



**KINERJA *LIGHTNING ARRESTER*
YANG BERUSIA LEBIH DARI 30 TAHUN
DI GARDU INDUK 150 kV SRONDOL
PT.PLN (PERSERO) UPT SEMARANG**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

Iqbal Pugar Ramadhan

NIM.5301415009

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

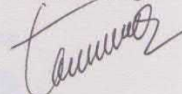
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “Kinerja *Lightning Arrester* Yang Berusia Lebih Dari 30 Tahun Di Gardu Induk 150 kV Srandol PT.PLN (Persero) UPT Semarang” ini telah disetujui oleh pembimbing untuk di ajukan ke sidang panitia ujian skripsi pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 14 November 2019

Pembimbing



Drs. Sutarno, M.T

NIP.195510051984031001

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul “Kinerja *Lightning Arrester* Yang Berusia Lebih Dari 30 Tahun Di Gardu Induk 150 kV Srandol PT.PLN (Persero) UPT Semarang” ini telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 14 bulan November tahun 2019

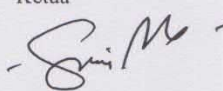
Oleh

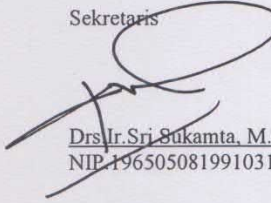
Nama : Iqbal Pugar Ramadhan

Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Ketua

Sekretaris


Ir. Ulfah Mediaty Arief M.T. IPM
NIP.196605051998022001

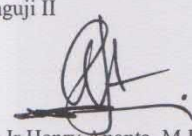

Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si, IPM
NIP.196505081991031003

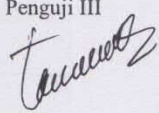
Penguji I

Penguji II

Penguji III



Drs. Isdiyarto, M.Pd
NIP.195706051986011001


Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd, IPM
NIP.195907051986011002


Drs. Sutarno, M.T
NIP.195510051984031001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik




Dr. Nur Qudus, M.T, IPM
NIP.196911301994031001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Iqbal Pugar Ramadhan

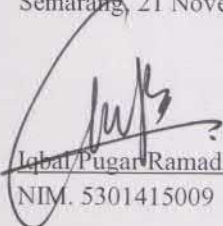
NIM : 5301415009

Tempat, Tanggal Lahir : Blitar, 12 Februari 1996

Alamat : Dsn.Gumawang,Ds.Mungkung,Kec.Kalikajar,
Kab.Wonosobo,Provinsi Jawa Tengah.

Menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi ini adalah hasil jiplakan dari karya tulis orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Semarang, 21 November 2019


Iqbal Pugar Ramadhan
NIM. 5301415009

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO :

- “Lakukan kebaikan untuk orang lain, bahkan ketika mereka tidak melakukan kebaikan bagi Anda; orang lain tentu akan berbuat baik kepada Anda. Jika masih ada rasa malu dan takut di hati seseorang untuk berbuat baik, pasti tidak akan ada kemajuan sama sekali.” (Ir. Soekarno)
- Dalam hidup ini, kita punya beberapa masalah. Tapi saat kau mengkhawatirkannya, kau justru menggandakan masalah tersebut. (Bobby Mc.Ferrin)
- Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar. – (Q.S Ar-Rum: 60)

PERSEMBAHAN :

Kupersembahkan skripsi ini kepada :

- Ibu, Bapak, Kakak, Adik, serta keluarga yang senantiasa mendoakan dan mendukung.
- Ibu dan Bapak dosen yang selama ini memberikan ilmu pengetahuan maupun ilmu kehidupan.
- Dosen pembimbing yang selama ini memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan skripsi.
- Sahabat dan Keluarga Pendidikan Teknik Elektro angkatan 2015 yang selalu mendoakan dan memberikan masukan selama ini.

SARI

Iqbal Pugar Ramadhan, 2019, Kinerja *Lightning Arrester* Yang Berusia Lebih Dari 30 Tahun Di Gardu Induk 150 kV Sronдол PT.PLN (Persero) UPT Semarang. Skripsi. Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Drs.Sutarno, M.T.

Saluran transmisi memiliki menara yang tinggi untuk menyalurkan energi listrik, sehingga gangguan-gangguan alam seperti surja petir maupun gangguan peralatan yang mengakibatkan surja hubung perlu ditindaklanjuti. Gangguan tersebut berbahaya jika terjadi di Gardu Induk. Untuk meminimalisir gangguan-gangguan tersebut, maka diperlukan peralatan-peralatan *Lightning Arrester* yang berfungsi untuk mengalirkan gangguan tegangan lebih yang disebabkan oleh surja petir maupun surja hubung ke tanah, sehingga tidak mengganggu maupun merusak peralatan-peralatan di Gardu Induk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Kinerja *Lightning Arrester* Yang Berusia Lebih Dari 30 Tahun Di Gardu Induk 150 kV Sronдол PT.PLN (Persero) UPT Semarang. Berdasarkan hasil penelitian, kemudian dapat diketahui bahwa kinerja *Lightning Arrester* berdasarkan suhu terminal dan arus bocor *Lightning Arrester* menunjukkan nilai persentase dengan kondisi 97,91% baik dan masih layak untuk beroperasi. Kemudian diperoleh nilai korelasi arus bocor dengan suhu terminal *Lightning* pada pandedanlamper 2 sebesar 0,416197 (cukup kuat dan positif). Dari hasil analisis tersebut kemudian diketahui hasil analisis regresi usia dengan Arus Bocor *Lightning Arrester* dan Suhu Terminal *Lightning Arrest* pada Bay Penghantar Pandedanlamper 2 diperoleh batas usia rata-rata pada Bay Penghantar Pandedanlamper 2 yaitu pada usia ke 37 tahun.

Kata kunci : Arus Bocor, Korelasi, *Lightning Arrester*, Regresi, Suhu

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul *Kinerja Lightning Arrester Yang Berusia Lebih Dari 30 Tahun Di Gardu Induk 150 kV Srandol PT.PLN (Persero) UPT Semarang*. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan syafaat-NYA di Yaumul Akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr.Nur Qudus, M.T.IPM., Dekan Fakultas Teknik, Ir.Ulfah Mediaty Arief, M.T.IPM., Ketua Jurusan dan Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektro atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Drs.Sutarno, M.T., pembimbing skripsi yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.

4. Drs.Isdiyarto, M.Pd., Drs.Ir.Henry Ananta, M.Pd.IP.M., dan Drs.Sutarno, M.T., Penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya ini.
5. Semua dosen jurusan Teknik Elektro FT UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat untuk pelaksanaan pembelajaran.

Semarang,21 November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN KELULUSAN	iii
PERNYATAAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
SARI.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	5
1.3. Pembatasan Masalah	5
1.4. Rumusan Masalah	6
1.5. Tujuan Penelitian	7
1.6. Manfaat Penelitian	8
1.6.1 Manfaat Teoritis	8
1.6.2 Manfaat Praktis	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1. Kajian Pustaka.....	9
2.2. Landasan Teori	14
2.2.1 Gardu Induk	14
2.2.2 Gangguan <i>Lightning Arrester</i>	14

	Halaman
2.2.2.1 Surja Hubung	14
2.2.2.2 Surja Petir.....	16
2.2.3 <i>Lightning Arrester</i>	19
2.2.3.1 Prinsip Kerja <i>Lightning Arrester</i>	20
2.2.3.2 Bagian-bagian <i>Lightning Arrester</i>	21
2.2.3.3 Syarat-syarat <i>Lightning Arrester</i>	29
2.2.3.4 Karakteristik <i>Lightning Arrester</i>	29
2.2.3.5 Lokasi <i>Lightning Arrester</i> dengan peralatan yang dilindungi	30
2.2.3.6 Penyebab kegagalan <i>Lightning Arrester</i>	31
2.2.4 Pemeliharaan <i>Lightning Arrester</i>	32
2.2.4.1 Pengertian Pemeliharaan <i>Lightning Arrester</i>	32
2.2.4.2 Pedoman Pemeliharaan <i>Lightning Arrester</i>	32
2.2.4.3 Inspeksi <i>Lightning Arrester</i>	34
2.2.4.3.1 Inspeksi Level-1 <i>Lightning Arrester</i>	35
2.2.4.3.2 Inspeksi Level-2 <i>Lightning Arrester</i>	35
2.2.4.3.3 Inspeksi Level-3 <i>Lightning Arrester</i>	41
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian	44
3.1.1 Waktu Pelaksanaan Penelitian	44
3.1.2 Tempat Pelaksanaan Penelitian.....	44
3.2. Desain Penelitian.....	44
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	51
3.4. Parameter Penelitian.....	51
3.5. Teknik Pengumpulan Data.....	52
3.5.1 Observasi.....	52
3.5.2 Wawancara.....	52
3.5.3 Dokumenter.....	53
3.6. Teknik Analisis Data.....	53
3.6.1 Analisis Korelasi	54

3.6.2	Analisis Regresi Sederhana.....	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Deskripsi Data.....	56
4.1.1	Data Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i>	57
4.1.2	Data Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i>	58
4.1.3	Deskripsi Pengujian Data <i>Lightning Arrester</i>	58
4.1.3.1	Deskripsi Data Uji Normalitas	58
4.1.3.2	Deskripsi Data Uji Linearitas.....	58
4.1.3.3	Deskripsi Data Uji Homogenitas	59
4.1.4	Data Grafik Batang Berdasarkan Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i>	59
4.1.5	Data Grafik Batang Berdasarkan Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i>	61
4.1.6	Deskripsi Analisis Data Berdasarkan Hubungan Arus Bocor dengan Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i>	63
4.1.7	Deskripsi Analisis Data Berdasarkan Analisis Regresi Usia <i>Lightning Arrester</i> dengan Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i>	63
4.1.8	Deskripsi Analisis Data Berdasarkan Analisis Regresi Usia <i>Lightning Arrester</i> dengan Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i>	64
4.2.	Pembahasan Analisis Data	64
4.2.1	Pembahasan Pengujian Data <i>Lightning Arrester</i>	65
4.2.1.1	Pengujian Normalitas	65
4.2.1.2	Pengujian Linearitas.....	66
4.2.1.3	Pengujian Homogenitas	66
4.2.2	Kinerja <i>Lightning Arrester</i> yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk Srandol 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang berdasarkan Arus bocor <i>Lightning Arrester</i>	67

	Halaman
4.2.3	Kinerja <i>Lightning Arrester</i> yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk Sronдол 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang berdasarkan Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i>80
4.2.4	Korelasi Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i> dengan Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i>93
4.2.5	Prakiraan Batas Usia Pemakaian <i>Lightning Arrester</i>94
4.3.	Pemilihan <i>Lightning Arrester</i> 150 kV untuk pembumian Langsung (<i>Solid/Effective</i>).....98
BAB V PENUTUP	
5.1.	Kesimpulan.....100
5.2.	Saran.....101
5.3.	Keterbatasan Penulisan.....102
	DAFTAR PUSTAKA.....103
	LAMPIRAN.....106

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sambaran Petir dari Awan ke Bumi	17
Gambar 2.2 Bentuk standar gelombang surja petir	19
Gambar 2.3 <i>Lightning Arrester</i> di Gardu Induk.....	20
Gambar 2.4 Skematik diagram level tegangan <i>Lightning Arrester</i>	21
Gambar 2.5 Keping Blok Varistor Zinc Oxide	22
Gambar 2.6 Housing <i>Lightning Arrester</i>	23
Gambar 2.7 Terminal pejal (kiri) dan Terminal plat (kanan).....	23
Gambar 2.8 Pemisah (<i>Disconnecter</i>)	24
Gambar 2.9 Sealing dan pressure relief system	25
Gambar 3.0 Grading Ring	25
Gambar 3.1 Peralatan monitoring dan insulator dudukan <i>Lightning Arrester</i>	26
Gambar 3.2 Struktur penyangga <i>Lightning Arrester</i>	27
Gambar 3.3 Elektroda.....	27
Gambar 3.4 Sela percikan (<i>Spark Gap</i>).....	28
Gambar 3.5 Tahanan katup (<i>valve resistor</i>).....	29
Gambar 3.6 Penempatan <i>Lightning Arrester</i> di Bay Penghantar	30
Gambar 3.7 Contoh Hotspot Pada <i>Lightning Arrester</i>	36
Gambar 3.8 Grounding <i>Leakage Current Monitor</i>	39
Gambar 3.9 CT clip-on dikaitkan dengan kawat <i>Lightning Arrester</i>	40
Gambar 4.0 Posisi berdiri probe saat pengukuran.....	41

Halaman

Gambar 4.1	Diagram Alir Penelitian Analisis <i>Lightning Arrester</i>	46
Gambar 4.2	Diagram Alir Penelitian Pengujian Korelasi	48
Gambar 4.3	Diagram Alir Penelitian Pengujian Regresi Sederhana.....	50
Gambar 4.4	<i>Lightning Arrester</i> Bay Penghantar Gardu Induk Sronдол 150 kV	56
Gambar 4.5	Data Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i> berusia 33 Tahun	59
Gambar 4.6	Data Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i> berusia 34 Tahun	60
Gambar 4.7	Data Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i> berusia 35 Tahun	60
Gambar 4.8	Data Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i> berusia 36 Tahun	61
Gambar 4.9	Data Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i> berusia 33 Tahun	61
Gambar 5.0	Data Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i> berusia 34 Tahun	62
Gambar 5.1	Data Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i> berusia 35 Tahun	62
Gambar 5.2	Data Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i> berusia 36 Tahun	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Parameter dan Rekomendasi Thermovisi pada klem	36
Tabel 2.2 Rekomendasi Hasil ukur Leakage Current Monitor	37
Tabel 2.3 Kelengkapan Alat Uji <i>Leakage Current Monitor</i>	38
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian	51
Tabel 4.1 Data Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i> tahun 2016 - 2019.....	57
Tabel 4.2 Data Suhu Terminal <i>Lightning Arrester</i> tahun 2016 - 2019	58
Tabel 4.3 Data Suhu Terminal dan Arus Bocor <i>Lightning Arrester</i> Tahun 2016 - 2019	64
Tabel 4.4 Data Arus Penghantar dan Tegangan Penghantar	65
Tabel 4.5 Rekomendasi Hasil ukur <i>Leakage Current Monitor</i>	68
Tabel 4.6 Parameter dan Rekomendasi thermovisi pada klem	82
Tabel 4.7 Interpretasi Nilai Koefisien Korelasi.....	95

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gardu Induk Spondol merupakan salah satu Gardu Induk di wilayah PT.PLN (Persero) UPT Semarang yang berdiri di atas tanah seluas 17.520 m² tepatnya di Jl. Ngesrep Timur V / No 41, Kelurahan Sumur Boto, Kecamatan Banyumanik, Kodya Semarang. Gardu Induk Spondol mulai berdiri pada tahun 1979 dan mulai beroperasi pada 23 Mei 1983, meski sudah berusia lebih dari 30 tahun Gardu Induk Spondol masih cukup andal dan mampu melayani konsumen dengan baik. Gardu Induk Spondol memiliki 7 bay (saluran) terdiri dari 4 bay (saluran) penghantar, 2 bay (saluran) transformator, dan 1 bay (saluran) kopel. Adapun bay (saluran) tersebut :

1. Bay (saluran) Penghantar Krapyak 1
2. Bay (saluran) Penghantar Krapyak 2
3. Bay (saluran) Penghantar Pandean Lamper 1
4. Bay (saluran) Penghantar Pandean Lamper 2
5. Bay (saluran) Kopel 150 kV
6. Bay (saluran) Transformator 1-60 MVA 150/20 kV
7. Bay (saluran) Transformator 2-31.5 MVA 150/22 kV

Gardu Induk Spondol merupakan Gardu Induk di wilayah kerja PT.PLN (Persero) UPT Semarang yang bertugas menyuplai listrik wilayah Semarang

Selatan dan Semarang Timur, listrik tersebut disuplai dari Transformator 1-60 MVA dan dari Transformator 2-31.5 MVA. Gardu Induk Sronдол beroperasi melayani konsumen lebih dari 30 tahun, selama beroperasi sejak tahun 1983. Dalam proses penyaluran energi listrik saluran transmisi merupakan bagian utama dalam proses tersebut, apabila terjadi gangguan pada saluran transmisi, maka juga akan mempengaruhi peralatan-peralatan yang terhubung ke sistem tenaga listrik. Saluran transmisi memiliki menara yang tinggi untuk menyalurkan energi listrik, sehingga gangguan-gangguan alam seperti surja petir maupun gangguan peralatan yang mengakibatkan surja hubung perlu ditindaklanjuti. Gangguan tersebut berbahaya jika terjadi di Gardu Induk, karena dapat mengganggu bahkan merusak peralatan-peralatan penting seperti transformator.

Untuk meminimalisir gangguan-gangguan tersebut, maka diperlukan peralatan-peralatan proteksi. Peralatan proteksi yang dibutuhkan adalah *Lightning Arrester* yang berfungsi untuk mengalirkan gangguan tegangan lebih yang disebabkan oleh surja petir maupun surja hubung ke tanah, sehingga tidak mengganggu maupun merusak peralatan-peralatan di Gardu Induk. Menurut buku petunjuk *Lightning Arrester* pada PT. PLN menyebutkan bahwa *Lightning Arrester* merupakan peralatan yang didesain untuk melindungi peralatan lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir) dan pengaruh *follow current*. Sebuah *Lightning Arrester* harus mampu bertindak sebagai isolator, mengalirkan beberapa miliampere arus bocor ke tanah pada tegangan sistem dan berubah menjadi konduktor yang sangat baik, mengalirkan ribuan ampere arus surja ke tanah, memiliki tegangan yang lebih rendah daripada tegangan *withstand*

dari peralatan ketika terjadi tegangan lebih, dan menghilangkan arus susulan mengalir dari sistem melalui *Lightning Arrester* setelah surja petir atau surja hubung berhasil dibumikan (Andriawan, 2015).

Dalam penggunaannya, kinerja dari *Lightning Arrester* dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah lama pemakaian atau usia. Semakin lama pemakaian *Lightning Arrester* yang digunakan, maka kinerja dari *Lightning Arrester* akan mengalami penurunan kinerja (Nurhaidi, Danial, & Rajagukguk, 2015). Untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester*, diperlukan data mengenai arus bocor dan suhu pada terminal *Lightning Arrester*. Data arus bocor diperoleh dari pengecekan counter menggunakan alat *Leakage Current Monitor* dan data suhu pada terminal *Lightning Arrester* diperoleh dari pengukuran menggunakan Thermovisi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan adanya penelitian untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* yang sudah berusia lebih dari 30 tahun sebagai bahan pertimbangan analisis keandalan sistem proteksi yang terpasang. Beberapa penelitian mengenai kinerja *Lightning Arrester* yang pernah dilakukan menjadi referensi dalam penelitian ini. Beberapa penelitian terdahulu yang melakukan penelitian kinerja *Lightning Arrester* yaitu (Andriawan, 2015) dalam penelitiannya untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* yang sudah berusia lebih dari 10 tahun menggunakan pengecekan counter dengan alat *Leakage Current Monitor*, setelah dilakukan pengecekan ternyata menunjukkan arus bocor yang dibumikan pada keadaan normal, 23 *Lightning Arrester* tidak melebihi jumlah nilai yang sudah ditetapkan dan 1 *Lightning Arrester* melebihi batas yang

ditetapkan. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 10 tahun dan terpasang di Gardu Induk 150 kV Ungaran, 95.83 % dalam kondisi baik dan layak beroperasi sedangkan 4.16 % perlu adanya perawatan.

Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh (Putra, 2018) untuk mengetahui keandalan sistem di Gardu Induk, peneliti menggunakan Thermovisi untuk mengetahui suhu panas pada sambungan dan konduktor, agar mendapatkan nilai selisih suhu sambungan terhadap suhu konduktor, sehingga dapat mendeteksi keadaan pada peralatan Gardu Induk dalam keadaan normal atau tidak normal, serta membahas metode pengukuran nilai emisivitas untuk memperoleh nilai emisivitas yang akurat dan baik, agar menyatakan bahwa nilai pengukuran suhu memiliki tingkat akurasi dan persisi yang baik. Suhu pada peralatan Gardu Induk, merupakan sebuah parameter yang di pantau dan di analisis perubahannya setiap saat. Hal ini berkaitan erat dengan proteksi dan keandalan sistem yang ada di Gardu Induk.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh (Romadona, 2018) untuk mengetahui hubungan arus *Lightning Arrester* terhadap suhu di Gardu Induk Wonogiri. Peneliti melakukan Pengambilan data di Gardu Induk 150 kV mengenai arus bocor dan suhu. Hasil penelitian di Gardu Induk Wonogiri tentang pengukuran Arester selama 24 jam , hasilnya normal sesuai standar, baik itu dari suhu normal 32°, arus bocor, dan hambatannya.

Berdasarkan pernyataan di atas, dapat diketahui bahwa pengecekan counter menggunakan alat *Leakage Current Monitor* menghasilkan perhitungan yang akurat untuk menentukan kinerja *Lightning Arrester*. Maka dari itu peneliti akan menggunakan data hasil pengecekan counter menggunakan alat *Leakage Current Monitor*, data hasil pengukuran suhu pada terminal *Lightning Arrester* menggunakan Thermovisi, dan variasi usia *Lightning Arrester* untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* sebagai bahan pertimbangan analisis keandalan sistem proteksi Gardu Induk Sronдол 150 kV PT. PLN (Persero) UPT Semarang.

1.2 Identifikasi Masalah

Di Gardu Induk Sronдол terdapat beberapa *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kinerja dari *Lightning Arrester* dalam mengamankan sistem tenaga listrik dari surja petir maupun surja hubung. Untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester*, diperlukan data mengenai arus bocor dan suhu pada terminal *Lightning Arrester*. Data arus bocor diperoleh dari pengecekan counter menggunakan alat *Leakage Current Monitor* dan data suhu pada terminal *Lightning Arrester* diperoleh dari pengukuran menggunakan Thermovisi.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu adanya pembatasan masalah agar penelitian ini lebih berfokus pada masalah yang akan di hadapi. Adapun pembatasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan terhadap *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun.

2. Data hasil pengecekan counter menggunakan alat *Leakage Current Monitor* yang digunakan adalah data dalam kurun waktu 4 tahun terakhir.
3. Data hasil pengukuran suhu menggunakan Thermovisi yang digunakan adalah data dalam kurun waktu 4 tahun terakhir.
4. Jumlah *Lightning Arrester* yang akan diteliti sebanyak 12 buah yang terletak di bay Pandeanlamper 2.
5. Penentuan kinerja *Lightning Arrester* berdasarkan data arus bocor yang diperoleh dari hasil pengecekan counter menggunakan alat *Leakage Current Monitor*, data suhu pada terminal *Lightning Arrester* diperoleh dari pengukuran menggunakan Thermovisi, dan variasi usia *Lightning Arrester*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, identifikasi masalah dan batasan masalah yang ada, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk Spondol 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang berdasarkan hasil pengecekan counter menggunakan alat *Leakage Current Monitor* ?
2. Bagaimana kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk Spondol 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang berdasarkan hasil pengukuran suhu menggunakan Thermovisi?
3. Bagaimana korelasi arus bocor *Lightning Arrester* dengan suhu terminal *Lightning Arrester* pada Pandeanlamper 2?
4. Bagaimana cara memperkirakan batas usia pemakaian *Lightning Arrester* pada Pandeanlamper 2?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian yang hendak dicapai penulis dalam sebuah penelitian yaitu :

1. Memberikan informasi kepada Supervisor Jaringan Gardu Induk Spondol mengenai kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang, berdasarkan hasil pengukuran menggunakan alat *Leakage Current Monitor*.
2. Memberikan informasi kepada Supervisor Jaringan Gardu Induk Spondol mengenai kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang, berdasarkan hasil pengukuran suhu pada terminal *Lightning Arrester*.
3. Memberikan informasi kepada Supervisor Jaringan Gardu Induk Spondol mengenai korelasi arus bocor *Lightning Arrester* dengan suhu terminal *Lightning Arrester* pada Pandeanlamper 2.
4. Memberikan informasi kepada Supervisor Jaringan Gardu Induk Spondol mengenai batas usia pemakaian *Lightning Arrester* pada Pandeanlamper 2 yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoritis maupun praktis kepada pihak-pihak yang membutuhkan, diantaranya :

1.6.1 Manfaat Teoritis

Manfaat secara teoritis adalah diharapkan mampu memperkaya teori-teori serta kajian yang berkaitan dengan analisis kinerja *Lightning Arrester*.

1.6.2 Manfaat praktis

1. Universitas Negeri Semarang, yaitu memperkaya hasil-hasil penelitian yang berkaitan dengan kinerja *Lightning Arrester*.
2. PT.PLN (Persero), yaitu menjadi informasi dan referensi serta membantu PT.PLN (Persero) dalam melakukan analisis kinerja *Lightning Arrester*.
3. Peneliti lain, yaitu menjadi referensi penelitian selanjutnya, dengan harapan mampu mengembangkan serta melengkapi kekurangan penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Proses penulisan skripsi ini menggunakan berbagai penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai bahan informasi pertimbangan serta perbandingan, baik dari kekurangan maupun kelebihan dari penelitian yang sudah ada. Selain itu peneliti juga menggunakan buku-buku, jurnal, maupun skripsi sebagai bahan informasi proses penulisan skripsi yang sudah ada sebelumnya baik secara teori maupun proses penelitian yang digunakan untuk mendapatkan landasan teori ilmiah. Penelitian mengenai kinerja *Lightning Arrester* sudah banyak dilakukan, penelitian-penelitian tersebut didasarkan pada pemeliharaan secara menyeluruh melalui beberapa inspeksi (Avryansyah Akbar & Warsito, 2013), penelitian analisis usia *Lightning Arrester* berdasarkan hari guruh (IKL) (Juliando & Rosma, 2018), penelitian kinerja *Lightning Arrester* berdasarkan pada pengecekan counter menggunakan alat *Leakage Current Monitor* (Andriawan, 2015), penelitian mengenai kinerja *Lightning Arrester* berdasarkan pada pengukuran suhu klem sambungan beberapa peralatan (Putra, 2018), penelitian untuk mengetahui hubungan arus bocor dengan suhu (Romadona, 2018). Penelitian-penelitian tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Avryansyah Akbar & Warsito (2013) dalam penelitiannya dengan judul “Pemeliharaan *Lightning Arrester* Pada Gardu Induk Kranyak 150 kV PT.PLN (Persero) P3B Jawa – Bali APP Semarang”. Pada penelitian tersebut

peneliti melakukan penelitian dengan maksud dan tujuan untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* melalui pemeliharaan *Lightning Arrester*. Peneliti secara deskriptif menjelaskan mengenai beberapa pemeliharaan yang dilakukan PT.PLN (Persero) yang sesuai dengan standar operasional yang ada. Penelitian ini tidak menjelaskan bagaimana prosedur dan hasil penelitian secara jelas, penelitian ini hanya menjelaskan mengenai beberapa pemeliharaan yang harus dilakukan untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester*.

2. Juliando & Rosma (2018) dalam penelitiannya dengan judul “Analisis Usia Arrester Akibat Gangguan Sambaran Langsung Petir Pada Transmisi 150 kV” peneliti melakukan analisis usia *Lightning Arrester* menggunakan nilai probabilitas sambaran ke kawat tanah dan sambaran ke kawat fasa dengan menggunakan persamaan, serta untuk mendapatkan hasil analisis tersebut peneliti menggunakan nilai jumlah sambaran ke jaringan dan panjang daerah proteksi arrester sebagai variabel untuk menentukan usia *Lightning Arrester*. Pada penelitian ini peneliti hanya melakukan analisis usia berdasarkan pengaruh gangguan surja petir, sementara itu pada sistem ketenagalistrikan tidak hanya surja petir yang dapat mempengaruhi usia daripada *Lightning Arrester*. Sehingga apabila analisis yang dilakukan tersebut kemudian menjadi rekomendasi pemeliharaan *Lightning Arrester* masih kurang lengkap. Karena memungkinkan *Lightning Arrester* akan mengalami perubahan kinerja yang diperoleh dikarenakan pengaruh dari gangguan lain.

3. Andriawan (2015) dalam penelitiannya dengan judul “Kinerja Arrester Yang Sudah Berusia Lebih Dari 10 Tahun di Gardu Induk 150 kV Ungaran – Semarang” peneliti melakukan analisis untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 10 tahun, yakni dengan melakukan analisis menggunakan metode pengecekan jumlah arus bocor *Lightning Arrester* pada tegangan normal dengan counter atau yang terpasang pada tiap *Lightning Arrester* yang menjadi obyek penelitian dan menggunakan metode pengecekan jumlah arus bocor *Lightning Arrester* dengan alat *Leakage Current Monitor*. Dari hasil pengecekan counter dengan alat *Leakage Current Monitor*, dapat dinyatakan kinerja *Lightning Arrester* tersebut. Menurut hasil pengecekan serta perhitungan, maka diketahui jumlah arus bocor yang dibumikan, *Lightning Arrester* yang terpasang 95,83 % masih baik digunakan karena sesuai dengan nominal arus bocor yang telah ditetapkan, sedangkan 4,16 % perlu adanya perawatan khusus. Pada penelitian ini peneliti melakukan analisis untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* yang diperoleh melalui pengaruh arus bocor terhadap kinerja *Lightning Arrester*. Pada buku pedoman pemeliharaan *Lightning Arrester* di jelaskan bahwa untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester*, maka dapat dilakukan beberapa inspeksi. Untuk mendapatkan hasil yang lebih valid tentunya diperlukan penyelesaian beberapa proses pemeliharaan yang sesuai dengan standar operasional. Namun yang dilakukan pada penelitian tersebut hanya berdasarkan pada 1 variabel yaitu arus bocor, memungkinkan apabila hasil

yang diperoleh akan kurang maksimal. Maka dari itu diperlukan data yang lain untuk menguatkan hasil dari penelitian tersebut.

4. Putra (2018) dalam penelitiannya dengan judul “Thermovisi Dalam Melihat Hot Point Pada Gardu Induk 150 kV Palur” peneliti menggunakan metode mencari referensi penelitian, mengumpulkan data penelitian di lokasi, analisa dan perhitungan matematis. Hasil pengukuran suhu klem sambungan yang di ambil 20 sample suhu untuk perhitungan nilai emisivitas untuk mendapatkan nilai akurasi dan presisi metode uji menggunakan metode vaildasi. Hasil perhitungan dari selisih suhu klem terhadap konduktor di dapat 33 sambung dalam kondisi baik, 3 sambungan dalam kondisi pemeriksaan saat pemeliharaan dan 1 sambungan dalam kondisi perencanaan perbaikan. Pada penelitian ini peneliti melakukan analisis untuk mengetahui Hot Point yang diperoleh melalui pengaruh suhu klem sambungan. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui Hot Point yang berada pada peralatan tertentu.
5. Romadona (2018) dalam penelitiannya dengan judul “Hubungan Arus Arrester Terhadap Suhu Di GI Wonogiri” peneliti melakukan penelitian di Gardu Induk 150 kV untuk pengambilan data tentang *Lightning Arrester* dan suhu. Penelitian dilakukan untuk mengetahui hubungan arus bocor dengan suhu. Peneliti melakukan pengukuran *Lightning Arrester* selama 24 jam , hasilnya normal sesuai standar, baik itu dari suhu normal 32°, arus bocor, dan hambatannya. Kemudian hubungan arus bocor dan suhu dilakukan dengan sangat sederhana yaitu menggunakan tabel dan grafik.

Berdasarkan beberapa kajian pustaka diatas, dapat dilihat bahwa penelitian yang dilakukan sebelumnya sama-sama melakukan penelitian untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester*. Kajian pustaka di atas menjelaskan bahwa untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester*, maka diperlukan analisis data suhu pada terminal *Lightning Arrester*. Sedangkan penelitian yang lain menjelaskan bahwa untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* maka diperlukan pengecekan counter dengan alat *Leakage Current Monitor* sehingga mendapatkan data arus bocor di masing-masing *Lightning Arrester*. Perbedaan dari penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian di atas dilakukan pada *Lightning Arrester* yang berusia di bawah 10 tahun, analisis yang dilakukan hanya pada salah satu variabel, analisis korelasi yang digunakan masih sangat sederhana hanya menggunakan tabel dan grafik, data arus bocor, suhu, dan hambatan yang digunakan kisaran 24 jam – 2 tahunan. Sedangkan penelitian yang dilakukan pada *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun, analisis yang digunakan menggunakan 3 variabel : arus bocor, suhu, dan variasi usia *Lightning Arrester*, sementara itu dilakukan analisis untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* berdasarkan arus bocor, suhu dan variasi usia *Lightning Arrester*, kemudian dilakukan analisis korelasi product moment untuk mengetahui korelasi arus bocor *Lightning Arrester* dengan suhu terminal *Lightning Arrester*, agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal, peneliti menggunakan data arus bocor, suhu, dan variasi usia *Lightning Arrester* dalam kurun waktu 4 tahun, selanjutnya peneliti akan melakukan analisis regresi sederhana untuk melakukan prakiraan batas usia

pemakaian *Lightning Arrester* untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* yang kemudian dapat menjadi rekomendasi bagi pihak teknisi Gardu Induk Spondol.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Gardu Induk

Menurut Syakur (2010) gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik yang berfungsi untuk :

1. Transformasi tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau ke tegangan menengah.
2. Pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Mengatur penyaluran daya ke gardu-gardu lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu - gardu distribusi setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang (*feeder*) tegangan menengah.

2.2.2 Gangguan *Lightning Arrester*

2.2.2.1 Surja Hubung

Salah satu sumber tegangan lebih surja hubung (*switching over voltage*) adalah peristiwa akibat operasi penutupan maupun operasi pembukaan saklar yang dapat mengakibatkan gangguan hubung singkat (Barasa, Patras, & Tumaliang, 2017). Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/ beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran udara 3 fasa. Meskipun

semua komponen peralatan listrik selalu diisolasi dengan isolasi padat, cair (minyak), udara, gas, dan sebagainya. Namun karena usia pemakaian, keausan, tekanan mekanis, dan sebab-sebab lainnya, maka kekuatan isolasi pada peralatan listrik bisa berkurang atau bahkan hilang sama sekali. Hal ini akan mudah menimbulkan hubung singkat (Aryanto, 2013). Hubung singkat yang terjadi akan mengakibatkan kenaikan tegangan. Kenaikan tegangan yang terjadi karena surja hubung harus diperhatikan sehingga tidak sampai menyebabkan kerusakan koordinasi isolasi pada peralatan sistem (Fauziah, Satriyadi, & Negara, 2012).

Beberapa kemungkinan penyebab terjadinya surja switching pada sistem tenaga (Ulawia, 2015):

1. Pengisian saluran transmisi dan kabel.
 - a. Pengisian saluran yang sisi jauhnya terbuka
 - b. Pengisian saluran yang memiliki terminal trafo pada keadaan tak berbeban
 - c. Pengisian saluran melalui sisi tegangan rendah trafo
2. Pengisian kembali saluran transmisi ketika digunakan recloser kecepatan tinggi.
3. Load rejection, dipengaruhi oleh pembukaan circuit breaker pada ujung saluran yang jauh dan dapat juga diikuti pembukaan saluran pada ujung sisi kirim.
4. Proses switching “on-off” dari peralatan.

Semua operasi switching pada elemen jaringan transmisi akan menghasilkan surja, terutama pengoperasian peralatan berikut :

- a. Switching reactor tegangan tinggi
- b. Switching trafo yang dibebani oleh reactor pada belitan tersiernya

c. Switching pada trafo tak berbeban

d. Pada saat terjadi kegagalan atau pemutusan sistem yang mengalami kegagalan

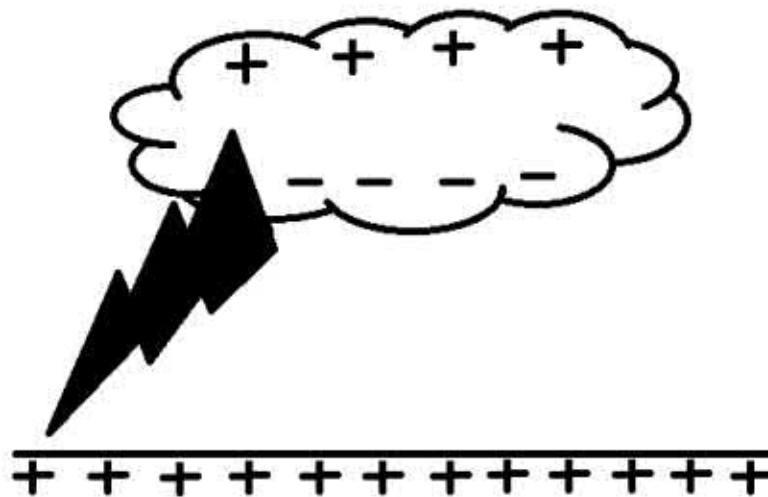
Muka gelombang didefinisikan sebagai bagian dari gelombang yang dimulai dari titik nol nominal sampai ke titik puncak, sedangkan sisanya disebut ekor gelombang. Setengah puncak gelombang adalah titik-titik pada muka dan ekor dimana tegangannya adalah setengah puncak (titik 0.5). Waktu sampai puncak setengah puncak dari ekor gelombang didefinisikan sebagai waktu dari titik nol nominal sampai setengah puncak pada ekor. Kecuraman muka gelombang adalah kecepatan naiknya tegangan pada muka gelombang (Ulawia, 2015).

2.2.2.2 Surja Petir

Petir adalah bahaya alami yang lebih lazim di wilayah tropis daripada di tempat lain (Kadir, Ariff, & Azmi, 2008). Secara geografis Indonesia terletak didaerah khatulistiwa yang beriklim tropis basah (Erhaneli & Afriliani, 2018).

Pada musim hujan petir perlu diwaspadai, petir biasanya muncul pada saat akan hujan atau ketika hujan sudah turun (Setiawan, Hernanda, & I Made Yulistya, 2012). Petir merupakan hasil pemisahan muatan listrik secara alami di dalam awan badai, proses pelepasan muatan ini akan berupa kilat cahaya dan suara gemuruh yang biasa disebut petir (Sapari, Budiman, & Supardi, 2012). Petir merupakan mekanisme pelepasan muatan di udara yang dapat terjadi di dalam awan, antara awan, awan dengan udara, dan antar awan dengan tanah (Juliando & Rosma, 2018). Pembentukan awan bermuatan disebabkan karena adanya kelembaban udara dan adanya gerakan udara keatas (up draft). Kelembaban udara

timbul oleh pengaruh sinar matahari yang kemudian akan menyebabkan penguapan air dan uap air tersebut akan naik karena gerakan up draft. Proses up draft yang terjadi terus menerus akan membentuk awan bermuatan seperti gambar 2.1. ditunjukkan ilustrasi sambaran petir dari awan ke bumi (Sintianingrum, 2015)



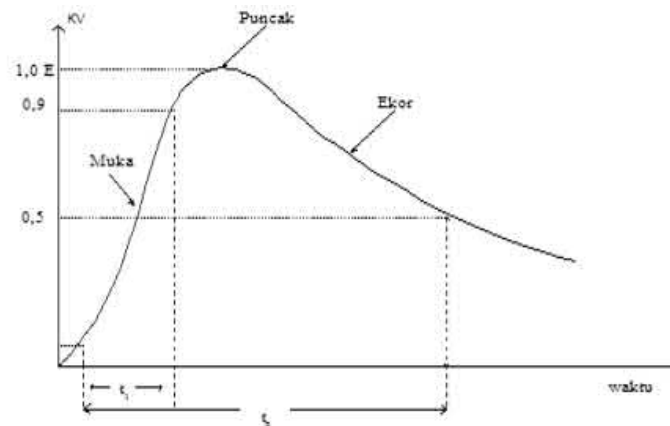
Gambar 2.1 Sambaran Petir dari Awan ke Bumi
Sumber : (Sintianingrum, 2015)

Setelah timbul awan bermuatan, selanjutnya kristal-kristal es yang terdapat pada awan bermuatan tersebut saat terkena angin akan mengalami gesekan sehingga muatan pada kristal es tidak menjadi netral seperti sebelumnya, maka pada awan tersebut terdapat muatan positif (+) dan negative (-). Muatan positif pada awan berkumpul dibagian atas awan, sedangkan muatan negatif berada dibagian bawah awan. Permukaan bumi dianggap memiliki muatan positif sehingga muatan-muatan negatif yang berada di awan akan tertarik menuju muatan positif yang berada di bumi. Saat terjadi proses pengaliran muatan dari awan ke bumi ini yang kemudian disebut sebagai petir (Sintianingrum, 2015) .

Menurut Hutaeruk (1988) terdapat 2 tipe sambaran petir yaitu sambaran langsung dan sambaran tidak langsung (Wardana & Subari, 2014). Sambaran petir yang terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada sistem ketenagalistrikan (Suhartanto & Syakur, 2011).

Dalam masyarakat modern petir menjadi permasalahan yang sangat penting karena petir memiliki kemampuan untuk mengganggu dan bahkan merusak infrastruktur publik seperti sistem ketenagalistrikan (pembangkitan, transmisi dan distribusi), sistem telekomunikasi, dan peralatan elektronik (Gassing, 2012)

Apabila petir mengenai langsung ke penghantar, kemungkinan besar penghantar tersebut akan putus karena gelombang petir yang menimbulkan tegangan impuls melebihi BIL (*Basic Insulation Level*) dari penghantar. Kalau petir yang mengenai penghantar bukan sambaran langsung tetapi induksi dari petir, gerak dari gelombang petir itu menjalar ke segala arah dengan perkataan lain terjadi gelombang berjalan sepanjang jaringan yang menuju suatu titik lain yang dapat menetralsir arus petir tersebut yaitu menuju ke titik pentanahan. Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik standar gelombang surja petir, dimana t_1 menggambarkan waktu muka gelombang dan t_2 menunjukkan waktu ekor gelombang (Hajar & Rahman, 2017).



Gambar 2.2 Bentuk standar gelombang surja petir
Sumber : (Hajar & Rahman, 2017)

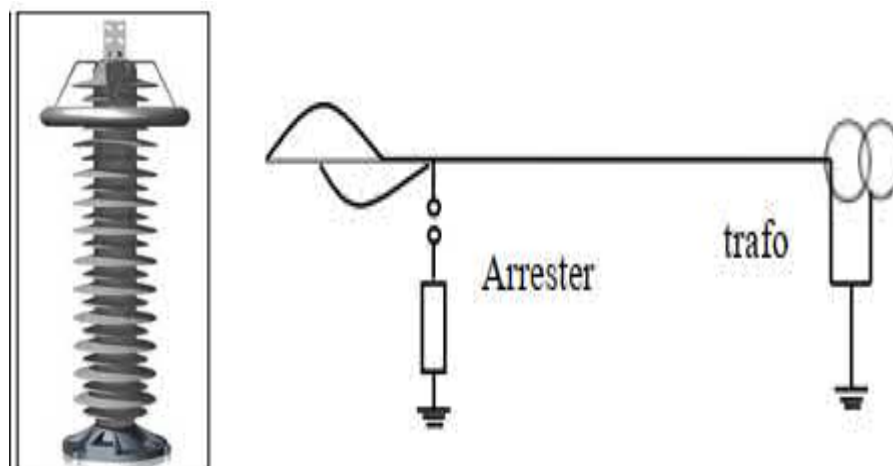
Sambaran petir terdiri dari:

1. Sambaran langsung, adalah sambaran petir ke arah fasa konduktor dan penunjang fasa konduktor (tiang). Tetapi, yang sering terjadi adalah sambaran petir yang langsung menuju fasa konduktor dari sistem tenaga. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan (probabilitas) dari sambaran petir menuju ke fasa konduktor lebih besar (Hajar & Rahman, 2017).
2. Sambaran tidak langsung, adalah peristiwa sambaran petir yang terjadi di dekat sistem tenaga. Sambaran tersebut dapat berupa sambaran petir dari awan ke tanah ataupun sambaran petir dari awan ke awan. Biasanya sambaran petir ini lebih berpengaruh pada saluran tegangan menengah dibandingkan dengan saluran tegangan tinggi. Akibat adanya sambaran ini, akan timbul medan elektromagnetik yang dapat menginduksikan tegangan pada saluran sistem tenaga (Hajar & Rahman, 2017).

2.2.3 Lightning Arrester

Lightning Arrester yang biasa disebut Arrester, di Gardu Induk berfungsi sebagai pengaman instalasi (peralatan listrik pada instalasi) (Rahmawati, 2009).

Lightning Arrester memiliki kemampuan mengamankan peralatan listrik dari gangguan sambaran petir (*lightning Surge*) maupun surja hubung (*Switching Surge*) (Bandri, 2015). *Lightning Arrester* bersifat sebagai by pass di sekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui oleh arus kilat, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan. Jalan tersebut harus sedemikian sehingga tidak mengganggu sistem 50 Hertz (Susilawati & Handoko, 2002). Peralatan ini merupakan peralatan paling efektif yang bekerja sesuai fungsinya yaitu memberikan perlindungan peralatan listrik di Gardu Induk (Hidayah et al., 2019), terhadap gangguan akibat sambaran petir maupun surja hubung (Agrawal, 2015). Berikut gambar 2.3 yang menunjukkan *Lightning Arrester* di Gardu Induk.



Gambar 2.3 *Lightning Arrester* di Gardu Induk
Sumber : (SPLN T5.007, 2014)

2.2.3.1 Prinsip Kerja *Lightning Arrester*

Pada keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator, namun bila terkena sambaran petir ia berlaku sebagai konduktor yang tahanannya relatif rendah, sehingga dapat mengalirkan arus surja ke tanah. Setelah surja hilang, arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutus tenaga (PMT)

tidak sempat membuka (Mehulku, 2015). Ragam Over Voltage (Tegangan Lebih) Pada kurva gambar 2.4 di bawah ini menunjukkan bagaimana *Lightning Arrester* melakukan pemotongan tegangan lebih terhadap beragam jenis surja (SPLN T5.007, 2014) :



Gambar 2.4 Skematik diagram level tegangan *Lightning Arrester*
Sumber : (SPLN T5.007, 2014)

Melalui kurva tersebut terlihat bahwa durasi overvoltage berbeda satu sama lain, yaitu:

1. Lightning Overvoltage – fast front overvoltage (Durasi Microseconds)
2. Switching Overvoltages – slow front overvoltage (Durasi Milliseconds)
3. Temporary Overvoltages – TOV (Durasi seconds)

2.2.3.2 Bagian-bagian *Lightning Arrester*

Menurut Rizaldy (2017) adapun bagian-bagian peralatan proteksi tegangan lebih *Lightning Arrester* dapat dibagi menjadi 10 bagian, yaitu sebagai berikut :

1. *Varistor Active (zinc oxide / metal oxide varistor)*

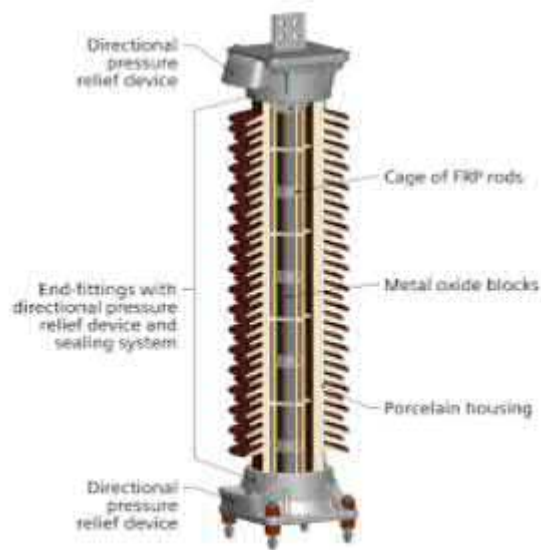
Metal oxide varistor atau oksida logam adalah piranti yang sangat populer dalam proteksi instalasi tegangan rendah. Terdiri dari kolom varistor *zinc oxide* (ZnO). Keping *zinc oxide* dicetak dalam bentuk silinder yang besaran diameter tergantung pada kemampuan penyerapan energi dan nilai *discharge* arus.



Gambar 2.5 Keping Blok Varistor Zinc Oxide
Sumber : (Rizaldy, 2017)

2. Housing dan Terminal *Lightning Arrester*

Tumpukan keping ZnO diletakkan dalam sangkar rod, umumnya terbuat dari *FGRP (Fiber Glass Reinforced Plastic)*. Compression spring dipasang pada kedua ujung kolom active part untuk memastikan susunan keping ZnO memiliki ketahanan mekanis. *Kompartement housing* terbuat dari *porcelain* atau *polymer*. Alumunium flange direkatkan pada kedua ujung *housing* dengan menggunakan semen.



Gambar 2.6 Housing *Lightning Arrester*
Sumber : (Rizaldy, 2017)

Berikut adalah gambar dari kedua jenis terminal (pejal dan plat) yang terpasang pada ujung-ujung *Lightning Arrester*.

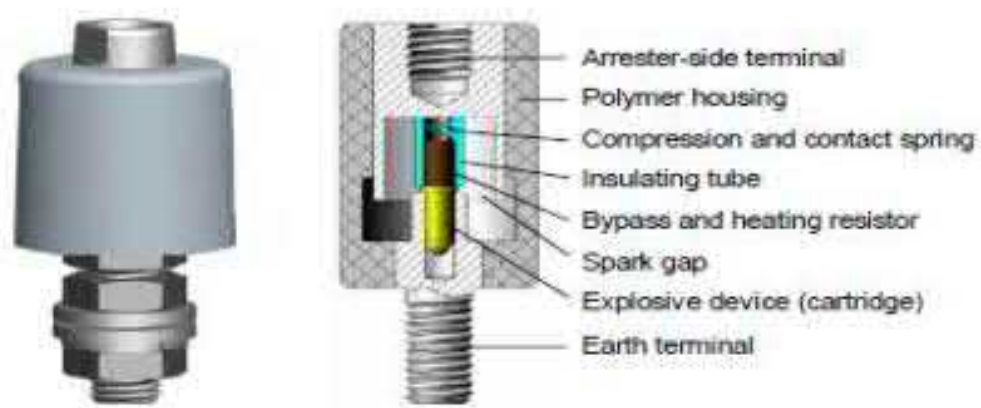


Gambar 2.7 Terminal pejal (kiri) dan Terminal plat (kanan)
Sumber : (Rizaldy, 2017)

3. Pemisah (*Disconnecter*)

Disconnecter adalah sebuah perangkat pada terminal pembumian *Lightning Arrester* yang memisahkan *Lightning Arrester* dari sistem setelah terjadinya gangguan (kelebihan beban). Perangkat ini berperan sangat penting dalam

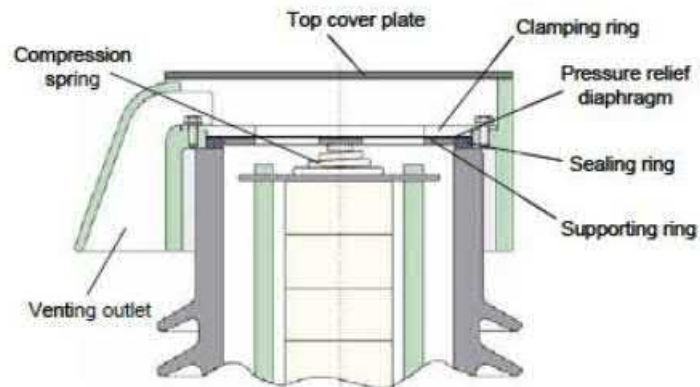
menghubungkan polimer dengan rumah (housing) *Lightning Arrester*. Apabila terjadi gangguan dan kegagalan dalam beroperasi, maka housing *Lightning Arrester* tidak akan rusak karena *explosive device* akan memisahkan diri dari sisi terminal *Lightning Arrester*. Tanpa pemisah (*disconnector*) sistem netral yang dibumikan pada *Lightning Arrester* saat terjadi gangguan tidak akan bekerja lagi.



Gambar 2.8 Pemisah (*Disconnecter*)
Sumber : (Rizaldy, 2017)

4. *Sealing* dan *pressure relief system*

Sealing dan *pressure relief system* dipasang dikedua ujung *Lightning Arrester*. *Sealing ring* terbuat dari material sintetis dan *pressure relief* terbuat dari baja/nikel dengan kualitas tinggi. *Pressure relief* bekerja sebagai katup pelepasan tekanan internal pada saat *Lightning Arrester* mengalirkan arus lebih surja sambaran petir.



Gambar 2.9 Sealing dan pressure relief system
Sumber : (Rizaldy, 2017)

5. Grading Ring

Grading ring diperlukan pada *Lightning Arrester* dengan ketinggian > 1.5 meter atau pada *Lightning Arrester* yang dipasang bertingkat. Grading ring berfungsi sebagai kontrol distribusi medan elektrik sepanjang permukaan *Lightning Arrester*. Medan elektrik pada bagian yang dekat dengan tegangan akan lebih tinggi sehingga stress pada active part diposisi tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan pada posisi dibawahnya. Stress ini dapat menyebabkan degradasi pada komponen active part.



Gambar 3.0 Grading Ring
Sumber : (Rizaldy, 2017)

6. Peralatan monitoring dan insulatorudukan *Lightning Arrester*

Lightning Arrester harus dilengkapi dengan peralatan monitoring, yakni *discharge counter* dan miliammeter (mA). Sebelum ditanahkan kawat pentanahan dilewatkan terlebih dahulu melalui peralatan monitoring. Oleh karena itu, isolatorudukan perlu dipasang dengan baik pada kedua ujung peralatan monitor dan kedudukan arrester agar arus yang melewati *Lightning Arrester* hanya melalui kawat pentanahan.



Gambar 3.1 Peralatan monitoring dan insulatorudukan *Lightning Arrester*
Sumber : (Rizaldy, 2017)

7. Struktur penyangga *Lightning Arrester*

Lightning Arrester dipasang pada ketinggian tertentu dari permukaan tanah, maka diperlukan struktur penyangga yang terdiri dari pondasi dan struktur besi penyangga yang kuat dan kokoh. Berikut adalah penyangga *Lightning Arrester* yang terbuat dari beton dan baja.



Gambar 3.2 Struktur penyangga *Lightning Arrester*
Sumber : (Rizaldy, 2017)

8. Elektroda

Elektroda adalah terminal dari *Lightning Arrester*. Terdapat dua elektroda pada *Lightning Arrester*, yaitu elektroda atas yang berhubungan langsung dengan bagian yang bertegangan (kabel konduktor/fasa) dan elektroda bagian bawah yang dihubungkan ke tanah. Berdasarkan besar tegangannya elektroda pada *Lightning Arrester* dibagi menjadi dua jenis yaitu elektroda 3 fasa dan elektroda 2 fasa.



Gambar 3.3 Elektroda
Sumber : (Rizaldy, 2017)

9. Sela percikan (*Spark Gap*)

Apabila terjadi tegangan lebih (*over voltage*) oleh sambaran petir (surja) atau hubung singkat (*switching*) pada *Lightning Arrester* yang terpasang, maka pada sela percikan (*spark gap*) akan terjadi loncatan bola api (busur api). Pada beberapa tipe *Lightning Arrester* busur api tersebut ditiup keluar oleh tekanan gas yang ditimbulkan oleh tabung fiber yang terbakar. Umumnya *Spark gap* terdapat dalam tabung keramik yang diisi dengan gas inert (gas tabung *discharge*).

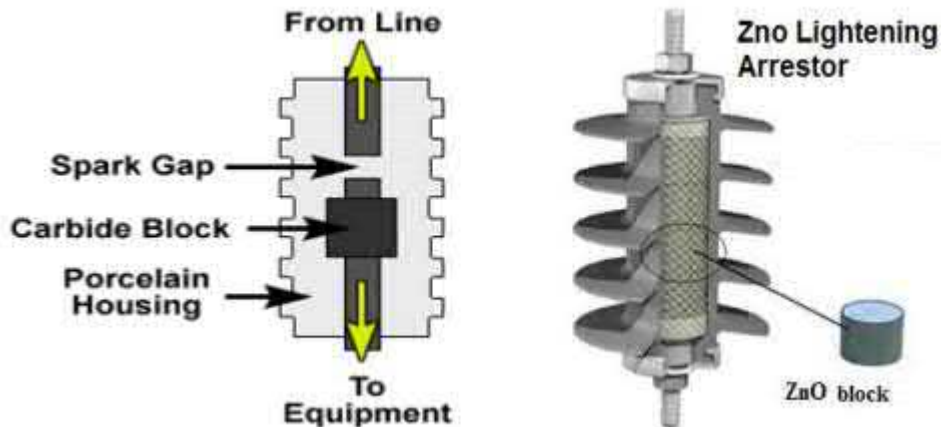


Gambar 3.4 Sela percikan (*Spark Gap*)

Sumber : (Rizaldy, 2017)

10. Tahanan katup (*valve resistor*)

Tahanan yang digunakan dalam *Lightning Arrester* ini adalah jenis material yang sifat tahanannya dapat berubah-ubah bila mendapatkan perubahan tegangan. Berdasarkan materialnya, tahanan katup (*valve resistor*) dibedakan menjadi dua yaitu jenis *silicon carbid (SiC)* dan jenis *Zinc Oxide (ZnO)*. Berikut adalah gambar dari kedua jenis tahanan katup (*valve resistor*) pada *Lightning Arrester*.



Gambar 3.5 Tahanan katup (*valve resistor*)

Sumber : (Rizaldy, 2017)

2.2.3.3 Syarat-syarat *Lightning Arrester*

Menurut Susilawati & Handoko (2002) *Lightning Arrester* yang dipasang harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. *Lightning Arrester* harus mampu mengalirkan arus surja ke tanah tanpa merusak *Lightning Arrester* itu sendiri.
2. *Lightning Arrester* harus mampu memutuskan arus susulan, dan dapat bekerja kembali seperti semula.
3. *Lightning Arrester* harus memiliki harga tahanan pentanahan di bawah 5 ohm.

2.2.3.4 Karakteristik *Lightning Arrester*

Menurut Rizaldy (2017) untuk menentukan tegangan terminal peralatan yang dilindungi, maka *Lightning Arrester* merupakan alat pelindung yang dapat diandalkan pada saat ini. Maka perlu diketahui dengan jelas karakteristik dari *Lightning Arrester* tersebut adalah:

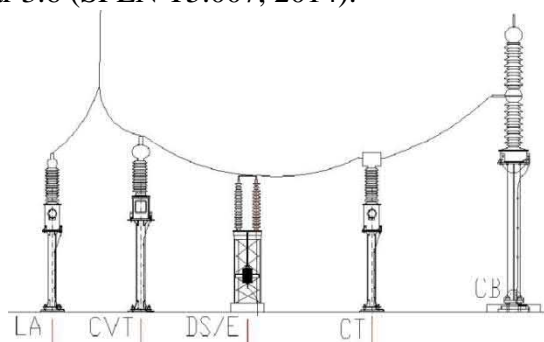
1. Mempunyai tegangan dasar (rated) dan frekuensi 50 Hz yang tidak boleh dilampaui.

2. Mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan bila dilalui oleh berbagai macam arus petir.
3. Mempunyai batas thermis.

Maka *Lightning Arrester* adalah sebuah peralatan yang mempunyai rating tegangan. Arester tersebut tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi rating ini, baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan hubung singkat, sebab arester ini dalam menjalankan fungsinya harus menanggung tegangan sistem normal dan tegangan lebih 50 Hz. Karakteristik pembatas tegangan impuls dan arester adalah harga yang dapat ditahanan pada terminal bila menyalurkan arus tertentu (Nasution, 2019).

2.2.3.5 Lokasi *Lightning Arrester* dengan peralatan yang dilindungi

Lightning Arrester harus dipasang sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindunginya, agar jarak efektif perlindungan terhadap surja masih terpenuhi. Contoh penempatan *Lightning Arrester* pada bay penghantar di Gardu Induk dapat dilihat pada Gambar 3.6 (SPLN T5.007, 2014).



Gambar 3.6 Penempatan *Lightning Arrester* di Bay Penghantar

Sumber : (SPLN T5.007, 2014)

2.2.3.6 Penyebab Kegagalan Lightning Arrester

Menurut Rizaldy (2017) sampai saat ini proteksi tegangan lebih (*over voltage*) yang optimal adalah *Lightning Arrester*. Namun, ada saatnya ketika alat pengamanan telah terpasang dengan baik tetapi mengalami kerusakan pada saat terkena sambaran petir baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga menyebabkan kegagalan dalam pengamanan.

Menurut Rizaldy (2017) adapun faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan dalam proteksi *Lightning Arrester* terhadap tegangan lebih, yaitu:

1. Sambungan kawat *Lightning Arrester* pada terminal arrester tidak baik atau tidak kencang.
2. Sambungan kawat *Lightning Arrester* pada kawat fasa jaringan tidak baik atau tidak kencang.
3. Sambungan kawat *Lightning Arrester* ke terminal tanah *Lightning Arrester* tidak baik atau tidak kencang.
4. Sambungan kawat pentanahan *Lightning Arrester* dengan kawat (batang pentanahan) tidak baik atau tidak kencang.
5. Tahanan pentanahan *Lightning Arrester* > 1 ohm.
6. Jarak *Lightning Arrester* terlalu jauh baik pada tiang *Lightning Arrester* yang satu dengan tiang *Lightning Arrester* yang lain atau dengan peralatan yang dilindungi (transformator tenaga).
7. *Lightning Arrester* sudah tidak dapat bekerja optimal meskipun tidak ada sambaran petir.

8. Pentanahan kawat tanah tidak sempurna (> 1 ohm) misalnya sambungan pada konektor longgar, korosinya elektroda bumi, perubahan kondisi dan struktur tanah.
9. Jika *Lightning Arrester* meledak karena sambaran petir baik secara langsung ataupun tidak pada saluran transmisi, berarti *Lightning Arrester* dapat bekerja sebagaimana mestinya, maksudnya *Lightning Arrester* tidak dapat mengubah dirinya menjadi penghantar lagi sehingga *Lightning Arrester* harus diganti.

2.2.4 Pemeliharaan *Lightning Arrester*

2.2.4.1 Pengertian Pemeliharaan *Lightning Arrester*

Menurut Avryansyah Akbar & Warsito (2013) pemeliharaan adalah suatu kegiatan berupa menjaga, membersihkan, merawat peralatan tertentu agar tetap dalam kondisi yang baik. Pemeliharaan yang baik akan memperpanjang umur peralatan dan akan menjamin berfungsinya peralatan dengan baik. Tujuan pemeliharannya adalah untuk mempertahankan kondisi atau menjaga agar peralatan menjadi tahan lama dan meyakinkan bahwa peralatan dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga dapat dicegah terjadinya gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan.

2.2.4.2 Pedoman Pemeliharaan *Lightning Arrester*

Menurut Avryansyah Akbar & Warsito (2013) pedoman Pemeliharaan *Lightning Arrester* berdasarkan (No. Dokumen : 12 – 22/ HARLUR – PST / 2009). Metode pemeliharaan *Lightning Arrester* sendiri terbagi menjadi 4, yaitu pemeliharaan preventif, pemeliharaan rutin, pemeliharaan prediktif dan pemeliharaan korektif.

1. Pemeliharaan Preventif

Merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan secara tiba – tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja optimal sesuai umur teknisnya (Avryansyah Akbar & Warsito, 2013).

2. Pemeliharaan Rutin

Menurut Avryansyah Akbar & Warsito (2013) Merupakan kegiatan pemeliharaan secara berkala. Berdasarkan periodenya, pemeliharaan rutin pada *Lightning Arrester* terdiri dari:

- a. Pemeliharaan Harian
- b. Pemeliharaan Mingguan
- c. Pemeliharaan Bulanan
- d. Pemeliharaan Tahunan

3. Pemeliharaan Prediktif

Merupakan pemeliharaan yang dilakukan dengan cara melakukan monitor dan membuat analisa terhadap hasil pemeliharaan untuk dapat memprediksi kondisi dan gejala kerusakan secara dini (Avryansyah Akbar & Warsito, 2013).

4. Pemeliharaan Korektif

Merupakan pemeliharaan yang dilakukan ketika peralatan mengalami kerusakan, dengan tujuan untuk mengembalikan kondisi semula melalui perbaikan (repair) ataupun penggantian (replace) (Avryansyah Akbar & Warsito, 2013).

Menurut buku pedoman SPLN T5.007 (2014) pemeliharaan preventif pada *Lightning Arrester* sebagai contoh adalah: Penggantian *Lightning Arrester*

berdasarkan assesment hasil ukur *Leakage Current Monitor*. Sedangkan pemeliharaan prediktif pada *Lightning Arrester* sebagai contoh adalah: Pengukuran arus bocor *Lightning Arrester*, perubahan interval pengukuran *Leakage Current Monitor* setelah diketahui kondisi *Lightning Arrester* “lemah”, pengukuran nilai tahanan insulasi *Lightning Arrester*.

2.2.4.3 Inspeksi *Lightning Arrester*

Di dalam buku pedoman SPLN T5.007 (2014), kegiatan pemeliharaan prediktif dikelompokkan ke dalam 3 level inspeksi berdasarkan tingkat kesulitan pelaksanaan dan jenjang diagnosa, yaitu:

1. Inspeksi Level-1 (IL-1)

Inspeksi online yang bersifat superficial, bertujuan untuk mendeteksi adanya ketidaknormalan atau anomali pada peralatan dan menginisiasi inspeksi lanjutan. Kegiatan ini dilaksanakan dengan menggunakan panca indera (penglihatan, pendengaran, penciuman) (SPLN T5.007, 2014).

2. Inspeksi Level-2 (IL-2)

Inspeksi online yang bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan (*condition assessment*), dilaksanakan dalam kondisi bertegangan (SPLN T5.007, 2014).

3. Inspeksi Level-3 (IL-3)

Inspeksi offline yang bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan (*condition assessment*), dilaksanakan dalam kondisi tidak bertegangan (SPLN T5.007, 2014).

2.2.4.3.1 Inspeksi Level-1 *Lightning Arrester*

1. Inspeksi Level-1 Visual

Inspeksi Visual adalah kegiatan pengamatan komponen atau bagian dari *Lightning Arrester* yang dilaksanakan secara visual atau menggunakan alat bantu binocular (SPLN T5.007, 2014).

2. Inspeksi Level-2 Audio

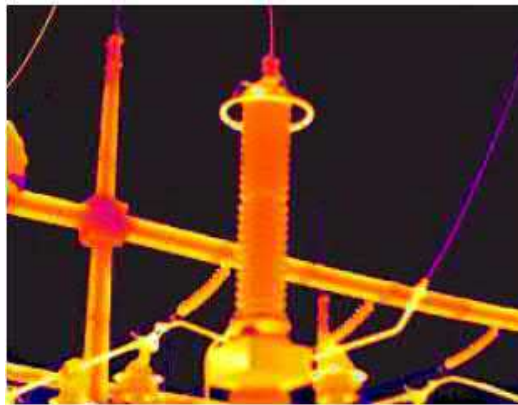
Inspeksi Audio adalah kegiatan pengamatan komponen/ bagian dari *Lightning Arrester* yang dilaksanakan menggunakan indera pendengaran untuk mengetahui anomali peralatan (SPLN T5.007, 2014).

2.2.4.3.2 Inspeksi Level-2 *Lightning Arrester*

Inspeksi Level-2 di *Lightning Arrester* adalah kegiatan pengukuran arus bocor dengan kompensasi harmonisa orde ke-3 atau dikenal juga dengan *Leakage Current Monitor* serta pelaksanaan thermovisi. Pengukuran *Leakage Current Monitor* bertujuan untuk mengetahui degradasi komponen aktif (varistor) *Lightning Arrester*. Pengukuran *Leakage Current Monitor* dilaksanakan pada *Lightning Arrester* yang berada di Gardu Induk, sementara beberapa *Transmission Line Arrester* tipe gapless dilengkapi alat monitoring online arus bocor dan datanya dapat didownload secara berkala. Pengukuran thermovisi dilaksanakan untuk mengetahui adanya hotspot pada *Lightning Arrester* dan *Transmission Line Arrester* tipe gapless akibat arus bocor (SPLN T5.007, 2014).

1. Inspeksi Level-2 Thermal Image

Inspeksi dengan thermal image adalah kegiatan pengamatan komponen/ bagian dari *Lightning Arrester* dengan menggunakan alat bantu kamera thermal/ kamera thermovisi, bukan thermo gun. Tujuan dari kegiatan ini adalah menemukan hot-spot/ titik panas yang mengindikasikan adanya anomali peralatan (SPLN T5.007, 2014). Inspeksi dengan thermal image akan menghasilkan data pengukuran berupa titik panas ataupun perubahan suhu pada titik tertentu. Dengan data suhu tersebut maka dapat digunakan sebagai data analisis kinerja *Lightning Arrester*.



Gambar 3.7 Contoh Hotspot Pada *Lightning Arrester*
Sumber : (Almeida et al., 2009)

Tabel 2.1 Parameter dan Rekomendasi thermovisi pada klem

No	ΔT	Rekomendasi
1	$<10^{\circ}\text{C}$	Kondisi Normal, pengukuran berikutnya dilakukan sesuai jadwal
2	$10^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$	Perlu dilakukan pengukuran 1 bulan lagi
3	$25^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$	Perlu direncanakan perbaikan
4	$40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$	Perlu dilakukan perbaikan segera
5	$>70^{\circ}\text{C}$	Kondisi darurat

Sumber : (Putra, 2018)

2. Inspeksi Level-2 Pengukuran menggunakan *Leakage Current Monitor*

Menurut Andriawan (2015) dari hasil pengecekan counter dengan alat *Leakage Current Monitor*, dapat dinyatakan kinerja *Lightning Arrester* tersebut. Apabila jumlah arus bocor yang dibumikan lebih dari nominal yang ditetapkan, maka kinerja *Lightning Arrester* tersebut buruk. Dan sebaliknya apabila jumlah arus bocor yang dibumikan kurang dari nominal yang ditetapkan, maka dapat dikatakan kinerja *Lightning Arrester* tersebut baik dan masih layak beroperasi. Adapun standar yang ditetapkan oleh PT. PLN (persero) adalah sebesar 100 μA . Dan berikut adalah rekomendasi hasil ukur menggunakan *Leakage Current Monitor* setelah dilakukan pengukuran.

Tabel 2.2 Rekomendasi Hasil ukur *Leakage Current Monitor*






No	% dar Ires, max	Rekomendasi
1	≤ 90	Ukur LCM tahunan
2	91-99	Ukur LCM 6 bulan kemudian
3	≥ 100	Penggantian LA

Sumber : (SPLN T5.007, 2014)

Kelengkapan alat ukur *Leakage Current Monitor* terangkum dalam Tabel 2.3

berikut ini:

Tabel 2.3 Kelengkapan Alat Uji *Leakage Current Monitor*

No.	Komponen	Fungsi	Gambar
1	CT Clip-On	Digunakan untuk mengukur arus bocor total yang mengalir pada kawat pentanahan <i>Lightning Arrester</i>	
2	Field probe lengkap dengan antena	Menguukur arus probe, yang kemudian diolah untuk mendapatkan Arus bocor kapasitif orde ke-3	
3	Current Probe (untuk <i>Leakage Current Monitor</i> tipe lama)	Memiliki 2 input yakni dari CT Clip-On dan Field Probe, berisi komponen elektronis untuk mengukur arus bocor total dan arus medan elektris field probe, selain itu juga terdapat rangkaian pengaman tegangan lebih dan sensor suhu	
4	Alat ukur <i>Leakage Current Monitor</i> , terdiri atas CPU, Multiplexer, A/D Converter	Memproses hasil pengukuran dari CT dan Field Probe, guna mendapatkan arus bocor	
5	Software Manajemen Data	Proses analisis dan penyimpanan data	

Sumber : (SPLN T5.007, 2014)

Hal-hal berikut ini harus mendapat perhatian selama proses pengukuran (Persero, 2014) :

1. Untuk Safety: Lakukan pengukuran Thermovisi sebelum pelaksanaan uji *Leakage Current Monitor*. Bila ditemukan Hotspot pada kompartemen *Lightning Arrester*, pengukuran *Leakage Current Monitor* tidak boleh dilaksanakan.
2. Grounding alat uji harus baik. *Leakage Current Monitor* harus terhubung ground dengan baik.



Gambar 3.8 Grounding *Leakage Current Monitor*
Sumber : (Nur Amelia, 2017)

3. CT clip-on harus menutup sempurna saat pengukuran.



Gambar 3.9 CT clip-on dikaitkan dengan kawat *Lightning Arrester*
Sumber : (Nur Amelia, 2017)

4. Seluruh koneksi pengukuran terhubung baik, tidak longgar.
5. Pastikan setting *Leakage Current Monitor* benar:
 - a. Mode: untuk pengukuran di lapangan, gunakan mode 3-fasa.
 - b. Temp: setting suhu untuk pengukuran tidak kontinu, menggunakan setting manual, masukkan estimasi suhu *Lightning Arrester*.
 - c. Line: masukkan tegangan operasional saat pengukuran (tegangan kontinu – U_c).
 - d. Average: Jumlah cacah perhitungan, standar deviasi (penunjukkan error perhitungan), akan semakin kecil, bila nilai Average semakin besar (rata-rata 10 -20 kali cacah).
6. Posisi menaruh Electric Probe: 10 cm vertikal di bawah insulator dudukan *Lightning Arrester* dan 5 cm horizontal dari *Lightning Arrester*, tidak menyentuh piring insulator *Lightning Arrester*.



Gambar 4.0 Posisi berdiri probe saat pengukuran
Sumber : (Nur Amelia, 2017)

7. Catatan pelaksanaan pengukuran:
- a. Pengukuran dilaksanakan minimal 4 kali dengan posisi probe yang berbeda (posisi depan – belakang – samping kiri dan samping kanan).
 - b. Hasil ukur arus bocor adalah nilai rata-rata dari keempat pengukuran.

2.2.4.3.3 Inspeksi Level-3 *Lightning Arrester*

1. Inspeksi Level-3: Pengukuran Nilai Tahanan Insulasi (Megger Test)

Menurut SPLN T5.007 (2014) pengukuran nilai tahanan insulasi bertujuan untuk mengetahui kemampuan insulasi *Lightning Arrester* pada tegangan operasional. Pengukuran dilaksanakan dalam kondisi tidak bertegangan (padam). Titik pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Tahanan insulasi *Lightning Arrester* dari terminal atas hingga ground.
- b. Tahanan insulasi pada setiap stack *Lightning Arrester*.
- c. Tahanan insulasi insulator dudukan/ post insulator.

Hal-hal penting yang perlu diperhatikan selama proses pengukuran adalah sebagai berikut:

- a. Pastikan *Lightning Arrester* dalam kondisi bersih.
- b. Lepaskan koneksi kawat konduktor dan kawat grounding *Lightning Arrester*.
- c. Pastikan alat uji memiliki supply catu daya yang baik.
- d. Gunakan alat uji dengan kemampuan ukur $> 1\text{G}\Omega$.
- e. Pasca pengukuran, pastikan koneksi kawat konduktor dan kawat grounding *Lightning Arrester* terpasang kembali dengan benar.

2. Inspeksi Level-3: Pengukuran Nilai Pentanahan

Menurut SPLN T5.007 (2014) pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kondisi sistem pentanahan *Lightning Arrester*. Nilai pentanahan yang tinggi menunjukkan adanya anomali pada sistem pentanahan *Lightning Arrester*. Pengukuran pentanahan dilaksanakan dalam kondisi tidak bertegangan. Hal-hal penting yang perlu diperhatikan selama proses pengukuran nilai pentanahan adalah sebagai berikut:

- a. Pastikan alat uji memiliki supply daya yang baik.
- b. Lepaskan kawat pentanahan dari rangkaian *Lightning Arrester*. Pengukuran dilakukan hanya pada rangkaian pentanahan.

- c. Bersihkan kawat pentanahan, sehingga alat ukur terkoneksi baik dengan kawat pentanahan.
- d. Gunakan bumi sebagai referensi pengukuran, bukan pentanahan peralatan lain yang sudah terhubung dengan sistem mesh gardu induk. Pasca pengukuran, pastikan koneksi sistem pentanahan terhubung kembali dengan benar.

3. Inspeksi Level-3: Pengujian Surge Counter *Lightning Arrester*

Menurut SPLN T5.007 (2014) pengujian surge counter *Lightning Arrester* bertujuan untuk mengetahui apakah alat tersebut mampu bekerja pada saat terjadi surja. Jika dalam kondisi baik, counter akan bertambah bila di beri impulse tegangan DC. Impulse tegangan DC yang digunakan dalam pengujian dihasilkan dari kapasitor (400 - 500) μF , (220 - 300) VAC. Pelaksanaan dilaksanakan dalam kondisi tidak bertegangan.

Hal-hal penting yang perlu diperhatikan selama proses pengukuran nilai pentanahan adalah sebagai berikut (SPLN T5.007, 2014):

- a. Lepaskan kawat pentanahan di kedua sisi surge counter *Lightning Arrester*.
- b. Lakukan pembersihan insulator surge counter *Lightning Arrester* sebelum pelaksanaan pengujian
- c. Pelaksanaan pengujian, Charge kapasitor dengan tegangan supply AC 220 V selama (30 – 60) detik. Hubungkan kedua kutub kapasitor dengan segera pada kedua ujung surge counter, sehingga impulse DC current dialami oleh surge counter.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk Srdol 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang berdasarkan arus bocor *Lightning Arrester* memperoleh nilai persentase dengan kondisi 97,91% baik dan masih layak untuk beroperasi, untuk mempertahankan kondisi tersebut maka perlu dilakukan pengukuran dan perawatan terutama pada bay penghantar pandeanlamper 2, karena nilai arus bocor yang dihasilkan hampir mencapai batas normal 100 μ A.
2. Kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk Srdol 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang berdasarkan suhu terminal *Lightning Arrester* memperoleh nilai persentase dengan kondisi 97,91% baik dan masih layak untuk beroperasi, untuk mempertahankan kondisi tersebut maka perlu dilakukan pengukuran dan perawatan terutama pada bay penghantar pandeanlamper 2, karena nilai arus bocor yang dihasilkan hampir mencapai batas normal 32°C.
3. Nilai korelasi arus bocor *Lightning Arrester* dengan suhu terminal *Lightning* sebesar 0,416197 (cukup kuat dan positif).
4. Hasil Analisis Regresi Usia dengan Arus Bocor *Lightning Arrester* pada Bay Penghantar Pandeanlamper 2 dengan menghasilkan nilai pada fasa R 37 tahun, fasa S 37 tahun, dan fasa T 36 tahun. Hasil Analisis Regresi Usia dengan Suhu Terminal *Lightning Arrest* pada Bay Penghantar Pandeanlamper 2 dengan menghasilkan nilai pada fasa R 36 tahun, fasa S 36 tahun, dan fasa T 36 tahun. Dari hasil analisis

regresi sederhana pada Bay Penghantar Pandeanlamper 2 diperoleh batas usia rata-rata pada Bay Penghantar Pandeanlamper 2 yaitu pada usia ke 37 tahun.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis Kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk Sronдол 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang berdasarkan arus bocor *Lightning Arrester*, maka perlu dilakukan pengukuran arus bocor menggunakan *Leakage Current Monitor* 6 bulan kemudian terutama pada bay pandeanlamper 2. Kemudian berdasarkan Kinerja *Lightning Arrester* yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk Sronдол 150 kV PT.PLN (Persero) UPT Semarang berdasarkan suhu terminal *Lightning Arrester*, maka perlu direncanakan perbaikan terutama pada bay pandeanlamper 2.

Karena nilai korelasi arus bocor *Lightning Arrester* dan suhu terminal *Lightning Arrester* cukup kuat dan positif, maka perlu diperhatikan perubahan arus bocor dan suhu terminal *Lightning Arrester* agar perubahan tersebut tidak berdampak buruk pada kinerja *Lightning Arrester* yang sudah berusia lebih dari 30 tahun, yaitu dengan dilakukan pengukuran serta perawatan rutin sesuai dengan standar operasional. Hasil analisis regresi yang dilakukan memperoleh hasil yang mengkhawatirkan karena diprediksikan pada umur ke 37 atau tepatnya pada tahun 2020 *Lightning Arrester* akan mengalami kenaikan arus bocor *Lightning Arrester* dan suhu terminal *Lightning Arrester* yang bisa mencapai batas normal atau bahkan melebihi. Dengan adanya hasil penelitian tersebut, maka perlu dilakukan pengukuran dan perawatan secara rutin

sesuai dengan standar operasional untuk menghindari gangguan yang dapat mengganggu bahkan merusak peralatan utama di Gardu Induk Sronol 150 kV.

5.3 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan sesuai dengan prosedur ilmiah, namun demikian masih memiliki keterbatasan yaitu :

1. Adanya keterbatasan penelitian dalam memperoleh data, dikarenakan pengarsipan data oleh pegawai Gardu Induk Sronol baru dimulai tahun 2016, sehingga data sebelum tahun-tahun tersebut sulit untuk diperoleh.
2. Peneliti menyadari bahwa teknik analisis data yang dilakukan perlu menggunakan beberapa teknik analisis data yang lain agar memperoleh hasil analisis yang lebih maksimal.
3. Pengaruh cuaca yang kurang baik membuat peneliti sedikit mengalami gangguan dalam proses pengambilan data dan praktik secara langsung di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, S. (2015). Effect of Surge Arrester on Overhead Transmission Lines as Shield against Over Voltage. *International Journal of New Technologies in Science and Engineering*, 2, 1–6.
- Almeida, C. A. L., Braga, A. P., Nascimento, S., Paiva, V., Martins, H. J. A., Torres, R., & Caminhas, W. M. (2009). *Intelligent Thermographic Diagnostic Applied to Surge Arresters : A New Approach*. 24(2), 1–7.
- Andriawan, D. (2015). Kinerja Arrester Yang Sudah Berusia Lebih Dari 10 Tahun di Gardu Induk 150 KV Ungaran - Semarang. *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang*, (2), 1–4.
- Aryanto, T. (2013). Frekuensi gangguan terhadap kinerja sistem proteksi di gardu induk 150 kv jepara.
- Avryansyah Akbar, A., & Warsito, I. A. (2013). *Pemeliharaan Lightning Arrester (La) Pada Gardu Induk Krapyak 150 kV PT. PLN (Persero) P3B Jawa – Bali App Semarang*. 1–6.
- Bandri, S. (2015). *Analisa gangguan petir sudd 150 kV dengan memperhatikan tegangan pada lightning arrester dan trafo*. 4(1), 1–4.
- Barasa, M. C. M., Patras, L. S., & Tumaliang, H. (2017). *Analisis Kinerja Lightning Arester Pada Jaringan Transmisi 150 kV Sistem Minahasa Khususnya Pada Penyulang Kawangkoan - Lopana*. 6(1), 7–14.
- Erhaneli, & Afriliani. (2018). *Analisa Pengaruh Perilaku Petir pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Menggunakan Metode Burgsdorf*. 7(1), 1–6.
- Fauziah, M. R., Satriyadi, I. G. N., & Negara, I. M. Y. (2012). Studi Pengaruh Lokasi Pemasangan Surge Arrester pada Saluran Udara 150 Kv terhadap Tegangan Lebih Switching. *Jurusan Teknik Elektro FTI - ITS*.
- Gassing. (2012). Analisis Sistem Proteksi Petir (Lighting Performance) Pada Sutt 150 kV Sistem Sulawesi Selatan. *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin*, 6, 1–12.
- Hajar, I., & Rahman, E. (2017). Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung. *Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta*, 9, 1–15.
- Hidayah, N., Hassan, N., Halim, A., Bakar, A., Illias, H. A., Halim, S. A., ... Terzija, V. (2019). Analysis of discharge energy on surge arrester configurations in 132 kV double circuit transmission lines. *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya*, 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.088>
- Jakni. (2016). *Metodologi Penelitian Eksperimen Bidang Pendidikan* (Alfabeta, Ed.). Bandung.

- Juliando, F., & Rosma, I. H. (2018). Analisis Usia Arrester Akibat Gangguan Sambaran Langsung Petir Pada Transmisi 150 kV. *Program Studi Teknik Elektro SI, Fakultas Teknik, Universitas Riau*, 5(1), 1–4.
- Kadir, M. Z. A. A., Ariff, H. M., & Azmi, A. M. (2008). Modelling 132 kV Substation for Surge Arrester Studies. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, (January), 1–19. <https://doi.org/10.2202/1553-779X.1998>
- Mehulku, M. (2015). *International Journal of Advance Engineering and Research Analysis of Surge Arrester using FEM*. 1–6.
- Nasution, R. (2019). Analisa Penempatan Lightning Arester Sebagai Pengaman Gangguan Petir Di Gardu Induk Langsa. *Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara*, 3814, 1–5.
- Nur Amelia, M. (2017). *Pengujian Leakage Current Monitor Lighting Arrester Gardu Induk 150 kV Bumi Semarang Baru (BSB)*.
- Nurhaidi, R., Danial, & Rajagukguk, M. (2015). Penentuan Letak Optimum Arrester Pada Gardu Induk (Gi) 150 kV Siantan Menggunakan Metode Optimasi. *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura*, 1–8.
- PT. PLN, K. D. (2014). *Standar Spesifikasi Arrester Untuk Jaringan Transmisi 66 kV, 150 kV, 275 kV Dan 500 kV PT.PLN (Persero)* (P. P. dan P. Ketenagalistrikan, Ed.). Jakarta.
- Putra, R. R. (2018). Thermovisi Dalam Melihat Hot Point Pada Gardu Induk 150 kV. *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik*, 1–19.
- Rahmawati, Y. (2009). Sistem Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Gardu Trafo Tiang 20 kV. *Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang*, 1–7.
- Rizaldy, M. (2017). *Studi Analisis Sistem Proteksi Tegangan Lebih (Over Voltage) Menggunakan Software ATP (Analysis Transient Programme)*.
- Romadona, B. (2018). *Hubungan arus arrester terhadap suhu di GI wonogiri*.
- Sapari, Budiman, A., & Supardi, A. (2012). Evaluasi arrester untuk proteksi gi 150 kv jajar dari surja petir menggunakan software pscad. *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 12(1), 1–5.
- Setiawan, R. W., Hernanda, I. G. N. S., & I Made Yulistya, E. (2012). *Analisa Koordinasi Surja Arrester Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Menggunakan ATP / EMTP Dan Metode Monte Carlo di GIS*. 1(1), 1–6.
- Sintianingrum, A. (2015). *Simulasi Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir Terhadap Penentuan Jarak Maksimum Untuk Perlindungan Peralatan Pada Gardu Induk*.
- SPLN T5.007. (2014). *Spesifikasi Arrester Untuk Jaringan Transmisi 66 kV, 150 kV, 275 kV Dan 500 kV*. Jakarta.
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.

- Suhartanto, T., & Syakur, A. (2011). Penentuan Kebutuhan Proteksi Petir Pada Gedung Teknik Elektro Undip Dengan Adanya Bangunan Menara Base Transceiver Station. *Jurusan Teknik Elektro, UNDIP*, 1–10.
- Supranto, J. (2000). Teori dan Aplikasi. *Statistik*.
- Susilawati, D. I., & Handoko, S. (2002). Pemakaian Dan Pemeliharaan Arrester Pada Gardu Induk 150 Kv Sronol PT. PLN (Persero) P3B JB Region Jawa Tengah Dan DIY UPT Semarang. *Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*, 1–6.
- Syakur, A. (2010). *Pemeliharaan Arrester GI dan GIS 150 kV PT. PLN (PERSERO) UPT Semarang*. 1–8.
- Ulawia, M. H. (2015). *Evaluasi Pengaruh Lokasi Pemasangan Surja Arrester Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (Sutt) 150 kV Terhadap Tegangan Lebih Switching*.
- Wardana, A. N., & Subari, A. (2014). Perbandingan Pengaruh Penempatan Arrester Sebelum Dan Sesudah Fco Sebagai Pengaman Transformator 3 Phasa Terhadap Gangguan Surja Petir Di Penyulang Pandean Lamper 5. *Program Studi Diploma III Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*, 18(1), 1–4.