

TUGAS AKHIR

STUDI EVALUASI PENGARUH TEGANGAN IMPULS PETIR PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV



Disusun Oleh :
UMAR FIRDAUS
03.52.027



**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO D-III
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
Maret 2007**

REPUBLIC OF THE PHILIPPINES
DEPARTMENT OF EDUCATION
BUREAU OF TECHNICAL EDUCATION
MANILA

OFFICE OF THE
DIRECTOR
TECHNICAL EDUCATION

OFFICE OF THE DIRECTOR
TECHNICAL EDUCATION

TECHNICAL EDUCATION

LEMBAR PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR
STUDI EVALUASI PENGARUH TEGANGAN IMPULS PETIR
PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV



Disusun Oleh :
Umar Firdaus
03.52.027

Mengetahui

Ketua Jurusan Elektro DIII



(H. Choirul Saleh, MT)

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing

(Ir. Teguh Herbasuki, MT)

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO D-III
FALKUTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2007

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa dimana atas berkat dan rahmatnya yang selalu dilimpahkan kepada kita, sehingga kita tidak kekurangan apapun dan tidak lepas dari kehendak dan kemudahannya maka penulis berhasil menyusun dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Dimana tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Industri jurusan Energi Listrik DIII ITN Malang.

Kami menyadari bahwa terselesainya Laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak yang membantu terselesainya laporan ini. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bpk. Prof , DR , Abraham Lomi ,MSEE ,Selaku Rektor ITN Malang.
2. Bpk. Ir.Mochtar Ansori, MSME selaku Dekan FTI
3. Bpk. H. Choirul Saleh, Ir, MT Selaku Kajor elektro DIII
4. Bpk. Bambang Prio Hartono. ST, MT Selaku Wakajor elektro DIII
5. Bpk. M. Abdul Hamid, Ir, MT Selaku Dosen wali energi listrik DIII
6. Bpk. Teguh Herbasuki, Ir, MT Selaku Dosen Pembimbing Laporan
7. Kedua orang tuaku dan Saudara – saudaraku yang telah banyak memberikan dukungan untuk menyelesaikan Study ini.
8. Teman – teman seperjuangan yang telah banyak membantu

Dengan terselesainya laporan ini besar harapan penulis agar apa yang tertulis dalam laporan ini bisa mamberikan sumbangan dan menjadi bahan masukan serta memberikan manfaat bagi semua pihak.

Malang, Februari 2007

Penulis

ABSTRAK

“Study Evaluasi Pengaruh Tegangan Impuls Petir Pada Transformator Distribusi 20KV” Umar Firdaus, Nim : 03.52.027, Teknik Energi Listrik DIII, Institut Teknologi Nasional Malang, Pembimbing Bpk Ir. Teguh Herbasuki, MT.

Saat ini akan kebutuhan tenaga listrik semakin berkembang, dengan berkembang yang sangat pesat ini maka harus di sesuaikan dengan pelayanan yang baik terhadap pelanggan PLN dan meningkatkan kontinuitas pelayanan akan tenaga listrik tetap terjaga dengan baik.

Untuk mengatasi masalah tersebut PLN harus selalu berusaha untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan gangguan – gangguan yang ada. Dan salah satunya adalah bagaimana menjaga jaringan – jaringan distribusi dan transformator akibat adanya surja petir. Dari itu perlu adanya proteksi dan mengevaluasi gangguan yang ada pada peralatan yang rusak akibat surja petir agar dapat memanipulasi gangguan – gangguan yang lain yang ada akibat adanya surja petir.

Dari studi evaluasi ini didapat bahwa surja petir sangat berbahaya bagi peralatan listrik terutama pada transformator, dari itu perlu adanya proteksi pengaman peralatan listrik. Dimana peralatan proteksi itu adalah arrester dan kawat tanah

Kata kunci : Surja petir, Transformator, Arrester

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR GRAFIK.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Pembahasan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sistem Jaringan Distribusi.....	6
2.2 Macam – macam Sistem Jaringan Distribusi di Area Malang.....	6
2.3 Tegangan Impuls.....	12
2.4 Gelombang berjalan.....	16
2.5 Transformator Distribusi 20 KV.....	17
2.5.1 Bagian – bagian Utama Transformator distribusi 20 KV.....	17
2.5.2 Hubungan Transformator Distribusi 20 KV.....	19
2.6 Peralatan Pengaman Transformator Ditribusi 20 KV.....	20
2.6.1 Fuse Cut Out.....	21
2.6.2 Pemutus Tenaga atau Circuit Breaker (CB).....	22
2.6.3 Load Break Switch.....	23
2.6.4 Penutup Balik Otomatis dan Sectionalizer.....	23

2.6.5	Perlindungan Terhadap Gelombang Berjalan Tegangan Impuls.....	23
-------	---	----

BAB III PENGARUH TEGANGAN IMPULS PETIR PADA TRANSFOMATOR

	DISTRIBUSI 20 KV	31
3.1	Transformator Distribusi 20 KV	32
3.1.1	Name Plate Trafo	32
3.1.2	Kondisi Lilitan Transformator	36
3.2	Gangguan Pada Transformator Distribusi 20 KV.....	37
3.3	Peralatan Pengaman Transformator Distribusi Dari Tegangan Impuls	38

BAB IV STUDI EVALUSI PENGARUH TEGANGAN IMPULS PETIR

	PADA TRANSFOMATOR 20 KV	40
4.1	Analisa Pengaruh Tegangan Impuls Petir Pada Transformator Distribusi 20 KV.....	40
4.1.1	Pengaruh Tegangan impuls petir Terhadap lilitan Transformator	42
4.1.2	Pengaruh Tegangan impuls petir Terhadap Efisiensi Transformator ...	44
4.1.3	Pengaruh Tegangan impuls petir Terhadap Ketahanan Isolasi.....	46
4.1.4	Pengaruh Tegangan impuls petir Terhadap Tegangan Keluaran	48
4.1.5	Pengaruh Tegangan impuls petir Pada Umur Transformator	50
4.2	Pemilihan Peralatan Pengaman Transformator Distribusi 20 KV	53
4.2.1	Transformator Distribusi 20 KV	53
4.2.2	Arrester	54
4.2.3	Kawat Tanah	60

BAB V PENUTUP..... **62**

5.1	Kesimpulan	62
5.2	Saran – Saran	63

DAFTAR PUSTAKA.....

LAMPIRAN.....

DAFTAR TABEL

3.1	Jumlah Gangguan Transformator Distribusi di Area Malang Periode Oktober 2005 – September 2006	38
4.1	Contoh Perhitungan Nilai Tahanan Isolasi Transformator minimum Pada Suhu Panas 20°C	47
4.2	Susut umur Sebagai fungsi Dari Suhu Panas (CT)	52
4.3	Batas Aman Arrester	60

DAFTAR GAMBAR

2.1	Sistem Jaringan Radial	7
2.2	Sistem Jaringan Loop	8
2.3	Sistem Jaringan Spindel	9
2.4	Sistem Jaringan Interkoneksi	11
2.5	Tegangan Impuls Persegi	14
2.6	Tegangan Impuls Beji	14
2.7	Tegangan Impuls Eksponensial	15
2.8	Lengkung Standart Impuls Kilat	15
2.9	Arrester Jenis Ekspulsi	27
2.10	Arrester Jenis Katup	28
2.11	Karakteristik Arrester Tipe Katup	29
3.1	Hubungan Transformator Dyn5	36
4.1	Kronologis Terjadinya Tembus Tegangan	43

DAFTAR GRAFIK

4.1 Grafik Gangguan Transformator Distribusi di Area Malang Periode Oktober 2005 – September 2006	41
4.2 Fungsi Tahanan Isolasi Transformator	47
4.3 Gelombang Tegangan Masukan Transformator	49
4.4 Gelombang Tegangan Lebih Saat Terjadi Petir.....	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan akan tenaga listrik semakin berkembang. Perkembangan tersebut tentunya harus diimbangi dengan meningkatnya pelayanan yang harus diberikan pada masyarakat, sehingga kontinuitas pelayanan akan tenaga listrik tetap terjaga.

Untuk mengatasi masalah tersebut pihak PLN selalu berusaha untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan sama sekali gangguan – gangguan yang mungkin terjadi baik berupa gangguan dari dalam sistem maupun luar sistem yang bisa menghambat kontinuitas pelayanan tenaga listrik kepada masyarakat pelanggan.

Salah satu gangguan alam yang besar pengaruhnya terhadap kontinuitas pelayanan adalah gangguan sambaran petir. Petir telah banyak membuat kerugian manusia dan menyebabkan kerusakan pada peralatan sejak dahulu. Berdasarkan teori perlindungan penangkal petir, maka dapat ditentukan panjang jaringan yang berhasil dilindungi oleh penangkal petir, sehingga kemungkinan petir menyambar jaringan akan berkurang.

Sambaran petir menyebabkan kenaikan tegangan pada hantaran yang disebut surja petir atau tegangan impuls. Sambaran petir terdiri dari dua macam yaitu sambaran langsung maupun tidak langsung. Sambaran langsung adalah bila petir menyambar langsung pada kawat fasa (untuk saluran tanpa kawat tanah). Sambaran tidak langsung berarti sambaran kilat yang

menyambar tanah dekat saluran transmisi atau yang disebut sambaran induksi. Tetapi untuk saluran distribusi tegangan menengah, justru sambaran inilah yang mengakibatkan banyak gangguan. Bila hal ini terlampau sering akan berpengaruh pada belitan transformator yang bisa mengakibatkan perubahan kerja dari transformator itu sendiri. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah ini, maka harus dipasang pengaman untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan akibat adanya bahaya petir.

Upaya proteksi manusia dan peralatan telah dilakukan, namun dengan semakin banyak dan semakin canggihnya peralatan listrik dan elektronik yang digunakan menyebabkan semakin rumit sistem yang diperlukan. Sistem proteksi yang dilakukan seharusnya merupakan standart baku yang harus selalu diterapkan pada setiap instantasi kelistrikan, sedangkan proteksi terhadap petir eksternal maupun internal diterapkan berdasarkan kebutuhan tingkat perlindungan yang diperlukan. Kemajuan teknologi arrester tegangan dan arrester arus telah memungkinkan diterapkannya konsepsi penyamaan potensial dan dengan penerapan sistem proteksi petir internal yang benar. Meskipun telah dipasang pengaman peralatan terhadap petir khususnya pada transformator distribusi, namun masih ada pengaruh – pengaruh yang tidak dapat ditanggulangi yang dapat menyebabkan dampak negatif pada transformator, dan penaruh – pengaruh inilah yang kemudian melatarbelakangi penelitian yang berjudul “ Study Evaluasi Pengaruh Tegangan Impuls Petir Pada Transformator Distribusi 20 kV “ ini.

1.2 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk

1. Mengetahui hubungan antara frekwensi tegangan impuls yang disebabkan sambaran petir dengan jumlah kerusakan transformator distribusi 20 kV di Area Malang.
2. Mengetahui pengaruh tegangan impuls yang disebabkan sambaran petir pada transformator distribusi 20 KV di Area Malang khususnya pengaruh terhadap belitan tranformator, ketahanan isolasi, tegangan keluaran, dan umur transformator.
3. Mengatasi pengaruh tegangan impuls yang disebabkan sambaran petir pada transformator distribusi 20 KV.

1.3 Rumusan masalah

Mengingat seberapa besar pengaruh yang disebabkan oleh gangguan tegangan impuls terhadap trasformator 20 kV.

Maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah perubahan apa saja yang terjadi pada transformator dan bagaimana keadaan transformator setelah terjadi tegangan impuls akibat sambaran petir.

1.4 Batasan Masalah

1. Pengaruh yang terjadi pada transformator distribusi yang dibahas di sini hanyalah sebatas pengaruh yang disebabkan oleh gangguan tegangan impuls karena sambaran petir.
2. SUTM yang dibahas di sini adalah sistem distribusi 20 KV empat kawat, 3 phasa dan satu netral.

1.5 Sistematika Pembahasan

Dalam tinjauan ini secara garis besar dibagi menjadi lima bab :

Bab I : Pendahuluan

Membuat latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistematika

Pembahasan.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Membahas sistem jaringan distribusi, tegangan impuls, macam-macam tegangan impuls, gelombang berjalan, transformator distribusi 20 kV, dan bagian - bagian utama transformator distribusi, hubungan transformator distribusi, dan peralatan pengaman transformator distribusi

Bab III : Pengaruh Tegangan Impuls Petir Pada Transformator Distribusi 20 KV

Berisi data – data mengenai :

- Transformator distribusi 20 kV.

- Name plate transformator distribusi dan pengertiannya

- **Kondisi lilitan transformator distribusi.**
- **Gangguan transformator distribusi 20 kV.**
- **Peralatan pengaman transformator distribusi 20 kV.**
- **Frekuensi terjadinya petir.**

Bab IV : Analisa mengenai

- **Pengaruh tegangan impuls pada transformator distribusi 20 kV.**
- **Pengaruh tegangan impuls terhadap lilitan transformator.**
- **Pengaruh tegangan impuls terhadap efisiensi.**
- **Pengaruh tegangan impuls terhadap ketahanan isolasi.**
- **Pengaruh tegangan impuls terhadap tegangan keluaran transformator Distribusi 20 KV.**
- **Pemilihan peralatan pengaman transformator distribusi 20 kV.**

Bab V : Kesimpulan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Dalam pelayanan energi listrik , keandalan dalam sistem penyaluran adalah hal yang paling utama. Oleh sebab itu diperlukan pemilihan jenis jaringan yang tepat. Dalam pemilihan ini harus mempertimbangkan beberapa faktor antara lain:

1. Faktor Beban Listrik
2. Faktor tempat dan kelayakan
3. Faktor ekonomis

Untuk pemilihan sistem jaringan distribusi harus memenuhi persyaratan, antara lain :

1. Keandalan yang tinggi
2. Kontinuitas pelayanan yang baik
3. Fluktuasi frekuensi dan tegangan yang relatif rendah
4. Biaya infestasi relatif rendah

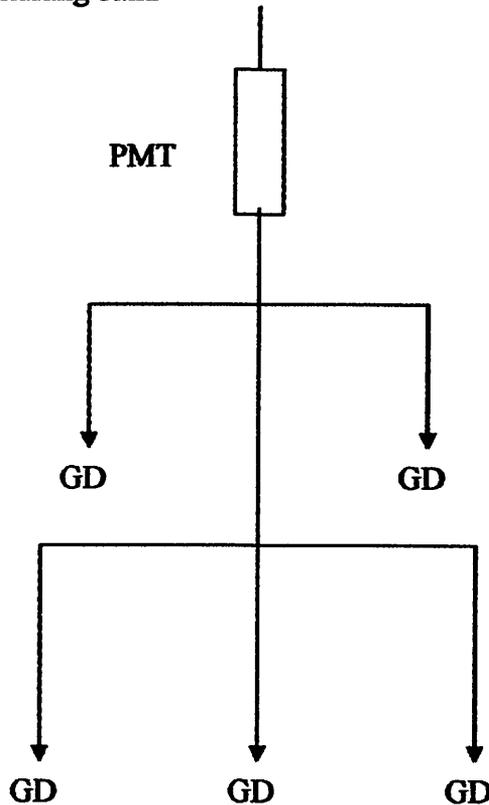
2.2 Macam – macam Sistem Jaringan Distribusi di Area Malang

Dalam hal ini PLN menggunakan jaringan Loop Tertutup untuk daerah perkotaan dan daerah industri, misalkan pada penyulang – penyulang Gardu Induk. Sedangkan untuk ranting – ranting masih menggunakan sistem radial, mengingat kerapatan beban masih rendah.

a. Sistem radial

Sistem radial merupakan struktur dasar dari jaringan distribusi dan bentuknya paling sederhana. Sistem ini hanya memiliki satu sumber pengisian, sehingga sistem sangat bergantung pada satu – satunya sumber tersebut. Jika terjadi

gangguan di jaringan yang mengakibatkan PMT trip., maka gardu – gardu distribusi yang mendapat suply dari penyulang yang terganggu akan kehilangan tenaga listrik, sehingga terjadi pemadaman total. Oleh karena itu keandalan sistem ini kurang baik.



Gambar 2.1 Sistem Jaringan Radial

Sumber : Udiklat Pandaan, 2003 : 4

Keterangan :

PMT : Pemutus

GH : Gardu Hubung

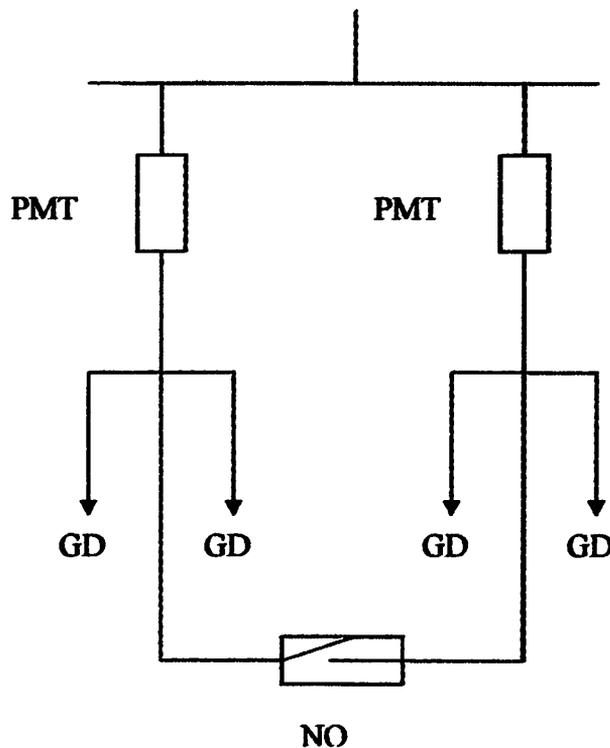
GD : Gardu Distribusi

JTM : Jaringan Tegangan Menengah

Dasar pertimbangan pemakaian jaringan sistem radial ini karena bentuk yang sederhana memungkinkan investasinya murah dan sistem proteksinya lebih sederhana.

b. Sistem Jaringan Loop

Jaringan ini merupakan perkembangan dari sistem radial. Kedua ujung utama dirangkaikan melalui saklar dalam bentuk NO. Jaringan ini mempunyai dua penyalur dari dua sistem. Hal ini sangat sesuai untuk diterapkan di daerah dengan kerapatan beban yang cukup besar.



Gambar 2.2 Sistem Jaringan Loop

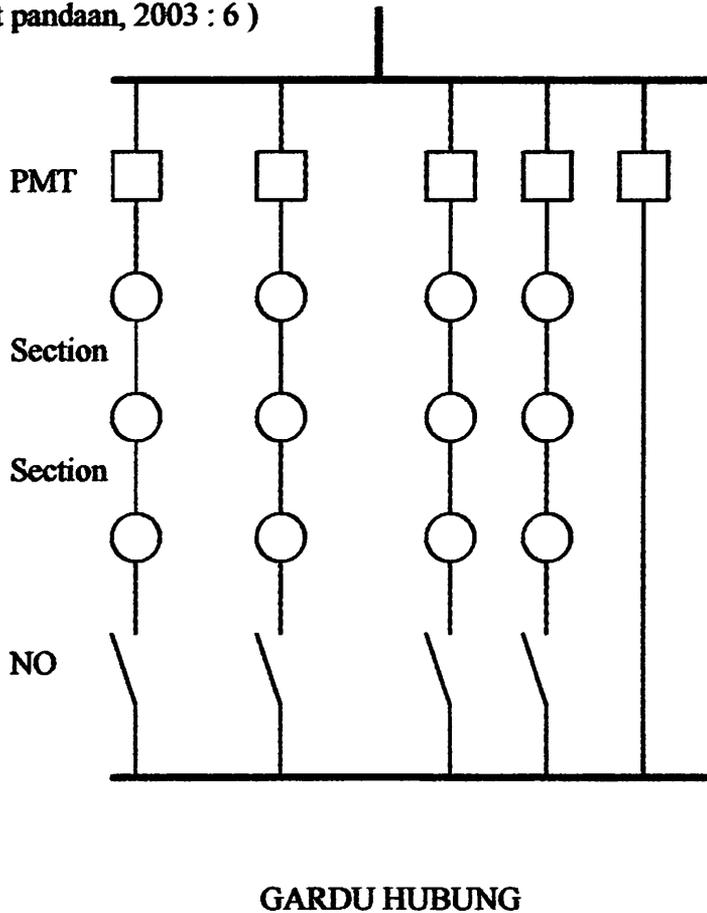
Sumber : Udiklat Pandaan 2003 : 5

Dengan sistem loop ini dapat dengan mudah memanipulasi beban pada feeder lain bila terjadi gangguan, sehingga pemadaman total bisa dihindari.

c. Struktur Jaringan Spindel

Pada struktur jaringan spindel, jumlah feeder primer bertemu di satu titik gardu hubung sistem ini ditandai dengan ciri keluarnya sejumlah kabel dari GI melalui gardu – gardu induk distribusi yang muncul di satu titik hubung yang disebut Gardu Hubung. Satu spindel dengan alasan ekonomis, dibagi maksimum dengan enam buah kabel kerja dan satu kabel cadangan (Express Feeder). Satu spindel dapat melayani beban dengan luas wilayah antara 10 – 20 Km, dengan jarak feeder antar GI dan GH sekitar 8 Km.

(Udiklat pandaan, 2003 : 6)



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Spindel

Sumber : UdiklatPandaan,2003 : 6

Keterangan :

SSO : Saklar Seksi Otomatis (Sectionalizer)

PMT : Pemutus

Dalam kondisi normal, sistem spindel memiliki struktur radial. Bila terjadi gangguan penerimaan pada salah satu seksi disalah satu feedernya, operasi pemulihan dilakukan setelah gangguan dilokalisir. Setelah dilokalisir maka feeder yang bebas dari gangguan dapat di suply lagi dengan menutup Pemutus Beban (CB) dan LBS di gardu hubung. Keadaan feeder exprees dalam kondisi normal selalu dalam keadaan siap, sehingga apabila terjadi gangguan dapat secepatnya dimanipulasi. Dengan adanya feeder exprees menjadikan sistem spindel mempunyai keandalan yang tinggi.

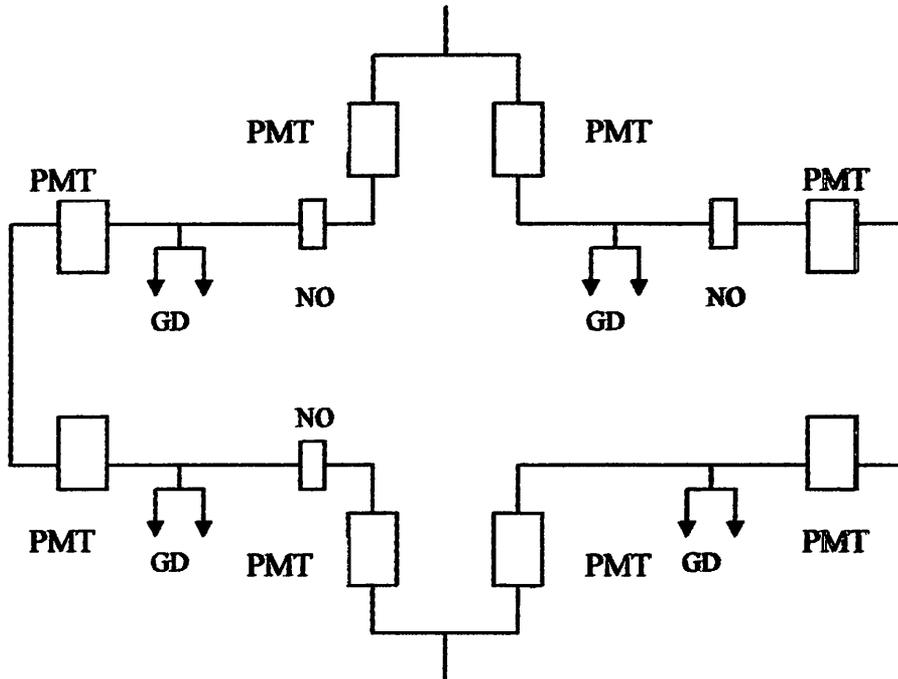
Keuntungan dari sistem spindel adalah :

- Kontinuitas sangat tinggi**
- Rugi tegangan kecil**
- Baik untuk perluasan jaringan**
- Dapat melayani daerah dengan kerapatan beban yang tinggi, sedangkan satu – satunya kerugian dalam sistem ini adalah biaya yang tinggi**

d. Struktur Jaringan Interkoneksi (Mess)

Sistem interkoneksi identik dengan sistem ring atau cincin, namun pada sistem cincin hanya terdiri dari satu sumber GI sedangkan pada sistem interkoneksi ini terdapat lebih dari satu GI. Dengan struktur yang demikian, menjadi sistem interkoneksi yang handal. Perbedaan lain jika sistem spindel

melayani beban dengan kerapatan tinggi yang luas, maka sistem interkoneksi lebih sesuai dengan daerah kerapatan yang terpusat.



Gambar 2.4 Struktur Jaringan Interkoneksi

Sumber : Udiklat Pandaan , 2003 : 7

Keterangan :

PMT : Pemutus

GD : Gardu Distribusi

Ciri – ciri jaringan ini adalah :

- Biaya infestasi mahal
- Kontinuitas pelayanan paling baik
- Sangat fleksibel terhadap pertumbuhan beban dan jaringan
- Keandalan yang baik

2.3 Tegangan Impuls

Tegangan Impuls adalah lonjakan tegangan melebihi tegangan normal yang terjadi dalam selang waktu yang cukup singkat. Dalam teknologi tegangan tinggi suatu pulsa yang dibangkitkan dengan polaritas tunggal dikatakan sebagai tegangan impuls. Tegangan impuls diperlukan untuk menstimulasi terpaan akibat tegangan lebih dari dalam dan luar, serta untuk meneliti mekanisme tembus.

Tegangan impuls sering juga disebut sebagai surja petir, karena tegangan lebih yang dimaksud dalam tegangan impuls sering ditimbulkan oleh adanya petir. Kejadian petir bermula dari mengumpulnya awan diatas bumi dalam ketinggian tertentu. Pada awan tersebut muatan positif mengumpul pada bagian atas dan muatan negatif mengumpul pada bagian bawah. Karena bumi dapat dikatakan sebagai benda yang bermuatan positif pada permukaanya, maka muatan negatif yang berada pada bagian bawah awan akan tertarik oleh muatan dari awan menuju bumi, inilah yang disebut sebagai petir. Jadi petir merupakan lompatan / loncatan elektron dari awan yang berupa kilatan dan umumnya disertai dengan suara yang bergemuruh. Gangguan kilat pada saluran tegangan menengah di bedakan menjadi dua macam gangguan yaitu :

a. Sambaran langsung

Sambaran langsung adalah bila petir menyabar langsung pada kawat phasa (untuk saluran tanpa kawat tanah) atau pada kawat tanah (untuk saluran dengan kawat tanah), pada saat terjadi sambaran langsung ini kemudian diikuti merambatnya gelombang arus yang cukup besar. Arus ini

cukup berbahaya terhadap ketahanan isolasi pada peralatan pada gardu induk terdekat, salah satunya adalah transformator distribusi. Besarnya bahaya yang disebabkan oleh gelombang berjalan ini ditentukan oleh besarnya arus petir dan waktu muka gelombangnya.

b. Sambaran tidak langsung

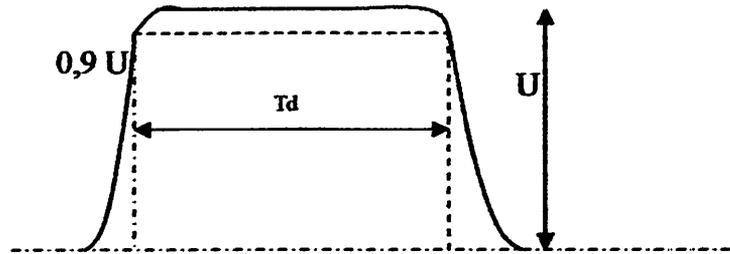
Sambaran tak langsung merupakan adanya induksi pada saluran udara oleh muatan awan atau induksi yang terjadi sewaktu terjadi pelepasan muatan dari awan ke awan dan juga biasa berarti sambaran kilat yang menyambar tanah dekat saluran transmisi, arus induksi normalnya mempunyai polaritas positif dan menimbulkan tegangan surja dengan bentuk gelombang yang sama dan mempunyai amplitudo yang besarnya tergantung jarak kawat ke tanah. Bila salah satu transmisi tersambar petir maka pada tempat tersebut akan terjadi tegangan lebih (tegangan impuls) yang disebabkan oleh pelepasan muatan petir.

Macam-macam Bentuk Tegangan Impuls

Tegangan lebih ini mempunyai bentuk gelombang aperiodik yang terendam. Contoh penting dari tegangan impuls beserta parameter – parameternya adalah sebagai berikut :

a. Tegangan impuls persegi

Tegangan lonjak yang melonjak hingga nilai yang konstan

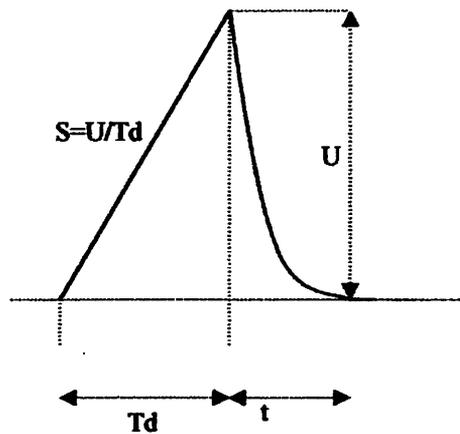


Gambar 2.5 Tegangan impuls persegi

Sumber : Deater Kind, 1993 : 32

b. Tegangan impuls beji

Tegangan lonjak dimana terjadi kenaikan silinier mungkin hingga terjadi tembus dengan kecuraman

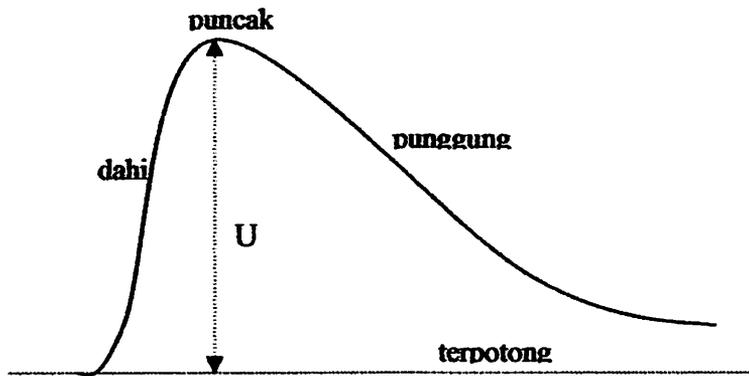


Gambar 2.6 Tegangan impuls beji

Sumber : Deater Kind, 1993 : 32

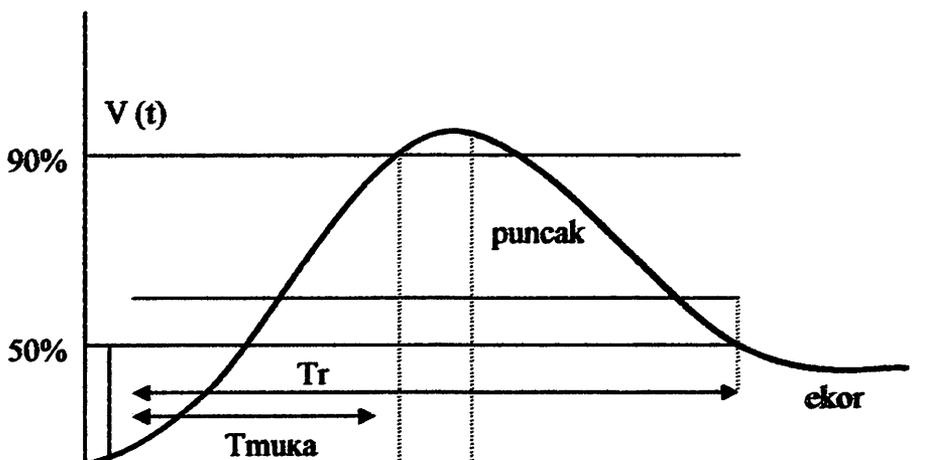
c. Tegangan impuls eksponensial ganda

Tegangan lonjak yang cepat mencapai maksimum nilai puncaknya (U) dan kemudian meluruh perlahan menuju nol



Gambar 2.7 Tegangan impuls eksponensial ganda
 Sumber : Deater kind, 1993 : 32

Impuls tegangan pada sistem tenaga listrik merupakan impuls yang berbentuk eksponensial ganda. Secara umum impuls kilat yang berupa eksponensial ganda dapat dilihat pada gambar 2.8. Pada gambar tersebut impuls kilat ditandai dengan perbandingan waktu muka yang dihitung dari garis linier pada muka impuls dari titik nol sampai tinggi 90 % dan dinotasikan dengan T_s , dengan waktu ekor sampai ketinggian 50 % dan dinotasikan dengan T_r . Jadi impuls kilat dapat dinyatakan dengan T_s / T_r , biasanya diambil standart kilat yaitu 1,2 / 50 mili detik.



Gambar 2.8 Lengkung Standart Impuls Kilat
 Sumber : Hermagasantos, 1994 : 77

Jika terjadi tegangan tembus secara sengaja maupun tidak sengaja dalam rangkaian tegangan tinggi selama penerapan tegangan impuls (yang menyebabkan hilang tegangan secara mendadak), maka tegangan yang terjadi tersebut tegangan impuls yang terpotong. Pemotongan dapat terjadi pada bagian depan, pada puncak atau pada punggung tegangan impuls. Untuk tegangan lebih yang mengikuti sambaran petir, dibutuhkan waktu sekitar 1 μ s untuk mencapai nilai puncak. Tegangan ini disebut sebagai tegangan lebih luar atau atmosfer

2.4 Gelombang Berjalan

Sambaran petir menyebabkan perubahan kondisi elektrik pada sembarang titik, dalam sistem yang besar akan dirasakan oleh bagian – bagian lain berupa gelombang berjalan elektromagnetik. Jika perubahan ini terjadi dalam kurung waktu yang hampir sama dengan waktu perambatan, maka kecepatan rambat gelombang harus dihubungkan. Keadaan ini harus selalu diperhatikan pada saluran tranmisi yang bila terjadi tegangan lebih luar atau dalam dengan perubahan berkisar mikro detik hingga mili detik. Bila salah satu tranmisi tersambar petir maka pada tempat itu akan terjadi tegangan lebih yang di sebabkan oleh muatan petir. Tegangan lebih ini mempunyai bentuk gelombang aperiodik yang teredam (damped aperiodik) sampai saat ini penyebab adanya gelombang berjalan yang di ketahui adalah

- a. sambaran kilat langsung pada kawat.
- b. Sambaran tidak langsung pada kawat (induksi).
- c. Operasi pemutusan (arching ground).

Semua hal di atas menimbulkan surja tegangan dan surja arus. Dari sudut energi dapat dikatakan bahwa surja pada kawat disebabkan karena adanya penyuntikan atau penambahan energi secara tiba-tiba pada kawat. Energi yang merambat terdiri dari arus dan energi. Kecepatan merambat gelombang berjalan tergantung dari konstanta kawat. Pada kawat di udara kecepatan merambat kira-kira sama dengan kecepatan udara 1000 feet. Sedangkan pada kawat tanah kira-kira mencapai 500 feet mikro detik. Bila gelombang mencapai titik peralihan akan terjadi perubahan pada gelombang tersebut sehingga terdapat sedikit perubahan dengan gelombang asal.

2.5 Transformator Distribusi 20 KV

Transformator distribusi menggunakan transformator step down. Step down banyak digunakan pada gardu – gardu distribusi untuk menurunkan tegangan 20 KV menjadi 220/380 V.

2.5.1 Bagian – bagian Utama Transformator Distribusi 20 KV

Bagian – bagian utama transformator distribusi adalah sebagai berikut :

a. Inti transformator

Inti transformator berfungsi sebagai mengalirnya garis – garis gaya magnet. Inti transformator tersebut terbuat dari lempengan – lempengan besi tipis untuk mengurangi panas (rugi besi) yang ditimbulkan arus eddy. Inti transformator tersebut dijepit dengan kuat untuk menjamin kekuatan mekanik untuk mengurangi getaran serta tingkat kebisingan. Inti transformator dirancang dan dibuat dengan dua metode yaitu metode gulung atau tipe cangkang metode tumpuk bersilangan atau tipe inti.

b. Kumparan

Kumparan berfungsi untuk menstranformasikan besaran – besaran ukur tegangan listrik dari tingkat satu ke tingkat lain. Kumparan tersebut diisolasi terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton dan pertinak.

c. Minyak Transformator

Sebagian besar pada transformator distribusi, kumparan – kumparan dan intinya direndam dalam minyak transformator, terutama transformator distribusi yang berkapasitas besar. Minyak transformator bersifat sebagai isolasi. Dalam pemakaiannya, karena pengaruh panas dan rugi – rugi dalam transformator maka akan timbul hidro karbon yang akan menurunkan tegangan tembus minyak. Oleh karena itu perlu dilakukan proses pemurnian minyak transformator menggunakan mesin purifier atau disebut proser treatment.

d. Tangki Minyak Transformator

Pada umumnya bagian – bagian dari transformator yang terendam dalam minyak transformator berada dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak transformator, maka transformator dilengkapi dengan konservator.

e. Bushing

Bushing adalah sebuah konduktor yang disebut oleh isolator untuk menghubungkan kumparan transformator ke jaringan luar. Bushing berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki transformator.

f. Terminal

Terminal berfungsi sebagai tempat penghubung dari sisi primer maupun sekunder.

2.5.2 Hubungan Transformator Distribusi 20 KV

a. Hubungan Bintang

Hubungan bintang dimana hubungan awal atau akhir lilitan disatukan. Titik tempat dimana penyatuan dari ujung – ujung lilitan akan merupakan titik netral. Dalam hubungan bintang dengan titik netral., tegangan line terhadap core atau inti adalah tegangan line atau $\sqrt{3}$ tegangan line. Arus line atau arus jala- jala sama besar dengan arus line ke netral (arus phasa).

$$V_L = \sqrt{3} V_F \dots\dots\dots (2-1)$$

Atau

$$I_L = I_F$$

Daya yang bias dihubungkan dalam keadaan simetri, dengan persamaan (2-1) di dapat daya

$$P = \sqrt{3} V_L I_L$$

b. Hubungan Delta

Suatu hubungan transformator tiga phasa dimana cara menggabungkannya yaitu ujung akhir lilitan phasa pertama dengan ujung mula lilitan phasa kedua, akhir phasa kedua disambung dengan ujung mula phasa ketiga dan akhir phasa ketiga dihubungkan dengan ujung mula phasa pertama. Pada hubungan delta tegangan jala - jala (tegangan line) sama dengan tegangan line ke netral dan arus jala – jala sama dengan $\sqrt{3}$ arus phasa.

$$V_L = V_F \text{ atau}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_F \dots\dots\dots(2-2)$$

Daya dalam keadaan simetri, dengan persamaan (2-2) di dapat persamaan

$$P = \sqrt{3} V_L I_F$$

c. Hubungan zig – zag

Hubungan zig zag disebut juga hubungan liku – liku atau hubungan interkonection yang biasanya digunakan untuk mencapai kestabilan tegangan pada sisi tegangan rendah, masing – masing kumparan dibagi atas dua bagian yang sama. Kumparan fasa pertama dibagi atas kumparan (a₁,b₂) kumparan fasa kedua (a₁, b₂) dan kumparan fasa ketiga (a₃, b₃). Ada beberapa macam jenis hubungan transformator yang digunakan di area Malang, namun yang paling banyak digunakan adalah hubungan Dyn5.

2.6 Peralatan Pengaman Transformator Distribusi 20 KV

Peralatan pengaman transformator difungsikan untuk memberi perlindungan pada transformator apabila terjadi gangguan, baik secara temporer ataupun permanen, secara langsung maupun tidak langsung.

a. Syarat – syarat pengaman

Dalam penyaluran energi listrik pada suatu penyulang sangat rentan terhadap terjadinya gangguan di jaringan, baik itu gangguan yang bersifat temporer maupun gangguan permanen. Untuk itu perlu adanya sistem pengaman yang terkoordinasi dengan baik sehingga mengurangi tingkat kerusakan dan mempercepat pemulihan akibat adanya gangguan yang terjadi.

Syarat pengaman yang harus di penuhi oleh peralatan pengaman listrik adalah

- Cepat reaksi
- Sensitif
- Andal
- Ekonomis
- Sederhana

b. Fungsi pengaman dalam sistem distribusi antara lain :

- Untuk menghindari kerusakan peralatan listrik akibat gangguan, semakin cepat reaksi perangkat sistem proteksi yang digunakan, maka semakin sedikit pengaruh gangguan terhadap kerusakan peralatan listrik pada jaringan.
- Untuk melokalisir luas daerah yang terganggu sedikit mungkin.
- Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya listrik.

2.6.1 Fuse Cut Out

Pada jaringan distribusi 20 KV digunakan sebagai pengaman terhadap arus lebih yang timbul karena hubung singkat. Prinsip kerja pengaman ini yaitu apabila terjadi gangguan, maka terdapat arus yang nilainya melebihi nilai dan waktu yang telah ditentukan, sehingga elemen pelebur pada fuse link akan meleleh dan akan memutuskan arus tersebut. Terdapat 2 macam kecepatan pemutus elemen pelebur pada fuse cut out atau sekering link, yaitu :

- Fuse link dengan pemutus cepat (tipe K)
- Fuse link dengan tipe pemutus lambat (tipe T)

2.6.2 Pemutus Tenaga atau Circuit Breaker (CB)

CB adalah suatu alat pengaman yang dapat menghubungkan atau memutuskan rangkaian listrik dalam keadaan normal maupun abnormal yang dilengkapi dengan alat pemadam busur api. Dalam keadaan gangguan dimana untuk mengoperasikan CB pada umumnya digunakan suatu rangkaian trip dalam bantuan sinyal dan relay. Relay adalah alat yang berfungsi untuk menentukan segala pemutusan / penutupan penyaluran setiap elemen listrik bila terjadi gangguan.

Berdasarkan media pemadaman busur api, CB dibedakan menjadi :

- **Air break CB**
- **Oil CB**
- **Vacum CB**
- **Minimum Oil CB**
- **Air Blas CB**
- **SF6 CB**

Yang paling banyak digunakan pada jaringan distribusi adalah Oil CB, sebab harganya murah dan mempunyai keandalan yang cukup tinggi. Pada saat ini pemutus beban dengan media gas sulphur heksa florida (SF6) mulai banyak dipakai mengingat beberapa sifat gas tersebut antara lain :

- **Isolasi baik**
- **Tidak menyala**
- **Tidak merusak beban**
- **Tidak menimbulkan beban**

2.6.3 Load Break Switch (LBS)

Yaitu alat yang berfungsi sebagai pemutus aliran beban waktu pemeliharaan secara manual biasanya dipasang pada SUTM 20 KV. Untuk satu feeder pada jarak tertentu dipasang LBS untuk memudahkan dalam perbaikan atau memanipulasi gangguan. Sedangkan prinsip kerja alat ini berdasarkan kerja mekanis yang dilakukan secara manual dengan memakai tuas yang dilengkapi kunci (interlock). Waktu pemutusan harus cepat agar tidak terjadi busur api. LBS yang sering dijumpai adalah LBS isolasi udara (air break switch) dan LBS dengan tanduk busur (arching horn switch).

2.6.4 Penutup Balik Otomatis dan Sectionalizer

Recloser atau PBO adalah relay yang diatur sedemikian rupa sehingga bila mendapat sinyal manual dari handle circuit breaker yang ditarik, maka relay tersebut akan bekerja. Dalam pengoperasiannya peralatan ini dipasang pada jaringan atau dipasang di gardu induk. Sedangkan saklar seksi otomatis / SSO atau sectionalizer adalah alat pemutus rangkaian yang dapat memisahkan saluran utama beberapa seksi secara otomatis, agar pada keadaan gangguan permanen, luas daerah jaringan yang harus bebas di sekitar lokasi gangguan sekecil mungkin.

Ada dua jenis SSO yang biasa digunakan pada jaringan menengah :

- Automatic Vacuum Switch (AVS)
- Pole Gas Switch (PGS)

2.6.5 Perlindungan Terhadap Gelombang Berjalan Tegangan Impuls

Penggunaan kawat tanah pada hantaran udara dan gardu induk selain memberikan perlindungan yang baik terhadap sambaran petir juga dapat mengurangi tegangan lebih yang terjadi akibat tegangan induksi elektromagnetis pada hantaran. Tapi hal ini belum cukup untuk melindungi peralatan – peralatan dari gelombang berjalan yang masih dapat menimbulkan kerusakan. Kerusakan – kerusakan tersebut dapat berupa:

- Tegangan tembus luar yaitu merusak isolator, bagian – bagian permukaan peralatan
- Tegangan tembus dalam yaitu dapat merusak isolasi utama dari peralatan ke tanah dan juga isolasi antara bagian – bagian dalam peralatan
- Tegangan tembus dalam dan luar yaitu yang mungkin terjadi akibat isolasi yang terjadi pada peralatan.

Perlindungan terhadap gelombang berjalan dari tegangan impuls / petir terdiri dari dua macam :

1. Arrester

Lighting arrester biasa disebut sebagai penangkal petir yaitu alat yang digunakan untuk melindungi peralatan distribusi terhadap sambaran petir secara tidak langsung juga sebagai proteksi terhadap surja hubung. Adapun fungsi lain dari arrester adalah sebagai berikut :

- Alat untuk melindungi isolasi dan peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir.

- Alat untuk melindungi isolasi dan peralatan dari tegangan transient yang tinggi dari suatu pemutusan rangkaian (membuka dan menutup nya saklar) dengan jalan mengalirkan arus denyut ke tanah.
- Alat yang membatasi berlangsungnya arus ikutan mengembalikan jaringan pada semula tanpa mengganggu sistem.
- Pada gangguan (sambaran petir) berfungsi sebagai konduktor yang mengalirkan tegangan ke tanah.

Arrester yang ideal harus mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- Pada tegangan sistem yang normal arrester tidak boleh bekerja. Tegangan tembus arrester pada frekuensi jala – jala harus lebih tinggi dari tegangan lebih sempurna yang mungkin terjadi.
- Setiap gelombang transient dengan tegangan puncak yang lebih tinggi dari tegangan tembus arrester harus mampu mengerjakan arrester, maka arrester harus mampu mengalirkan arus ke tanah.
- Arrester harus mampu mengalirkan arus terpa ke tanah tanpa merusak arrester itu sendiri dan tanpa menyebabkan tegangan pada terminal, arrester lebih tinggi dari tegangan sumbernya sendiri.
- Arus sistem tidak boleh mengalir ke tanah setelah gangguan diatasi (follow current). Follow current harus dipotong begitu gangguan telah lalu dan tegangan kembali normal.
- Mempunyai dasar tegangan 50 C/S yang tidak boleh dilampaui, sebab arrester dalam menjalankan tugasnya harus menanggung tegangan sistem normal dan tegangan lebih transient 50 C/S.

- Dari karakteristik di atas yang terpenting dari alat pelindung tegangan lebih adalah mampu :
 - Melepas tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubung singkat ke tanah.
 - Dapat memutuskan arus beban.
 - Mempunyai sifat perlindungan yang rendah, artinya tegangan percikan sela dan tegangan pelepasannya rendah.

Ligthing arrester di pasang pada :

- Tempat – tempat dimana terpasang alat – alat seperti transformator, recloser (PBO), sectionalizer (SSO), kapasitor.
- Tiang yang merupakan sambungan SUTM dan tanah.
- Antara dua tiang dimana terdapat vacuum switcs 6 KV.
- Tiang terakhir jaringan.

Adapun prinsip kerja arrester adalah sebagai berikut :

Apabila terjadi tegangan lebih pada jaringan, arrester akan bekerja dengan mengalirkan arus surja ke tanah, kemudian setelah tegangan normal kembali arrester tersebut segera memutuskan arus yang mengikuti kemudian (follow current).

Ada 3 jenis arrester yang sering digunakan :

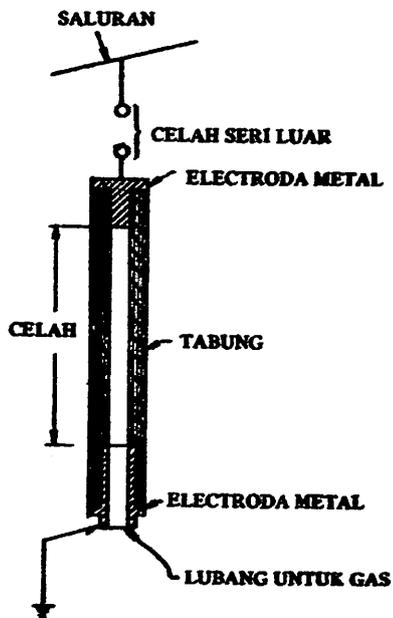
a) Sela batang atau rod gap

Sela batang atau rod gap merupakan alat pemotong petir yang paling sederhana berupa batang elektroda yang diletakkan antara hantaran dan tanah.

b) Arrester jenis Expulsion (tabung pelindung)

Merupakan tabung terdiri dari :

- Dinding tabung yang terbuat dari bahan yang mudah menghasilkan gas jika dilalui arus (fibre).
- Sela batang (eksternal series gap) yang biasanya diletakkan pada isolator porselin untuk mencegah arus mengalir dan membakar fiber pada tegangan jala-jala setelah gangguan diatasi.
- Sela bunga api diletakkan dalam tabung, salah satu elektroda dihubungkan ke tanah, setiap kawat fasa mempunyai tabung pelindung.

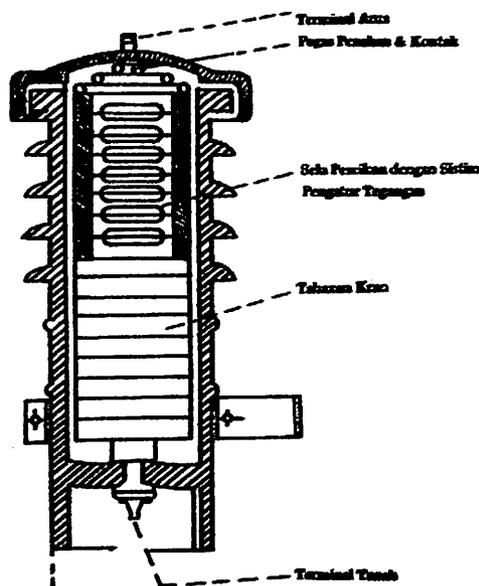


Gambar 2.9 Arrester jenis Ekspulsi
Sumber : T.S Hutauruk Gelombang, 1991 : 102

Pada waktu tegangan terpa melalui sela batang dan bunga api maka impedansi tabung akan menjadi rendah sehingga arus terpa dapat mengalir ke tanah.

c) Arresster jenis valve (katup)

Arrester ini dikenal sebagai pemotong petir jenis tidak linier (Non Linier Lighting Arrester). Arrester ini terdiri dari beberapa sela yang tersusun seri dengan piringan-piringan tahanan yang mempunyai karakteristik sebagai berikut :

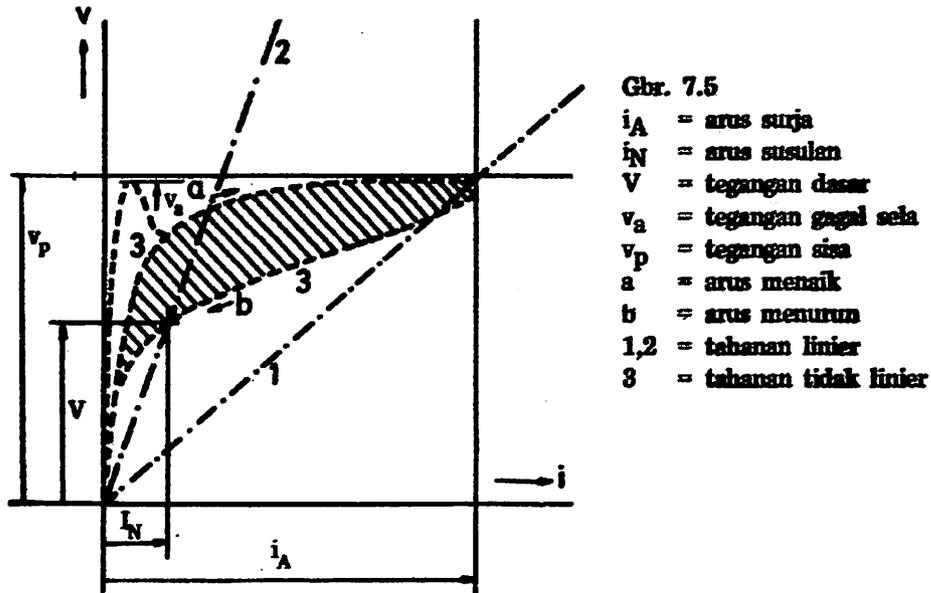


Gambar 2.10 Arrester Jenis Katup

Sumber : Artono Arismunandar, 1984 : 108.

Harga tahanannya turun pada saat arus terpa mengalir sehingga tegangan antara terminal arrester tidak terlalu besar dan harga tahanannya akan naik kembali jika arus terpa sudah lewat sehingga membatasi follow current dari power frekuensi voltage.

Karakteristik dari tegangan dan arus pada tipe katup dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2.11 Karakteristik Arrester Tipe Katup
 Sumber : Artono Arismunandar, 1984 : 109.

2. Kawat Tanah

Yaitu untuk melindungi jaringan dari sambaran petir secara langsung. Pemilihan kawat tanah lebih didasarkan pada sifat mekanis dari pada sifat listrik serta dari segi ekonomis. sifat kawat tanah yang terpenting adalah :

- mempunyai kekuatan mekanis yang tinggi
- merupakan bahan yang tahan karat

Agar pemasangan kawat tanah sebagai pelindung kawat phase dan peralatan-peralatan listrik pada tegangan menengah dapat optimal, maka perlu diperhatikan faktor-faktor sebagai berikut:

- a) kawat tanah harus mempunyai kekuatan mekanis yang cukup, sehingga bila terkena sambaran kemungkinan untuk putus sangat kecil.
- b) Kawat tanah harus lebih tinggi dan mempunyai jarak yang cukup dengan kawat fasa, sehingga kemungkinan bersinggungan tidak ada dan kemungkinan timbulnya lompatan bunga api saat terjadi kenaikan tegangan pada fasa juga tidak ada.
- c) Sudut perisaian yang cukup sehingga tidak terjadi kegagalan perisaian.

Pada saluran udara tegangan menengah diasumsikan bahwa pada saluran dengan kawat tanah tidak ada kegagalan perisaian dikarenakan tinggi kawat tanah di atas tanah relatif rendah (10 sampai 13 meter) dan karena sudut perisaian yang biasanya lebih kecil 60 sudah dapat dianggap semua sambaran mengenai kawat tanah, jadi tidak ada kegagalan perisaian.

Kawat tanah yang dipasang pada ujung tiang satu ke tiang lainnya, kawat tersebut diketanahkan.

BAB III
PENGARUH TEGANGAN IMPULS PETIR PADA
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV

Tegangan impuls yang disebabkan sambaran petir membawa dampak - dampak negatif pada transformator . adapun pengaruh-pengaruhnya dapat diketahui dengan cara melakukan penelitian dan pengambilan data-data yang berhubungan dengan hal tersebut. Data tersebut terdiri dari data transformator distribusi, dan juga data mengenai frekuensi terjadinya tegangan impuls yang terjadi di kota Malang. Semua data yang diperoleh dari PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR, AREA PELAYANAN DAN JARINGAN MALANG DAN BADAN METEOROLOGI DAN GEOFISIKA (BMG) STASIUN KLIMATOLOGI KARANGPLOSO MALANG PERIODE periode Oktober 2005 – September 2006.

Berdasarkan sumber-sumber data diatas maka transformator distribusi yang dibahas disini adalah transformator yang dipasang di area Malang dan gangguan terhadap transformator yang dibahas disini sebatas gangguan transformator yang disebabkan tegangan impuls atau sambaran petir.

Menurut hasil penelitian yang dilakukanan PLN Malang, banyak terjadi kerusakan pada transformator distribusi, diantaranya adalah:

1. Lilitannya putus
2. Tegangan sekunder tidak merata (lost kontak)
3. Lilitan primer dan sekunder rusak
4. Lilitan primer atau lilitan sekunder putus

5. Bushing atau kumparan phasanya putus
6. Bushing pecah

Kerusakan-kerusakan diatas bisa disebabkan oleh dua kemungkinan yaitu dari gangguan langsung dari sistem itu sendiri atau pengaruh dari luar misalnya oleh pengaruh manusia atau alam. Namun tidak dipungkiri kerusakan-kerusakan diatas pernah ditemukan setelah transformator tersambar petir baik karena tegangannya maupun hentakannya. Sambaran tegangan impuls bias dirasakan dari segala sisi pada jaringan, namun besarnya pengaruh yang dirasakan tidak sama besarnya tergantung pada titik awal penyambaran petir itu sendiri. Dalam hal ini sisi yang lebih memungkinkan atau lebih besar resiko terkena petir adalah sisi primer yang merupakan sisi terluar dari transformator.

3.1 Transformator Distribusi 20 KV

Transformator Distribusi yang dipasang di area Malang oleh PLN terdiri dari bermacam-macam merk antara lain Unindo, Trafindo, Starlite, Bambang Djaja, Hico, Mitshubishi, dan France yang pada prinsip penggunaannya sama. Dibawah ini adalah empat contoh name plate transformator distribusi 20 KV di area Malang berikut penjelasannya

3.1.1 Name Plate Transformator

UNINDO

PRIMARY	SECONDARY
Y	Yzn5
KV : 22, 21, 20, 19, 18	400 V
In : 4,6 A	231 A

BIL : 125 KV

TEMP.RISE : 50°C

KVA: 200

TEMP.KUMP: 55°C

BAMBANG DJAJA

PRIMARY

SECONDARY

IMP : 3,94

Yyn5

KV : 20

231 / 400 V

In : 4,62 A

230,94 A

BIL : 125 KV

TEMP.RISE : 55°C

KVA: 200

AMB.TEMP : 40°C

Cooling : ONAN

TRAFINDO

PRIMARY

SECONDARY

3 PHASA 50 Hz

KV : 21; 20,5 20; 19,5; 18

400 V

A : 2,88

144,3 A

BIL : 125

IMPD : 4 %

STARLITE

PRIMARY

SECONDARY

3 PHASA 50 Hz

Dyn5

KV : 22, 21, 20, 19, 18

400 V

A : 7,21

360,8 A

BIL : 125 KV

IMPD : 4 %

KVA: 250

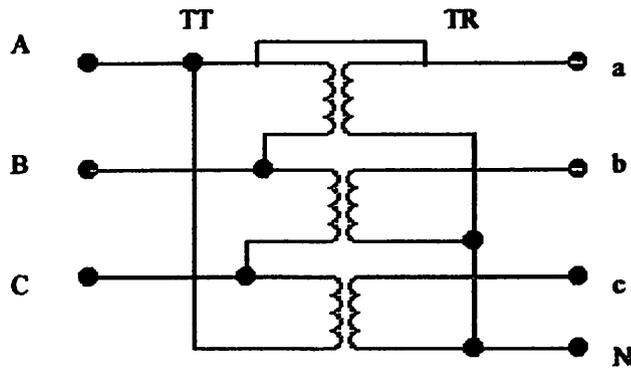
Cooling : ONAN

Keempat transformator diatas adalah contoh trafo distribusi yang dipakai di kota Malang. Diambil salah satu contoh merk transformator untuk penjelasan name plate yaitu transformator Bambang Djaja :

- a. Impedansi 3,94 artinya belitan transformator phasa R, S, T mempunyai tahanan 3,94 Ω
- b. Dyn5 adalah hubungan antara kumparan primer dan kumparan sekunder transformator adalah delta bintang dengan netral, hubungan tersebut berbentuk angka jam lima.
- c. 20 KV adalah tegangan di sisi primer dan 230 / 400 V adalah tegangan di sisi sekunder yaitu tegangan yang dikonsumsi oleh pelanggan PLN
- d. Arus 4,62 A dan 230,95 adalah arus pada kumparan primer dan sekunder yang terjadi saat transformator tersebut dihubungkan dengan tegangan 20 KV dan dibebani sebesar 200 KVA.
- e. BIL 125 artinya transformator tersebut masih terlindungi untuk menerima tegangan maksimum 125 KV.
- f. Temperatur rise 55°C artinya adalah kenaikan suhu transformator dalam pengoperasian yang masih dalam batas aman atau dalam artian transformator tersebut masih dapat bekerja pada kenaikan suhu 55°C.

g. Ambient temperatur 40°C artinya batas suhu lingkungan dimana transformator bisa bekerja secara optimal adalah 40°C. mengidentifikasi suhu isolasi pada kumparan yang diizinkan, pada name plate transformator tersebut di atas AMB. 40°C, maka ketinggian adalah 1000 meter di atas permukaan laut, class isolasinya 40°C, dan desainnya adalah B. dimisalkan jika transformator dioperasikan pada ketinggian 1000 meter maka isolasinya 40°C.

Pada transformator distribusi di area Malang, hubungan kumparannya menggunakan hubungan Dyn5, dimana pada sisi tegangan tinggi disambung segitiga, sehingga tegangan pada terminal kumparan merupakan tegangan phasa ke phasa. Tegangan rendah disambung secara bintang, maka GGL pada jepitan terminal kumparan adalah jepitan phasa netral. Antara sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah dihubungkan untuk mengetahui pergeseran phasa. Dari hubungan Dyn5 dapat digambarkan fektor diagram angka jam lima dimana pada sisi tegangan tinggi A menuju B, B menuju C, C menuju A (untuk arah panahnya). Sedangkan pada sisi tegangan rendah a, b, c, menuju ke netral sehingga arah panah masuk, hal ini untuk menunjukkan arah titik netral.



Gambar 3.1 Hubungan transformator Dyn5
 Sumber : (Standart Listrik Indonesia SLI 117-1998), 1991 : 48

Jumlah lilitannya dapat diketahui dengan menggunakan rumus perbandingan :

$$\frac{N1}{\sqrt{3}N2}$$

3.1.2 Kondisi Lilitan Transformator

Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasikan dengan baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton dan pertinak. Pada transformator yang tersambar petir, terkadang isolasinya terkelupas atau bahkan hangus.

3.2 Gangguan pada Transformator Distribusi 20 KV

Pada tabel gangguan transformator distribusi (terlampir) menjelaskan mengenai gangguan transformator 20 KV yang terdiri dari berbagai merk. Kerusakan yang terjadi pada transformator PLN cabang Malang berdasarkan wilayah pemasangannya. Transformator tersebut terdiri dari transformator 3 phasa dan 1 phasa yang dibedakan rekondisi dan non rekondisi dalam berbagai variasi daya. Usia transformator diperoleh dari tanggal pemasangan sampai terjadi kerusakan. Beban yang terukur adalah pada saat beban puncak (malam hari pukul 19.00 - 22.00), persen daya adalah daya yang diserap oleh konsumen dengan daya yang ada pada transformator itu sendiri. Dan sebab terjadinya kerusakan pada transformator diklasifikasikan oleh PLN cabang Malang. Dalam bab ini gangguan yang terjadi pada transformator distribusi diringkas kembali menjadi suatu tabel gangguan yang didalamnya hanya menyebutkan gangguan transformator distribusi yang disebabkan oleh sambaran tegangan impuls atau sambaran petir.

Tabel mengenai gangguan ini diringkas dalam tabel gangguan transformator distribusi akibat sambaran petir. Tegangan impuls membawa dampak atau pengaruh yang bermacam-macam pada transformator distribusi. Di bawah ini adalah tabel gangguan transformator yang sudah diklasifikasikan hanya sebatas gangguan yang disebabkan oleh tegangan impuls. Berikut ini adalah jumlah gangguan transformator distribusi yang terjadi di daerah Malang periode Oktober 2005 – September 2006.

Tabel 3.1
Jumlah Gangguan Transformator Distribusi di Area Malang
Periode Oktober 2005 – September 2006

BULAN	Jumlah Gangguan
Oktober	7
Nopember	8
Desember	16
Januari	12
Februari	18
Maret	12
April	7
Mei	27
Juni	6
Juli	1
Agustus	1
September	0

3.3 Peralatan Pengaman Transformator Distribusi dari Tegangan Impuls.

Peralatan pengaman transformator ada dua yaitu :

a. Data Arrester

- Tegangan teraan : 28 KV

- Tegangan kejut frekuensi daya : 42 KV

- Tegangan kejut impuls :

100 % Impuls : 105 KV

0,5 μ s : 126 KV

- Tegangan pemuat pada arus :

Pemuat 2.5 KA : 105 KV

Jarak bocor insulator : 542 mm

Diameter rata-rata insulator : 83 mm

BIL : 150 KV

Arus (I) : 2,5 KA

Arrester yang di gunakan di area Malang adalah arrester jenis ekspulsi distribusi.

b. Pentanahan

Pentanahan di area Malang menggunakan tahanan 500 Ω , pentanahan arrester, pentanahan titik netral transformator < 5 Ω .

BAB IV

STUDI EVALUASI PENGARUH TEGANGAN IMPULS PETIR PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV

Analisa sebab-sebab kerusakan transformator distribusi berdasarkan data gangguan yang terjadi dalam kurun waktu Oktober 2005 – September 2006, diketahui berbagai jenis gangguan transformator distribusi 20 KV yang menyebabkan transformator distribusi mengalami kerusakan atau gangguan dan tidak dapat beroperasi normal kembali. Gangguan – gangguan yang terjadi pada umumnya adalah gangguan yang disebabkan dari luar peralatan transformator tersebut.

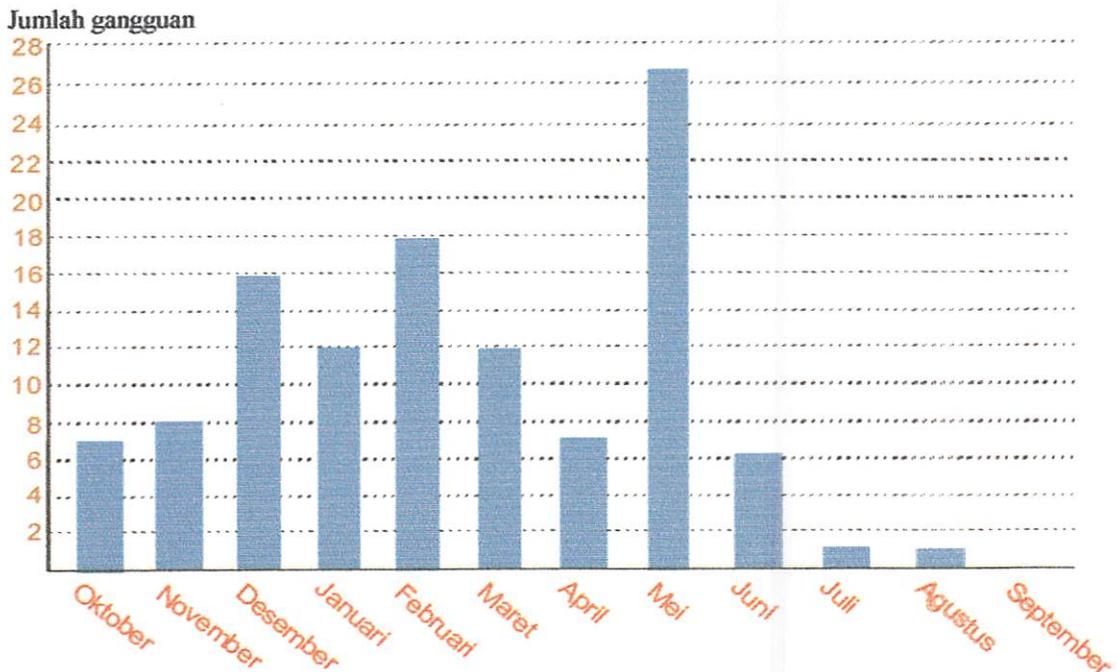
4.1 Analisa Pengaruh Tegangan Impuls Petir Pada Transformator Distribusi

Kerusakan akibat sambaran petir lebih ditekankan pada sistem pengamanan yang dipasangkan, karena bagaimanapun gangguan luar ini tidak dapat dihindari., terutama pada daerah – daerah terbuka. Oleh karena itu pemasangan arrester dan pentanahan-pentanahan peralatan harus dipasang secara baik dan diperiksa ulang pada periode waktu tertentu. Pada diagram gangguan transformator distribusi 20 KV dalam kurun waktu Oktober 2005 – September 2006 trafo yang terkena sambaran petir lebih banyak terjadi di antara bulan Desember sampai Mei, yaitu masuk dalam musim penghujan.

Adapun kerusakan dan gangguan yang disebabkan oleh tegangan impuls atau sambaran petir menurut data PLN Cabang Malang dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

- Kawat putus / los kontak
- Bushing tembus atau retak
- Phasanya terbakar
- Transformator hangus tersambar petir

Sambaran petir merupakan salah satu penyebab terjadinya kerusakan pada transformator. Dari tabel gangguan transformator yang terdapat pada bab tiga dapat dibuat grafik jumlah kerusakan pada transformator akibat tegangan impuls petir dalam setiap bulan nya pada periode Oktober 2005-September 2006 adalah sebagai berikut:



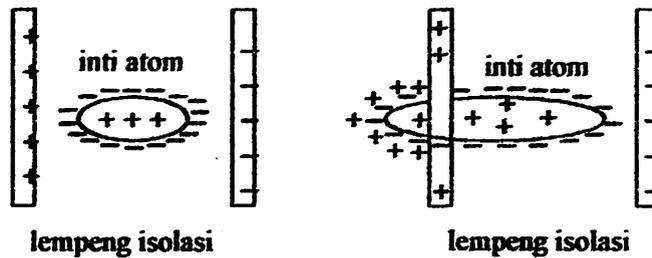
Grafik 4.1 Grafik Gangguan Transformator Distribusi di Area Malang Periode Oktober 2005-September 2006

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada musim penghujan jumlah kerusakan transformator lebih banyak dibandingkan dengan kerusakan yang terjadi pada musim kemarau. Frekuensi terjadinya tegangan impuls petir mempengaruhi jumlah kerusakan transformator yang terjadi. Semakin banyak atau semakin sering peristiwa petir terjadi, maka akan semakin banyak transformator yang mengalami kerusakan. Namun jumlah kenaikan diantara keduanya belum tentu sebanding.

Transformator yang mengalami kerusakan pada tahun tersebut diperkirakan sudah pernah tersambar petir diwaktu atau tahun sebelumnya, sehingga frekuensi transformator tersebut tersambar petir lebih banyak dari pada transformator yang tidak mengalami kerusakan, atau juga dikarenakan sambaran yang kekuatannya sangat besar, sehingga dalam sekali sambar transformator tersebut akan mengalami kerusakan.

4.1.1 Pengaruh Tegangan Impuls Petir Terhadap Lilitan Transformator .

gelombang tegangan petir mengakibatkan overstress pada belitan trafo terutama pada beberapa lilitan pertama didekat bushing. Tegangan lebih petir yang jatuh pertama kali mengenai isolasi lilitan akan menyebabkan terjadi tembus tegangan pada lilitan transformator. Terjadinya tembus tegangan dapat dijelaskan pada gambar dibawah ini



Gambar 4.1 Kronologis Terjadinya Tembus Tegangan

Penghantar atau lilitan transformator dapat digambarkan sebagai konstruksi dua lempengan isolasi yang diantaranya terdapat inti atom proton, neutron dan elektron yang bergerak membentuk sebuah lintasan elips. Bila pada penghantar tersebut dikenai tegangan, maka salah satu lempengan akan bermuatan positif dan lempengan yang lain bermuatan negatif.

Semakin besar tegangan yang mengenai, maka semakin elips lintasan yang terbentuk. Akan terjadi tolak menolak pada lintasan elektron dan muatan negatif lempengan dan tarik menarik antara lintasan elektron dengan muatan positif lempengan, sehingga muatan positif lempeng akan terlepas dan terjadi tembus tegangan. Oleh karena itu beberapa lilitan pertama didesain secara khusus. Jika ada kelemahan isolasi pada lilitan ini maka bisa terjadi breakdown.

Kerusakan akibat peralatan arrester ini sendiri biasanya disebabkan karena:

- a. Desain yang salah kandungan air yang tinggi merupakan sebuah contoh kekurangan yang terjadi pada saat pembuatan arrester (pengeringan yang kurang baik).

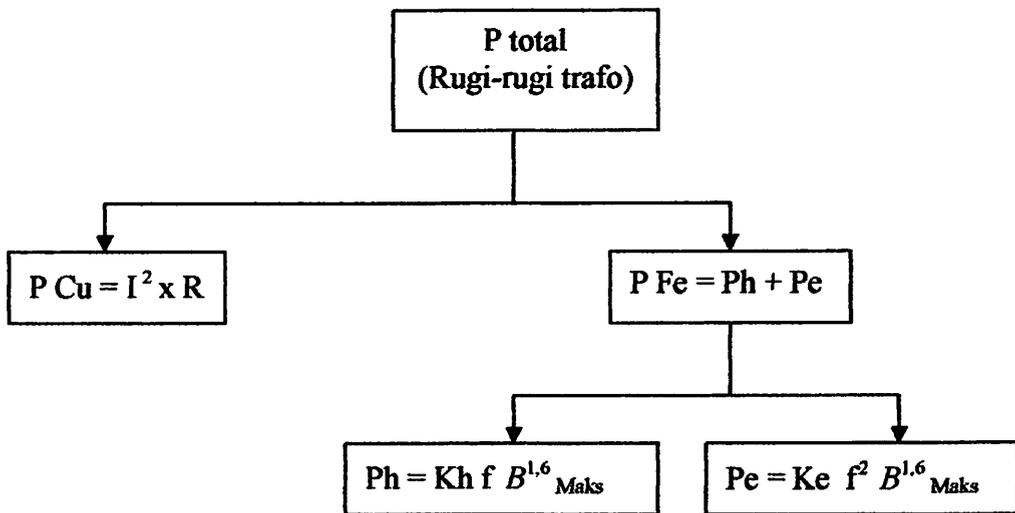
- b. Cara membawa yang kurang hati-hati pada saat pengiriman sehingga pada saat pemasangan dapat menyebabkan kerusakan pada komponen-komponen didalam dan pergeseran elemen celah.
- c. Kerusakan yang diakibatkan oleh pencemaran, misalkan debu dan uap air dicelah penyimpangan mengurangi besarnya tegangan perusak. Ini memperbesar kerja penyimpang dan mungkin menyebabkan mengalir arus continue.

Pada kawat penghantar yang tersambar petir dengan tegangan yang melebihi 20 KV pada penghantar tersebut akan mengalir arus yang lebih besar pula, ini berarti muatan listrik yang bergerak dalam penghantar tersebut juga lebih banyak. Dengan kawat penghantar yang luas penampangnya sama dengan didesain untuk kekuatan 20 KV, maka ruang gerak elektron yang jumlahnya kini semakin banyak akan semakin sempit, dan pada ruang gerak yang sama dan dengan jumlah elektron yang semakin banyak, elektron-elektron tersebut akan semakin bergesekan. Gesekan inilah yang kemudian menimbulkan panas dan kenaikan suhu dalam luas tertentu.

Kenaikan suhu pada inilah yang dapat menyebabkan lilitan transformator terbakar jika panas yang terjadi melebihi kapasitas lilitan itu sendiri.

4.1.2 Pengaruh Tegangan Impuls Petir Terhadap Efisiensi Transformator

Kenaikan suhu pada lilitan juga menyebabkan semakin besar rugi-rugi pada trafo . Berikut ini adalah diagram perhitungan rugi-rugi transformator



Ket :

P Cu = Rugi tembaga (watt)

K = Konstanta

P Fe = Rugi inti (watt)

B = Fluks maksimum (weber)

Ph = Rugi histerisis (watt)

Pe = Rugi arus eddy (watt)

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots (4-1)$$

Dari persamaan (4-1) didapat perubahan efisiensi terhadap beban yaitu :

$$\eta = \frac{V2 \text{ COS } \theta}{V2 \text{ COS } \theta + I2R2_{ek} + \frac{P1}{I2}}$$

Rugi inti terdiri dari rugi histerisis dan rugi arus eddy, rugi total merupakan penjumlahan antara rugi inti dan rugi tembaga. Semakin besar rugi-rugi akan semakin menurunkan jumlah Pout dan Pin (η) yang lebih rendah. Dengan begitu meningkatnya arus yang mengalir pada lilitan yang disambar petir akan menyebabkan penurunan efisiensi (daya guna) trafo itu sendiri.

4.1.3 Pengaruh Tegangan Impuls Petir Terhadap Ketahanan Isolasi

Pada trafo yang baik tahanan isolasi antara sisi TM dan TR lebih besar dari standart yang ditentukan yaitu 1500 MΩ. Cara mengukur tahanan isolasi minimum transformator :

$$R_{20}^0 c = \frac{Cx E}{\sqrt{KVA}} \dots\dots\dots (4-2)$$

Ket :

C = 0,8 untuk transformator minyak

C = 16 untuk transformator kering

E = Tegangan nominal (volt)

R = Tahanan Isolasi (MΩ)

Sebagai contoh : untuk transformator 50 KVA

$$R_{20}^0 c = \frac{Cx E}{\sqrt{KVA}}$$

$$R_{20}^0 c = \frac{0,8 \times 20000}{\sqrt{50}}$$

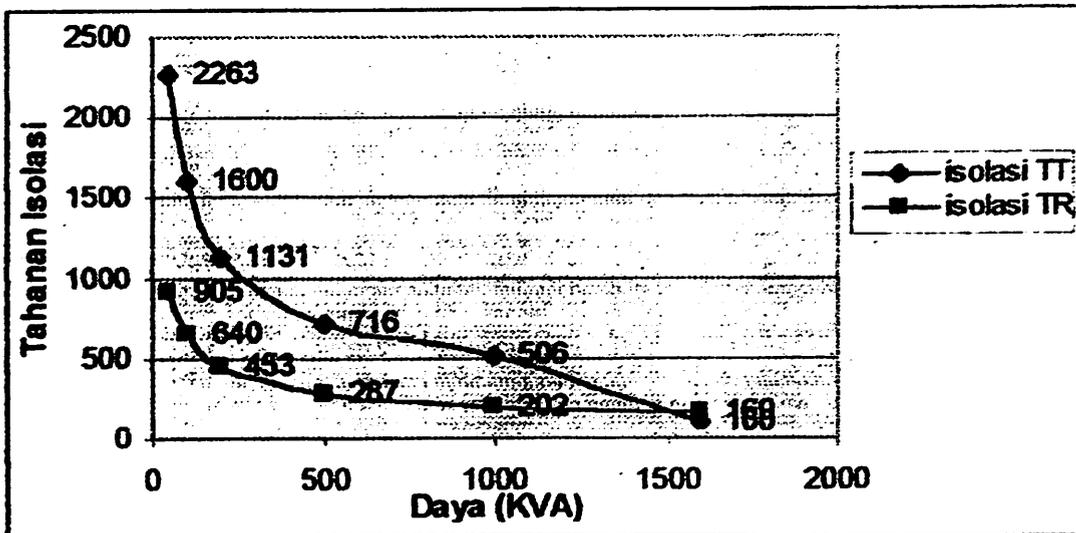
$$= 2262,7 \Omega$$

Untuk menghitung daya transformator lainnya dapat dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 4.1
Contoh perhitungan nilai tahanan isolasi transformator minimum pada suhu 20°C

No	Daya transformator (KVA)	Nilai tahanan isolasi minimum	
		TT (20 KV)	TR (400 KV)
1	50	2263	905
2	100	1600	640
3	200	1131	453
4	500	716	287
5	1000	506	202
6	1600	100	160

Sumber : Standart Listrik Indonesia, 2002 : 74



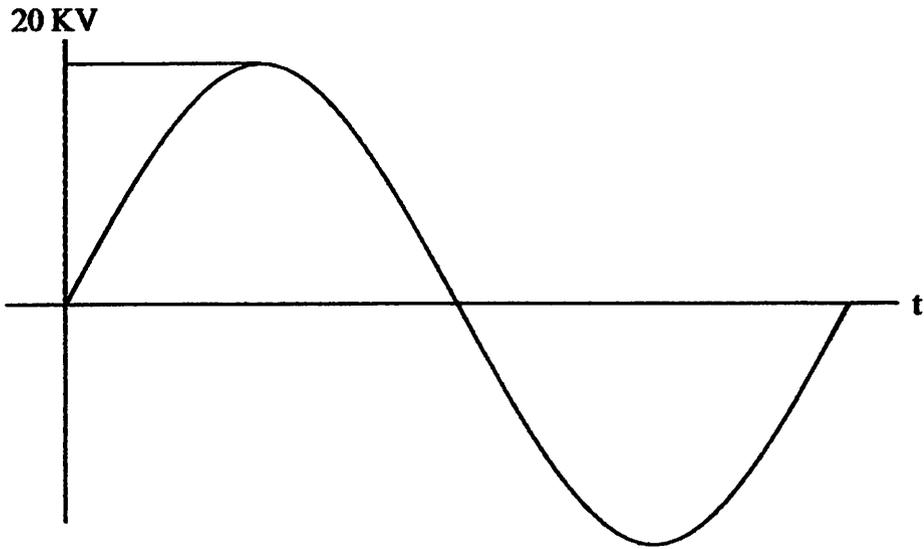
Grafik 4.2 Fungsi Tahanan Isolasi Transformator

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa semakin besar daya (KVA) dari trafo distribusi maka tahanan isolasi yang dibutuhkan akan semakin kecil, baik di sisi tegangan tinggi (20 KV) maupun disisi tegangan rendah (400 V). Oleh karena itu untuk menjadikan trafo aman dari kerusakan kumparan, maka nilai tahanan isolasi tersebut harus terpenuhi terlebih dahulu agar trafo dapat bekerja dengan baik.

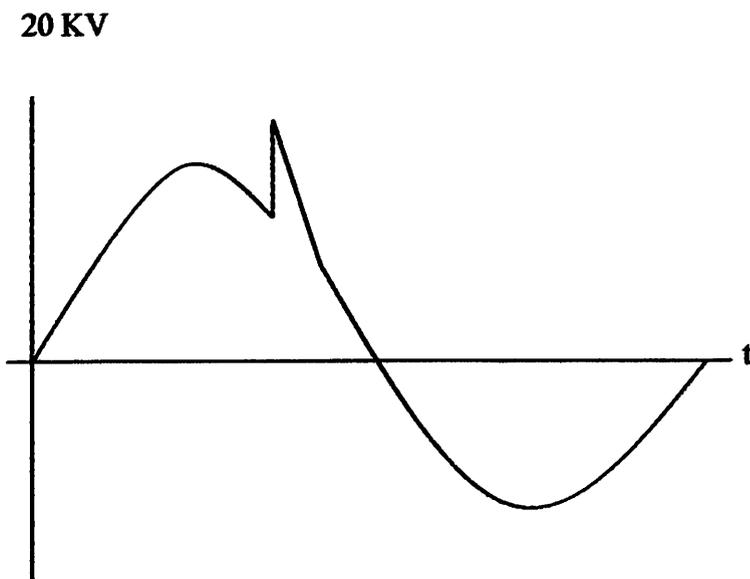
Pada belitan trafo yang tersambar petir, biasanya permukaan atau isolasinya hangus, hal ini disebabkan karena isolasi kumparan primer ataupun sekunder tidak tahan / tidak mampu dilewati besarnya tegangan atau arus dari petir tersebut. Hal ini bukan berarti pengadaan isolasi dari kumparan tidak sesuai dengan perhitungan, tapi bisa juga disebabkan karena besarnya tegangan impuls yang tidak bisa prediksi oleh manusia, karena tegangan impuls ini merupakan gejala alam.

4.1.4 Pengaruh tegangan Impuls Petir Terhadap Tegangan Keluaran

Jika kawat phasa dari JTM terkena sambaran petir, baik langsung ataupun karena flashover maka tegangan dari petir itu sebagai gelombang berjalan akan sampai ke trafo setelah melalui arrester. Jika tegangan itu lebih tinggi daripada sparkover voltage dari arrester, maka akan terjadi sparkover di arrester, sehingga tegangan yang diteruskan ke trafo sudah terpotong lebih rendah, yaitu tidak lebih dari protective level arrester itu.



Grafik 4.3 Gelombang Tegangan Masukan Transformator



Grafik 4.4 Gelombang Tegangan Lebih Saat Terjadi Petir

Gelombang tegangan yang masuk ke dalam transformator berupa gelombang penuh yang berbentuk sinusoida. Tegangan impuls yang mengenai transformator bisa membuat gelombang asli dari tegangan terpotong, sehingga apabila tegangan masukan pada transformator sudah berubah, maka tegangan keluaran dari transformator itu pun ikut berubah.

4.1.5 Pengaruh Tegangan Impuls Petir Pada Umur Transformator

Di dalam perencanaan umur transformator yang berkapasitas 50 KVA diperkirakan 25 tahun dengan catatan bahwa dalam kurun waktu itu transformator dioperasikan normal. Karena itu dalam perhitungan operasi normal digunakan angka tersebut. Pada umumnya pada umur tersebut material kumparan dan isolasi kumparan telah tidak memenuhi persyaratan untuk tidak dioperasikan.

Hentakan petir bisa menyebabkan salah satu phasa dari transformator tersebut putus, dari phasa yang putus ini bisa terhubung dengan phasa lain yang akhirnya menyebabkan hubung singkat. Keadaan hubung singkat yang bisa menyebabkan pemanasan yang berlebihan dan juga mempercepat perburukan isolasi, terutama isolasi antara gandengan besi inti magnet. Kerusakan lain yaitu penurunan kekuatan isolasi dari material isolasi, minyak isolasi, dan insulator. Hubung singkat antar lilitan antara lain disebabkan oleh tegangan abnormal atau surja petir. Tegangan impuls atau penuaan isolasi dapat menyebabkan hubung singkat ke tanah dari lilitan atau lilitan ke inti atau tangki. Kerusakan tersebut harus dapat dideteksi. Pemakaian transformator dengan pendingin udara ketinggian maksimum yang diijinkan adalah 1000 m diatas laut. Dengan semakin

menurunnya kekuatan isolasi dari transformator tersebut. maka trafo tidak dapat dioperasikan secara normal, dan akan menyebabkan bahaya apalagi tetap (dipaksakan) dipergunakan atau dioperasikan.

Suatu isolasi yang operasikan dalam berbagai suhu, pengaruhnya pada umur transformator dapat dituliskan sebagai dalam teori yang digunakan untuk menentukan faktor penuaan. Yaitu teori mostinger , dimana dibandingkan dengan umur transformator yang dioperasikan pada suhu referensi (T_{cr}) dengan pengoperasian dengan suhu lain (T_c)

Faktor penuaan (y)

$$y = \frac{\text{harga umur pemakaian pada } T_c}{\text{harga umur pemakaian pada } T_{cr}} \dots\dots\dots (4-3)$$

$$y = ae^{0,11552453 \cdot \theta_H}$$

Keterangan :

a = konstanta (1)

T_c = suhu lilitan pada saat pengoperasian

T_{cr} = suhu lilitan sebagai referensi

$$\theta_H = T_c - T_{cr}$$

Karena pengaruh inilah maka pada SPLN : 50 : 1982, diterangkan bahwa transformator akan memiliki umur yang normal pada operasi yang menyebabkan suhu lilitan 98°C dengan suhu sekitar 20°C , sehingga untuk transformator tersebut apabila akan dioperasikan di Indonesia akan mengalami penurunan daya nominal yaitu menjadi bernilai efektif 96,5% pada 24°C dan 95,25 pada suhu $25,5^\circ\text{C}$, 94% pada suhu 27°C . hal yang sama akan tetap berlaku baik bagi transformator produksi luar maupun dalam negeri yang memakai standart utuh IEC. Bila ingin diketahui nilai

faktor penuaan (susut umur) untuk berbagai titik panas (hot spot) dapat diperoleh dengan mensubstitusikan titik panas tersebut ke dalam persamaan (4 – 3), sebagai contoh :

Bila :

$$a = 1$$

$$T_c = 80^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cr} = 98^{\circ}\text{C}$$

Maka :

$$\text{Nilai faktor penuaan : } y = 1.e^{0,11552453.HH}$$

$$y = 1.e^{0,11552453.HH.(80-98)}$$

$$y = 0,125$$

Tabel 4.2 di bawah ini menunjukkan angka-angka susut umur terhadap berbagai suhu titik panas, dimana ternyata setiap kenaikan suhu 6°C penyusutan umur adalah separuhnya.

Tabel 4.2
Susut Umur Sebagai Fungsi Dari Suhu Titik Panas (Tc)

No	Tc	Susut Umur		
		Tcr = 90°C	Tcr = 98°C	Tcr = 80°C
1	80	0,315	0,125	1
2	86	0,63	0,25	2
3	92	1,26	0,5	4
4	98	2,52	1	8
5	104	5,04	2	16
6	110	10,08	4	32
7	116	20,16	8	64
8	122	40,32	16	128
9	128	80,63	32	256
10	134	161,27	64	512

Sumber : SPLN , 50 , 1982 : 7

Dengan menerapkan suhu operasi di bawah suhu referensi lilitan akan menyebabkan susut umur transformator berkurang.

4.2 Pemilihan Peralatan Pengaman Transformator Distribusi 20 KV

Peralatan listrik dalam jaringan distribusi harus di amankan dari bahaya gangguan tegangan lebih. Hal ini dapat dilakukan dengan cara memperkuat isolasinya atau dengan bantuan alat-alat proteksi tegangan lebih. Dengan mengatasi bahaya tegangan lebih yang diinginkan adalah perencanaan yang cukup aman dan ekonomis serta koordinasi yang tepat dengan alat-alat proteksinya.

Koordinasi yang dilakukan dalam bentuk langkah-langkah yang di ambil untuk menghindari kerusakan terhadap peralatan listrik karena tegangan lebih dan membatasi lompatan bunga api sehingga tidak menimbulkan kerusakan. Caranya adalah dengan menentukan korelasi yang diperlukan tingkat kekuatan isolasi peralatan listrik dengan karakteristik alat proteksi terhadap tegangan lebih yang masing-masing ditentukan tingkat ketahanan impuls dan tingkat proteksinya.

Penerapan dari koordinasi isolasi meliputi beberapa prinsip dasar sehingga diterimanya beberapa aturan penting dalam praktek yaitu :

4.2.1 Transformator Distribusi 20 KV

Transformator Distribusi 20 KV yang dikonsumsi oleh PLN area Malang tegangan di sisi primernya 20 KV dan di sisi sekundernya 230 / 400 Volt. Pada kenyataanya tegangan yang digunakan adalah 220 / 380 Volt. Dengan menggunakan toleransi sebesar $\pm 5\%$, maka akan ada

pengaman atau persiapan apabila terjadi gangguan yang menyebabkan naiknya tegangan keluaran (sekunder), maka trafo atau tegangan pada konsumen masih dalam batas aman.

4.2.2 Arrester

Arrester dipakai sebagai alat proteksi utama dari tegangan lebih. Oleh karena itu pemilihan arrester harus sesuai dengan peralatan yang dilindunginya. Karena kepekaan arrester terhadap tegangan, maka pemakaian harus sesuai dengan tegangan sistem.

Pemilihan lightning arrester dimaksudkan untuk mendapatkan tingkat isolasi yang sesuai dengan Basic Insulation Level (BIL) peralatan yang dilindungi, sehingga didapat perlindungan yang baik.

Pada pemilihan arrester ini dimisalkan tegangan impuls petir yang datang berkekuatan 400 KV dalam waktu 0,1 μ s. jarak titik penyambaran dengan transformator 5 Km.

- **Tegangan dasar arrester**

Pada jaringan tegangan menengah arrester ditempatkan pada sisi tegangan tinggi (primer) yaitu 20 KV. Tegangan dasar yang dipakai adalah 20 KV sama seperti tegangan pada sistem. Hal ini dimaksudkan agar pada tegangan 20 KV arrester tersebut masih bisa bekerja sesuai dengan karakteristiknya yaitu tidak bekerja pada tegangan maksimum sistem yang direncanakan, tetapi masih tetap mampu memutuskan arus ikutan dari sistem yang efektif.

- Tegangan sistem yang tertinggi umumnya diambil harga 110% dari tegangan nominal sistem. Pada arrester yang di pakai oleh PLN adalah

$$V_{maks} = 110\% \times 20 \text{ KV} \dots\dots\dots (4-4)$$
$$= 22 \text{ KV, dipilih arrester dengan tegangan teraan 28 KV}$$

- Koefisien Pentanahan

Didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan rms phasa sehat ke tanah dalam keadaan gangguan pada tempat dimana penangkal petir, dengan tegangan rms phasa ke phasa tertinggi dari sistem dalam keadaan tidak ada gangguan. Untuk menentukan tegangan puncak (V_{rms}) antar phasa dengan ground digunakan substitusi dari hasil persamaan (4-4), dimana :

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (4-5)$$
$$= \frac{22}{\sqrt{2}}$$
$$= 15,5 \text{ KV}$$

Dari persamaan (4-5) diperoleh persamaan untuk tegangan phasa dengan ground pada sistem 3 phasa didapatkan persamaan (4-6), dimana tegangan nominal system (V_m) adalah :

$$V_{m(L-G)} = \frac{V_{rms} \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (4-6)$$
$$= \frac{15,5 \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$
$$= 12,6 \text{ KV}$$

Dan dari persamaan (4-6), dengan (4-5) didapat :

$$\text{Koefisiensi pentanahan} = \frac{12,6}{15,5} = 0,82$$

Keterangan :

V_{rms} = Tegangan puncak antara phasa dengan ground (KV)

V_m = Tegangan nominal sistem (KV)

- Tegangan Pelepasan Arrester

Tegangan kerja penangkap petir akan naik dengan naiknya arus pelepasan, tetapi kenaikan ini sangat dibatasi oleh tahanan linier dari penangkap petir. Tegangan yang sampai pada arrester :

$$E = \frac{e}{K.e.x} \dots\dots\dots(4-7)$$

$$E = \frac{400KV}{0,0006 \times 5Km}$$

$$= 133,3 KV$$

- Arus Pelepasan Nominal (Nominal Discharge Current)

$$I = \frac{2e - E_0}{Z \div R}$$

Z adalah impedansi saluran yang dianggap diabaikan karena jarak perambatan sambaran tidak melebihi 10 Km dalam arti jarak antara GGT yang satu dengan GGT yang lain bejarak antara 8 Km sampai 10 Km. (SPLN 52-3,1983:11)

$$R = \frac{\text{tegangan kejut impuls 100\%}}{\text{arus pemuat}} \dots\dots\dots(4-8)$$

$$= \frac{105KV}{2,5KA} = 42 \Omega$$

Dari persamaan (4-7) dengan persamaan (4-8) didapat arus pelepasan nominal

$$I = \frac{2 \times 400KV - 133,3KV}{0 + 42\Omega} = 15,8 \text{ KA}$$

- Pemilihan tingka isolasi dasar (BIL)

Harga puncak surja petir yang masuk ke pembangkit datang dari saluran yang dibatasi oleh BIL saluran. Dengan mengingat variasi tegangan flashover dan probabilitas tembus isolator, maka 20% untuk factor keamanannya, sehingga harga E adalah :

$$E = 1,2 \text{ BIL saluran}$$

$$E = 1,2 \times 125 \text{ KV}$$

$$E = 150 \text{ KV}$$

Basic Impuls Isulation Level (BIL) level yang dinyatakan dalam Impulse crest voltage (tegangan puncak impuls) dengan standart suatu gelombang 1,2/50 μ s. Sehingga isolasi dari peralatan-peralatan listrik harus mempunyai kaateristik ketahanan impuls sama atau lebih tinggi dari BIL tersebut arrester yang sama dengan BIL transformator yaitu 125 KV.

- Margin Perlindungan Arrester

Untuk menghitung dari margin perlindungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$MP = (BIL / KIA - 1) \times 100\%$$

$$MP = (125 \text{ KV} / 133,3 - 1) \times 100\%$$

$$= 94,5\%$$

Keterangan :

MP = Margin perlindungan (%)

KIA = Tegangan pelepasan arrester (KV)

BIL = Tingkat isolasi dasar (KV)

Berdasarkan rumus diatas ditentukan tingkat perlindungan untuk trafo daya, Kriteria yang berlaku untuk $MP > 20\%$ dianggap cukup untuk melindungi transformator.

- **Jarak Pelepasan Arrester Dengan Pelepasan**

Penempatan arrester yang baik adalah menempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi. Jarak arrester dengan peralatan yang dilindungi digunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_p = e_a + \frac{2 \times A \times x}{v} \dots\dots\dots(4-10)$$

$$125 = 133,3 \text{ KV} + \frac{2 \times 4000 \text{KV} / \mu\text{s} \times x}{300 \text{m} / \mu\text{s}}$$

$$8,3 = 26,6 x$$

$$X = 0,31 \text{ m}$$

Jadi jarak arester sejauh 31 cm dari ranformator yang dilindungi untuk tanformator tiang. Namun diwilayah malang juga terdapat penempatan transformator di permukaan tanah dengan menggunakan kabel tanah. Transformator tersebut berada pada tempat terpisah dengan pengaman arresternya. Transformator diletakan diatas tanah dan terhubung dengan arrester yang tetap diletakkan diatas tiang melalui kabel tanah.

Pengujian Arrester

Arrester yang dipasang untuk melindungi transformator haruslah dalam keadaan baik. Untuk itu diperlukan pengujian terlebih dahulu sebelum arrester dipasang. Arrester pada dasarnya mampu menghambat tegangan 1 Volt dengan tahanan 1000 ohm. Untuk menghambat tegangan sebesar 20 KV, maka diperlukan tahanan sebesar 20 M Ω . Prinsip inilah yang mendasari cara pengujian tegangan tembus arrester. Pengujian arrester yang dilakukan oleh pihak PLN menggunakan alat yang dinamakan megger.

Megger adalah sebuah alat pendeteksi hubungan yang dioperasikan dalam keadaan tidak bertegangan dengan cara menghubungkan kedua ujung arrester yang tidak bertegangan dengan kedua ujung terminal megger. Untuk pengujian arrester pihak PLN menggunakan skala Volt yaitu 5000 V. Megger menunjukkan nilai tak terhingga (∞) untuk arrester yang kondisinya baik, dan akan menunjukkan nilai nol apalagi arrester tersebut rusak atau terjadi tembus tegangan.

Arrester akan aman dari tegangan tembus apabila tegangan petir yang menyambar masih dalam batas BIL arrester yang digunakan. Berikut ini adalah klasifikasi tegangan impuls yang bisa dianggap aman ataupun tidak aman oleh arrester.

Tabel 4.3 Batas Aman Arrester

Impuls petir (KV)	BIL arrester (150 KV)	BIL trafo (125 KV)	Kondisi	Keterangan
120 KV	<150 KV	<125 KV	Aman	Tegangan masih dibawah rating transformator maupun arrester
125 KV	<150 KV	= 125 KV	Aman	Tegangan masih memenuhi batasan keduanya
130 KV	<150 KV	>125 KV	Aman	Tegangan lebih diterima arrester dan dialirkan ke tanah
150 KV	= 150 KV	>125 KV	Aman	Masih memenuhi batas tegangan tertinggi yang bisa diterima arrester
200 KV	>150 KV	>125 KV	Tidak aman	Arrester rusak, transformator rusak

4.2.3 Kawat Tanah

Kawat tanah atau kawat perisai (shielding wire) dipasang pada ujung tiang sepanjang jaringan tegangan menengah 20 KV dan pada beberapa tiang. Mulanya kawat tanah ini dimaksudkan sebagai pelindung terhadap pukulan langsung sambaran kilat terhadap kawat distribusi, dan pemasangan kawat tanah diketanahkan sehingga diharap tegangan surja yang melewati kawat tanah tersebut akan dapat langsung dialirkan ketanah. Pentanahan kawat pada tiang listrik di area malang ini umumnya

menggunakan sistem pasak atau batang pentanahan karena sistem ini dapat mencegah gelombang petir tersebut melalui permukaan isolator. Untuk mendapatkan perisaian atau perlindungan yang baik kedudukan kawat tanah harus memenuhi beberapa persyaratan yang penting yaitu :

- a. Jarak kawat tanah di atas kawat fasa diatur sedemikian rupa agar dapat mencegah sambaran langsung pada kawat – kawat fasa.
- b. Pada tengah gawang (mid span) kawat tanah harus mempunyai jarak yang cukup di atas kawat fasa untuk mencegah terjadinya lompatan api samping (side flashover) selama waktu yang diperlukan untuk gelombang pantulan negative dari menara kembali ke tengah gawang, dan ini akan mengurangi tegangan pada tengah gawang.
- c. Tahanan kaki tiang harus cukup rendah untuk membatasi tegangan pada isolator agar tidak terjadi lompatan api pada isolator.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang terdapat pada bab IV, maka dapat disimpulkan bahwa :

- Kerusakan trafo akibat sambaran petir pada periode Oktober 2005 – September 2006 lebih banyak terjadi pada bulan November, Desember dan Januari. Hal ini menunjukkan bahwa antara frekuensi tegangan impuls dan jumlah kerusakan trafo yang terjadi di area Malang mempunyai hubungan yang saling berkaitan. Semakin banyak jumlah petir yang menyambar transformator maka akan semakin banyak pula trafo yang rusak karenanya. Kenaikan frekuensi tegangan impuls tidak selalu sebanding dengan kenaikan jumlah kerusakan transformator.
- Sambaran petir dapat menyebabkan kerusakan pada transformator distribusi diantaranya adalah kerusakan pada keadaan fisik trafo, kerusakan pada lilitan transformator (tembus tegangan), kerusakan lapisan isolasi, dan juga berubahnya tegangan keluaran, bahkan bisa mengurangi umur dari trafo tersebut untuk beroperasi.
- Untuk mengatasi gangguan pada transformator distribusi 20 KV, digunakan arrester dan kawat tanah, kedua alat ini adalah peralatan yang digunakan dan didesain khusus untuk melindungi peralatan jaringan dari sambaran petir khususnya transformator distribusi 20 KV. Adapun penempatan arrester dipasang pada tiang baik untuk transformator yang dipasang di udara maupun trafo yang dipasang di permukaan tanah.

- **Arrester bermanfaat untuk memotong tegangan lebih yang melebihi tegangan nominal transformator menjadi tegangan teraan (28 KV untuk tipe arrester yang di gunakan di area Malang) yang mampu diterima oleh belitan transformator. Sedangkan kawat tanah berfungsi untuk mengalirkan tegangan lebih ke tanah, sehingga tegangan lebih tidak mengenai transformator distribusi 20 KV.**

5.2 Saran - saran

- **Faktor pertama yang penting adalah bahwa pemasangan trafo yang baik di instalasi listrik harus dilengkapi dengan system pengaman yang baik pula. Selain itu trafo yang dipesan untuk dipakai haruslah sesuai dengan spesifikasi yang tepat untuk tujuan pemakaian yang tepat.**
- **Pemasangan arrester yang baik adalah di sisi JTM yaitu pada sisi tegangan 20 KV, dan pentanahan peralatan harus dipasang secara baik, selain itu perlu dilakukan pemeriksaan ulang dalam periode waktu – waktu tertentu secara berkala.**

DAFTAR PUSTAKA

- **Arismunandar, Artono. 1984. *Teknik Tegangan tinggi*. Jakarta : PT. Pradnya paramita.**
- **Hutauruk, T.S. 1991. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta :Erlangga.**
- **M. SC, Hermagasantos. 1994. *Teknik tegangan Tinggi*. Jakarta : PT. Rosda Jaya Putra.**
- **Pusat Pendidikan Latihan. 2003. *Materi Pelajaran teknologi jaringan Distribusi*. Pandaan : PT. PLN (PERSERO) UDIKLAT PANDAAN.**
- **Standart Listrik Indonesia (SLI 1998 : 117). 2002. *Instalasi Tegangan Menengah***
- **Zuhal, 1991. *Dasar Tenaga Listrik*. ITB Bandung**



Lembar Asistensi Bimbingan Tugas Akhir

Nama : Umar Firdaus
NIM : 0352027
Waktu Bimbingan :
Judul : Study Evaluasi Pengaruh Tegangan Impuls terhadap transformator distribusi 20 KV

No	Tanggal	Materi	Paraf
1	28/12 06	Konsultasi latar blk & isi	
2	12/01 07	Konseultasi bab I, II & III	
3	14/01 07	Revisi bab III & II	
4	22/01 07	Konsultasi bab IV	
5	30/01 07	Revisi bab IV	
6	13/02 07	Konsultasi bab V	
7	15/02 07	acc bab V	
8	07/03 07	acc ujian	

Dosen Pembimbing

(Ir. Teguh Herbasuki, MT)



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
 JURUSAN TEKNIK ENERGI LISTRIK DIII
 KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

LEMBAR PERBAIKAN TUGAS AKTI

Nama : Umur Firdaus
 NIM : 052027
 JURUSAN : T.ELEKTRO D III
 KONSENTRASI : T.ENERGI LISTRIK
 HARI / TANGGA : RABU, 21 MARET 2007

Nama
 NIM
 JURUSAN
 KONSENTRASI
 Judul TA

NO	Materi Perbaikan	Paraf
1	Vm L-G) dari mana ?	<i>[Signature]</i>
2	Rumus rugi - rugi histerisis dan	<i>[Signature]</i>
3	Rumus - rumus dibuat pers?	<i>[Signature]</i>

Di Pertahankan Di Hadapa
 Pada :
 Hari : RABU
 Tanggal : 21 Maret 2007
 Dengan Nilai : 77,50 (B+) b

Penguji I

[Signature]
 (Ir. Djojo Priatmono, MT)

(Ir. Yuni)

Panitia Ujian t



[Signature]
 (Ir. Mochtar Asroni, MSME)

(Ir. H.)

Anggota Penguji

Pertama

Kedu

[Signature]
 (Ir. Yuniior Siahaan)

[Signature]
 (Ir. Djojo Priatmono, MT)





**BERITA ACARA UJIAN TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Umar Firdaus
NIM : 03.52.027
JURUSAN : T.ELEKTRO D III
KONSENTRASI : T.ENERGI LISTRIK
Judul TA : Study Evaluasi Pengaruh tegangan Impuls Petir Pada
Transformator Distribusi 20KV

Di Pertahankan Di Hadapan Team Penguji Tugas Akhir Jenjang Diploma (D III)
Pada :

Hari : RABU
Tanggal : 21 Maret 2007
Dengan Nilai : 77,50 (B+)^b



(Ir. Mochtar Asroni, MSME)

Panitia Ujian tugas Akhir

Sekretaris

(Ir. H. Choirul Saleh, MT)

Anggota Penguji

Pertama

Kedua

(Ir. Yuniur Siahaan)

(Ir. Djojo Priatmono, MT)