

# STUDI PENGARUH VARIASI PARAMETER SAMBARAN PETIR TERHADAP TEGANGAN INDUKSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV (Studi Kasus Feeder 3 GI Bumi Semarang Baru)

Ira Debora Parhusip<sup>\*)</sup>, Agung Warsito, and Abdul Syakur

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail : *break\_leg\_go@yahoo.com*

## Abstrak

Pada jaringan distribusi tegangan menengah, tegangan induksi akibat sambaran petir tidak langsung merupakan gangguan yang paling sering terjadi. Ada beberapa parameter petir yang mempengaruhi amplitude dan bentuk gelombang tegangan induksi yaitu arus puncak petir, kecepatan, jarak dan karakteristik waktu sambaran. Pada penelitian, akan dilakukan studi respon jaringan listrik terhadap sambaran induksi dengan mengimplementasikan Teori Perhitungan tegangan induksi maksimum Rusck dengan variasi parameter yang disebutkan. Simulasi dilakukan dengan menginjeksikan sumber tegangan induksi pada suatu titik di ujung jaringan 3 fasa pada program ATP (Alternative Transients Program). Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan induksi petir terjadi di sepanjang saluran distribusi dengan pengaruh variasi parameter arus puncak, kecepatan sambaran, serta waktu ekor injeksi tegangan yang sebanding dengan besar tegangan induksi yang terjadi di sepanjang saluran. Sedangkan pengaruh jarak sambaran dan waktu muka gelombang berbanding sebaliknya. Nilai tegangan induksi terukur juga akan mengalami atenuasi (penurunan) semakin jauh dari titik sambaran.

*Kata kunci: Tegangan Induksi, Parameter Sambaran, teori Rusck, ATP*

## Abstract

Indirect lightning-induced overvoltage on medium voltage distribution network are frequently occurred. There are some lightning parameters which have great influence for the amplitude and wave shapes of lightning induced voltages, such as amplitude peak, propagation velocity, distance between the striking point and the line, and time characteristics. In this research, will discuss the respond of distribution line due to indirect lightning, using an implementation of Rusck's theory of maximum induced voltage for evaluating the influence of various parameters. For the simulation, source of induced voltage will be injected into 3 phase line model in ATP program. Simulation result shows that the overvoltage induced along the line. The waveform of induced voltage is fully depends on the following parameters on the return stroke. Induced voltage along the line is proportional to the current amplitude, stroke velocity and the time to half-value. On the other hand, the induced overvoltage is inversely proportional with the front time and the distance between the striking point and the line. Also, the measured value of induced voltage is attenuated as further the placement of measuring probe.

*Key Words : Induced Voltage, Lightning Parameters, Rusck's theory, ATP*

## 1. Pendahuluan

Sambaran tidak langsung menyebabkan kopling elektromagnetik antara jaringan dan sambaran petir sehingga mengakibatkan tegangan induksi pada jaringan. Tegangan Induksi pada Jaringan Listrik dapat menyebabkan gangguan terjadi pada saluran, terutama pada peralatan isolasi saluran distribusi. Besarnya tegangan sangat tergantung pada kedua parameter penting yaitu amplitude puncak dan kecuraman muka gelombang petir. Namun tidak semua sambaran dapat mengakibatkan

lompatan api (flashover) pada isolasi saluran, hanya yang melebihi kekuatan impuls V50% isolator( 125-160kV) (sesuai SPLN 10-4A 1994). Oleh karena itu estimasi/perkiraan mekanisme sambaran induksi dan nilai tegangan induksi pada jaringan listrik sangat diperlukan terutama untuk menentukan peralatan proteksi dan koordinasi isolasi saluran.[2]

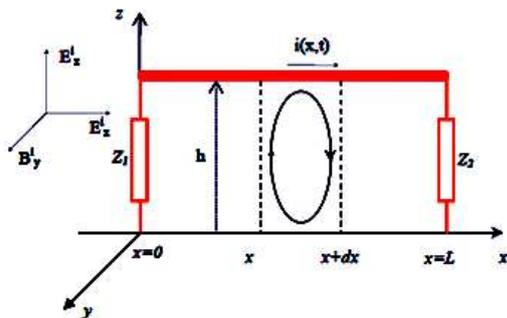
Pada penelitian penelitian, akan dilakukan pengamatan terhadap nilai tegangan induksi di sepanjang saluran sebagai fungsi dari variasi nilai parameter sambaran yaitu

arus puncak petir, kecepatan sambaran petir, jarak sambaran dan karakteristik waktu muka dan waktu ekor. Analisis dibantu oleh simulasi sambaran tidak langsung pada jaringan distribusi 20 kV 3 fasa berupa penginjeksian tegangan induksi (kV) pada fasa A dari suatu titik di near end saluran. Pemodelan jaringan distribusi 20 kV dilakukan dengan menggunakan software EMTP (Electromagnetic Transients Program) versi ATP 3.5. EMTP sangat baik digunakan untuk analisis tegangan lebih transien yang diakibatkan oleh surja karena program ini menyediakan fasilitas pemodelan untuk mesin tenaga, peralatan proteksi, sumber surja petir dan pemodelan saluran tenaga listrik. Injeksi tegangan dimodelkan oleh sumber Heidler yang nilainya merupakan nilai tegangan induksi maksimum yang dihitung dahulu menggunakan metode Rusck. Dari simulasi, dihasilkan hubungan pengaruh variasi parameter terhadap tegangan induksi di jaringan 3 fasa.

## 2. Metode

### 2.1 Mekanisme Kopling Elektromagnetis<sup>[3]</sup>

Medan Elektromagnetik yang besar dihasilkan pada fasa sambaran balik petir yaitu berupa surja arus dengan bentuk fungsi step yang bergerak ke atas dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya dan menetralkan muatan di sepanjang jalan kilat. Komponen vektor medan berinteraksi dengan saluran udara akan membentuk kopling elektromagnetik yang menginduksikan tegangan induksi pada saluran.

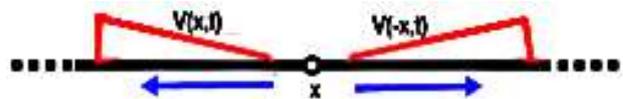


Gambar 2.1 Kopling elektromagnetis sambaran dengan saluran

### 2.2 Perhitungan Tegangan Induksi Maksimum (Rusck Method)<sup>[1][3][8]</sup>

Model perhitungan tegangan induksi Rusck diadapatasi dalam standar IEEE 1410-2010. Rusck mengasumsikan kanal tempat surja arus saat sambaran balik tegak lurus bidang pentanahan, jaringan listrik sebagai saluran *single* konduktor yang panjangnya tak hingga (*infinite*), saluran berada di atas pentanahan dengan konduktivitas sempurna (*ideal ground*).

Interpretasi tegangan induksi menurut teori Rusck :



Gambar 2.2 Kalkulasi Tegangan Induksi Max

$$V_{\text{induksi}}(x,t) = V_1 + V_2 = V(x,t) + V(-x,t) \quad (1)$$

$$V_1(x,t) = Z_0 I_0 h \frac{v}{c} \left[ \frac{c t - x}{d^2 + \left(\frac{v}{c}\right)^2 (c t - x)^2} \right] \dots \quad (2)$$

$$* \left[ 1 + \frac{x^2 + \left(\frac{v}{c}\right)^2 (c t - x)^2}{\sqrt{\left(\frac{v}{c}\right)^2 (c t)^2 + \left\{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2\right\} (x^2 + d^2)}}} \right] \quad (3)$$

$$V_2 = V_1(-x,t) \quad (3)$$

Berdasarkan rumus perhitungan Rusck diberikan parameter sambaran yang mempengaruhi nilai tegangan induksi maksimum :

$x$  = Jarak sepanjang saluran udara (meter)

$Z_0$  = Impedansi Karakteristik =  $30 \Omega$

$I_0$  = Amplitudo step dari arus sambaran balik (kA)

$h$  = Ketinggian saluran udara dari permukaan tanah (m)

$v$  = kecepatan sambaran balik ( $29 \text{ m}/\mu\text{s} - 240 \text{ m}/\mu\text{s}$ )

$d$  = jarak antar tiang distribusi (m)

$\beta$  = rasio kecepatan sambaran balik dan kecepatan cahaya

$t$  = waktu (sekon)

Tegangan induksi akan bernilai maksimum pada titik  $x=0$  dimana titik di saluran terdekat ke sambaran. ( $x$  = jarak sepanjang saluran), maka:

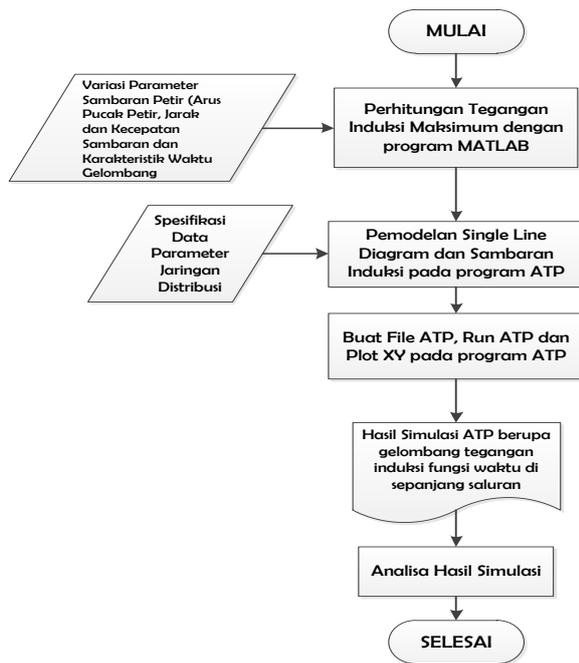
$$v(x,t) = v(0,t) = \frac{Z_0 I_0 h}{d^2} \frac{2\beta c t}{1 + \left(\frac{\beta c t}{d}\right)^2} \left( 1 + \beta^2 \frac{c t / d}{\sqrt{1 + \beta^2 \left[ \left(\frac{c t}{d}\right)^2 - 1\right]}} \right) \quad (4)$$

$$V_{\text{induksi Max}} = \frac{Z_0 I_0 h}{d} \left( 1 + \frac{\beta}{\sqrt{2 - \beta^2}} \right) \quad (5)$$

### 2.3 Perancangan Simulasi

#### 2.3.1 Diagram Alir

Perancangan Simulasi menggunakan program ATP untuk memodelkan jaringan dan sambaran induksi dengan diagram alir sebagai berikut :



Gambar 2.3 Diagram Alir Simulasi

### 2.3.2 Jaringan Distribusi 20 kV

Simulasi dilakukan pemodelan terhadap jaringan distribusi 3 fasa 20 kV, Penyulang 3 Bumi Semarang Baru, Unit Pelayanan Boja, Wilayah Area Pelayanan Jaringan (APJ) Semarang..



Gambar 2.4 Single line diagram Penyulang 3 BSB

Suplai energi listrik dari saluran transmisi 150kV, 50Hz diturunkan oleh transformator daya penurun tegangan 150/20 kV pada GI BSB (Gardu Induk Bumi Semarang Baru) dengan kapasitas 60MVA dan impedansi (Z%)=12.2. Komponen jaringan distribusi yang dimodelkan pada penelitian ini yaitu: Sumber 3 Fasa, Transformator, dan Penghantar.

### 2.3.3 Pemodelan Jaringan dan Sumber Induksi

#### 2.3.3.1 Sumber AC 3 Fasa

Sumber AC 3 fasa dimodelkan Surges AC tipe 14 dengan karakteristik sudut antar fasa  $120^\circ$ . Pengisian parameter : Sumber AC 3 Fasa = 150 kV  
 $V_{max} = 150000/\sqrt{3} = 86602.54 \text{ V} = 86.6 \text{ kV}$

#### 2.3.3.2. Penghantar

Pemodelan penghantar menggunakan komponen Coupled RL 3-phase line. Penghantar yang digunakan pada jaringan distribusi 20kV merupakan konduktor AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) dengan luas penampang  $240 \text{ mm}^2$ .

Data yang dibutuhkan dalam pengisian parameter Coupled RL pada TA membutuhkan data konduktor yang digunakan dan data jarak.

Tabel 2.1 Karakteristik Konduktor AAAC

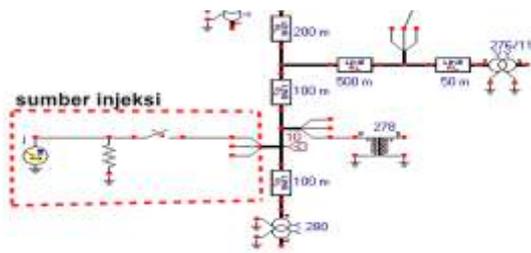
Luas (mm <sup>2</sup> )	35	50	70	95	120	150	185	240
Resistansi (Ω/km)	0,97	0,68	0,488	0,36	0,285	0,228	0,185	0,1432
Reaktansi (Ω/km)	0,053	0,066	0,075	0,088	0,096	0,103	0,109	0,1175
Cos φ								0,85

#### 2.3.3.3 Transformator

Trafo dimodelkan sesuai dengan kondisi eksisting Penyulang 3 Bumi Semarang Baru (BSB) dimana terdapat 21 trafo 3 fasa dan 31 trafo 1 fasa di sepanjang jaringan. Trafo pada ATP dimodelkan oleh komponen *3 phase Y/Y coupled windings Saturable transformer* untuk trafo 3 fasa dan *Single phase saturable transformer* untuk trafo 1 fasa sesuai dengan standar trafo pada model ATP GENTRAFO tanpa informasi karakteristik regulasi trafo. Trafo diasumsikan tidak dibebani sehingga kejenuhan inti dapat diabaikan. Regulasi trafo tidak diperhitungkan dalam simulasi ini karena pengaruhnya dapat diabaikan untuk tujuan analisis sambaran petir pada jaringan.

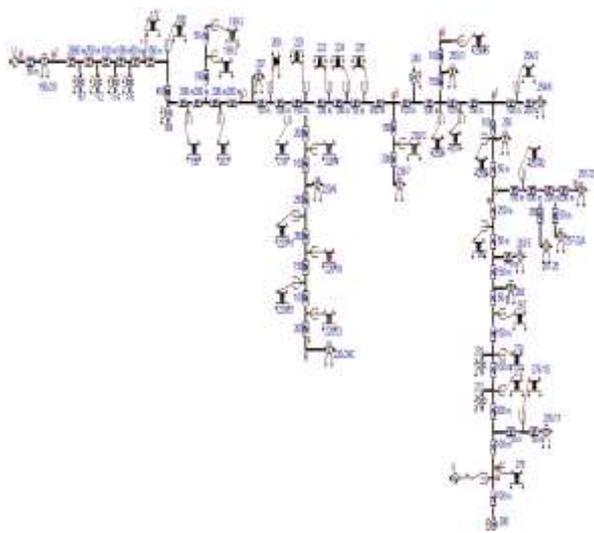
#### 2.3.3.4 Sumber Induksi dan Probe Pengukuran

Sambaran induksi pada jaringan disimulasikan dengan menginjeksikan tegangan lebih sebesar  $V_{induksimax}$  yang nilainya didapat melalui perhitungan Tegangan Induksi Max Rusck. Sambaran induksi merupakan sambaran tunggal yang dimodelkan oleh sumber surja Heidler yang diletakkan pada near end saluran (pada simulasi disebut sebagai titik probe 10 yang berada antara tiang B6 278-280) yang menganalogikan jarak terdekat sambaran.



Gambar 2.5 Sumber Induksi Heidler

Probe pengukuran sejumlah 10 buah diletakkan tersebar di sepanjang saluran untuk mengukur tegangan induksi dari GI hingga tiang B6 280 (ujung saluran 3 fasa).



Gambar 2.6 Pemodelan Jaringan 3 fasa BSB 03 pada ATP

2.3.4 Variasi Parameter Sambaran

Parameter sambaran yang divariasikan yaitu arus puncak sambaran balik, kecepatan sambaran, jarak sambaran dan karakteristik waktu tegangan induksi. Tegangan induksi maksimum dihitung menggunakan persamaan (4) dengan program Matlab.

Tabel 2.2 Variasi Arus puncak

Variasi Arus Puncak (kA)	1	25	75	125	200
--------------------------	---	----	----	-----	-----

Tabel 2.3 Variasi Kecepatan Sambaran

Variasi Kecepatan Sambaran (m/μs)	60	90	120	150	180
-----------------------------------	----	----	-----	-----	-----

Tabel 2.4 Variasi Jarak Sambaran

Variasi Jarak Sambaran (m)	50	75	100	125	150
----------------------------	----	----	-----	-----	-----

Variasi waktu dilakukan langsung pada pengaturan tf dan tau sumber Heidler. Perlu dilakukan proses iterasi nilai waktu muka, ekor dan n, untuk mendapat waktu muka dan waktu ekor yang dimaksud pada tabel variasi. Amplitude tegangan dihitung dengan menggunakan kondisi awal parameter.

Tabel 2.5 Variasi Waktu Muka dan Ekor Gelombang

Variasi $t_f$ (μs)	0.5	1.2	2	3.5	5
Variasi $t_r$ (μs)	20	50	90	150	200

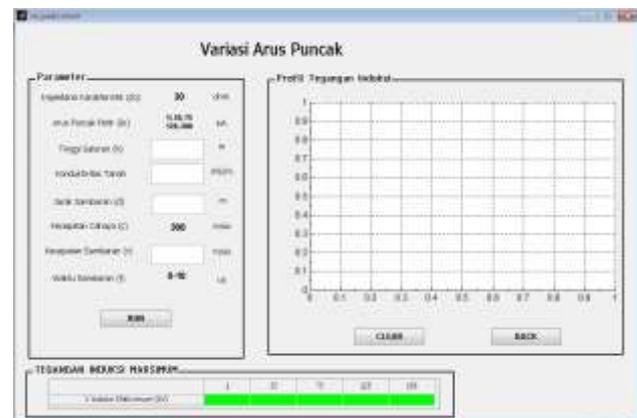
3. Hasil dan Analisa

Simulasi pada penelitian ingin mengamati pengaruh variasi parameter petir terhadap tegangan induksi di saluran distribusi, dimana parameter-parameter tersebut adalah Arus Puncak, kecepatan sambaran, jarak sambaran yang tegak lurus terhadap saluran udara dan karakteristik waktu gelombang tegangan induksi. [3][13]

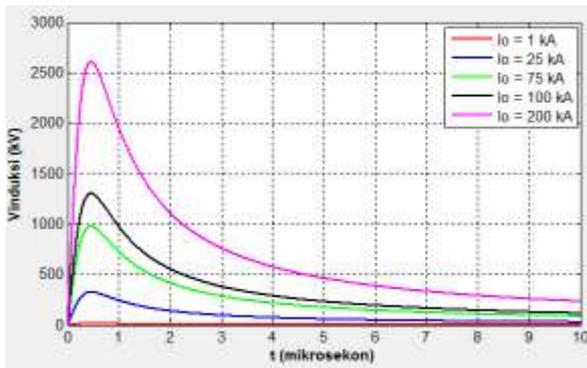
Kondisi Awal setiap variabel input untuk menghitung Tegangan Induksi maksimum ke persamaan (4) :

- Z0 (Impedansi Karakteristik) =  $30\Omega$
- I0 (Arus Puncak petir) = 25 kA
- h (Tinggi Saluran) = 12 meter
- d ( Jarak Sambaran terhadap Saluran) = 50 m
- v (Kecepatan Sambaran) = 120 m/μs
- c ( Kecepatan Cahaya) = 300 m/μs
- $\beta = v/c$  (perbandingan kec sambaran/kec.cahaya)
- tf/tt(Waktu Muka/Waktu Ekor) = 1.2/50μs
- $\sigma$  (Konduktivitas Tanah) = 1 mS/m (millimho/meter)

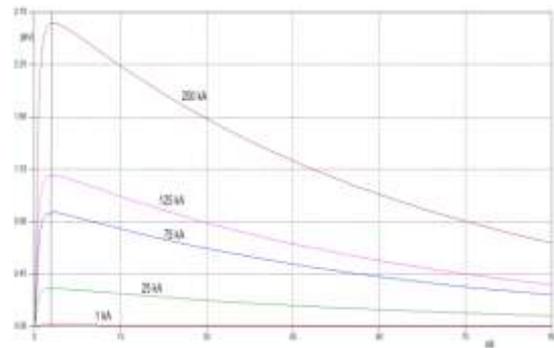
Pada program perhitungan Matlab, akan dilakukan perhitungan tegangan induksi maksimum menggunakan rumus Rusck dengan inputan sesuai kondisi awal dan nilai-nilai variasi pada tabel (tabel 2.2-2.5). Gambar 7 dan 8 menunjukkan contoh tampilan hasil perhitungan Rusck pada Matlab.



Gambar 3.1 Program Perhitungan Tegangan Induksi Maksimum Variasi Arus Puncak

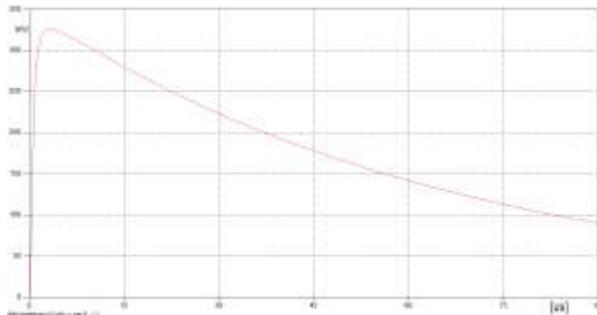


Gambar 3.2 Gelombang Tegangan Induksi hasil plot matlab variasi arus puncak



Gambar 3.4 Gelombang Tegangan Induksi 1.2/50 $\mu$ s variasi arus puncak yang akan diinjeksikan

### 3.1 Magnitude dan Bentuk Gelombang Tegangan Induksi



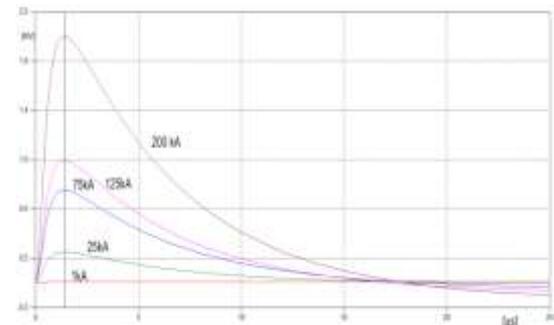
Gambar 3.3 Gelombang Tegangan Induksi 1.2/50 $\mu$ s variasi arus puncak yang akan diinjeksikan

Gambar 3.3 merupakan gelombang tegangan induksi sesuai dengan nilai parameter pada kondisi awal. Pada hasil perhitungan persamaan (4), didapat nilai maksimum hasil perhitungan  $V_{induksi}$  yang dijadikan parameter pengisi nilai amplitude pada sumber injeksi Heidler dengan bentuk gelombang sesuai impuls standar 1.2/50 $\mu$ s.

### 3.2 Variasi Arus Puncak

Simulasi sambaran induksi dilakukan dengan menginjeksikan tegangan induksi berupa sumber surja Heidler. Variasi arus puncak pada tabel 2.2 membuat tegangan induksi maksimum pengisi nilai Amp (*Amplitude*) pada komponen ikut bervariasi dengan karakteristik waktu dibuat tetap 1.2/50 $\mu$ s seperti ditunjukkan gambar 3.4.

Dengan menginjeksikan tegangan induksi seperti gambar 3.4 akan menghasilkan tegangan induksi terukur pada fasa A pengukuran di probe 10.

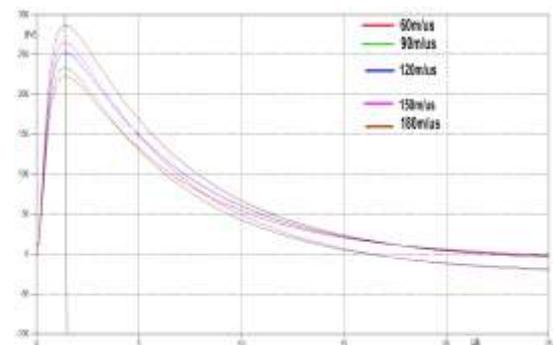


Gambar 3.5 Gelombang Tegangan Induksi terukur di probe 10 fasa A variasi arus puncak

Dapat diketahui dari gelombang di atas, terukur di probe 10 Voltmeter yang merupakan titik penginjeksian tegangan induksi, bahwa peningkatan arus puncak petir sebanding dengan tegangan induksi pada saluran.

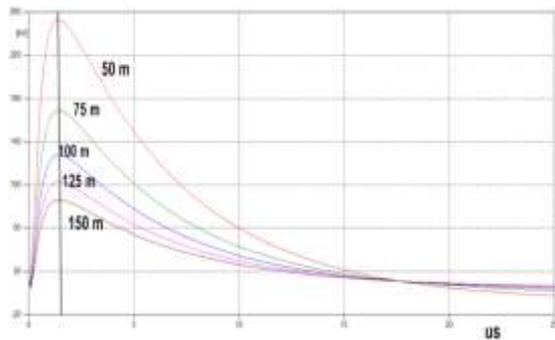
### 3.3 Variasi Kecepatan dan Jarak Sambaran

Dengan memvariasikan input kecepatan seperti pada tabel 2.3, diinjeksikanlah tegangan induksi dengan variasi amplitude dan bentuk gelombang tetap 1.2/50  $\mu$ s, maka tegangan induksi terukur pada fasa A pengukuran di probe 10 :



Gambar 3.6 Gelombang Tegangan Induksi terukur di probe 10 fasa A variasi kecepatan sambaran

Sedangkan untuk variasi jarak sambaran, maka gelombang tegangan induksi terukur :



**Gambar 3.7 Gelombang Tegangan Induksi terukur di probe 10 fasa A variasi jarak sambaran**

Pada pengukuran di titik terdekat ke sambaran, dihasilkan pengaruh yang berbanding lurus antara kecepatan sambaran dan tegangan induksi terukur. Namun perubahan dari gambar 3.6 dapat diketahui bahwa perubahan kecepatan tidak memberi pengaruh besar terhadap nilai tegangan induksi. Pada beberapa referensi [2] [6], bahkan dikatakan bahwa harga maksimum tidak lagi dipengaruhi dari kecepatan merambat sambaran balik.

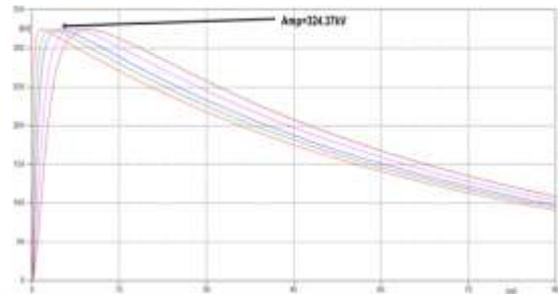
Sedangkan pengaruh jarak sambaran berbanding terbalik dengan tegangan induksi terukur. Gambar 3.7 menerangkan bahwa tegangan induksi terukur pada probe Voltmeter 10 paling tinggi terjadi saat jarak sambaran 50 meter. Jarak sambaran yang dimaksud adalah jarak sambaran yang tegak lurus saluran udara. Kedua parameter ini terlihat tidak terlalu mempengaruhi nilai tegangan induksi yang terjadi pada saluran dibandingkan variasi arus puncak sebelumnya.

### 3.4 Variasi Waktu Muka dan Waktu Ekor

Pada perhitungan Rusck tidak terdapat informasi mengenai waktu muka dan ekor gelombang tegangan induksi. Oleh karena itu pengaturan karakteristik waktu langsung dilakukan pada komponen sumber surja Heidler dengan pengisian amplitude sesuai perhitungan menggunakan kondisi awal. Karakteristik waktu muka dan ekor divariasikan sesuai tabel 2.5.

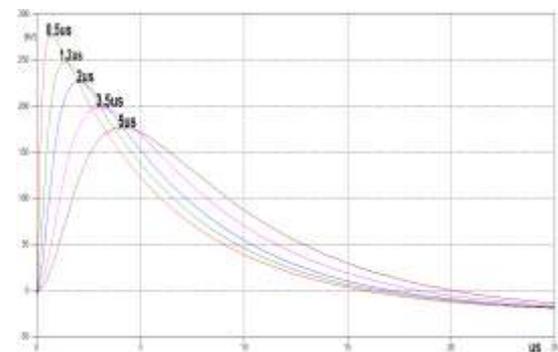
#### 3.4.1 Waktu Muka

Waktu muka (Front Time/ $t_f$ ) adalah waktu antara 10-90% dari tegangan puncak induksi petir.



**Gambar 3.8 Gelombang Tegangan Induksi untuk diinjeksikan variasi  $t_f$**

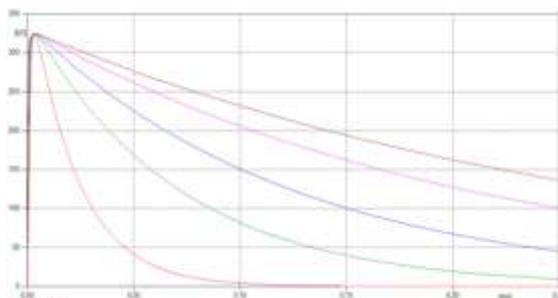
Hasil plot output gelombang impuls tegangan induksi terukur di probe 10 pada ATP :



**Gambar 3.9 Gelombang Tegangan Induksi terukur di probe 10 (titik peletakkan sambaran) fasa A variasi  $t_t$**

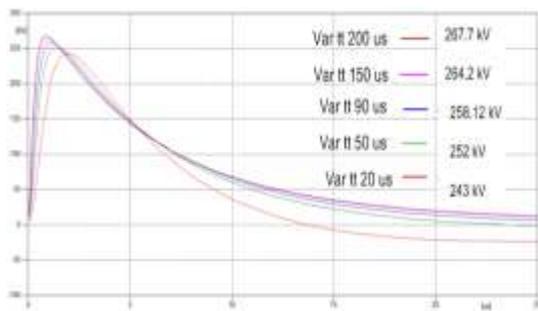
#### 3.4.2 Waktu Ekor

Waktu ekor (Tail Time/ $t_t$ ) adalah waktu antara 10% dari tegangan puncak induksi sampai dengan 50% dari gelombang ekor.



**Gambar 3.10 Gelombang Tegangan Induksi untuk diinjeksikan variasi  $t_t$**

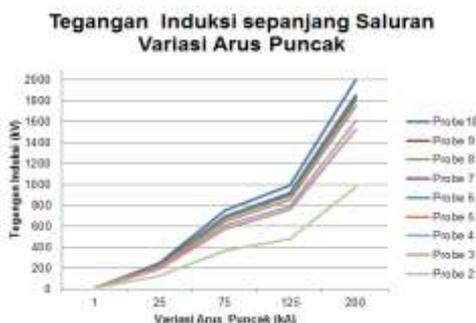
Hasil gelombang tegangan induksi terukur pada titik peletakkan sambaran (Probe 10) variasi waktu muka dan ekor terlihat pada gambar 3.9 dan 3.11.



**Gambar 3.11 Tegangan Induksi Terukur Pengaruh Variasi waktu ekor di titik terdekat sambaran (Probe 10) Fasa A**

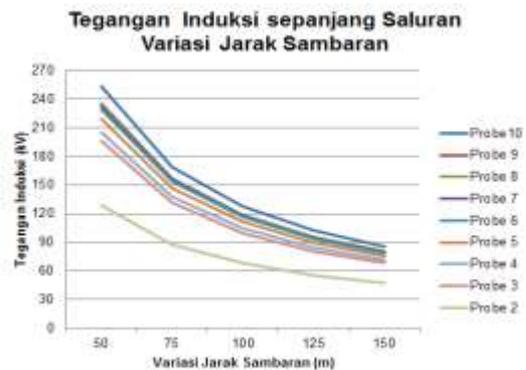
Pada hasil simulasi, didapat tegangan induksi yang meningkat dengan menurunnya waktu muka. Pada gambar, karakteristik waktu muka  $0.5/50\mu s$  dan  $1.2/50\mu s$ , akan didapat tegangan induksi terukur masing-masing  $0.4/4.7\mu s$  dan  $0.8/5.8\mu s$ . Sebaliknya, variasi waktu ekor berbanding lurus dengan tegangan induksi terukur di saluran. Semakin lama gelombang induksi berada di saluran, tegangan induksi terukur juga semakin meningkat. Gambar 3.11 juga menunjukkan bahwa variasi waktu ekor juga akan mempengaruhi waktu muka gelombang tegangan induksi yang terukur. Namun perubahan waktu ekor cenderung hanya sedikit merubah nilai tegangan induksi dibandingkan pengaruh perubahan waktu mukanya. Waktu ekor yang panjang dapat menghasilkan tegangan induksi yang besar dan berbahaya., karena lama impuls sebanding dengan energi yang dihasilkan.

Gangguan tegangan lebih biasanya berhubungan dengan isolasi saluran dimana ketahanan isolasi isolator ( $V_{50\%}$ ) saluran 20 kV berkisar 125-150 kV , sehingga nilai tegangan induksi yang  $> V_{50\%}$  akan menyebabkan gangguan temporer pada saluran yaitu flashover pada isolator saluran udara.<sup>[1] [6]</sup> Arus puncak yang besar, kecepatan yang besar, jarak sambaran yang dekat, waktu muka gelombang yang kecil dan waktu ekor yang panjang dapat meningkatkan tegangan induksi terukur pada saluran.



**Gambar 3.12 Grafik Nilai Tegangan Induksi Hasil Simulasi Tiap Variasi Arus Puncak**

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa pengaruh variasi arus puncak memberikan pengaruh yang signifikan (gambar 3.12) terhadap tegangan induksi yang terukur, bila dibandingkan dengan parameter lain seperti kecepatan dan jarak. Pengaruh variasi jarak sambaran sebenarnya cukup signifikan namun nilai tegangan induksinya tidak terlalu berisiko menimbulkan flashover karena rata-rata nilai tegangan induksi yang berisiko hanya saat jarak terdekat 50 m. (gambar 3.13).



**Gambar 3.13 Grafik Nilai Tegangan Induksi Hasil Simulasi Tiap Variasi Jarak Sambaran**

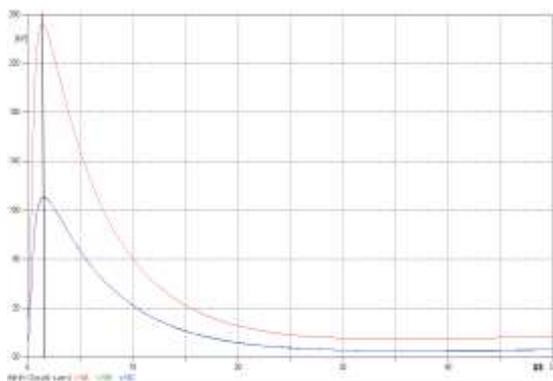
Dari hasil simulasi, juga didapatkan bahwa pengaruh variasi pada titik pengukuran di probe 10 ikut memberi pengaruh yang sama pada pengukuran di probe lainnya di sepanjang saluran. Ini terjadi untuk semua variasi parameter yang dibahas sebelumnya. Salah satu contoh hasil simulasi berikut merupakan hasil simulasi untuk tiap variasi arus puncak sepanjang saluran tercantum pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Nilai Tegangan Induksi Hasil Simulasi untuk Tiap Variasi Arus Puncak sepanjang Saluran (Fasa A)**

Probe Volt-meter	Tegangan saluran Sebelum Sambaran (kV)	Tegangan Induksi Sepanjang Saluran (kV) tiap Variasi Arus Puncak (kA)				
		1	25	75	125	200
10(titik sambaran)	11.541	13.297	252.68	753.3	995	2001.7
9	11.541	13.16	234.55	698	919.8	1852
8	11.541	13.158	234.4	697.5	919.2	1851
7	11.541	13.141	232	690	909.4	1831
6	11.541	13.117	228.78	680	896	1804.6
5	11.541	13.047	219	650	856	1752
4	11.541	12.939	204.5	605.34	795.3	1604.7
3	11.541	12.876	195.35	576.8	757.1	1528.7
2	11.541	12.411	128.54	372	480	977

Pengaruh variasi parameter terjadi di sepanjang saluran namun dengan magnitudo tegangan induksi yang menurun seiring letaknya yang bertambah jauh dari titik peletakkan sambaran (probe 10). Atenuasi (pelemahan) yang terjadi menunjukkan terjadinya rugi-rugi pada saluran transmisi yang hilang terdisipasi. Rugi daya propagasi pada saluran sebanding dengan bertambahnya jarak. Bila diamati pelemahan tegangan induksi memang cenderung rendah sehingga seringkali dikenal propagasi saluran dengan rugi daya rendah.

Pengaruh serupa untuk semua variasi parameter turut mempengaruhi fasa yang tak tersambar seperti gambar 3.14 di bawah ini :



**Gambar 3.14 Gelombang Tegangan Induksi hasil Simulasi variasi  $t_f = 1.2\mu s$  pada titik terdekat sambaran (Probe 10) Fasa ABC**

Gambar 3.14 menunjukkan bahwa sambaran induksi yang diletakkan di fasa A juga akan menimbulkan tegangan induksi di fasa yang tak tersambar (B dan C) dengan nilai terukur hampir setengah tegangan induksi di fasa tersambar. Hal ini berkaitan dengan kondisi konfigurasi saluran yang segitiga sama sisi. Sehingga diketahui pengaruh sambaran induksi di fasa A untuk fasa B dan C adalah sama. Meski pada penelitian tidak akan terlalu dibahas mengenai pengaruh sambaran ke fasa terdekat yaitu menitikberatkan pada pengaruh tegangan induksi pada fasa A sebagai fasa yang tersambar, namun dapat diketahui bahwa pengaruh variasi parameter terjadi di semua fasa jaringan di sepanjang saluran.

#### 4. Kesimpulan

Dengan melihat hasil simulasi sambaran induksi pada Jaringan Distribusi 20 kV 3 fasa dapat disimpulkan bahwa Arus puncak yang besar, jarak sambaran yang dekat, kecepatan sambaran yang besar, waktu muka gelombang yang kecil dan waktu ekor yang panjang dapat menimbulkan tegangan induksi yang besar. Dari simulasi juga diketahui bahwa magnitudo gelombang tegangan induksi mengalami atenuasi (penurunan) di sepanjang saluran dan akan mencapai nilai terkecil pada titik dengan jarak terjauh dari titik sambaran. Simulasi menunjukkan

sambaran di fasa A pada simulasi juga akan menimbulkan tegangan induksi di fasa yang tak tersambar (B dan C). Saran untuk penelitian selanjutnya, perlu dikembangkan lebih lanjut untuk unjuk kerja peralatan proteksi saluran terhadap tegangan lebih misalnya pemasangan arrester di saluran. Dapat pula diteliti lebih lanjut untuk pengaruh konfigurasi peralatan pada saluran distribusi seperti tinggi tiang, konfigurasi saluran, pemasangan kawat tanah dan konduktivitas penatanaahan terhadap nilai tegangan induksi.

#### Referensi

- [1]. IEEE Standards 1410-2010. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, 2011.
- [2]. Sabiha, Nemdoh A. Lightning-Induced Overvoltages in Medium Voltage Distribution Systems and Customer Experienced Voltage Spikes, Disertasi S-3, Aalto University. Finland. 2010.
- [3]. Mottola, Fabio. Methods and Techniques for the Evaluation of Lightning Induced Overvoltages on Power Lines. Application to MV Distribution Systems for Improving the Quality of Power Supply, Tesis PhD, University Federico II of Napoli. November 2007.
- [4]. Zoro H. Reynaldo. Induksi dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik akibat Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Rendah. Makara, Teknologi, Vol.13, No. 1, April 2009: 25-32, Departemen Teknik Elektro ITB, Bandung..
- [5]. J. P. Silva, A. E. A. Araújo and J. O. S. Paulino. Calculation of lightning-induced voltages based on Rusck's theory – Part II: Effects of the lightning parameters variation, International Conference on Power Systems Transients, Rio de Janeiro, Brazil, June 2001.
- [6]. Hutaaruk, T.S. 1989. Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja. Jakarta: Erlangga.
- [7]. EMTP Theory Book, Canadian-American EMTP Users Group
- [8]. N. da Silva, Ivan. Intelligent Expert System for Protection Optimization Purposes in Electric Power Distribution Systems. University of São Paulo (USP), São Carlos, SP, Brazil. 2012.