

ID: 47

**Analisa Sambaran Petir Terhadap Efektivitas Proteksi Transformator Daya
(Studi Kasus Transformator Daya 70/20 kV 30 MVA Gardu Induk
Majalaya)**

**Lightning Strike Analysis on The Effectiveness of Power Transformer
Protection (Case Study of Power Transformer 70/20 kV 30 MVA Majalaya
Substation)**

Mega Lestanto^{1*}, Edi Mulyana², Yudha Simamora Utama³

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jalan AH. Nasution 105 Bandung 40614 telp. (022) 7800525/fax (022) 7803936

²UItg Bandung timur Gardu induk majalaya Jalan Raya Laswi No.9 Majalaya
Bandung 40832 (085) 314895268

mega.lestanto@gmail.com^{1*}, edim@uinsgd.ac.id²

Abstrak – Sambaran petir selalu menjadi ancaman yang berbahaya bagi peralatan elektrik umumnya di saluran transmisi, perlindungan terhadap sambaran petir didasarkan pada tingkat isolasi peralatan. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan maka dipasanglah lightning arrester sebagai alat proteksi dari sambaran petir, lightning arrester tipe DCC-M akan dimodelkan menjadi pelindung transformator dari sambaran petir secara langsung dan tidak langsung. Sebagai perbandingan performa pemodelan lightning arrester akan dibuat menjadi model yaitu : model IEE, Karlabaya, dan Micaela yang selanjutnya disimulasikan dengan rating arus sebesar 10 KA sampai 50 kA. Dari hasil simulasi sambaran petir secara langsung pada tegangan transformator memiliki nilai 657,7 kV, setelah dipasang lightning arrester tegangan dapat diturunkan menjadi 64,21 kV. Faktor perlindungan dari ketiga pemodelan lightning arrester memiliki nilai 48%. Pada simulasi model IEEE dan Karlabaya berhasil memutus arus yang masuk ke transformator sehingga tegangan yang dihasilkan lebih kecil dari nilai BIL transformator, sedangkan pada model Micaela cukup dinyatakan berhasil melindungi pada saluran tegangan tinggi, namun pada saat di injeksikan arus sebesar 40 kA dan 50 kA nilai tegangan nya lebih besar dari BIL transformator.

Kata Kunci: Sambaran petir, lightning arrester, transformator, pemodelan.

Abstract – Lightning strikes have always been a dangerous threat to electrical equipment, generally in transmission lines, protection against lightning strikes is based on the insulation level of the equipment. To prevent damage to the equipment, a lightning arrester is installed as a means of protection from lightning strikes, the DCC-M type lightning arrester will be modeled as a transformer protector from direct and indirect lightning strikes. For comparison, the lightning arrester modeling performance will be made into a model, namely: IEE, Karlabaya, and Micaela models which are then simulated with a current rating of 10 KA to 50 kA. From the simulation results of lightning strikes directly on the transformer voltage has a value of 657.7 kV, after installing a lightning arrester the voltage can be reduced to 64.21 kV. The protection factor of the three lightning arrester models has a value of 48%. In the simulation of the IEEE and Karlabaya models, they succeeded in cutting the current entering the transformer so that the resulting voltage was smaller than the BIL value of the transformer, while in the Micaela model it was stated that it was successful in protecting the high voltage line, but when injected the current was 40 kA and 50 kA. its voltage is greater than the transformer BIL.

Keywords: Lightning strike, lightning arrester, transformer, modeling.

1. Pendahuluan

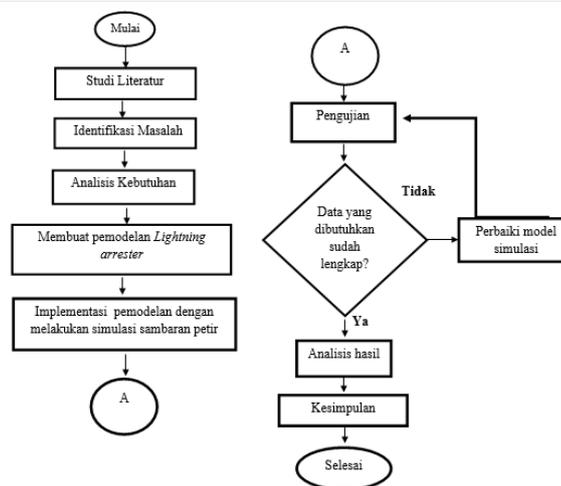
Ketersediaan listrik tersebut tentunya disertai dengan sistem tenaga listrik yang handal. Sistem tenaga listrik memiliki 3 komponen yaitu pusat pembangkit, sistem distribusi dan sistem transmisi. Sistem transmisi merupakan proses penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit yang memiliki level tegangan tertentu yang kemudian dinaikkan tegangannya ke level yang lebih tinggi sebelum masuk ke gardu induk. Pada umumnya, gardu induk memiliki beberapa perlengkapan. Perlengkapan tersebut berupa transformator tenaga, pemisah, pemutus, busbar dan isolator, instrumen pengukuran, rele dan pengaman, sistem penyetanahan dll [1].

Rumitnya uji coba secara langsung pada komponen listrik untuk menganalisa tegangan secara transien pada gardu induk tegangan tinggi membuat peneliti simulator berupa software untuk memudahkan menganalisa tegangan transien. Program ATP-EMTP (*Alternative Transient Program of the Electro Magnetic Transients Program*) sangat tepat digunakan untuk menganalisa transien pada operasi surja hubung (*switching surge*) atau surja petir (*lightning surge*) dikarenakan software ATP-EMTP ini merupakan software terintegrasi yang secara khusus didesain untuk menyelesaikan masalah pada sistem tenaga listrik, rangkaian terdistribusi atau kombinasi kedua rangkaian tersebut karena program ini secara khusus menyediakan pemodelan untuk transformator, *lightning arrester*, generator, dan sumber petir [2].

Petir sering menyebabkan gangguan dalam sistem 70 kV, 150 kV hingga 500 kV sedangkan pada sistem 20 kV hanya terjadi surja hubung. Spesifikasi *arrester* sangat penting untuk diperhatikan agar sesuai dengan kebutuhan dari sistem tersebut sehingga *arrester* berfungsi sesuai dengan tugasnya. Penempatan *arrester* terhadap objek yang diproteksi (Transformator Daya) berpengaruh terhadap kualitas perlindungannya. Jarak maksimum *arrester* terhadap transformator agar proteksi tersebut efektif [3].

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan pendekatan pemodelan, yaitu dengan membuat pemodelan *lightning arrester*. Pemodelan ini dibuat menjadi tiga model yaitu model IEEE, model Karlabye, dan model Micaela. Ketiga model itu dibuat menggunakan software atp draw.



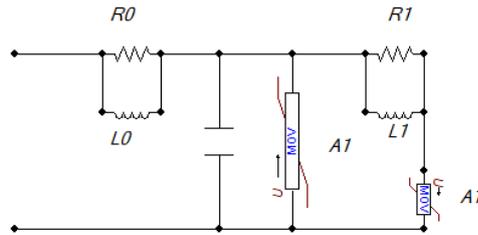
Gambar 1. Flowchart metode penelitian.

2.1. Perancangan Pemodelan Lightning Arrester

Untuk mendapatkan performa *Lightning Arrester* yang lebih baik, rangkaian ekivalen yang akan dimodelkan sedemikian rupa agar dapat mengamankan saluran transmisi. Terdapat 3 pemodelan *arrester* yaitu : Model IEEE, Mircela dan Karlabaye.

2.1.1. Model IEEE

Model ini direkomendasikan oleh IEEE W.G di tunjukan pada gambar 2.



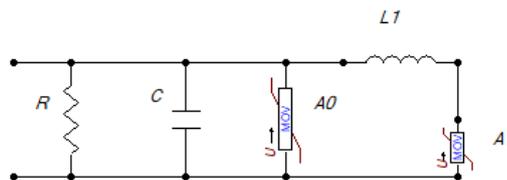
Gambar 2. Model IEEE

Dalam model ini karakteristik non-linear V-I diperoleh dengan menggunakan dua resistor non-linear (disebut A0 dan A1) dipisahkan oleh filter R-L. Untuk lonjakan yang lambat impedansi filter sangat rendah serta A0 dan A1 dihubungkan secara paralel.

2.1.2. Model Karlabaye

Model miacela ini dicetuskan oleh Micaela Cazerza Nargo, Marco Giannettoni dan Paolo Pinceti dimana model ini adalah penyederhanaan dari model IEEE.

- Jangkauan tegangan diperpanjang ke seluruh level HV dan MV.
- Terdapat rumus baru jika tidak didapatkan data *manufactur* data tegangan residu pada lonjakan arus 10 kA dengan kecepatan arus waktu muka gelombang = $1/T2 \mu s$. Rangkaian ditunjukkan pada Gambar 3.



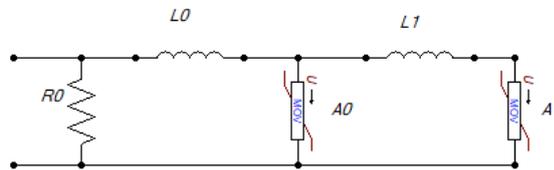
Gambar 3. Blok Diagram Sistem.

2.1.3 Model Micaela

Model ini diciptakan oleh M. Karbalaye dimana model ini pun adalah bentuk penyederhanaan dari model IEEE. Adapun terdapat perbedaan pada model ini yaitu :

- Satu buah hambatan diparalel dengan induktansi diganti oleh resistor sebesar $1(M\Omega)$ diantara terminal input.

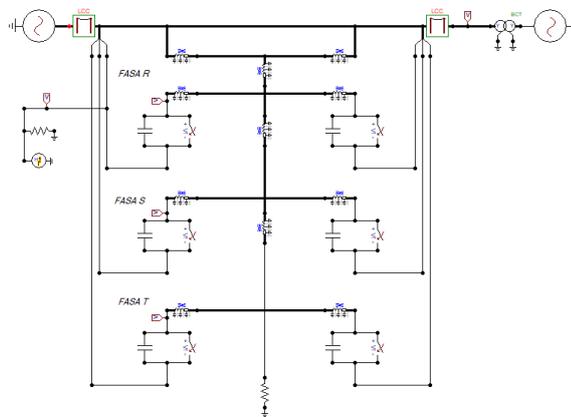
- Satu buah hambatan paralel induktansi diganti dengan satu induktansi seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Model Micaela

2.2. Perancangan sambaran petir secara langsung sebelum menggunakan lightning arrester

Untuk mengetahui nilai efektivitas proteksi dari transformator sebelum dipasang *lightning arrester* maka dilakukan simulasi ini dengan nilai tegangan amplitudo puncak dari sistem yang berada di data Gardu Induk majalaya 70 kV. Pada simulasi ini kemungkinan fasa yang paling mudah tersambar adalah fasa yang paling tinggi di menara yaitu fasa R. Gambar 5 menunjukkan rangkaian simulasi dengan kondisi petir menyambar fasa R sebelum dipasang *lightning arrester*.



Gambar 5. Simulasi sambaran sebelum menggunakan lightning arrester

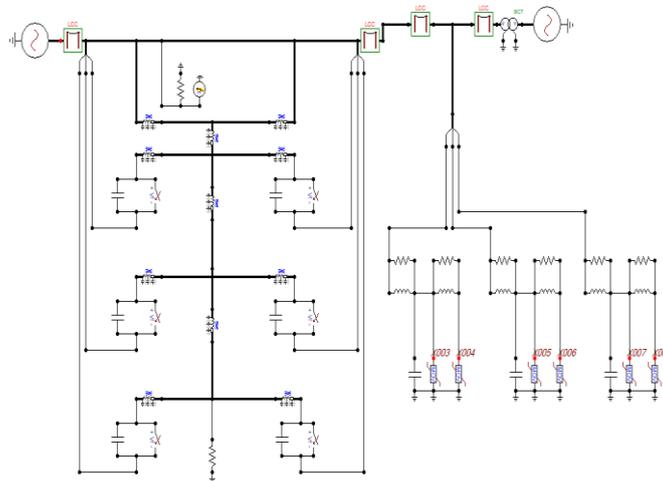
Gambar 5 menunjukkan hasil perancangan ramgkaian di software ATP Draw sebelum menggunakan lightning arrester, simulasi ini menggunakan ranning arus dengan interval 10 kA – 50 kA untuk mengetahui hasil dari perbedaan dari masing masing interval arus tersebut.

2.3 Perancangan sambaran petir secara tidak langsung menggunakan berbagai model lightning arrester

Sambaran petir tidak langsung menggunakan berbagai jenis *lightning arrester* yang telah dibuat ini menginjeksikan arus dengan ranning 10 kA sampai 50 kA dengan interval ranning sebesar 10 kA. Dalam simulasi ini akan terlihat dari jauhnya perbandingan antara tegangan fasa terminal

dengan BIL transformator yang dapat mengakibatkan komponen akan rentan untuk merusak komponen isolasi dan dapat merusak peralatan karena terjadinya *insulation break down* (tragedi hubung singkat) yang dapat mengakibatkan rusaknya peralatan.

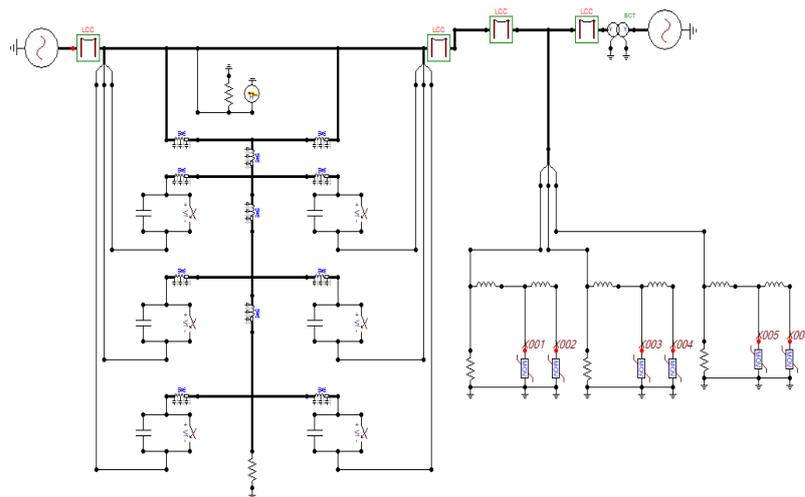
2.3.1 Model IEEE



Gambar 6. Simulasi menggunakan model IEEE

Gambar 6. menunjukkan pengaturan simulasi sambaran petir tidak langsung menggunakan model IEEE ini ada beberapa komponen yang sangat penting di dalamnya untuk memproteksi arus surja petir, model IEEE ini memiliki komponen yang berada didalamnya yaitu dua buah resistor, dua buah induktansi, dan satu buah kapasitor. Pada gardu induk majalaya 70/20 kV *lightning arrester* yang dipakai adalah tipe DCC-M.

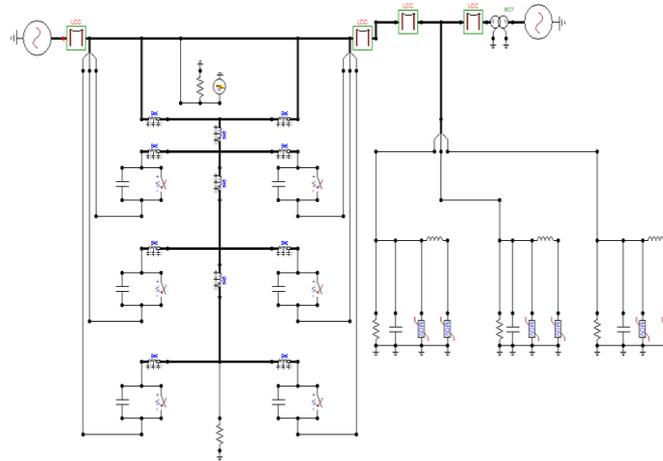
2.3.2 Model Karlabye



Gambar 7. Simulasi menggunakan model karlabaye

Gambar 7. menunjukkan pengaturan simulasi sambaran petir secara tidak langsung menggunakan model Karlabaya ini ada beberapa perbedaan dengan model IEEE, pada model karlabaye ini hanya memiliki satu buah resistor yang diparalel dengan dua buah induktansi yang diserikan, pada model karlabaye ini menghilangkan kapasitor pada komponen nya.

2.3.3 Model Micaela



Gambar 8. Simulasi menggunakan model Micaela

Gambar 8. menunjukkan pengaturan simulasi sambaran petir secara tidak langsung menggunakan model Micaela ini ada beberapa perbedaan dengan model IEEE, pada model karlabaye ini hanya memiliki satu buah hambatan yang diparalel dengan induktansi, dan satu buah hambatan paralel induktansi diganti dengan satu buah induktansi, dan menggunakan satu buah kapasitor.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dan analisis ini dibagi menjadi 4 bagian yaitu pengujian sambaran petir secara langsung sebelum dipasang lightning arrester, pengujian secara tidak langsung menggunakan jenis model IEEE, pengujian secara tidak langsung menggunakan model Karlabaya, dan pengujian secara tidak langsung menggunakan model Micaela.

3.1 Pengujian sambaran petir secara langsung sebelum menggunakan lightning arrester

Tabel 1 Hasil simulasi sambaran petir 10 – 50 kA pada tegangan fasa

Arus petir (kA)	Tegangan pada Fasa (kV)		
	R	S	T
10	1.698,70	475,5	322
20	2.982,80	922,7	654,5
30	4.678,70	1.393,70	986,5
40	5.865,50	1.865,70	1.323,90

Arus petir (kA)	Tegangan pada Fasa (kV)		
	R	S	T
50	7.827,90	2.435,70	1.657,90

Pada tabel 1 pengujian simulasi kali ini sangat terlihat jelas bahwa tegangan tertinggi berada di fasa R dengan nilai tegangan mulai dari 1.698,70 kV – 7.827,90 kV, disusul oleh fasa S dengan nilai tegangan sebesar 475,5 kV – 2.435,70 kV dan fasa T dengan nilai tegangan sebesar 322 kV – 1.657,90 kV, perbedaan diantara ketiga fasa tersebut 3 kali lipat lebih besar.

Tabel 2. Hasil simulasi pada sambaran petir 10 kA – 50 kA pada tegangan Transformator

Arus petir (kA)	Tegangan pada Transformator (kV)		
	R	S	T
10	1.294,50	456,80	425,70
20	2.534,60	913,80	497,70
30	3.817,80	1.417,80	1.467
40	5.094,40	1.875,70	1.985,30
50	6.352	2.348,20	2.428,70

Pada tabel 2, dari tegangan transformator, berbeda dari hasil simulasi tegangan fasa pada hasil data tegangan transformator ini mengalami penurunan data, hal ini disebabkan karena terjadinya aneuansi yaitu penurunan gelombang magnitude. Adapun faktor lain yang mempengaruhi penurunan gelombang magnitude ini bisa disebabkan dengan efek kulit transformator, pertukaran resistansi ground, dan kebocoran yang bisa mengakibatkan berkurangnya energi dari transformator itu sendiri.

3.2 Pengujian sambaran secara tidak langsung menggunakan model IEEE

Tabel 3. Hasil simulasi model IEEE

Arus petir (kA)	Tegangan pada Transformator (kV)		
	R	S	T
10	64,37	-32,79	-38,21
20	65,40	-33,87	-34,01
30	71,35	-36,19	-48,32
40	72,59	-36,83	-49,52
50	90,83	-46,43	-76,28

Pada tabel 3 dalam hal ini penggunaan *lightning arrester* sebagai alat proteksi sangat penting dalam saluran transmisi, karena dapat menghambat tegangan yang masuk pada transformator terbukti pada tegangan fasa R, S dan T. Pada fasa R tegangan yang masuk ke transformator cenderung menurun dari simulasi sebelumnya dengan hanya memiliki tegangan terbesar yang

berada pada pengujian kelima dengan raiting arus 50 kA dengan nilai sebesar 90,83 kV dan nilai terkecil berada pada pengujian pertama 10 kA -32,79 kV pada fasa S.

3.3 Pengujian sambaran petir secara tidak langsung menggunakan model Karlabaya

Tabel 4. Hasil simulasi model karlabaye

Arus petir (kA)	Tegangan pada Transformator (kV)		
	R	S	T
10	66,98	-28,49	-31,91
20	57,79	-29,10	-31,10
30	58,07	-29,89	-31,67
40	58,46	-30,15	-32,14
50	63,57	-35,54	-34,73

Pada tabel 4, hasil simulasi dari pemodelan karlabaye hanya menggunakan satu kapasitor sehingga tegangan yang masuk kedalam tegangan transformator tidak beraturan, begitu pun pada tegangan terminal fasa R, S dan fasa T yang juga mengalami penurunan tegangan, terbukti pada lima kali pengujian nilai terbesar dari ketiga fasa tersebut sebesar 63,57 kV pada fasa R, -35,54 kV pada fasa S, dan -34,73 kV pada fasa T.

3.4 Pengujian sambaran secara tidak langsung menggunakan model micaela

Tabel 5. Hasil simulasi pada model Micaela

Arus petir (kA)	Tegangan pada Transformator (kV)		
	R	S	T
10	235,48	-238,37	-265,28
20	272,20	-213,20	-145,33
30	300,32	-292,97	-328,70
40	354,51	-321,40	-371,50
50	395,53	-341,23	-432,70

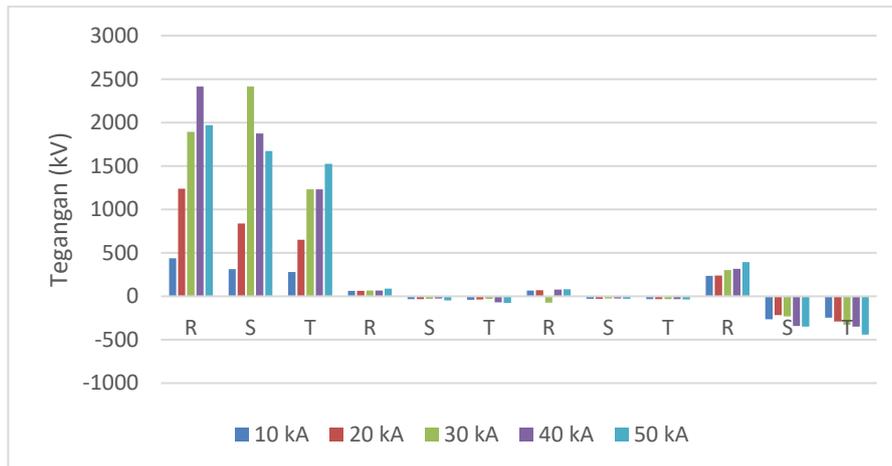
Pada tabel 5 menunjukkan adanya beberapa kenaikan tegangan dari pengujian sebelumnya pada pengujian ini tegangan yang dihasilkan cenderung stabil pada terminal tegangan fasa R di transformator dengan nilai sebesar 235,48 kV pada pengujian pertama sampai 395,53 kV pada pengujian kelima, sedangkan terminal tegangan fasa S dan T pada simulasi kedua mengalami penurunan tegangan yang cukup besar yaitu sebesar -213,20 kV pada fasa S dan -145,33 kV pada fasa T. Hal ini terjadi karena berfungsinya kawat tanah lebih baik daripada *lightning arrester*. Nilai minus dari tegangan ini terjadi karena adanya polaritas, yaitu apabila nilai tegangan positif maka arus akan mengalir dari daerah potensial tinggi menuju daerah yang potensialnya rendah. Begitu pun dengan sebaliknya, jika nilai tegangan negatif maka tegangan akan diukur terbalik (dari potensial rendah ke potensial tinggi).

3.5 Analisis

Lightning arrester pada penelitian ini sangat berperan penting dalam melindungi sistem transmisi terhadap tegangan lebih akibat adanya sambaran petir maupun surja hubung, sehingga pada proses aliran daya pada frekuensi 50 Hz tidak mudah terganggu akibat tegangan lebih tersebut.

Tabel 6 Hasil perbandingan nilai tegangan sebelum dan setelah menggunakan lightning arrester

Arus Petir (kA)	Fasa	Tanpa Lightning arrester	Model IEEE	Model Karlabaye	Model Micaela
10 kA	R	439	64,21	67,3	237,16
	S	311	-32,7	-29,12	-264,59
	T	281	-39,2	-32,87	-247,8
20 kA	R	1.238,70	63,67	70,43	238,25
	S	837	-32,36	-28,6	-217,19
	T	650	-37,07	-31,57	-289,07
30 kA	R	1.893	64,96	73,69	302,83
	S	2.414	-31,06	-29,6	-229,79
	T	1.230	-30,66	-32,82	-328,4
40 kA	R	2.414	67,42	77,83	316,07
	S	1.876	-26,41	-25,91	-341,27
	T	1.230	-67,82	-33,06	-350,15
50 kA	R	1.970	90,18	81,96	395,15
	S	1.671,40	-46,21	-27,81	-350,15
	T	1.525,40	-76,28	-35,07	-439,7



Gambar 8. Kurva perbandingan hasil tegangan sebelum dan setelah menggunakan lightning arrester

Gambar 8 menunjukkan adanya perbedaan sebelum dan setelah menggunakan *lightning arrester* sebelum menggunakan *lightning arrester* nilai tegangan transformator dari simulasi dengan interval raiting arus sebesar 10 kA sampai 50 kA mengalami kenaikan tegangan lebih tinggi pada setiap simulasi yang dilakukan terutama pada fasa R dari lima pengujian nilai tegangan terbesarnya adalah 2.414 kV, bahkan nilai tegangan transformator nya melebihi nilai BIL, jika hal ini terus terjadi maka akan merusak peralatan elektrik bahkan bisa merusak sistem

transmisi. Setelah menggunakan *lightning arrester* terdapat perubahan dari nilai tegangan transformator yang didapat dari fasa R, S, dan T, pada fasa R nilai terbesar yang didapat adalah sebesar 395,15 kV, -350,15 kV pada fasa S, dan -439,70 kV pada fasa T ketiga nilai terbesar ini terjadi pada pengujian interval arus 50 kA pada model Micaela. Hal ini dapat terjadi karena penggunaan *lightning arrester* dapat melindungi transformator dari kerusakan dengan membatasi tegangan lebih yang masuk dan menghilangkan energi tersebut (by-pass energy), Sebagai contoh tegangan dari fasa R dengan injeksi sebesar 50 kA pada fasa R model IEEE memiliki nilai tegangan 90,18, dan pada model Karlabaye memiliki nilai tegangan sebesar 81,96 kV.

4. Kesimpulan

Dalam pengujian sambaran petir secara langsung hasil tegangan yang didapatkan cenderung lebih besar hal ini dikarenakan simulasi dilakukan sebelum menggunakan *lightning arrester*, Namu berbeda hasilnya ketika dilakukan pengujian sambaran petir secara tidak langsung menggunakan *lightning arrester* hasilnya cenderung lebih kecil hal ini dikarenakan adanya *lightning arrester* yang berfungsi baik sebagai alat proteksi dari sambaran petir.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini. Serta terima kasih kepada UIN Sunan Gunung Djati Bandung dan ULTG Bandung timur atas dukungannya untuk publikasi penelitian ini.

Referensi

- [1] C. G. I. I. G. D. A. I Putu Weda, "Analisa Penempatan Lightning Arrester pada Cable Head 60 Sebagai Pengaman Traanformator GIS Bandara Ngurah Rai," *Jurnal Spektrum*, pp. Vol.7, No1, 2020.
- [2] T. Saengsuwan, "The Lightning Arrester Modeling Using ATP-EMTP," *Kasetart University*, vol. 42, no. 07, pp. 156-164, 2019.
- [3] W. Syakur,A., "Kinerja Arrester Akibat Induksi Sambaran Petir," *Jurnal Ilimah Teknik Elektro*, 2009.
- [4] S. W, "Kinerja arrester akibat induksi sambaran petir," *jurnal ilmiah teknik elektro*, 2009.
- [5] R. N. Y.a, "Analisa penempatan lightning arrester sebagai pengaman gangguan petir di gardu induk langsa," *Buletin utama teknik*, vol. vol. 14, no. 3, 2019.
- [6] S. I, "Pengaruh pentanahan terhadap transformator pada jaringan menengah 20 kV," pp. 50-71, 2015.
- [7] M. H, "Analisis penentuan arrester sebagai pengaman transformator 20 kV," *jurnal eltek*, no. 02, pp. 26-36, 2012.
- [8] L. P. AP, "Analisis perbandingan transformator distribusi yang efektif terhadap surja petir," *jurnal teknologi*, vol. 6, no. 2, pp. 671-678, 2009.
- [9] SPLN, Pedoman pemilihan tingkat isolasi transformator dan penangkal petir, Jakarta: PLN, 1987.
- [10] P. A, "Analisis perlindungan transformator distribusi yang efektif terhadap surja petir," *jurnal teknologi*, pp. 57-83, 2009.