

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan energi listrik di Indonesia baik dalam bidang konsumsi maupun bidang produksinya semakin meningkat dari tahun ke tahun, kebutuhan energi listrik semakin meningkat sejalan dengan berkembangnya teknologi.

Di Indonesia sendiri perusahaan yang bergerak di bidang penyaluran tenaga dan harus mampu menjaga ketersediaan listrik ke seluruh wilayah adalah PT PLN (persero). Tetapi dalam sistem penyaluran tenaga listrik ke setiap wilayah pada jaringan transmisi dan distribusi tidak lepas dari adanya gangguan dari luar.

Gangguan yang terjadi dalam sistem penyaluran tenaga listrik salah satu penyebabnya adalah petir. Hal ini dikarenakan letak Indonesia pada daerah khatulistiwa dengan iklim tropis dan kelembapan yang tinggi, sehingga kerapatan sambaran petir di Indonesia jauh lebih besar dibandingkan negara lainnya. Terdapat dua macam sambaran petir, yaitu sambaran petir langsung (*direct stroke*) terjadi apabila petir menyambar langsung kawat fasa atau kawat pelindungnya dan sambaran petir tidak langsung (*indirect stroke*) terjadi apabila petir menyambar objek di sekitar saluran. Sambaran petir dapat menyebabkan kegagalan pada isolator, tegangan lewat denyar (*back flashover*) dan tegangan induksi. Sambaran petir yang mengenai sistem tenaga listrik akan menimbulkan tegangan lebih baik secara langsung maupun tidak langsung. Tegangan lebih ini dapat menyebabkan kerusakan isolator pada peralatan-peralatan listrik lainnya apabila dibiarkan mengalir pada sistem proteksi yang dapat menangani gangguan tersebut. Salah satu perlindungannya adalah pemasangan *arrester*.

Arrester memiliki kemampuan mengamankan peralatan listrik dari gangguan surja petir, alat pengaman ini memiliki nilai tahanan yang tidak linear pada setiap tingkat tegangan dan arus. Kinerja *arrester* terutama dalam merespon tegangan lebih

dari uraian di atas maka penelitian tentang *arrester* akan disusun dalam sebuah skripsi dengan judul “Pemilihan Jenis *Arrester* yang Digunakan untuk Mengamankan Transformator Distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Siborongborong”

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari penjelasan latar belakang di atas maka permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Mencari tahu jenis dan rating *arrester* yang digunakan mengamankan transformator.
2. Bagaimana pengaruh penempatan *arrester* terhadap efektivitas kinerja peralatan listrik.

1.3 Batasan masalah

Dari identifikasi permasalahan yang ada dan untuk memperoleh gambaran yang jelas tentang ruang lingkup penelitian dan kedalaman pembahasan. Adapun pembatasan masalah yang dilakukan dalam penulisan penelitian agar memiliki arah dan tujuan yang jelas dan bermanfaat, masalah yang dibahas yaitu:

1. Menentukan kelayakan *arrester* untuk digunakan mengamankan trafo
2. Penentuan jenis dan rating *arrester* untuk digunakan

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan dari skripsi ini adalah untuk mengetahui kegunaan *arrester* dan pemilihan *arrester* yang baik sebagai pengaman transformator.

1.5 Kontribusi Tugas Akhir

Penelitian ini akan memberikan pembelajaran cara pemilihan *arrester* yang baik sebagai pengaman dan apa saja kegunaan *arrester* selain pengaman beban lebih akibat surja petir.

1.6 Metodologi penelitian

Metode penulisan yang akan dilakukan adalah dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur ialah pendekatan penelitian yang dilakukan dengan cara mencari referensi atas landasan teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi tersebut bisa dicari dari buku, jurnal, atikel, laporan penelitian dan situs online di internet. Output yang dihasilkan dari studi literatur ialah terkoleksinya refensi yang relevan dengan rumusan masalah.

2. Observasi Lapangan

Melakukan observasi lapangan dengan pengamatan langsung ke lapangan untuk kasus yang terjadi. Wawancara adalah teknik pengumpulan data dengan melakukan tanya jawab secara langsung.

3. Pengolahan Data dan Penulisan Laporan

Penulisan laporan disusun sesuai data yang diperoleh secara langsung dan menggunakan rumus yang berkaitan dengan permasalahan, sehingga menjadi laporan yang dapat menggambarkan penelitian secara utuh.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam pemahaman tugas akhir ini, maka diuraikan penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, kontribusi penulisan, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Menjelaskan tentang *arrester*, prinsip kerjanya dan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan batasan masalah yang sudah ditentukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian untuk mengamati *arrester* waktu dan tempat dimana dilakukan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang data penelitian dan pembahasan dan perhitungan yang diambil dari hasil penelitian.

BAB V PENUTUP

Menjelaskan tentang kesimpulan penulisan tugas akhir dan saran.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tegangan Lebih Akibat Surja Petir

Umum

Listrik adalah salah satu bentuk energi, banyak peristiwa-peristiwa listrik terjadi di seluruh alam ini diantaranya adalah petir. Petir merupakan bunga api listrik tegangan tinggi yang terjadi di atmosfer bumi yang sebenarnya adalah pembebasan muatan listrik salah satu sifat dari muatan listrik adalah saling tarik menarik antara muatan positif dan negatif. Sifat ini digunakan untuk memahami proses terjadinya petir dan upaya untuk memperkecil bahaya sambaran petir dengan menggunakan penangkal petir yang sesuai.

Petir merupakan fenomena alam yang sudah diteliti oleh manusia selama ratusan tahun. Petir atau halilintar adalah gejala alam yang muncul pada musim penghujan dimana di langit muncul kilatan cahaya yang sangat menyilaukan dan biasanya disebut kilat yang beberapa saat kemudian disusul suara menggelegar.

Sering disebut guruh, perbedaan antara kecepatan suara dan cahaya. Penelitian mengenai petir telah lama dilakukan tetapi masih ada beberapa bagian yang belum dapat dijelaskan secara ilmiah yang dianggap sebagai misteri alam.

Menurut Maruli Ch.Barasa dkk. (2017) dalam pengoperasian sistem tenaga listrik perlu adanya perhatian khusus pada sistem proteksi terhadap tegangan lebih. Tegangan lebih adalah tegangan yang hanya dapat ditahan untuk waktu yang terbatas. Tegangan lebih berdasarkan sumbernya, ditimbulkan oleh:

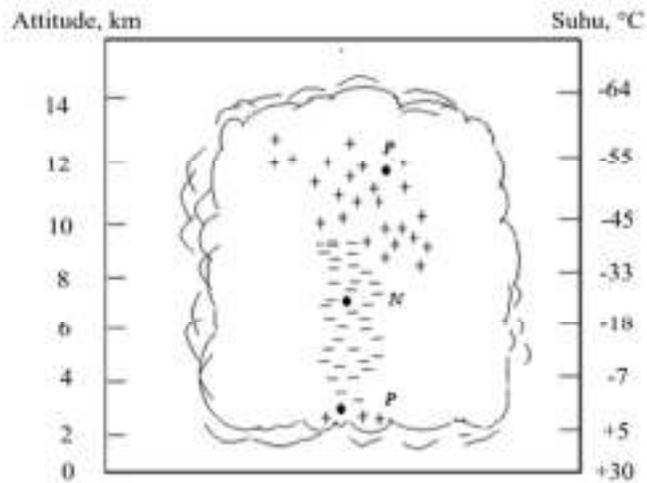
- a) Tegangan lebih petir (*lightning over voltage*) pada peralatan listrik baik sambaran langsung, tidak langsung maupun secara induksi.
- b) Tegangan lebih surja hubung (*swithing over voltage*) baik akibat operasi penutupan maupun operasi pembukaan saklar.
- c) Tegangan lebih sementara (*temporay over voltage*) disebabkan gangguan di sistem.

Untuk gelombang dari tegangan lebih akibat surja petir dan surja hubung merupakan tegangan yang naik dalam waktu yang singkat sekali dan disusul dengan penurunan yang lebih lambat.

Petir adalah salah satu peristiwa alam yang berupa pelepasan muatan listrik dengan arus yang cukup tinggi dan bersifat transient (singkat) yang terjadi di atmosfer. Penyebabnya adalah berkumpulnya ion bebas bermuatan positif (+) dan negative (-) di atmosfer khususnya di awan *cumulonimbus* (CB). Ion listrik tersebut dihasilkan oleh gesekan antara partikel uap air di awan dan juga kejadian ionisasi ini disebabkan oleh perubahan bentuk air mulai dari cair menjadi gas atau sebaliknya. Bahkan dari padat (es) menjadi cair, besarnya energi dari pelepasan muatan tersebut menimbulkan terjadinya guntur atau halilintar yaitu rentetan cahaya, panas dan bunyi yang sangat kuat. Ketika akumulasi muatan listrik dalam awan tersebut telah membesar dan stabil maka lompatan listrik yang terjadi tersebut akan merambah ke massa bermedan listrik lainnya.

Peristiwa Petir

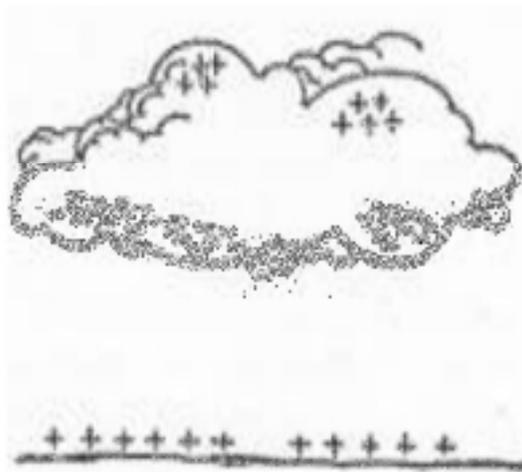
Petir merupakan suatu peristiwa pelepasan muatan listrik di atmosfer. Pada suatu keadaan tertentu dalam lapisan atmosfer bumi terdapat gerakan angin ke atas (*updraft*) membawa udara lembab. Semakin tinggi dari permukaan bumi, semakin rendah tekanan suhunya. Uap air akan mengkondensasi menjadi titik air dan membentuk sebuah awan. Angin keras dengan kecepatan 30.000 – 40.000 kaki yang bertiup ke atas membawa awan lebih tinggi. Pada ketinggian lebih dari 5 km, menjadi kristal-kristal es dan kemudian turun lagi karena adanya gravitasi bumi. Karena air mengalami pergerakan acak vertikal dan horizontal, maka terjadilah pemisahan muatan listrik. Suatu tetesan air yang berada dibagian atas biasanya bermuatan positif dan di bagian bawah bermuatan negatif.



Gambar 2.1 Persebaran muatan positif dan negatif di dalam awan

Awan terdiri dari dua daerah, yaitu daerah bermuatan positif dan negatif. Pusat-pusat muatan ini menginduksikan muatan berpolaritas berlawanan ke awan terdekat atau ke bumi. Gradien potensial di udara antara pusat-pusat muatan di awan atau antara awan dan bumi tidak seragam atau gradien timbul pada bagian konsentrasi muatan tinggi. Ketika gradient tegangan tinggi pada titik konsentrasi muatan dari awan melebihi harga tembus udara yang terionisasi, maka udara daerah konsentrasi teknanan tinggi mengionisasi atau tembus (*breakdown*).

Muatan dari pusat muatan yang mengalir ke dalam kanal terionisasi, mempertahankan gradien tegangan tinggi pada ujung kanal dan melanjut proses tebus listrik. Sambaran petir ke bumi mulai ketika suatu muatan sepanjang pinggir awan menginduksikan suatu muatan awan ke bumi seperti gambar di bawah ini.



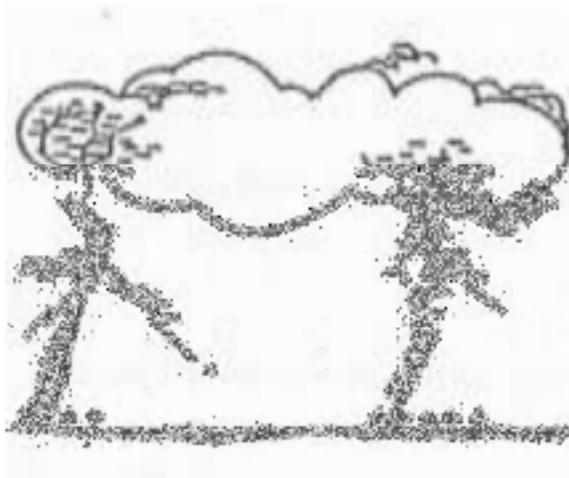
Gambar 2.2. Muatan sepanjang pinggir awan menginduksikan muatan lawan pada bumi

Kemudian akan timbul lidah petir arah bawah menyebar dari awan ke bumi seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



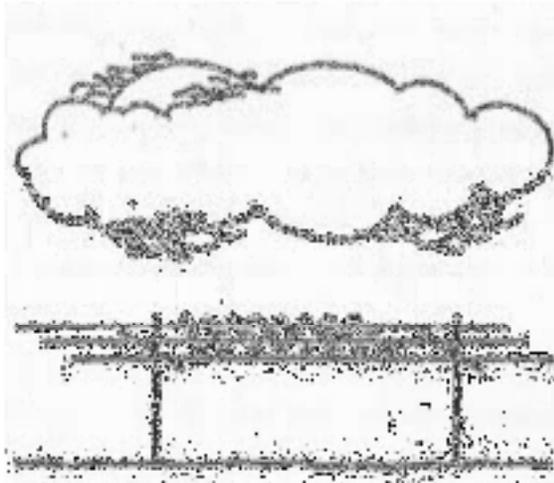
Gambar 2.3 Lidah petir menjalar ke bumi

Begitulah lidah petir mendekati bumi, sambaran ke arah atas terbentuk, biasanya dari titik tertinggi disekitarnya, bila lidah petir ke arah atas dan ke bawah bertemu seperti terlihat pada gambar, suatu hubungan awan ke bumi terbentuk dan energi muatan awan ke bumi terbentuk dan energi muatan awan dilepaskan ke dalam.



Gambar 2.4. Kilatan Sambaran Balik dari Bumi ke Awan

Muatan-muatan dapat terinduksi ke jaringan listrik yang ada disekitarnya sambaran petir ke tanah. Walaupun muatan awan dan bumi seperti gambar.



Gambar 2.5 Kumpulan muatan pada saluran distriusi

Tahapan Sambaran Petir

Petir awan ke tanah merupakan tembus listrik transien yang berlangsung dalam selang waktu ratusan mikrodetik dan merambat sepanjang kilometer dari awan ke permukaan bumi. Petir awan ke tanah berawal dari daerah sela antara daerah bermuatan positif (P) di dasar awan dan daerah negatif (N) di atasnya. Elektron daerah N awan bergerak ke bawah menetralkan muatan positif di daerah P awan. Proses ini dikenal dengan proses peluahan awal, selanjutnya elektron merambat menuju permukaan bumi dan menimbulkan lidah petir. Lidah petir yang pertama disebut pelopor awal. Arah langkah lidah petir berubah-ubah sehingga rambatan suatu petir tidak lurus dan patah-patah. Pelopor akan terus merambat selama pusat muatan di awan mampu memberikan muatan ke ujung pelopor melebihi kuat medan udara.

Setiap kejadian peluahan petir disebut kilat dan dapat terjadi selama 0,5 hingga 1 detik. Satu kilat terdiri dari beberapa peluahan, di antara 3 atau 4 pulsa arus tinggi yang disebut sambaran. Pada petir di dalam awan yang merupakan peluahan yang terjadi di dalam satu awan (awan *cumulonimbus*), tanpa kontak langsung dengan permukaan bumi peluahan jenis ini merambat antara daerah N bermuatan negatif dengan daerah P bermuatan positif di atasnya. Tipe peluahan di atasnya. Tipe peluahan petir yang lainnya adalah petir awan ke awan. Petir awan terjadi antara dua awan *cumulonimbus* yang berbeda muatan.

Kemudian gerakan pilot streamer yang diikuti dengan lompatan-lompatan titik-titik cahaya yang dinamakan *stepped leader* (diterangkan pada gambar). Arah setiap *stepped leader* berubah-ubah dimana ia mencari udara yang mempunyai kekuatan dielektriknya paling rendah untuk dilalui sehingga secara keseluruhan jalannya tidak lurus dan patah-patah. Setiap sambaran petir bermula dari suatu lidah petir (*stepped leader*) yang bergerak naik turun (*down leader*) dari awan bermuatan, panjang *stepped leader* mengalami percabangan sehingga terbentuk lidah petir yang bercabang-cabang. Ketika leader bergerak mendekati bumi akan terdapat beda potensial yang makin tinggi antara ujung *stepped leader* dengan obyek pada bumi yang bergerak keatas menuju ujung *stepped leader*. Pelepasan muatan ini disebut *upward streamer*. Apabila *upward streamer* telah masuk dalam zona jarak sambaran (*striking distance*), terbentuk petir penghubung (*connecting leader*) yang menghubungkan ujung *stepped leader* dengan obyek yang disambar (diterangkan pada gambar). Setelah itu timbullah sambaran balik (*return strike*) yang bercahaya terang bergerak dari obyek yang menuju awan dan kemudian melepaskan muatan di awan (diterangkan pada gambar). Jalur yang ditempuh oleh *return strike* sama dengan jalur turunnya *stepped leader*, hanya arahnya berbeda. Setelah itu terjadi juga sambaran susulan (*subsequent strike*) dari awan menuju bumi akibat belum pulihnya udara yang menjadi tempat tempat jalannya sambaran pertama. Sambaran susulan tidak memiliki percabangan dan bisa disebut lidah panah (*dart leader*). Pergerakan *dart leader* ini sekitar 10 kali lebih cepat dari leader yang pertama (*first strike*).

Gelombang Berjalan pada Saluran Udara

Sampai saat ini penyebab dari gelombang berjalan yang diketahui adalah:

- Sambaran kilat tidak langsung pada kawat
- Sambaran kilat tidak langsung pada kawat (induksi)
- Operasi pemutusan (*switching operatin*)
- Busur tanah (*arching grounds*)
- Tegangan mantap sistem

Dari sudut energi dapat dikatakan bahwa surja pada kawat disebabkan oleh penyuntikan energi secara tiba-tiba pada kawat yang terdiri dari arus dan tegangan.

Kecepatan rambat gelombang berjalan tergantung dari kostanta-kostanta kawat. Pada kawat di udara, kecepatan merambat ini kira-kira 300 m/μs, jadi sama dengan kecepatan cahaya sedangkan pada kabel tanah kira-kia 150 m/μs.

Bila gelombang mencapai suatu titik peralihan dikontinuisitas akan terjadi perbedaan dengan gelombang asal.

a) Kecepatan merambat

Kecepatan merambat gelombang berjalan pada kawat udara sama dengan kecepatan cahaya dalam hampa udara, yakni sebesar 300 cm/s. Sedangkan untuk kabel konduktor padat dengan jari-jari (r) dan isolasi pembungkus berjari-jari R serta E, maka cepat rambat gelombang pada kabel menjadi

$$z = \frac{3 \cdot 10^{10}}{\sqrt{\epsilon}} \text{ cm/s} \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk kabel yang tersedia, umumnya harga $\epsilon = 2,5 - 4$, jadi kecepatan rambat dalam kabel kira-kira $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{2}{3}$ dari kecepatan cahaya.

b) Impedansi surja untuk hantaran udara :

$$z = 60 \ln \frac{2h}{r} \text{ ohm} \dots\dots\dots (2.2)$$

Sedangkan untuk kabel :

$$z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon} \ln \frac{R}{r}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Besar impedansi surja untuk kawat udara = 400-600 Ω dan untuk kabel = 5-60 Ω

Gangguan Sambaran Petir Terhadap Saluran Distribusi Tegangan Menengah

Bila petir mengenai langsung ke penghantar SUTM, kemungkinan besar penghantar tersebut akan putus karena gelombang petir yang menimbulkan tegangan impuls melebihi BIL (*Basic Insulation Level*) dari penghantar. Kalau petir yang mengenai SUTM sambaran langsung tapi induksi dari petir, gerak dari gelombang petir itu menjalar ke segala arah dengan kata lain terjadi gelombang berjalan sepanjang jaringan yang menuju suatu titik lain yang dapat menetralsir arus petir

tersebut yaitu menuju ke titik pentanahan. Menurut Ibnu Hajar dan Eko Rahman (2017) sambaran petir terdiri dari :

a) Sambaran langsung

Merupakan sambaran petir ke arah fasa konduktor dan penunjang fasa konduktor (tiang). Tetapi yang paling 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. Sambaran langsung ke jaringan berasal dari awan yang menyebabkan tegangan naik dengan cepat pada daerah sambaran tiang maupun kawat penghantar.

b) Sambaran tidak langsung

Merupakan peristiwa sambaran petir yang terjadi di dekat sistem tenaga. Sambaran tersebut dapat berupa sambaran petir dari awan ke tanah ataupun sambaran dari awan ke awan. Biasanya sambaran petir ini lebih berpengaruh pada saluran tegangan menengah dibanding tegangan tinggi. Akibatnya adanya sambaran ini, akan timbul medan elektromagnetik yang dapat menginduksikan tegangan pada saluran sistem tenaga. Muatan induksi yang muncul pada jaringan disebabkan oleh sambaran petir ke bumi dan oleh sambaran petir dari awan ke awan. Pada umumnya lompatan api yang timbul tidak terlalu besar, sehingga bukan merupakan masalah yang begitu serius.

Proteksi Jaringan

Tujuan dari suatu sistem proteksi pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) adalah mengurangi sejauh mungkin pengaruh pada penyaluran tenaga listrik serta memberikan perlindungan yang maksimal bagi operator, lingkungan dan peralatan dalam hal ini terjadinya gangguan yang menetap (permanen). Sistem proteksi pada SUTM memakai:

1. Relay hubung tanah dan relay hubung singkat fasa-fasa kemungkinan gangguan penghantar dengan bumi dan antarpenghantar.

2. Pemutus Balik Otomatis (PBO) dan *Automatic Recloser*, Saklar Seksi Otomatis (SSO) dan *Automatic Sectionaizer*. PBO dipasang pada saluran utama, sementara SSO dipasang pada saluran pencangan sedangkan di gardu induk dilengkapi dengan *auto reclosing relay*.
3. *Lighting Arrester* (LA) sebagai pelindung kenaikan tegangan peralatan akibat surja petir. *Lighting Arrester* dipasang pada tiang awal/tiang akhir, kabel *Tee-off* (TO) pada jaringan gardu transformator serta pada isolator.
4. Pembumian bagian konduktif terbuka dan bagian konduktif ekstra pada tiap-tiap 4 tiang atau pertimbangan lain dengan nilai pertahanan tidak melebihi 10 ohm.
5. Kawat tanah (*shield wire*) untuk mengurangi gangguan akibat sambaran petir langsung. Instalasi kawat tanah dapat dipasang pada SUTM di daerah padat petir yang terbuka.
6. Penggunaan *Fused Cut-Out* (FCO) pada jaringan percabangan.
7. Penggunaan Sela tanduk (*arcing horn*)
8. Pentanahan (*grounding*)

FCO (Fuse Cut-Out)

Pengaman lebur untuk gardu distribusi pasang luar dipasang di *Fuse Cut-Out* (FCO) dalam versi fuse link. Diperoleh 3 jenis kekhasan fuse link, yaitu Tipe-K (cepat), Tipe-T (lambat) serta Tipe-H yang kebal pada arus surja. Data aplikasi pengaman lebur dan daya tampung transformator. Jika tidak terlihat pada petunjuk yang lengkap, nilai arus dan pengaman lebur primer tidak lebih dari 2,5 kali arus nominal primer trafo.

Apabila terdapat *Lightning Arrester* (LA) sesudah *Fuse Cut-Out*, dipilih Fuse link tipe-H, bila sebelum *Fuse Cut-Out* (FCO) dipilih Fuse link tipe-K. Sebanding dengan publikasi IEC 282-2(1970)-NEMA pada sisi primer seperti pelebur jenis pembatas arus. Arus pengenalan pelebur jenis letupan (expulsion) tipe-H (Tahanan surja petir), tipe-T (lambat) tipe-K (Cepat) menurut publikasi IEC No. 282-2 (1974)-

NEMA untuk pengaman berbagai daya pengenal trafo. Ada atau tidaknya koordinasi dengan pengaman sisi sekunder (PT PLN (Persero), 2010).



Gambar 2.6. FCO (*Fuse Cut-Out*)

Transformator Tiga Fasa

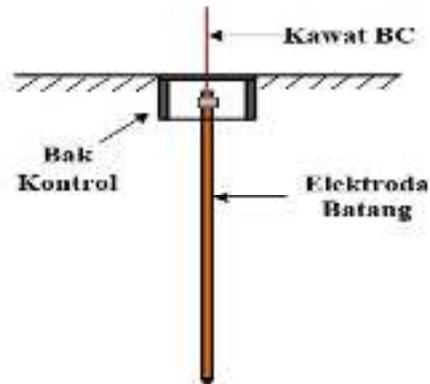
Untuk transformator tiga fasa, pada spln memiliki 3 tipe Vector grup yang dipakai oleh PLN, yaitu vektor $Yzn5$, $Dyn5$ dan $Yyn0$. Titik netral langsung dihubungkan ke tanah. Untuk konstruksinya, peralatan trafo harus seperti pada SPLN D. 002-1:2007. Transformator pada gardu pasang luar dilengkapi bushing tegangan menengah isolator keramik. Sedangkan pada trafo gardu pasang dalam dilengkapi dengan bushing tegangan menengah isolator tipe keramik atau menggunakan isolator *plugging premoled* (PT PLN (persero),2010).



Gambar 2.7: Transformator 3 Fasa

Pembumian (Grounding)

Sistem pembumian atau sistem pentanahan menghubungkan bagian tertentu dari sistem tenaga listrik dengan tanah. Biasanya permukaan konduktif bumi untuk tujuan keselamatan dan fungsional. Pilihan sistem pembumian dapat mempengaruhi keselamatan dan kompatibilitas elektromagnetik dari instalasi.



Gambar 2.8. Sistem Pembumian (*Grounding*)

Konduktor Elektroda Grounding

Pada umumnya dibuat dari tembaga atau baja berikat tembaga, konduktor elektroda grounding harus cukup besar menahan arus gangguan maksimum yang tersedia selama waktu pembersihan maksimum.

Koneksi Grounding (Bak Kontrol)

Konektor seperti jenis crimp, baut dan irisan bergantung pada kontak permukaan pada titik ke titik untuk menjaga integritas koneksi listrik. Klem tanah yang dipasang, diperlakukan dengan pelumas antioksidasi kemudian dijepit ke tongkat grounding.



Gambar 2.9: Bak Kontrol

Elektroda Grounding (Kawat Penghubung)

Penangkal petir yang digunakan sebagai kawat penghubung gangguan surja petir yang biasa digunakan yaitu kabel penangkal petir jenis BC yang dapat memudahkan adanya induksi yang disebabkan oleh sambaran petir. Nilai minimal yang masih boleh digunakan dalam penangkalan petir yaitu 50 mm.



Gambar 2.10. Elektroda *Grounding* (Pembumian)

Arrester

Salah satu usaha untuk memperkecil terjadinya gangguan internal maupun eksternal untuk mencegah kerusakan pada peralatan akibat sambaran petir adalah pemasangan *arrester*. *Arrester* adalah peralatan pengaman instalasi dari gangguan

tegangan lebih akibat sambaran petir (*Lightning Surge*) maupun oleh surja hubung (*Switching Surge*). *Arrester* berfungsi sebagai alat untuk melindungi isolasi atau mengamankan instalasi (peralatan listrik pada instalasi) dari gangguan tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir atau tegangan transient yang tinggi dari suatu penyambung atau pemutus rangkaian, alat ini bersifat sebagai *bypass* di sekitar isolasi yang membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat ke sistem pentanahan sehingga menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi dari peralatan listrik. *Bypass* ini harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya ke konsumen (Cecillia Stevanny & Frimurdiya, 2017).

Menurut Kujoyo (2014), *arrester* merupakan alat yang dapat memiliki kemampuan untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan sambaran petir. Alat pengaman ini memiliki nilai tahanan yang tidak linear pada setiap tingkat tegangan dan arus. Kinerja *arrester* sangat dipengaruhi oleh karakteristik *arrester* terutama dalam merespon tegangan lebih yang datang pada terminalnya. Oleh sebab itu, sangat penting mengetahui bentuk kerja *arrester* dalam merespon (menanggapi) tegangan lebih dengan berbagai macam muka gelombang (*wave front*). Disamping itu perlu diketahui juga nilai tegangan residu *arrester*, karena impuls merupakan ancaman yang membahayakan bagi peralatan listrik apabila besarnya melebihi BIL peralatan yang dilindungi.

Dalam sistem tenaga listrik *arrester* merupakan kunci koordinasi isolasi. Saat surja (*surge*) tiba di gardu induk kemudian *arrester* akan melepaskan muatan listrik dan muatan abnormal yang akan mengenai gardu induk dan peralatan akan berkurang. Setelah surja (petir dan hubung) dilepaskan melalui *arrester* masih terdapat arus mengalir dikarenakan tegangan sistem yang disebut arus dinamik atau arus susulan (*follow current*). *Arrester* harus memiliki ketahanan termis yang cukup terhadap energi dari arus susulan serta harus mampu memutuskannya.

1) Prinsip Kerja *Arrester*

Lightning arrester bekerja pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi untuk membuang muatan listrik dari surja petir dan berhenti beroperasi pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi agar tidak terjadi arus pada jaringan

operasi.

Pada prinsipnya *arrester* membentuk jalan yang mudah dilalui oleh petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Pada kondisi normal *arrester* berlaku sebagai isolasi tetapi bila timbul surja, *arrester* berlaku sebagai konduktor yang berfungsi melewatkan aliran arus listrik ke tanah. Setelah surja menghilang *arrester* harus membuka dengan cepat kembali, sehingga pemutus daya tidak sempat terbuka.

Pada saat terjadi gangguan tegangan lebih akibat surja petir, maka harga tahanan dari *arrester* akan naik dengan cepat jika tegangan dan arus naik. Tegangan sisa (*residual voltage* atau tegangan yang timbul di antara terminal *arrester* pada saat terjadinya tembus tegangan) akan dibatasi walaupun arus yang mengalir cukup besar. Sebelum tegangan terpa mencapai trafo, dalam jangka waktu $\pm 0,25 \mu$ detik tegangan terpa akan mencapai harga tegangan terpa mencapai harga tegangan kerja *arrester*, sehingga *arrester* bekerja. Tegangan terpa yang naik dengan cepat menyebabkan energi terpa dilepaskan ke tanah, dengan demikian tegangan terpa yang masuk ke peralatan yang dilindungi sudah tidak membahayakan sistem. (Maruli Ch.Barasa Dkk.2017).

2) Bagian-bagian *Arrester*

a) Elektroda

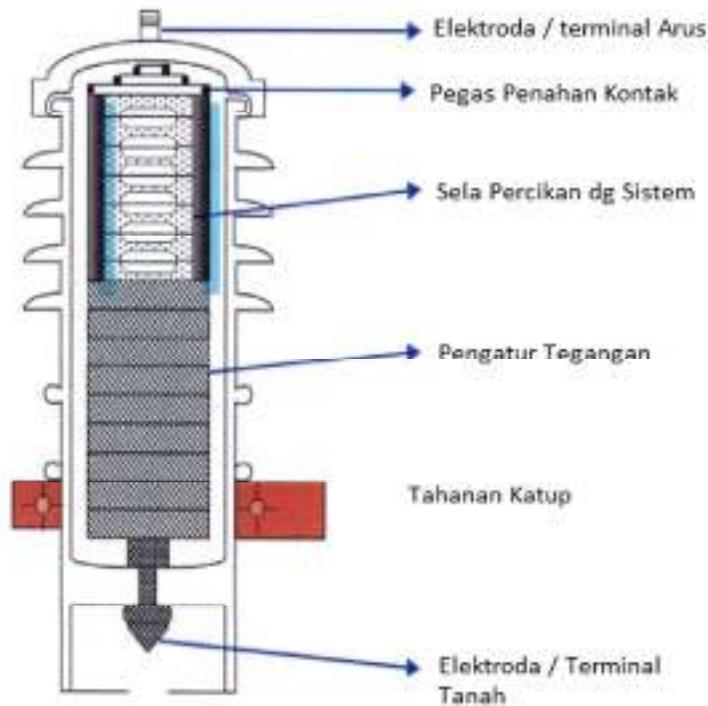
Elektroda adalah terminal dari *lighting arrester* yang dihubungkan dengan bagian yang bertegangan dibagian atas dan elektroda bawah dihubungkan dengan tanah.

b) Sela percikan (*spark-garp*)

Apabila terjadi tegangan lebih oleh sambaran petir atau surja hubung pada *lighting arrester* yang terpasang, maka pada sela percikan (*spark-garp*) akan terjadi loncatan bunga api. Pada beberapa tipe *lighting arrester* busur api yang terjadi tersebut ditiup keluar oleh tekanan gas yang timbul oleh tabung fiber yang terbakar.

c) Tahanan Katup (*Valve Resistor*)

Tahanan yang diperlukan dalam *lighting arrester* ini adalah satu jenis material yang bersifat tahananya dapat berubah bila mendapat perubahan tegangan.

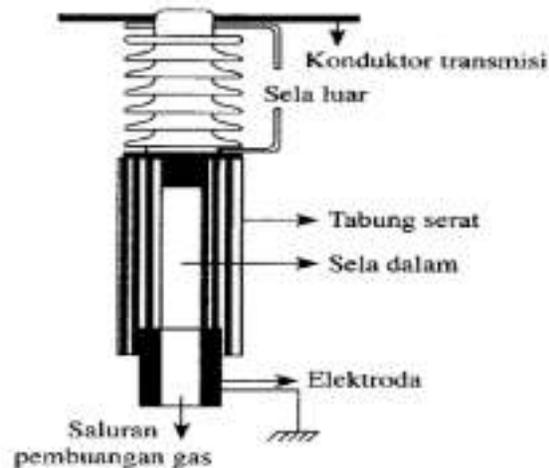


Gambar 2.11. Bagian-Bagian *Arrester*

3) Jenis-jenis *Arrester*

a) *Arrester* Ekspluksi

Arrester jenis ekspluksi digunakan pada sistem tenaga listrik yang bertegangan hingga 33 kV. Konstruksinya diperlihatkan pada gambar. *Arrester* ini mempunyai dua sela luar dan sela dalam ditempatkan di dalam tabung serat (fiber), elektro sela dalam yang dibumikan dibuat berbentuk pipa. Keberadaan dua pasang elektroda membuat suatu *arrester* mampu memikul tegangan yang lebih tinggi frekuensi daya yang menimbulkan korona dan arus bocor ke tanah. Tegangan tembus sela luar dibuat lebih rendah dari tegangan lompatan isolator pendukung sela luar. Demikian juga dengan tegangan tembus sela dalam dibuat rendah daripada tegangan lompatan api tabung serat.



Gambar 2.12. *Arrester Ekspluksi*

Bila pada terminal *arrester* tiba suatu tegangan impuls petir, maka sela dalam dan sela luar sama-sama terpercik, sehingga arus petir mengalir ke tanah. Arus petir menimbulkan busur api pada sela. Karena arus petir berlangsung dalam tempo mikrosekon, maka energi panas yang terjadi pada busur api relatif rendah. Setelah arus petir menjadi nol, mengalir arus susulan yang ditimbulkan tegangan frekuensi daya. Karena arus susulan berlangsung dalam tempo milisekon, maka energi panas yang terjadi pada busur api relatif besar. Panas pada busur api disisipkan ke tabung serat. Akibatnya, bahan organik pada permukaan dalam tabung serat menguap dan menghasilkan gas bertekanan tinggi. Kemudian gas tersebut terdorong keluar dari lubang pipa elektroda sela dalam yang dibumikan. Gas ini mendinginkan busur api pada sela dalam sehingga dapat menimbulkan deionisasi. Arus susulan merupakan arus sinusoidal, artinya dalam satu periode arus susulan dua kali bernilai nol. Ketika arus susulan bernilai nol, busur api mengecil dan pada saat itulah busur api dipadamkan oleh gas yang diproduksi oleh gas yang diproduksi oleh tabung serat. Jika busur api sudah padam, maka arus susulan tidak berlanjut lagi. Arus susulan paling lama mampu bertahan dua periode, tapi biasanya sudah padam dalam waktu setengah periode arus susulan.

Kemampuan gas memadamkan busur api akan bergantung pada besarnya energi panas busur api. Energi panas busur api bergantung pada besarnya arus susulan yang mengalir pada *arrester* sedangkan besar arus susulan bergantung pada tegangan sistem dan parameter impedansi sistem. Jika arus susulan besar, busur api yang ditimbulkan juga besar, sehingga gas yang diproduksi serat mampu lagi memadamkan busur api tersebut. Akibatnya, arus susulan berlanjut maka pemakaian *arrester* ini terbatas hanya pada suatu sistem kapasitas daya hubung singkat rendah, umumnya pada sistem yang bertegangan sampai 33 kV. *Arrester* ini dapat digunakan untuk melindungi transformator distribusi bertegangan 3-15 kV, tetapi belum memadai untuk melindungi transformator daya. *Arrester* ini juga dapat digunakan pada saluran transmisi untuk mengurangi besar tegangan impuls petir yang masuk ke gardu induk.

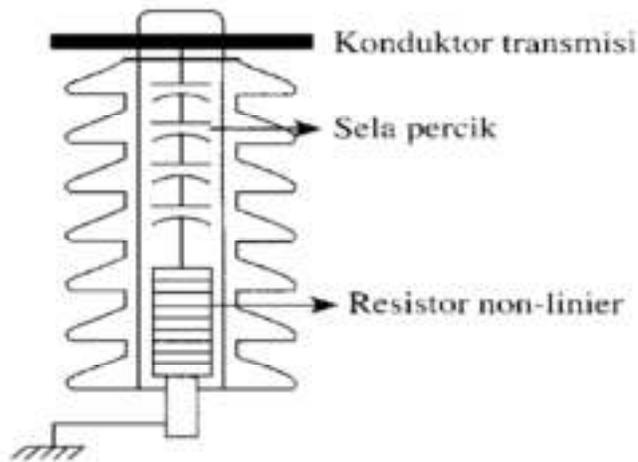
Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan *arrester*, kedua sela percik yang di luar maupun yang di dalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan penghantar dalam bentuk busur api. Jadi, *arrester* menjadi suatu konduktor dengan impedansi yang rendah dan menyalurkan petir/surja dan arus daya sistem sama-sama ke bumi. Panas yang timbul akibat mengalirnya arus petir menguapkan sedikit bahan dinding tabung serat, sehingga gas yang ditimbulkan menyembur dan memadamkan api pada waktu arus susulan melewati titik nolnya.

Arus susulan dalam *arrester* ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali, tetapi lamanya tidak melebihi dari 1 atau 2 gelombang dan biasanya gangguan. *Arrester* jenis eksplusi ini mempunyai karakteristik volt-waktu yang lebih baik dari sela batang dan memutuskan arus susulan. Akan tetapi tegangan impulsnya lebih tinggi daripada *arrester* jenis katup. Kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari arus hubung singkat dari sistem pada titik awalnya dimana *arrester* itu dipasang. Dengan demikian perlindungan dengan *arrester* jenis ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya kecuali untuk sistem distribusi. *Arrester*

jenis ini banyak digunakan pada saluran transmisi untuk membatasi surja yang memasuki gardu induk.

b) *Arrester* Katup

Alat pengaman *arrester* jenis ini terdiri dari sebuah celah api (*spark gap*) dihubungkan secara seri dengan tahanan nonlinear atau tahanan katup (*valve resistor*). Dimana ujung dari celah api dihubungkan dengan kawat fasa sedangkan ujung dari tahanan katup dihubungkan ke ground. Saat terjadi tegangan lebih maka pada celah api akan terjadi percikan api yang akan menyebabkan timbulnya bunga api (*arc*).



Gambar 2.13 : *Arrester* Katup

Percikan ini timbul terus menerus walaupun tegangan lebihnya tidak ada untuk menghentikan bunga api pada celah api tersebut. Nilai tahanan nonlinear akan memadamkan percikan bunga api tersebut, nilai tahanan nonlinear ini akan turun saat tegangan lebih besar. Tegangan lebih mengakibatkan penurunan secara drastis nilai tahanan katup, sehingga tegangan jatuhnya dibatasi walaupun arusnya besar.

Arrester Katup ini dibagi menjadi 4 jenis yaitu:

1) *Arrester* Katup Jenis Gardu

Arrester katup jenis gardu adalah yang paling mahal. Umumnya dipakai untuk melindungi alat-alat yang mahal pada rangkaian-rangkaian mulai dari 2400 volt sampai 287 kV.

2) *Arrester* Katup Jenis Saluran

Arrester jenis saluran ini lebih murah dari jenis gardu, *arrester* jenis saluran ini dipakai untuk melindungi transformator dan pemutus daya serta dipakai pada sistem tegangan 15 kV sampai 69 kV.

3) *Arrester* Katup Jenis Gardu Untuk Mesin-mesin

Arrester jenis gardu ini khusus untuk melindungi mesin-mesin berputar. Pemakaiannya untuk tegangan 2,4 kV sampai 15 kV.

4) *Arrester* Katup Jenis Distribusi untuk Mesin-mesin

Arrester katup jenis distribusi khusus untuk melindungi mesin- mesin berputar seperti di atas dan juga melindungi transformator dengan pendingin udara tanpa minyak. *Arrester* jenis ini dipakai pada peralatan dengan rentang tegangan 120 volt sampai 750 volt. Menentukan perkiraan besar tegangan pengenalan *arrester*.

5) Menentukan Arus Pelepasan Impuls dari *Arrester*

Dalam menentukan arus impuls dari *Arrester* sewaktu melepas arus surja petir dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$I \propto \frac{2u_d - U_a}{Z_s} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$I \propto$ = arus pelepasan *arrester*

U_d = Tegangan gelombang datang

Z_s = Impedansi surja saluran datang

U_a = Tegangan kerja/sisa

Besar tegangan gelombang datang diperoleh dari FOV (*Flashover Voltage*) dengan mengetahui rancangan isolator saluran.

a. Menentukan Tegangan Pelepasan *Arrester*

Tegangan Pelepasan (tegangan) bergantung pada arus pelepasan *arrester* (Ia) dan kecuraman arus (di/dt) yang masuk peralatan. Selain itu, tegangan kerja ini menentukan tingkat perlindungan *arrester* apabila tegangan kerja *arrester* berada TID peralatan yang dilindungi dengan faktor keamanan yang cukup perlindungan peralatan yang optimum dapat dicapai.

b. Faktor perlindungan dari arester

Faktor perlindungan *lighting arrester* adalah perlindungan antara selisih tegangan tingkat isolasi dasar (TID) peralatan yang dilindungi dengan tingkat perlindungan (TP) dari *arrester* terhadap tingkat perlindungan dari *arrester*. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$Fp = \frac{TID-TP}{TP} \times 100 \dots\dots\dots (2.5)$$

Tingkat perlindungan suatu *arrester* dengan memperhatikan kawat penghubung toleransi pabrik ditambahkan 10% sehingga:

$$TP \text{ (Tingkat perlindungan)} = Va \times 10\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- Fp = Faktor Perlindungan
- TID = Tingkat Isolasi Dasar
- TP = Tingkat Perlindungan

Faktor dari tingkat perlindungan dari arester adalah harga puncak tegangan yang terjadi pada terminal *arrester* saat kondisi kerja, yaitu pada saat menyalurkan arus surja ke tanah. Ada dua harga yang harus dipertimbangkan sebagai harga tingkat perlindungan oleh *arrester* umumnya diambil harga 10% lebih tinggi dari pelepasan *arrester*.

c) Pemilihan Tingkat Pengenal *Arrester*

1) Tegangan pengenalan *arrester* (rating *arrester*)

Tegangan pengenalan *arrester* adalah tegangan saat *arrester* dapat bekerja pada tegangan maksimum sistem tetapi mampu memutuskan arus susulan dari sistem secara efektif. *Arrester* umumnya tidak boleh bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah. Besarnya faktor perlindungan pada umumnya 20% dari TID peralatan untuk *lighting arrester* yang pasang dekat peralatan yang akan dilindungi.

Tegangan pengenalan *arrester* menjadi:

Tegangan sistem maksimum

V nominal + 10% (faktor toleransi)

$$V_{max} = V_{nominal} \times 1,1 \dots \dots \dots (2.7)$$

Tegangan pengenalan *arrester*

$$V_p = V_{max} \times 1,0 \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

V_{max} = Tegangan Maksimal

V_p = Tegangan Pengenal

Untuk menentukan tegangan maksimum yang mungkin terjadi pada gangguan fasa ke tanah perlu diketahui

2) Tegangan maksimum sistem

3) Koefisien Pembumihan

Didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan rms fasa ke tanah dalam keadaan gangguan pada tempat dimana *arrester* dipasang dengan tegangan rms fasa ke tanah tertinggi dari sistem dalam keadaan tanpa gangguan. Untuk sistem yang dibumikan koefisien pembumiannya 0,8 (*arrester* 80%) sistem yang tidak dibumikan langsung koefisien pembumiannya 1,0 (*arrester* 100%). Tegangan pengenalan dari suatu *arrester* merupakan tegangan rms ke tanah tertinggi dikalikan dengan koefisien dari pembumihan.

d) Isolasi Peralatan Listrik

a. Bahan dan jenis isolasi

Dalam sistem tenaga listrik, mengisolasi dimaksudkan sebagai memisahkan dan melindungi alat-alat yang bermuatan listrik untuk mencegah kebocoran sekeliling. Berdasarkan segi penggunaan dan bahan nonkonduktif harus memenuhi persyaratan dasar isolasi sehingga fungsi memisahkan dan melindungi alat-alat yang bermuatan listrik dari kebocoran arus dapat dipenuhi dengan tidak menimbulkan akibat yang dapat merugikan suatu sistem dalam pengoperasiannya.

Bahan pembuatan isolasi diantaranya:

- a) Bahan isolasi harus mempunyai kekuatan dielektrik dan konduktivitas pasang tinggi.
- b) Bahan isolasi tidak mudah bereaksi dengan bahan lain sehingga sifat isolasinya tetap dapat dipertahankan.
- c) Untuk bahan gas harus mempunyai temperatur pencairan yang rendah sehingga pada tekanan yang tinggi tidak mudah mencair. Selama masa ionisasi konduktivitas bahan tidak boleh berubah.
- d) Harga bahan isolasi haruslah murah.

Ditinjau dari bahan pemptannya, isolasi digolongkan menjadi 3 golongan yaitu:

- Isolasi bahan gas seperti: N₂, SF₆.
- Isolasi bahan cair seperti: minyak CB
- Isolasi bahan padat seperti: porselin, keramik.

b. Peristiwa Tembus pada Bahan Isolasi

Peristiwa tembus dapat diartikan pada peristiwa berubahnya susunan partikel atom bahan isolasi sedemikian rupa sehingga bahan nonkonduktor berubah sifat menjadi konduktor. Jadi dalam keadaan

tembus isolasi sudah tidak dapat berfungsi lagi untuk mengisolasi alat bermuatan listrik terhadap kebocoran arus..

Tembus pada isolasi disebabkan tingginya tegangan ini lebih besar dari kekuatan tegangan tembus dapat terjadi tepat pada tengah isolator yang disebut tembus langsung (*breakdown*). Melalui permukaan yang disebut *flashover* dan melalui bagian samping isolator yang disebut tembus samping.

Ada 3 gejala tembus pada bahan padat,yaitu:

a. *Intristik Breakdown*

Terjadi jika kuat medan E sedemikian tinggi sehingga isolasi melepaskan muatan.

b. *Thermal Breakdown*

Kenaikan temperatur menyebabkan terjadinya pemanasan berlebihan pada bahan isolasi bahan menurun.

c. Tembus erosi

Penggunaan isolasi yang terlalu lambat dapat mengakibatkan terjadinya perubahan kimawi pada isolasi daya tahan bahan menurun yang mana akan mempercepat terjadi tembus pada tegangan yang lebih rendah.

d. Karakteristik Isolasi Peralatan Listrik

Karakteristik isolasi suatu peralatan listrik dibentuk oleh bahan isolasi dan bentuk padat yang digunakan. Karakteristik isolasi yang padat ditentukan dari tegangan *breakdown* dan tegangan *flashover*. Dalam pembuatan suatu isolasi padat dikonstruksi sedemikian sehingga tegangan *breakdown* lebih besar tegangan yang masih dapat ditahan oleh isolasi sehingga tidak terjadi *breakdown* atau *flashover* dijelaskan oleh 3 krakteristik umum:

- Tegangan *flashover* kering pada frekuensi daya
Yaitu tegangan pada frekuensi jala-jala yang menimbulkan kegagalan pada isolasi.

- Tegangan *flashover* basah pada jaringan frekuensi daya.
Tegangan frekuensi jala-jala yang menimbulkan kegagalan pada isolasi tersebut disemprot oleh sumber air dengan persyaratan tertentu antara lain diberi tegangan 20 kV selama 1 menit.
- Karakteristik tegangan waktu pada gelombang impuls standar.

e. Tingkat Isolasi dasar (TID)

Tingkat isolasi dasar (TID) dikenal juga sebagai *Basic Impuls Insulation Level* (BIL) dari suatu peralatan. Untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi ada beberapa metode yang baik adalah menentukan level tertentu suatu isolasi. Level isolasi peralatan harus lebih tinggi daripada level isolasi ditentukan dengan pertimbangan dasar sebagai berikut:

- Memilih level isolasi yang optimal.
- Jaminan bahwa *breakdown* dan kekuatan *flashover* seluruh isolasi peralatan lebih besar atau sama dengan level yang dipilih.
- Penggunaan alat proteksi yang cukup baik dan ekonomis.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian “Pemilihan Jenis *Arrester* yang Digunakan untuk Mengamankan Transformator Distribusi 20 kV pada PT PLN (Persero)” penulis menggunakan jenis penelitian kuantitatif dan kualitatif. Kuantitatif adalah melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran dan diselesaikan dalam bentuk matematis sedangkan jenis penelitian kualitatif adalah melakukan analisis penelitian dan pemilihan berdasarkan data pengukuran kuantitatif.

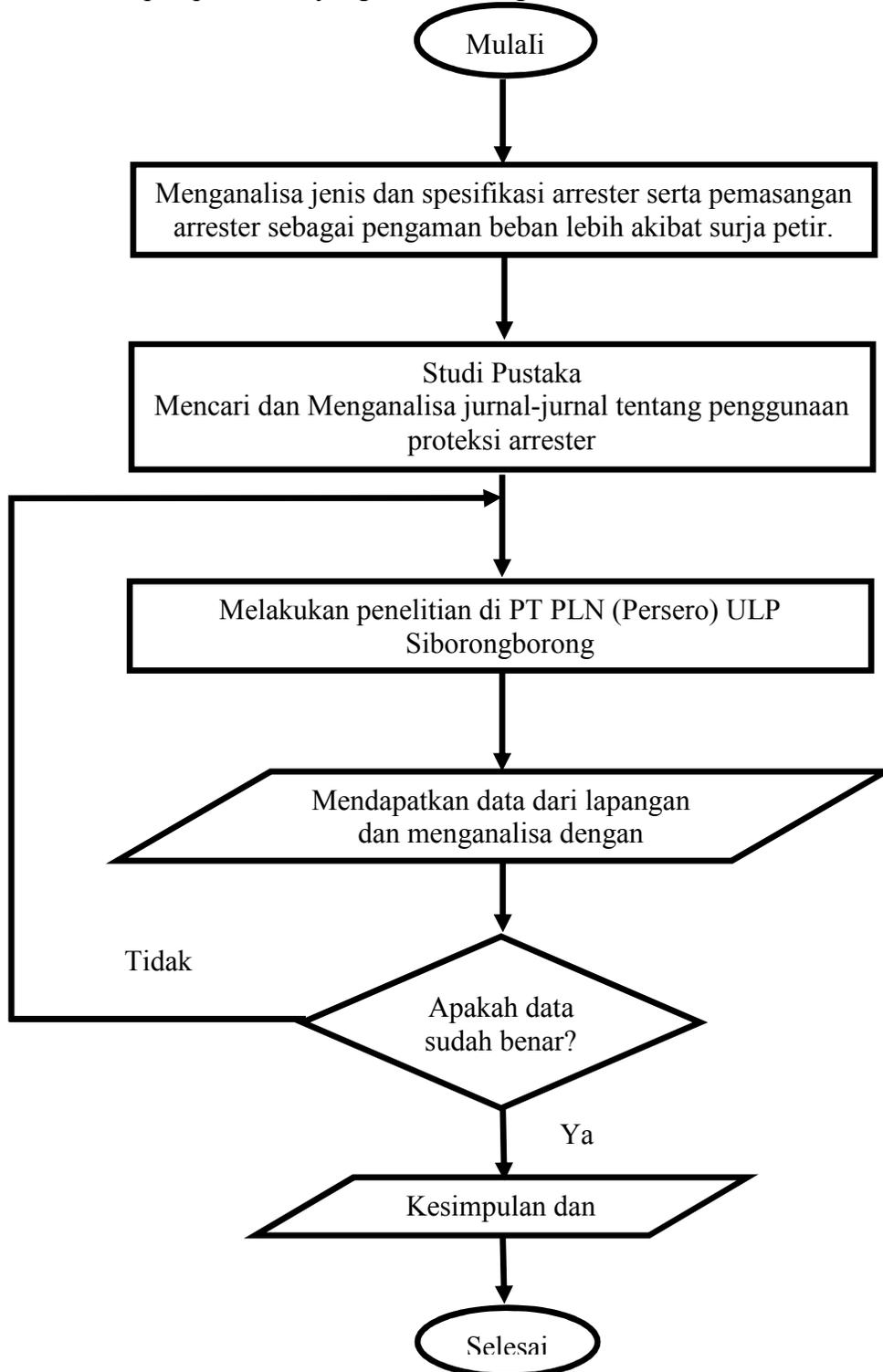
Jenis penelitian yang digunakan penulis yaitu: jenis penelitian kuantitatif yang melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran dan diselesaikan dalam bentuk matematis.

Waktu Dan Tempat Penelitian

- Waktu :April 2022 s/d Mei 2022
- Tempat: PT PLN (Persero) ULP Siborongborong

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang adalah sebagai berikut:



Gambar 2.14 flowchart Tahapan penelitian

Studi Literatur

Studi literatur adalah pengumpulan referensi dari buku-buku, penelitian sebelumnya dan jurnal-jurnal dari internet yang berhubungan atau yang dapat mendukung teori penyelesaian penelitian tugas akhir “Pemilihan Jenis *Arrester* yang Digunakan untuk Mengamankan Transformator Distribusi 20 kV pada PT PLN (Persero) ULP Siborongborong”

Pengumpulan Data

Pengumpulan data penelitian ini dilakukan secara langsung di tempat penelitian maupun pengambilan data di PT PLN (Persero) ULP Siborongborong dengan rentan waktu penelitian dimulai dari tanggal 21 April 2022. Ada beberapa teknik yang digunakan dalam pengumpulan data yaitu:

1) Metode Pustaka

Metode pustaka dilakukan dengan mencari literatur buku acuan dari perpustakaan atau sumber buku yang dapat dijadikan buku panduan yang relevan sebagai referensi dalam penulisan tugas akhir ini.

2) Metode Lapangan

Metode lapangan dilakukan dengan mengambil data dari sebelumnya dengan data pada sistem *arrester* 20 kV distribusi di ULP Siborongborong.

3) Metode Analisa

Metode analisa dilakukan dengan cara mengolah dan menganalisa hasil data yang telah diberikan untuk ditindaklanjuti guna mengantisipasi kegagalan *arrester* pada trafo distribusi pada PT PLN (Persero) ULP Siborongborong.

Pengolahan Data

Metode yang digunakan dalam analisis data pada penelitian ini adalah metode koordinasi isolasi, dimana data-data yang diperoleh kemudian dihitung TID transformator, tegangan pelepasan *arrester*, jarak penempatan *arrester* serta jarak penempatan *arrester* terhadap *arrester*.

1) Penentuan tingkat isolasi dasar

Perencanaan suatu sistem perlindungan transformator distribusi dalam menentukan posisi peralatan pelindung dari kemungkinan bahaya surja petir yang paling awal dilakukan adalah menentukan tingkat kekuatan isolasi impuls dasar. Transformator yang dilindungi terletak pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) dengan data-data yang bervariasi.

2) Menentukan Perkiraan Besar Tegangan

Menentukan perkiraan besarnya tegangan pengenal *arrester* maka harus diketahui lebih dahulu tegangan tertinggi dari jaringan dan koefisien pentanahan dengan diketahui kedua hal tersebut, maka perkiraan besarnya tegangan pengenal dapat dihitung secara kasar. Tegangan pengenal tidak boleh lebih rendah dari perkiraan kedua harga di atas. Dalam perhitungan tegangan secara tinggi ditambah 10% kemudian untuk pentanahan tidak efektif dan pentanahan terionisasi dalam praktek biasanya diambil koefisien 100%.

3) Menentukan Arus Pelepasan Impuls dari *Arrester*

Dalam menentukan arus pelepasan impuls dari *arrester* sewaktu melepas arus surja petir dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$I\alpha = \frac{2ud - u\alpha}{Zs} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana:

- $I\alpha$: arus pelepasan *arrester*
- Zs : Impedansi surja saluran datang
- Ua : Tegangan kerja/sisa

Besar tegangan gelombang datang diperoleh dari FOV (*Flashover Voltage*) dengan mengetahui rancangan isolator saluran.

1) Menentukan Tegangan Pelepasan *Arrester*

Tegangan pelepasan (Tegangan Kerja) bergantung pada arus pelepasan *arrester* (Ia) dan kecuraman arus (di/dt) yang masuk peralatan. Tegangan pelepasan ini adalah karakteristik yang paling penting dari *arrester* untuk perlindungan apabila tegangan kerja *arrester* berada TID peralatan yang

dilindungi dengan faktor keamanan yang cukup perlindungan peralatan optimum dapat dicapai.

2) Faktor perlindungan dari *arrester*

Faktor perlindungan dari lightning *arrester* adalah perbandingan antara selisih tegangan tingkat isolasi dasar peralatan (TID) Yang dilindungi dengan tingkat perlindungan (TP) dari *arrester* terhadap tingkat perlindungan dari *arrester*. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$Fp = \frac{TID-TP}{TP} \times 100 \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana:

Fp = Faktor perlindungan

TID = Tingkat Isolasi Dasar

TP = Tingkat Perlindungan

Faktor tingkat perlindungan dari *arrester* adalah harga puncak tegangan yang terjadi pada terminal *arrester* pada saat kondisi kerja yaitu pada saat menyalurkan arus surja ke tanah. Pada dasarnya dua harga yang harus dipertimbangkan sebagai harga tingkat perlindungan impuls dan tegangan *arrester*. Dalam menentukan tingkat perlindungan oleh *arrester* umumnya diambil harga 10% lebih tinggi dari tegangan pelepasan *arrester*.

Besarnya faktor perlindungan pada umumnya 20% dari TID peralatan untuk lightning *arrester* yang dipasang dekat dengan peralatan yang harus dilindungi.

6) Jarak Lindung *Lighting Arrester*

Arrester ditempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi. Tetapi untuk memperoleh kawasan perlindungan yang lebih baik, maka ada kalanya *arrester* ditempatkan dengan jarak tertentu dari peralatan yang dilindungi. Jarak *arrester* dengan alat yang dilindungi memiliki pengaruh terhadap besarnya tegangan yang tiba pada peralatan jika jarak *arrester* terlalu jauh, maka tegangan yang tiba pada peralatan dapat melebihi tegangan yang dapat dipikulnya.

Dalam prakteknya tegangan mungkin lebih dari perkiraan karena terjadinya kegagalan isolasi akibat adanya induksi penghantar yang menghubungkan *arrester* dengan transformator dan adanya dan adanya kapasitansi dari transformator itu sendiri. Disamping itu, saat *arrester* bekerja mengalirkan arus ke bumi, maka terjadi tegangan jatuh pada tahanan penghantar penghubung dengan jaringan dan penghubung *arrester* dengan elektroda pembumian. Jatuh tegangan ini dipengaruhi oleh kenaikan arus surja dan menaikkan tegangan terminal *arrester* dengan bumi. Adanya perbedaan potensial pembumian transformator dengan pembumian *arrester* juga menambah tegangan transformator. Oleh karena itu, lebih baik membuat penghantar penghubung sependek mungkin dan menghubungkan antara elektroda pembumian *arrester* dengan elektroda pembumian transformator. Tahanan pembumian diusahakan serendah mungkin akan lebih baik dibuat satu ohm.

Apabila diketahui tegangan maksimum yang dapat dipikul transformator (BIL) dalam kV, maka jarak maksimum *arrester* dari peralatan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$L = \frac{U_t - U_a}{\frac{2du}{dt}} \times v \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana:

- U_a = Tegangan kerja *arrester* (KV)
- U_t = Tegangan gelombang datang pada jepitan transformator
- Du/dt = Kecuraman gelombang datang (kV μs)
- L = Jarak antara *arrester* dan transformator (m)
- v = kecepatan merambat gelombang (m/μs)

Faktor lain yang dapat menentukan besarnya gelombang datang pada peralatan adalah banyaknya percabangan jaringan, maka gelombang surja tersebut akan terbagi ke masing masing cabang, sehingga besar tegangan yang dapat di terima pada masing-masing adalah:

$$U_t = U_a \left(\frac{2}{n}\right) \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana (n) merupakan jumlah cabang dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa semakin banyak percabangan jaringan maka tegangan gelombang datang ke peralatan semakin kecil sehingga kerja *arrester* melakukan gelombang tidak terlalu besar.

7) Pemilihan *Ligthing Arrester*

Untuk penyederhanaan dalam pemilihan *ligthing arrester* ini ditentukan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Penentuan besarnya tegangan lebih satu fasa ke tanah atau tegangan lebih akibat kerja sistem yang tidak normal pada lokasi dimana *arrester* dipasang. Tegangan lebih ini akibat gangguan satu fasa ke tanah dapat menyebabkan kenaikan tegangan fasa sehat lainnya. Besar tegangan ini tergantung dari karakteristik sistem dan jenis pentanahan sistem pada waktu gangguan terjadi.
- b. Perkiraan besarnya tegangan pengenal *arrester* pada frekuensi jala-jala. Jika tegangan tinggi sistem dan koefisien pentanahan sudah diketahui maka tegangan pengenal dari *aresster* sudah dapat dihitung secara kasar>tegangan pengenal tidak boleh lebih dari perkalian kedua harga di atas misal: tegangan sistem 20 kV ditanahkan efektif maka tegangan pengenal $(110\% \times 20 \text{ kV}) \times 0,8 = 17.6 \text{ kV}$. Tegangan pengenal standar untuk sistem 20 kV adalah 17,6 kV.
- c. Tegangan Pelepasan (Tegangan Kerja/Sisa *Arrester*) yaitu karakteristik yang paling penting dari *arrester* untuk perlindungan di peralatan. Tegangan kerja penangkap petir berada pada bawah peralatan yang dilindungi maka dengan faktor keamanan yang cukup perlindungan peralatan yang optimum dapat diperoleh. Tegangan kerja tergantung pada arus pelepasan *arrester* dan kecuraman gelombang datang. Tegangan kerja *arrester* akan naik dengan naiknya arus pelepasan tetapi kenaikan ini sangat dibatasi oleh tahanan tak linear dari *arrester*.

- d. Faktor perlindungan adalah besar perbedaan tegangan dari peralatan yang dilindungi dengan tegangan kerja dari *arrester*. Pada waktu menentukan tingkat perlindungan peralatan yang dilindungi oleh penangkap petir umumnya diambil harga 10% di atas tegangan kerja *arrester* tujuan untuk mengatasi kenaikan tegangan pada kawat penghubung dan toleransi pabrik. Besarnya faktor perlindungan ini umumnya lebih besar atau sama dengan 20% dari THD peralatan *arrester* yang dipasang dekat dengan peralatan yang dilindungi.

Contoh:

Tegangan kerja *arrester* untuk sistem 220 kV adalah 649 kV perlindungan ini ditambah 10 % untuk kawat penghubung, toleransi pabrik dan lain-lain sehingga tingkat perlindungan *arrester* menjadi 713 kV, pilih peralatan sebesar 950 kV. Faktor perlindungan $= (950 - 713) \text{ kV}$. Faktor perlindungan ini lebih besar dari 20% dari THD (Total Harmonik Distortion) peralatan, sehingga *arrester* ini sudah memberi faktor perlindungan yang baik.

8) Kelemahan dan Kerugian Lighthing *Arrester*

- a. Terbatas pada sistem yang mempunyai besar arus sistem kurang dari $\frac{1}{3}$ dari besarnya. Karena arus yang sangat besar menyebabkan fiber habis terbakar dan arus yang terlalu kecil tidak mampu menghasilkan cukup gas pada tabung untuk mematikan busur api.
- b. Karena setiap *arrester* bekerja, permukaan tabung akan rusak karena terbakar maka *arrester* ini mempunyai batas pada jumlah operasinya dimana *arrester* ini masih dapat berfungsi dengan baik.
- c. Walaupun termasuk pemotong terpa yang lebih murah karena kemampuannya memotong arus ikutan namun sama sekali tidak cocok untuk perlindungan peralatan-peralatan gardu yang mahal karena V-T (tegangan-waktu) karakteristiknya yang buruk.

