

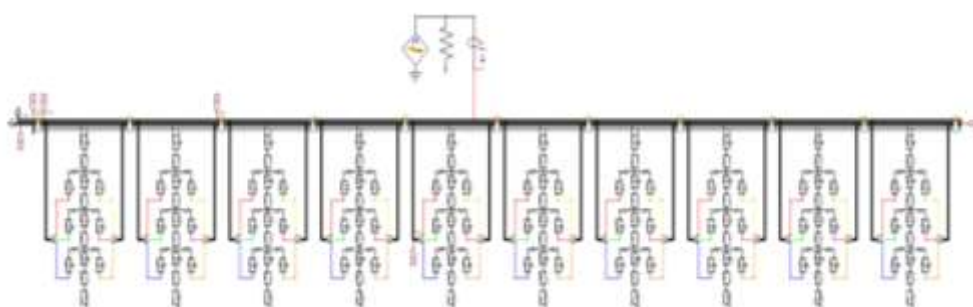
BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Rangkain Pengujian Simulasi

4.1.1. Rangkain Pengujian Simulasi Tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*

Pada gambar 4.1 merupakan rangkain pengujian sambaran tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*.

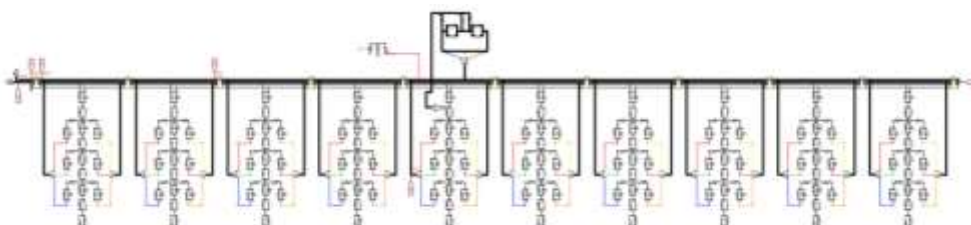


Gambar 4. 1 Rangkain pengujian simulasi sambaran petir

Gambar 4.1 merupakan rangkain simulasi sambaran petir pada *ATP Draw*, penulis memilih *sample* rangkain 10 tower transmisi dari 67 buah tower transmisi saluran tegangan tinggi saluran tegangan tinggi 150 kV GI Garut - GI Darajat.

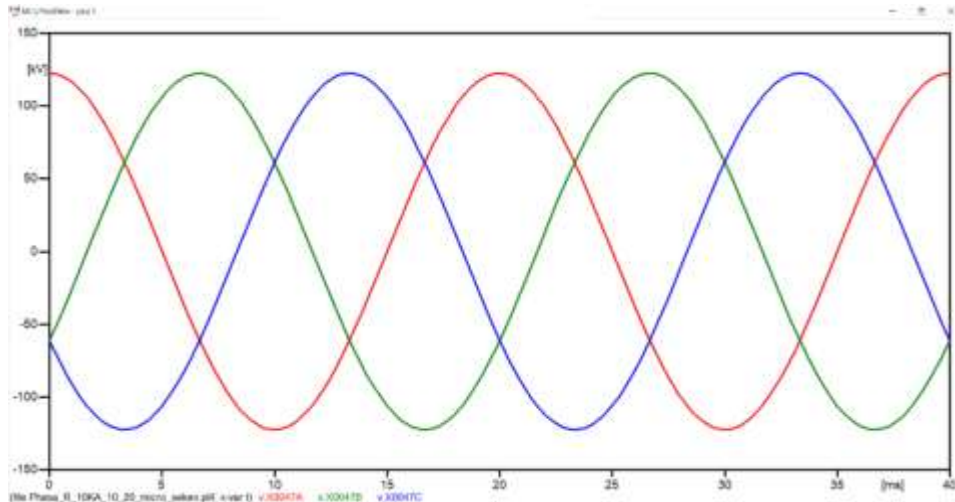
4.1.2. Rangkain Pengujian Simulasi Dengan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*

Pada gambar 4.2 merupakan rangkain pengujian sambaran dengan *TLA*.



Gambar 4. 2 Rangkain pengujian simulasi sambaran petir dengan *TLA*

Gambar 4.2 menjelaskan rangkaian simulasi sambaran petir menggunakan *TLA* pada *ATP Draw*, penulis memilih *sample* rangkaian 10 tower transmisi dari 67 buah tower transmisi saluran tegangan tinggi saluran tegangan tinggi 150 kV GI Garut - GI Darajat.



Gambar 4. 3 Bentuk Gelombang Sumber Tegangan 150 kV

Untuk keterangan pada hasil simulasi yang di tunjukan pada Gambar 4.3 dengan tampilan bentuk gelombang dimana, R = yang berwarna merah ; S = yang berwarna hijau ; T = yang berwarna biru .

Arus petir yang digunakan untuk menganalisis perubahan tegangan lebih pada saluran 150 kV yaitu dengan sambaran arus sebesar 30 kA, 40 kA, 50 kA. Nilai-nilai arus inilah yang digunakan untuk variabel yang digunakan pada simulasi *ATP-Draw*.

Dalam Tugas Akhir ini sambaran petir langsung yaitu dimana sambaran petir yang menyambar langsung terhadap kawat fasa, yaitu sambaran petir mengenai fasa R, S, T. Sedangkan sambaran tidak langsung yaitu sambarann petir mengenai *Ground Wire*. Analisa yang dilakukan adalah bagaimana karakteristik tegangan ketika petir menyambar kawat fasa dan *Ground wire*, serta pengujian ketika *TLA* diaplikasikan terhadap kawat fasa.

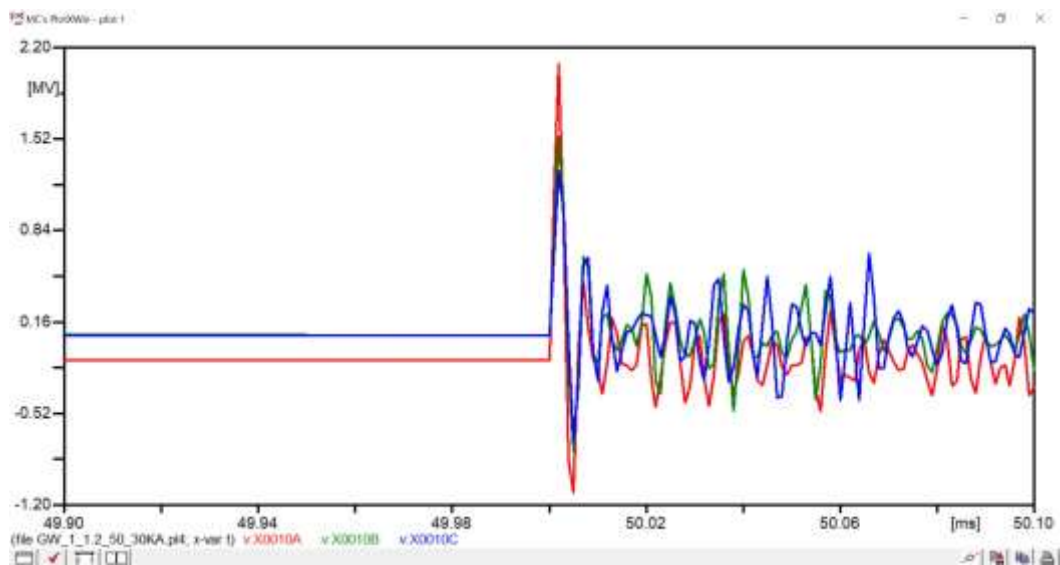
4.2 Pengujian Dengan Nilai Arus Sambaran Bervariasi

Pengujian pertama penulis melakukan simulasi dengan waktu muka dan ekor ditetapkan sebesar 1.2 μ s dan 50 μ s. Sementara nilai arus sambaran di variasikan sebesar 30 kA, 40 kA, 50 kA.

4.2.1 Sambaran Pada *Ground Wire*

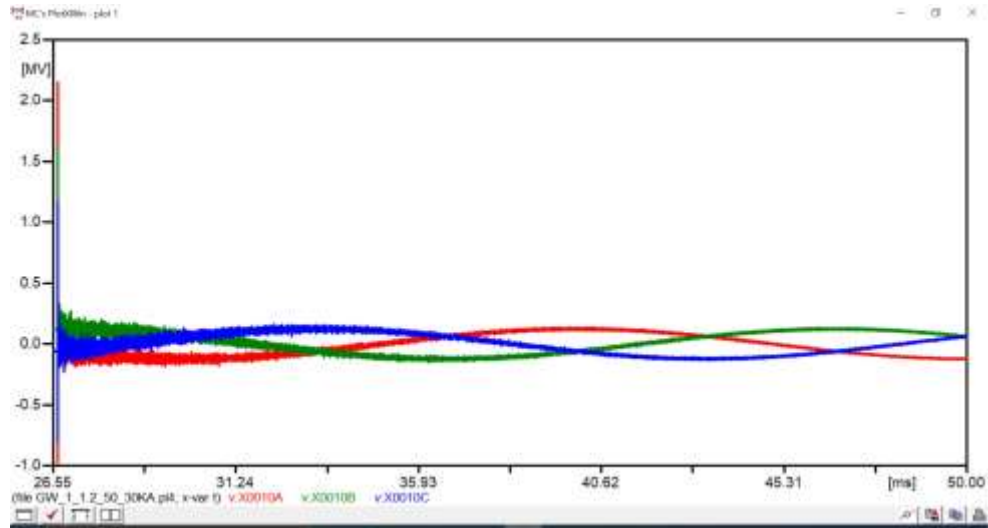
1. Sambaran 30 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.4 menunjukkan hasil dari sambaran 30 kA pada *Ground Wire* dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s.



Gambar 4. 4 Sambaran 30 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s

Gambar 4.4 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Ground Wire* dengan sambaran 30 kA. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 2.975 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 1.539 kV dan 1.280 kV.



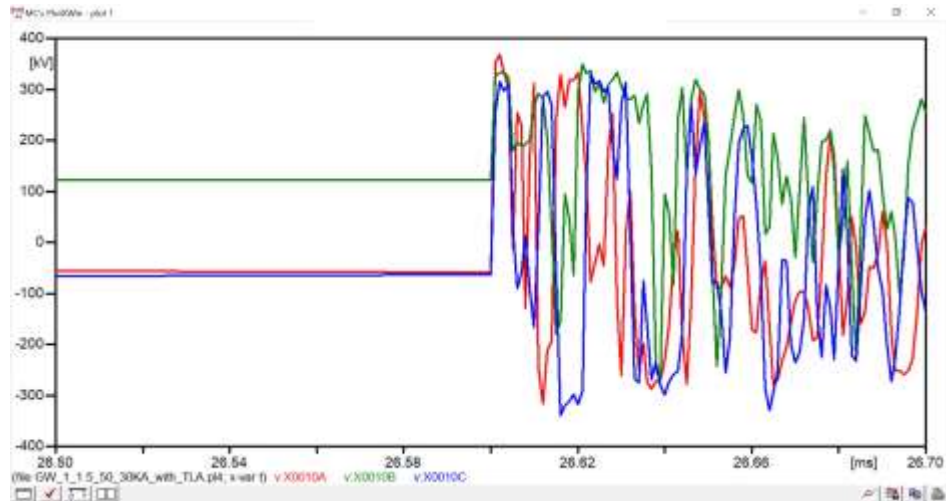
Gambar 4. 5 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

Gambar 4.5 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

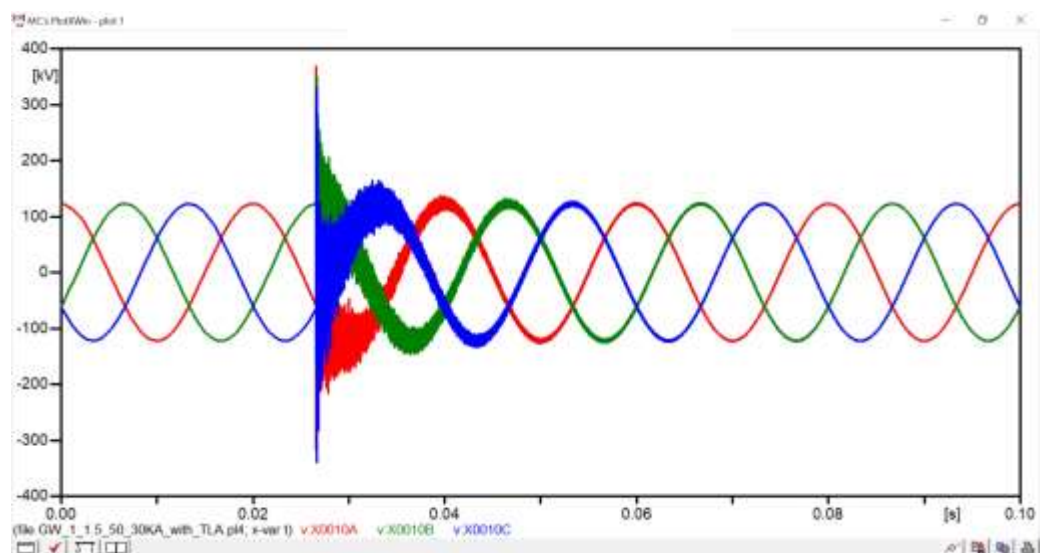
2. Sambaran 30 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.6 menunjukkan hasil dari sambaran 30 kA pada *Ground Wire* dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.



Gambar 4. 6 Sambaran 30 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.6 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Ground Wire* dengan nilai sambaran 30 kA dengan TLA, nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 417 kV (85,98%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 267 kV (82,65%), dan 78 kV 93,91%).



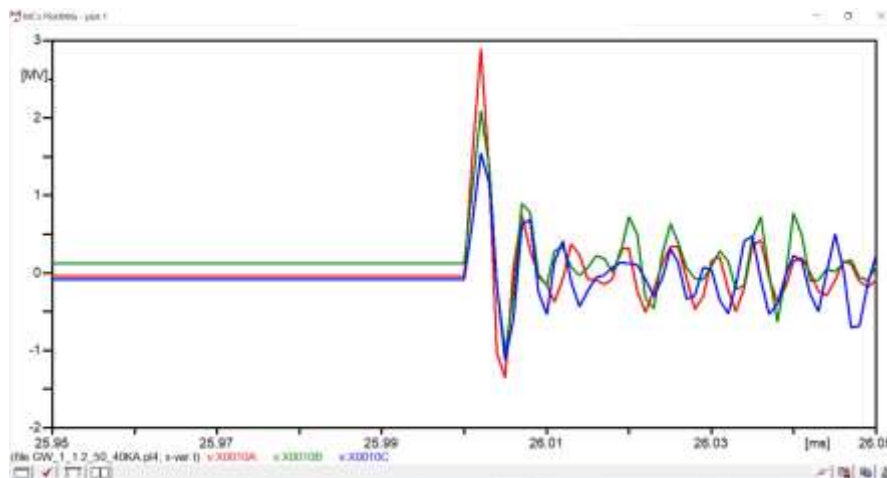
Gambar 4. 7 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

Gambar 4.7 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

3. Sambaran 40 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.8 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Ground Wire* dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s.

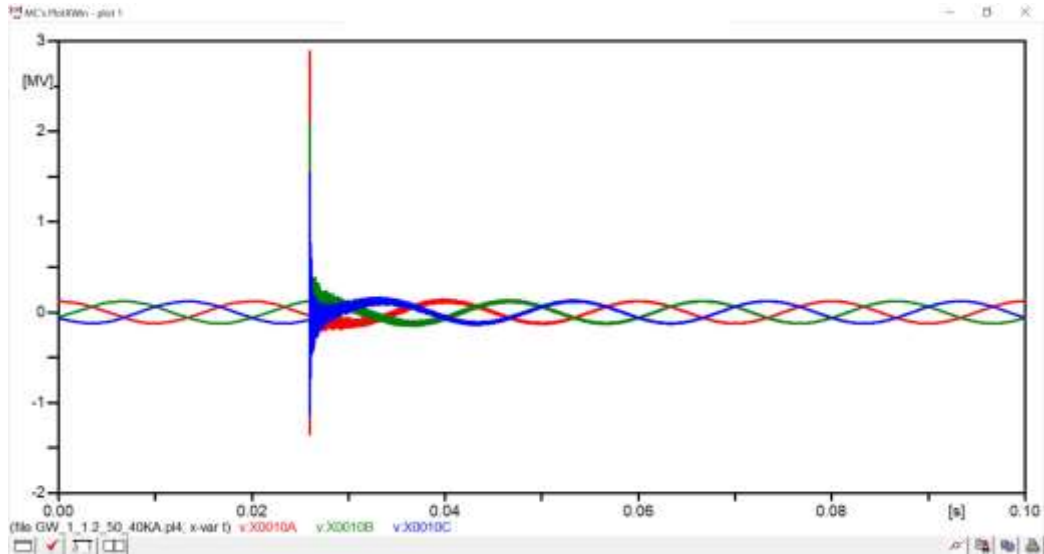


Gambar 4. 8 Sambaran 40 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.8 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Ground Wire* dengan nilai sambaran 40 kA. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 2.892 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 2.091 kV dan 1.543 kV.

Nilai kenaikan pada fasa tersebut akan mengakibatkan fenomena *back flashover* dikarenakan kekuatan isolasi yang hanya mampu menahan tegangan akibar *surge* menurut *Basic Insulation Level* (BIL) sebesar 750 kV.

Nilai dari kenaikan tegangan pada sistem tersebut beransur mengalami penurunan sampai dengan menara No D25 dan seterusnya sampe dengan Gardu Induk.



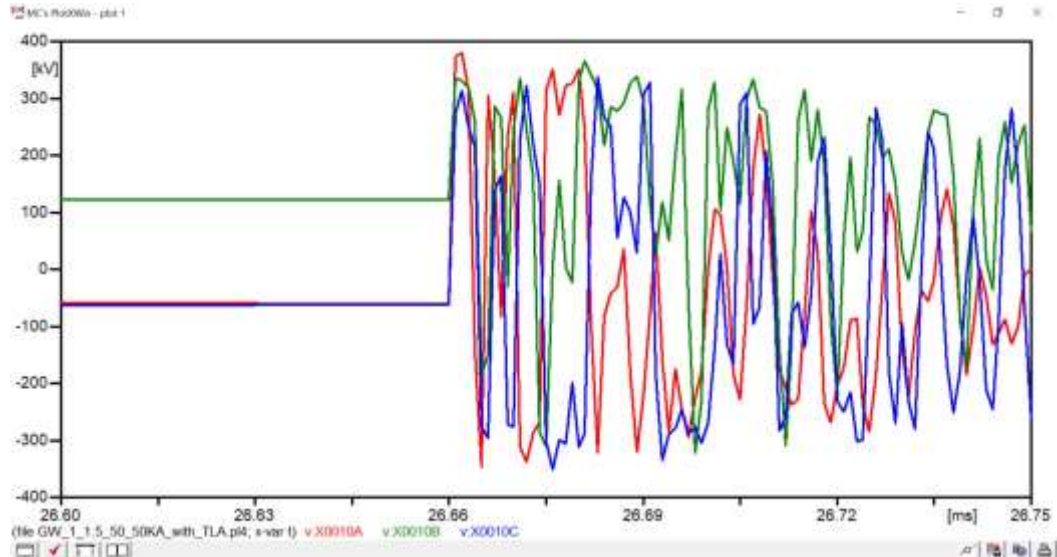
Gambar 4. 9 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

Gambar 4.9 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

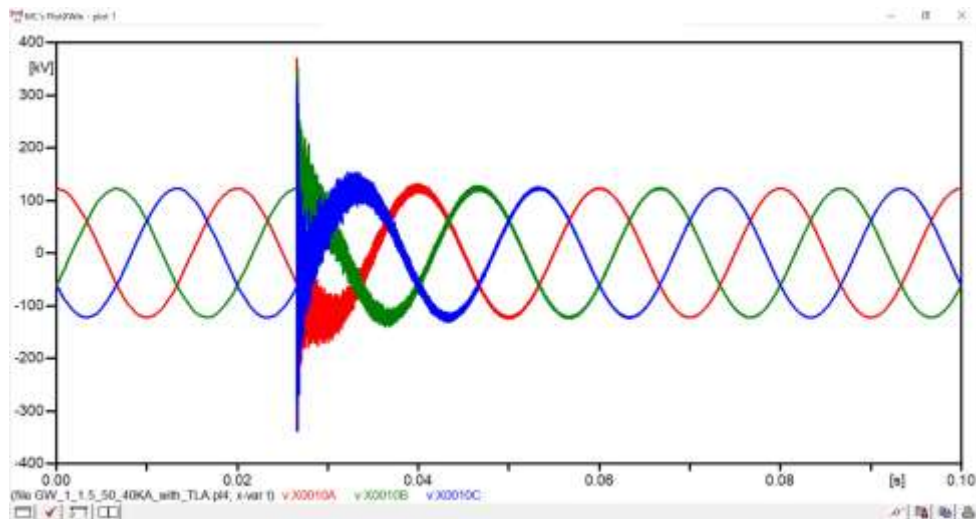
4. Sambaran 40 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.10 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Ground Wire* dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.



Gambar 4. 10 Sambaran 40 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.10 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Ground Wire* dengan nilai sambaran 40 kA dengan TLA, nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 440 kV (84,79%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 269 kV (87,14%), dan 83 kV (95,62%).



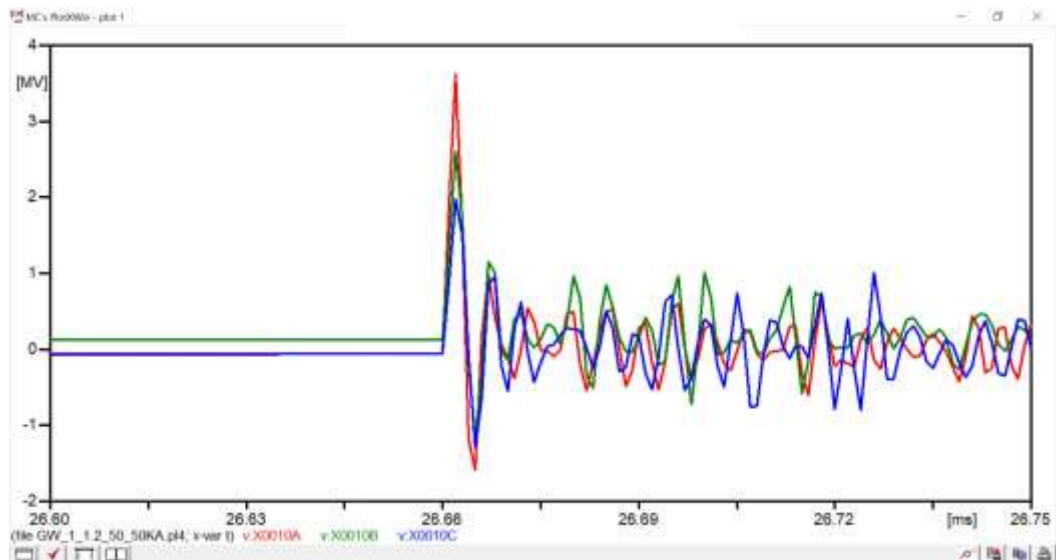
Gambar 4. 11 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

Gambar 4.11 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

5. Sambaran 50 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.12 menunjukkan hasil dari sambaran 50 kA pada *Ground Wire* dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s.

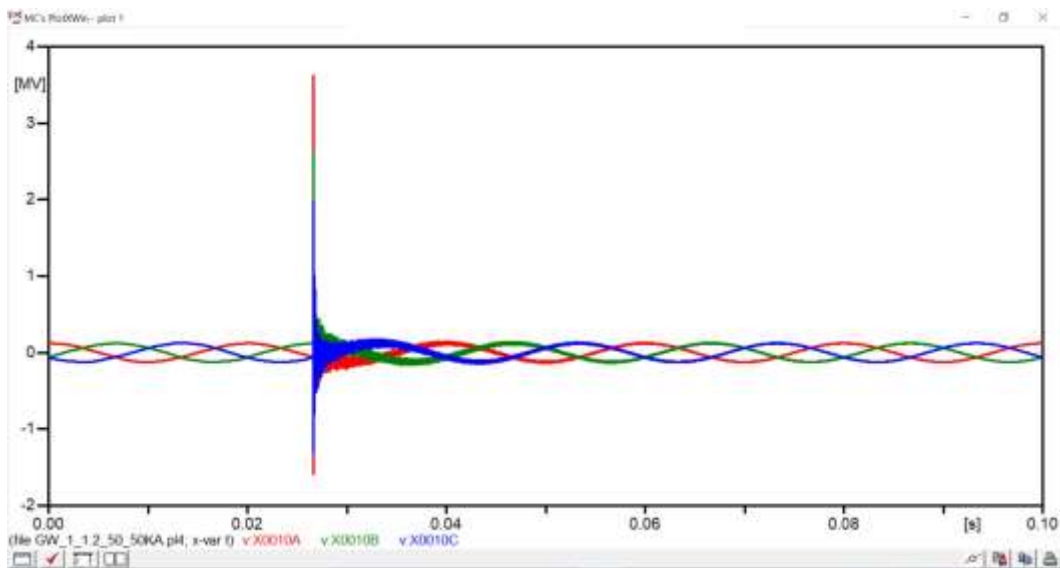


Gambar 4. 12 Sambaran 50 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.12 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Ground Wire* dengan nilai sambaran 50 kA. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 3.627 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 2.603 kV dan 1.983 kV.

Nilai kenaikan pada fasa tersebut akan mengakibatkan fenomena *back flashover* dikarenakan kekuatan isolasi yang hanya mampu menahan tegangan akibar *surge* menurut *Basic Insulation Level (BIL)* sebesar 750 kV.

Nilai dari kenaikan tegangan pada sistem tersebut beransur mengalami penurunan sampai dengan menara No D25 dan seterusnya sampe dengan Gardu Induk.



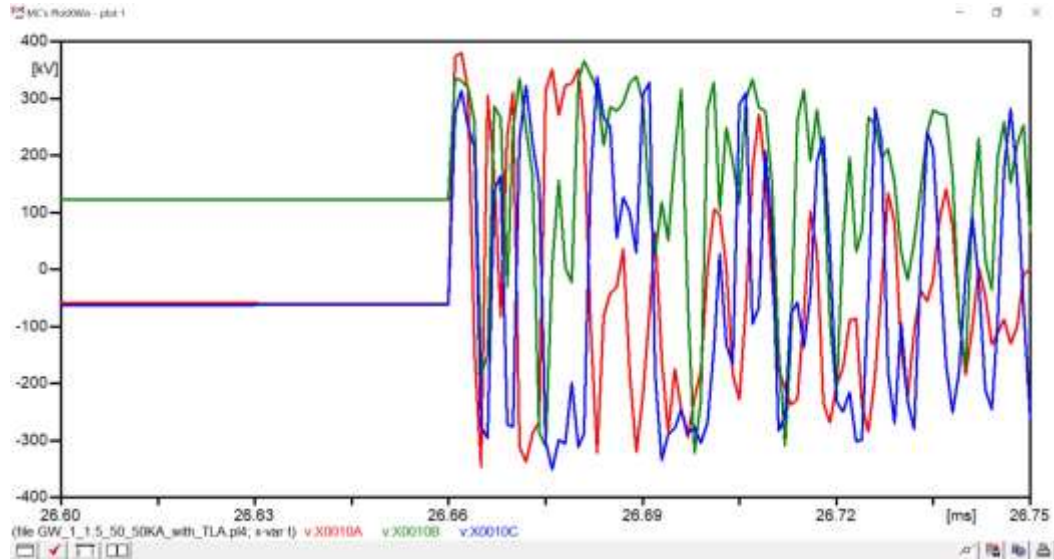
Gambar 4. 13 Sambaran 50 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

Gambar 4.13 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

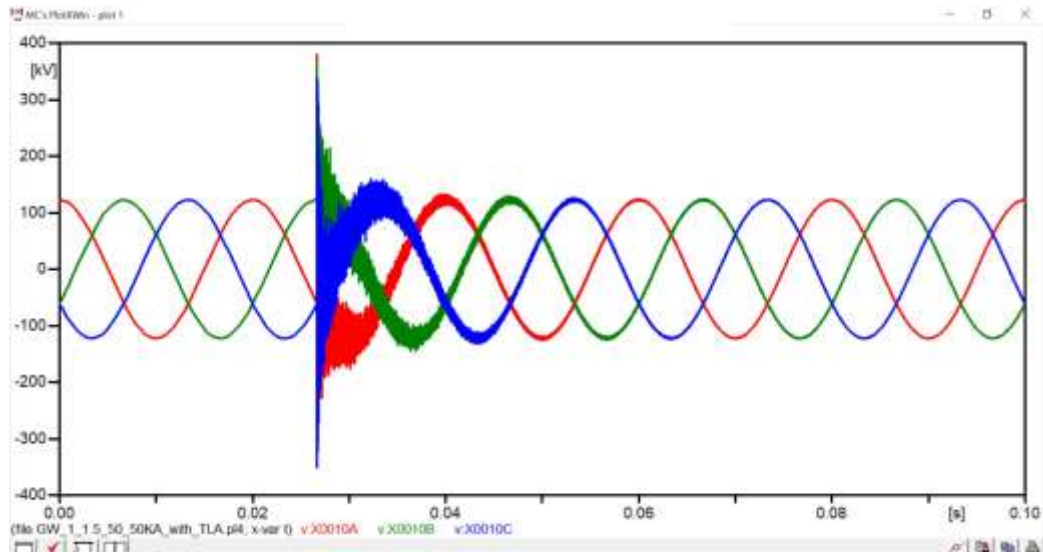
6. Sambaran 50 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.14 menunjukkan hasil dari sambaran 50 kA pada *Ground Wire* dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.



Gambar 4. 14 Sambaran 50 kA Pada *Ground Wire* 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.14 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Ground Wire* dengan nilai sambaran 50 kA dengan TLA, nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 461 kV (87,29%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 272 kV (89,55%), dan 88 kV (95,56%).



Gambar 4.15 Sambaran 50 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

Gambar 4.15 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

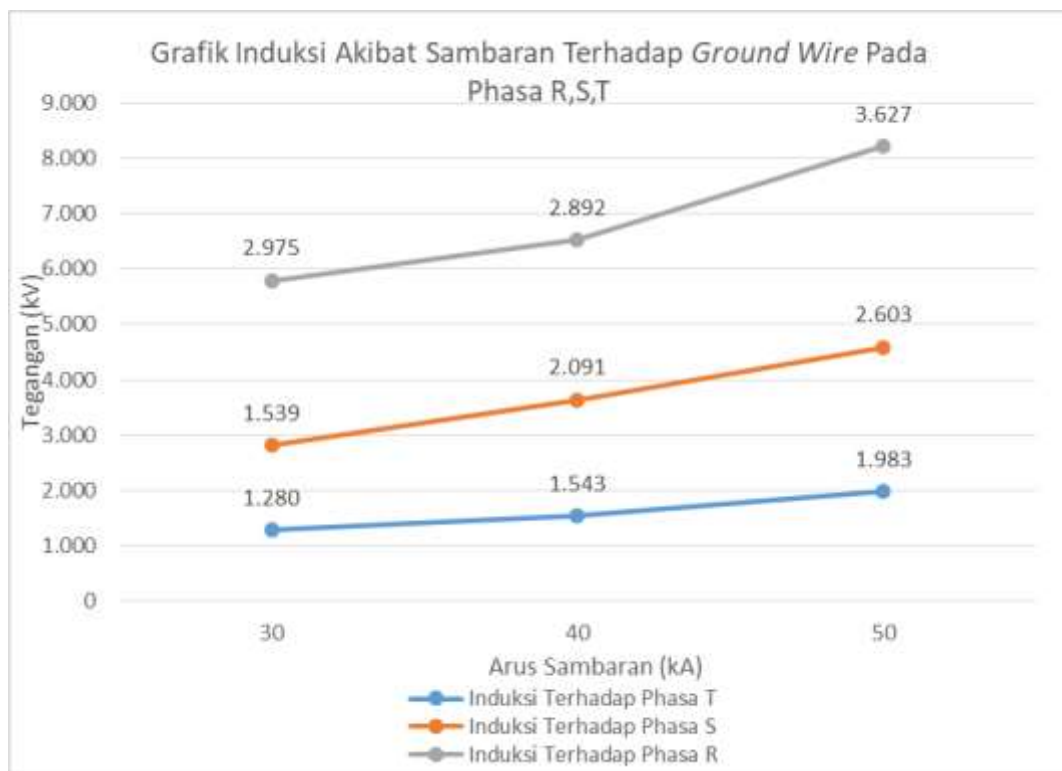
7. Analisis Pengujian Tanpa TLA

Pada Tabel 4.1 menunjukkan nilai tegangan lebih puncak pada sambaran terhadap *Ground Wire* tanpa TLA.

Tabel 4. 1 Nilai kenaikan tegangan pada fasa R,S,T akibat sambaran terhadap *Ground Wire*

NO	Arus Sambaran (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Induksi Terhadap Fasa (kV)		
			R	S	T
1	30	1.2/50	2.975	1.539	1.280
2	40	1.2/50	2.892	2.091	1.543
3	50	1.2/50	3.627	2.603	1.983

Berikut grafik kenaikan tegangan pada fasa R, S, dan T akibat sambaran



Gambar 4. 16 Grafik Induksi Sambaran Petir Terhadap *Ground Wire* pada Fasa R,S,T

Dari hasil simulasi pengujian sambaran petir pada tower / menara transmisi No. D20, semakin besar nilai arus sambaran petir maka kenaikan tegangan pada Fasa R, Fasa S, dan Fasa T akan semakin besar, dan diikuti dengan naiknya tegangan pada tower / menara transmisi No. D20 seiring dengan

bertambahnya nilai arus sambaran petir. Hal tersebut juga mempengaruhi kenaikan tegangan pada phasa dan tower / menara transmisi yang berada dekat dengan titik sambar. Hal tersebut dikarenakan muatan yang dilepas oleh penghantar akan mengalir ke dua arah (kanan dan kiri) dalam bentuk gelombang berjalan (*travelling wave*) dan dapat menyebabkan *trip* pada gardu induk dan mengganggu jalannya proses transmisi daya. Namun nilai dari kenaikan tegangan pada sistem tersebut beransur mengalami penurunan. Nilai kenaikan pada tegangan sistem saat sambaran 30 kA, 40 kA, 50 kA akan mengakibatkan fenomena *back flashover* dikarenakan kekuatan isolasi yang hanya mampu menahan tegangan akibar *surge* menurut *Basic Insulation Level (BIL)* sebesar 750 kV.

Penyebab kenaikan tegangan terhadap Phasa R, Phasa S, dan Phasa T disebabkan oleh besar arus yang mengalir pada sistem disebabkan oleh sambaran petir. Semakin besar arus yang mengalir pada sistem, maka semakin besar daya yang hilang. Hal tersebut terjadi karena definisi arus adalah jumlah elektron yang mengalir per satuan waktu. Semakin banyak elektron yang mengalir per satuan waktu, semakin banyak juga tumbukan dan gesekan antar elektron dan elektron-inti atom konduktor. Artinya, semakin banyak energi yang terbuang dalam bentuk panas, cahaya, atau bunyi. Kumbaran pada induktor akan menyimpan energi dan mengirim balik ke jaringan secara terus menerus. Ini menyebabkan daya yang hilang pada sistem akan menjadi besar karena elektron dipindah terus menerus oleh induktor di sistem. Dengan adanya kapasitor, efek induktansi tadi bisa diminimumkan sehingga sistem kelistrikan jadi lebih efisien. Pengaruh dari induktor dan kapasitor tersebut lah yang menyebabkan kenaikan yang terjadi pada phasa akibat sambaran petir.

Ketika energi pada kapasitor yang terisi penuh maka energy tersebut akan dibuang menuju inductor, begitu seterusnya sampe dengan osilasi pada gelombang jaringan transmisi kembali normal menuju *steady state*.

Tabel 4. 2 Efek sambaran petir pada menara transmisi (*Travelling Wave*) Arus Sambaran 30kA pada *Ground Wire*

NO	Tower	Arus (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Tegangan Menara		Induksi Terhadap Phasa		
				Sebelum (V)	Saat (V)	R (kV)	S (kV)	T (kV)
1	D1	30	1.2 μ s/50 μ s	78.85	5.800	6	116	8
2	D5				6.800	1.700	138	51
3	D10				7.400	2.200	256	72
4	D15				11.000	2.799	285	173
5	D20				190.000	2.975	1.539	1.280
6	D25				6.000	1.290	1.531	1.001
7	D30				5.000	1.003	1.460	940
8	D35				3.000	711	1.430	620
9	D40				6.700	420	1.100	570
10	D45				5.000	111	980	340
11	D50				3.007	80	810	290
12	D55				2.100	50	690	220
13	D60				1.500	30	380	200
14	D65				1.002	23	260	130
15	D67				800	14	160	40

Tabel 4. 3 Efek sambaran petir pada menara transmisi (*Travelling Wave*) Arus Sambaran 40kA pada *Ground Wire*

NO	Tower	Arus (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Tegangan Menara		Induksi Terhadap Phasa		
				Sebelum (V)	Saat (V)	R (kV)	S (kV)	T (kV)
1	D1	40	1.2 μ s/50 μ s	78.85	77.5	58	175	153
2	D5				90.9	76	258	191
3	D10				5.900	106	304	234
4	D15				15.000	152	339	252
5	D20				254.000	2.892	2.091	1.543
6	D25				1.624	1.920	409	330
7	D30				375	1.580	379	290
8	D35				143	1.150	350	259
9	D40				89	77	320	213
10	D45				67	35	309	166
11	D50				50	28	281	116
12	D55				31	12	163	67
13	D60				21	6	116	28
14	D65				5	4	99	4
15	D67				2	1		3

Tabel 4. 4 Efek sambaran petir pada menara transmisi (*Travelling Wave*) Arus Sambaran 50kA pada *Ground Wire*

NO	Tower	Arus (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Tegangan Menara		Induksi Terhadap Phasa		
				Sebelum (V)	Saat (V)	R (kV)	S (kV)	T (kV)
1	D1	50	1.2 μ s/50 μ s	78.85	969	30	133	31
2	D5				1.136	70	149	126
3	D10				7.467	94	218	161
4	D15				19.000	205	393	330
5	D20				318.000	3.627	2.603	1.983
6	D25				2.031	255	481	427
7	D30				1.469	108	243	217
8	D35				1.174	67	158	68
9	D40				1.122	43	151	20
10	D45				848	21	119	17
11	D50				630	9.3	104	9.1
12	D55				397	3.7	94	5.9
13	D60				276	2.5	84	5.4
14	D65				35	1.01	71	4
15	D67				15	0.89	54	3.1

Pada tabel 4.2-4.4 bisa terlihat bahwa Gelombang Berjalan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Ground Wire* yang beransur mengalami penurunan seiring dengan semakin jauh nya dari titik sambaran.

Tegangan Induksi yang di akibatkan oleh sambaran petir menginduksi sampai dengan Menara Transmisi baik menuju sisi pengirim (Tower no. D1) maupun sisi penerima (Tower no. D67). Hal ini disebabkan oleh Simulasi Sambaran petir pada Tower no. D20. Apabila mengenai suatu Tower (Menara) trasmisi yang mempunyai pentanahan yang tepat dan arrester yang sesuai maka gangguan akan diteruskan ketanah. Jika tidak, akan terjadi gelombang pantulan atau gelombang yang dilepaskan karena gelombang sudah tidak dapat diredam oleh peralatan proteksi dan grounding.

8. Analisis Pengujian Dengan TLA

Tabel 4. 5 Data hasil simulasi sambaran petir bervariasi terhadap *Ground Wire* dengan dan tanpa TLA 1.2 μ s/50 μ s pada fasa R

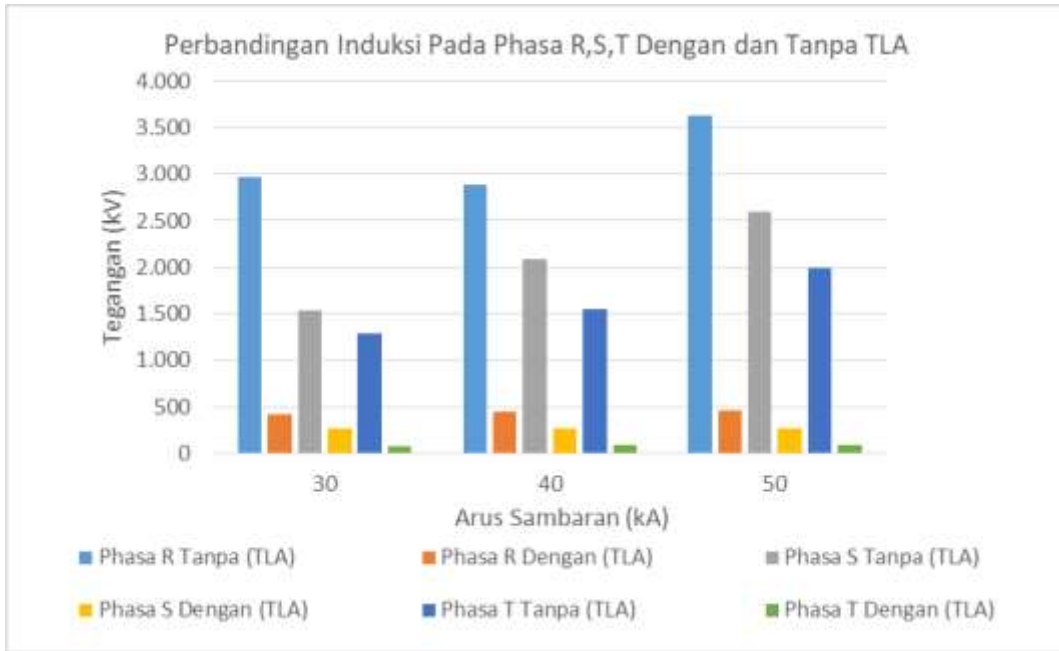
NO	Arus Sambaran (kA)	Waktu Muka/Ekor	Phasa R	Dengan TLA	Penurunan
		(μ s)	(kV)	(kV)	(%)
1	30	1.2/50	2.975	417	85,98
2	40	1.2/50	2.892	440	84,79
3	50	1.2/50	3.627	461	87,29

Tabel 4. 6 Data hasil simulasi sambaran petir bervariasi terhadap *Ground Wire* dengan dan tanpa TLA waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 50 μ s pada fasa S

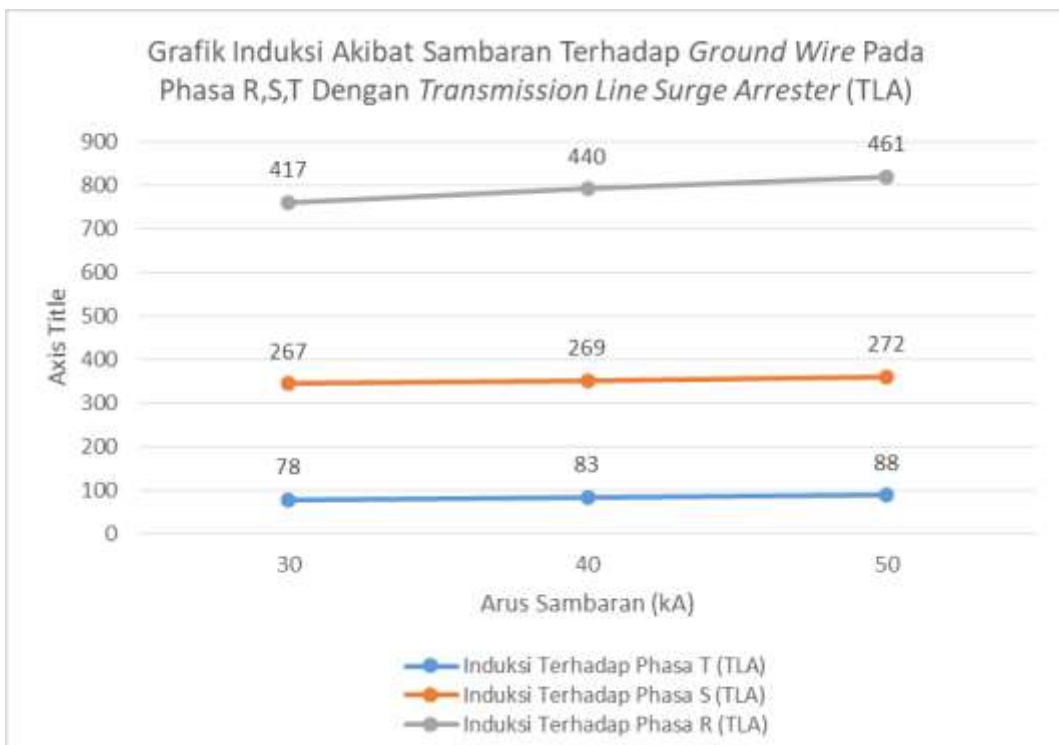
NO	Arus Sambaran (kA)	Waktu Muka/Ekor	Phasa S	Dengan TLA	Penurunan
		(μ s)	(kV)	(kV)	(%)
1	30	1.2/50	1.539	267	82,65
2	40	1.2/50	2.091	269	87,14
3	50	1.2/50	2.603	272	89,55

Tabel 4. 7 Data hasil simulasi sambaran petir bervariasi terhadap *Ground Wire* dengan dan tanpa TLA waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 50 μ s pada fasa T

NO	Arus Sambaran (kA)	Waktu Muka/Ekor	Phasa T	Dengan TLA	Penurunan
		(μ s)	(kV)	(kV)	(%)
1	30	1.2/50	1.280	78	93,91
2	40	1.2/50	1.543	83	94,62
3	50	1.2/50	1.983	88	95,56



Gambar 4. 17 Grafik Induksi Sambaran Petir Terhadap *Ground Wire* pada Fasa R,S,T dengan dan tanpa TLA



Gambar 4. 18 Grafik Induksi Sambaran Petir Terhadap *Ground Wire* pada Fasa R,S,T dengan TLA

Penggunaan *TLA* pada menara transmisi sangat efektif penggunaannya guna memotong tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir.

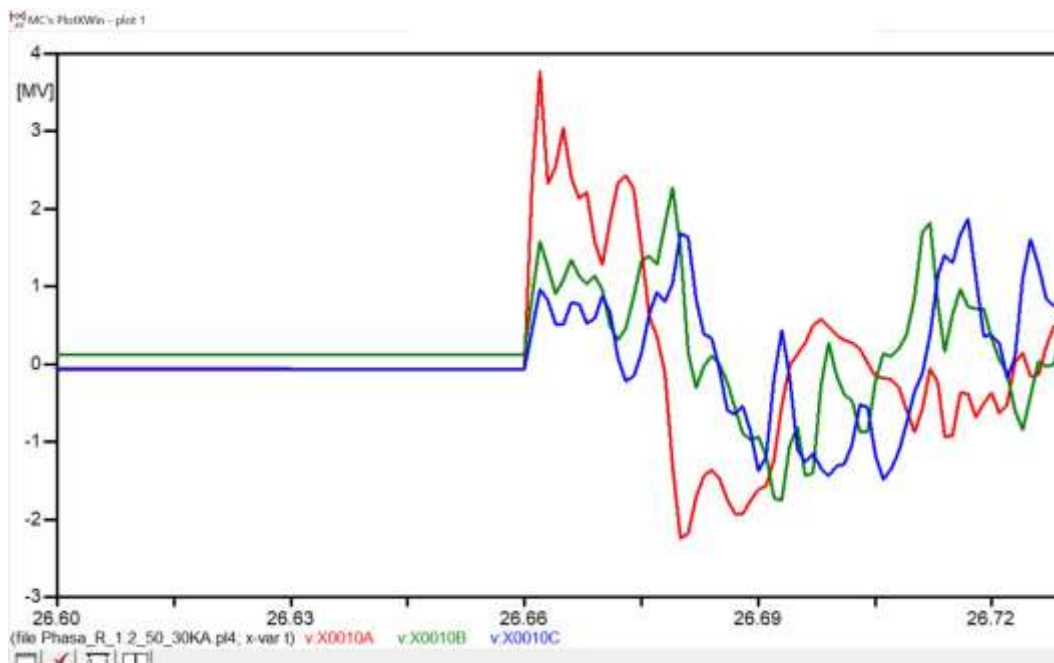
Pada saat terjadi gangguan tegangan lebih akibat surja petir, maka harga tahanan dari arrester akan naik dengan cepat jika tegangan dan arus naik. Tegangan sisa (*Residual Voltage* atau tegangan yang timbul diantara terminal arrester pada saat terjadinya tembus tegangan) akan dibatasi walaupun arus yang mengalir cukup besar. Tegangan lebih yang naik dengan cepat ini menyebabkan energi di lepas ke tanah, dengan demikian tegangan lebih tidak akan sampai ke *Switchyard* dan membahayakan sistem.

Dari hasil simulasi dengan penggunaan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Nilai kenaikan pada fasa R tidak ada yang melebihi dari rating *Basic Insulation Level (BIL)* isolator 150 kV yaitu 750 kV sehingga peralatan isolasi yang digunakan masih aman.

4.2.2 Sambaran Pada Fasa R

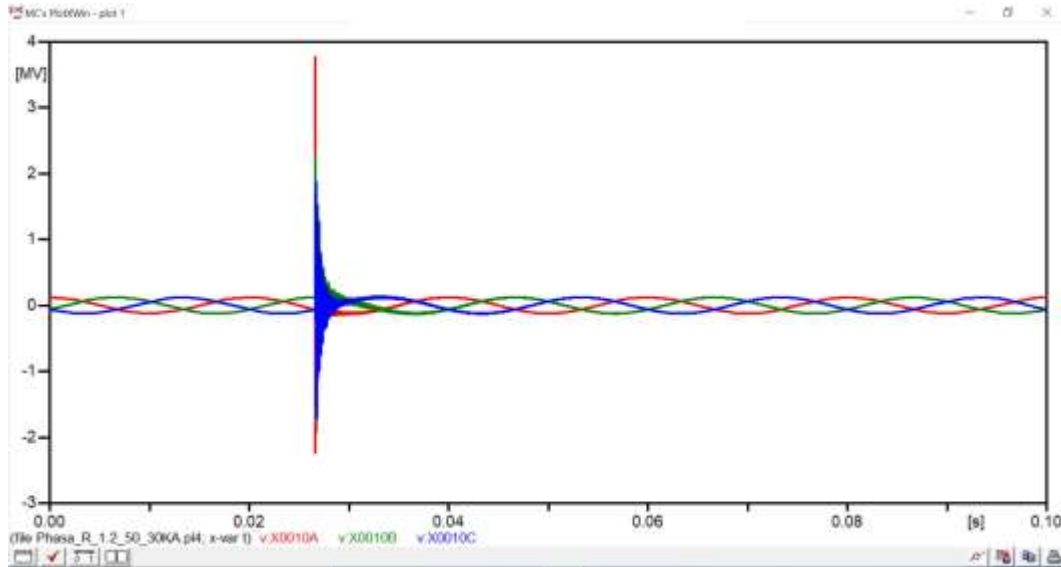
1. Sambaran 30 kA Pada Fasa R 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.19 menunjukkan hasil dari sambaran 30 kA pada fasa R dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s.



Gambar 4. 19 Sambaran 30 kA Pada Fasa R 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.19 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Phasa R dengan nilai sambaran 30 kA, nilai kenaikan tegangan pada phasa R sebesar 3.771 kV, phasa S dan T masing-masing sebesar 1.576 kV dan 962 kV.



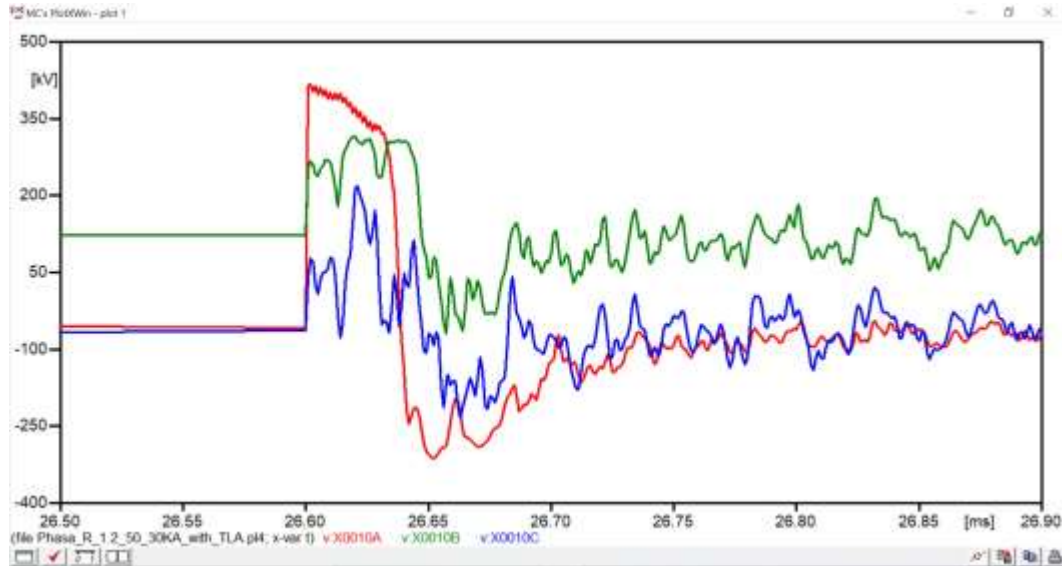
Gambar 4. 20 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Phasa R* menuju *steady state*

Gambar 4.20 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

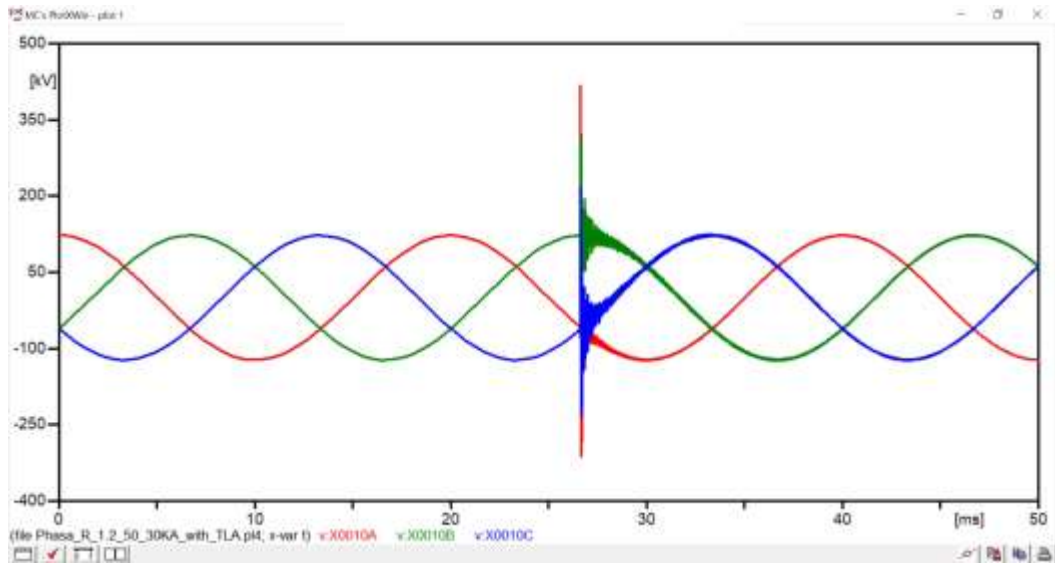
2. Sambaran 30 kA Pada Fasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.21 menunjukkan hasil dari sambaran 30 kA pada fasa R dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.



Gambar 4. 21 Sambaran 30 kA fasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.21 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap fasa R dengan nilai sambaran 30 kA dengan TLA, nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 417 kV (88,94%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 267 kV (83,06%) dan 78 kV (91,89%).



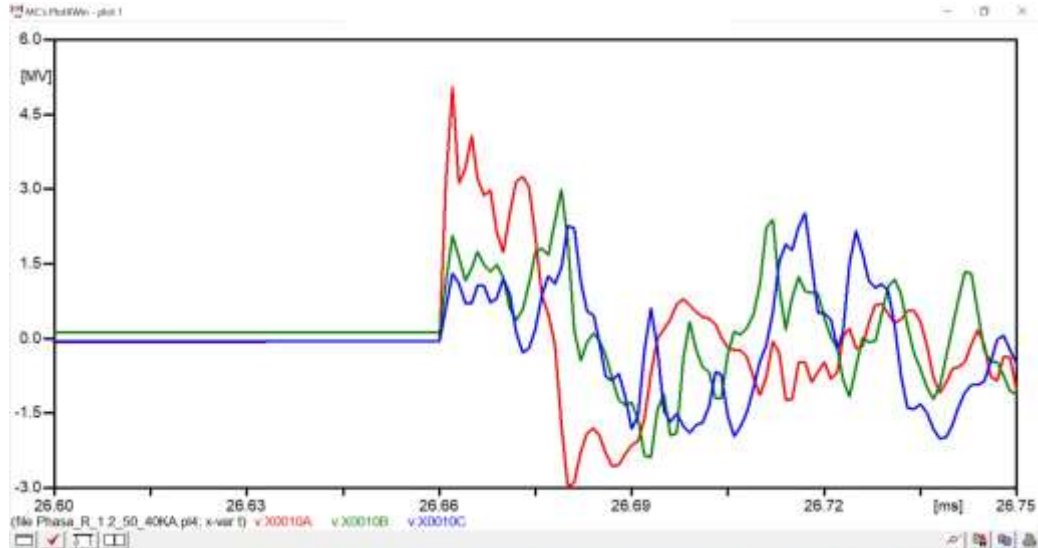
Gambar 4. 22 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

Gambar 4.22 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

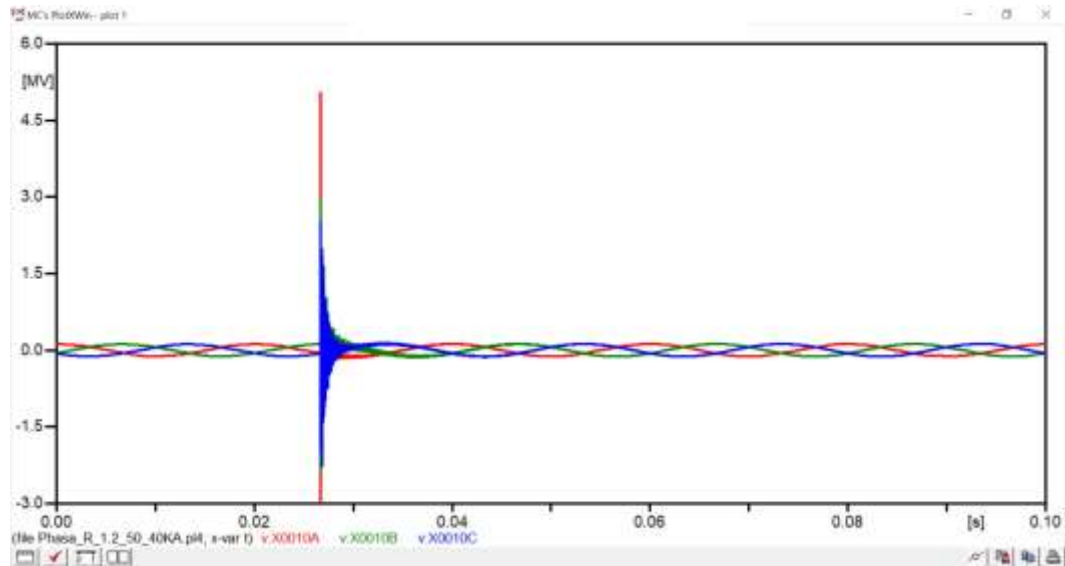
3. Sambaran 40 kA Pada Phasa R 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.23 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada phasa R dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s.



Gambar 4. 23 Sambaran 40 kA Pada phasa R 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.23 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Phasa R dengan nilai sambaran 40 kA. Nilai kenaikan tegangan pada phasa R sebesar 5.048 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap phasa S dan T masing-masing sebesar 2.061 kV dan 1.303 kV.



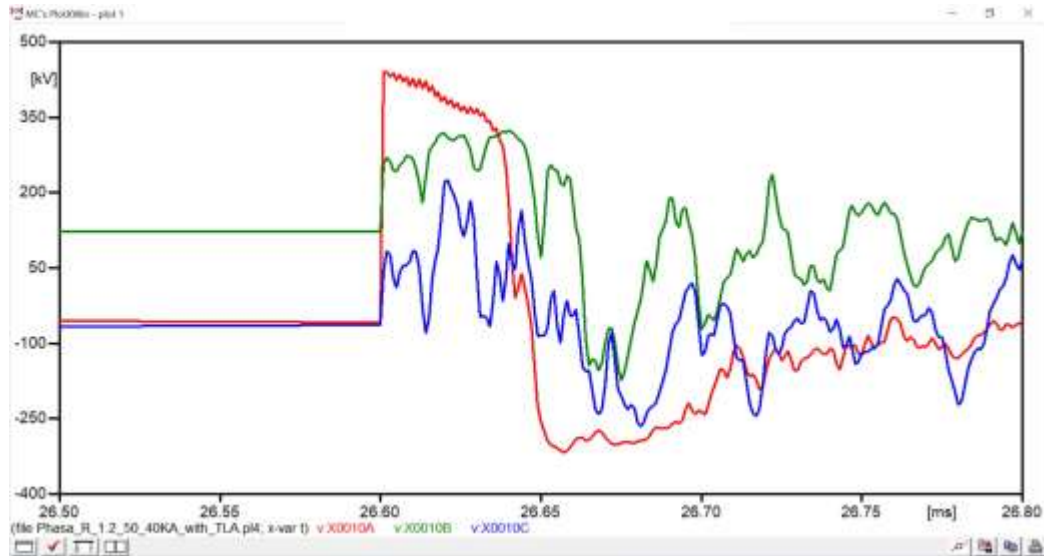
Gambar 4. 24 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Phasa R* menuju *steady state*

Gambar 4.24 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

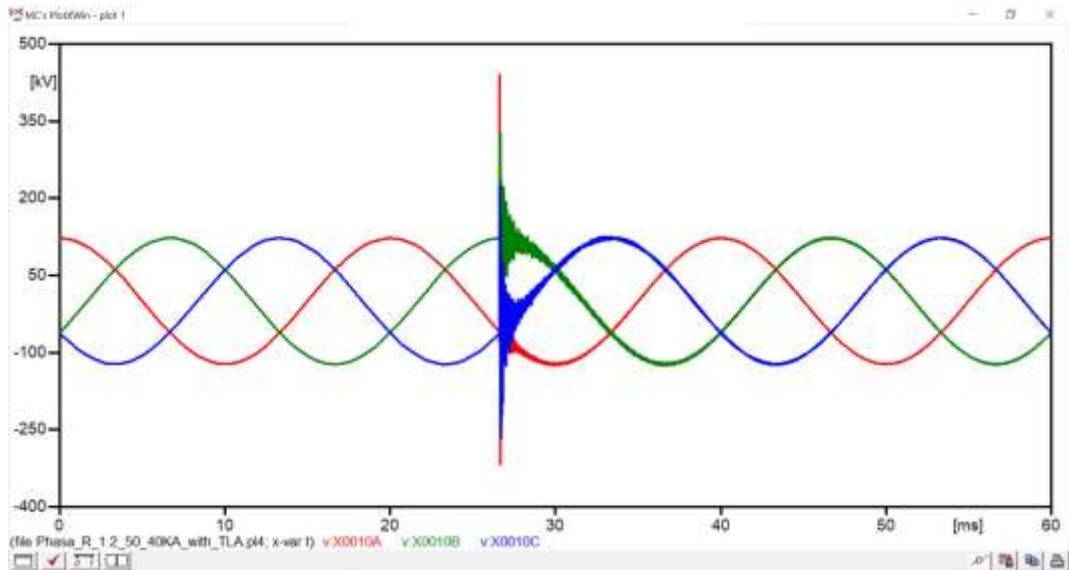
4. Sambaran 40 kA Pada Phasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.25 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada phasa R dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.



Gambar 4. 25 Sambaran 40 kA Pada phasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.25 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA dengan TLA, nilai kenaikan tegangan pada phasa R sebesar 440 kV (91,28%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap phasa S dan T masing-masing sebesar 269 kV (86,95%) dan 83 kV (93,63%).



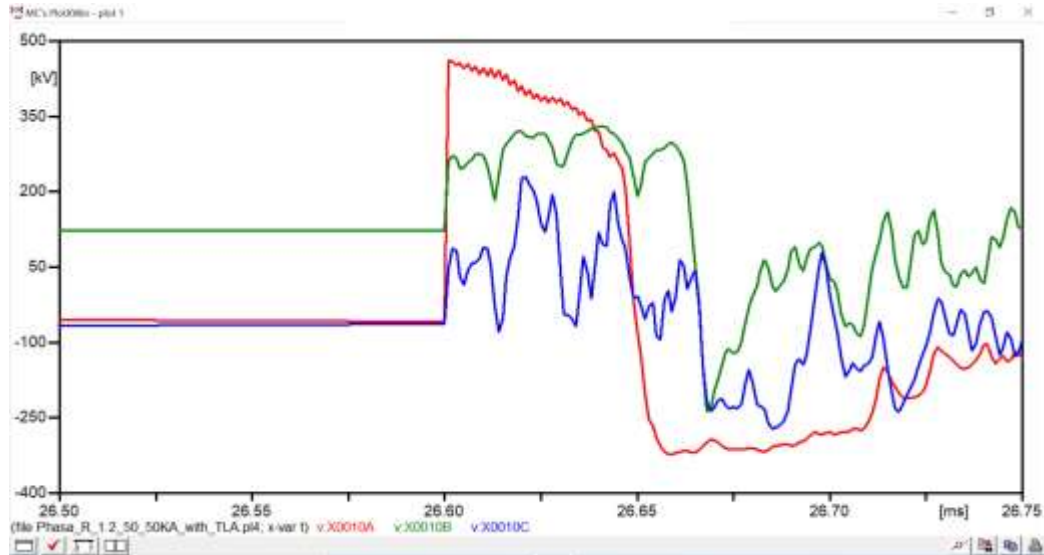
Gambar 4. 26 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

Gambar 4.26 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

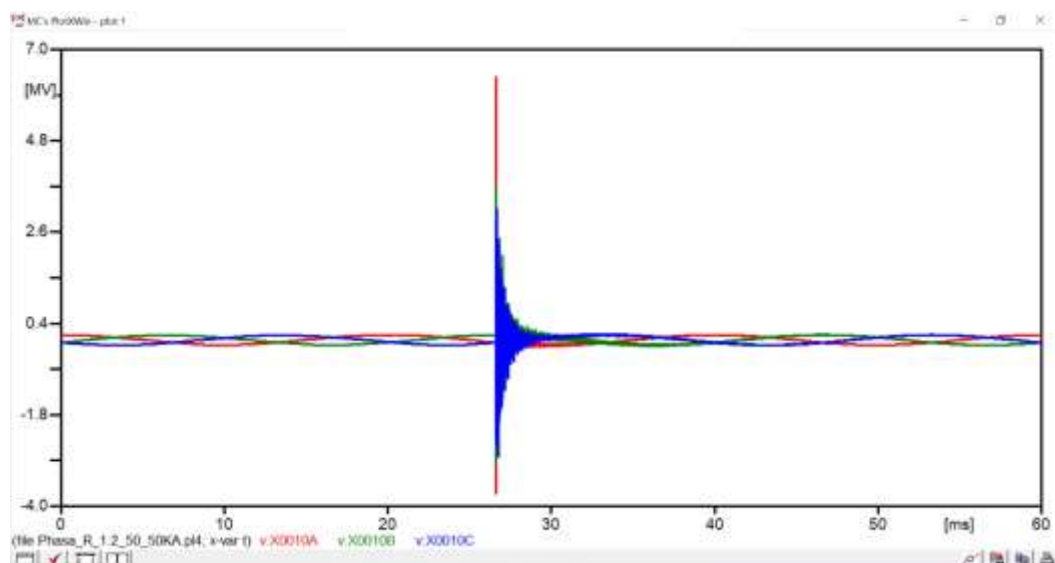
5. Sambaran 50 kA Pada Phasa R 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.27 menunjukkan hasil dari sambaran 50 kA pada phasa R dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s.



Gambar 4. 27 Sambaran 50 kA Pada phasa R 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.27 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *phasa R* dengan nilai sambaran 50 kA, nilai kenaikan tegangan pada phasa R sebesar 6.328 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap phasa S dan T masing-masing sebesar 2.545 kV dan 1.642 kV.



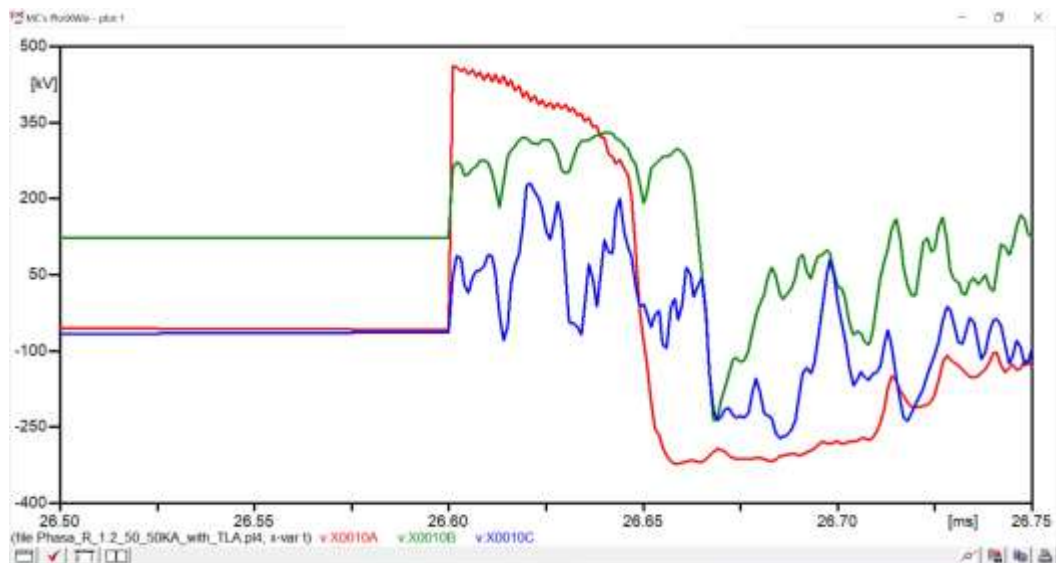
Gambar 4. 28 Sambaran 50 kA Pada Phasa R 1.2 μ s/50 μ s

Gambar 4.28 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

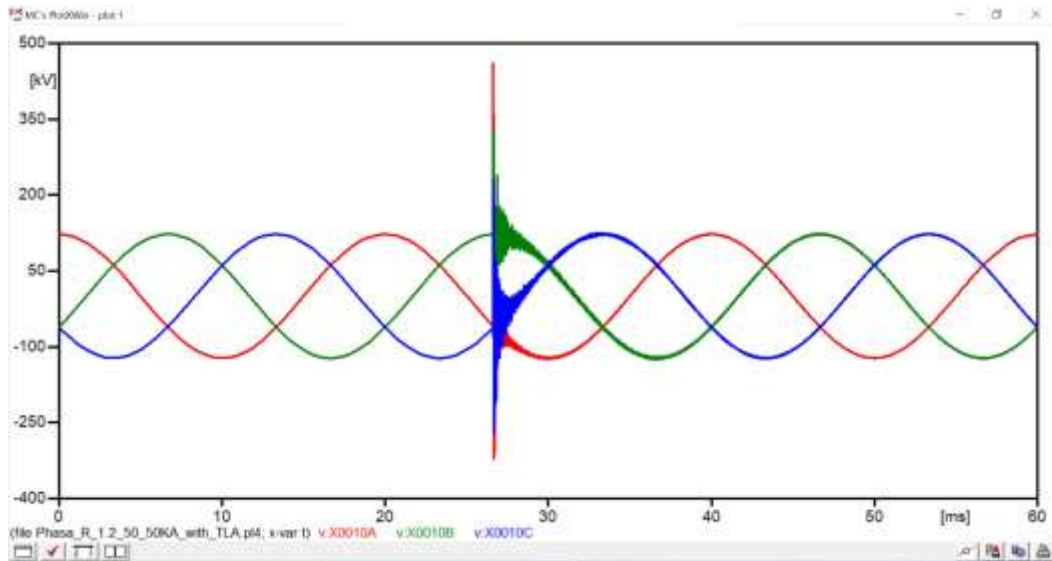
6. Sambaran 50 kA Pada Phasa R $1.2\mu\text{s}/50\mu\text{s}$ dengan TLA

Pada Gambar 4.29 menunjukkan hasil dari sambaran 50 kA pada phasa R dengan waktu muka dan waktu ekor $1.2\mu\text{s}/50\mu\text{s}$ dengan TLA.



Gambar 4. 29 Sambaran 50 kA Pada phasa R $1.2\mu\text{s}/50\mu\text{s}$ dengan dengan TLA

Pada Gambar 4.29 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *phasa R* dengan nilai sambaran 50 kA dengan TLA , nilai kenaikan tegangan pada phasa R sebesar 461 kV (92,71%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap phasa S dan T masing-masing sebesar 271 kV (89,35%) dan 88 kV (94,64%).



Gambar 4. 30 Sambaran 40 kA Pada fasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Gambar 4.30 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Fasa R*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

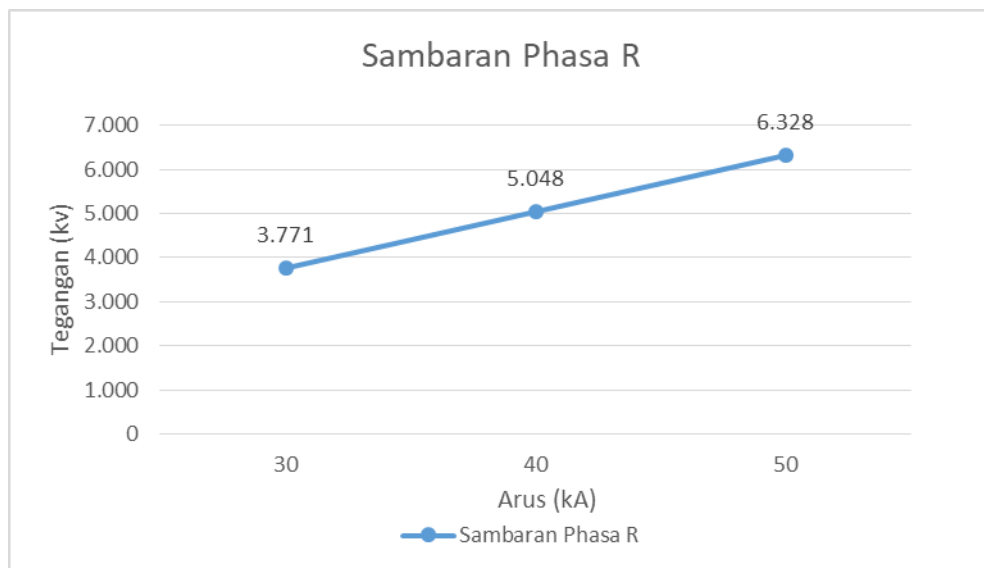
7. Analisis Pengujian Tanpa TLA

Pada Tabel 4.8 menunjukkan nilai tegangan lebih puncak pada sambaran terhadap *Phasa R* tanpa TLA.

Tabel 4. 8 Grafik kenaikan tegangan lebih sambaran pada Phasa R 1.2 μ s/50 μ s

NO	Arus Sambaran (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Sambaran Phasa R (kV)	Induksi Sambaran	
				Phasa S (kV)	Phasa T (kV)
1	30	1.2/50	3.771	1.576	962
2	40	1.2/50	5.048	2.061	1.303
3	50	1.2/50	6.328	2.545	1.642

Pada Gambar 4.31 menunjukkan Grafik kenaikan tegangan lebih sambaran pada Phasa R dengan arus sambaran bervariasi dan waktu muka 1.2 μ s/50 μ s.



Gambar 4. 31 Grafik kenaikan tegangan lebih sambaran pada Phasa R 1.2 μ s-50 μ s

Gambar 4.31 menjelaskan tentang grafik kenaikan tegangan lebih ketika sambaran langsung terhadap phasa R. Dapat dilihat bahwasannya semakin besar arus sambaran petir, maka kenaikan tegangan pada titik sambaran yaitu phasa R akan semakin tinggi.

Kenaiakan yang paling besar terjadi terhadap phasa R karena phasa R merupakan titik sambar. Kenaikan tersebut juga mempengaruhi beberapa tower sebelum dan sesudah tower No. D20. Hal tersebut dikarenakan muatan yang dilepas oleh penghantar akan mengalir ke dua arah (kanan dan kiri) dalam bentuk gelombang berjalan (*travelling wave*) dan dapat menyebabkan *trip* pada gardu induk dan mengganggu jalannya proses transmisi daya. Namun nilai dari kenaikan tegangan pada sistem tersebut beransur mengalami penurunan seperti pada tower D.25 dan tower no D.16.

Nilai kenaikan pada tegangan sistem saat sambaran 30 kA, 40 kA, 50 kA, akan mengakibatkan fenomena *back flashover* dikarenakan kekuatan isolasi yang hanya mampu menahan tegangan akibar *surge* menurut *Basic Insulation Level* (BIL) sebesar 750 kV.

Penyebab kenaikan tegangan terhadap Phasa R, Phasa S, dan Phasa T disebabkan oleh sambaran petir. Semakin besar arus yang mengalir pada sistem, maka semakin besar daya yang hilang. Hal tersebut terjadi karena definisi arus adalah jumlah elektron yang mengalir per satuan waktu. Semakin banyak elektron yang mengalir per satuan waktu, semakin banyak juga tumbukan dan gesekan antar elektron dan elektron-inti atom konduktor. Artinya, semakin banyak energi yang terbuang dalam bentuk panas, cahaya, atau bunyi. Kumbaran pada induktor akan menyimpan energi dan mengirim balik ke jaringan secara terus menerus. Ini menyebabkan daya yang hilang pada sistem akan menjadi besar karena elektron dipindah terus menerus oleh induktor di sistem. Dengan adanya kapasitor, efek induktansi tadi bisa diminimumkan sehingga sistem kelistrikan jadi lebih efisien. Pengaruh dari induktor dan kapasitor tersebut lah yang menyebabkan kenaikan yang terjadi pada phasa akibat sambaran petir. Ketika energi pada kapasitor yang terisi penuh maka energy tersebut akan dibuang menuju inductor, begitu seterusnya sampe dengan osilasi pada gelombang jaringan transmisi kembali normal menuju *steady state*.

Tabel 4. 9 Efek sambaran petir pada menara transmisi (*Travelling Wave*) Arus Sambaran 30kA pada *Phasa R*

NO	Tower	Arus (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Tegangan Menara		Sambaran		Induksi	
				Sebelum (V)	Saat (V)	R (kV)	S (kV)	T (kV)	
1	D1	30	1.2 μ s/50 μ s	78.85	5.632	894	658	486	
2	D5				7.424	2.884	1.177	779	
3	D10				9.295	3.035	1.296	854	
4	D15				13.930	3.133	1.313	959	
5	D20				143.000	3.771	1.576	962	
6	D25				8.183	3.173	1.362	936	
7	D30				7.007	3.031	1.233	904	
8	D35				5.115	2.946	960	814	
9	D40				3.987	2.888	820	761	
10	D45				2.797	2.831	752	412	
11	D50				1.192	2.785	703	306	
12	D55				1.092	2.421	671	235	
13	D60				990	2.328	633	182	
14	D65				716	2.200	520	104	
15	D67				678	2.031	348	76	

Tabel 4. 10 Efek sambaran petir pada menara transmisi (*Travelling Wave*) Arus Sambaran 40kA pada *Phasa R*

NO	Tower	Arus (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Tegangan Menara		Sambaran		Induksi	
				Sebelum (V)	Saat (V)	R (kV)	S (kV)	T (kV)	
1	D1	30	1.2 μ s/50 μ s	78.85	3.100	1.212	836	668	
2	D5				5.600	3.866	1.528	1.059	
3	D10				8.000	4.067	1.687	1.159	
4	D15				18.000	4.198	1.710	1.198	
5	D20				191.000	5.048	2.061	1.303	
6	D25				10.891	4.252	1.776	1.269	
7	D30				9.334	4.062	1.604	1.226	
8	D35				8.895	3.948	1.572	1.036	
9	D40				7.534	3.871	1.287	763	
10	D45				5.252	3.795	962	570	
11	D50				5.104	3.734	896	428	
12	D55				4.490	3.666	854	334	
13	D60				3.740	3.474	803	263	
14	D65				3.080	2.954	653	202	
15	D67				2.771	2.728	325	151	

Tabel 4. 11 Efek sambaran petir pada menara transmisi (*Travelling Wave*) Arus Sambaran 50kA pada *Phasa R*

NO	Tower	Arus (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Tegangan Menara		Sambaran R (kV)	Induksi		
				Sebelum (V)	Saat (V)		S (kV)	T (kV)	
1	D1	30	1.2 μ s/50 μ s	78.85		3.931	1.531	1.015	850
2	D5				7.089	4.848	1.696	1.174	
3	D10				9.998	5.099	1.754	1.464	
4	D15				23.000	5.263	2.107	1.640	
5	D20				238.000	6.328	2.545	1.642	
6	D25				13.598	5.330	2.189	1.601	
7	D30				11.662	5.093	1.974	1.548	
8	D35				8.521	4.950	1.594	1.310	
9	D40				6.647	4.855	1.266	968	
10	D45				4.666	4.759	1.168	728	
11	D50				1.847	4.683	1.090	550	
12	D55				1.710	4.599	1.036	432	
13	D60				1.652	4.358	973	360	
14	D65				1.030	3.708	786	268	
15	D67				862	3.426	621	204	

Pada tabel 4.9-4.11 menjelaskan tentang Gelombang Berjalan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap phasa R yang beransur mengalami penurunan seiring dengan semakin jauh nya dari titik sambaran.

Tegangan Induksi yang di akibatkan oleh sambaran petir menginduksi sampai dengan Menara Transmisi baik menuju sisi pengirim (Tower no. D1) maupun sisi penerima (Tower no. D67). Hal ini disebabkan oleh Simulasi Sambaran petir pada Tower no. D20. Apabila mengenai suatu Tower (Menara) trasmisi yang mempunyai pentanahan yang tepat dan arrester yang sesuai maka gangguan akan diteruskan ketanah. Jika tidak, akan terjadi gelombang pantulan atau gelombang yang dilepaskan karena gelombang sudah tidak dapat diredam oleh peralatan proteksi dan grounding.

8. Analisis Pengujian Dengan TLA

Tabel 4. 12 Data hasil kenaikan pada fasa S dan fasa T akibat sambaran petir pada fasa R dengan dan tanpa *Transmission Line Surge Arrester* (TLA)

NO	Arus Sambaran (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Induksi Pada Fasa S dan Fasa T					
			Phasa S	Dengan TLA	Penurunan	Phasa T	Dengan TLA	Penurunan
			(kV)	(kV)	(%)	(kV)	(kV)	(%)
1	30	1.2/50	1.576	267	83,06	962	78	91,89
2	40	1.2/50	2.061	269	86,95	1.303	83	93,63
3	50	1.2/50	2.545	271	89,35	1.642	88	94,64

Kenaiakan yang paling besar terjadi terhadap fasa R karena fasa R merupakan titik sambar. Kenaikan tersebut juga mempengaruhi beberapa tower sebelum dan sesudah tower No. D20. Hal tersebut dikarenakan muatan yang dilepas oleh penghantar akan mengalir ke dua arah (kanan dan kiri) dalam bentuk gelombang berjalan (*travelling wave*) dan dapat menyebabkan *trip* pada gardu induk dan mengganggu jalannya proses transmisi daya. Namun nilai dari kenaikan tegangan pada sistem tersebut beransur mengalami penurunan seperti pada tower D.25 dan tower no D.16.

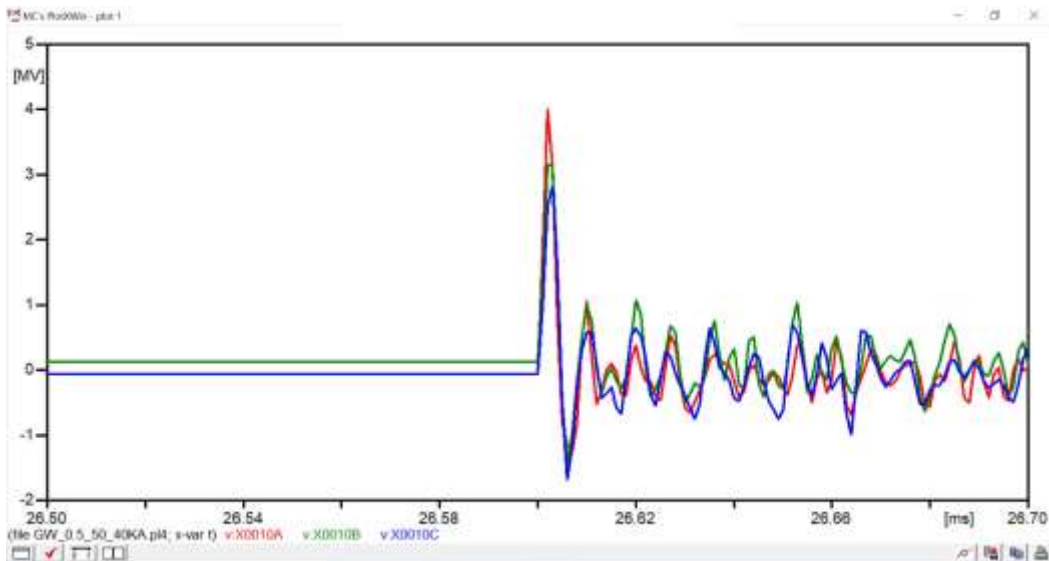
Penyebab kenaikan tegangan terhadap Fasa R, Fasa S, dan Fasa T disebabkan oleh sambaran petir. Semakin besar arus yang mengalir pada sistem, maka semakin besar daya yang hilang. Hal tersebut terjadi karena definisi arus adalah jumlah elektron yang mengalir per satuan waktu. Semakin banyak elektron yang mengalir per satuan waktu, semakin banyak juga tumbukan dan gesekan antar elektron dan elektron-inti atom konduktor. Artinya, semakin banyak energi yang terbuang dalam bentuk panas, cahaya, atau bunyi. Kumparan pada induktor akan menyimpan energi dan mengirim balik ke jaringan secara terus menerus. Ini menyebabkan daya yang hilang pada sistem akan menjadi besar karena elektron dipindah terus menerus oleh induktor di sistem. Dengan adanya kapasitor, efek induktansi tadi bisa diminimumkan sehingga sistem kelistrikan jadi lebih efisien. Pengaruh dari induktor dan kapasitor tersebut lah yang menyebabkan kenaikan yang terjadi pada fasa akibat sambaran petir. Ketika energi pada kapasitor yang terisi penuh maka energy tersebut akan dibuang menuju inductor, begitu seterusnya sampe dengan osilasi pada gelombang jaringan transmisi kembali normal menuju *steady state*.

4.3 Pengujian Dengan Nilai Waktu Muka Bervariasi

Pengujian kedua penulis melakukan simulasi dengan waktu muka bervariasi terdiri dari $0.5\mu\text{s}$, $1.2\mu\text{s}$, $3\mu\text{s}$, $5\mu\text{s}$, dan waktu ekor ditetapkan sebesar $50\mu\text{s}$. Sementara nilai arus sambaran 40 kA .

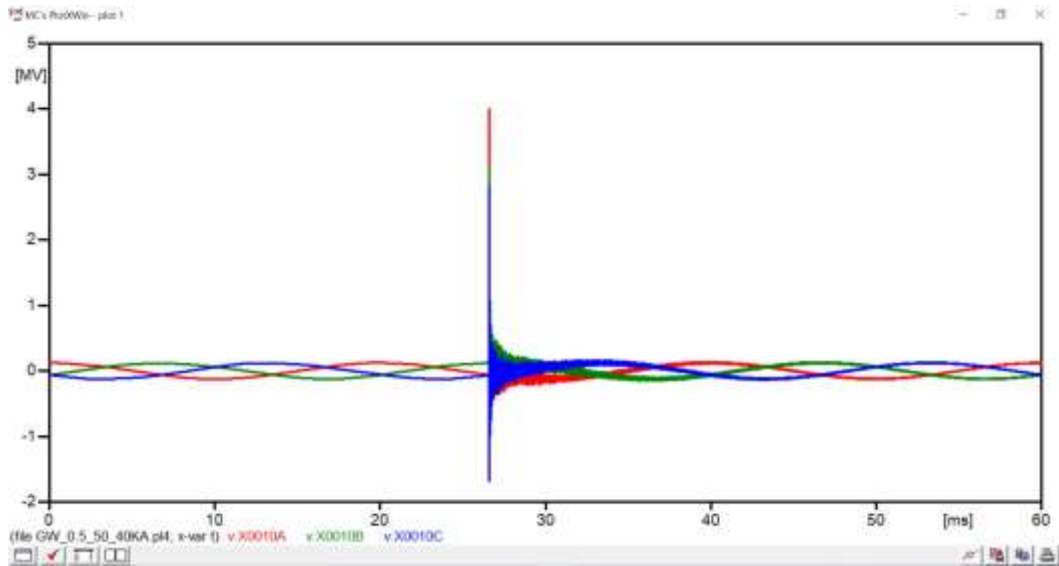
4.3.1 Sambaran Pada *Ground Wire*

1. Sambaran $40\text{ kA } 0.5\mu\text{s}/50\mu\text{s } \textit{Ground Wire}$



Gambar 4. 32 Grafik Sambaran $40\text{ kA } 0.5\mu\text{s}/50\mu\text{s}$ Pada *Ground Wire*

Gambar 4.32 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA , waktu muka $0.5\mu\text{s}$ dan waktu ekor $50\mu\text{s}$. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 4.000 kV . Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 3.147 kV dan 2.826 kV .

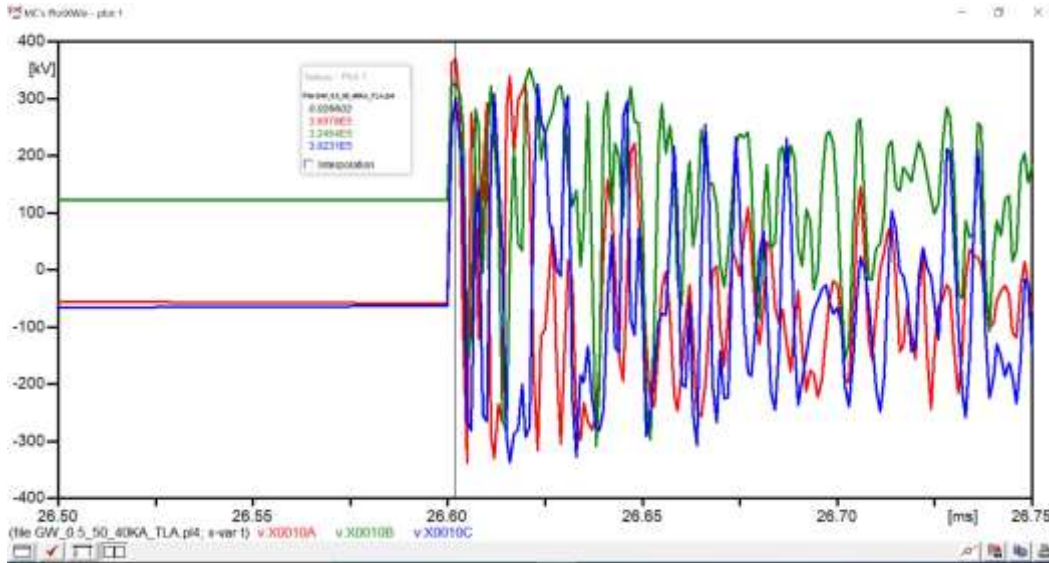


Gambar 4. 33 Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

Gambar 4.33 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

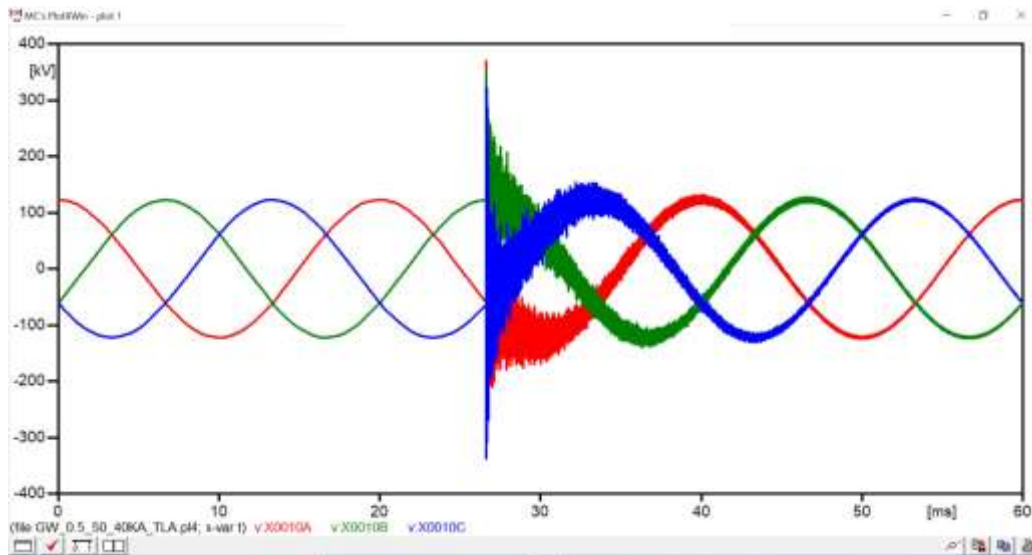
Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

2. Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s *Ground Wire* dengan TLA



Gambar 4. 34 Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* dengan TLA

Gambar 4.34 menunjukkan sambaran pada *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 0.5 μ s Waktu Ekor 50 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *ground wire*, kawat fasa R,S,T menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Fasa R mengalami kenaikan sebesar 369 kV. Diikuti dengan kenaikan nilai fasa S dan T masing-masing sebesar 324 kV dan 302 kV.

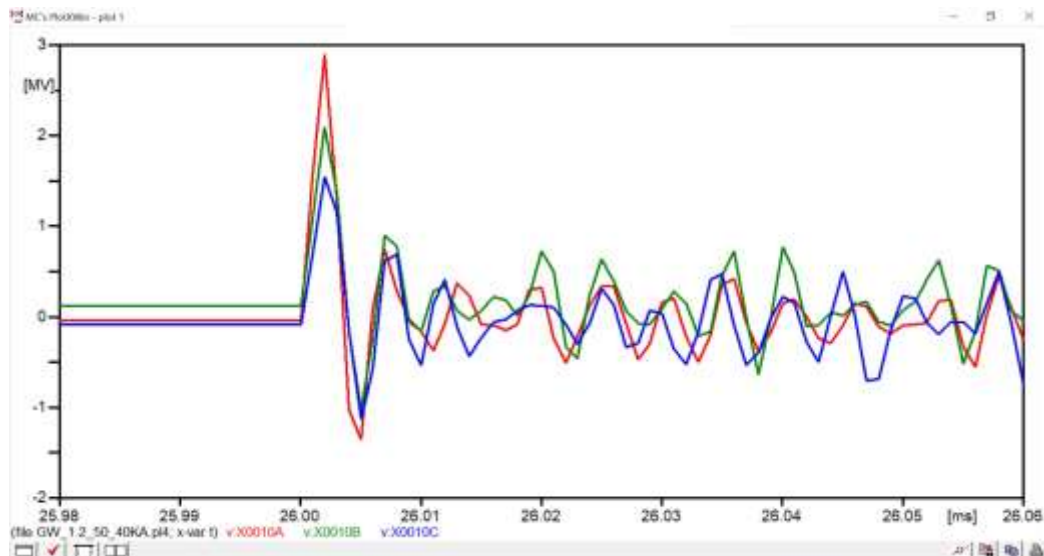


Gambar 4. 35 Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

Gambar 4.35 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

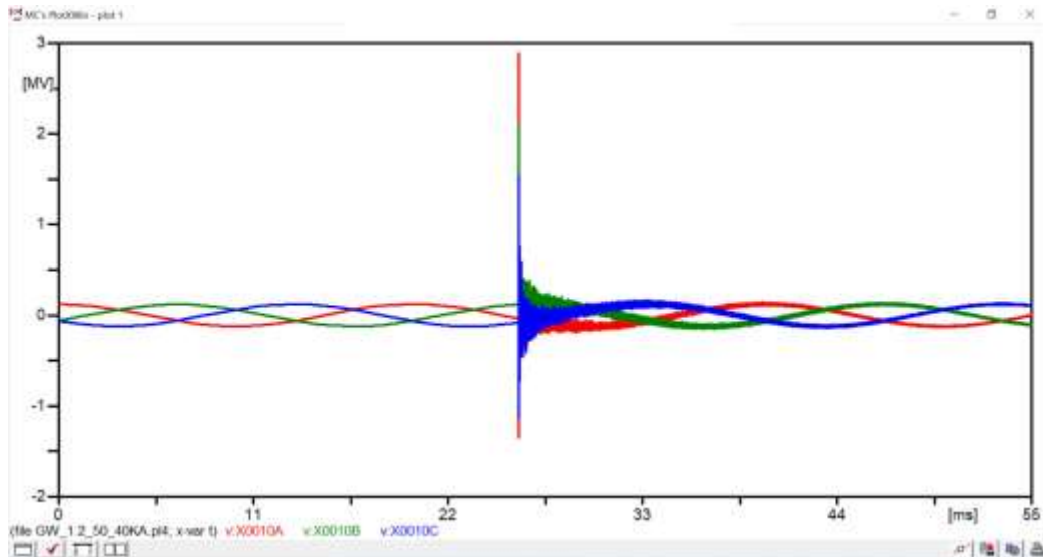
Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

3. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Ground Wire



Gambar 4. 36 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire*

Gambar 4.36 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka $1.2\mu\text{s}$ dan waktu ekor $50\mu\text{s}$. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 2.892 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 2.091 kV dan 1.543 kV.

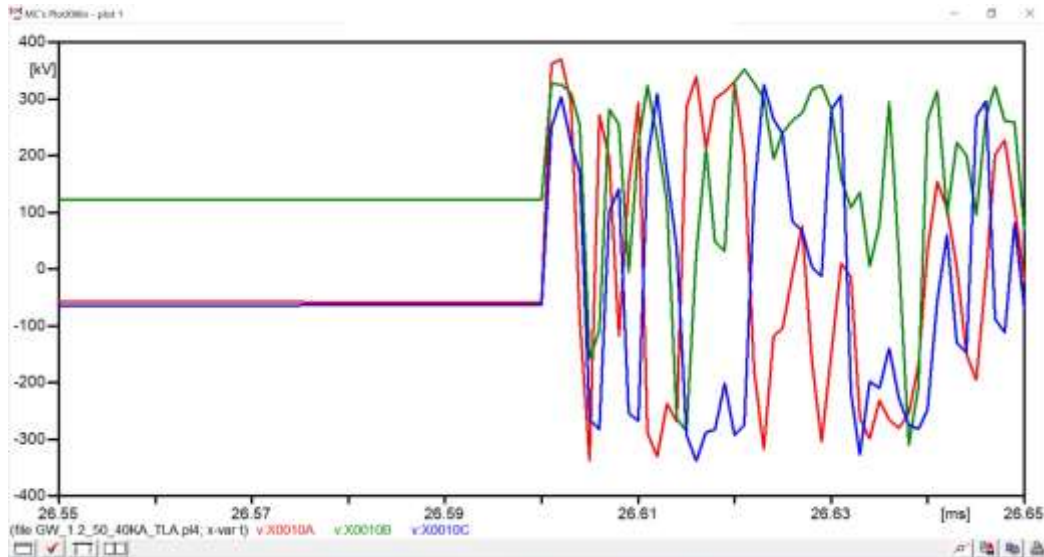


Gambar 4. 37 Sambaran 40 kA $1.2\mu\text{s}/50\mu\text{s}$ Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

Gambar 4.37 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

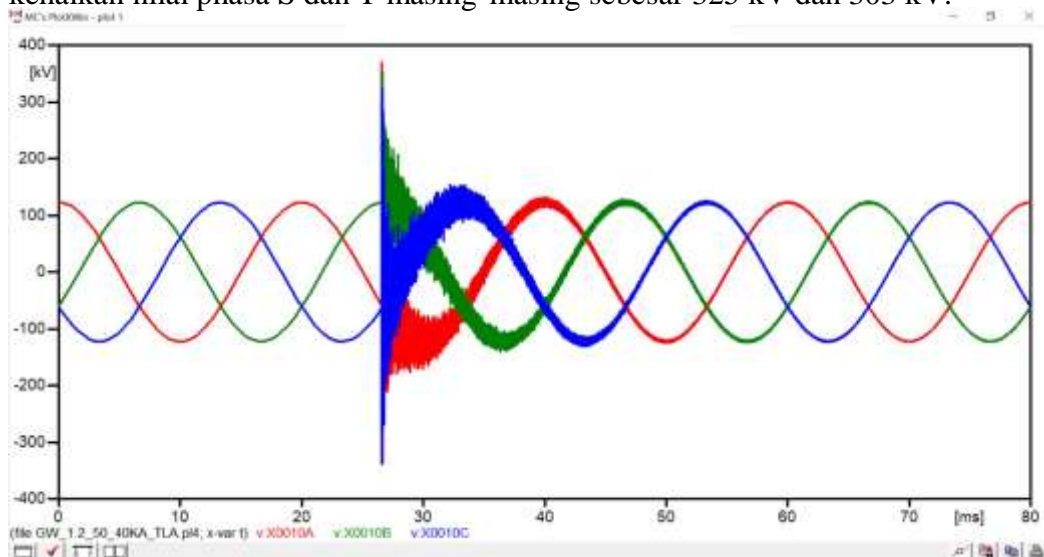
Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

4. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s *Ground Wire* dengan TLA



Gambar 4. 38 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* dengan TLA

Gambar 4.38 menunjukkan sambaran pada *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 1.2 μ s Waktu Ekor 50 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *ground wire*, kawat fase R,S,T menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Fasa R mengalami kenaikan sebesar 370 kV. Diikuti dengan kenaikan nilai fasa S dan T masing-masing sebesar 325 kV dan 303 kV.

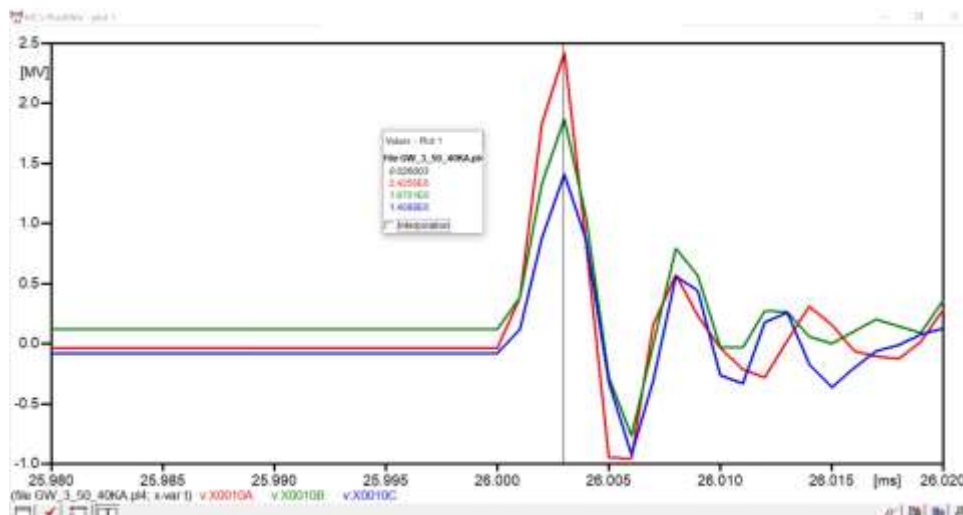


Gambar 4. 39 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

Gambar 4.39 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

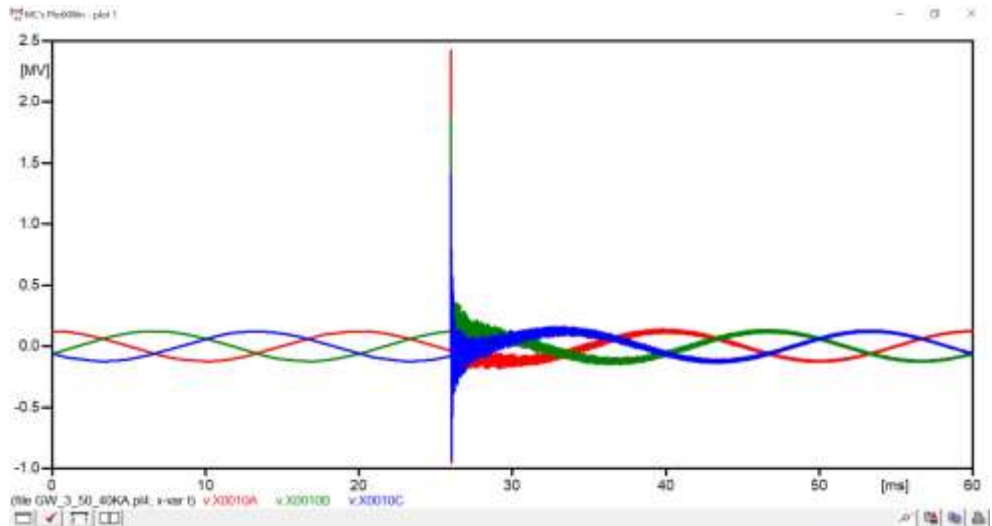
Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

5. Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s *Ground Wire*



Gambar 4. 40 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire*

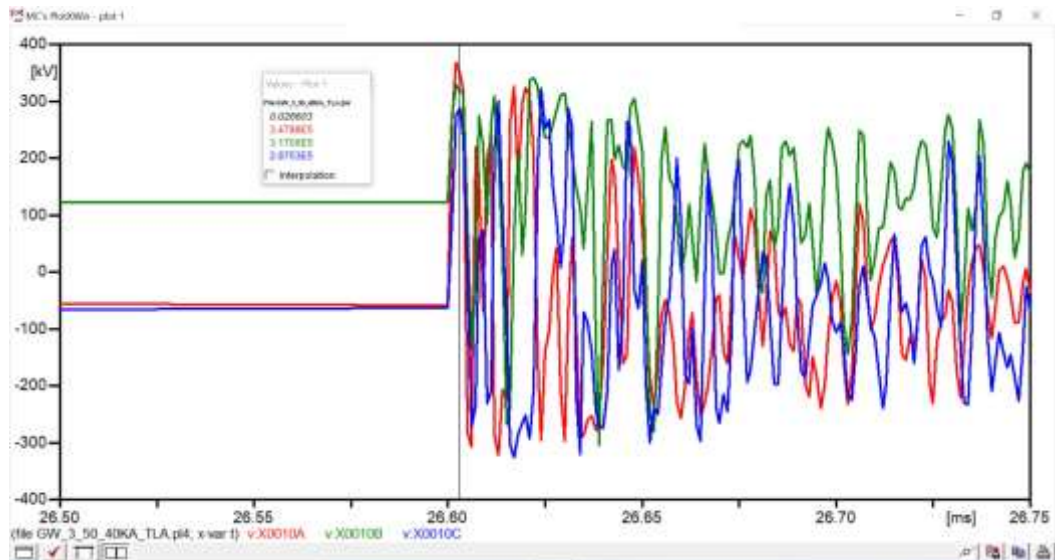
Gambar 4.40 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 3 μ s dan waktu ekor 50 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 2.425 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 1.870 kV dan 1.408 kV.



Gambar 4. 41 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

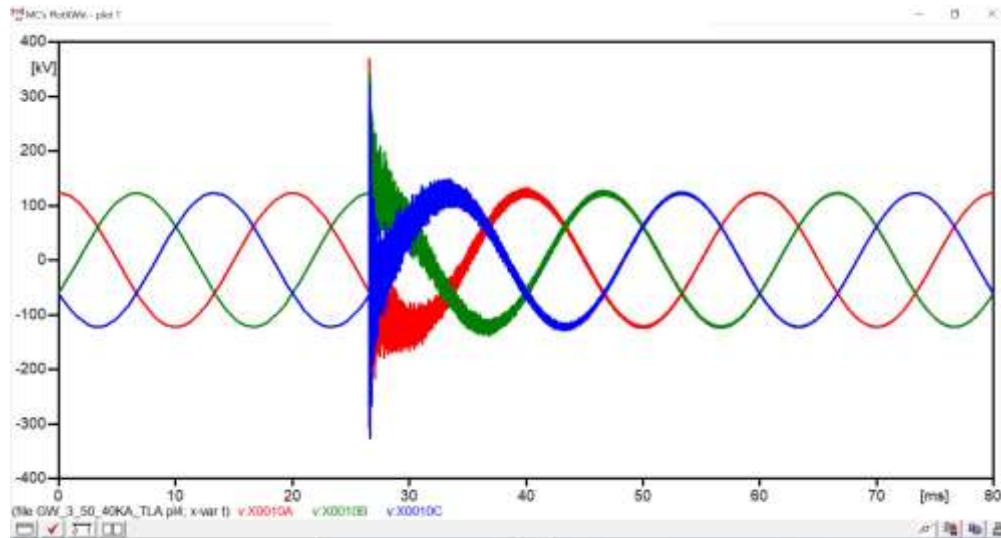
Gambar 4.41 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

6. Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s *Ground Wire* dengan TLA



Gambar 4. 42 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* dengan TLA

Gambar 4.42 menunjukkan sambaran pada *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 3 μ s Waktu Ekor 50 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *ground wire*, kawat fasa R,S,T menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Fasa R mengalami kenaikan sebesar 367 kV. Diikuti dengan kenaikan nilai fasa S dan T masing-masing sebesar 328 kV dan 275 kV.

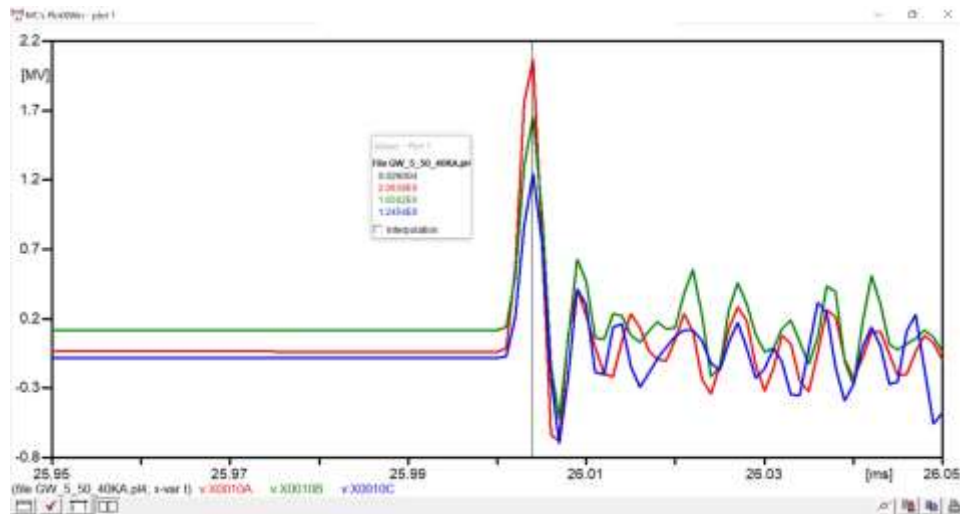


Gambar 4. 43 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

Gambar 4.43 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

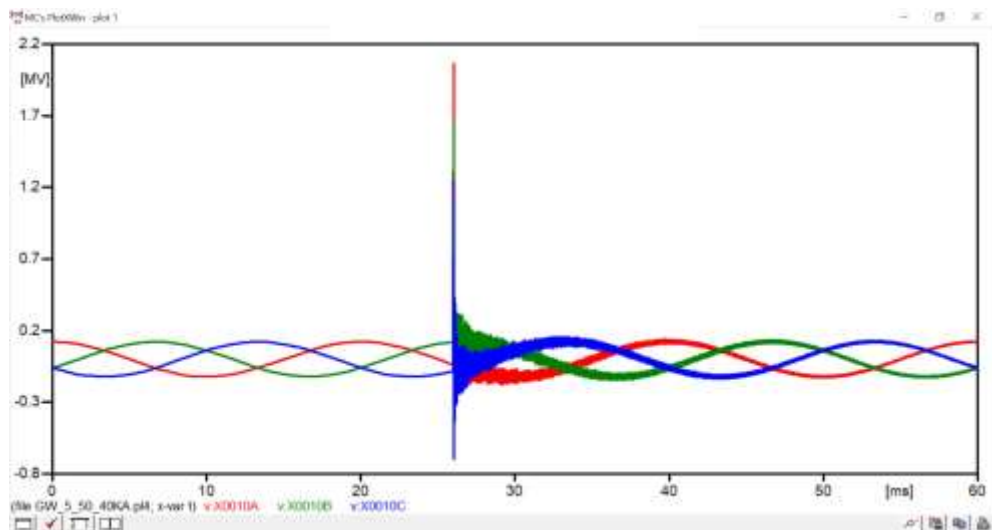
Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

7. Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s *Ground Wire*



Gambar 4. 44 Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire*

Gambar 4.44 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 5 μ s dan waktu ekor 50 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 2.063 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 1.656 kV dan 1.245 kV.

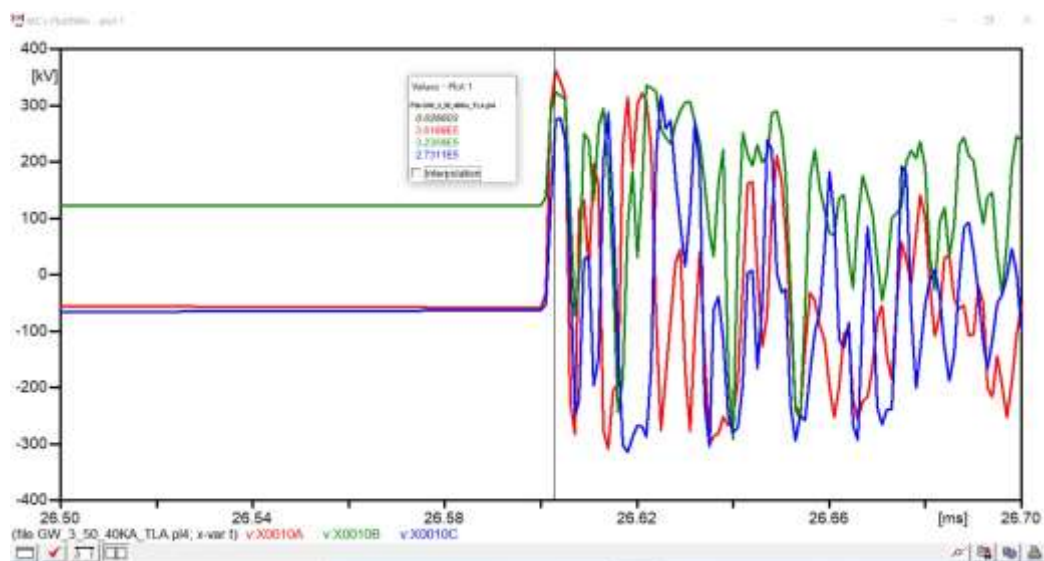


Gambar 4. 45 Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju steady state

Gambar 4.45 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

8. Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s *Ground Wire* dengan TLA



Gambar 4. 46 Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* dengan TLA

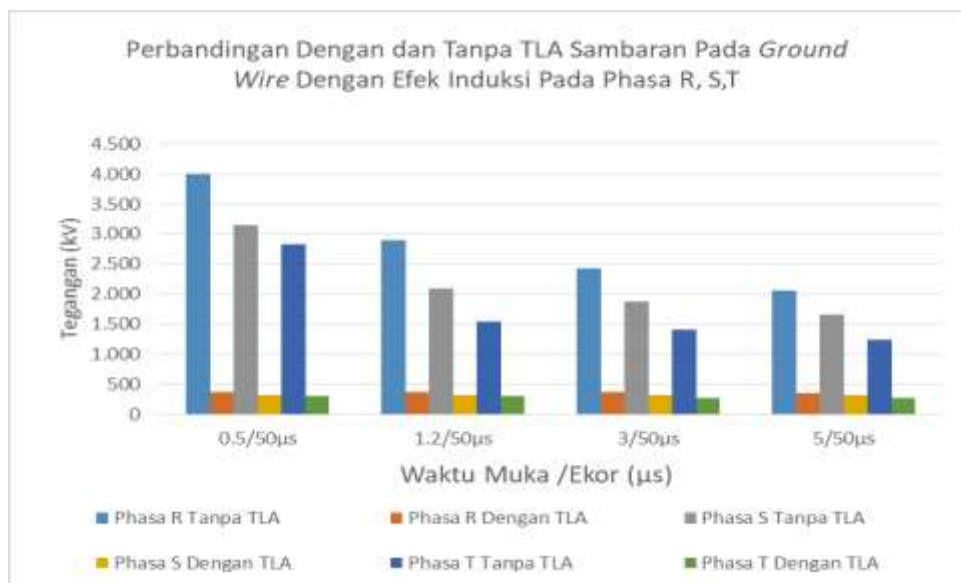
Gambar 4.46 menunjukkan sambaran pada *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 5 μ s Waktu Ekor 50 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *ground wire*, kawat fasa R,S,T menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Fasa R mengalami kenaikan sebesar 361 kV. Diikuti dengan kenaikan nilai fasa S dan T masing-masing sebesar 323 kV dan 273 kV.

9. Analisis Pengujian Sambaran Terhadap *Ground Wire* Dengan Nilai waktu muka bervariasi Dan Waktu Ekor 50 μ s

Tabel 4.13 menunjukkan nilai tegangan lebih puncak pada sambaran terhadap *Ground Wire* dan efek kenaikan tegangan terhadap kawat fasa baik dengan dan tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*.

Tabel 4. 13 Data hasil simulasi pada sambaran petir terhadap *Ground Wire* dengan dan tanpa TLA

NO	ARUS (kA)	WAKTU MUKA (μ s)	WAKTU EKOR (μ s)	SAMBARAN PADA <i>GROUND WIRE</i>					
				TANPA TLA			DENGAN TLA		
				R (kV)	S (kV)	T (kV)	R (kV)	S (kV)	T (kV)
1	40	0.5	50	4.000	3.147	2.826	369	324	302
2		1.2	50	2.892	2.091	1.543	370	325	303
3		3	50	2.425	1.870	1.408	367	328	275
4		5	50	2.063	1.656	1.245	361	323	273



Gambar 4. 47 Grafik perbandingan simulasi pada sambaran petir terhadap *Ground Wire* dengan dan tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* waktu muka bervariasi dan waktu ekor 50 μ s

Dari Gambar 4.47. yaitu sambaran terhadap *ground wire*. Dengan merubah waktu muka dan arus sambaran petir 40 kA, didapatkan hasil muka tegangan impuls petir mempengaruhi nilai tegangan induksi petir. Semakin cepat (kecil) waktu muka, semakin besar tegangan puncak induksi petir. Hubungan antara waktu muka dengan besar tegangan impuls menurut standar adalah 1,2 μ s.

Hasil simulasi sambaran didapatkan bahwa semakin besar nilai arus sambaran petir maka kenaikan tegangan pada titik yang terdekat dari titik sambar yaitu fasa R akan semakin besar pula. Kenaikan tersebut diikuti dengan tinggi nilai dari efek tegangan induksi yang terjadi pada fasa S dan fasa T. Nilai tegangan pada fasa R lebih besar dibandingkan dengan fasa S dan T, dikarenakan fasa R lebih dekat dengan titik sambar.

Oleh karena itu fasa R akan terlebih dahulu mengalami flash akibat fenomena backflashover. Pada saat terjadi backflashover, arus yang besar akan mengalir pada titik sambaran. Sehingga terjadi perubahan impedansi penghantar pada daerah titik sambaran. Muatan yang dilepas oleh penghantar akan mengalir ke dua arah (kanan dan kiri) dalam bentuk gelombang berjalan (*travelling wave*) dan bisa menyebabkan *trip* pada gardu induk dan mengganggu jalannya proses transmisi daya.

Penggunaan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap masing-masing dari kawat fasa sangat efektif penggunaannya guna memotong tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir.

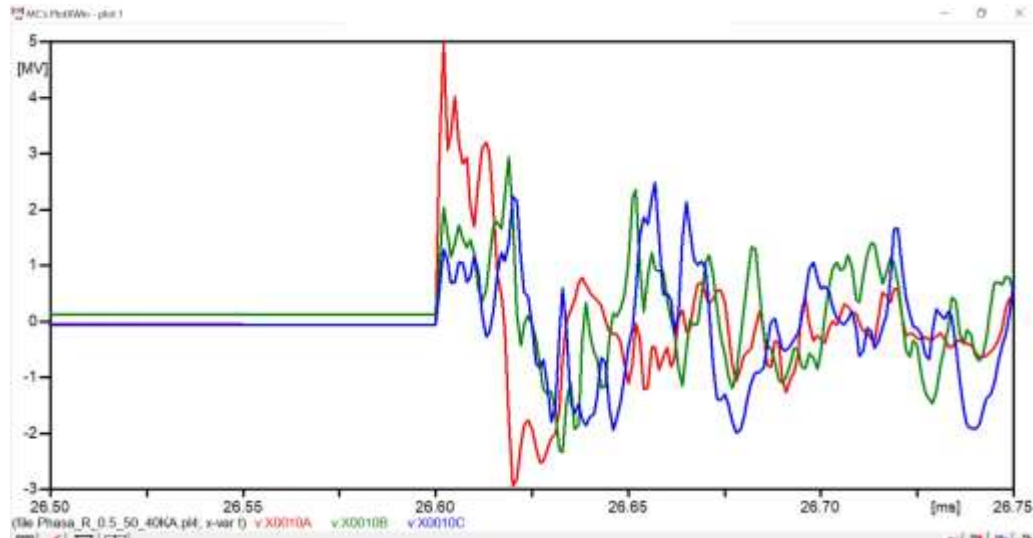
Pada saat terjadi gangguan tegangan lebih akibat surja petir, maka harga tahanan dari arrester akan naik dengan cepat jika tegangan dan arus naik. Tegangan sisa (*Residual Voltage* atau tegangan yang timbul diantara terminal arrester pada saat terjadinya tembus tegangan) akan dibatasi walaupun arus yang mengalir cukup besar. Tegangan lebih yang naik dengan cepat ini menyebabkan energi di lepas ke tanah, dengan demikian tegangan lebih tidak akan sampai ke switchyard dan membahayakan sistem.

Dari hasil simulasi dengan penggunaan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa, nilai kenaikan pada fasa R tidak ada yang melebihi dari rating *Basic Insulation Level (BIL)* isolator 150 kV yaitu 750 kV sehingga peralatan isolasi yang digunakan masih aman.

4.3.2 Sambaran Pada *Phasa R*

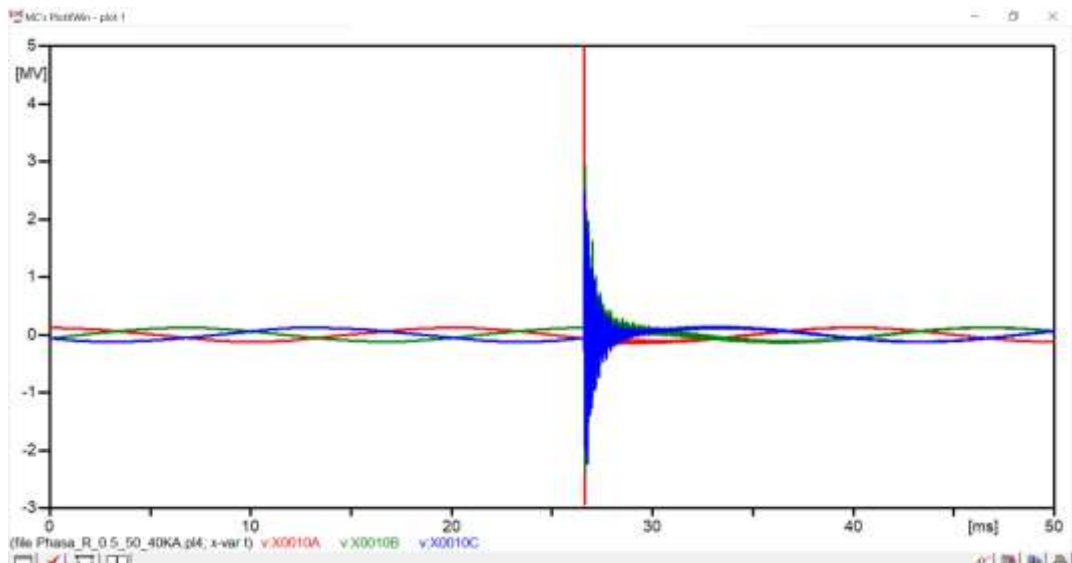
1. Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s *Phasa R*

Pada Gambar 4.36 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Phasa R* dengan waktu muka dan waktu ekor 0.5 μ s/50 μ s



Gambar 4. 48 Sambaran 40 kA Pada *Phasa R* 0.5 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.36 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA, nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 4.989 kV, *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 2.040 kV dan 1.287 kV.



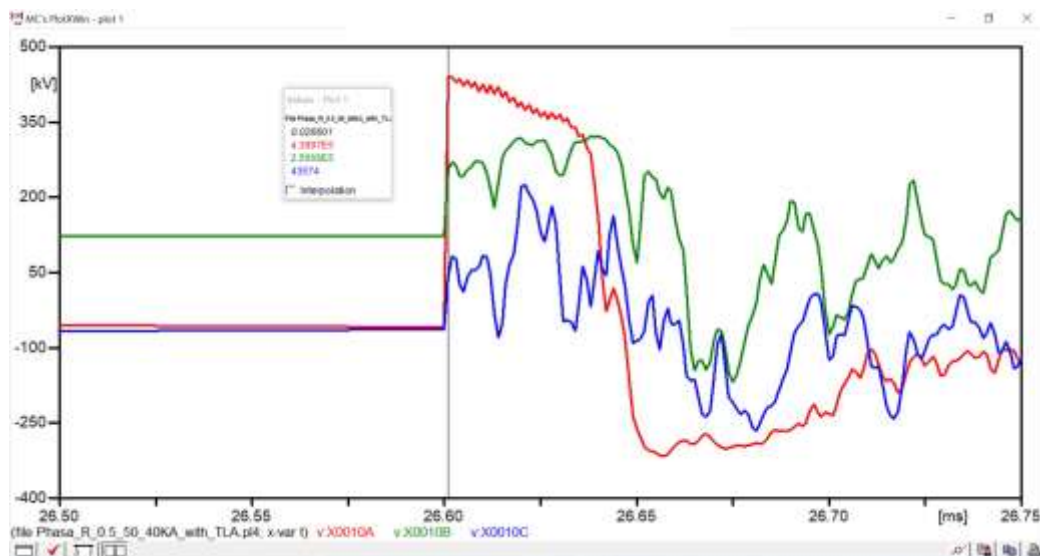
Gambar 4. 49 Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s Pada *Phasa R* menuju *steady state*

Gambar 4.49 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

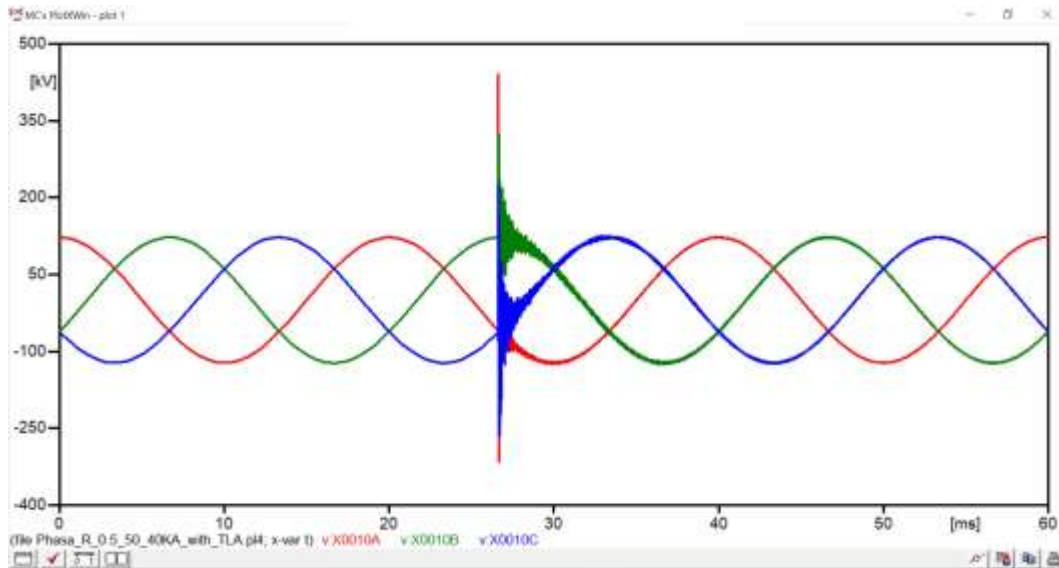
2. Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s *Phasa R* dengan TLA

Pada Gambar 4.50 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Phasa R* dengan waktu muka dan waktu ekor 0.5 μ s/50 μ s dengan TLA.



Gambar 4. 50 Sambaran 40 kA *Phasa R* 0.5 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.50 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA dengan TLA, nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 439 kV (91,20%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 256 kV (87,45%) dan 43 kV (96,66%).



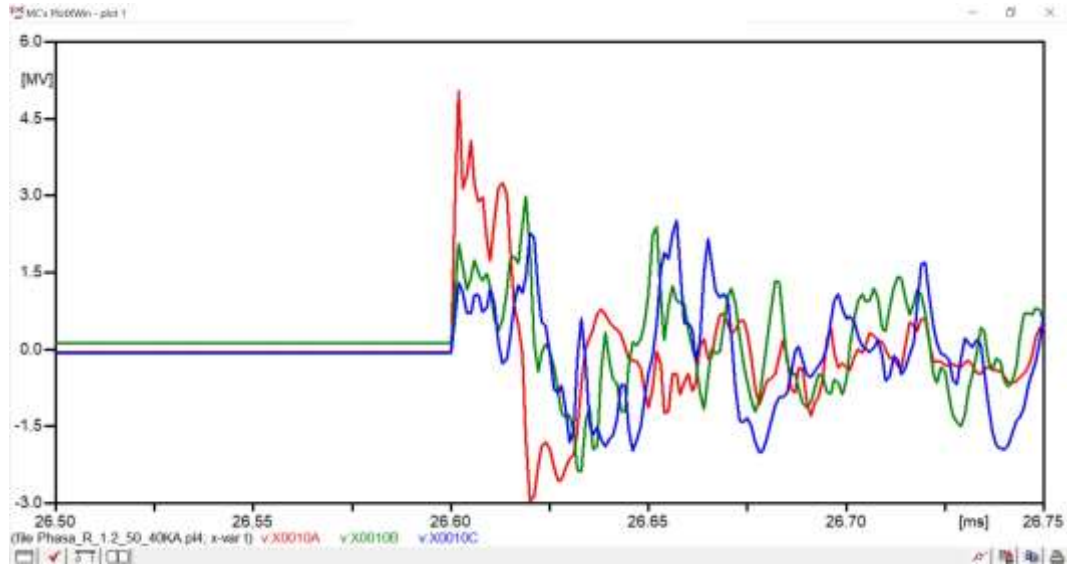
Gambar 4. 51 Sambaran 40 kA fase R $0.5\mu\text{s}/50\mu\text{s}$ dengan TLA

Gambar 4.51 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

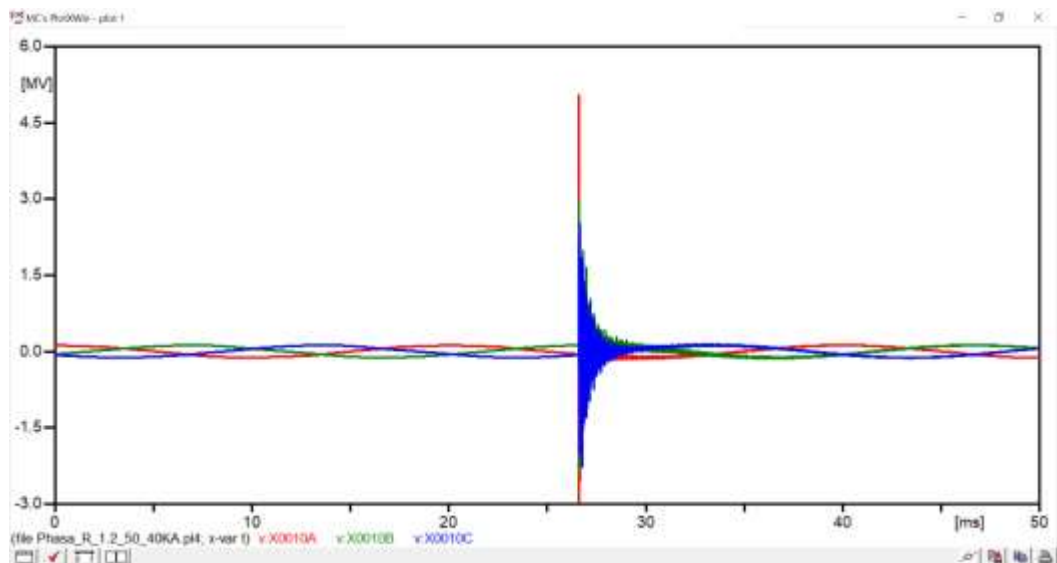
3. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s *Phasa R*

Pada Gambar 4.52 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Phasa R* dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s/50 μ s



Gambar 4. 52 Sambaran 40 kA Pada *Phasa R* 1.2 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.52 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA, nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 5.050 kV, *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 2.061 kV dan 1.301 kV.



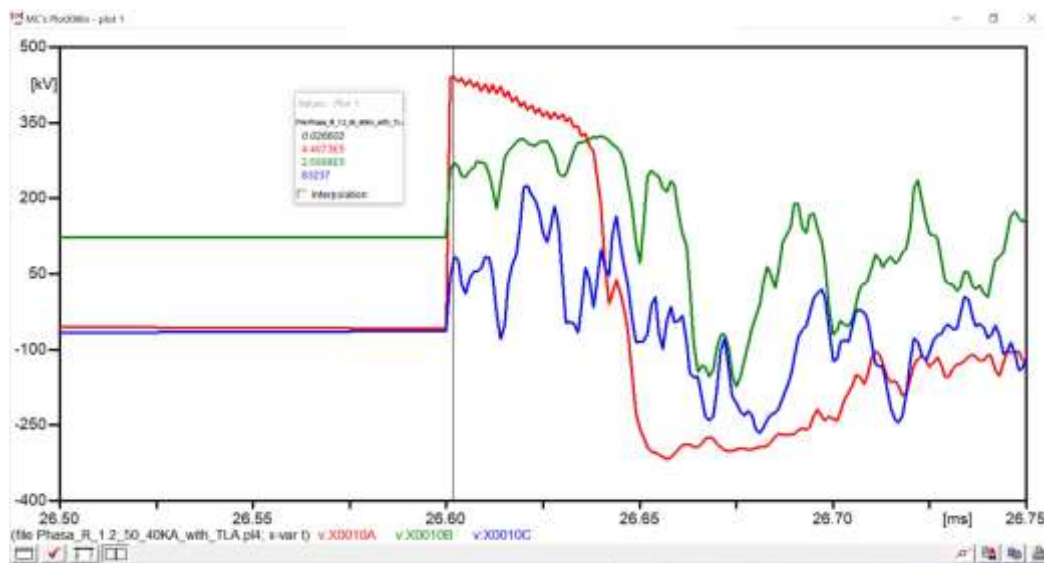
Gambar 4. 53 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Phasa R* menuju *steady state*

Gambar 4.53 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

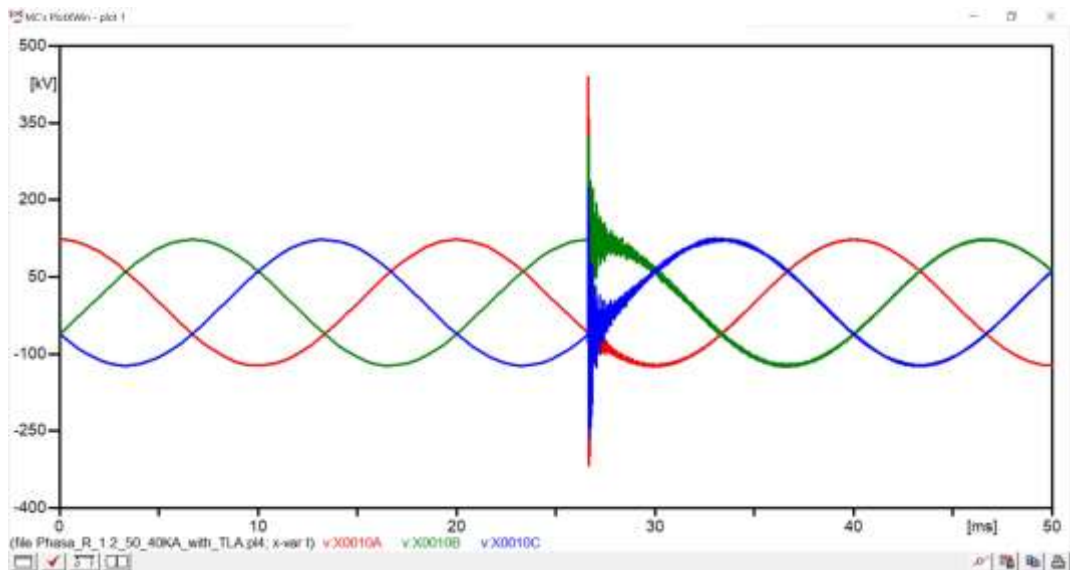
4. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s *Phasa R* dengan TLA

Pada Gambar 4.54 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Phasa R* dengan waktu muka dan waktu ekor 1.2 μ s /50 μ s dengan TLA.



Gambar 4. 54 Sambaran 40 kA *Phasa R* 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.54 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA dengan TLA, nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 440 kV (91,29%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 269 kV (86,95%) dan 83 kV (93,62%).



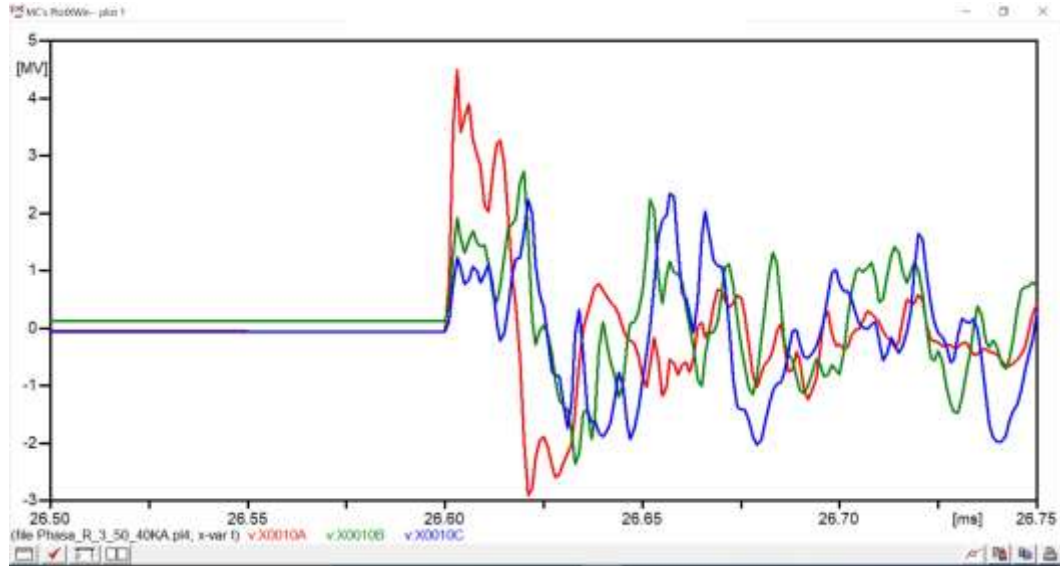
Gambar 4. 55 Sambaran 40 kA fase R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA

Gambar 4.55 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

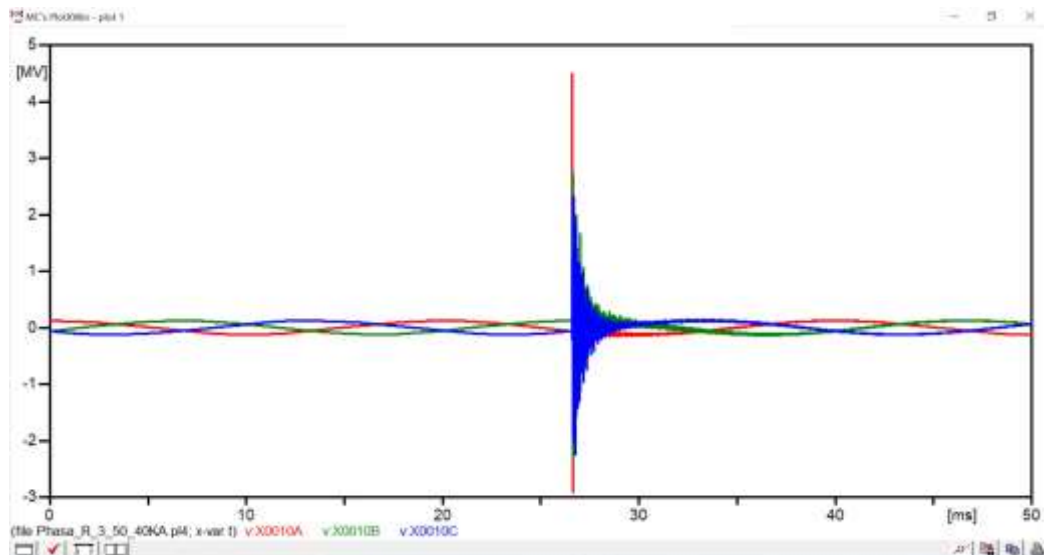
5. Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s *Phasa R*

Pada Gambar 4.56 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Phasa R* dengan waktu muka dan waktu ekor 3 μ s/50 μ s.



Gambar 4. 56 Sambaran 40 kA Pada *Phasa R* 3 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.56 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA, nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 4.497 kV, *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 1.916 kV dan 1.228 kV.



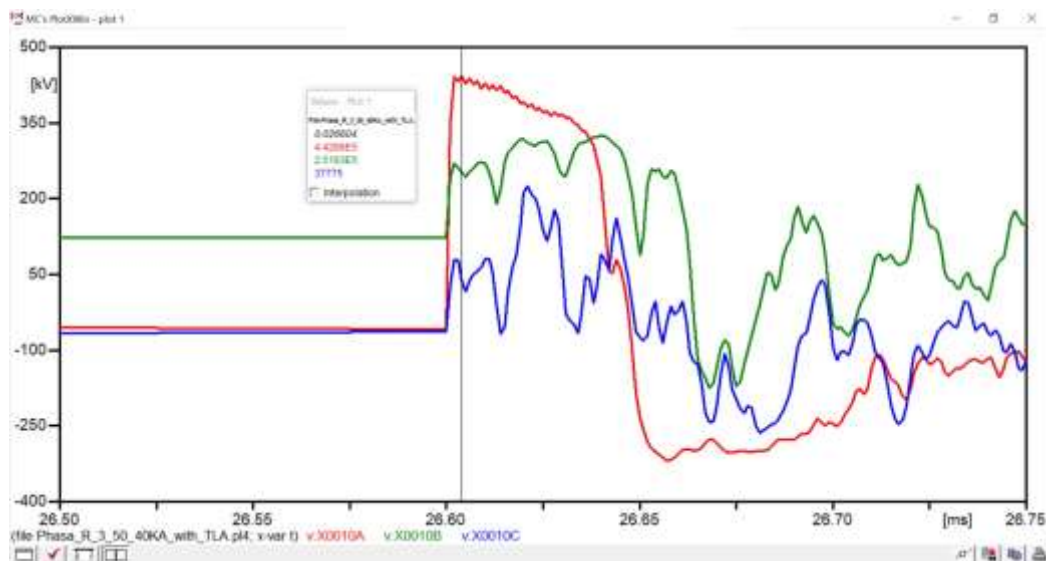
Gambar 4. 57 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada *Phasa R* menuju *steady state*

Gambar 4.57 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

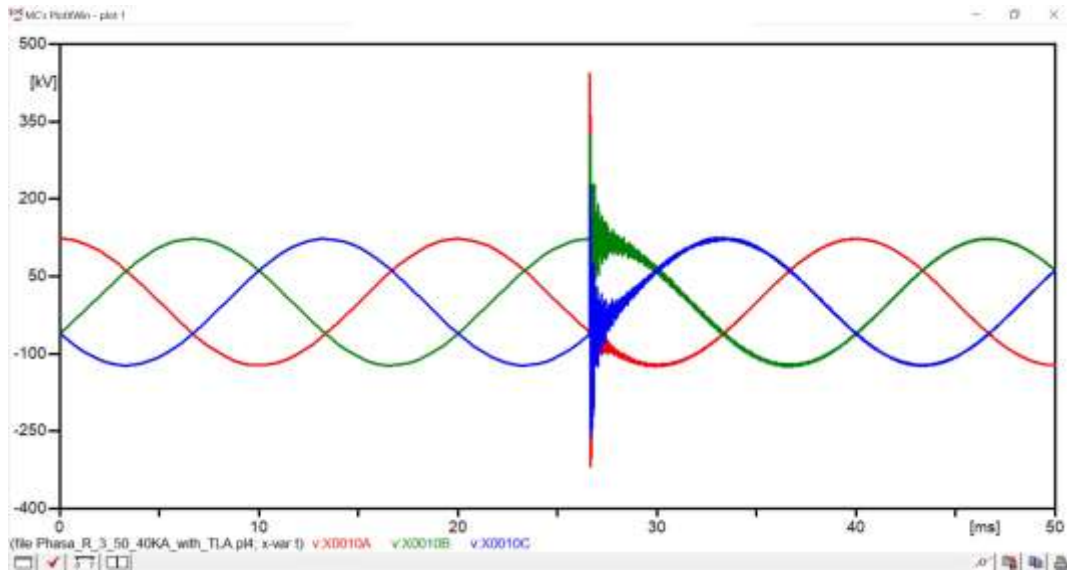
6. Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s *Phasa R* dengan TLA

Pada Gambar 4.58 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Phasa R* dengan waktu muka dan waktu ekor 3 μ s/50 μ s dengan TLA.



Gambar 4. 58 Sambaran 40 kA *Phasa R* 3 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.58 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap fasa R dengan nilai sambaran 40 kA dengan *TLA*, nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 442 kV (90,17%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 270 kV (85,91%) dan 78 kV (93,65%).



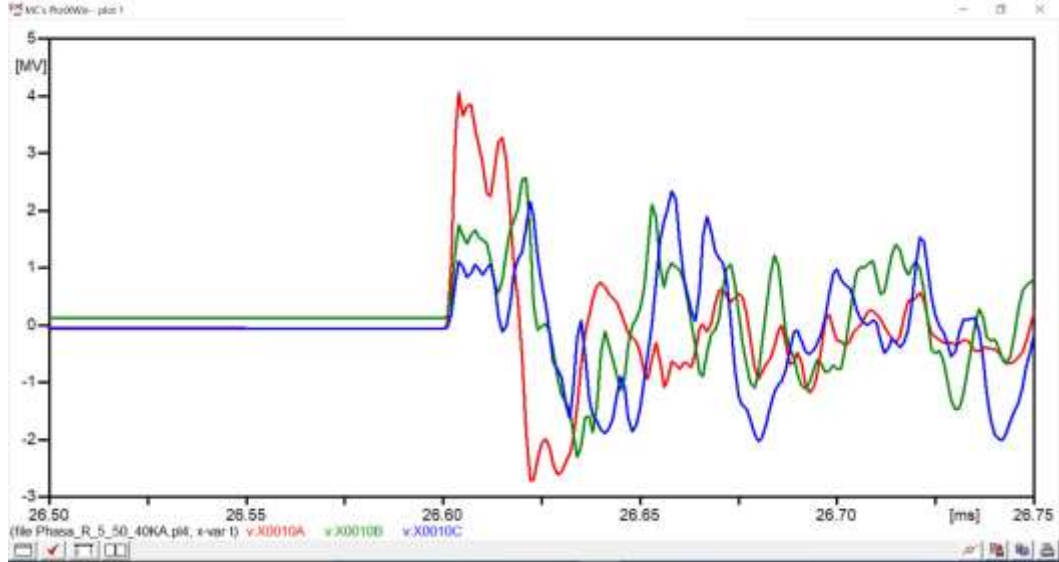
Gambar 4. 59 Sambaran 40 kA fasa R 3 μ s/50 μ s dengan *TLA*

Gambar 4.59 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Fasa R*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

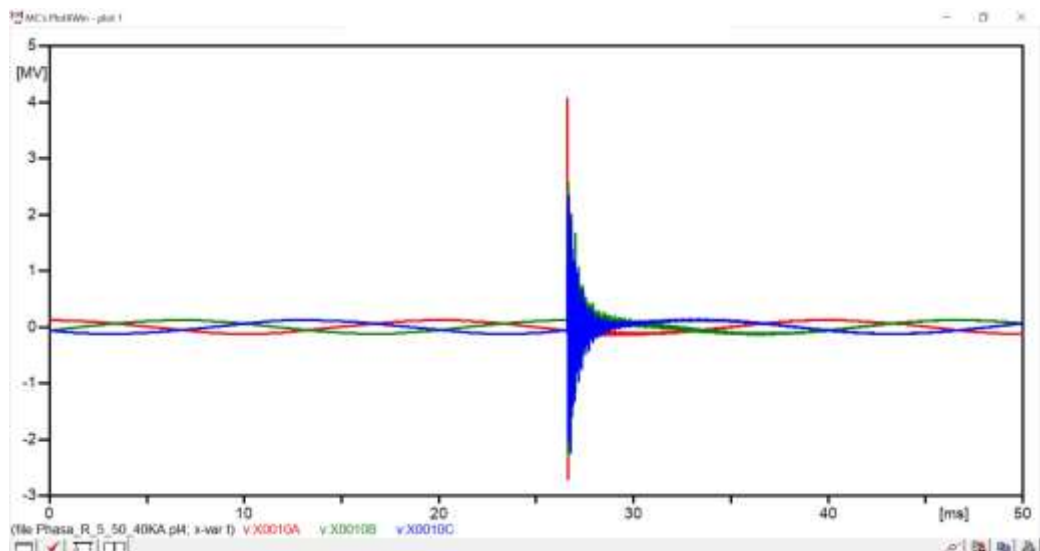
7. Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s *Phasa R*

Pada Gambar 4.60 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Phasa R* dengan waktu muka dan waktu ekor 5 μ s/50 μ s.



Gambar 4. 60 Sambaran 40 kA Pada *Phasa R* 5 μ s/50 μ s

Pada Gambar 4.60 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA, nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 4.063 kV, *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 1.752 kV dan 1.120 kV.



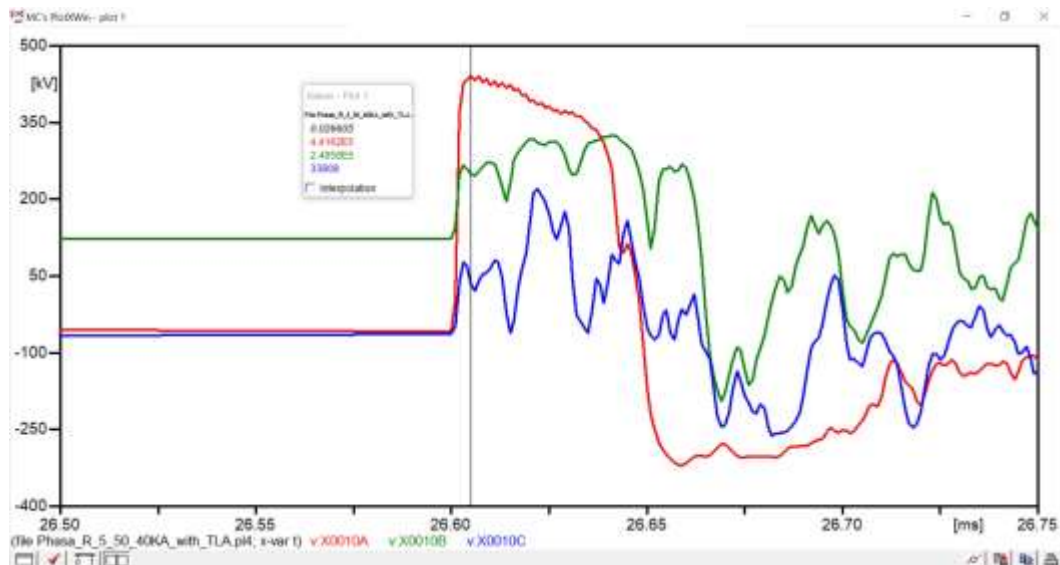
Gambar 4. 61 Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s Pada *Phasa R* menuju *steady state*

Gambar 4.61 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

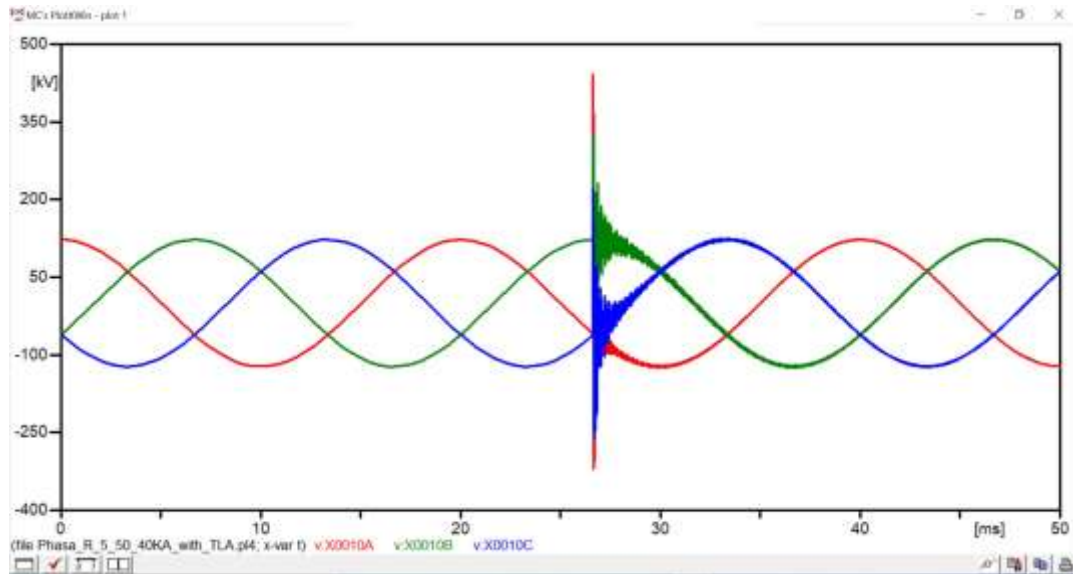
8. Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s *Phasa R* dengan TLA

Pada Gambar 4.62 menunjukkan hasil dari sambaran 40 kA pada *Phasa R* dengan waktu muka dan waktu ekor 5 μ s/50 μ s dengan TLA.



Gambar 4. 62 Sambaran 40 kA *Phasa R* 5 μ s/50 μ s dengan TLA

Pada Gambar 4.62 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA dengan TLA, nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 441 kV (89,15%). Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 267 kV (84,76%) dan 76 kV (93,21%).



Gambar 4. 63 Sambaran 40 kA fasa R $5\mu\text{s}/50\mu\text{s}$ dengan TLA

Gambar 4.63 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju steady state yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Fasa R*.

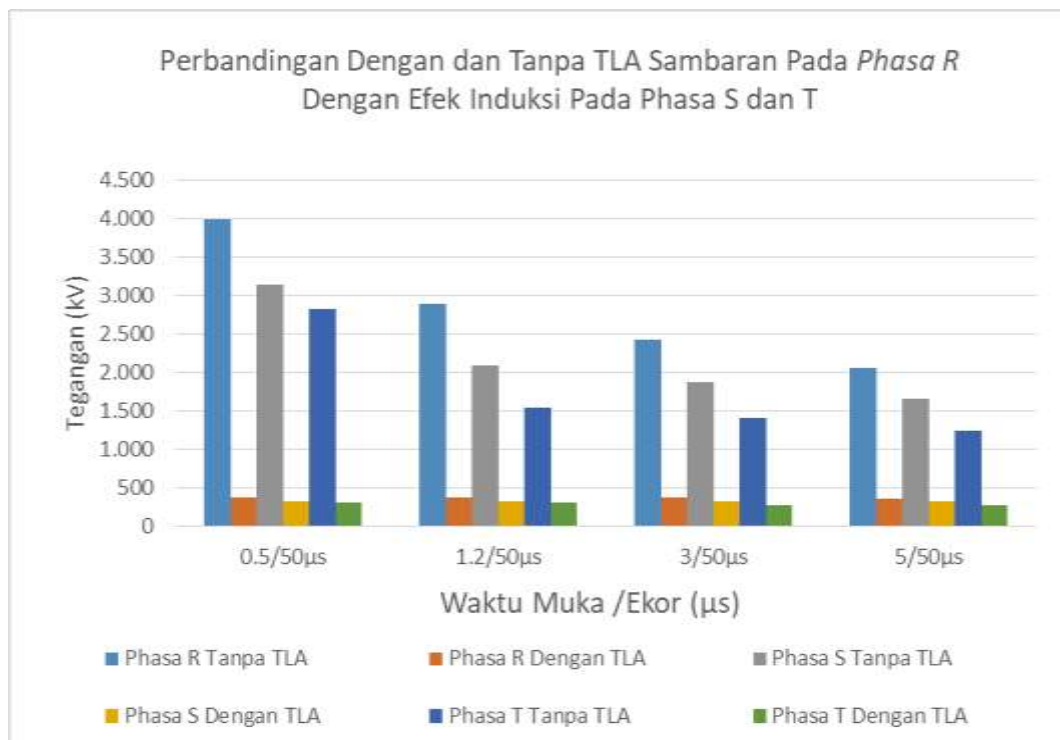
Proses kembali nya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

9. Analisis Pengujian Sambaran Terhadap *Phasa R* Dengan Nilai waktu muka bervariasi Dan Waktu Ekor 50 μ s

Tabel 4.14 menunjukkan nilai tegangan lebih puncak pada sambaran terhadap *Phasa R* dan efek kenaikan tegangan terhadap *phasa S* dan *phasa T* baik dengan dan tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*.

Tabel 4. 14 Data hasil simulasi pada sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan dan tanpa TLA

No	Arus (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Sambaran R		Induksi S		Induksi T	
			Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan
			(kV)		(kV)		(kV)	
1	40	0.5/50	4.989	439	2.040	256	1.287	43
2		1.2/50	5.050	440	2.061	269	1.301	83
3		3/50	4.497	441	1.916	270	1.228	78
4		5/50	4.063	441	1.752	267	1.120	76



Gambar 4. 64 Grafik perbandingan simulasi pada sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan dan tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* waktu muka bervariasi dan waktu ekor 50 μ s

Dari Gambar 4.64. yaitu sambaran terhadap *Phasa R*. Dengan merubah waktu muka dan arus sambaran petir 40 kA, didapatkan hasil muka tegangan impuls petir mempengaruhi nilai tegangan induksi petir. Semakin cepat (kecil) waktu muka, semakin besar tegangan puncak induksi petir. Hubungan antara waktu muka dengan besar tegangan impuls menurut standar adalah 1,2 μ s.

Hasil simulasi sambaran didapatkan bahwa semakin besar nilai arus sambaran petir maka kenaikan tegangan pada titik yang terdekat dari titik sambar yaitu phasa R akan semakin besar pula. Kenaikan tersebut diikuti dengan tinggi nilai dari efek tegangan induksi yang terjadi pada phasa S dan phasa T. Nilai tegangan pada phasa R lebih besar dibandingkan dengan phasa S dan T, dikarenakan phasa R lebih dekat dengan titik sambar.

Oleh karena itu fasa R akan terlebih dahulu mengalami flash akibat fenomena backflashover. Pada saat terjadi backflashover, arus yang besar akan mengalir pada titik sambaran. Sehingga terjadi perubahan impedansi penghantar pada daerah titik sambaran. Muatan yang dilepas oleh penghantar akan mengalir ke dua arah (kanan dan kiri) dalam bentuk gelombang berjalan (*travelling wave*) dan bisa menyebabkan *trip* pada gardu induk dan mengganggu jalannya proses transmisi daya.

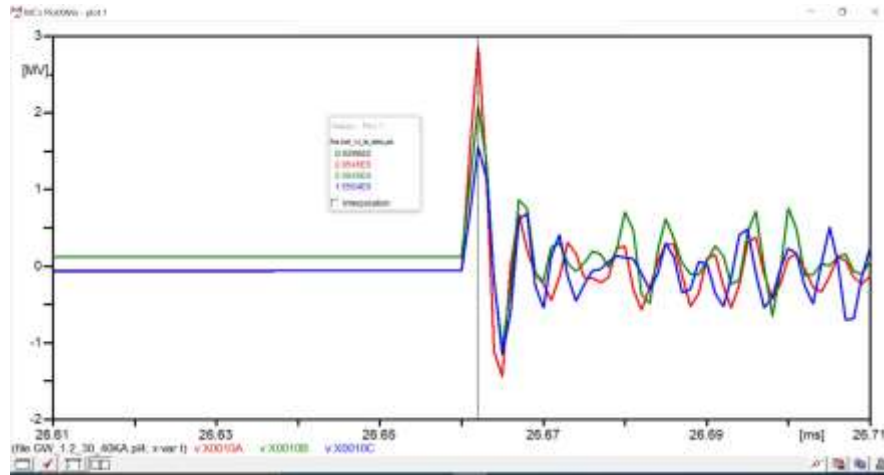
Penggunaan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap masing-masing dari kawat phasa sangat efektif penggunaannya guna memotong tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir.

Pada saat terjadi gangguan tegangan lebih akibat surja petir, maka harga tahanan dari arrester akan naik dengan cepat jika tegangan dan arus naik. Tegangan sisa (*Residual Voltage* atau tegangan yang timbul diantara terminal arrester pada saat terjadinya tembus tegangan) akan dibatasi walaupun arus yang mengalir cukup besar. Tegangan lebih yang naik dengan cepat ini menyebabkan energi di lepas ke tanah, dengan demikian tegangan lebih tidak akan sampai ke switchyard dan membahayakan sistem. Dari hasil simulasi dengan penggunaan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa, nilai kenaikan pada phasa R tidak ada yang melebihi dari rating *Basic Insulation Level (BIL)* isolator 150 kV yaitu 750 kV sehingga peralatan isolasi yang digunakan masih aman.

4.4 Pengujian Dengan Nilai Waktu Ekor Bervariasi

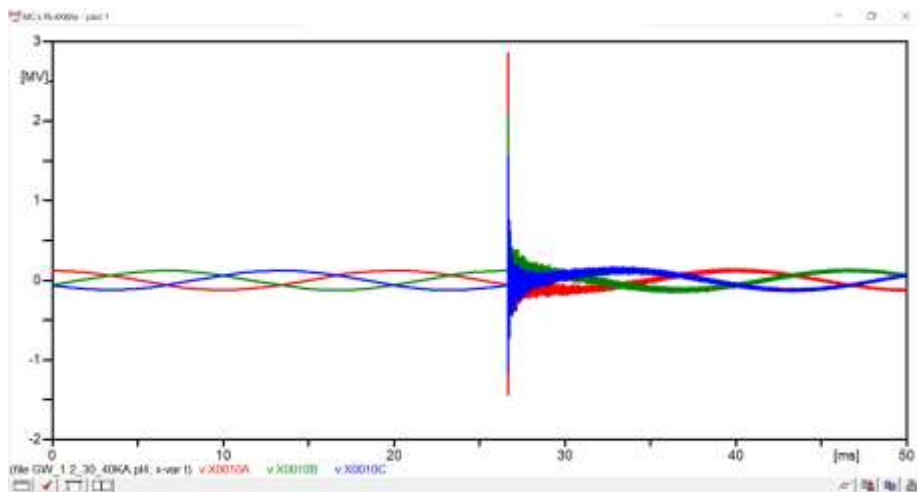
4.4.1 Sambaran Pada *Ground Wire*

1. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s *Ground Wire*



Gambar 4. 65 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Pada *Ground Wire*

Gambar 4.65 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 30 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 2.854 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 2.084 kV dan 1.556 kV.

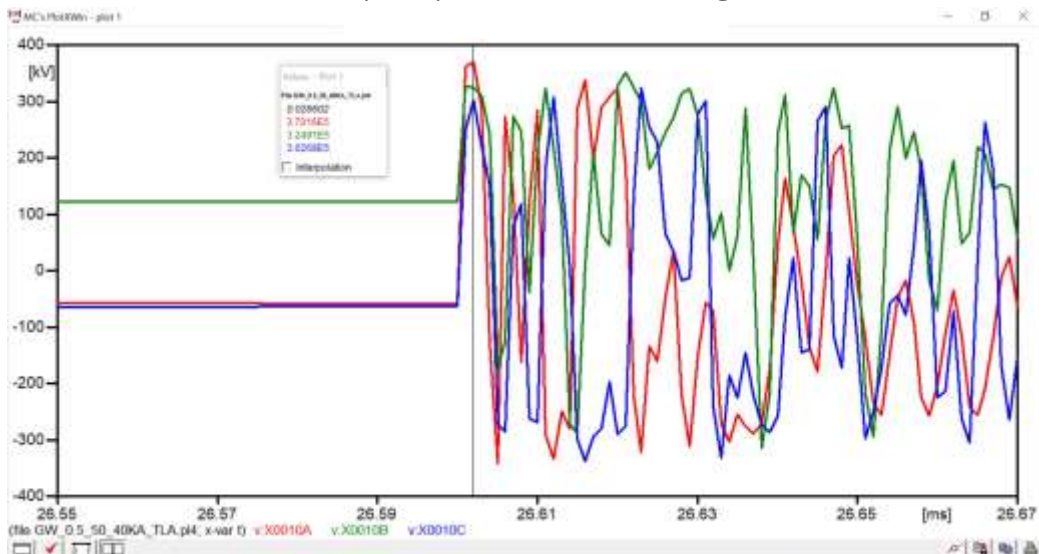


Gambar 4. 66 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

Gambar 4.66 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

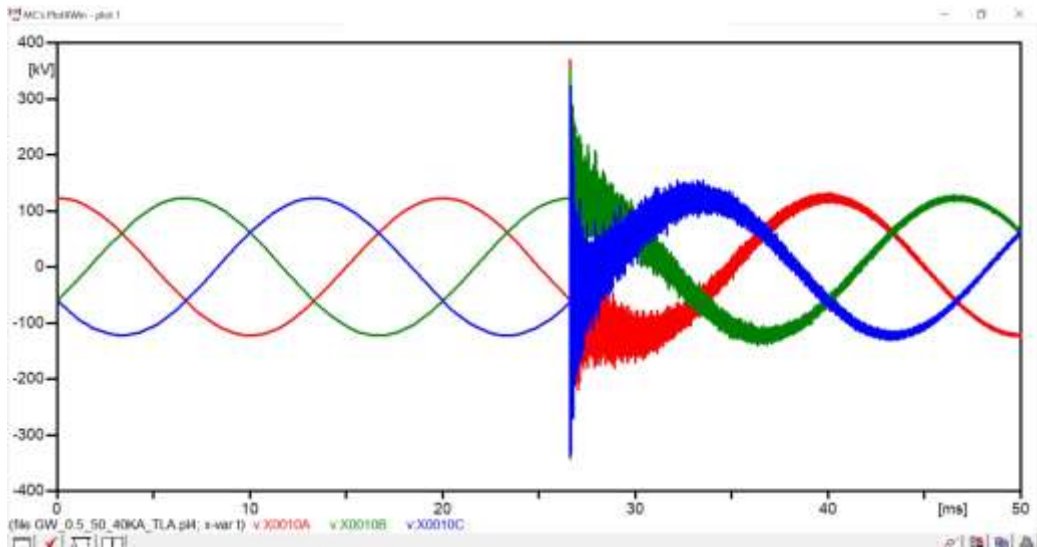
Proses kembalinya gelombang dalam keadaan Tegangan kerja jaringan 150 kV tidak akan sepenuhnya kembali normal. Dikarenakan induksi yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Tower/menara transmisi akan mempengaruhi tegangan pada sistem. Namun efek kenaikan tegangan induksi tersebut beransur mengecil atau berkurang, seiring dengan jarak yang telah dilalui dari titik sambar. Namun pada pengujian ini, kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir akan mendekati tegangan kerja jaringan SUTT 150 kV dalam waktu 0.02335 milisecon.

2. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s *Ground Wire* dengan TLA



Gambar 4. 67 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Pada *Ground Wire* dengan TLA

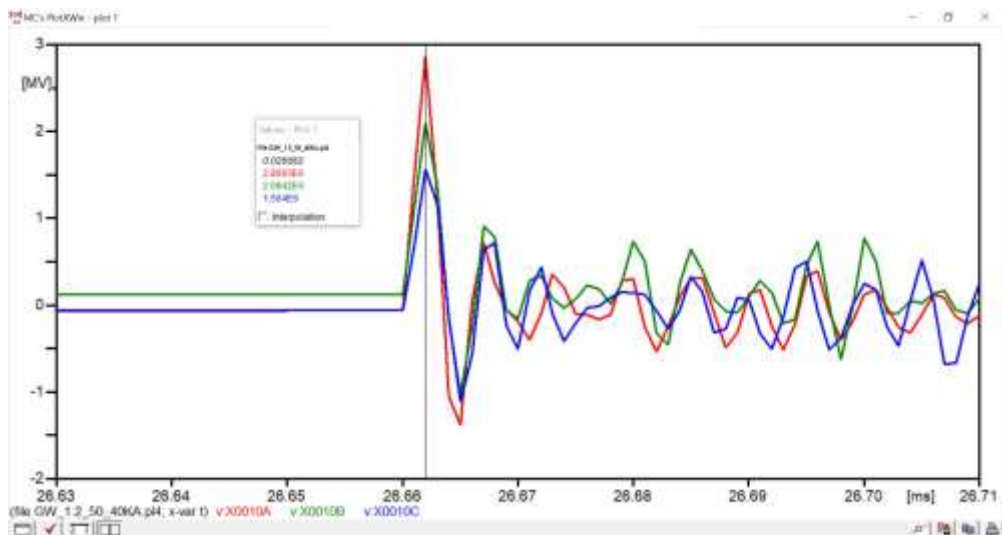
Gambar 4.67 menunjukkan sambaran pada *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 1.2 μ s Waktu Ekor 30 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *ground wire*, kawat fasa R,S,T menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Fasa R mengalami kenaikan sebesar 338 kV. Diikuti dengan kenaikan nilai fasa S dan T masing-masing sebesar 253 kV dan 246 kV.



Gambar 4. 68 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan *TLA*

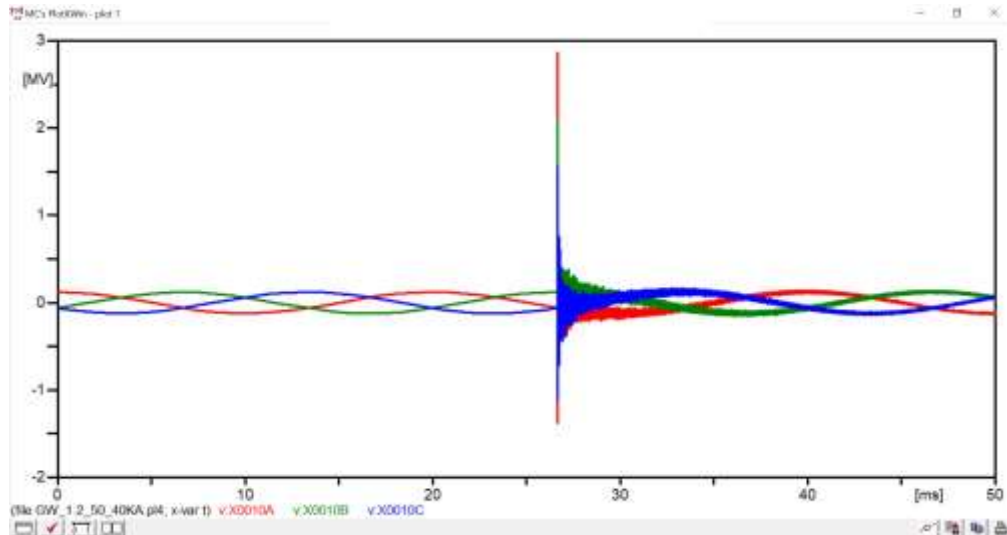
Gambar 4.68 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

3. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s *Ground Wire*



Gambar 4. 69 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire*

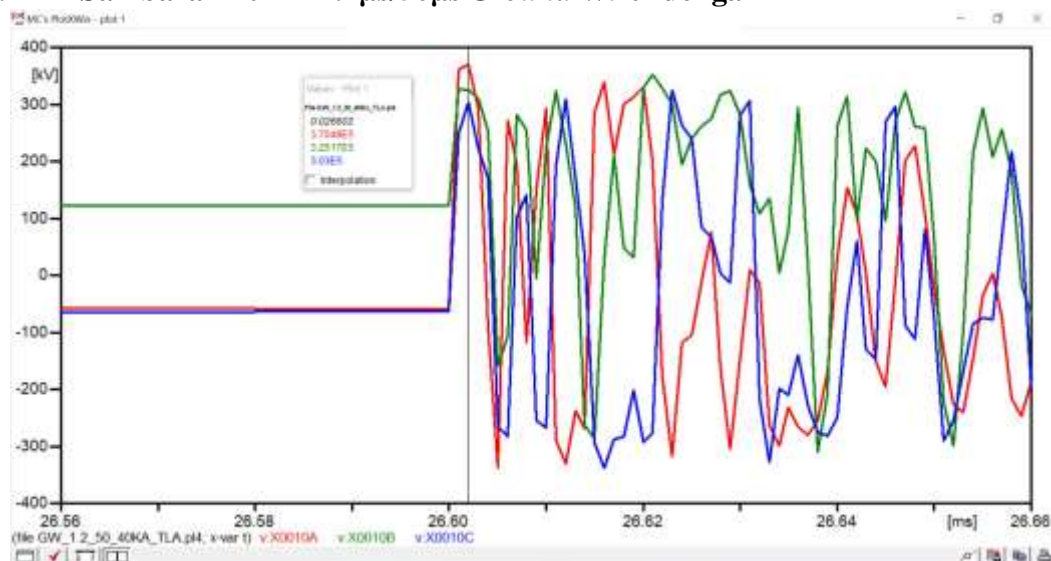
Gambar 4.69 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 50 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 2.869 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 2.094 kV dan 1.564 kV.



Gambar 4. 70 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

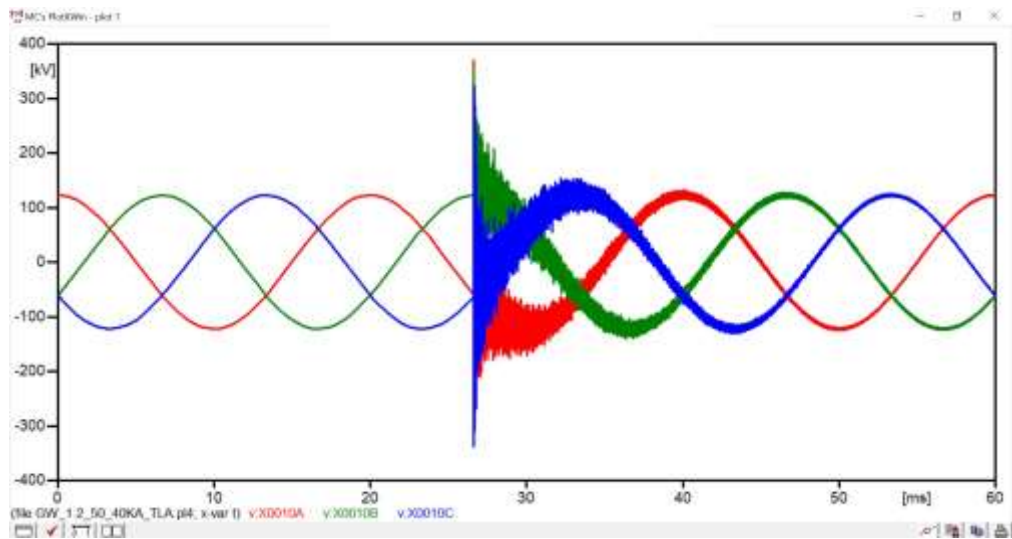
Gambar 4.70 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

4. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s *Ground Wire* dengan TLA



Gambar 4. 71 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* dengan TLA

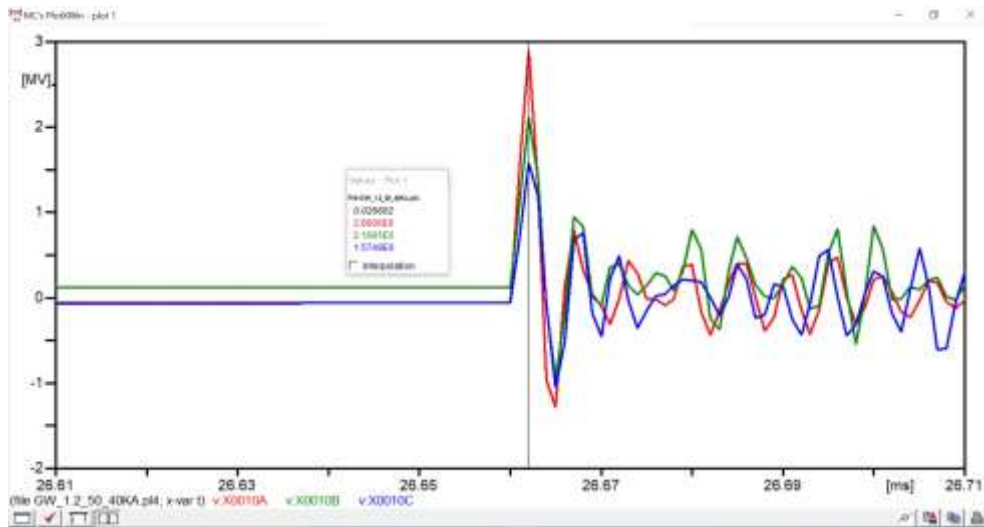
Gambar 4.71 menunjukkan sambaran pada *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 1.2 μ s Waktu Ekor 50 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *ground wire*, kawat fase R,S,T menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Fasa R mengalami kenaikan sebesar 340 kV. Diikuti dengan kenaikan nilai fasa S dan T masing-masing sebesar 256 kV dan 247 kV.



Gambar 4. 72 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan *TLA*

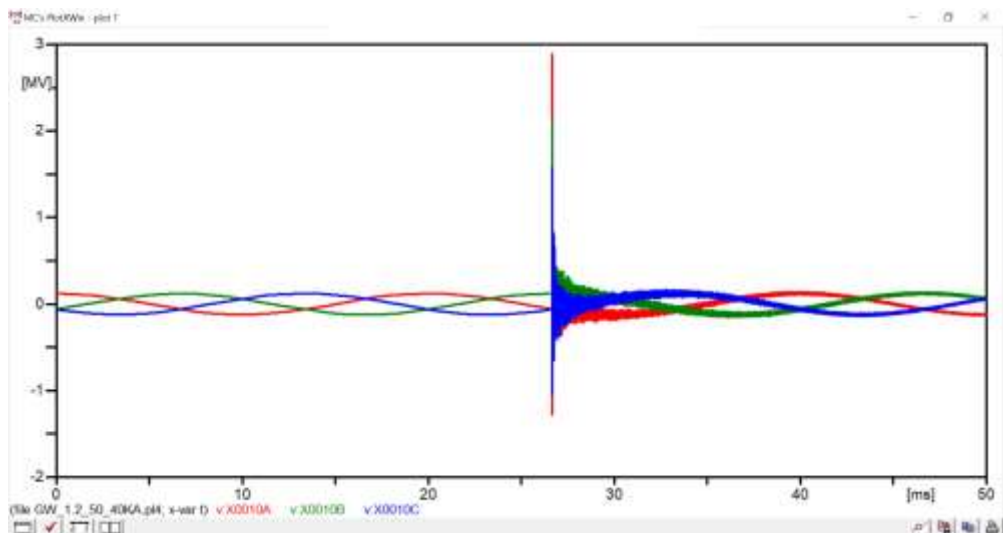
Gambar 4.72 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

5. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s *Ground Wire*



Gambar 4. 73 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Pada *Ground Wire*

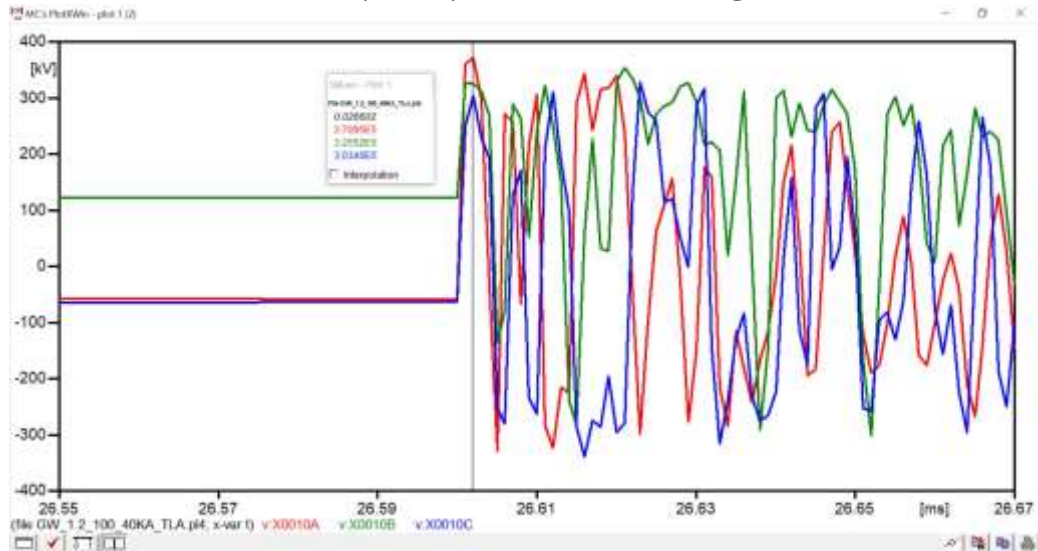
Gambar 4.73 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 100 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 2.890 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 2.108 kV dan 1.574 kV.



Gambar 4. 74 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

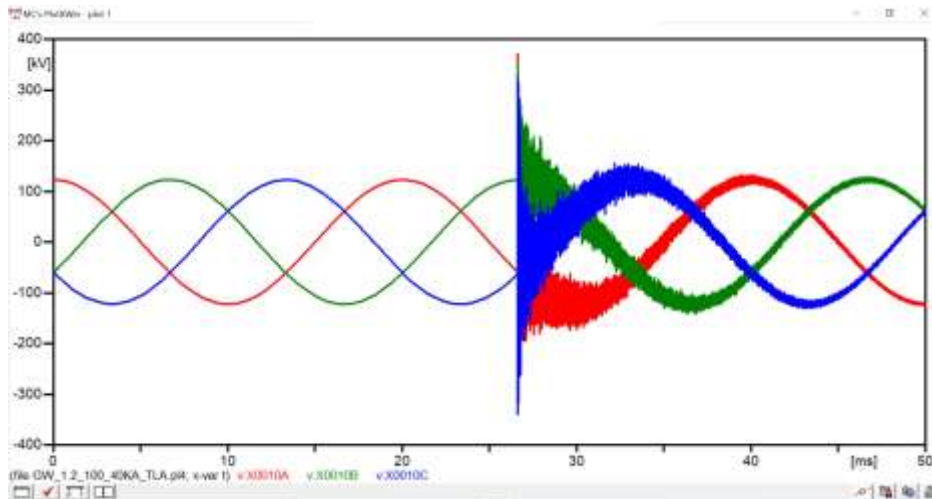
Gambar 4.74 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

6. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s *Ground Wire* dengan TLA



Gambar 4. 75 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Pada *Ground Wire* dengan TLA

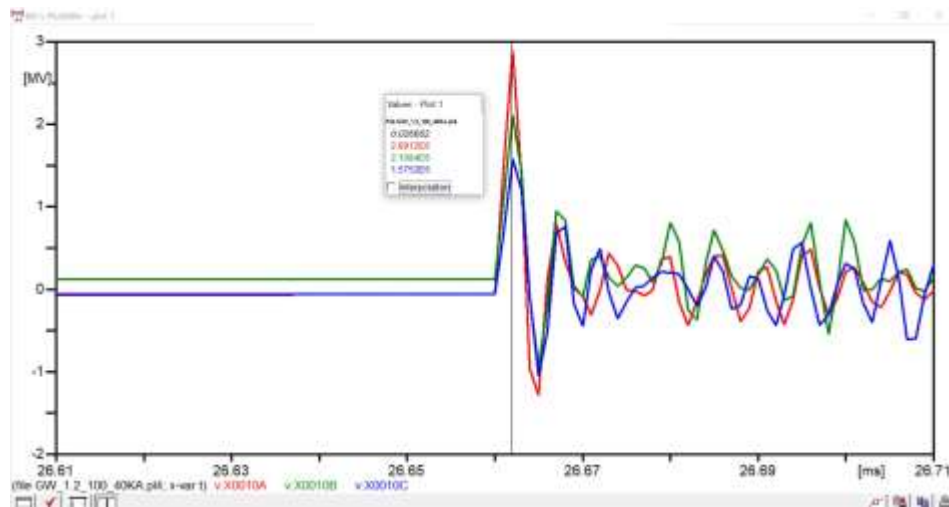
Gambar 4.75 menunjukkan sambaran pada *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 1.2 μ s Waktu Ekor 100 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *ground wire*, kawat fasa R,S,T menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Fasa R mengalami kenaikan sebesar 342 kV. Diikuti dengan kenaikan nilai fasa S dan T masing-masing sebesar 258 kV dan 249 kV.



Gambar 4. 76 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

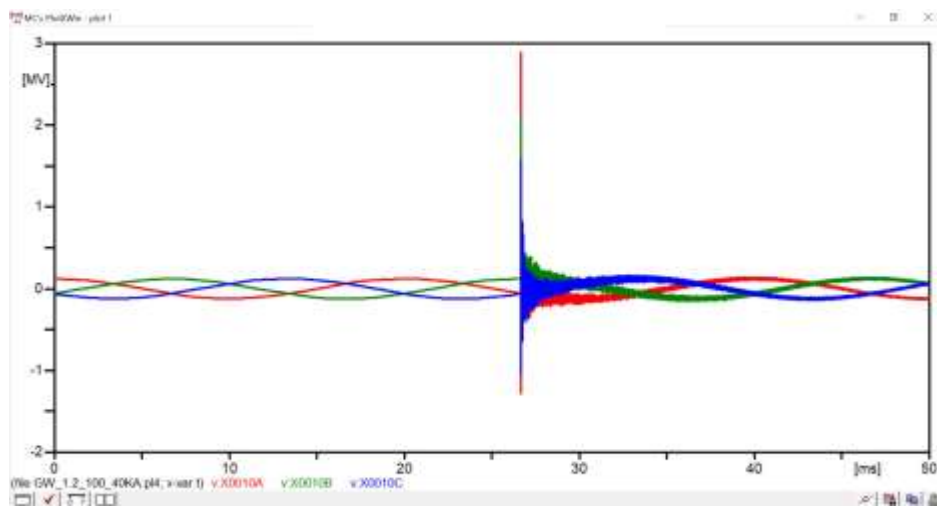
Gambar 4.76 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

7. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s *Ground Wire*



Gambar 4. 77 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Pada *Ground Wire*

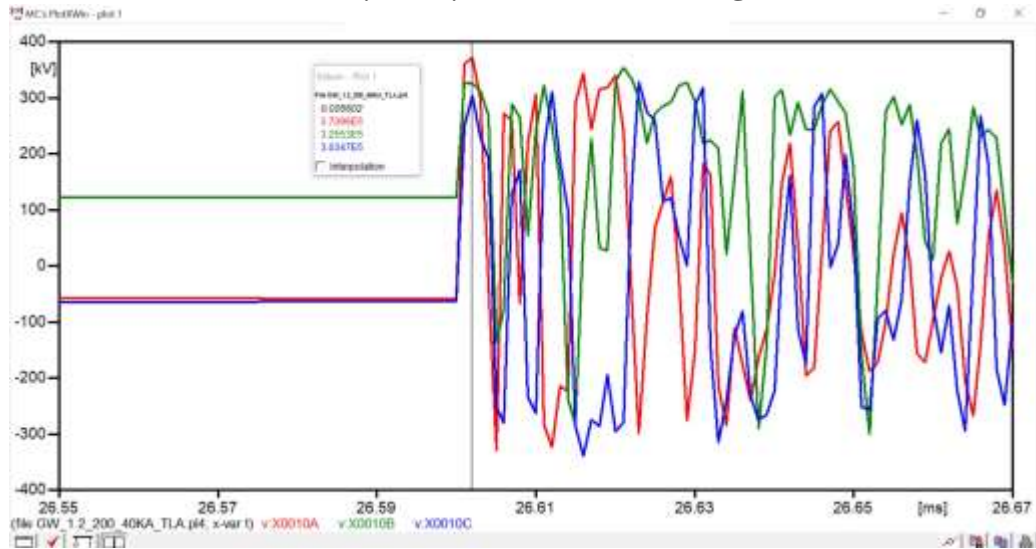
Gambar 4.77 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 200 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 2.891 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 2.108 kV dan 1.575 kV.



Gambar 4. 78 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state*

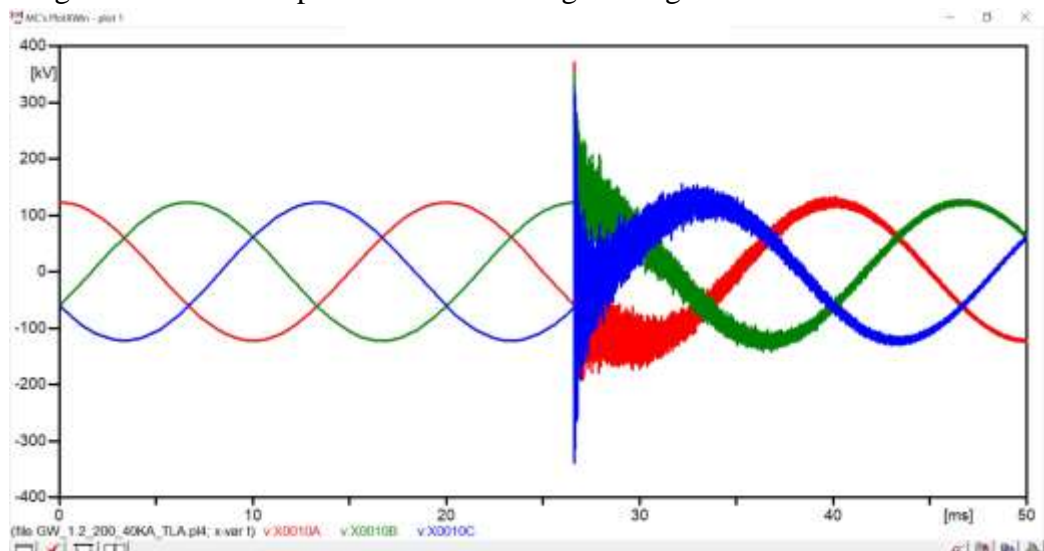
Gambar 4.78 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *ground wire*.

8. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s *Ground Wire* dengan TLA



Gambar 4. 79 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Pada *Ground Wire* dengan TLA

Gambar 4.79 menunjukkan sambaran pada *ground wire* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 1.2 μ s Waktu Ekor 200 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *ground wire*, kawat fasa R,S,T menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Fasa R mengalami kenaikan sebesar 345 kV. Diikuti dengan kenaikan nilai fasa S dan T masing-masing sebesar 259 kV dan 250 kV.



Gambar 4. 80 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Pada *Ground Wire* menuju *steady state* dengan TLA

Gambar 4.60 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir

terhadap *ground wire* dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

9. Analisis Pengujian Sambaran Terhadap Ground Wire Dengan Nilai waktu muka $1.2\mu\text{s}$ Dan Waktu Ekor bervariasi

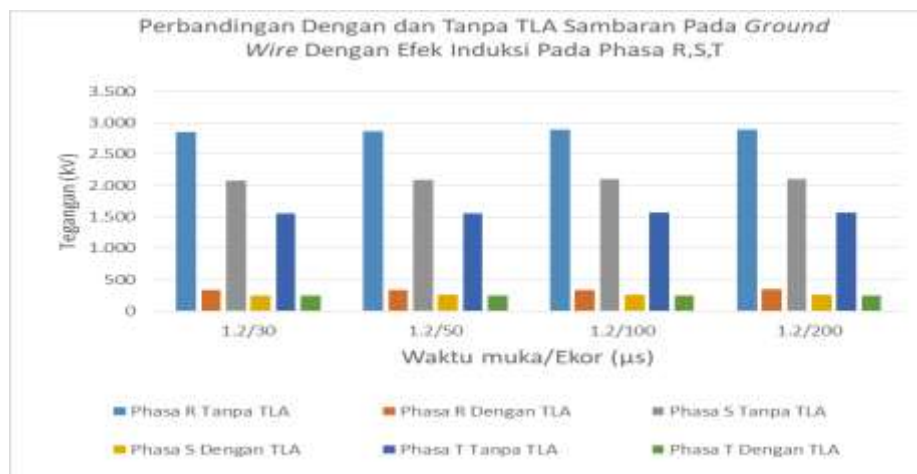
Tabel 4.15 menunjukkan nilai tegangan lebih puncak pada sambaran terhadap *Ground Wire* dan efek kenaikan tegangan terhadap *ground wire* baik dengan dan tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*.

Tabel 4. 15 Data hasil simulasi pada sambaran petir terhadap *Ground Wire* Tanpa TLA

No	Arus Sambaran (kA)	Waktu Muka/Ekor (μs)	Induksi Pada Fasa R,S,T		
			R (kV)	S (kV)	T (kV)
1	40	1.2/30	2.854	2.084	1.556
2		1.2/50	2.869	2.094	1.564
3		1.2/100	2.890	2.108	1.574
4		1.2/200	2.891	2.108	1.575

Tabel 4. 16 Data hasil simulasi pada sambaran petir terhadap *Ground Wire* Dengan TLA

No	Arus Sambaran (kA)	Waktu Muka/Ekor (μs)	Induksi Pada Fasa R,S,T		
			R (kV)	S (kV)	T (kV)
1	40	1.2/30	338	253	246
2		1.2/50	340	256	247
3		1.2/100	342	258	249
4		1.2/200	345	259	250



Gambar 4. 81 Grafik perbandingan simulasi pada sambaran petir terhadap *Ground Wire* dengan dan tanpa TLA waktu muka $1.20\mu\text{s}$ dan waktu ekor bervariasi

Dari Gambar 4.81., yaitu sambaran terhadap *ground wire*. Dengan merubah waktu ekor dan arus sambaran petir 40 kA, didapatkan hasil waktu ekor tegangan impuls petir mempengaruhi nilai tegangan induksi petir. Semakin cepat (kecil) waktu ekor petir, semakin kecil tegangan puncak induksi petir. Hubungan antara waktu ekor dengan besar tegangan induksi petir berbanding lurus. Waktu ekor tegangan impuls menurut standar adalah 50 μ s.

Hasil simulasi sambaran didapatkan bahwa semakin besar nilai waktu ekor maka kenaikan tegangan pada titik yang terdekat dari titik sambar yaitu fasa R akan semakin besar pula. Kenaikan tersebut diikuti dengan tinggi nilai dari efek tegangan induksi yang terjadi pada fasa S dan fasa T. Nilai tegangan pada fasa R lebih besar dibandingkan dengan fasa S dan T, dikarenakan fasa R lebih dekat dengan titik sambar.

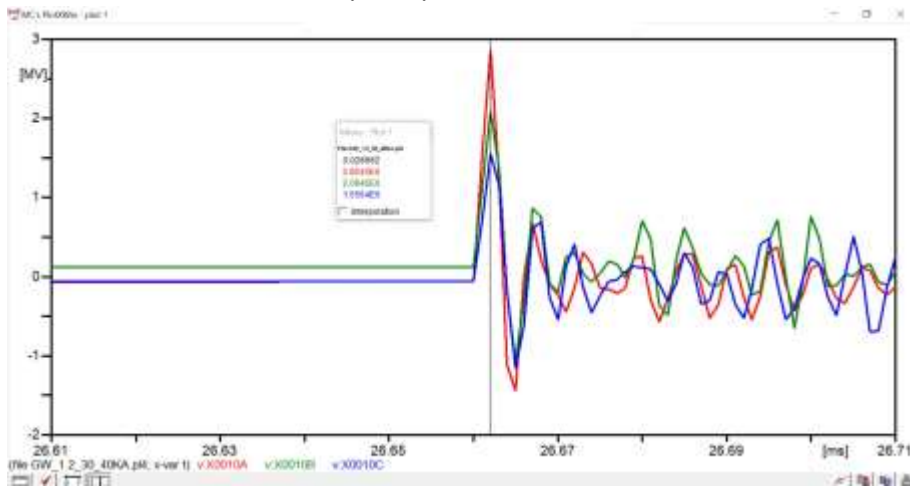
Oleh karena itu fasa R akan terlebih dahulu mengalami flash akibat fenomena backflashover. Pada saat terjadi backflashover, arus yang besar akan mengalir pada titik sambaran. Sehingga terjadi perubahan impedansi penghantar pada daerah titik sambaran. Muatan yang dilepas oleh penghantar akan mengalir ke dua arah (kanan dan kiri) dalam bentuk gelombang berjalan (*travelling wave*) dan bisa menyebabkan *trip* pada gardu induk dan mengganggu jalannya proses transmisi daya.

Penggunaan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap masing-masing dari kawat fasa sangat efektif penggunaannya guna memotong tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir. Pada saat terjadi gangguan tegangan lebih akibat surja petir, maka harga tahanan dari arrester akan naik dengan cepat jika tegangan dan arus naik. Tegangan sisa (*Residual Voltage* atau tegangan yang timbul diantara terminal arrester pada saat terjadinya tembus tegangan) akan dibatasi walaupun arus yang mengalir cukup besar. Tegangan lebih yang naik dengan cepat ini menyebabkan energi di lepas ke tanah, dengan demikian tegangan lebih tidak akan sampai ke switchyard dan membahayakan sistem.

Dari hasil simulasi dengan penggunaan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa, nilai kenaikan pada fasa R tidak ada yang melebihi dari rating *Basic Insulation Level (BIL)* isolator 150 kV yaitu 750 kV sehingga peralatan isolasi yang digunakan masih aman.

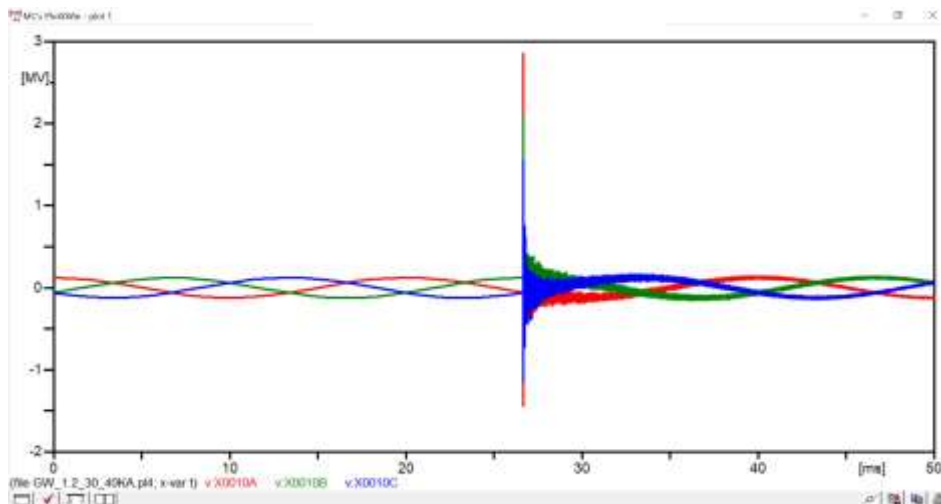
4.4.2 Sambaran Pada *Phasa R*

1. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s *Phasa R*



Gambar 4. 82 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s *Phasa R*

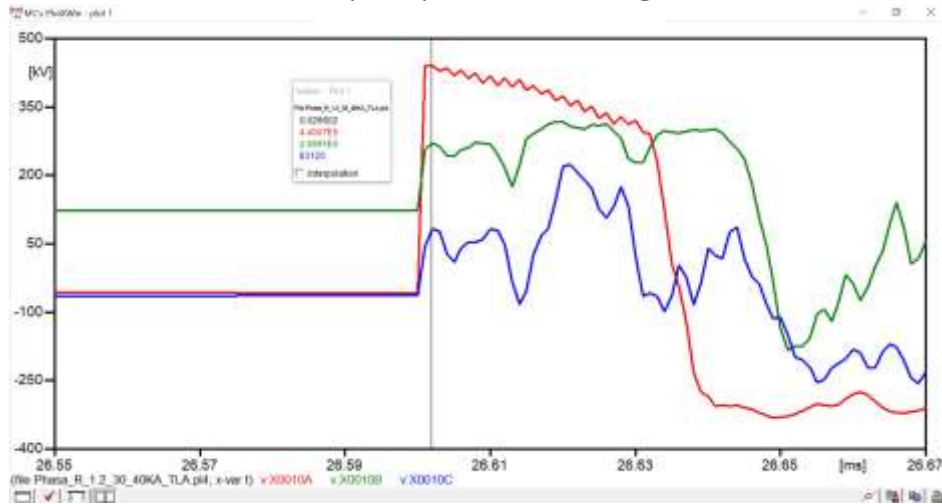
Gambar 4.82 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 30 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 5.022 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 2.051 kV dan 1.295 kV.



Gambar 4. 83 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s *Phasa R* menuju *steady state*

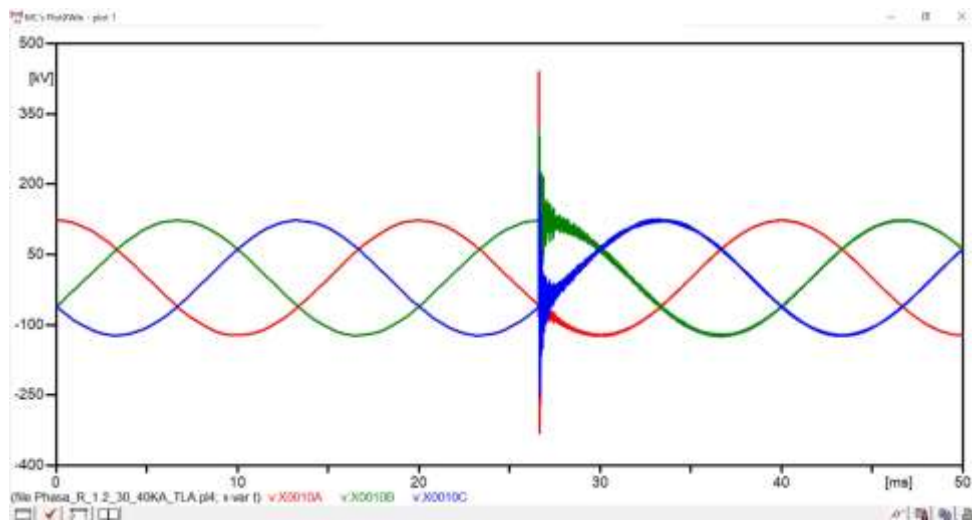
Gambar 4.83 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

2. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s *Phasa R* dengan TLA



Gambar 4. 84 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s *Phasa R*

Gambar 4.84 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 1.2 μ s Waktu Ekor 30 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *Phasa R*, kawat *phasa R,S,T* menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Nilai kenaikan tegangan pada *phasa R* sebesar 440 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap *phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 269 kV dan 83 kV.

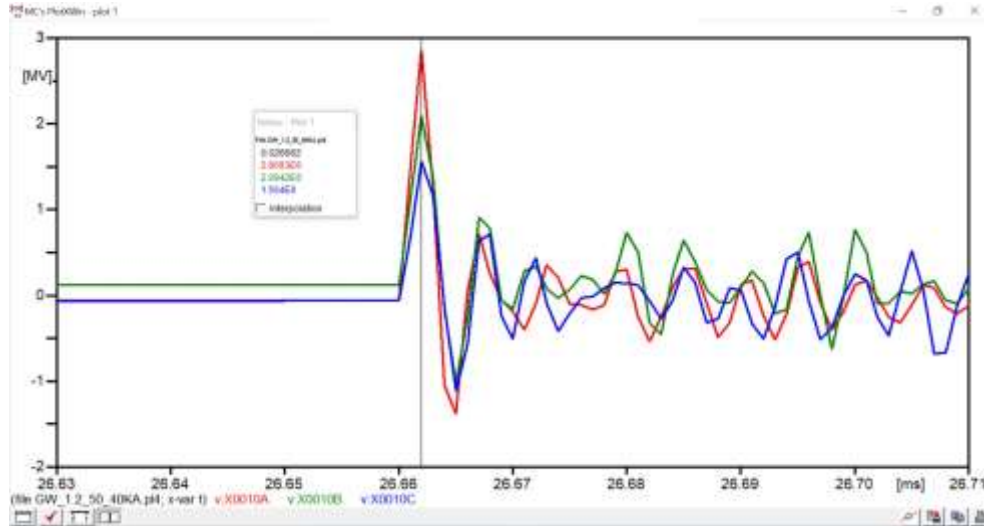


Gambar 4. 85 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s *Phasa R* menuju *steady state*

Gambar 4.85 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *stade state* yang diakibatkan oleh sambaran petir

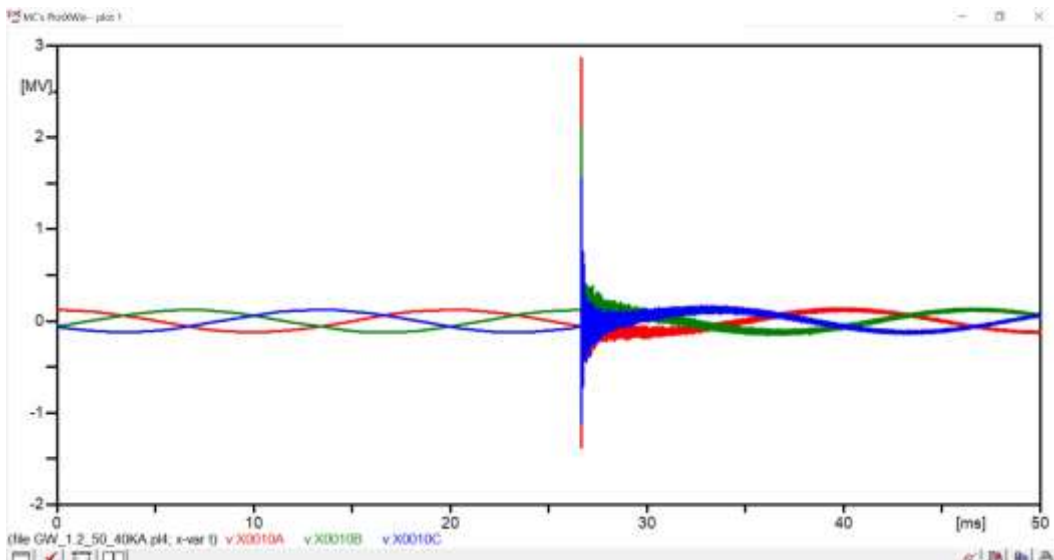
terhadap fasa R dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

3. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s *Phasa R*



Gambar 4. 86 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s *Phasa R*

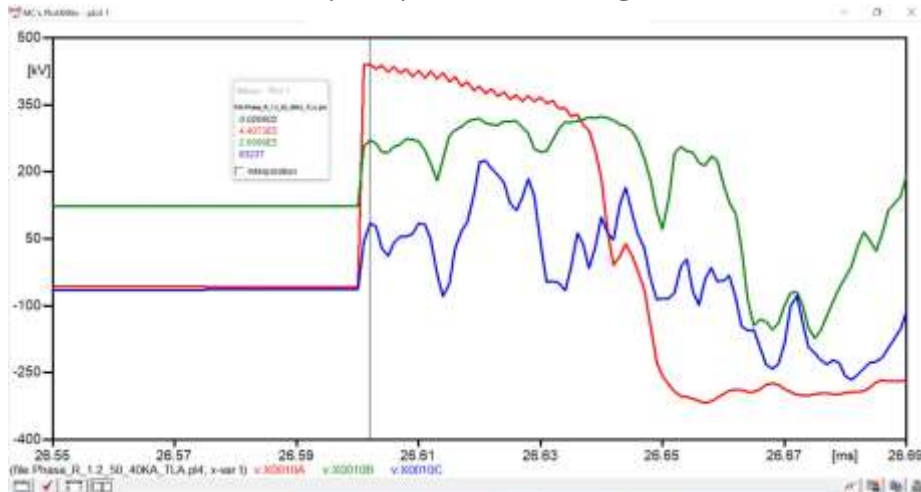
Gambar 4.66 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap fasa R dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 50 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 5.050 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 2.061 kV dan 1.301 kV.



Gambar 4. 87 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s *Phasa R* menuju *steady state*

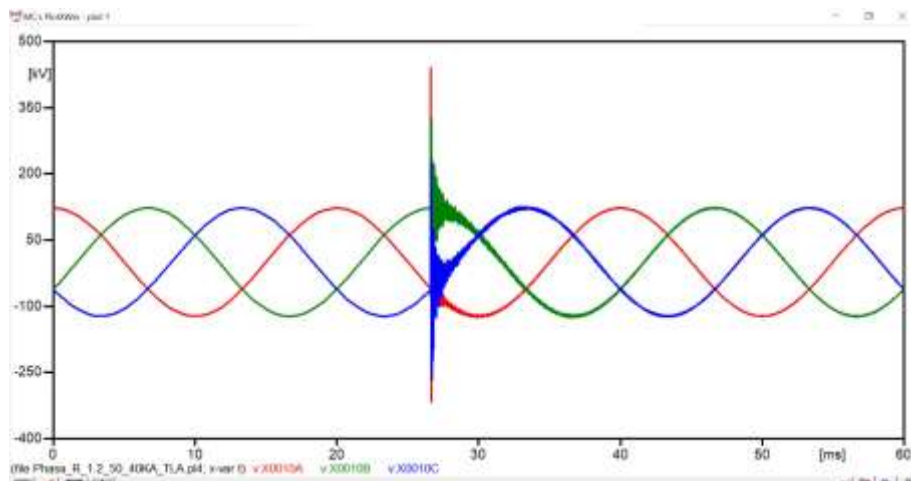
Gambar 4.87 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap fasa R.

4. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Fasa R dengan TLA



Gambar 4. 88 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Fasa R

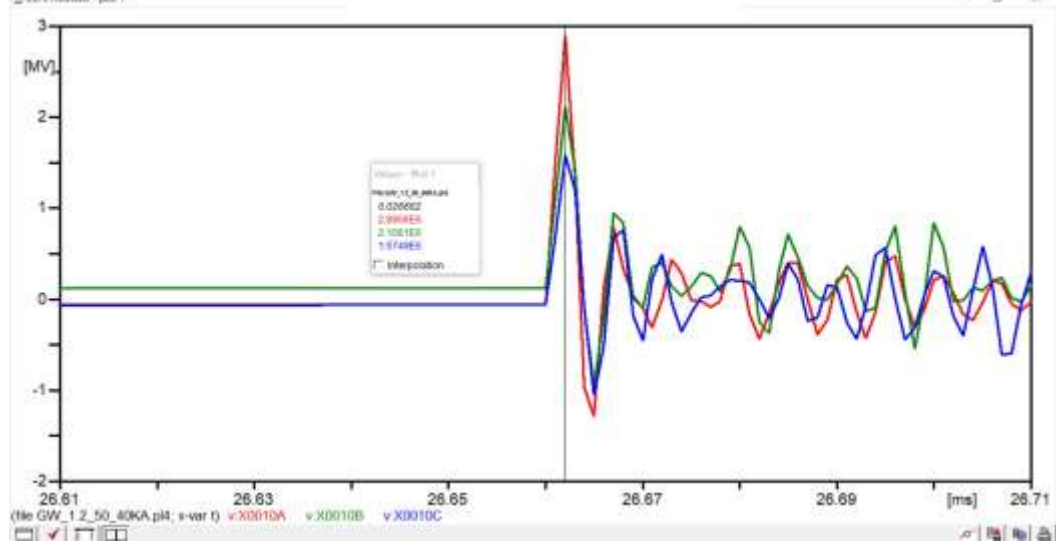
Gambar 4.88 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap Fasa R dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 1.2 μ s Waktu Ekor 50 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *Fasa R*, kawat fasa R,S,T menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 449 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 276 kV dan 87 kV.



Gambar 4. 89 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Fasa R menuju *steady state*

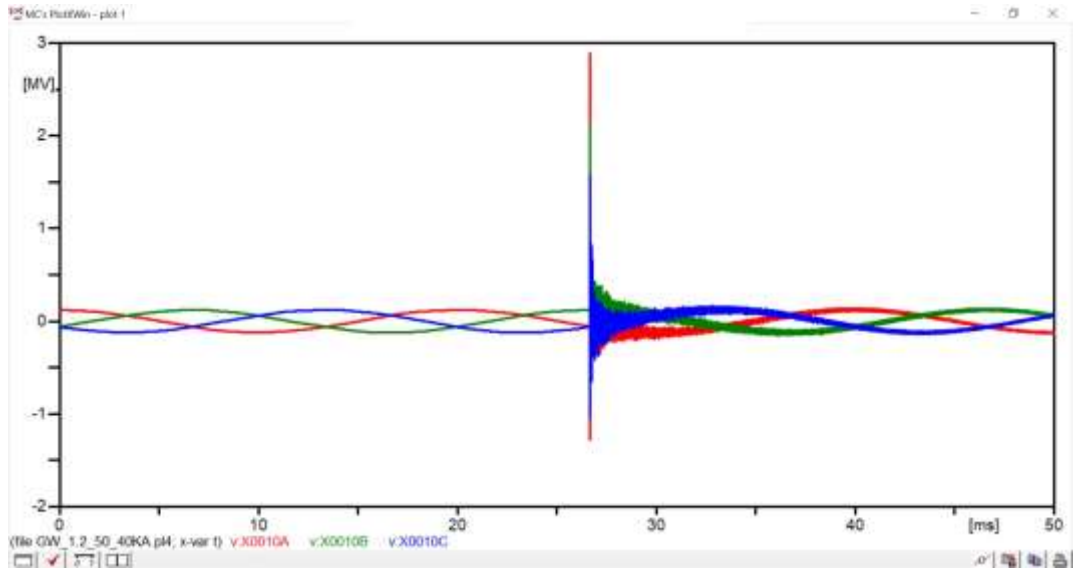
Gambar 4.89 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *stade state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap fasa R dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

5. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s *Phasa R*



Gambar 4. 90 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s *Phasa R*

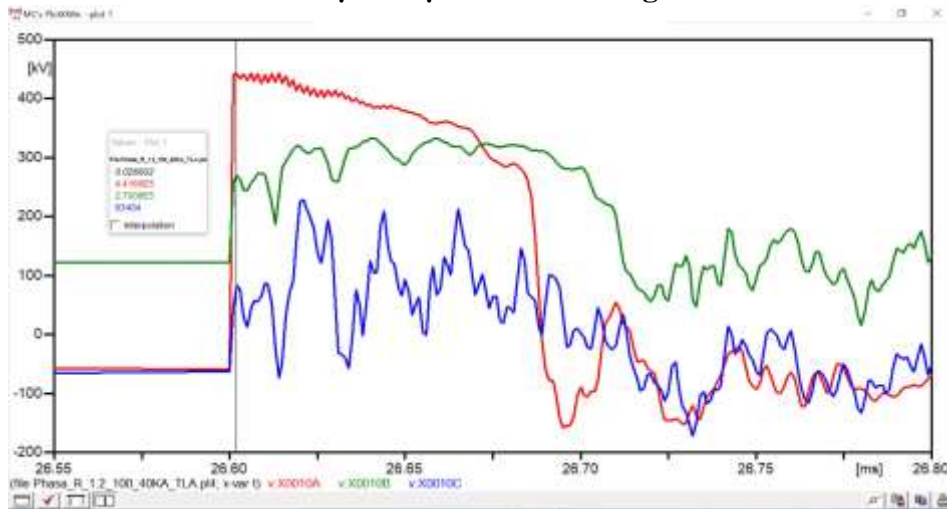
Gambar 4.90 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap fasa R dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 100 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 5.091 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap fasa S dan T masing-masing sebesar 2.075 kV dan 1.311 kV.



Gambar 4. 91 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s *Phasa R* menuju *steady state*

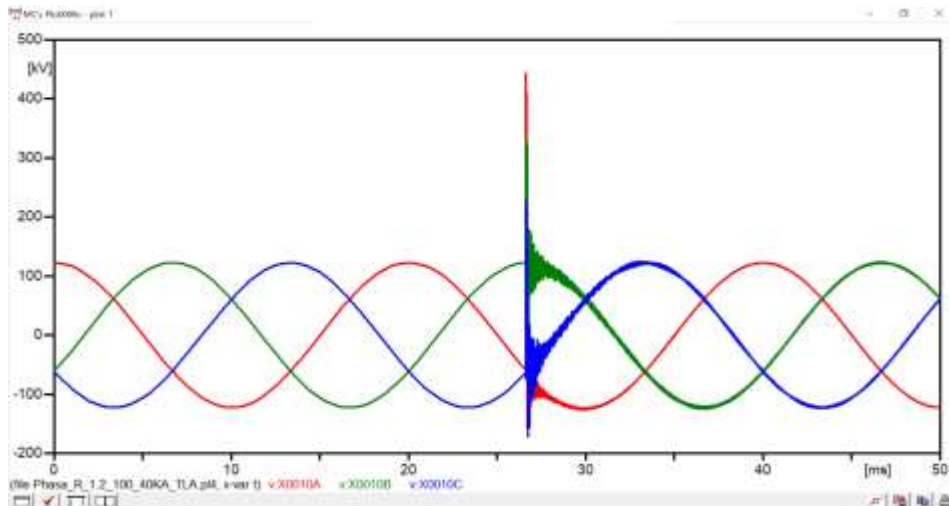
Gambar 4.91 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

6. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s *Phasa R* dengan TLA



Gambar 4. 92 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s *Phasa R*

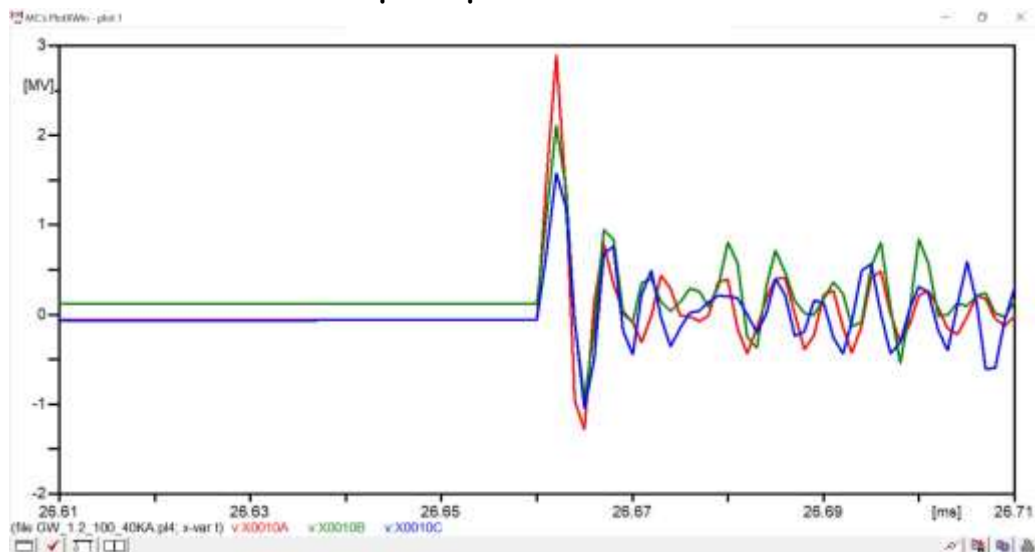
Gambar 4.92 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 1.2 μ s Waktu Ekor 100 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *Phasa R*, kawat *Phasa R,S,T* menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 457 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 289 kV dan 91 kV.



Gambar 4. 93 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s *Phasa R* menuju *steady state*

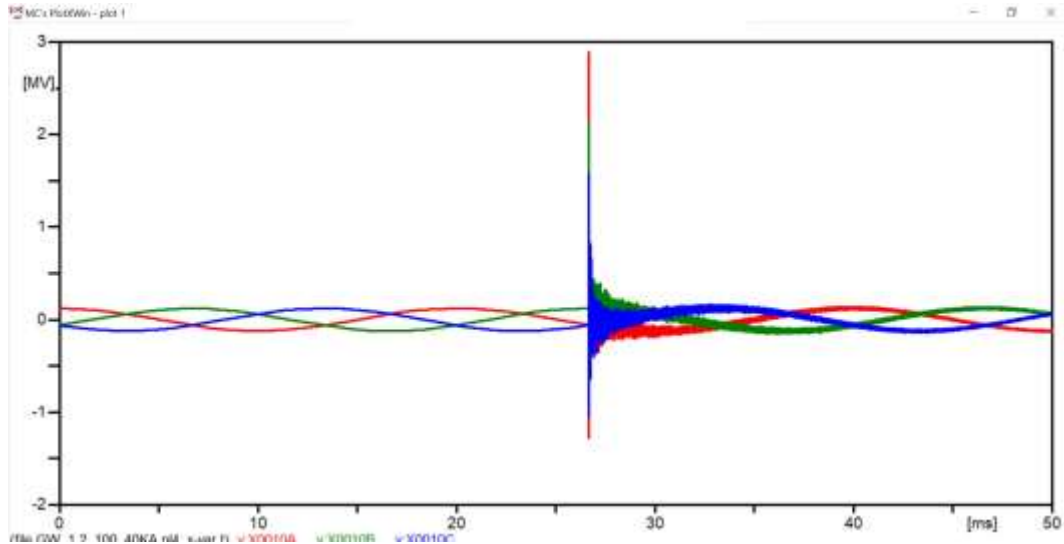
Gambar 4.93 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *stade state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

7. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s *Phasa R*



Gambar 4. 94 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s *Phasa R*

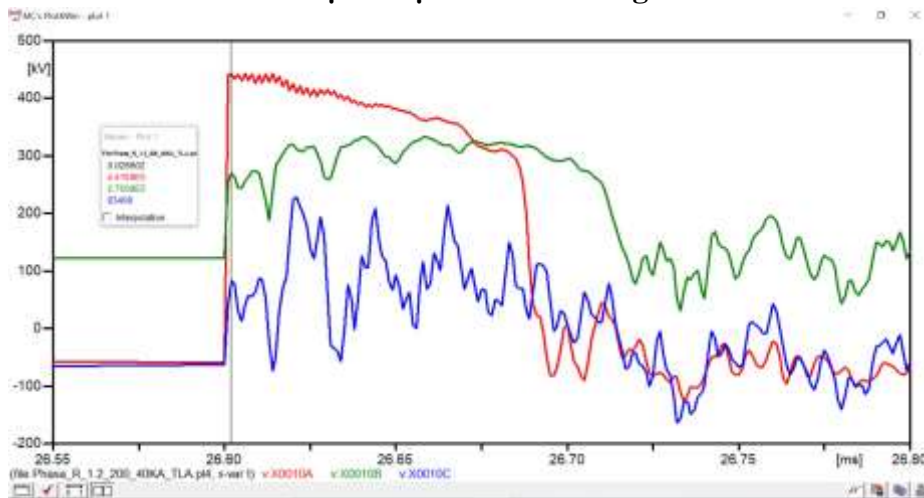
Gambar 4.94 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA, waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor 200 μ s. Nilai kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 5.092 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 2.075 kV dan 1.311 kV.



Gambar 4. 95 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s *Phasa R* menuju *steady state*

Gambar 4.95 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *steady state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R*.

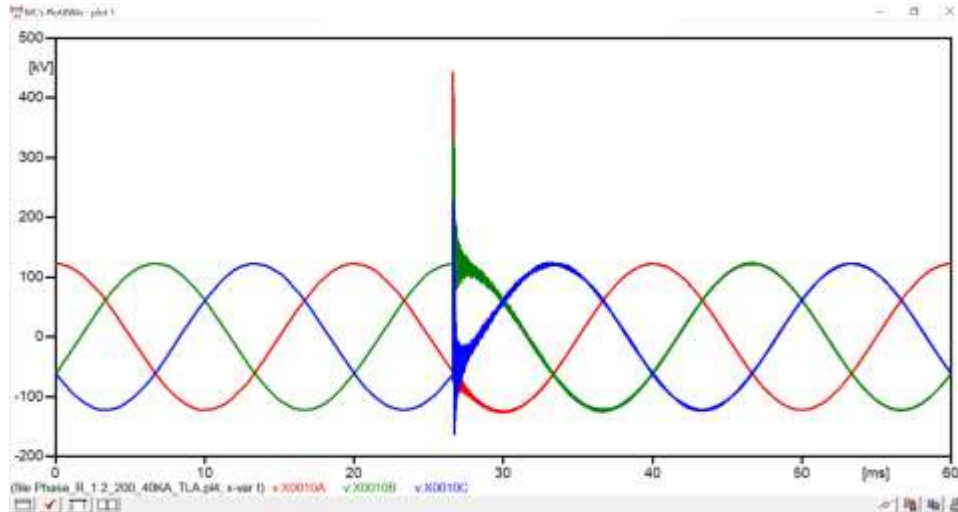
8. Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s *Phasa R* dengan TLA



Gambar 4. 96 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s *Phasa R*

Gambar 4.96 menjelaskan tentang kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *Phasa R* dengan nilai sambaran 40 kA, Waktu Muka 1.2 μ s Waktu Ekor 200 μ s. Ketika sambaran terjadi terhadap *Phasa R*, kawat *Phasa R,S,T* menggunakan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Nilai

kenaikan tegangan pada *Phasa R* sebesar 461 kV. Diikuti dengan kenaikan yang terjadi terhadap *Phasa S* dan *T* masing-masing sebesar 295 kV dan 97 kV.



Gambar 4. 97 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s *Phasa R* menuju *steady state*

Gambar 4.97 menjelaskan tentang perubahan bentuk gelombang sumber tegangan 150 kV menuju *stade state* yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap *phasa R* dengan pengaplikasian *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada tiap kawat fasa.

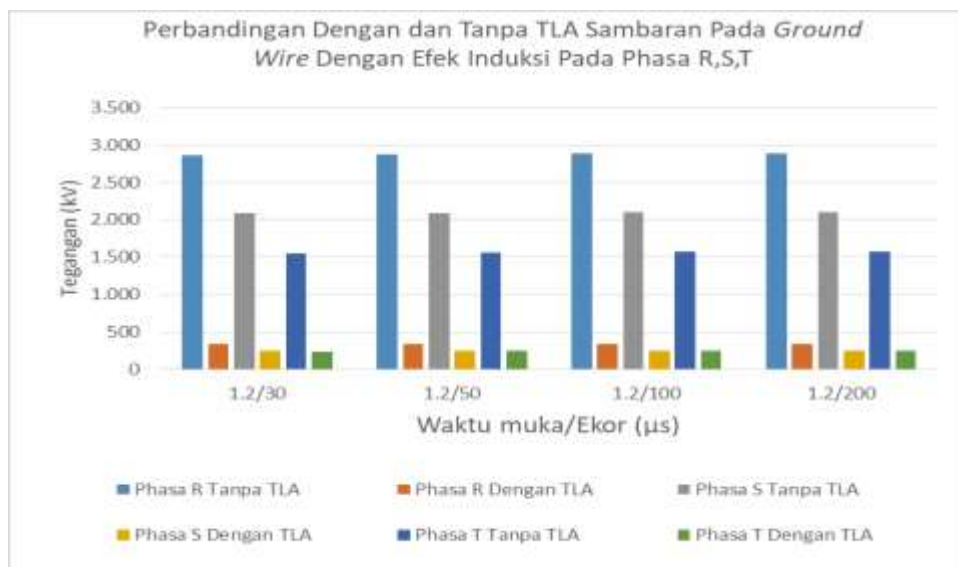
9. Analisis Pengujian Sambaran Terhadap Phasa R Dengan Nilai waktu muka 1.2 μ s Dan Waktu Ekor bervariasi

Tabel 4.16 menunjukkan nilai tegangan lebih puncak pada sambaran terhadap *Ground Wire* dan efek kenaikan tegangan terhadap ground wire baik dengan dan tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*.

Tabel 4. 17 Data hasil simulasi pada sambaran petir terhadap Phasa R dengan dan tanpa TLA

No	Arus (kA)	Waktu Muka/Ekor (μ s)	Sambaran R		Induksi S		Induksi T	
			Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan
			(kV)		(kV)		(kV)	
1	40	1.2/30	5.022	440	2.051	269	1.295	83
2		1.2/50	5.050	449	2.061	279	1.301	87
3		1.2/100	5.091	457	2.075	289	1.311	91
4		1.2/200	5.092	461	2.075	295	1.311	97

Tabel 4.16 menunjukkan nilai tegangan lebih puncak pada sambaran terhadap phasa R baik dengan dan tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Dapat dilihat perbedaan besar tegangan lebih puncak nya dengan besar tegangan lebih ketika tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*, maka *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* sangat di perlukan untuk sistem proteksi pada saluran.



Gambar 4. 98 Grafik perbandingan dari simulasi pada sambaran petir terhadap phasa R dengan dan tanpa *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor bervariasi

Dari grafik hasil pengujian 3 dengan merubah waktu ekor dan arus sambaran petir 40 kA, didapatkan hasil waktu ekor tegangan impuls petir mempengaruhi nilai tegangan induksi petir. Semakin cepat (kecil) waktu ekor petir, semakin kecil tegangan puncak induksi petir. Hubungan antara waktu ekor dengan besar tegangan induksi petir berbanding lurus. Waktu ekor tegangan impuls menurut standar adalah 50 μ s.

Penggunaan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)* pada menara transmisi sangat efektif penggunaannya guna memotong tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir. Pada saat terjadi gangguan tegangan lebih akibat surja petir, maka harga tahanan dari arrester akan naik dengan cepat jika tegangan dan arus naik. Tegangan sisa (*Residual Voltage* atau tegangan yang timbul diantara terminal arrester pada saat terjadinya tembus tegangan) akan dibatasi walaupun arus yang mengalir cukup besar. Tegangan lebih yang naik dengan cepat ini menyebabkan energi di lepas ke tanah, dengan demikian tegangan lebih tidak akan sampai ke *switchyard* dan membahayakan sistem.

Dari hasil simulasi dengan penggunaan *Transmission Line Surge Arrester (TLA)*. Nilai kenaikan pada phasa R tidak ada yang melebihi dari rating *Basic Insulation Level (BIL)* isolator 150 kV yaitu 750 kV sehingga peraralan isolasi yang digunakan masih aman.