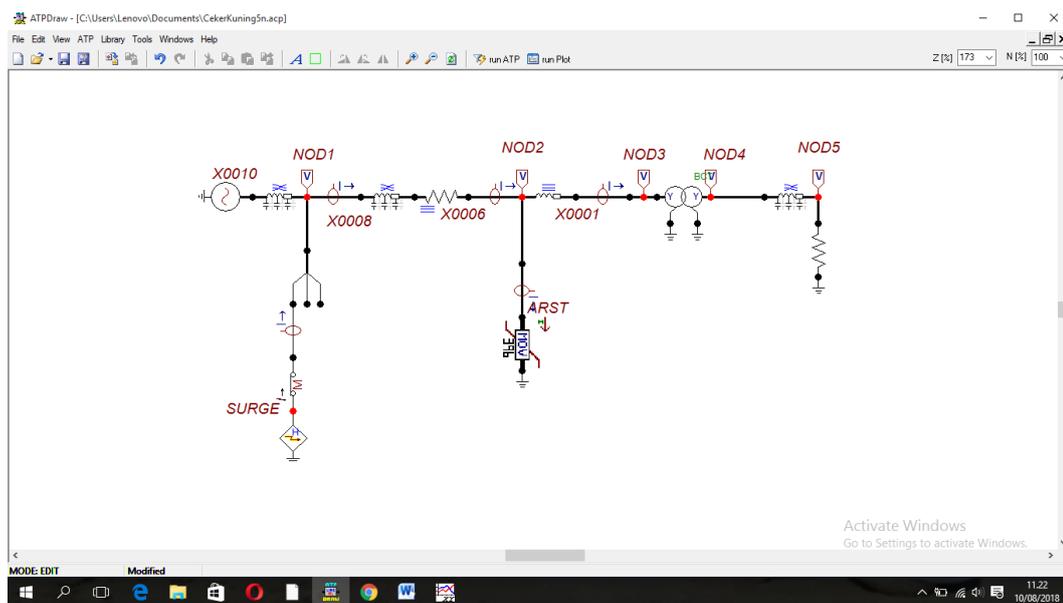


Gambar 4.23 Grafik Tegangan lebih titik *NOD1* (line), *NOD 2* (tanpa arrester) dan *NOD3* (transformator).

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 phasa C, hal ini disebabkan karena sumber *surge* petir semakin mendekati beban transformator sementara phasa A dan phasa B nilainya semakin naik karena terpengaruh induksi adanya petir di phasa C.

4.4.5. Pemodelan Rangkaian dengan *Surge* Petir dan terpasang Arrester dengan jarak 8 meter (Gardu Induk)

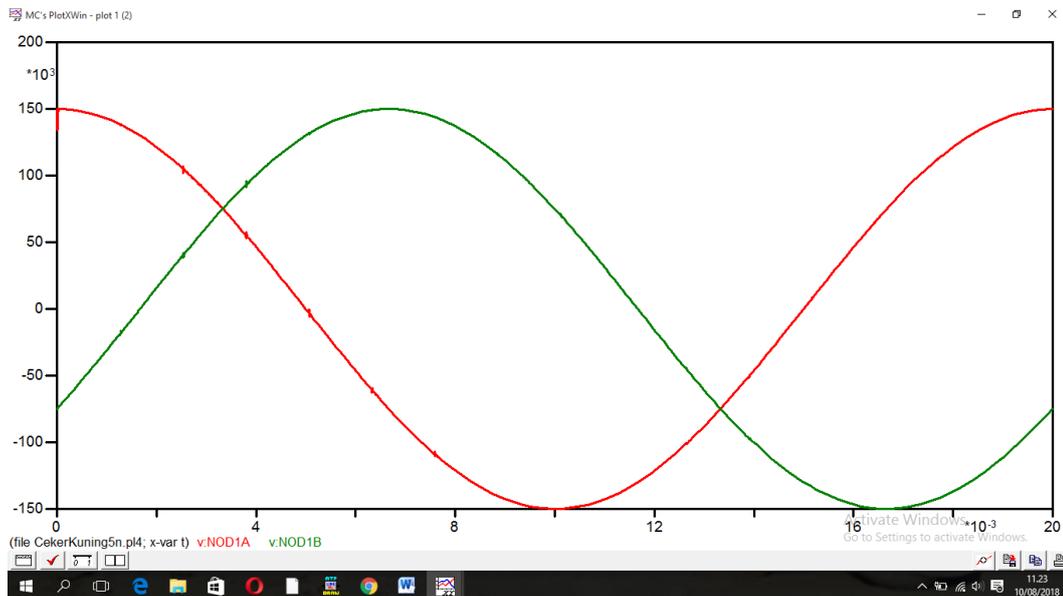
Pada studi kasus ini akan ditampilkan gambar rangkaian dan hasil simulasi dengan adanya *surge* petir dengan dilengkapi pemasangan arrester berdasarkan jarak sesuai di gardu induk yaitu jarak 8 meter dengan tujuan menghindari kerusakan apabila terjadi petir, karena Amplitudo tegangan impuls akan dipotong secepat mungkin oleh arrester. *Surge* Petir menyambar fasa 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 dengan dilengkapi pemasangan Arrester dengan jarak 8 meter.



Gambar 4.24 Gambar Simulasi dengan *Surge* Petir dengan Arrester jarak 8 meter
(sumber: *Software* ATP Draw)

4.4.5.1 Grafik Plot XY *NOD1* (line)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 4.24 dihasilkan simulasi dititik *NOD1A*, *NOD1B* serta *NOD1C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



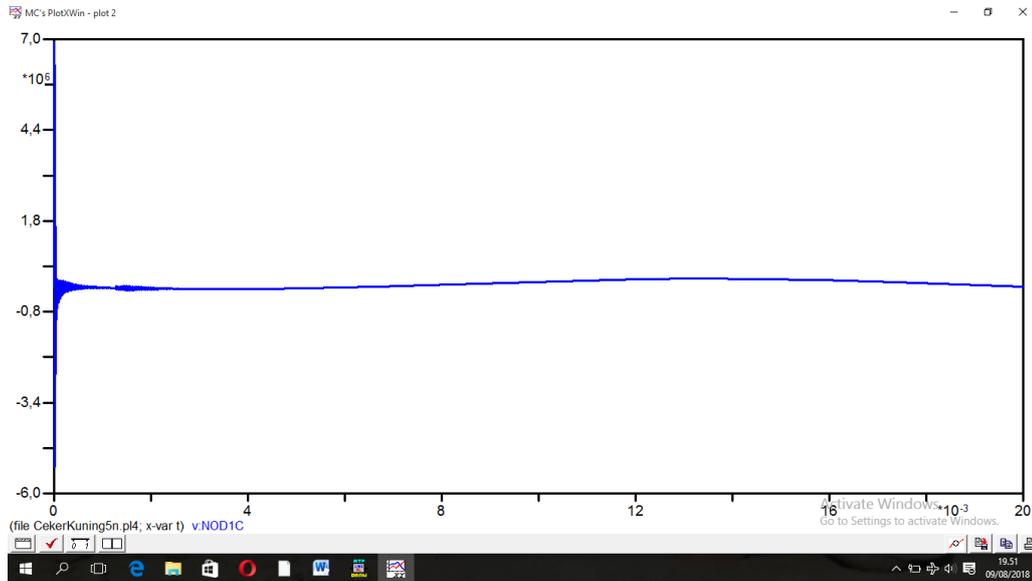
Gambar 4.25 Grafik Tegangan lebih *NOD1A* & *NOD1B*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

- = Fasa A
- = Fasa B

Pada gambar 4.25 menunjukkan dampak adanya *surge* petir pada fasa C yang mempengaruhi fasa A dan fasa B. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa respon dari adanya pemasangan arrester dalam melindungi transformator dapat memotong tegangan lebih secepat mungkin. Hal ini berdasarkan grafik simulasi rangkaian dengan nilai tegangan puncak menjadi 150 kV pada waktu muka petir 0 s. Sedangkan tegangan sistem pada fasa B juga mengalami penurunan pasca pemasangan arrester dengan nilai tegangan puncak menjadi 149,99 kV dengan waktu muka petir $6,6830 \times 10^{-3}$ s.



Gambar 4.26 Grafik Tegangan lebih *NOD1C*
(sumber: *Software ATP Draw*)

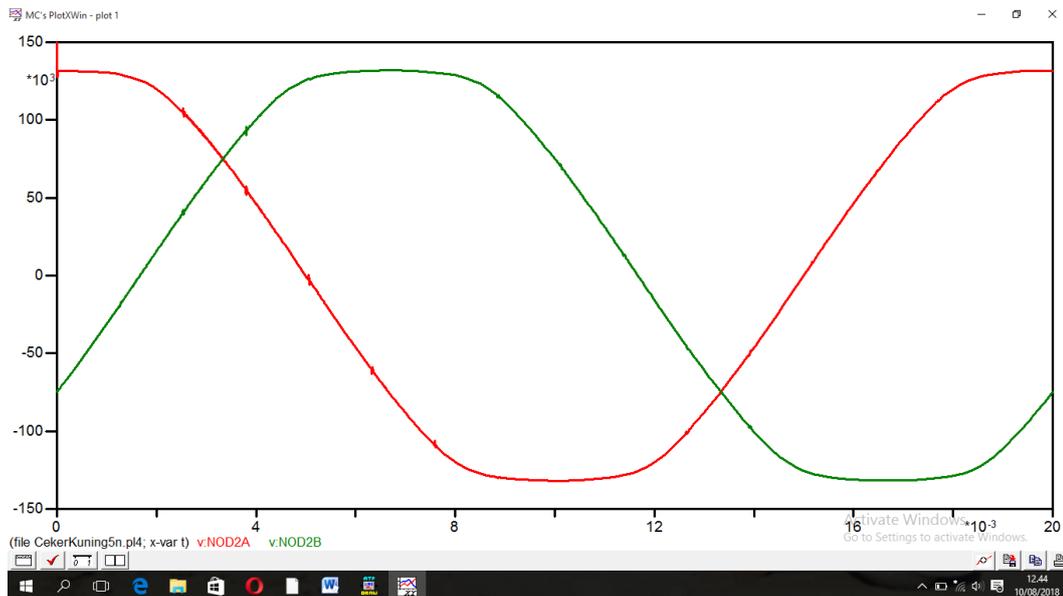
Keterangan :

— = Phasa C

Dari gambar 4.26 menunjukkan bahwa dengan adanya surge petir pada phasa C mengakibatkan nilai tegangan puncak sebesar 3,4207 MV dengan waktu muka petir $2,000 \times 10^{-6}$ s. Pada posisi *NOD1C* belum terjadi respon dengan adanya pemasangan arrester dikarenakan *surge* petir berjarak 500 meter dari adanya arrester.

4.4.5.2 Grafik Plot XY *NOD2* (Arrester 8 meter)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 4.16 dihasilkan simulasi dititik *NOD2A*, *NOD2B* serta *NOD2C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



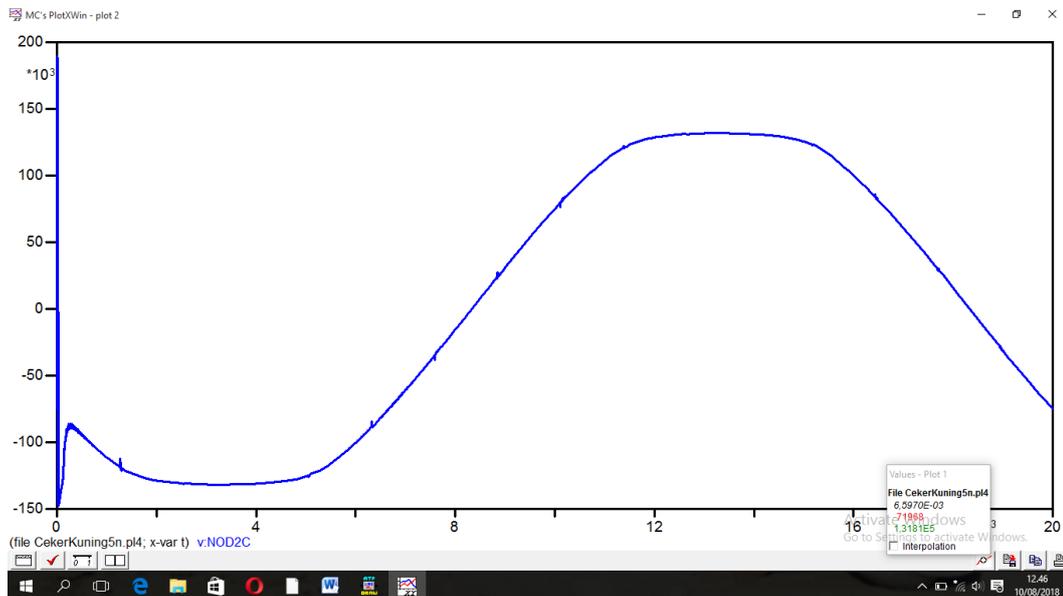
Gambar 4.27 Grafik Tegangan lebih *NOD2A* & *NOD2B*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

- = Phasa A
- = Phasa B

Dari Gambar 4.27 menunjukkan dampak adanya *surge* petir pada phasa C yang mempengaruhi phasa A dan phasa B pada *NOD2*. Sama halnya dengan *NOD1* bahwa dari gambar tersebut menunjukkan bahwa respon dari adanya pemasangan arrester dalam melindungi transformator dapat memotong tegangan lebih secepat mungkin. Hal ini berdasarkan grafik simulasi rangkaian dengan nilai tegangan puncak menjadi 149,89 kV pada waktu muka petir 0 s. Sedangkan tegangan sistem pada fasa B juga mengalami penurunan pasca pemasangan arrester dengan nilai tegangan puncak menjadi 131,81 kV dengan waktu muka petir $6,348 \times 10^{-3}$ s.



Gambar 4.28 Grafik Tegangan lebih *NOD2C*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

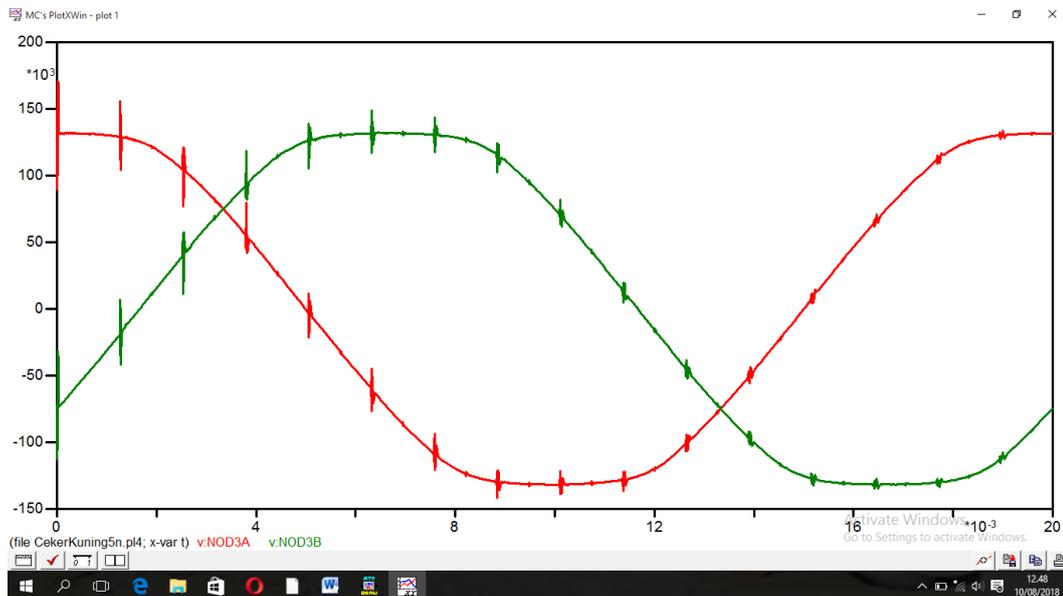
— = Phasa C

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.

4.4.5.3 Grafik Plot XY *NOD3* (Transformator)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 4.16 dihasilkan simulasi titik *NOD3A*, *NOD3B* serta *NOD3C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



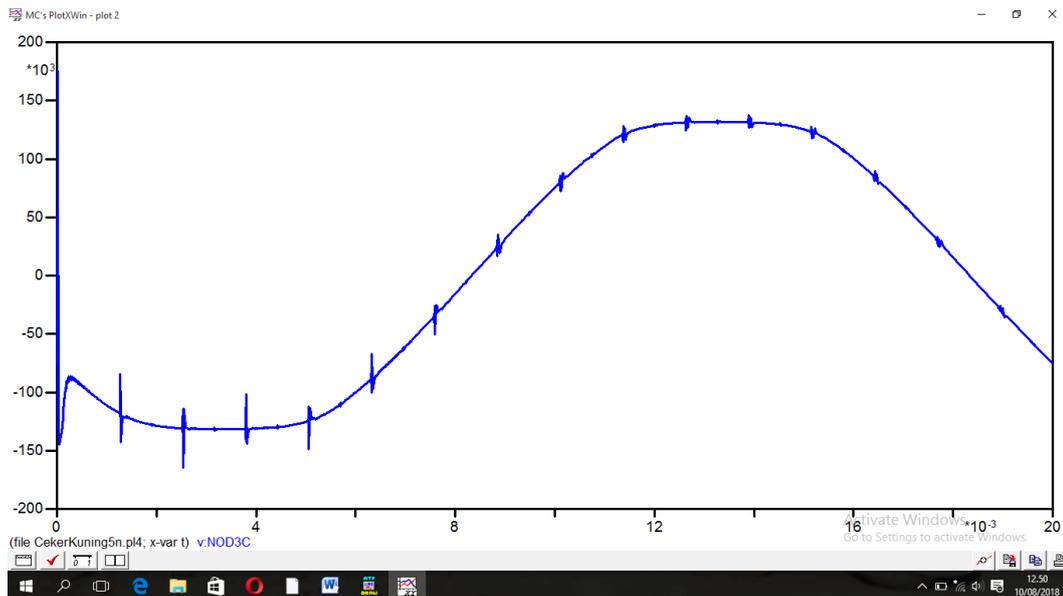
Gambar 4.29 Grafik Tegangan lebih *NOD3A* & *NOD3B*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

- = Phasa A
- = Phasa B

Pada Gambar 4.29 menunjukkan bahwa pasca pemasangan arrester dalam melindungi transformator dapat menurunkan tegangan lebih dengan cepat. Ketika tegangan lebih berjalan melewati *NOD3*, nilai ini juga semakin berkurang dibanding nilai puncak tegangan pada *NOD2*. Hal ini disebabkan karena titik petir di fasa C dipotong secepat mungkin oleh arrester dan perlahan mengalir semakin dekat dengan beban. Dari grafik simulasi rangkaian menunjukkan bahwa nilai tegangan mencapai 170,79 kV pada waktu muka petir $1,2000 \times 10^{-5}$ s. Nilai ini turun 85.44 % dibanding sebelumnya dengan adanya pemasangan arrester. Sedangkan tegangan pada fasa B menunjukkan nilai 139,77 kV dengan waktu muka petir $6,3380 \times 10^{-3}$ s. Nilai ini turun 85.28 % dibanding dengan sebelum adanya pemasangan arrester.



Gambar 4.30 Grafik Tegangan lebih *NOD3C*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

— = Phasa C

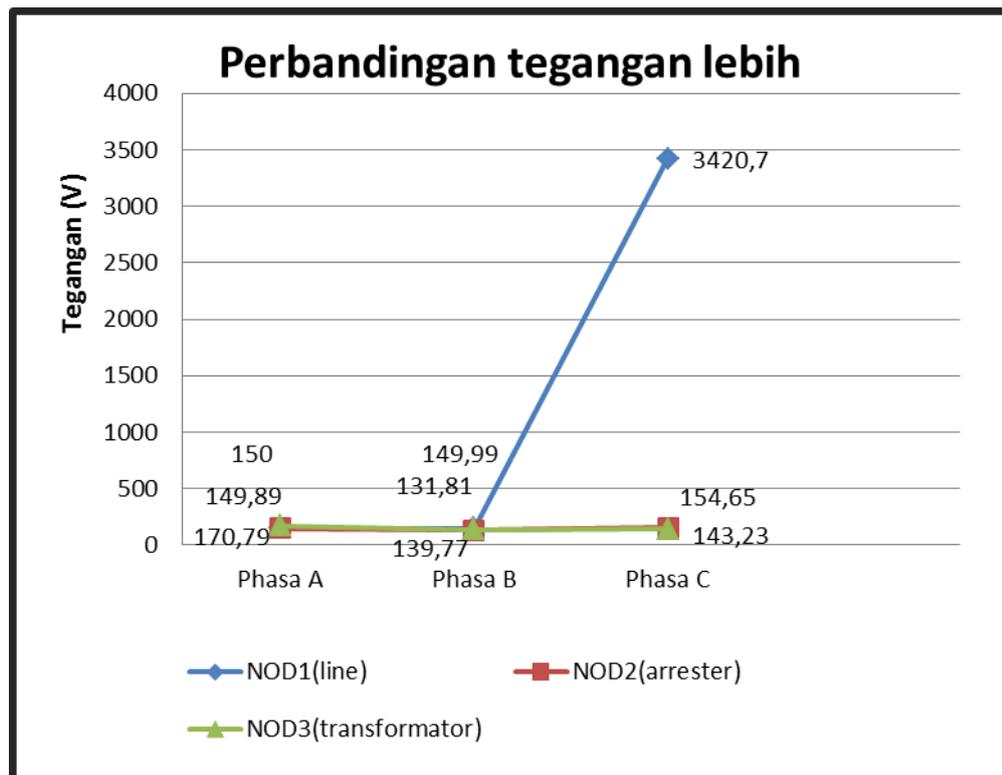
Pada Gambar 4.30 menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan arrester mampu memotong tegangan lebih secepat mungkin. Jika dibandingkan dengan *NOD2* nilai tegangan lebih yang melewati *NOD3* semakin menurun. Hal ini disebabkan karena *surge* petir dipotong secepat mungkin oleh arrester yang berjalan semakin dekat dengan beban. Dari grafik menunjukkan bahwa nilai tegangan menjadi 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), *NOD2* (arrester) dan *NOD3* (transformator) adalah sebagai berikut.

Tabel 4.4 Perbandingan tegangan lebih disetiap titik arrester jarak 8 meter.

Titik	Fasa (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.

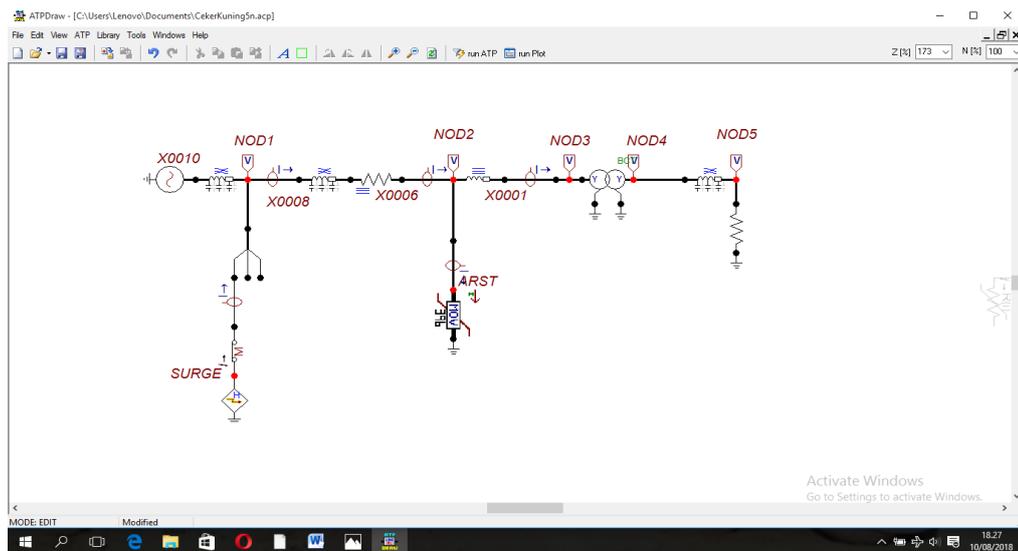


Gambar 4.31 Grafik Tegangan lebih titik *NOD1* (line), *NOD 2* (arrester 8 meter) dan *NOD3* (transformator).

Berdasarkan grafik diatas bahwa tegangan lebih dari adanya *surge* petir yang datang pada fasa C, puncak nilai tegangan semakin berkurang dengan adanya pemasangan arrester. Hal ini sesuai dengan data diatas bahwa pada fasa 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.

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

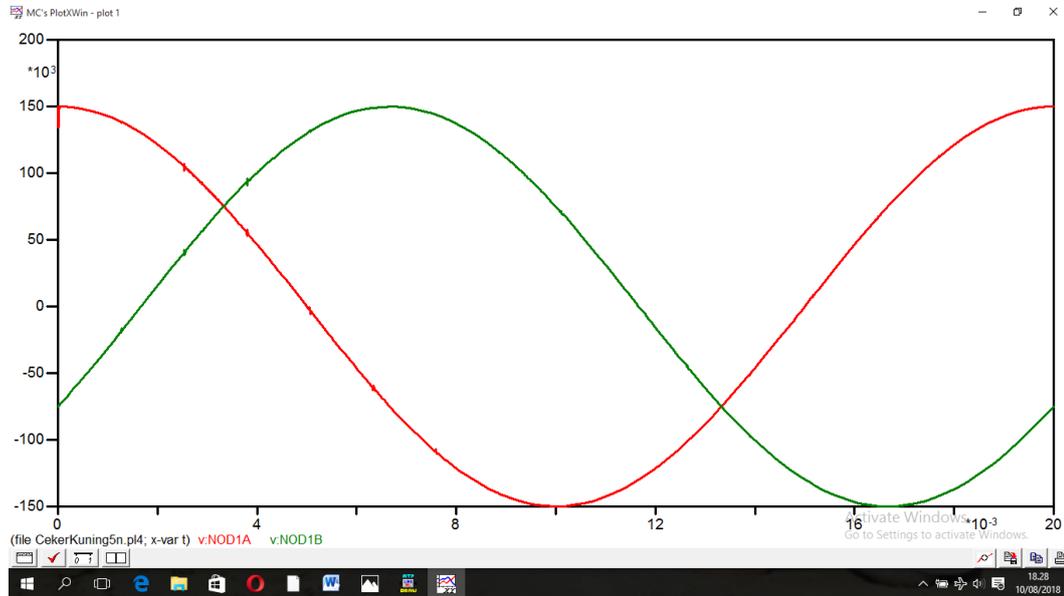
Pada studi kasus ini akan ditampilkan gambar rangkaian dan hasil simulasi dengan adanya *surge* petir dengan dilengkapi pemasangan arrester yang dipasang pada jarak 9,75 meter. Model rangkaian pada kasus ini sama dengan rangkaian pada gambar 4.24, namun yang membedakan adalah jarak yang digunakan sesuai dengan rumus perhitungan. *Surge* Petir menyambar fasa 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 4.32 Gambar Simulasi dengan *Surge* Petir Dilengkapi Arrester (sumber: *Software ATP Draw*)

4.4.6.1. Grafik Plot XY *NOD1* (line)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 4.32 dihasilkan simulasi titik *NOD1A*, *NOD1B* serta *NOD1C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



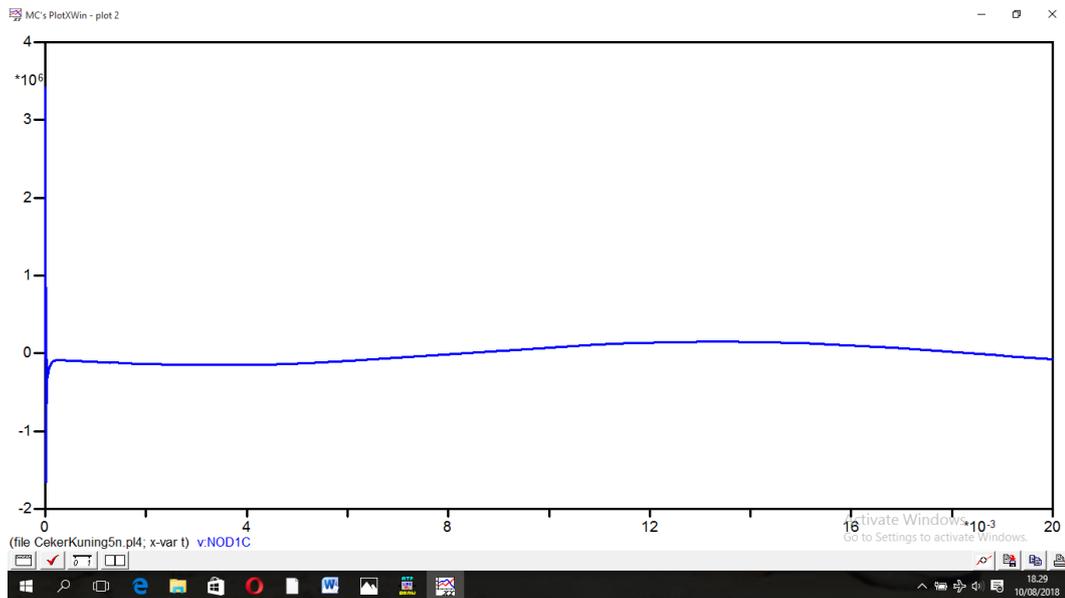
Gambar 4.33 Grafik Tegangan lebih *NOD1A* & *NOD1B*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

- = Phasa A
- = Phasa B

Dari Gambar 4.33 menunjukkan dampak adanya *surge* petir pada fasa C yang mempengaruhi fasa A dan fasa B. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa respon dari adanya pemasangan arrester dalam melindungi transformator dapat memotong tegangan lebih secepat mungkin. Hal ini berdasarkan grafik simulasi rangkaian dengan nilai tegangan puncak menjadi 150,08 kV pada waktu muka petir $1,300 \times 10^{-5}$ s. Sedangkan tegangan sistem pada fasa B juga mengalami penurunan pasca pemasangan arrester dengan nilai tegangan puncak menjadi 149,99 kV dengan waktu muka petir $6,681 \times 10^{-3}$ s.



Gambar 4.34 Grafik Tegangan lebih *NOD1C*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

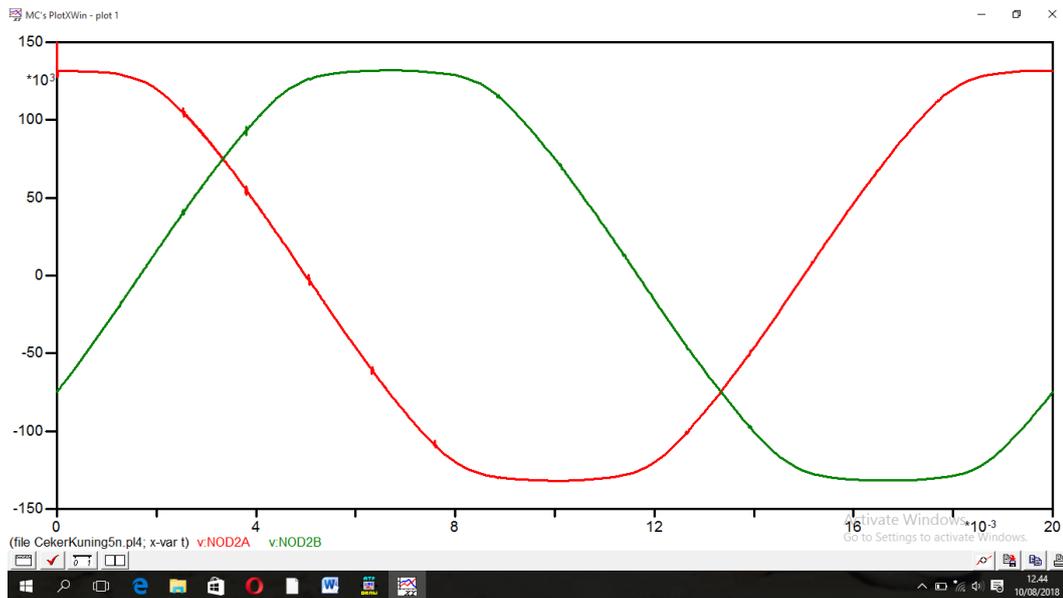
— = Phasa C

Dari gambar 4.34 menunjukkan bahwa dengan adanya surge petir pada phasa C mengakibatkan nilai tegangan puncak sebesar 3,4207 MV dengan waktu muka petir 2.000×10^{-6} s. Pada posisi *NOD1C* belum terjadi respon dengan adanya pemasangan arrester dikarenakan arrester berjarak 500 meter dari adanya *surge* petir.

Berdasarkan hasil simulasi dengan adanya pemasangan arrester dapat meredam nilai tegangan impuls secara cepat.

4.4.6.2 Grafik Plot XY *NOD2* (Arrester)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 4.16 dihasilkan simulasi dititik *NOD2A*, *NOD2B* serta *NOD2C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



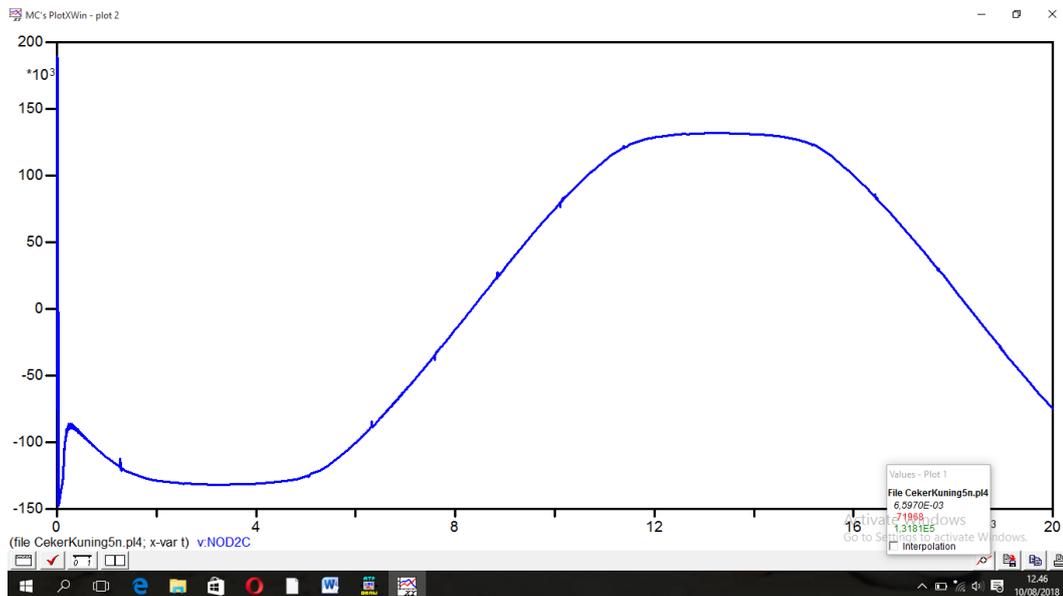
Gambar 4.35 Grafik Tegangan lebih *NOD2A* & *NOD2B*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

- = Fasa A
- = Fasa B

Dari Gambar 4.35 menunjukkan dampak adanya *surge* petir pada fasa C yang mempengaruhi fasa A dan fasa B pada *NOD2*. Sama halnya dengan *NOD1* bahwa dari gambar tersebut menunjukkan bahwa respon dari adanya pemasangan arrester dalam melindungi transformator dapat memotong tegangan lebih secepat mungkin. Hal ini berdasarkan grafik simulasi rangkaian dengan nilai tegangan puncak menjadi 149,89 kV pada waktu muka petir 0 s. Sedangkan tegangan sistem pada fasa B juga mengalami penurunan pasca pemasangan arrester dengan nilai tegangan puncak menjadi 131,81 kV dengan waktu muka petir $6,591 \times 10^{-3}$ s.



Gambar 4.36 Grafik Tegangan lebih *NOD2C*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

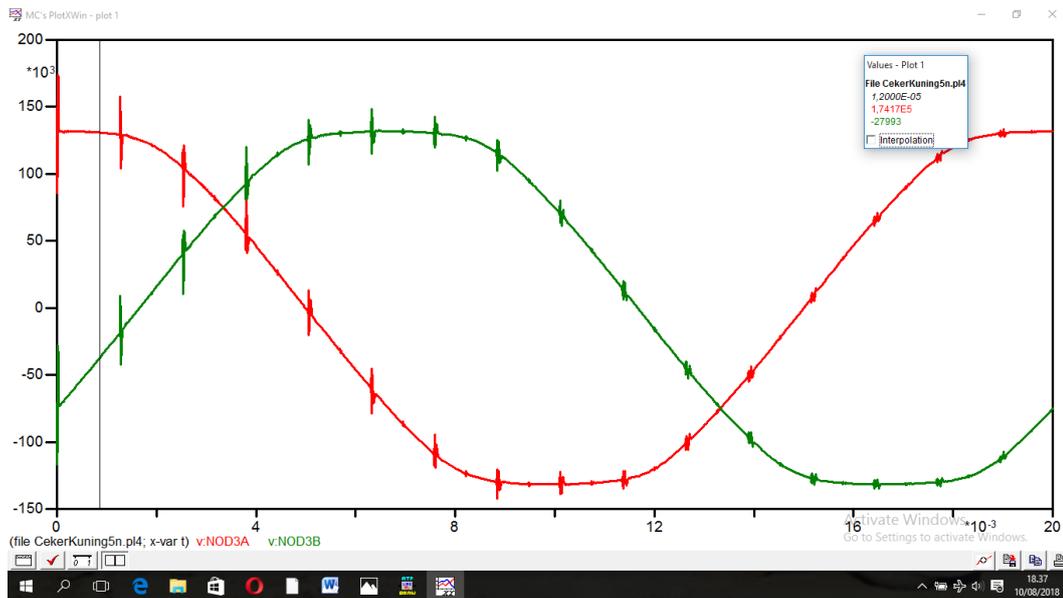
— = Phasa C

Pada Gambar 4.36 menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan arrester mampu memotong tegangan impuls secepat mungkin. Hal ini berdasarkan 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.

4.4.6.3 Grafik Plot XY *NOD3* (Transformator)

Berdasarkan gambar rangkaian dari gambar 4.16 dihasilkan simulasi dititik *NOD3A*, *NOD3B* serta *NOD3C* dalam grafik Plot XY sebagai berikut.



Gambar 4.37 Grafik Tegangan lebih *NOD3A* & *NOD3B*

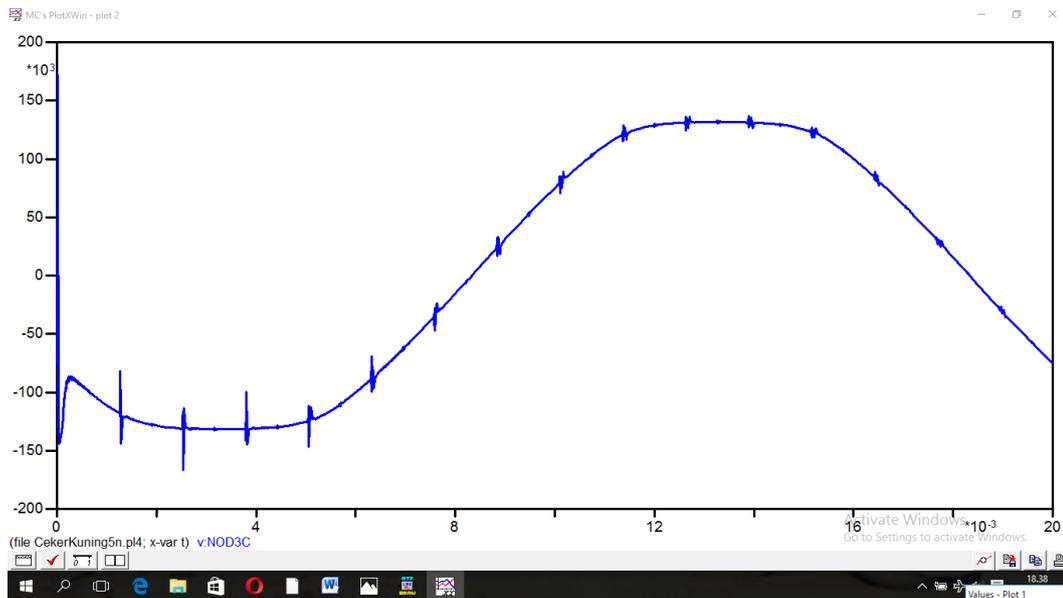
(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

— = Phasa A

— = Phasa B

Pada Gambar 4.37 menunjukkan bahwa pasca pemasangan arrester dalam melindungi transformator dapat menurunkan tegangan lebih dengan cepat. Ketika tegangan lebih berjalan melewati *NOD3*, nilai ini juga semakin berkurang dibanding nilai puncak tegangan pada *NOD2*. Hal ini disebabkan karena titik petir di phasa C dipotong secepat mungkin oleh arrester dan perlahan mengalir semakin dekat dengan beban. Dari grafik simulasi rangkaian menunjukkan bahwa nilai tegangan pada phasa A mencapai 174,17 kV pada waktu muka petir $1,2000 \times 10^{-5}$ s. Nilai ini naik 1.98 % dibanding dengan pemasangan arrester dengan jarak 8 meter. Sedangkan tegangan pada phasa B menunjukkan nilai 148,41 kV dengan waktu muka petir $6,328 \times 10^{-3}$ s. Nilai ini naik 6.18 % dibanding dengan pemasangan arrester dengan jarak 8 meter sesuai data dilampiran.



Gambar 4.38 Grafik Tegangan lebih *NOD3C*

(sumber: *Software ATP Draw*)

Keterangan :

— = Phasa C

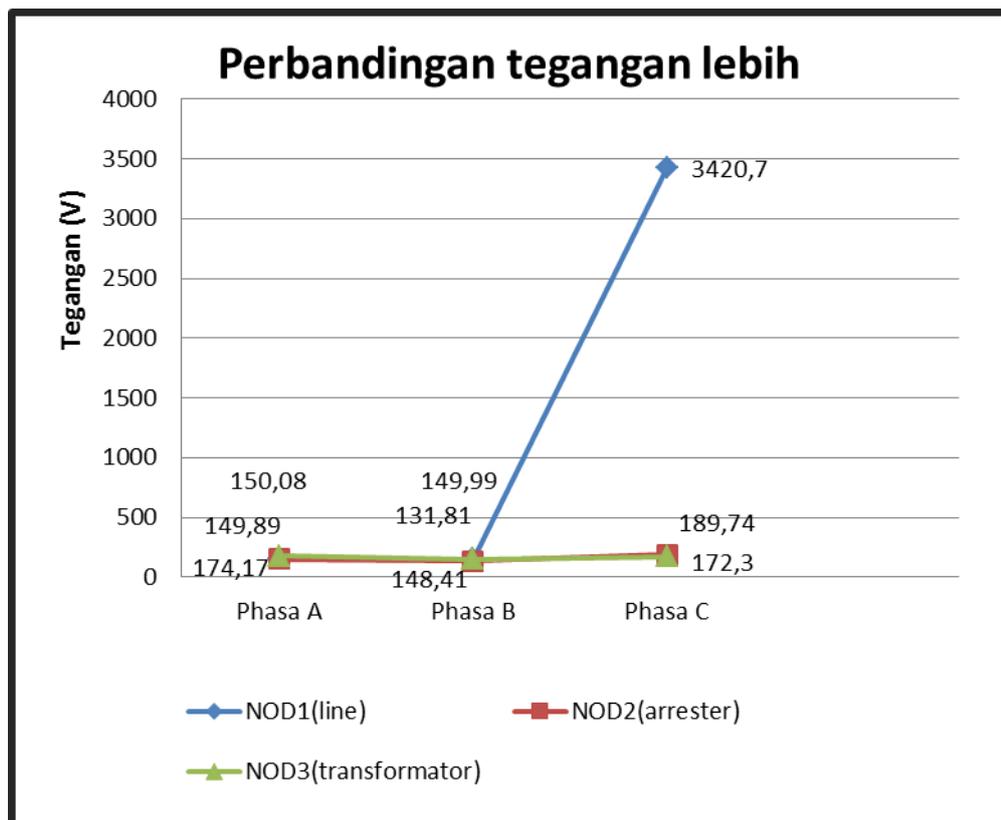
Pada Gambar 4.38 menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan arrester mampu memotong tegangan lebih secepat mungkin. Jika dibandingkan dengan *NOD2* nilai tegangan lebih yang melewati *NOD3* semakin menurun. Hal ini disebabkan karena *surge* petir dipotong secepat mungkin oleh arrester yang berjalan semakin 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 dilapangan.

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

Tabel 4.5 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 4.39 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 fasa 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 fasa 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.

4.4.7. 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.

4.4.7.1. *NOD1* (line)

NOD1 (line) merupakan kabel sistem transmisi dari fasa A, fasa B serta fasa C yang mengalir dari ujung pembangkit sampai dengan ujung beban. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai tegangan lebih disetiap fasa A, fasa B serta fasa C pada *NOD1* (line) 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 *NOD1* (line) ditunjukkan sebagai berikut.



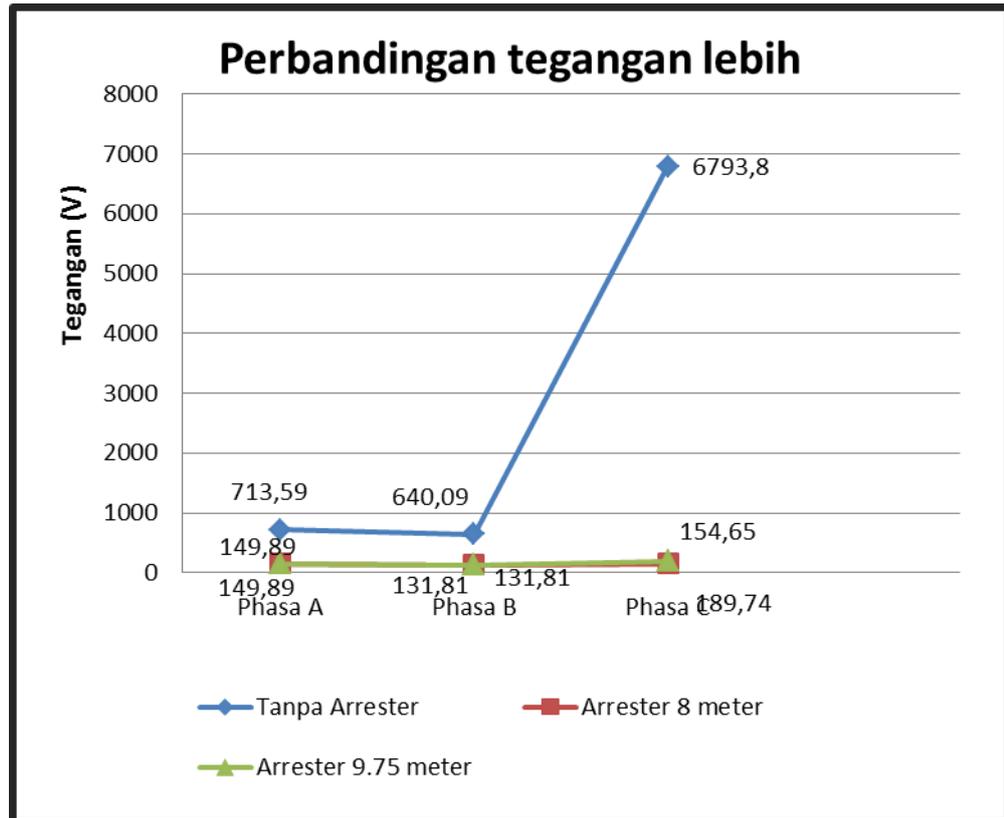
Gambar 4.40 Grafik Perbandingan *NOD1* tanpa arrester, terpasang arrester 8 meter dan 9.75 meter.

Dari grafik pada gambar 4.40 dapat dilihat bahwa gardu induk dengan tegangan transmisi 150 kV terdapat perbedaan yang cukup signifikan ketika phasa C diterpa oleh *surge* petir dengan nilai 30 kA. Kemudian pada phasa A dan phasa B juga terjadi kenaikan nilai tegangan dikarenakan terpengaruh dengan adanya *surge* petir.

4.4.7.2. *NOD2* (tanpa/terpasang arrester)

NOD2 (tanpa/terpasang arrester) merupakan kabel sistem jaringan dari phasa A, phasa B serta phasa C yang mengalir dari ujung pembangkit sampai dengan ujung beban. *NOD2* (tanpa/terpasang arrester) merupakan titik dimana sistem tanpa adanya arrester dan terpasang arrester. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai tegangan lebih disetiap phasa A, phasa B serta phasa C pada

NOD2 (tanpa/terpasang arrester) 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 4.41 Grafik Perbandingan *NOD2* tanpa arrester, terpasang arrester 8 meter dan 9.75 meter.

Gambar 4.41 menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan arrester dapat memotong tegangan lebih dengan cepat. Hal ini berdasarkan pada gambar bahwa tegangan lebih dengan nilai 6.793,8 MV dapat dipotong menjadi 154,65 kV pada arrester dengan jarak 8 meter, serta menjadi 189,74 kV pada arrester dengan jarak 9,75 meter.

4.4.7.3. NOD3 (transformator)

NOD3 (transformator) merupakan kabel sistem jaringan dari fasa A, fasa B serta fasa 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 fasa A, fasa B serta fasa 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 4.42 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.