

## **Perancangan Sistem Proteksi Pada Peralatan Elektromedis Terhadap Sambaran Petir Tidak Langsung**

**Eko Nugroho<sup>1\*</sup>, Setyo Adi Nugroho<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Prodi Sarjana Terapan Teknik Rekayasa Elektromedis, ITS PKU Muhammadiyah Surakarta

\*Email: ekonugroho@itspku.ac.id

### **Kata Kunci:**

*Transien, arrester, tegangan lebih, petir*

### **Abstrak**

*Dalam satu dekade terakhir dunia kesehatan mengalami perubahan yang cukup besar. Perkembangan teknologi di bidang kesehatan mempermudah pasien dalam mendapatkan layanan kesehatan. Alat Elektromedik adalah alat kesehatan yang memakai catu daya listrik. Gangguan yang sering terjadi pada saluran transmisi dan distribusi salah satunya disebabkan oleh sambaran petir baik sambaran petir langsung maupun sambaran petir tidak langsung. Meskipun kilatan petir jatuh di daerah yang agak jauh, arus listrik imbas sambaran tetap mengalir pada berbagai kabel penghantar seperti kawat penghantar listrik dan kabel telepon yang memiliki kemampuan merusak peralatan elektronik. Upaya proteksi telah dilakukan, namun dengan semakin luas, semakin banyak dan semakin canggihnya peralatan listrik dan elektronik yang digunakan menyebabkan semakin rumitnya sistem proteksi yang diperlukan. Sering terjadi kegagalan proteksi akibat kemampuan arrester yang menurun dan jarak yang melebihi batas kemampuan arrester. Untuk itu, perlu dirancang sistem proteksi tambahan pada sisi beban khususnya peralatan elektromedis untuk mencegah kerusakan dan kesalahan fungsi peralatan tersebut. Perancangan dilakukan dengan simulasi menggunakan software Alternative Transient Program (ATP). Dari hasil simulasi dan analisis diketahui bahwa penambahan perangkat proteksi pada sisi beban akan melindungi peralatan elektronik dari tegangan lebih transien akibat sambaran petir tidak langsung. Tegangan yang menyuplai beban tetap pada batas tegangan nominal yaitu 220 V.*

## **Protection System Design On Electromedical Equipment Against Indirect Lightning Strikes**

### **Keyword:**

*Transient, arrester, overvoltage, lightning strike*

### **Abstract**

*In the last decade, the world of health has undergone considerable changes. Technological developments in the health sector make it easier for patients to get health services. Electromedical devices are medical devices that use an electric power supply. One of the disturbances that often occur in transmission and distribution lines is caused by lightning strikes, either direct lightning strikes or indirect lightning strikes. Even though the lightning flash falls in a rather distant area, the electric current caused by the strike still flows in various conducting wires such as electric conductors and telephone wires which have the ability to damage electronic equipment. Protection efforts have been made, but*

*with the wider, more and more sophisticated electrical and electronic equipment used, the more complex the protection system required. Protection failure often occurs due to decreased arrester capability and the distance that exceeds the arrester capability limit. For this reason, it is necessary to design an additional protection system on the load side, especially electromedical equipment to prevent damage and malfunction of the equipment. The design is done by simulation using Alternative Transient Program (ATP) software. From the simulation and analysis results, it is known that the addition of a protective device on the load side will protect electronic equipment from transient overvoltages due to indirect lightning strikes. The voltage supplying the load remains at the nominal voltage limit of 220 V.*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi peralatan elektromedis dapat dikatakan sangat cepat, terutama setelah didampingi dengan perkembangan perangkat lunak yang memungkinkan teknologi citra dan telemedis (Jamil, dkk., 2015). Berdasarkan pertimbangan untuk menghindari risiko bahaya atau kecelakaan dari peralatan elektromedis ini, diperlukan mekanisme pengamanan melalui penerapan standar yang khusus dari aspek keselamatan penggunaan peralatan kesehatan. Beberapa negara maju sudah mempertimbangkan hal ini dengan menetapkan beberapa standar, antara lain standar keselamatan peralatan elektromedik seri IEC 60601 (LIPI, 2015). Standar IEC 60601-1, Medical electrical equipment - Part 1: *General requirements for basic safety and essential performance* merupakan standar yang menekankan keselamatan pada aspek kelistrikan dengan batasan-batasan yang diperkirakan tidak sampai mencederai manusia (IEC, 2012).

Permasalahan yang sering ditemukan pada sistem jaringan tenaga listrik adalah kualitas daya listrik (Nugroho, dkk., 2016). Gangguan-gangguan eksternal yang timbul dan jenis-jenis beban yang terhubung dengan sistem tenaga listrik sangat mempengaruhi kualitas daya listrik. Salah satu gangguan dari luar adalah sambaran petir, fenomena alam yang tidak dapat dihindarkan. Di rumah sakit, beban peralatan listrik didominasi oleh beban yang

yang bervariasi antara lain beban peralatan radiologi, mesin cuci dengan motor penggerak yang bersifat induktif, beban lampu penerangan, beban peralatan kantor seperti komputer dan lain-lain.

Terdapat dua macam sambaran petir, yaitu sambaran petir langsung (*direct stroke*) dan sambaran petir tidak langsung (*indirect stroke*). Sambaran petir langsung terjadi apabila petir menyambar langsung kawat fasa atau kawat pelindungnya. Sedangkan sambaran petir tidak langsung terjadi apabila petir menyambar objek di dekat saluran (Syakur, dkk., 2009).

Pada jaringan tegangan rendah, penyebab terbesar tegangan lebih adalah sambaran tidak langsung petir. Hal ini disebabkan pada jaringan tegangan rendah memiliki tingkat dasar isolasi (*basic insulation level/BIL*) yang relatif rendah. Mekanisme sambaran tidak langsung ini juga dapat menimbulkan kerusakan pada arrester, peralatan elektronik tegangan rendah, dan gangguan operasi sistem tenaga listrik. Mekanisme sambaran langsung petir pada jaringan jarang terjadi, tapi dapat menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada jaringan dan instalasi peralatan listrik (Zoro, 2009).

Sambaran petir yang terjadi pada jaringan tegangan tinggi dapat menyebabkan tegangan lebih dan merusak peralatan listrik pada sistem transmisi maupun distribusi, sedangkan sambaran petir pada saluran tegangan rendah dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik yang biasanya terdapat di dalam rumah. Pada sambaran langsung, petir tepat

menyambar jaringan listrik tanpa perantara dan merusak peralatan listrik. Sedangkan pada sambaran tidak langsung, petir akan menginduksi peralatan listrik, dan dapat juga terjadi kenaikan tegangan tanah (*ground potential rise*) sehingga terjadi kenaikan tegangan pentanahan di peralatan listrik. Kedua jenis tegangan tersebut menimbulkan tegangan tinggi transien pada saluran (Akbar, 2018).

Seperti kita maklumi bersama, penambahan daya yang cukup besar hanya untuk satu alat X-ray akan sangat mempengaruhi operasional rumah sakit, terutama terhadap beban listrik. Sehingga pengamanan terhadap jaringan dan peralatan radiologi akan sangat mempengaruhi foto yang dihasilkan oleh peralatan X-ray. Pengamanan pasien dan operator terhadap tegangan sentuh yang mungkin terjadi merupakan prioritas terhadap setiap pemasangan dan operasional suatu peralatan X-ray. Lebih khusus lagi apabila peralatan X-ray digunakan untuk pasien yang peka atau pasien dalam kondisi tidak sadar.

Kebutuhan listrik yang dipergunakan untuk mensuplai peralatan radiologi memerlukan daya yang cukup besar. Pada umumnya daya yang digunakan oleh peralatan radiologi adalah untuk membangkitkan/menghasilkan sinar X. Pembangkitan sinar X tersebut berkisar antara 0,01 detik s/d 0,5 detik untuk radiographi sehingga pemakaian listrik efektif peralatan radiologi adalah 0,5 detik sedangkan untuk fluoroscopy, berkisar antara 3 s/d 5 menit khusus untuk pemeriksaan tertentu untuk satu kali pemotretan. Kecuali untuk peralatan CI Scan yang memerlukan waktu max 0,5 detik dan berulang-ulang.

### **Nilai Ketahanan Listrik Terhadap Tegangan Lebih**

Peralatan yang terhubung harus memiliki ketahanan terhadap tegangan lebih transien. Peralatan tersebut harus memiliki tegangan impuls pengenalan yang tidak lebih kecil dari tingkat tegangan lebih yang berlaku di tempat instalasi (BSN, 2011).

Kategori I adalah perlengkapan yang dipasang dalam berbagai bagian instalasi atau dalam perakitan yang keadaan tegangan

transiennya dibatasi sampai tingkat rendah tertentu. Contohnya perlengkapan dalam rangkaian elektronik.

Kategori II adalah perlengkapan yang dihubungkan dengan instalasi tetap. Contohnya piranti rendah (*portable*) dan piranti rumah tangga lainnya dengan beban yang sejenis.

Kategori III adalah perlengkapan yang dihubungkan dengan instalasi tetap dan pada keadaan dimana keandalan dan ketersediaan perlengkapan memenuhi berbagai syarat tertentu. Contohnya adalah saklar untuk instalasi tetap dan perlengkapan untuk pemakaian di industri, yang dihubungkan permanen pada instalasi tetap seperti kapasitor, resistor dan lain-lain.

Kategori IV adalah perlengkapan yang dipakai pada awal/hulu instalasi. Contohnya kWh meter dan perlengkapan gawai proteksi di PHB induk

Menurut standar SNI 04-0225-200 mengenai perlindungan peralatan terhadap tegangan lebih transien pada peralatan yang bekerja dengan tegangan nominal 220/380 V tegangan yang diperbolehkan pada kategori 1 adalah peralatan dalam rangkaian elektronik dengan tegangan maksimum adalah 1500 V. Tegangan tersebut masih diijinkan bila terjadi gangguan lebih transien.

### **Pengaman Jaringan Distribusi**

Sistem proteksi pada jaringan distribusi berfungsi untuk mencegah atau membatasi kerusakan yang terjadi pada jaringan atau peralatan, menjaga keselamatan umum hingga pada akhirnya meningkatkan mutu dan kontinuitas pelayanan kepada konsumen (Setiono dan Priarta, 2016). Perlindungan jaringan distribusi meliputi dua hal:

- a. Perlindungan terhadap hubung singkat dan arus lebih atau gangguan pada saluran, peralatan yang bisa disebut juga perlindungan terhadap arus lebih.
- b. Perlindungan terhadap gangguan petir atau biasa disebut dengan perlindungan terhadap tegangan lebih.

Pengaman pada sistem tenaga listrik seharusnya mengikuti prinsip dasar dari pengaman sebagai berikut:

- a. Ketahanan; maksudnya adalah kemampuan untuk mengamankan sistem tenaga dan beroperasi secara benar.
- b. Cepat; beroperasi dengan waktu yang pendek untuk menghilangkan gangguan untuk menghindari kerusakan dari peralatan.
- c. Kemampuan pemilihan; memelihara kelancaran penyaluran daya listrik dengan memutuskan jaringan yang penting untuk mengisolasi gangguan.
- d. Biaya; perlindungan maksimal dengan harga yang sekecil mungkin.

Lightning Arrester adalah alat proteksi bagi peralatan listrik terhadap tegangan lebih, yang disebabkan oleh surja petir atau surja hubung (*switching surge*). Alat ini bersifat sebagai by-pass di sekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui oleh arus kilat ke sistem pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik. By-pass ini harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya sistem frekuensi 50 Hz (Turissia, 2019).

Jadi pada keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator, jika timbul tegangan surja alat ini bersifat sebagai konduktor yang tahanannya relatif rendah, sehingga dapat mengalirkan arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang, arrester harus dapat dengan cepat kembali menjadi isolasi.

Arrester tegangan rendah maupun tegangan tinggi dibutuhkan untuk mencegah adanya kerusakan peralatan listrik akibat tegangan lebih yang terjadi pada saluran. Arrester banyak dijual di pasaran, sehingga dapat ditemukan dengan mudah. Namun kelayakan suatu arrester tidak dapat langsung diterima, karena diperlukan adanya pengujian arrester dengan menggunakan tegangan impuls seperti petir untuk dapat melindungi peralatan listrik dengan baik.

Berdasarkan penetapan standar keamanan maka perlu analisis dan perancangan sistem proteksi terhadap gangguan khususnya gangguan terhadap sambaran petir tidak langsung. Tujuannya untuk mencapai keandalan

sistem tenaga listrik agar daya listrik yang dialirkan pada peralatan elektromedis aman dan reliabel untuk menghindari kesalahan fungsi dan kerusakan peralatan elektromedis serta tidak menciderai manusia.

Penempatan arrester sedekat mungkin dengan peralatan dapat melindungi peralatan dari gangguan tegangan lebih transien. Saat terjadi gelombang berjalan yang menimbulkan tegangan lebih terhadap peralatan yang letaknya sedikit jauh dari arrester maka peralatan tersebut akan tetap terlindungi, bila jarak arrester masih dalam radius kerja proteksi (Sintianingrum, dkk., 2016).

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan sampel beberapa peralatan elektronik dan peralatan elektromedis yang menggunakan daya besar. Penelitian ini menggunakan metode analisa dan penyelesaian masalah. Sampel dipilih dengan pengelompokan jenis-jenis beban ke dalam jenis beban resistif, kapasitif dan induktif. Beban resistif meliputi beban lampu penerangan. Beban induktif meliputi beban peralatan listrik yang terdiri dari motor listrik seperti peralatan radiologi, mesin cuci, kompresor, pendingin ruangan. Beban kapasitif meliputi peralatan elektronik seperti komputer.

Analisis dan simulasi transien elektromagnetik adalah metodologi dasar untuk memahami kinerja sistem tenaga listrik, menentukan tingkat keandalan sistem tenaga listrik, menjelaskan kegagalan atau pengujian proteksi sistem tenaga listrik.

Analisa dan simulasi surja sambaran petir dan operasi pensaklaran menyalakan dan mematikan (*on-off switching*) beban menggunakan perangkat lunak ATP. Perangkat lunak Alternative Transients Program (ATP) dan ATPDraw yang merupakan bagian dari Electromagnetic Transients Program (EMTP) merupakan perangkat lunak (*software*) yang mampu membantu untuk membuat dan mengedit suatu bentuk/model dari jaringan/rangkaian listrik ke dalam komputer

untuk kemudian disimulasikan dalam bentuk grafik (Waskito dan Banmongkol, 2019).

Hasil analisa digunakan untuk merancang sistem proteksi dengan menentukan jenis peralatan proteksi dan ukuran besar tegangan dan arus yang mampu dieliminasi oleh peralatan proteksi tersebut. Hasil dari penelitian ini kemudian dapat dijadikan sebagai referensi untuk menentukan penggunaan arrester sesuai dengan BIL (*Basic Insulation Level*) sistem tegangan yang dipakai.

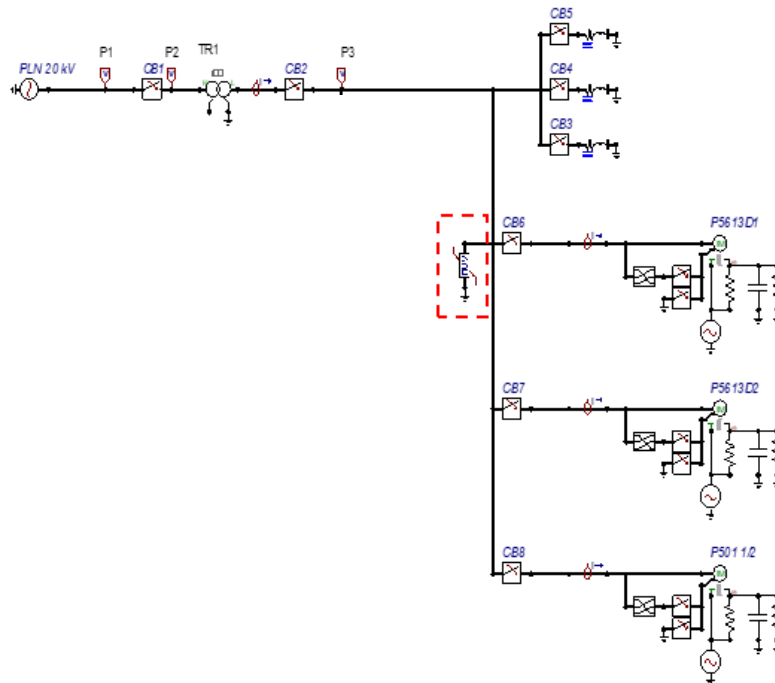
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam kondisi normal, bentuk sinyal tegangan yang mengalir pada sistem tenaga listrik berbentuk gelombang sinus seperti pada gambar 2. Saat terjadi gangguan akibat sambaran petir tidak langsung akan ada lonjakan

tegangan sesaat seperti pada gambar 3. Meskipun lonjakan tegangan ini terjadi hanya sesaat dalam waktu yang sangat singkat, imbas dari lonjakan tegangan lebih tersebut akan menimbulkan gangguan bahkan menimbulkan kerusakan pada peralatan elektronik.

#### a. Blok diagram pemasangan arrester

Rangkaian simulasi penambahan arrester pada sisi tegangan rendah atau beban peralatan elektronik ditunjukkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Penambahan surge arrester pada sisi beban.

#### b. Hasil Pengujian arrester terhadap surja petir

Pengujian dilakukan dengan simulasi menggunakan program ATP dengan asumsi amplitudo tegangan transien yang timbul

akibat sambaran petir tidak langsung sebesar 10.000 volt. Waktu muka petir yang digunakan adalah 1,2 us. Pada gambar 5 menunjukkan simulasi program ATP dengan penambahan arrester akan membatasi tegangan dengan

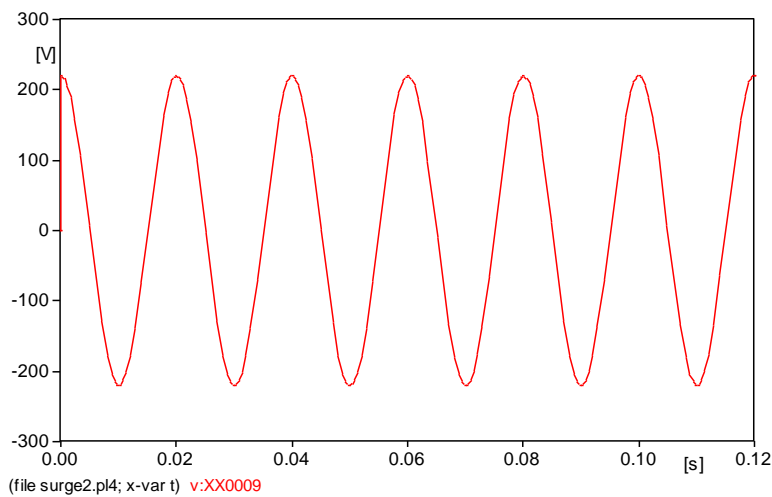
memotong tegangan yang melebihi 220 volt sehingga tegangan pada jaringan listrik yang mengalir ke beban tidak melebihi tegangan nominal kerja peralatan listrik tersebut.

**c. Perbandingan tegangan tanpa arrester**

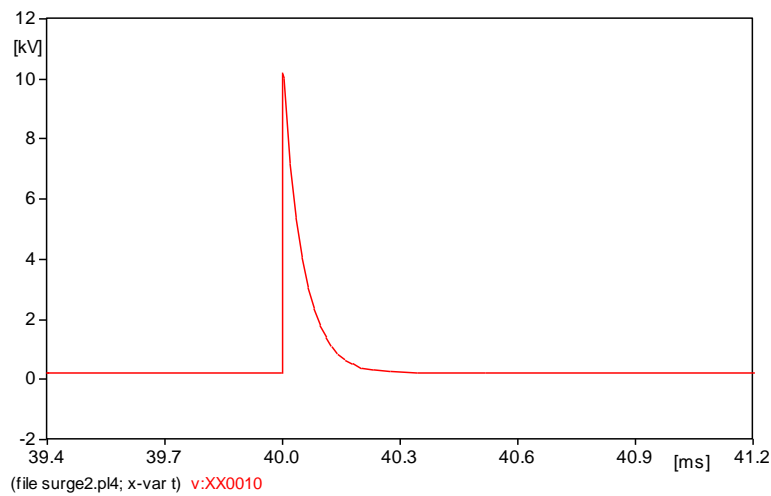
Model rangkaian simulasi sama dengan rangkaian simulasi dengan terpasang arrester namun yang membedakan hanya pada rangkaian simulasi tidak terdapat

arrester pada rangkaian tersebut. Hal ini ditujukan untuk mengetahui seberapa besar tegangan lebih yang terjadi pada jaringan listrik pada beban peralatan elektronik.

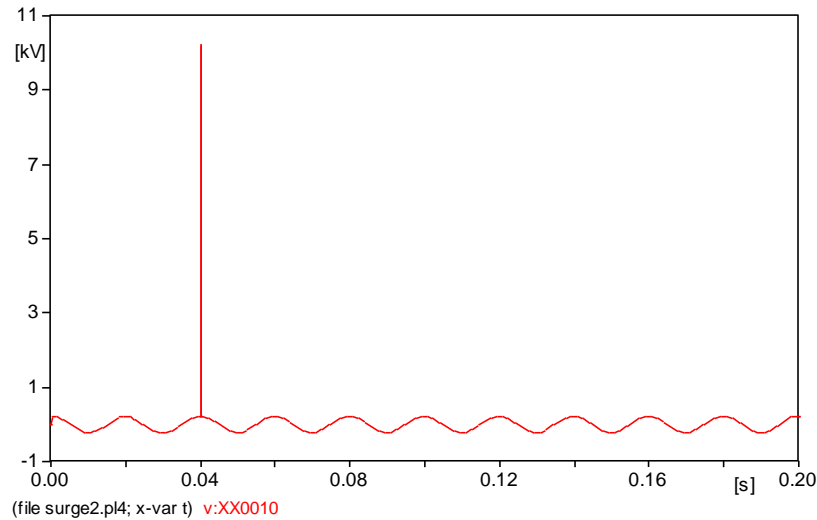
Berdasarkan gambar 4 terlihat bahwa tegangan transien yang mengalir pada jaringan listrik apabila terkena sambaran petir dan tidak terpasang arrester akan sangat tinggi.



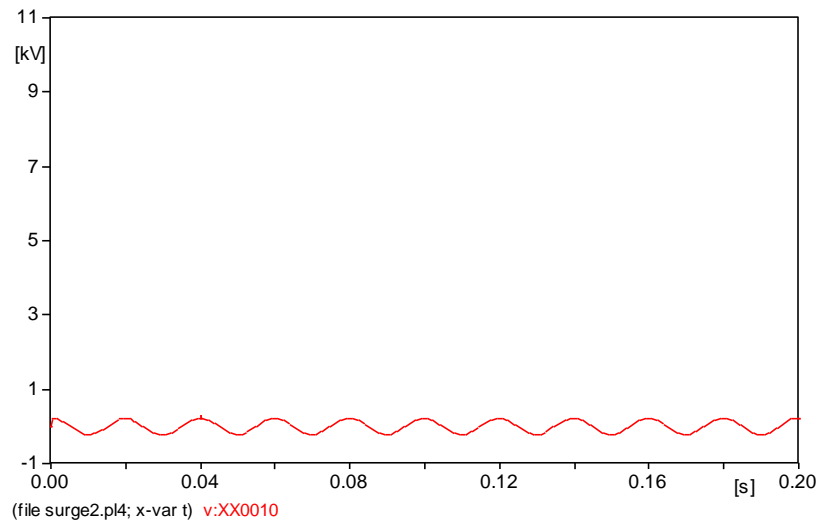
Gambar 2. Gelombang sinus jala-jala listrik.



Gambar 3. Gelombang sambaran petir.



Gambar 4. Gelombang jala-jala listrik terkena sambaran petir.



Gambar 5. Gelombang jala-jala listrik dengan penambahan arrester terkena sambaran petir.

#### 4. SIMPULAN

Gangguan yang sering terjadi pada saluran transmisi dan distribusi salah satunya disebabkan oleh sambaran petir baik sambaran petir langsung maupun sambaran petir tidak langsung.

Semakin luas, semakin banyak dan semakin canggihnya peralatan listrik dan elektronik yang digunakan khususnya pada bidang kesehatan menyebabkan semakin rumitnya sistem proteksi

yang diperlukan. Sering terjadi kegagalan proteksi akibat kemampuan arrester yang menurun dan jarak yang melebihi batas kemampuan arrester. Oleh karena itu perlu dirancang sistem proteksi tambahan pada sisi beban untuk menghindari imbas dari gangguan tersebut.

Perancangan sistem proteksi dilakukan dengan simulasi menggunakan software Alternative Transient Program (ATP). Sistem proteksi yang dimaksud adalah proteksi tambahan pada sisi

beban. Dari hasil simulasi dan analisis diketahui bahwa penambahan perangkat proteksi pada sisi beban akan melindungi peralatan elektronik dari tegangan lebih transien akibat sambaran petir tidak langsung. Tegangan yang menyuplai beban tetap pada batas tegangan nominal yaitu 220 V.

## 5. REFERENSI

- Internasional Electrotechnical Commission (IEC). (2012). IEC 60601-1, *Medical electrical equipment – Part 1: General requirements for basic safety and essential performance*. Geneva, Switzerland: Internasional Electrotechnical Commission.
- Zoro, R. (2009). Induksi Dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik Akibat Sambaran Petir Pada Jaringan Tegangan Rendah. *MAKARA*. 13(1) : 25 – 32.
- Sintianingrum, A., Martin, Y dan Komalasari, E. (2016). Simulasi Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir terhadap Penentuan Jarak Maksimum untuk Perlindungan Peralatan pada Gardu Induk. *Rekayasa dan Teknologi Elektro*. 10(1) : 54–61.
- Syakur, A., Warsito, A dan Nilawati, L. (2009). Kinerja Arrester Akibat Induksi Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV. *Teknik Elektro*. 11(1) : 09–14.
- Waskito, F and Banmongkol, C. (2019). Simulation of the voltage sag effects on an induction motor. *Int. Conf. Consum. Electron. Commun. Networks, CECNet Proc.* 2019 : 731–734.
- Jamil, M., Khairan, A dan Fuad, A. (2015). Implementasi Aplikasi Telemedicine Berbasis Jejaring Sosial Dengan Pemanfaatan Teknologi Cloud Computing. *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika*. 1(1) : 41 – 45.
- Setiono, I dan Priarta, A.G. (2016). Rele 220 V AC Sebagai Otomatisasi Catu Tegangan Pada Pemutus Balik (Recloer) Untuk Keandalan Sistem Penyaluran Energi Listrik. *Prosiding SNST ke-7* (pp. 12 – 17). Semarang: UNWAHAS.
- Nugroho, E., Haryono, T dan Suharyanto. (2016). Transient Analysis of Electric Power System in Refinery Industry: Case Study in PT. KIAS Gresik. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 7(4) :
- Turissia, A.P. (2019). Analisis Proteksi Tegangan Induksi Surja Petir Pada Saluran Udara Tegangan Menengah (Sutm) 20 KV Studi Kasus Trafo I PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Jaringan Purbalingga. *Artikel Ilmiah*. Universitas Jenderal Soedirman.
- Badan Standardisasi Nasional (2011). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011. *Standar Nasional Indonesia*. Jakarta: BSN.
- Akbar, M. (2018). Analisa Pengaruh Air Murni dan Air Garam Terhadap Arus Bocor Elemen Arrester Tanpa Sela. *Tesis*. Universitas Andalas.
- LIPI. (2015). Standar Peralatan Elektromedis: Urgensi dan Tantangan. *Magazine*. Banten: LIPI.