

Analisis Perbandingan Karakteristik Arester Jenis *Metal-Oxide* Akibat Sambaran Petir

Setyo Adi Nugroho¹, Septi Aprilia²

^{1,2}ITS PKU Muhammadiyah Surakarta
Jl. Tulang Bawang Selatan, Kadipiro, Surakarta 57136
setyo0623@gmail.com¹, septi.chemist@gmail.com²

Abstrak— Gardu induk adalah peralatan yang sangat penting dalam menyalurkan energi listrik ke berbagai macam konsumen seperti pendidikan, industri, rumah sakit, dll. Energi listrik tersebut disalurkan melalui saluran udara (*overhead*), sehingga menimbulkan permasalahan yaitu gangguan sambaran petir langsung yang dapat merusak sistem isolasi dan peralatan karena nilainya melebihi Basic Insulation System (BIL). Peralatan proteksi dibutuhkan untuk mencegah dan mengurangi gangguan sambaran petir langsung yang dapat menaikkan tegangan sistem. Arester jenis metal-oxide adalah peralatan proteksi yang saat ini banyak digunakan untuk melindungi dari sambaran petir dengan menyalurkan tegangan lebih ke tanah (*ground*). Pada penelitian ini dua tipe arester dibandingkan serta memodelkan peralatan yang ada pada gardu induk dengan menggunakan simulasi ATPDraw. Hasil simulasi menunjukkan bahwa arester tipe Q150NA121A mempunyai kinerja yang sangat baik dengan nilai tegangan lebih sebesar 458 kV. Sedangkan untuk arester tipe Q150NB121A nilai tegangan lebih masih cukup tinggi yaitu sebesar 585 kV.

Kata kunci— Gardu Induk, Sambaran Petir, Arester, Metal-Oxide, ATPDraw.

Abstract— *Substation is the most important part in transmission system to distribute the electrical energy to any kind of customer such as industry, hospital, university, etc. Electrical energy is distributed through the air duct which generate another problem like direct lightning stroke which can damaging the insulation system and equipment because the voltage value is exceed the basic insulation level. Protection equipment is required to prevent the lightning stroke disturbance which increasing the voltage system. Metal-oxide arrester is protection equipment which protect the equipment by dispense the overvoltage to the ground. In this research, two kinds of arrester are compared and modelling the substation equipment in ATPDraw. Simulation result shows us that Q150NA121A arrester have an excellent performance with the overvoltage value in the amount of 458 kV. Whereas for Q150NB121A arrester the overvoltage value is slightly higher in the amount of 585 kV.*

Keywords— *Switchyard, Lightning Strike, Arrester, Metal-Oxide, ATPDraw*

I. PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan komponen penting pada sebuah sistem tenaga listrik yang memiliki fungsi sebagai penyuplai energi listrik dari pusat pembangkit listrik ke konsumen yaitu dengan menurunkan tegangannya (*step-down*), sebagai alat pengukuran/monitoring dan proteksi serta sebagai penghubung jaringan interkoneksi antar pembangkit tenaga listrik, gardu induk dapat di klasifikasikan berdasarkan besaran tegangannya, pemasangan peralatannya, fungsinya, dll (Ali, 2013).

Perusahaan listrik negara di Indonesia yang dikelola oleh PT. PLN (Persero) menggunakan sistem tegangan 150 kV dalam menyalurkan energi listriknya ke gardu-gardu induk melalui sistem transmisi udara (*overhead*)/SUTT maupun sistem bawah tanah (*underground*)/SKTT (Keputusan Direksi PLN, 2014). Suplai energi listrik ke konsumen diharapkan memiliki kontinuitas dan tingkat kehandalan yang tinggi sehingga penyaluran energi listrik dapat tersalurkan dengan sangat baik oleh sebab itu berbagai upaya telah banyak dilakukan agar hal tersebut dapat tercapai (Nappu, Arief, and Said, 2018).

Beberapa gangguan yang dapat mempengaruhi suplai energi listrik antara lain adalah gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir yang dapat menyebabkan kenaikan tegangan sistem sehingga dapat menyebabkan kerusakan sistem isolasi dan merusak peralatan sistem (Mardira, and Saha, 2011). Peralatan untuk sistem 150 kV dirancang dengan kekuatan isolasi dasar/*basic insulation level* (BIL) sebesar 650 kV berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh IEEE yang dimuat dalam Std. IEEE C62.22 (IEEE Std C62.22a, 2013). Berbagai langkah dan upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dan mencegah kerusakan peralatan sistem akibat sambaran petir adalah dengan memasang alat pelindung atau proteksi (Utomo et al, 2018).

Arester adalah sebuah alat proteksi yang banyak digunakan untuk mengurangi tegangan lebih akibat sambaran petir dan karena peristiwa *switching* dengan cara mengalirkan tegangan lebih tersebut ke tanah/*ground*. Ada dua jenis tipe arester yang ada saat ini yaitu jenis *Silicone-Carbide* (SiC) dan *Metal-Oxide* (MO) (Puriyanto, Haryono and Widiastuti, 2016). Namun saat

ini arester jenis *Metal-Oxide* lebih banyak digunakan dan dikembangkan karena karakteristik non-liniernya yang sangat baik dalam mengurangi tegangan lebih (Mesquita et al, 2019). Peralatan arester ini dapat dipasang pada sisi pembangkit, saluran transmisi, gardu induk dan tidak menutup kemungkinan dipasang pada jaringan distribusi listrik 20 kV.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menganalisis pemasangan arester jenis *Metal-Oxide* pada menara saluran transmisi untuk evaluasi *backflashover* yang diakibatkan oleh sambaran petir langsung, tetapi analisis pemasangan arester pada sisi gardu induk belum dilakukan, sehingga hanya dapat dilakukan analisis *backflashover* pada saluran transmisinya saja (Sardi, Ong and Chian, 2010). Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis pemasangan arester jenis *Metal-Oxide* pada gardu induk dengan beberapa tipe yang berbeda sehingga dapat dipilih tipe arester yang tepat.

II. METODE

Pada penelitian ini akan dikumpulkan data-data yang diperlukan pada proses simulasi dan investigasi seperti rating tegangan sistem, ukuran konduktor transmisi, ketinggian menara transmisi dan komponen-komponen yang ada pada gardu induk (arester, transformator dan konduktor). Setelah data diperoleh maka, seluruh komponen tersebut dimodelkan pada software ATPDraw dan dilakukan proses simulasi dan investigasi.

A. Tipe Arestor

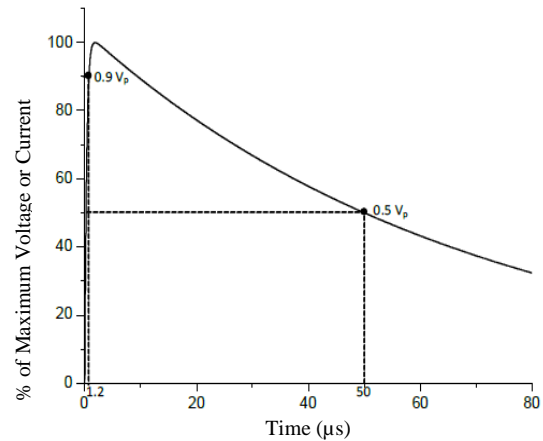
Tipe arester yang akan dibandingkan yaitu dua arester jenis *metal-oxide* yang diterapkan pada gardu induk PLN 150 kV untuk mengetahui kinerja dari masing-masing arester tersebut dalam koordinasi proteksi berdasarkan standar IEEE C62.22 BIL peralatan 150 kV yaitu 650 kV.

Tipe arester yang di analisis yaitu tipe arester Q150NA121A dan tipe arester Q150NB121A dengan rating 150 kV sesuai dengan *datasheet*, spesifikasi arester tersebut ditunjukkan pada tabel 1 dibawah ini. Arus impuls petir yang diterapkan untuk menguji kinerja arester tersebut menggunakan perangkat lunak atau simulasi ATPDraw, berdasarkan standar IEC bentuk gelombang impuls petir yaitu 1,25 x 50 ms (Hosseini et al, 2015).

TABEL I. SPESIFIKASI ARESTER

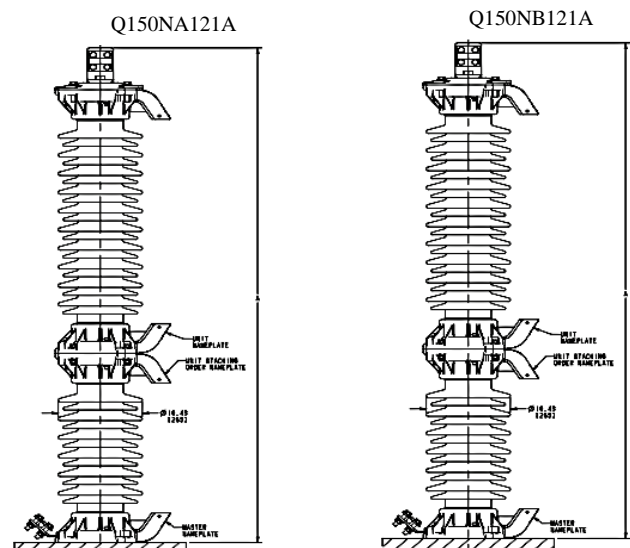
Tipe	Tegangan (kV)	BIL (kV)	Panjang (m)
Q150NA121A	150	669	1,798
Q150NB121A	150	788	2,07

Berikut ini adalah bentuk gelombang petir yang digunakan dalam penelitian ini yang sesuai dengan standar IEC, dengan waktu muka 1,2 ms dan waktu ekor 50 ms ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Gelombang Petir Standar IEC

Berikut ini adalah layout konstruksi dari kedua buah model arester (Q150NA121A dan Q150NB121A) yang akan digunakan pada simulasi, ditunjukkan oleh gambar 2.



Gambar 2. Konstruksi Arestor

B. Saluran Transmisi dan Gardu Induk 150 kV

Semua peralatan atau komponen yang ada pada sistem transmisi 150 kV perlu dimodelkan untuk keperluan analisis tegangan lebih akibat sambaran petir. komponen tersebut antara lain adalah:

1) Konduktor Transmisi

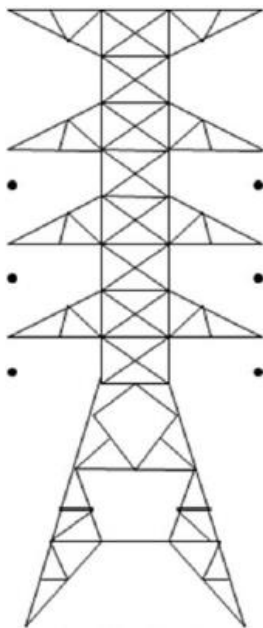
Spesifikasi ketinggian dari setiap konduktor yaitu konduktor fasa dan konduktor pentanahan (*ground*) seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 diperlukan pada penelitian ini, supaya dapat diketahui lonjakan tegangan tertinggi pada tiap fasa berdasarkan perbedaan ketinggiannya. Jenis konduktor yang digunakan adalah ACSR Zebra.

TABEL II. KETINGGIAN SETIAP KONDUKTOR

Parameter	Nilai	Satuan
Tinggi Ground Wire	40,55	meter
Tinggi Fasa R	38,55	meter
Tinggi Fasa S	34,85	meter
Tinggi Fasa T	31,15	meter
Ukuran Konduktor Fasa	28,62	mm
Ukuran Ground Wire	14,31	mm

2) Menara Transmisi

Menara transmisi (Nawi et al., 2011) yang digunakan adalah jenis *lattice tower* atau pada simulasi biasa disebut model JMarti yang konstruksinya disusun dari lengan baja dengan konfigurasi *double-circuit* (Bedoui, Bayadi and Haddad, 2010). Menara ini berfungsi untuk menyangga setiap konduktor fasa maupun konduktor pentanahan dengan ketinggian tertentu sehingga tidak membahayakan manusia dan lingkungan serta dapat menjaga penyaluran energi listrik secara kontinyu. Selain konduktor, beberapa peralatan pendukung seperti isolator gantung jenis keramik atau gelas dipasangkan, serta pada tower tertentu juga dipasangkan peralatan arester (Syakur et al., 2012). Berikut ini adalah konstruksi dari menara 150 kV yang digunakan dalam simulasi.



Gambar 3. Menara 150 kV

Sebuah menara transmisi yang terbuat dari baja, dimodelkan dengan impedansi yang dirangkai secara seri. Dari data geometri menara, maka dapat dihitung impedansi surjanya menggunakan persamaan berikut:

Impedansi Lengan Menara

$$Z_{AK} = 60 \ln \left(\frac{2h}{r_A} \right) \quad (1)$$

Impedansi Surja Menara

$$Z_{AK} = 60 \ln \left(\ln \sqrt{2} \frac{2h}{r_A} - 1 \right) \quad (2)$$

Keterangan:

Z_{AK} = Impedansi Surja Menara (Ohm)

H = Ketinggian Menara (m)

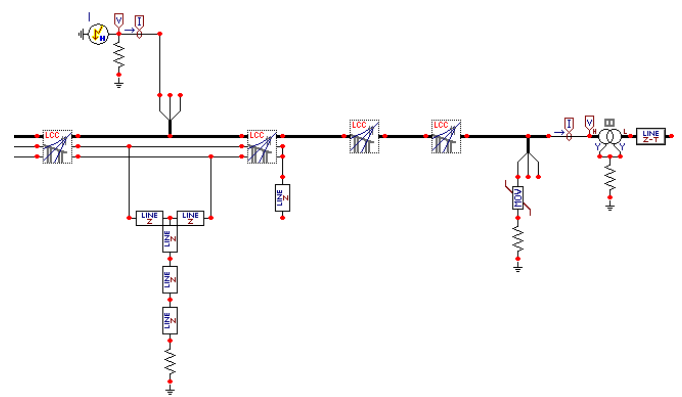
r_A = Jarak Lengan Menara

Setelah semua data dikumpulkan maka langkah berikutnya adalah memodelkan setiap peralatan yang ada pada saluran transmisi dan gardu induk 150 kV. Nilai pentanahan gardu induk pada penelitian ini di kondisikan konstan pada nilai 0,2 Ohm. Pengukuran tegangan lebih dilakukan pada sisi primer transformator daya dan arester diletakan dengan jarak 7 meter sesuai dengan pengukuran di lapangan. Berikut ini adalah data dari setiap komponen pada gardu induk 150 kV.

TABEL III. DATA GARDU INDUK 150 kV

Parameter	Nilai	Satuan
Ketinggian Arestor	1,63	m
Tegangan Sistem	150	kV
Resistansi Pentanahan	3,35	Ohm
Menara		
Jumlah Menara	24	
Panjang Lengan Menara	6,6	m
Panjang Salurang	8,045	km
Ukuran Konduktor	282,5	mm
Rating Arestor	10	kA
Rating Transformator	150/20	kV
Daya Transformator	60	MVA

Berikut ini adalah pemodelan dari saluran transmisi dan gardu induk 150 kV pada perangkat lunak ATPDraw (Román, 2019).



Gambar 4. Pemodelan Sistem Pada ATPDraw

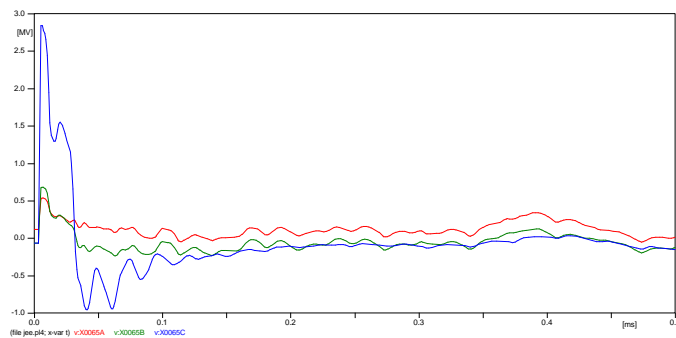
Gambar 2 adalah pemodelan dari setiap peralatan sistem tenaga listrik yang ada pada gardu induk maupun sistem transmisi. Arus petir disimulasikan dengan model Heidler yang di paralel dengan resistor 400 Ohm dan menara transmisi 150 kV dimodelkan dengan menggunakan model menara JMarti.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

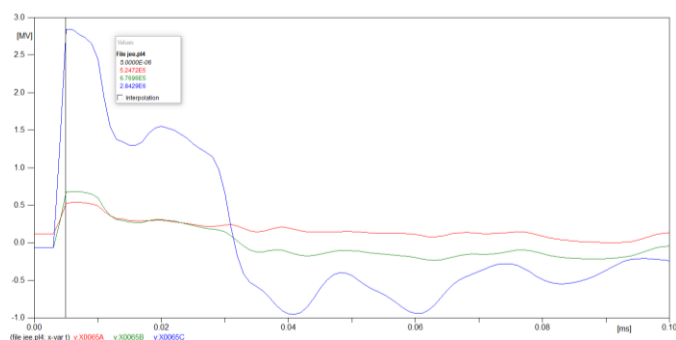
Pada bagian ini akan dilakukan simulasi dan analisis sambaran petir langsung pada konduktor fasa. Sambaran petir disimulasikan menyambar menara pertama atau menara yang jaraknya paling dekat dengan gardu induk 150 kV. Ada 3 investigasi yang akan dilakukan yaitu sambaran petir ketika sistem tidak terpasang arester, investigasi ketika sistem terpasang arester Tipe Q150NA121A dan investigasi ketika sistem terpasang arester Tipe Q150NB121A

A. Analisis Tegangan Lebih Tanpa Terpasang Arestor

Investigasi pertama pada penelitian ini yaitu sambaran petir langsung pada konduktor transmisi tanpa terpasangnya peralatan arester di gardu induk atau transformator daya dengan nilai arus sambaran petir sebesar 10 kA (Nugroho et al, 2018).



Gambar 5. Tegangan Lebih Tanpa Terpasang Arestor (0,5 ms)



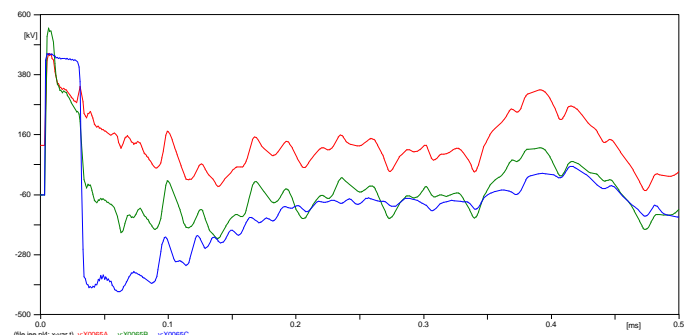
Gambar 6. Tegangan Lebih Tanpa Terpasang Arestor (0,1 ms)

Berdasarkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan gambar 5 dan gambar 6, tegangan lebih yang melewati terminal transformator daya nilainya melebihi dari BIL peralatan tersebut, pada fasa C mengalami lonjakan tegangan paling tinggi dibandingkan dengan fasa lainnya yaitu sebesar 2,84 MV, sedangkan fasa A dan B sebesar 524 kV dan 676 kV. Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan pada transformator daya

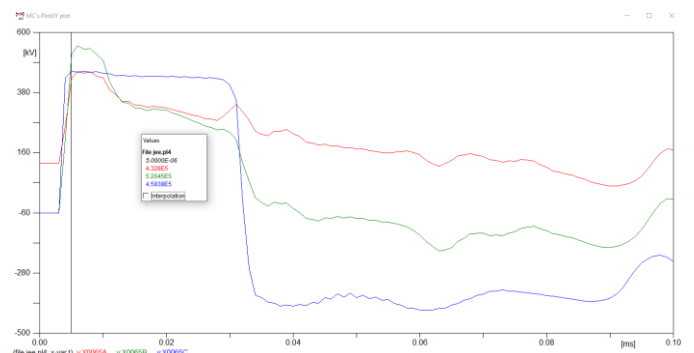
sehingga perlu dilakukan pengurangan dan pencegahan tegangan lebih akibat sambaran petir langsung tersebut.

B. Analisis Tegangan Lebih Dengan Arestor Tipe Q150NA121A

Investigasi berikutnya adalah melakukan pemasangan peralatan arester di gardu induk tepatnya pada terminal transformator yaitu untuk fasa C, karena pada fasa tersebut lonjakan tegangan terjadi sangat tinggi dibandingkan dengan fasa lainnya. Tipe arester yang akan dipasang yaitu tipe Q150NA121A dengan rating tegangan sebesar 150 kV. Karakteristik non-linier arester tersebut didapatkan dengan berpedoman pada kurva yang diusulkan oleh IEEE WG 3.4.11 yang dikalikan dengan level tegangan impuls petir ketika bernilai 10 kA (3.4.11 I.W.G, 1992).



Gambar 7. Tegangan Lebih Saat Terpasang Arestor Q150NA121A (0,5 ms)



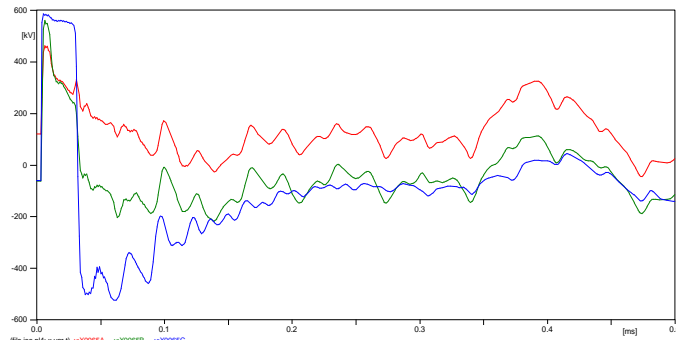
Gambar 8. Tegangan Lebih Saat Terpasang Arestor Q150NA121A (0,1 ms)

Berdasarkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan oleh gambar 7 dan gambar 8, tegangan lebih pada terminal transformator berkurang sampai dibawah nilai standar BIL. Tegangan lebih pada fasa C menjadi sebesar 458 kV, sedangkan pada fasa A dan B sebesar 432 kV dan 520 kV. Sehingga dapat dikatakan bahwa transformator aman dari tegangan lebih impuls petir.

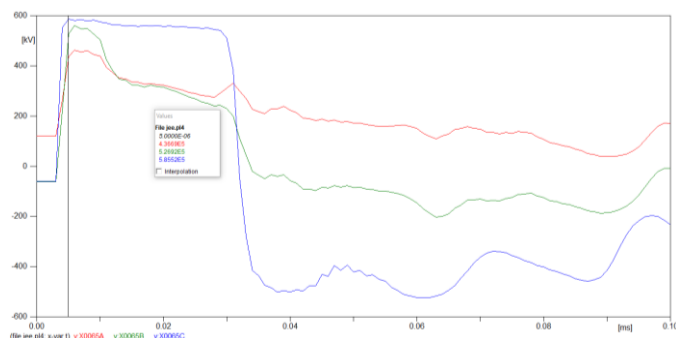
C. Analisis Tegangan Lebih Dengan Arestor Tipe Q150NB121A

Investigasi yang terakhir yaitu melakukan pemasangan arester seperti investigasi sebelumnya tetapi dengan tipe arester

yang berbeda yaitu tipe Q150NB121A. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini.



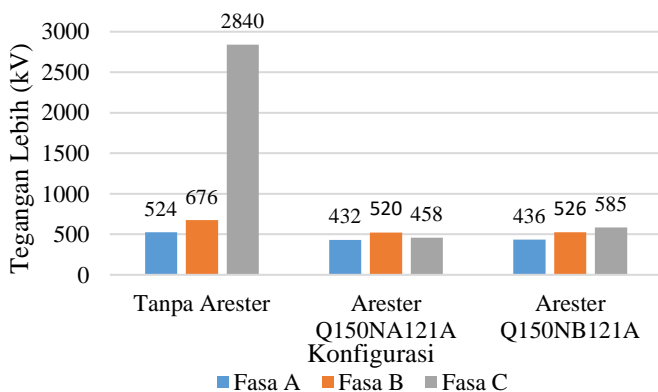
Gambar 9. Tegangan Lebih Saat Terpasang Arrester Q150NB121A (0,5 ms)



Gambar 10. Tegangan Lebih Saat Terpasang Arrester Q150NB121A (0,1 ms)

Tegangan lebih yang dihasilkan arrester tipe Q150NB121A menunjukkan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan tipe arrester Q150NA121A yaitu pada fasa C sebesar 585 kV sedangkan untuk fasa A dan B sebesar 436 kV dan 526 kV.

Dari ketiga investigasi yang telah dilakukan, dapat dilihat perbandingannya dengan disajikan dalam bentuk grafik seperti berikut.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Setiap Investigasi

IV. PENUTUP

Pemasangan arrester pada gardu induk 150 kV dapat mengurangi tegangan lebih akibat sambaran petir langsung,

sehingga nilainya tidak melebihi dari standar BIL yang diijinkan menurut IEEE C62.22. Dari hasil penelitian, penggunaan arrester tipe Q150NA121A dapat mengurangi tegangan lebih mencapai 43,17% sedangkan untuk arrester tipe Q150NB121A hanya mencapai 12,26%. Sehingga sangat disarankan pada gardu induk 150 kV untuk menggunakan arrester dengan tipe yang tepat agar peralatan seperti transformator daya dapat terlindungi dari tegangan lebih sambaran petir langsung.

REFERENSI

- 3.4.11, I. W. G. (1992) 'Protective Devices Committee's subcommittee', *Transaction on Power Delivery*, 7(1), pp. 302–309.
- Ali, S. A. (2013) 'Design of lightning arresters for electrical power systems protection', *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 11(6), pp. 433–442. doi: 10.15598/aeec.v11i6.661.
- Bedoui, S., Bayadi, A., & Haddad, A. M. (2010, September). Analysis of lightning protection with transmission line arrester using ATP/EMTP: Case of an HV 220kV double circuit line. In *45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010* (pp. 1-6). IEEE.
- IEEE Std C62.22a (2013) IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating-Current Systems.
- Hosseini, S. A., Mirzaie, M. and Barforoshi, T. (2015) 'Impact of Surge Arrester Number and Placement on Reliability and Lightning Overvoltage Level in High Voltage Substations', *INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER AND ENERGY SYSTEMS*, 65, pp. 146–158. doi: 10.1016/j.ijepes.2014.09.037.
- Nappu, M. B., Arief, A. and Said, S. M. (2018) 'The Placement of the Transmission Lightning Arrester (TLA) at 150 kV Network using Fuzzy Logic', pp. 347–352.
- Keputusan Direksi PLN (2014), Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Extra Tinggi (SUTT/SUTET), PT. PLN (Persero).
- Mardira, K. P., & Saha, T. K. (2011). A simplified lightning model for metal oxide surge arrester. The University of Queensland–Australia.
- Mesquita, D. D. B., Silva, J. L. D. S., Moreira, H. S., & Villalva, M. G. (2019). Residual voltage tests in zinc oxide (ZnO) surge arrester of 69kV. *IEEE industry applications magazine*.
- Nawi, Z. M., Ab Kadir, M. Z. A., & Ahmad, W. W. (2011, April). On the placement of line arrester on underbuilt overhead distribution line. In *2011 Fourth International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization* (pp. 1-6). IEEE.
- Nugroho, A., Abouzeid, O., Syakur, A., & Facta, M. (2018, September). An Investigation of Direct Grounding System Effect on Modeling of Lightning and Tower in Transmission Line. In *2018 5th International Conference on Information Technology, Computer, and*

- Electrical Engineering (ICITACEE) (pp. 272-275). IEEE.
- Puriyanto, R. D., Haryono, T., & Widiastuti, A. N. (2016). Perbandingan Tegangan Residu Arester SiC dan ZnO Terhadap Variasi Front Time. *Jurnal Ilmu Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 2(2), 47
- Román, F. 550 kV HVDC Transmission Line Surge Arrester: EMTP-ATP Simulation Model. In 2019 International Symposium on Lightning Protection (XV SIPDA) (pp. 1-7). IEEE.
- Sardi, J., Ong, J. and Chian, C. (2010) 'Evaluation of Surge Arrester Requirement for Overhead Transmission Line using Electromagnetic Transient Program', IEEE International Conference on Power and Energy, pp. 985–988.
- Syakur, A., Yuningtyastuti, Y., Setiaji, M. E. D., & Aprianto, A. (2012). Unjuk Kerja Isolator 20 kV Bahan Resin Epoksi Silane Silika Kondisi Basah dan Kering. *Transmisi*, 14(2), 68-72.
- Utomo, B. T., Nappu, M. B., Said, S. M., & Arief, A. (2018, July). The Placement of the Transmission Lightning Arrester (TLA) at 150 kV Network using Fuzzy Logic. In 2018 10th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) (pp. 347-352). IEEE.