

**PENENTUAN KINERJA ARRESTER PADA JARINGAN TEGANGAN
MENENGAH 20 KV AKIBAT *STRAY CAPACITANCE* DENGAN
MENGUNAKAN SIMULASI EMTF**

***DETERMINATION OF ARRESTER PERFORMANCE ON MEDIUM VOLTAGE
CIRCUITRY 20 KV AS THE RESULT OF CAPACITANCE BY USING EMTF
SIMULATION***

ARIS SAMPE



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2012

**PENENTUAN KINERJA ARRESTER PADA JARINGAN TEGANGAN
MENENGAH 20 KV AKIBAT *STRAY CAPACITANCE* DENGAN
MENGUNAKAN SIMULASI EMTF**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

ARIS SAMPE

Kepada

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2012

TESIS

**PENENTUAN KINERJA ARRESTER PADA JARINGAN TEGANGAN
MENENGAH 20 KV AKIBAT *STRAY CAPACITANCE* DENGAN
MENGUNAKAN SIMULASI EMTF**

Disusun dan diajukan oleh

ARIS SAMPE

Nomor Pokok P2700210022)

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

Pada tanggal, 8 Agustus 2012

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

Prof. Dr. Ir. H. Nadjamuddin Harun, MS
Ketua

Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT
Anggota

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT.

Prof. Dr. Ir. Mursalim

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aris Sampe
Nomor Mahasiswa : P2700210022
Program Studi : TeknikElektro

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2012
Yang menyatakan

Aris Sampe

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa dengan selesainya tesis ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan penelitian banyak mengalami hambatan, rintangan dan halangan. Namun semua ini berkat Tuhan dan berkat bantuan, motivasi dan doa dari berbagai pihak hal ini dapat teratasi dengan baik.

Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Nadjamuddin Harun, MS** sebagai Ketua Komisi Penasehat dan Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT** sebagai Anggota Komisi Penasehat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan penelitian ini, pelaksanaan penelitian sampai dengan penulisan tesis ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT** selaku Ketua Program Studi Elektro Pascasarjana dan Bapak **Dr. Ir. H. Andani Ahmad, MT** selaku Ketua Jurusan Elektro Fakultas Teknik beserta staf jurusan yang telah membantu dalam pengurusan hingga selesainya tesis ini. Dan juga kepada pihak PT.PLN (Persero) Cabang Makassar yang telah banyak membantu dalam rangka pengumpulan data dan informasi.

Serta Penghargaan dan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua saya yakni **Bapak M.S Sampe (Alm)** dan **Ibu Agustina Sule (Alm)** yang telah melahirkan dan membesarkan dengan penuh kasih sayang serta Kakak dan adiku yang turut memberi semangat sejak awal menempuh pendidikan. Dan istri tercinta **Yulita Tulak** yang selalu mendukung sejak awal menempuh pendidikan, penyusunan tesis sampai selesainya tesis ini dan kedua

anakku yang tercinta yaitu **Aurel dan Bian** yang menjadi sumber inspirasi saya. Kemudian ucapan rasa terima kasih kepada semua mahasiswa terutama rekan-rekan Pascasarjana Teknik Elektro angkatan 2010 khususnya konsentrasi teknik energi dan orang-orang yang tak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari pembaca demi kesempurnaan.

Makassar, Agustus 2012

Penulis

ABSTRAK

Aris Sampe. *Penentuan Kinerja Arrester Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Akibat Stray capacitance Dengan Menggunakan Simulasi EMTP* (dibimbing oleh: **H. Nadjamuddin Harun** dan **H.Salama Manjang**).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan bagaimana pengaruh kinerja arrester tanpa adanya *stray capacitance* pada jaringan tegangan menengah 20 kV dan bagaimana pengaruh kecepatan kinerja arrester akibat adanya *stray capacitance* pada jaringan tegangan menengah 20 kV.

Untuk pemodelan dalam menganalisis kemampuan arrester dengan menggunakan perangkat lunak EMTP. Simulasi yang dilakukan adalah untuk menganalisa efek *stray capacitance* yang timbul pada arrester terhadap kinerja arrester 20 kV. Hasil perhitungan didapatkan nilai *stray capacitance* dari arrester tersebut sebesar 71.92 pF. Dari hasil perhitungan tersebut akan digunakan untuk mensimulasikan kinerja arrester.

Dengan menggunakan perangkat lunak *Electromagnetic Transients Program* (EMTP) menunjukkan bahwa *stray capacitance* tersebut berpengaruh pada kecepatan arrester dalam meredam gangguan yang terjadi. Akan tetapi, kejadian tersebut tidak berpengaruh terhadap besarnya tegangan sisa yang dihasilkan, dengan didapatkan besarnya nilai error yang terjadi akibat adanya *stray capacitance* untuk gangguan petir sebesar 20 kA dengan nilai antara 1,64 % sampai 10,29 %, sedangkan untuk gangguan petir sebesar 40 kA dengan nilai antara 1,48 % sampai dengan 9,64 %.

Kata kunci : *Penangkal Petir, Jaringan Tegangan Menengah 20 kV, Stray Capacitance, Electromagnetic Transients Program (EMTP).*

ABSTRACT

Aris Sampe. *Determination of Arrester Performance on Medium Voltage Circuitry 20 kV as the Result of Capacitance by Using EMTP Simulation* (supervised by H. Nadjamuddin Harun dan H. Salama Manjang).

The research aimed at determining to what extent the impact of the arrester performance without any stray capacitance on the medium voltage circuitry 20 kV and to what extent the impact of the arrester performance speed as the result of stray capacitance existence on the medium voltage circuitry 20 kV.

The modeling in analyzing the arrester capability used EMTP software. The simulation conducted was to analyse the effect of the stray capacitance which was emerged on the arrester towards the arrester performance 20 kV. From the result of the calculation, it is obtained the stray capacitance value of the arrester as many as 71.92 pF. The result the calculation would be used to simulate the arrester performance.

Using the Electromagnetic Transients Program (EMTP) software indicates that the stray capacitance has the impact on the arrester speed in reducing the disturbance occurring. However, the incident does not influence the magnitude of the residual circuitry generated, by obtaining the magnitude the error value occurring is the result of the stray capacitance existence of 20 kA the lightning interference with the value between 1,64 % and 10,29 %, whereas the lightning disturbance of 40 kA the value is between 1,48 % and 9,64 %

Key-words : *Lightning Arrester, 20 kV Medium Voltage Circuitry, Stray Capacitance, Electromagnetic Transients Program (EMTP).*

DAFTAR ISI

PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
v	
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4

D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Penelitian	4
II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Petir	6
a.1 Fenomena petir	6
a.2 Proses terjadinya petir	9
a.3 Efek yang diakibatkan oleh sambaran petir	14
a.3.1 Efek akibat sambaran langsung	16
a.3.2 Efek akibat sambaran tidak langsung	17
a.4 Perlindungan terhadap sambaran petir	18
B. Arrestor	20
b.1. Karakteristik arrestor	24

b.2. Jenis-jenis arrester	27
b.3. Pemilihan arrester	30
b.4. Tingkat isolasi dasar	31
b.5. <i>Stray capacitance</i> pada arrester	33
C. Simulasi Menggunakan EMTP	36
c.1. Modul terintegrasi program ATP	36
c.2. Kemampuan program ATP	37
c.3. Menu dasar ATP-EMTP	39
c.4. Pemodelan menggunakan EMTP	40
III. METODE PENELITIAN	41
A. Jenis penelitian	41
B. Lokasi dan waktu penelitian	41

C. Metode pengumpulan data	41
D. Objek penelitian	42
E. Alat yang digunakan	42
F. Teknik analisis	42
G. Prosedur simulasai	44
IV. SIMULASI DAN ANALISA	45
A. <i>Stray capacitance</i> pada arrester	45
B. Simulasi kinerja arrester tanpa adanya <i>stray capacitance</i>	48
C. Simulasi kinerja arrester dengan adanya <i>stray capacitance</i>	49
D. Pengaruh <i>stray capacitance</i> pada kinerja arrester pada peyulang Pelindo	50
d.1 Kinerja arrester untuk petir 20 kA	50
d.1.1 Model petir dengan bentuk surja tipikal (1,2/50 μ s)	51

d.1.2	Model petir dengan front time pendek (1/4 μ s)	52
d.1.3	Model petir dengan front time seadng (8/20 μ s)	54
d.1.4	Model petir dengan front time panjang (30/60 μ s)	56
d.2	Kinerja arrester untuk petir 40 kA	58
d.2.1	Model petir dengan bentuk surja tipikal (1,2/50 μ s)	59
d.2.2	Model petir dengan front time pendek (1/4 μ s)	60
d.2.3	Model petir dengan front time seadng (8/20 μ s)	62
d.2.4	Model petir dengan front time panjang (30/60 μ s)	64
E.	Pengaruh <i>stray capacitance</i> pada kinerja arrester pada peyulang Andalas	70
e.1.1	Model Petir Dengan Bentuk Surja Tipikal (1,2/50 μ s) untuk gangguan petir	20
e.1.2	Model Petir Dengan Bentuk Surja Tipikal (1,2/50 μ s) untuk gangguan petir 40 kA	74

V. KESIMPULAN DAN SARAN

	81
A. Kesimpulan	81

B. Saran

82

DAFTAR PUSTAKA

83

LAMPIRAN

85

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
Tabel 2.1	TID (BIL Peralatan sistem yang ditanahkan)	31
Tabel 2.2	Penetapan tingkat isolasi dasar dan penangkal petir	32
Tabel 2.3	Gambar komponen yang dipakai dalam simulasi	40
Tabel 4.1	Besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA peyulang Pelindo	67
Tabel 4.2	Besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA.	68
Tabel 4.3	Persentase error arrester 24 kV	69
Tabel 4.4	Besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA peyulang Andalas	74
Tabel 4.5	Besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA pada peyulang Andalas	78

DAFTAR GAMBAR

Nomor		halaman
Gambar 2.1.	Petir	7
Gambar 2.2	Proses terjadinya petir	13
Gambar 2.3	Macam sambaran petir	14

Gambar 2.4	Bentuk gelombang petir	17
Gambar 2.5	Lightning arrester	21
Gambar 2.6.	Penampang arrester	22
Gambar 2.7.	Posisi arrester pada trafo distribusi	24
Gambar 2.8.	Karakteristik tegangan gagal sela arrester	26
Gambar 2.9	Pengaruh arrester terhadap surja tegangan	26
Gambar 2.10	Arrester jenis ekspulsi	28
Gambar 2.11.	Arrester jenis katup	29
Gambar 2.12	<i>Stray capacitance</i> pada arrester	34
Gambar 2.13	Komponen simulasi EMTP	39
Gambar 3.1	Diagram alur simulasi	44
Gambar 4.1	EXLIM-P surge arrester produk ABB	45
Gambar 4.2	Dimensi surge arrester	47
Gambar 4.3	Model rangkaian arrester pada jaringan tegangan menengah tanpa adanya <i>stray capacitance</i> pada arrester	49
Gambar 4.4	Model rangkaian arrester pada Jaringan Tegangan Menengah dengan adanya <i>stray capacitance</i> pada arrester	50
Gambar 4.5	Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 20 kA (1.2/50 μ s)	51
Gambar 4.6	Teganga fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (1,2/50 μ s).	51

Gambar 4.7	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (1,2/50 μ s)	52
Gambar 4.8	Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 20 kA (1/4 μ s)	53
Gambar 4.9	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (1/4 μ s)	53
Gambar 4.10	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (1/4 μ s)	54
Gambar 4.11	Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang Arrester untuk petir 20 kA (8/20 μ s).	55
Gambar 4.12	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang Arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (8/20 μ s).	55
Gambar 4.13	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang Arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (8/20 μ s).	56
Gambar 4.14	Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 20 kA (30/60 μ s)	57
Gambar 4.15	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (30/60 μ s)	57

Gambar 4.16	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (30/60 μ s)	58
Gambar 4.17	Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)	59
Gambar 4.18	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)	59
Gambar 4.19	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)	60
Gambar 4.20	Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA (1/4 μ s)	61
Gambar 4.21	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (1/4 μ s)	61
Gambar 4.22	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (1/4 μ s)	62
Gambar 4.23	Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA (8/20 μ s)	63
Gambar 4.24	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (8/20 μ s)	63

Gambar 4.25	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (8/20 μ s)	64
Gambar 4.26	Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA (30/60 μ s)	65
Gambar 4.27	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (30/60 μ s)	65
Gambar 4.28	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (30/60 μ s)	66
Gambar 4.29	Grafik besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA	67
Gambar 4.30	Grafik besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA	68
Gambar 4.31	Gambar 4.31. Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 20 kA (1.2/50 μ s)	71
Gambar 4.32	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (1,2/50 μ s).	72
Gambar 4.33	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 20 kA (1,2/50 μ s)	72

Gambar 4.34	Grafik besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA	73
Gambar 4.35	Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)	75
Gambar 4.36	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)	75
Gambar 4.37	Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)	76
Gambar 4.38	Grafik besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA	77
Gambar 4.39	Grafik perbandingan besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk peyulang Pelindo dan peyulang Andalas	78
Gambar 4.40	Grafik perbandingan besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA dengan efek <i>stray capacitance</i> pada peyulang Pelindo dan peyulang Andalas	79
Gambar 4.41	Grafik perbandingan besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA tanpa efek <i>stray capacitance</i> untuk peyulang Pelindo dan peyulang Andalas	79

Gambar 4.42 Grafik perbandingan besar tegangan pada phasa A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA dengan efek *stray capacitance* pada peyulang Pelindo dan peyulang Andalas

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang mudah dalam penyaluran dan pemanfaatannya. Energi listrik dapat dengan mudah diubah ke dalam bentuk energi lain, sehingga kebutuhan energi listrik dalam kehidupan sekarang ini sudah merupakan suatu keharusan dan tuntutan hidup manusia.

Sejalan dengan kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, maka diperlukan suatu sistem tenaga listrik yang dapat bekerja secara optimal. Oleh karena itu berkembangnya teknologi dan kehidupan manusia memungkinkan penggunaan tenaga listrik mengalami peningkatan yang sangat pesat, dengan demikian pembangkitan tenaga listrik sangat perlu diupayakan untuk memenuhi kebutuhan.

Pada sistem penyaluran tenaga listrik, saluran distribusi 20 KV merupakan bagian yang menyalurkan energi listrik pusat-pusat beban. Oleh karena itu, jaringan tersebut harus mempunyai keandalan yang ditinjau dari sisi tegangan dan kontinuitas penyaluran.

Secara geografis Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak di daerah tropis dengan tingkat curah hujan yang cukup tinggi sehingga memiliki intensitas sambaran petir yang cukup tinggi. Pada jaringan tegangan menengah yang melalui daerah dengan potensi sambaran petir yang cukup tinggi, probabilitas terkena sambaran petir juga cukup besar. Untuk penyaluran distribusi saluran udara dianggap lebih efektif dalam penyaluran listrik melalui

darat. Karena itu saluran jaringan tegangan menengah di Indonesia, tingkat kemungkinan terkena sambaran petir yang cukup tinggi. Sambaran petir yang mengenai sistem tenaga listrik akan menimbulkan tegangan lebih. Tegangan lebih ini akan membahayakan peralatan apabila dibiarkan mengalir pada sistem dan tersalurkan ke beban. Dengan demikian maka tegangan lebih yang terjadi akibat sambaran petir dapat dipotong dengan arrester sehingga tidak membahayakan peralatan yang terhubung dengannya.

Oleh karena itu, pemasangan arester pada dasarnya bertujuan untuk meningkatkan upaya perlindungan terhadap tegangan lebih akibat sambaran petir. Dimana arester memiliki kemampuan mengamankan peralatan listrik dari gangguan surja petir. Alat pengaman ini memiliki nilai tahanan yang tidak linier pada setiap tingkat tegangan dan arus.

Studi terhadap kinerja arrester sistem distribusi 20 kV telah banyak dilakukan oleh para peneliti dengan metode yang beragam dalam melakukan analisis lebih menarik dan dapat memberikan pengertian yang mendalam tentang permasalahan ini.

Liliyana Nilawati S (2004) mensimulasikan induksi sambaran petir dan kinerja arrester pada jaringan tegangan menengah 20 kV dalam menggunakan EMTP dalam mengatasi gangguan jaringan pada penyulang 1 Gardu Induk Mojosongo Boyolali.

Hendri Kijoyo (2006) menganalisis kinerja arrester tegangan tinggi 150 kV pada GIS Tandus terhadap gangguan impuls petir hubung menggunakan metode *Power System Computer Aided Design*

Herdian Abdi dan Fajriwati Alam (2012) menganalisa kinerja arrester tentang bagaimana memproteksi peralatan pada saluran distribusi dan

menentukan jarak arrester dengan peralatan yang terdapat pada saluran distribusi 20 kV.

Untuk itu dalam penelitian ini akan membahas tentang kinerja arrester pada jaringan tegangan menengah 20 kV akibat *stray capacitance* dengan simulasi EMTP.

Berkaitan dengan hal tersebut di atas, penulis melakukan penelitian dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Ilmu Teknik / Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Hasanuddin melalui kajian ” ***Penentuan Kinerja Arrester Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Akibat Stray capacitance Dengan Menggunakan Simulasi EMTP***”.

B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, dapat dibuat suatu rumusan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kinerja arrester tanpa adanya *stray capacitance* pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV
2. Bagaimana pengaruh kinerja arrester akibat *stray capacitance* pada jaringan tegangan menengah 20 kV.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Untuk menentukan bagaimana pengaruh kinerja arrester tanpa adanya *stray capacitance* pada jaringan tegangan menengah 20 kV

2. Untuk menentukan bagaimana pengaruh kecepatan kinerja arrester akibat adanya *stray capacitance* pada jaringan tegangan menengah 20 kV.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat di ambil dari penelitian ini adalah :

1. Dapat menambah wawasan dalam hal bagaimana cara pengamanan jaringan terhadap sambaran petir.
2. Meningkatkan penguasaan IPTEK di bidang performa perlindungan petir pada saluran distribusi bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

E. Batasan Penelitian

Penelitian ini membahas tentang kinerja arrester pada jaringan tegangan menengah 20 kV akibat *stray capacitance* mempunyai batasan penelitian sebagai berikut :

1. Arrester yang digunakan adalah jenis arrester 20 kV pada penyulang Pelindo.
2. Software yang digunakan pada simulasi ini adalah EMTP
3. Simulasi dilakukan pada saat terjadi sambaran petir langsung pada jaringan tegangan menengah 20 kV.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Peristiwa Petir

Petir merupakan peristiwa alam mengenai muatan listrik dan pelepasan listrik elektrostatik antara awan bermuatan dengan awan dan antara awan bermuatan dengan bumi.

Pada dasarnya Indonesia terletak di negara tropis yang sangat panas dan lembab. Kedua faktor ini sangat penting dalam pembentukan awan cumulonimbus penghasil petir. Dalam meteorologi, secara umum di daerah tropis terbentuk siklon tropis (atau hurikan angin puyuh, badai tropis, taufan, atau angin ribut tergantung pada daerah dan kekuatannya). Siklon tropis adalah bagian penting dari sistem sirkulasi atmosfer, yang memindahkan panas dari daerah khatulistiwa menuju garis lintang yang lebih tinggi. Daerah pertumbuhan siklon tropis paling subur di dunia adalah Samudra Hindia dan perairan barat Australia. Berdasarkan strukturnya, siklon tropis adalah daerah raksasa aktivitas awan, angin dan badai petir yang berkisar. Sumber energi primer sebuah siklon tropis adalah pelepasan panas kondensasi/pengembunan dari uap air yang mengembang pada ketinggian. Oleh sebab itu, siklon tropis bisa ditafsirkan sebagai mesin bara cacak raksasa.

a.1. Fenomena petir

Peristiwa sambaran petir adalah suatu fenomena listrik alam. Hal ini barulah diyakini kebenarannya pada tahun 1749 berkaitan penelitian yang dilakukan oleh seorang ilmuwan yang bernama Benjamin Franklin. Petir merupakan kejadian alam dimana terjadi loncatan muatan listrik antara awan

dengan bumi. Loncatan muatan listrik tersebut diawali dengan mengumpulnya uap air di dalam awan. Ketinggian antara permukaan atas dan permukaan bawah pada awan dapat mencapai jarak sekitar 8 km dengan temperatur bagian bawah sekitar 60°F dan temperatur bagian atas sekitar -60°F . Akibatnya di daerah awan tersebut akan terjadi kristal-kristal es. Karena didalam awan terdapat angin ke segala arah, maka kristal-kristal es tersebut akan saling bertumbukan dan bergesekan sehingga terpisahkan antara muatan positif dan muatan negatif. Pemisahan muatan inilah yang menjadi sebab utama terjadinya sambaran petir (Zoro, 2005).



Pelepasan muatan listrik antara awan dengan awan, dan antara awan dengan bumi tergantung dari kemampuan udara dalam menahan beda potensial yang terjadi. Petir yang kita kenal sekarang ini terjadi akibat awan dengan muatan tertentu menginduksi muatan yang ada di bumi. Bila muatan di dalam awan bertambah besar, maka muatan induksi pun makin besar pula sehingga beda potensial antara awan dengan bumi juga makin besar. Kejadian ini diikuti leader menurun dari awan dan diikuti pula dengan adanya leader menaik dari bumi yang mendekati leader menurun. Pada saat itulah terjadi apa yang dinamakan petir. Petir adalah sebuah cahaya terang berderang yang dihasilkan oleh tenaga listrik alam yang terjadi di antara awan-

awan atau awan ke tanah. Sering kali terjadi bila cuaca mendung atau badai (Zoro, 2005).

Efek dari sambaran petir secara langsung sangat jelas terlihat, mulai dari kerusakan bangunan, kebakaran sampai bahaya kematian bagi manusia. Selain itu pada saat petir menyambar akan ada loncatan muatan listrik ke benda yang bersifat konduktor disekitar pusat hantaman loncatan ini bahkan bisa mengalir kemana-mana hingga puluhan kilometer. Petir merupakan kejadian alam yang selalu melepaskan muatan listriknya ke bumi tanpa dapat dikendalikan dan menyebabkan kerugian harta benda dan manusia. Tak ada yang dapat mengubah situasi ini.

Petir telah banyak mebuat kerugian pada manusia dan kerusakan pada peralatan sejak dulu. Semakin banyaknya pemakaian alat elektronik dan peralatan tegangan rendah saat ini telah meningkatkan jumlah statistik kerugian yang ditimbulkan oleh pengaruh sambaran petir baik langsung maupun tidak langsung. Ditambah Indonesia memiliki hari guruh yang tinggi dengan jumlah sambaran petirnya yang banyak, sehingga kerusakan dan kerugian yang ditimbulkan lebih besar.

Gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir merupakan salah satu penyebab gangguan di saluran distribusi. Gangguan akibat sambaran petir dapat dibagi menjadi dua yaitu permanen dan temporer. Gangguan temporer dapat diatasi dengan recloser dan breaker sedangkan gangguan permanen dapat diatasi dengan pemakian fuses (Syarifuddin, 2005).

a.2. Proses Terjadinya Petir

Petir merupakan kejadian lama yang biasa terjadi ketika hujan badai disertai guntur dan kadang-kadang pada badai salju, badai debu, letusan

gunung berapi, serta pada ledakan nuklir. Kilat yang terjadi ketika hujan badai berasal dari muatan listrik yang timbul dari aliran udara didalam awan. Terjadinya suatu kilat atau petir didahului oleh awan petir yang pada kejadiannya kita kenal dengan thunderstorm (hujan angin ribut disertai petir dan guruh). Suatu kilat pada umumnya selalu berhubungan erat dengan adanya awan kumulonimbus yang berada dari dasar ke atas : “300 sampai 18.999 meter”, dan juga dapat muncul pada awan nimbostratus yang berada dibawah 2500 meter, dan terkadang terdapat dalam emisi gas dan debu akibat erupsi suatu gunung berapi. Selama hujan angin ribut, kilat yang berupa pelepasan muatan dapat terjadi baik antara pusat muatan pada awan yang sama, antara awan yang satu dengan awan yang lain, antara awan dengan udara, dan dari awan ke bumi. Proses pemanasan bumi oleh matahari menyebabkan terjadinya penguapan dan udara panas baik di atas laut maupun daratan, terciptanya udara panas di puncak gunung membawa udara keatas, memuai menjadi dingin, lalu terbentuklah air dalam tahap peralihan yang disebut awan. Udara panas yang naik bertambah dan memperbesar awan tersebut. Butiran air yang terpendam di awan, setiap molekulnya merupakan berkas energi yang ada di atmosfer. “setelah awan mendekati ketinggian 7500 meter, butir air di dalamnya menjadi demikian besar hingga tak tertahan oleh arus naik, dan jatuh sebagai hujan”. Semakin jauh dari permukaan bumi, maka suhu semakin dingin mencapai puluhan minus derajat celsius. Pada ketinggian tertentu ternyata tidak semua udara sarat lembaban terangkat untuk mengeluarkan air dan jatuh, pada kedudukan yang lebih tinggi masih terdapat pembentukan awan. Letak ketinggian inilah yang membantu proses kondensasi yang memperingan udara untuk naik lebih tinggi lagi, dan akhirnya kolom udara yang kini menjadi kepala guntur, telah demikian tinggi

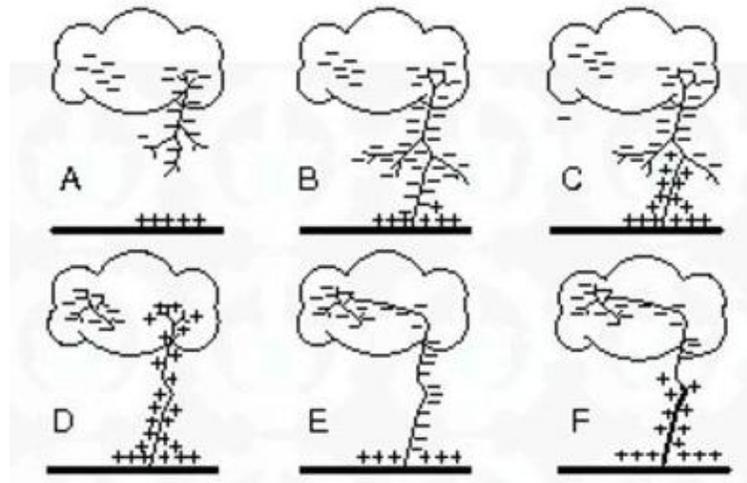
sehingga lembabannya membeku. Aliran dinamik uap air inilah yang menciptakan iklim-iklim yang meliputi dunia dan situasi setempat. Proses demi proses distimulir pula oleh kandungan garam pada uap air menghasilkan es sebagai sumber pemicu hidupnya generator listrik pada atmosfer yang dikenal sebagai badai guntur yang diperkaya oleh kilat.

Terdapat beberapa tingkatan dalam suatu proses pembentukan awan bermuatan, yang dalam hal ini terjadi khususnya di Indonesia yang beratsmosfer udara lembab. Seperti yang kita ketahui bersama bahwa sebagian besar wilayah Indonesia merupakan perairan dan berada di daerah ekuatorial, oleh sebab itu Indonesia merupakan daerah konvektif (peralihan panas yang dibawa partikel-partikel pembentuk awan) yang aktif dalam prosesnya, awan akan diawali pada tingkat kumululus yang makin lama makin tebal oleh karena gaya apung termal keatas pada situasi ini tidak jarang terjadi hujan dan elektrifikasi awan. Selanjutnya awan menjadi makin berbahaya khususnya untuk penerbangan dan dalam kondisi mature (dewasa) banyak terjadi turbulensi, hujan yang lebat, petir dan guruh. Setelah melampaui beberapa proses lama-kelamaan terjadi penurunan kondisi dan berdisipasi. Terjadi dominasi downdraft (arus udara ke bawah), energi yang makin melemah dan aktivitasnya hanya berupa gerimis yang berangsur-angsur berhenti. Awan petir merupakan hasil konsekuensi ketidakstabilan atmosfer bumi. Energi yang dipancarkan matahari menumbuk partikel-partikel udara dan memanaskan lapisan udara bagian bawah yang menyebabkan berkurangnya kerapatan, sehingga atmosfer menjadi tidak stabil oleh gerakan ke atas. Gerakan lapisan udara ke atas akan menurunkan temperatur lapisan udara sehingga pada ketinggian dan temperatur tertentu akan terbentuk uap air. Uap air ini terkondensasi bersama dengan partikel debu di

udara yang membentuk water droplet (titik-titik air) yang terkumpul dalam jumlah besar yang kita sebut dengan awan. Dalam keadaan normal, atmosfer bumi mengandung sejumlah besar ion-ion baik positif maupun negatif yang tersebar secara acak. Ion-ion ini terjadi oleh tumpukan antar atom, pancaran sinar kosmis dan energi termis. Sementara pada cuaca cerah di udara terdapat medan listrik positif dipermukaan bumi. Dalam proses kondensasi, medan listrik tersebut menyebabkan terjadinya polarisasi pada butiran-butiran air yang terdapat dalam awan. Proses terpolarisasinya butiran air karena induksi ini menghasilkan terpisahnya muatan negatif dan muatan positif yang masing-masing terkumpul dibagian atas dan bawah. Di dalam awan juga terjadi pergerakan yang disebut updraft (arus udara ke atas yang membawa butir-butir air dengan berat jenis yang rendah) yang kecepatannya dapat mencapai 26 m/det tetapi pada umumnya hanya dapat mencapai kurang dari separuhnya.

Karena mengalami pendinginan, butiran air ini akan membeku pada ketinggian tertentu. Dimana ketinggian butiran air tersebut dapat mencapai jarak sekitar 8 km – 10 km dengan temperatur bagian bawah sekitar 60 °F dan temperatur bagian atas sekitar -60 °F. Akibatnya didalam awan tersebut akan terjadi kristal-kristal es sehingga akibatnya berat jenis air tersebut membesar dan mengakibatkan adanya gerakan udara ke bawah dengan kecepatan yang cukup tinggi. Oleh karena pergerakan tadi, pada permukaan bagian bawah butiran air timbul gaya tarik terhadap ion negatif yang mempunyai mobilitas rendah, sedangkan yang positif ditolak. Akibatnya butiran air yang terkumpul ini bermuatan negatif. Bergabungnya ion-ion negatif menyebabkan ion-ion positif menjadi dominan. Butiran-butiran air ini yang relatif kecil yang bergerak dengan kecepatan rendah akan lebih besar kemungkinannya menumbuk ion-ion

bermuatan positif, akibatnya butiran air ini akan bermuatan positif. Dengan demikian muatan-muatan listrik yang mula-mula terdistribusi acak dan secara ruangan bersifat netral menjadi terpisah. Butiran-butiran air yang besar akan bermuatan negatif dan oleh beratnya berkumpul di bagian bawah awan, demikian pula butir-butir air yang kecil dan bermuatan positif akan berkumpul di bagian atas awan.



Keterangan :

- A : Pusat-pusat muatan di awan, alir-pandu dan lidah lompat bergerak ke bumi.
- B : Alur pandu dan lidah lompat sampai di bumi, terjadi sambaran pada permukaan bumi.
- C : Sambaran balik, terjadi pelepasan muatan negatif dari awan ke bumi.

D : Pusat muatan pertama sudah dinetralkan, terjadi alur antar pusat muatan dalam awan.

E : Pelepasan muatan antara dua pusat muatan, lidah panah merambat ke bumi melewati alur yang pertama.

F : Sambaran balik kedua, terjadi pelepasan muatan negatif kedua dari awan ke bumi.

Kejadian diatas menimbulkan medan listrik yang intensitasnya semakin besar. Akibatnya gerakan butir-butir air kebawah terhenti karena adanya hambatan. Dengan terjadinya muatan negatif pada bagian bawah awan, maka terjadilah induksi muatan yang berlawanan terhadapnya pada permukaan bumi sehingga bermuatan positif. Peristiwa ini menyebabkan terbentuknya medan listrik antara awan dengan permukaan bumi. Bila medan listrik ini makin besar dan melebihi kekuatan tembus udara, maka terjadilah pelepasan muatan.



1. Awan dengan awan



2. Dalam awan itu sendiri



3. Awan ke udara



4. Awan dengan tanah

a.3. Efek Yang Diakibatkan Oleh Sambaran Petir

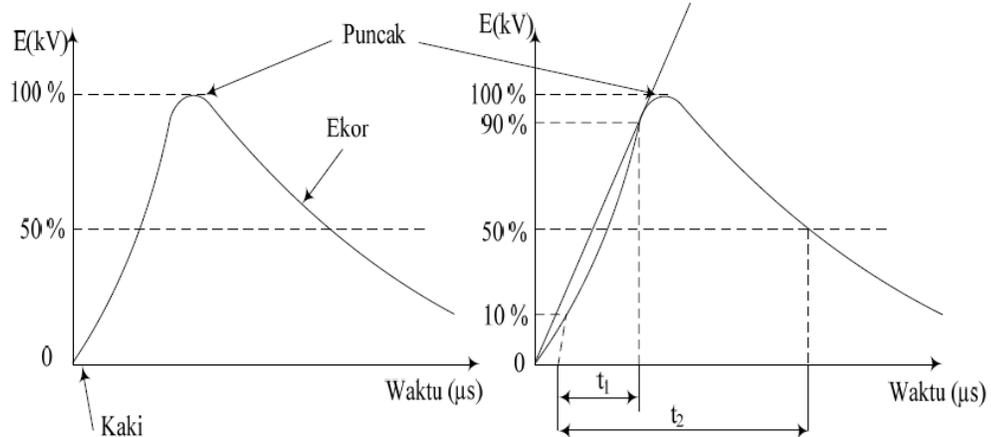
Keadaan alam iklim tropis Indonesia pada umumnya termasuk daerah dengan hari petir yang tinggi setiap tahun. Karena keterbatasan data besarnya

hari petir untuk setiap lokasi di Indonesia, pada saat ini diasumsikan bahwa lokasi-lokasi yang tinggi di atas gunung atau menara yang menonjol ditengah-tengah area yang bebas (sawah, ladang, dll) mempunyai kemungkinan sambaran lebih tinggi daripada tempat-tempat di tengah-tengah kota yang dikelilingi bangunan-bangunan tinggi lainnya. Tempat-tempat dengan tingkat sambaran tinggi (frekwensi maupun intensitasnya) mendapat prioritas pertama untuk penanggulangannya, sedangkan tempat-tempat yang relatif kurang bahaya petirnya mendapat prioritas kedua dengan pemasangan protektor yang lebih sederhana. Lokasi yang mempunyai nilai bisnis tinggi (industri kimia, pemancar TV, Telkom, gedung perkantoran dengan sistim perkantoran dan industri strategis seperti : hankam, pelabuhan udara, dll), memerlukan proteksi yang dilakukan seoptimal mungkin, sedangkan lokasi dengan nilai bisnis rendah mungkin makin sederhana sistem protektor yang akan dipasang. Pemakaian penangkal petir tradisional (eksternal) sudah sangat dikenal sejak dulu untuk melindungi bangunan atau instalasi terhadap sambaran petir. Bagaimana alat pelindung tradisional ini hanya dapat digunakan sebagai pelindung gedung itu sendiri terhadap bahaya kebakaran atau kehancuran, sedangkan induksi tegangan lebih atau arus lebih yang diakibatkan masih belum terserap sepenuhnya oleh penangkal petir tradisional tadi. Induksi inilah yang bahayanya cukup besar terhadap peralatan elektronik yang cukup sensitif dan mahal harganya. Dengan berkembangnya teknologi yang sangat pesat hingga kini, maka pelepasan muatan petir dapat merusak jaringan listrik dan peralatan elektronik yang lebih sensitif. Sambaran petir pada tempat yang jauh sudah mampu merusak sistem elektronika dan peralatannya, seperti instalasi komputer, perangkat telekomunikasi, sistem kontrol, alat-alat pemancar dan instrument

serta peralatan elektronik sensitif lainnya. Untuk mengatasi masalah ini maka perlindungan yang sesuai harus diberikan dan dipasang pada peralatan atau instalasi terhadap bahaya sambaran petir langsung maupun induksinya. Salah satu penyebab semakin tingginya kerusakan peralatan elektronika karena induksi sambaran petir tersebut adalah karena sangat sedikitnya informasi mengenai petir dan masalah yang dapat ditimbulkannya.

a.3.1 Efek Akibat Sambaran Langsung

Kerusakan ini biasanya langsung mudah diketahui sebabnya, karena jelas petir menyambar sebuah gedung dan sekaligus peralatan listrik/elektronik yang ada didalamnya ikut rusak (kemungkinan mengakibatkan kebakaran gedung, PABX, kontrol AC, komputer, alat pemancar, dll. Hancur total). Sambaran petir dari awan langsung ke jaringan menyebabkan tegangan naik dengan cepat pada daerah sambaran. Pada waktu kilat menyambar kawat tanah atau kawat fasa akan timbul arus besar dan gelombang berjalan yang merambat pada kawat. Arus yang besar dapat membahayakan peralatan-peralatan yang ada pada saluran. Makin tinggi tegangan sistem serta tinggi tiangnya, makin banyak pula jumlah sambaran petir ke saluran itu.



Gambar 2.4 Bentuk gelombang petir

Spesifikasi dari suatu gelombang petir :

- Puncak (crest) gelombang E (kV), yaitu amplitude maksimum dari gelombang
- Muka gelombang, t_1 (mikrodetik) yaitu waktu dari permulaan sampai puncak.
- Ekor gelombang, yaitu bagian dibelakang puncak
- Polaritas, yaitu polaritas dari gelombang, positif atau negative.

c.3.2. Efek Akibat Sambaran Tidak Langsung

Kerusakan ini sulit diidentifikasi dengan jelas karena petir yang menyambar pada satu titik lokasi sehingga hantaran induksi melalui aliran listrik/kabel PLN dapat mencapai 1 km dari tempat petir terjadi. Sambaran tidak langsung atau sambaran induksi merupakan sambaran di titik lain yang letaknya jauh tetapi obyek terkena pengaruh dari sambaran sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada obyek tersebut. Sambaran induksi dapat terjadi bila awan petir ada diatas peralatan yang berisolasi. Awan ini akan menginduksikan muatan

listrik dalam jumlah besar dengan polaritas yang berlawanan dengan awan petir itu. Hal ini akan menimbulkan muatan terikat. Bila terjadi pelepasan muatan dari awan petir itu, maka muatan terikat itu kembali bebas dan menjadi gelombang berjalan. Hal inilah yang disebut dengan fenomena transien pada saluran dengan kata lain bila terdapat sebuah petir yang menyambar ke tanah di dekat saluran maka akan terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis di kanal petir. Akibat dari kejadian ini akan timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada sisi kawat saluran distribusi yang berada di dekat sambaran terjadi.

a.4. Perlindungan Terhadap Sambaran Petir

Melihat besarnya efek samping yang dihasilkan oleh petir dan masih minimnya kemampuan kita untuk memanfaatkan energi yang dibawah oleh petir tersebut membuat kita harus melakukan langkah-langkah waspada terhadap sambaran petir, untuk itulah dibuat penangkal petir berikut dengan sistemnya. Yang membuat ini semakin menarik seperti yang telah disinggung diatas, petir selalu menjadi musuh yang selalu berkembang dan susah untuk ditebak, sehingga inovasi untuk sistem pengamanan petir selalu dibuat. Perlindungan terhadap petir telah dikembangkan sejak lama bahkan telah dibuat dalam regulasi internasional. Beberapa regulasi yang mendukung dan mengatur perlindungan sambaran petir antara lain, ITU-T K-56, IYU-T K-55, IEC 61024 series, IEC 62305 series dimana masing-masing mempunyai pendekatan tersendiri tapi pada dasarnya memberikan metode atau standarisasi perlindungan terhadap petir secara menyeluruh. Mulai dari sambaran langsung sampai sambaran tidak langsung, semua telah diatur pengorganisasiannya.

Perlindungan atau proteksi terhadap sambaran petir memang membutuhkan pertimbangan dari segi regulasi standart, ada juga pertimbangan dari segi kebutuhan, biaya dan lain-lain. Yang nantinya akan menentukan tingkat perlindungan yang bagaimana yang dibutuhkan, dan dari situ muncullah kelompok tingkat perlindungan suatu sistem proteksi yaitu :

1. Tingkat perlindungan normal : yaitu perlindungan yang diberikan untuk bangunan-bangunan biasa yang bila terjadi kegagalan perlindungan tidak menyebabkan bahaya beruntun, seperti bangunan pada perumahan, gedung-gedung.
2. Tingkat perlindungan tinggi : perlindungan yang diberikan untuk bangunan-bangunan atau instalasi yang lain jika terjadi kegagalan perlindungan dan berbahaya bagi keselamatan jiwa atau dapat menimbulkan bahaya berantai yang lebih besar. Seperti instalasi eksplosif mudah meledak, bangunan dengan tingkat penggunaan tinggi dan banyak orang didalamnya atau juga instalasi komunikasi penting dan lain-lain.
3. Tingkat perlindungan sangat tinggi ; perlindungan yang diberikan untuk bangunan atau instalasi yang jika terjadi kegagalan perlindungan dapat menyebabkan bahaya berantai yang tidak terkendali, misalnya pada pusat instalasi nuklir.

B. Arrester

Alat pelindung berfungsi melindungi peralatan tenaga listrik dengan cara membatasi surja (surge) tegangan lebih yang datang dan mengalirkan ke tanah. Alat pelindung yang paling bagus adalah arester (lighting arrester kadang-kadang juga disebut surge diverter) (Arismunandar, 1975). Pada intinya arester ini terdiri dari dua unsur : sela bunga api (spark gap) dan tahanan tak linier atau

tahanan katup (valve resistor). Kedua bagian tersebut dihubungkan secara seri. Batas atas dan bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Seringkali persoalan ini dapat dipecahkan hanya dengan menerapkan cara-cara khusus pengatur tegangan (voltage control). Oleh karena itu, sebenarnya arester terdiri dari 3 unsur ; sela api, tahanan kran, dan sistem pengaturan atau sistem tegangan (grading sistem).

Fungsi dari sela api (spark gap) adalah sebagai saklar untuk melakukan surja tegangan lebih melalui arrester, dan segera berfungsi sebagai isolator setelah kembali ke keadaan normal. Dengan menyambungkan sela api ini melalui tahanan diharapkan arus yang terlalu besar dapat ditekan dan bunga api yang timbul dapat dipadamkan. Namun jika tahanan yang digunakan tersebut harganya tetap, maka jatuh tegangan dapat menjadi besar sekali sehingga melebihi tegangan pelepasan arester, tujuannya untuk meniadakan tegangan lebih tidak tercapai, dan akibatnya perlindungan terhadap isolasi mengalami kegagalan pula.



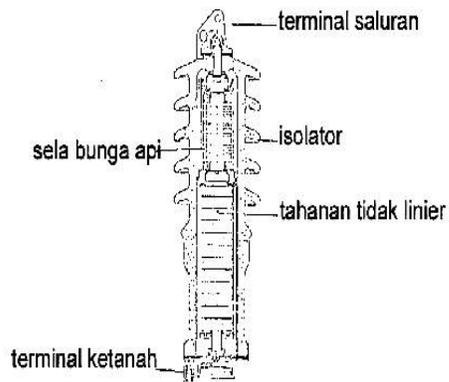
Gambar 2.5 Lightning Arrester “Vickers”

Arrester petir atau disingkat arrester, atau sering juga disebut penangkal petir adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Ia berlaku sebagai jalan pintas (by-pass) sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem 50 Hz. Jadi pada kerja normal arrester itu berlaku sebagai isolator dan bila timbul surja dia berlaku sebagai konduktor, jadi melewatkan arus yang tinggi. Setelah surja hilang arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutusan daya tidak sempat membuka. Berlainan dengan sela batang yang dibicarakan di muka arrester dapat memutuskan susulan tanpa menimbulkan gangguan. Inilah salah satu fungsi penting dari arrester (T. S. Hutahuru). Untuk mencegah hal tersebut diatas, digunakanlah tahanan tidak linier yang mempunyai sifat tahanan mengecil sekali jika tegangan dan arus yang melaluinya besar sekali. Proses pengecilan ini

berlangsung cepat sekali yaitu selama tegangan lebih mencapai tegangan puncaknya. Tegangan lebih dalam hal ini menyebabkan penurunan sangat cepat dari tahanan, sehingga jatuh tegangan dapat dibatasi meskipun arusnya besar.

Tahanan katub memiliki sifat khusus yaitu tahanannya kecil ketika dilewati tegangan dan arus yang besar. Proses pengecilan tahanan berlangsung cepat yaitu selama tegangan lebih mencapai harga puncaknya. Tegangan lebih mengakibatkan nilai tahanan menurun dratis sehingga jatuh tegangan dapat dibatasi meskipun arusnya besar.

Bila tegangan lebih habis dan hanya tersisa tegangan normal maka nilai tahanan akan naik lagi sehingga arus susulan dibatasi 50 Ampere. Arus susulan ini akan dimatikan oleh sela api saat tegangan sistem mencapai nol pertama sehingga alat ini bertindak sebagai sebuah kran susulan yang cukup besar (200 – 300 Ampere) dilakukan dengan bantuan medan magnet (Arismundar, 1975).



Berdasarkan atas

enal 3 kelas arrester

:

1. Tipe Gardu (station type)

Konstruksinya lebih berat, karakteristiknya lebih baik, kapasitas arus pelepasannya lebih tinggi (tidak kurang dari 100.000 ampere, $5 \times 10 \mu s$, dan dipakai untuk melindungi gardu dan trafo tenaga.

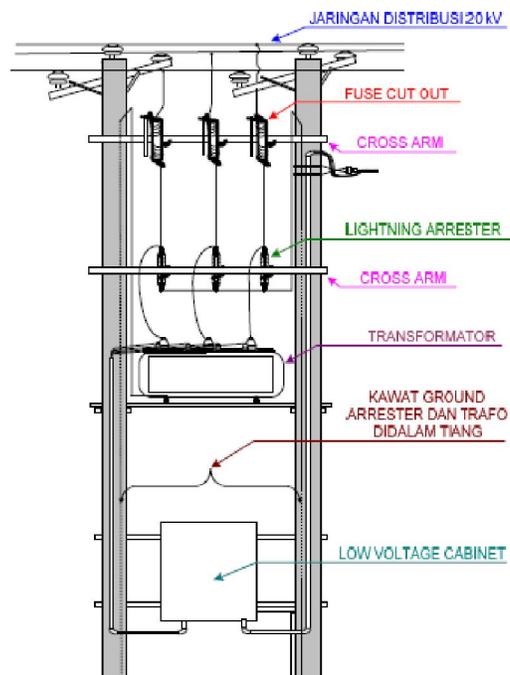
2. Tipe Saluran Transmisi (line type)

Jenis ini dipakai untuk melindungi trafo distribusi, trafo bertenaga kecil, dan kadang-kadang juga gardu kecil.

3. Tipe Distribusi (distribution type)

Jenis ini terutama dipakai untuk melindungi trafo distribusi yang ada di tiang.

Jenis transmisi dan distribusi dibuat untuk dapat menahan kapasitas arus 65.000 ampere dengan gelombang $5 \times 10 \mu s$.



Gambar 2.7 Posisi arrestes pada trafo distribusi

b.1. Karakteristik Arrester

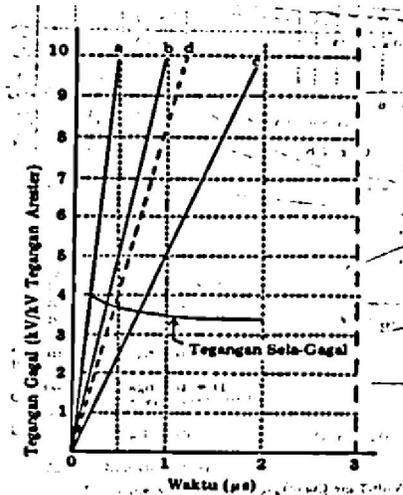
Oleh karena arrester digunakan sebagai pelindung terhadap surja petir, maka karakteristiknya perlu diketahui sebagai berikut :

- a. Mempunyai tegangan dasar (rated) 50 c/s yang tidak boleh dilampaui.
- b. Mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (voltage limiting) bila dilalui oleh berbagai macam arus petir.
- c. Mempunyai batas termis.

Berhubung dengan hal yang di atas, maka agar tekanan pada isolasi dapat dibuat serendah mungkin, suatu sistem perlindungan tegangan lebih perlu memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Dapat melepas tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubung singkat ke tanah (saturated ground fault).
- b. Dapat memutuskan arus susulan.
- c. Mempunyai tingkat perlindungan (protection level) yang rendah, artinya tegangan percikan sela dan tegangan pelepasannya rendah.

Karakteristik perlindungan dari arrester sudah mengalami perubahan-perubahan. Yang paling menonjol dalam perubahan ini adalah tegangan gagal sela dan tegangan pelepasan maksimumnya sebanding dengan tegangan dasarnya untuk suatu bentuk surja tertentu. Tegangan gagal sela disebut juga tegangan percikan, pada frekuensi 50 c/s harus mempunyai harga yang tinggi untuk mengurangi seminimum mungkin pelepasan yang disebabkan oleh adanya hubung singkat ke tanah dan surja hubung. Tegangan pelepasan disebut juga tegangan sisa atau jatuh tegangan IR, adalah tegangan antara terminal-terminal arrester bila ia sedang melakukan arus surja. Kegagalan sela dipengaruhi oleh kecuraman tegangan yang datang, menentukan tegangan pelepasan permulaan pada arrester. Jatuh tegangan pada elemen kran, yang tergantung pada kecuraman dan besarnya arus surja, menentukan tegangan arrester pada waktu pelepasan. *Gambar 2.7* menunjukkan variasi tegangan gagal sela terhadap kecuraman gelombang.



Kecuraman Gelombang :

a= 20 kV/μs/kV rating

b= 10 kV/μs/kV rating

c= 5 kV/μs/kV rating

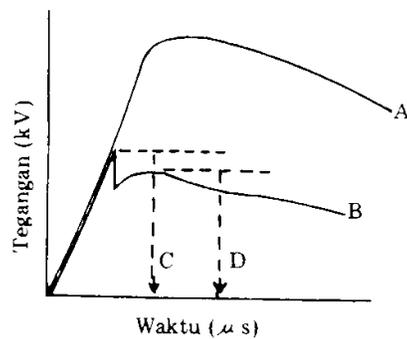
d=100 kV/μs/ 12 kV rating

(standar Amerika)

Gambar 2.8 Karakteristik tegangan gagal sela arrester

Besarnya pengaruh arrester terhadap sebuah surja tegangan lebih dinyatakan dengan jelas sekali pada Gambar 2.9. Efisiensi dari perlindungan

ditentukan terutama oleh tegangan pelepasan. Tegangan percikan untuk tegangan impuls curam mungkin lebih tinggi dari tegangan sisa. Hal ini dianggap kurang penting karena waktunya yang sangat singkat sebelum kegagalan terjadi.



Keterangan :

A = gelombang surja di gardu tanpa arrester

B = gelombang surja di gardu dengan arrester

C = tegangan percikan arrester

D = tegangan pelepasan (sisa)

Gambar 2.9 Pengaruh Arrester Terhadap Surja Tegangan

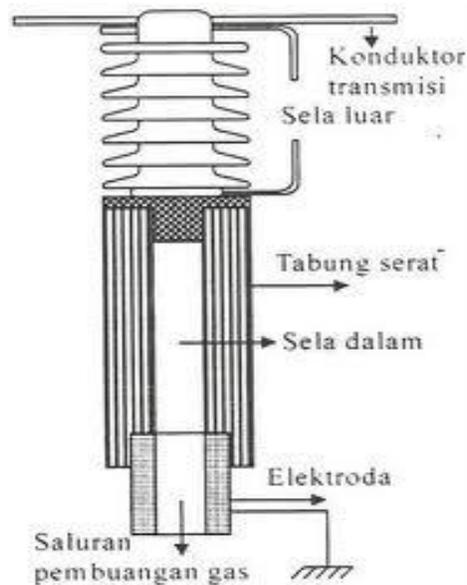
b.2. Jenis-jenis Arrester

Berikut ini adalah beberapa jenis arrester yang sering digunakan untuk perlindungan sistem dari tegangan lebih :

1. Arester jenis ekspulsi atau tabung pelindung;

Arrester jenis ekspulsi atau tabung pelindung pada prinsipnya terdiri dari sela percik yang berada dalam tabung serat atau sela percik batang yang berada diluar udara atau disebut sela-sela seri. Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan arrester kedua sela percik yang diluar dan yang berada didalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan penghantar dalam busur api. Jadi arrester menjadi konduktor dengan impedansi rendah dan melakukan surja arus dan arus daya sistem bersama-sama. Arus susulan dalam arrester jenis ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali tetapi lamanya tidak melebihi dari satu atau dua gelombang, dan biasanya kurang dari setengah

gelombang. Jadi tidak menimbulkan gangguan. Arrester jenis ekspulsi ini mempunyai karakteristik volt-waktu yang lebih baik dari sela batang dan dapat memutuskan arus susulan. Tetapi gangguan percik impulsnya lebih tinggi dari arrester jenis katup. Pada dasarnya kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari tingkat arus hubung singkat dari sistem pada titik dimana arrester itu dipasang. Dengan demikian perlindungan dengan arrester ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya, kecuali untuk sistem distribusi. Arrester ini banyak digunakan pada saluran distribusi untuk membatasi besar surja yang memasuki gardu induk. Dalam penggunaan arrester jenis ini sering disebut sebagai tabung pelindung (T. S. Hutahuru).



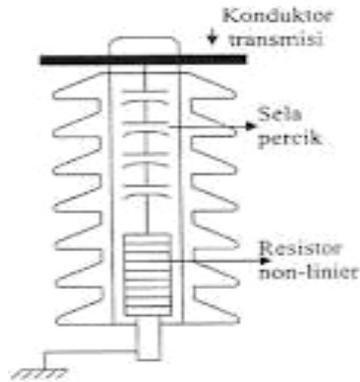
Gambar 2.10 Arrester jenis Ekspulsi

2. Arrester jenis katup

Arrester jenis katup ini terdiri dari sela percik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linier.

Tegangan frekuensi dasar tidak dapat menimbulkan tembus pada sela seri. Apabila sela seri tembus pada saat tibanya suatu surja yang cukup tinggi, alat tersebut menjadi penghantar. Sela seri itu tidak dapat memutuskan arus susulan. Dalam hal ini sela seri tersebut dibantu oleh tahanan non linier yang mempunyai karakteristik tahanan kecil untuk arus besar dan tahanan besar untuk arus susulan dari frekuensi dasar. Arrester jenis katup ini dibagi menjadi tiga jenis ; jenis gardu, jenis saluran dan arrester untuk melindungi mesin-mesin berputar (T. S. Hutahuru).

- a. Arrester katup jenis gardu ini adalah jenis yang paling efisien dan juga paling mahal. Umumnya dipakai untuk melindungi alat-alat yang mahal pada rangkaian-rangkaian mulai dari 2.400 volt sampai 287 kV dan lebih tinggi.
- b. Arrester katup jenis saluran ini lebih murah dari arrester jenis gardu. Kata "saluran" disini bukanlah berarti untuk perlindungan saluran transmisi. Arrester jenis saluran ini dipakai pada sistem dengan tegangan 15 kV sampai 69 kV.
- c. Arrester katup jenis gardu untuk mesin-mesin ini untuk melindungi mesin berputar. Pemakaiannya untuk tegangan 2,4 kV sampai 15 kV.
- d. Arrester katup jenis distribusi untuk mesin-mesin dimana arrester jenis ini khususnya untuk melindungi mesin-mesin berputar dan juga untuk melindungi transformator dengan pendinginan udara tanpa minyak. Arrester jenis ini dipakai pada peralatan dengan tegangan 120 volt sampai 750 volt.



Gambar 2.11 Arrester jenis katup

b.3. Pemilihan Arrester

dalam memilih arrester yang sesuai untuk keperluan tertentu, beberapa faktor harus diperhatikan, yaitu :

- a. Kebutuhan perlindungan ; ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi dan karakteristik impuls dari arrester.
- b. Tegangan sistem ; ialah tegangan maksimum yang mungkin timbul pada jepitan arrester.
- c. Arus hubung singkat sistem ; ini hanya diperlukan pada arrester jenis ekspulsi.
- d. Jenis arrester ; apakah arrester jenis gardu, jenis saluran dan jenis distribusi.
- e. Faktor kondisi luar ; apakah normal atau tidak normal (2.000 meter atau lebih tinggi di atas permukaan laut), temperatur dan kelembaban, yang tinggi serta pengotoran.
- f. Faktor ekonomi ; faktor ekonomi adalah perbandingan antara ongkos pemeliharaan dan kerusakan bila tidak ada arrester, atau bila dipasang arrester yang lebih rendah mutunya.

Untuk tegangan 69 kV dan lebih tinggi dipakai arrester jenis gardu, sedangkan untuk tegangan 23 kV sampai 69 kV salah satu jenis diatas dapat dipakai, tergantung dari segi ekonomisnya.

b.4 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 untuk mengkoordinasikan isolasi peralatan jaringan dengan alat-alat proteksinya. Salah satu metode yang baik adalah menentukan level tertentu isolasi. Level isolasi peralatan harus lebih tinggi dari level isolasi ditentukan dengan pertimbangan dasar sebagai berikut :

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

Penentuan level isolasi didapat dari data pengamatan di lapangan dan laboratorium yang dikombinasikan dengan karakteristik tegangan impuls. Isolasi peralatan yang digunakan tidak boleh mempunyai level isolasi yang lebih rendah dari BIL pada kolom 2 tabel 2.1. Harga yang dapat diambil sebagai acuan dalam pemilihan standar BIL permukaan yang akan digunakan tanpa melihat apakah sistem tersebut ditanahkan atau tidak.

Tabel 2.1 TID (BIL peralatan sistem yang ditanahkan)

Kelas Referensi (kV)	BIL (kV)	80% BIL (kV)
1,2	30	24
8,7	75	60
12	95	76
23	150	120
34,5	200	160
66	250	200
49	350	280
92	450	360
115	550	440
138	650	520
161	750	600
180	825	660
196	900	720
230	1050	840
260	1175	940
287	1300	1040
345	1550	1240

Tabel 2.2 Penetapan Tingkat Isolasi Transformator dan Penangkal Petir

Spesifikasi	Tegangan nominal		
	150	66	20
	kV		
Tegangan tinggi untuk peralatan	170	72,5	24
Pentanahan	Efektif	Tahanan	Tahanan
Transformator (Tegangan pengenalan/sisi Tegangan tinggi)	150	66	20
Tingkat isolasi dasar (TID)	650	325	125
Penangkal Petir			
Tegangan pengenalan	138	75	24
Arus pelepasan nominal	10 kA	10 kA	5 kA
Tegangan pelepasan	460	270	87
Tegangan percik denyut muka gelombang (MG)	530	310	100
Tegangan percik denyut standart	460	270	87
Kelas	10 kA	10 kA	5 kA

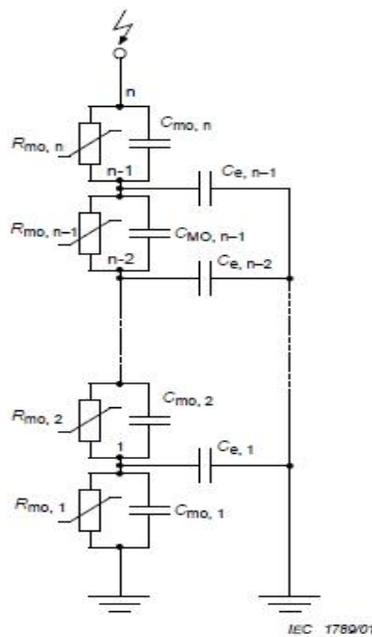
b.5. *Stray capacitance* Pada Arrester

Stray capacitance pada arrester adalah kapasitansi yang timbul pada arrester karena adanya beda potensial yang terjadi antara arrester dengan tanah. Hal tersebut bisa saja mempengaruhi kemampuan arrester dalam meredam

gangguan petir yang datang. *Stray capacitance* pada arrester hanya akan terjadi jika arrester tersebut terdiri dari 2 atau lebih stack arrester yang disusun secara seri. Karena kapasitansi tersebut akan timbul diantara 2 buah stack arrester yang tersusun secara seri. Sehingga untuk arrester yang hanya terdiri dari 1 buah arrester saja *stray capacitance* tidak akan muncul.

Menurut standar IEC untuk menghitung besarnya *stray capacitance* yang timbul pada arrester tersebut, dapat digunakan suatu persamaan sebagai berikut

:



Gambar 2.12 *Stray capacitance* pada arrester

$$C_{e, x} = \frac{(U_{x+1} - U_x) \times C_{mo, x+1} - (U_x - U_{x-1}) \times C_{mo, x}}{U_x} \dots\dots\dots (2.1)$$

(X = 1,2, ..., n - 1)

Dimana :

U_x = Tegangan pada titik x

$C_{MO,x}$ = Kapasitansi pada bagian x

$C_{e,x}$ = *Stray capacitance* dari tanah ke titik x

n = Nomor bagian

Dan besarnya nilai $C_{MO,x}$ dapat dicari dengan mengacu pada persamaan untuk mencari besarnya kapasitansi total yang dimiliki oleh arrester tersebut.

Dimana persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$C = 100 \frac{n}{d} \text{ pF} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

d = Panjang keseluruhan arrester (meter)

n = Jumlah kolom panel

Dengan menggunakan persamaan kapasitansi hubungan seri, maka besar kapasitansi untuk tiap stack arresternya yaitu :

$$\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana

n = nomor stack arrester

C. Simulasi Menggunakan ATP-EMTP

ATPDraw adalah preprosesor versi ATP dari *Electromagnetic Transients Program (EMTP)* pada sistem operasi windows. Program ini ditulis dengan bahasa Borland Delphi 2..0 dan dapat berjalan normal dengan perangkat lunak Windows 9x/NT/2000/XP. ATPDraw memiliki kemampuan membuat dan menyusun rangkain listrik dan memilih komponen dari menu yang tersedia.

Electromagnetic Transients Program (EMTP) dikembangkan pada domain public di Bonneville Power Administration (BPA) Portland, Oregon pada tahun

1984 oleh EMTP Development Coordination Group and the Electric Power Reserch Institute (EPRI) di Paolo Alto, California. Kelahiran ATP pada awal tahun 1984 dan mulai berkembang secara bertahap melalui kontribusi internasional. Beberapa ahli dari berbagai negara telah memberikan kontribusinya terhadap perkembangan EMTP mulai tahun 1975.

ATPDraw mempunyai perintah standar seperti yang dimiliki oleh windows. Hampir semua standar perintah modifikasi rangkaian terdapat pada ATPDraw, seperti *copy/paste*, *grouping*, *rotate*, *export/import*, *undo/redo* (ATPDRAW version 3.5).

c.1. Modul Terintegrasi Program ATP

MODELS di ATP adalah simulasi untuk memodelkan dan mensimulasikan sistem time-variant. MODELS pada ATP menjadikan ATP mudah untuk melakukan hubungan dengan program lain atau models lain ke ATP MODELS adalah alat yang mempunyai fungsi yang masih bisa diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan misalnya saja melakukan simulasi baik itu dalam domain waktu maupun dalam domain frekuensi.

TACS dalam ATP adalah modul simulasi untuk analisa domain waktu pada sistem kendali. Sebenarnya dibuat untuk melakukan simulasi pada kontrol konverter tegangan tinggi arus searah (High Voltage Direct Current. HVDC). Untuk TACS digunakan blok diagram. TACS bisa digunakan untuk :

- a. Kontrol konverter HVDC
- b. Sistem eksitasi pada mesin sinkron
- c. Arcing (pada CB)

Tampilan antara jaringan elektrik dan TACS membentuk pertukaran sinyal seperti titik tegangan, arus switch, status switch, resistansi berdasarkan waktu, sumber arus dan tegangan (ATPDRAW version 3.5).

c.2. Kemampuan Program ATP

Program ATP mampu memperkirakan hasil dari variabel tertentu (tegangan atau arus) pada sebuah rangkaian listrik dalam fungsi waktu, yang biasanya pada rangkaian tersebut terdapat gangguan. ATP menyediakan banyak model komponen listrik misalnya motor, generator, transformator, lightning arrester, saluran transmisi dan kabel. ATP juga menyediakan modul program untuk menganalisa kondisi transien sistem kontrol. Fasilitas ini biasa dikenal dengan nama TACS (Transient Analysis of Control System). Dengan fasilitas ini, dimungkinkan untuk menganalisa respon transien sistem kontrol terhadap gejala-gejala atau gangguan nonlinier seperti surja dan gejala korona. TACS juga mampu menganalisa karakteristik dinamis sistem tanpa melalui penggambaran atau pemodelan sistem sebagai sebuah rangkaian listrik. ATP dapat digunakan untuk simulasi dalam gangguan kondisi simetris maupun tidak simetris, surja petir. ATP juga mampu menganalisa efek harmonis dari suatu sistem dengan metode injeksi arus harmonik.

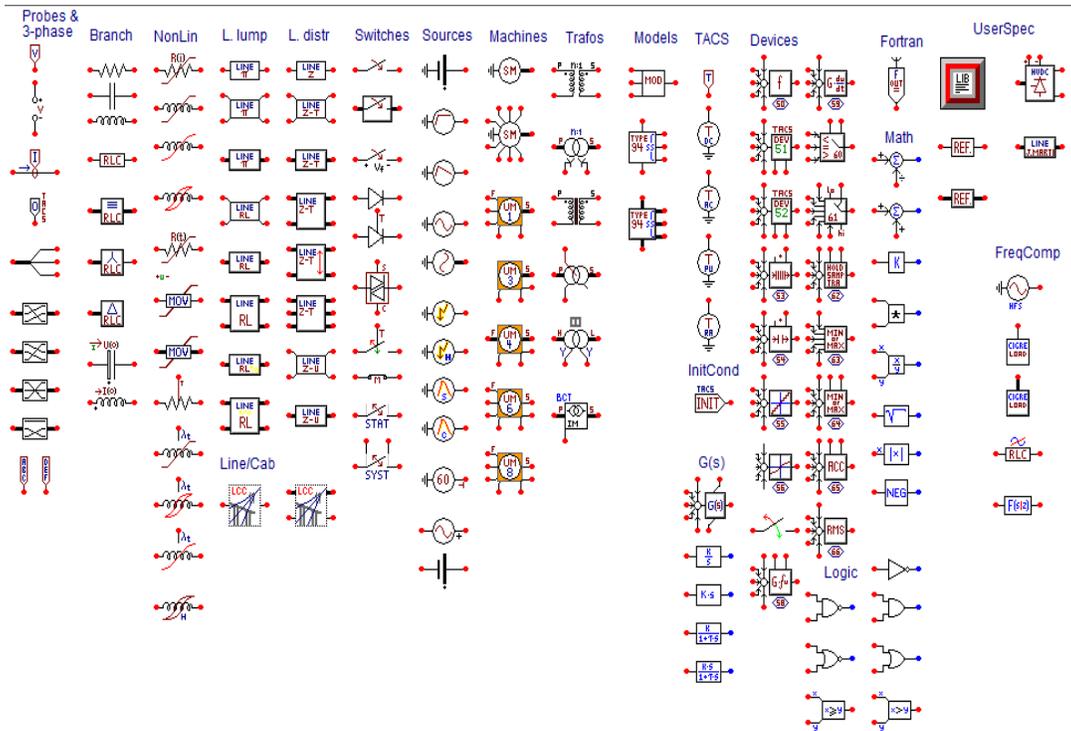
Library yang disediakan oleh ATP terdapat beberapa komponen antara lain sebagai berikut :

1. Komponen RLC, baik yang terintegrasi (lumped) maupun terpisah
2. Saluran transmisi dan kabel dengan parameter yang bergantung pada frekuensi.

3. Resistor dan induktor nonlinier, hysteretic inductor dan time varying resistance
4. Komponen-komponen kontrol (TACS)
5. Komponen listrik yang memiliki sifat nonlinier, seperti : transformator dengan saturasi dan rugi-rugi histeresis, lightning arrester dan komponen busur api
6. Dioda, thyristor dan triac
7. Mesin-mesin berputar : mesin sinkron 3 fasa, model TACS mesin listrik.
8. Sumber arus dan tegangan.
9. **c.3. Menu Dasar ATP – EMTP**

ATPDraw hampir semua standar yang dimiliki oleh system operasi windows. Ada beberapa tools penting yang perlu untuk diketahui dan dimengerti agar dapat memakai program ini dengan baik. Tools utama yang harus diketahui adalah menu utama, jendela rangkaian dan menu untuk memilih komponen.

Komponen yang diperlukan dapat dipilih secara langsung dari component selection menu ini, dengan klik kanan dan memilih komponen yang disediakan. Spesifikasi komponen juga dapat kita tentukan sendiri dengan cara klik dua kali pada komponen yang dipilih. Adapun beberapa komponen tersebut terlihat gambar 2.13 dibawah ini.

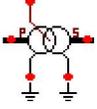


Gambar 2.13 Komponen simulasi EMTP

c.4. Pemodelan Menggunakan EMTP

Dalam tesis ini akan dimodelkan dan disimulasikan terjadinya sambaran petir langsung pada saluran yang terjadi pada jaringan sistem distribusi jaringan tegangan menengah 20 kV. Berikut ini adalah komponen-komponen yang digunakan dalam simulasi.

Tabel 2.3 Gambar komponen yang dipakai dalam simulasi

Komponen	Keterangan
	Sumber Tegangan
	Transformator
	Pemodelan untuk beban

	Saluran Transmisi
	Arus Impuls petir
	Lightning Arrester

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

D. Peristiwa Petir

Petir merupakan peristiwa alam mengenai muatan listrik dan pelepasan listrik elektrostatik antara awan bermuatan dengan awan dan antara awan bermuatan dengan bumi.

Pada dasarnya Indonesia terletak di negara tropis yang sangat panas dan lembab. Kedua faktor ini sangat penting dalam pembentukan awan cumulonimbus penghasil petir. Dalam meteorologi, secara umum di daerah tropis terbentuk siklon tropis (atau hurikan angin puyuh, badai tropis, taufan, atau angin ribut tergantung pada daerah dan kekuatannya). Siklon tropis adalah bagian penting dari sistem sirkulasi atmosfer, yang memindahkan panas dari daerah khatulistiwa menuju garis lintang yang lebih tinggi. Daerah pertumbuhan siklon tropis paling subur di dunia adalah Samudra Hindia dan perairan barat Australia. Berdasarkan strukturnya, siklon tropis adalah daerah raksasa aktivitas awan, angin dan badai petir yang berkisar. Sumber energi primer sebuah siklon tropis adalah pelepasan panas kondensasi/pengembunan dari uap air yang mengembang pada ketinggian. Oleh sebab itu, siklon tropis bisa ditafsirkan sebagai mesin bara cacak raksasa.

a.1. Fenomena petir

Peristiwa sambaran petir adalah suatu fenomena listrik alam. Hal ini barulah diyakini kebenarannya pada tahun 1749 berkaitan penelitian yang dilakukan oleh seorang ilmuwan yang bernama Benjamin Franklin. Petir merupakan kejadian alam dimana terjadi loncatan muatan listrik antara awan

dengan bumi. Loncatan muatan listrik tersebut diawali dengan mengumpulnya uap air di dalam awan. Ketinggian antara permukaan atas dan permukaan bawah pada awan dapat mencapai jarak sekitar 8 km dengan temperatur bagian bawah sekitar 60°F dan temperatur bagian atas sekitar -60°F . Akibatnya di daerah awan tersebut akan terjadi kristal-kristal es. Karena didalam awan terdapat angin ke segala arah, maka kristal-kristal es tersebut akan saling bertumbukan dan bergesekan sehingga terpisahkan antara muatan positif dan muatan negatif. Pemisahan muatan inilah yang menjadi sebab utama terjadinya sambaran petir (Zoro, 2005).



Pelepasan muatan listrik antara awan dengan awan, dan antara awan dengan bumi tergantung dari kemampuan udara dalam menahan beda potensial yang terjadi. Petir yang kita kenal sekarang ini terjadi akibat awan dengan muatan tertentu menginduksi muatan yang ada di bumi. Bila muatan di dalam awan bertambah besar, maka muatan induksi pun makin besar pula sehingga beda potensial antara awan dengan bumi juga makin besar. Kejadian ini diikuti leader menurun dari awan dan diikuti pula dengan adanya leader menaik dari bumi yang mendekati leader menurun. Pada saat itulah terjadi apa yang dinamakan petir. Petir adalah sebuah cahaya terang berderang yang dihasilkan oleh tenaga listrik alam yang terjadi di antara awan-

awan atau awan ke tanah. Sering kali terjadi bila cuaca mendung atau badai (Zoro, 2005).

Efek dari sambaran petir secara langsung sangat jelas terlihat, mulai dari kerusakan bangunan, kebakaran sampai bahaya kematian bagi manusia. Selain itu pada saat petir menyambar akan ada loncatan muatan listrik ke benda yang bersifat konduktor disekitar pusat hantaman loncatan ini bahkan bisa mengalir kemana-mana hingga puluhan kilometer. Petir merupakan kejadian alam yang selalu melepaskan muatan listriknya ke bumi tanpa dapat dikendalikan dan menyebabkan kerugian harta benda dan manusia. Tak ada yang dapat mengubah situasi ini.

Petir telah banyak mebuat kerugian pada manusia dan kerusakan pada peralatan sejak dulu. Semakin banyaknya pemakaian alat elektronik dan peralatan tegangan rendah saat ini telah meningkatkan jumlah statistik kerugian yang ditimbulkan oleh pengaruh sambaran petir baik langsung maupun tidak langsung. Ditambah Indonesia memiliki hari guruh yang tinggi dengan jumlah sambaran petirnya yang banyak, sehingga kerusakan dan kerugian yang ditimbulkan lebih besar.

Gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir merupakan salah satu penyebab gangguan di saluran distribusi. Gangguan akibat sambaran petir dapat dibagi menjadi dua yaitu permanen dan temporer. Gangguan temporer dapat diatasi dengan recloser dan breaker sedangkan gangguan permanen dapat diatasi dengan pemakian fuses (Syarifuddin, 2005).

a.2. Proses Terjadinya Petir

Petir merupakan kejadian lama yang biasa terjadi ketika hujan badai disertai guntur dan kadang-kadang pada badai salju, badai debu, letusan

gunung berapi, serta pada ledakan nuklir. Kilat yang terjadi ketika hujan badai berasal dari muatan listrik yang timbul dari aliran udara didalam awan. Terjadinya suatu kilat atau petir didahului oleh awan petir yang pada kejadiannya kita kenal dengan thunderstorm (hujan angin ribut disertai petir dan guruh). Suatu kilat pada umumnya selalu berhubungan erat dengan adanya awan kumulonimbus yang berada dari dasar ke atas : “300 sampai 18.999 meter”, dan juga dapat muncul pada awan nimbostratus yang berada dibawah 2500 meter, dan terkadang terdapat dalam emisi gas dan debu akibat erupsi suatu gunung berapi. Selama hujan angin ribut, kilat yang berupa pelepasan muatan dapat terjadi baik antara pusat muatan pada awan yang sama, antara awan yang satu dengan awan yang lain, antara awan dengan udara, dan dari awan ke bumi. Proses pemanasan bumi oleh matahari menyebabkan terjadinya penguapan dan udara panas baik di atas laut maupun daratan, terciptanya udara panas di puncak gunung membawa udara keatas, memuai menjadi dingin, lalu terbentuklah air dalam tahap peralihan yang disebut awan. Udara panas yang naik bertambah dan memperbesar awan tersebut. Butiran air yang terpendam di awan, setiap molekulnya merupakan berkas energi yang ada di atmosfer. “setelah awan mendekati ketinggian 7500 meter, butir air di dalamnya menjadi demikian besar hingga tak tertahan oleh arus naik, dan jatuh sebagai hujan”. Semakin jauh dari permukaan bumi, maka suhu semakin dingin mencapai puluhan minus derajat celsius. Pada ketinggian tertentu ternyata tidak semua udara sarat lembaban terangkat untuk mengeluarkan air dan jatuh, pada kedudukan yang lebih tinggi masih terdapat pembentukan awan. Letak ketinggian inilah yang membantu proses kondensasi yang memperingan udara untuk naik lebih tinggi lagi, dan akhirnya kolom udara yang kini menjadi kepala guntur, telah demikian tinggi

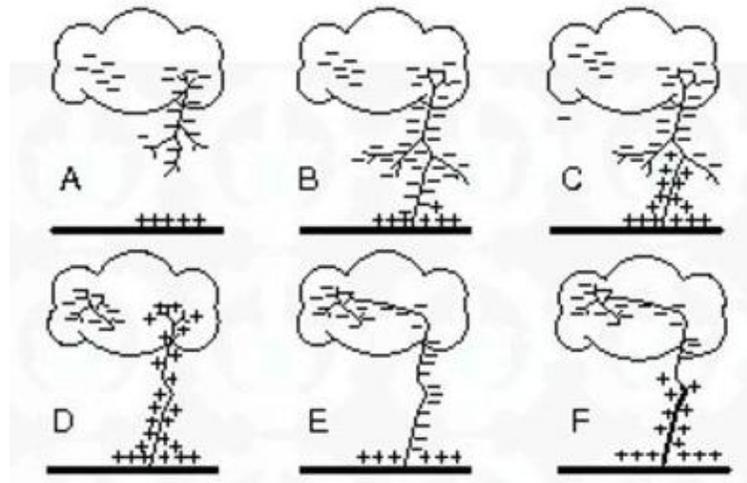
sehingga lembabannya membeku. Aliran dinamik uap air inilah yang menciptakan iklim-iklim yang meliputi dunia dan situasi setempat. Proses demi proses distimulir pula oleh kandungan garam pada uap air menghasilkan es sebagai sumber pemicu hidupnya generator listrik pada atmosfer yang dikenal sebagai badai guntur yang diperkaya oleh kilat.

Terdapat beberapa tingkatan dalam suatu proses pembentukan awan bermuatan, yang dalam hal ini terjadi khususnya di Indonesia yang beratsmosfer udara lembab. Seperti yang kita ketahui bersama bahwa sebagian besar wilayah Indonesia merupakan perairan dan berada di daerah ekuatorial, oleh sebab itu Indonesia merupakan daerah konvektif (peralihan panas yang dibawa partikel-partikel pembentuk awan) yang aktif dalam prosesnya, awan akan diawali pada tingkat kumululus yang makin lama makin tebal oleh karena gaya apung termal keatas pada situasi ini tidak jarang terjadi hujan dan elektrifikasi awan. Selanjutnya awan menjadi makin berbahaya khususnya untuk penerbangan dan dalam kondisi mature (dewasa) banyak terjadi turbulensi, hujan yang lebat, petir dan guruh. Setelah melampaui beberapa proses lama-kelamaan terjadi penurunan kondisi dan berdisipasi. Terjadi dominasi downdraft (arus udara ke bawah), energi yang makin melemah dan aktivitasnya hanya berupa gerimis yang berangsur-angsur berhenti. Awan petir merupakan hasil konsekuensi ketidakstabilan atmosfer bumi. Energi yang dipancarkan matahari menumbuk partikel-partikel udara dan memanaskan lapisan udara bagian bawah yang menyebabkan berkurangnya kerapatan, sehingga atmosfer menjadi tidak stabil oleh gerakan ke atas. Gerakan lapisan udara ke atas akan menurunkan temperatur lapisan udara sehingga pada ketinggian dan temperatur tertentu akan terbentuk uap air. Uap air ini terkondensasi bersama dengan partikel debu di

udara yang membentuk water droplet (titik-titik air) yang terkumpul dalam jumlah besar yang kita sebut dengan awan. Dalam keadaan normal, atmosfer bumi mengandung sejumlah besar ion-ion baik positif maupun negatif yang tersebar secara acak. Ion-ion ini terjadi oleh tumpukan antar atom, pancaran sinar kosmis dan energi termis. Sementara pada cuaca cerah di udara terdapat medan listrik positif dipermukaan bumi. Dalam proses kondensasi, medan listrik tersebut menyebabkan terjadinya polarisasi pada butiran-butiran air yang terdapat dalam awan. Proses terpolarisasinya butiran air karena induksi ini menghasilkan terpisahnya muatan negatif dan muatan positif yang masing-masing terkumpul dibagian atas dan bawah. Di dalam awan juga terjadi pergerakan yang disebut updraft (arus udara ke atas yang membawa butir-butir air dengan berat jenis yang rendah) yang kecepatannya dapat mencapai 26 m/det tetapi pada umumnya hanya dapat mencapai kurang dari separuhnya.

Karena mengalami pendinginan, butiran air ini akan membeku pada ketinggian tertentu. Dimana ketinggian butiran air tersebut dapat mencapai jarak sekitar 8 km – 10 km dengan temperatur bagian bawah sekitar 60 °F dan temperatur bagian atas sekitar -60 °F. Akibatnya didalam awan tersebut akan terjadi kristal-kristal es sehingga akibatnya berat jenis air tersebut membesar dan mengakibatkan adanya gerakan udara ke bawah dengan kecepatan yang cukup tinggi. Oleh karena pergerakan tadi, pada permukaan bagian bawah butiran air timbul gaya tarik terhadap ion negatif yang mempunyai mobilitas rendah, sedangkan yang positif ditolak. Akibatnya butiran air yang terkumpul ini bermuatan negatif. Bergabungnya ion-ion negatif menyebabkan ion-ion positif menjadi dominan. Butiran-butiran air ini yang relatif kecil yang bergerak dengan kecepatan rendah akan lebih besar kemungkinannya menumbuk ion-ion

bermuatan positif, akibatnya butiran air ini akan bermuatan positif. Dengan demikian muatan-muatan listrik yang mula-mula terdistribusi acak dan secara ruangan bersifat netral menjadi terpisah. Butiran-butiran air yang besar akan bermuatan negatif dan oleh beratnya berkumpul di bagian bawah awan, demikian pula butir-butir air yang kecil dan bermuatan positif akan berkumpul di bagian atas awan.



Keterangan :

- A : Pusat-pusat muatan di awan, alur-pandu dan lidah lompat bergerak ke bumi.
- B : Alur pandu dan lidah lompat sampai di bumi, terjadi sambaran pada permukaan bumi.
- C : Sambaran balik, terjadi pelepasan muatan negatif dari awan ke bumi.

D : Pusat muatan pertama sudah dinetralkan, terjadi alur antar pusat muatan dalam awan.

E : Pelepasan muatan antara dua pusat muatan, lidah panah merambat ke bumi melewati alur yang pertama.

F : Sambaran balik kedua, terjadi pelepasan muatan negatif kedua dari awan ke bumi.

Kejadian diatas menimbulkan medan listrik yang intensitasnya semakin besar. Akibatnya gerakan butir-butir air kebawah terhenti karena adanya hambatan. Dengan terjadinya muatan negatif pada bagian bawah awan, maka terjadilah induksi muatan yang berlawanan terhadapnya pada permukaan bumi sehingga bermuatan positif. Peristiwa ini menyebabkan terbentuknya medan listrik antara awan dengan permukaan bumi. Bila medan listrik ini makin besar dan melebihi kekuatan tembus udara, maka terjadilah pelepasan muatan.



1. Awan dengan awan



2. Dalam awan itu sendiri



3. Awan ke udara



4. Awan dengan tanah

a.3. Efek Yang Diakibatkan Oleh Sambaran Petir

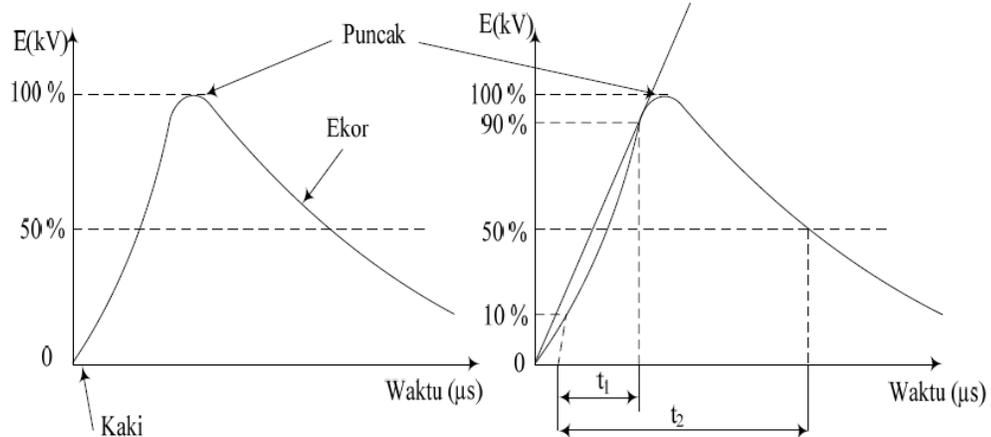
Keadaan alam iklim tropis Indonesia pada umumnya termasuk daerah dengan hari petir yang tinggi setiap tahun. Karena keterbatasan data besarnya

hari petir untuk setiap lokasi di Indonesia, pada saat ini diasumsikan bahwa lokasi-lokasi yang tinggi di atas gunung atau menara yang menonjol ditengah-tengah area yang bebas (sawah, ladang, dll) mempunyai kemungkinan sambaran lebih tinggi daripada tempat-tempat di tengah-tengah kota yang dikelilingi bangunan-bangunan tinggi lainnya. Tempat-tempat dengan tingkat sambaran tinggi (frekwensi maupun intensitasnya) mendapat prioritas pertama untuk penanggulangannya, sedangkan tempat-tempat yang relatif kurang bahaya petirnya mendapat prioritas kedua dengan pemasangan protektor yang lebih sederhana. Lokasi yang mempunyai nilai bisnis tinggi (industri kimia, pemancar TV, Telkom, gedung perkantoran dengan sistim perkantoran dan industri strategis seperti : hankam, pelabuhan udara, dll), memerlukan proteksi yang dilakukan seoptimal mungkin, sedangkan lokasi dengan nilai bisnis rendah mungkin makin sederhana sistem protektor yang akan dipasang. Pemakaian penangkal petir tradisional (eksternal) sudah sangat dikenal sejak dulu untuk melindungi bangunan atau instalasi terhadap sambaran petir. Bagaimana alat pelindung tradisional ini hanya dapat digunakan sebagai pelindung gedung itu sendiri terhadap bahaya kebakaran atau kehancuran, sedangkan induksi tegangan lebih atau arus lebih yang diakibatkan masih belum terserap sepenuhnya oleh penangkal petir tradisional tadi. Induksi inilah yang bahayanya cukup besar terhadap peralatan elektronik yang cukup sensitif dan mahal harganya. Dengan berkembangnya teknologi yang sangat pesat hingga kini, maka pelepasan muatan petir dapat merusak jaringan listrik dan peralatan elektronik yang lebih sensitif. Sambaran petir pada tempat yang jauh sudah mampu merusak sistem elektronika dan peralatannya, seperti instalasi komputer, perangkat telekomunikasi, sistem kontrol, alat-alat pemancar dan instrument

serta peralatan elektronik sensitif lainnya. Untuk mengatasi masalah ini maka perlindungan yang sesuai harus diberikan dan dipasang pada peralatan atau instalasi terhadap bahaya sambaran petir langsung maupun induksinya. Salah satu penyebab semakin tingginya kerusakan peralatan elektronika karena induksi sambaran petir tersebut adalah karena sangat sedikitnya informasi mengenai petir dan masalah yang dapat ditimbulkannya.

a.3.1 Efek Akibat Sambaran Langsung

Kerusakan ini biasanya langsung mudah diketahui sebabnya, karena jelas petir menyambar sebuah gedung dan sekaligus peralatan listrik/elektronik yang ada didalamnya ikut rusak (kemungkinan mengakibatkan kebakaran gedung, PABX, kontrol AC, komputer, alat pemancar, dll. Hancur total). Sambaran petir dari awan langsung ke jaringan menyebabkan tegangan naik dengan cepat pada daerah sambaran. Pada waktu kilat menyambar kawat tanah atau kawat fasa akan timbul arus besar dan gelombang berjalan yang merambat pada kawat. Arus yang besar dapat membahayakan peralatan-peralatan yang ada pada saluran. Makin tinggi tegangan sistem serta tinggi tiangnya, makin banyak pula jumlah sambaran petir ke saluran itu.



Gambar 2.4 Bentuk gelombang petir

Spesifikasi dari suatu gelombang petir :

- e) Puncak (crest) gelombang E (kV), yaitu amplitude maksimum dari gelombang
- f) Muka gelombang, t_1 (mikrodetik) yaitu waktu dari permulaan sampai puncak.
- g) Ekor gelombang, yaitu bagian dibelakang puncak
- h) Polaritas, yaitu polaritas dari gelombang, positif atau negative.

c.3.2. Efek Akibat Sambaran Tidak Langsung

Kerusakan ini sulit diidentifikasi dengan jelas karena petir yang menyambar pada satu titik lokasi sehingga hantaran induksi melalui aliran listrik/kabel PLN dapat mencapai 1 km dari tempat petir terjadi. Sambaran tidak langsung atau sambaran induksi merupakan sambaran di titik lain yang letaknya jauh tetapi obyek terkena pengaruh dari sambaran sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada obyek tersebut. Sambaran induksi dapat terjadi bila awan petir ada diatas peralatan yang berisolasi. Awan ini akan menginduksikan muatan

listrik dalam jumlah besar dengan polaritas yang berlawanan dengan awan petir itu. Hal ini akan menimbulkan muatan terikat. Bila terjadi pelepasan muatan dari awan petir itu, maka muatan terikat itu kembali bebas dan menjadi gelombang berjalan. Hal inilah yang disebut dengan fenomena transien pada saluran dengan kata lain bila terdapat sebuah petir yang menyambar ke tanah di dekat saluran maka akan terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis di kanal petir. Akibat dari kejadian ini akan timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada sisi kawat saluran distribusi yang berada di dekat sambaran terjadi.

a.4. Perlindungan Terhadap Sambaran Petir

Melihat besarnya efek samping yang dihasilkan oleh petir dan masih minimnya kemampuan kita untuk memanfaatkan energi yang dibawah oleh petir tersebut membuat kita harus melakukan langkah-langkah waspada terhadap sambaran petir, untuk itulah dibuat penangkal petir berikut dengan sistemnya. Yang membuat ini semakin menarik seperti yang telah disinggung diatas, petir selalu menjadi musuh yang selalu berkembang dan susah untuk ditebak, sehingga inovasi untuk sistem pengamanan petir selalu dibuat. Perlindungan terhadap petir telah dikembangkan sejak lama bahkan telah dibuat dalam regulasi internasional. Beberapa regulasi yang mendukung dan mengatur perlindungan sambaran petir antara lain, ITU-T K-56, IYU-T K-55, IEC 61024 series, IEC 62305 series dimana masing-masing mempunyai pendekatan tersendiri tapi pada dasarnya memberikan metode atau standarisasi perlindungan terhadap petir secara menyeluruh. Mulai dari sambaran langsung sampai sambaran tidak langsung, semua telah diatur pengorganisasiannya.

Perlindungan atau proteksi terhadap sambaran petir memang membutuhkan pertimbangan dari segi regulasi standart, ada juga pertimbangan dari segi kebutuhan, biaya dan lain-lain. Yang nantinya akan menentukan tingkat perlindungan yang bagaimana yang dibutuhkan, dan dari situ muncullah kelompok tingkat perlindungan suatu sistem proteksi yaitu :

4. Tingkat perlindungan normal : yaitu perlindungan yang diberikan untuk bangunan-bangunan biasa yang bila terjadi kegagalan perlindungan tidak menyebabkan bahaya beruntun, seperti bangunan pada perumahan, gedung-gedung.
5. Tingkat perlindungan tinggi : perlindungan yang diberikan untuk bangunan-bangunan atau instalasi yang lain jika terjadi kegagalan perlindungan dan berbahaya bagi keselamatan jiwa atau dapat menimbulkan bahaya berantai yang lebih besar. Seperti instalasi eksplosif mudah meledak, bangunan dengan tingkat penggunaan tinggi dan banyak orang didalamnya atau juga instalasi komunikasi penting dan lain-lain.
6. Tingkat perlindungan sangat tinggi ; perlindungan yang diberikan untuk bangunan atau instalasi yang jika terjadi kegagalan perlindungan dapat menyebabkan bahaya berantai yang tidak terkendali, misalnya pada pusat instalasi nuklir.

E. Arrester

Alat pelindung berfungsi melindungi peralatan tenaga listrik dengan cara membatasi surja (surge) tegangan lebih yang datang dan mengalirkan ke tanah. Alat pelindung yang paling bagus adalah arester (lighting arrester kadang-kadang juga disebut surge diverter) (Arismunandar, 1975). Pada intinya arester ini terdiri dari dua unsur : sela bunga api (spark gap) dan tahanan tak linier atau

tahanan katup (valve resistor). Kedua bagian tersebut dihubungkan secara seri. Batas atas dan bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Seringkali persoalan ini dapat dipecahkan hanya dengan menerapkan cara-cara khusus pengatur tegangan (voltage control). Oleh karena itu, sebenarnya arester terdiri dari 3 unsur ; sela api, tahanan kran, dan sistem pengaturan atau sistem tegangan (grading sistem).

Fungsi dari sela api (spark gap) adalah sebagai saklar untuk melakukan surja tegangan lebih melalui arrester, dan segera berfungsi sebagai isolator setelah kembali ke keadaan normal. Dengan menyambungkan sela api ini melalui tahanan diharapkan arus yang terlalu besar dapat ditekan dan bunga api yang timbul dapat dipadamkan. Namun jika tahanan yang digunakan tersebut harganya tetap, maka jatuh tegangan dapat menjadi besar sekali sehingga melebihi tegangan pelepasan arester, tujuannya untuk meniadakan tegangan lebih tidak tercapai, dan akibatnya perlindungan terhadap isolasi mengalami kegagalan pula.



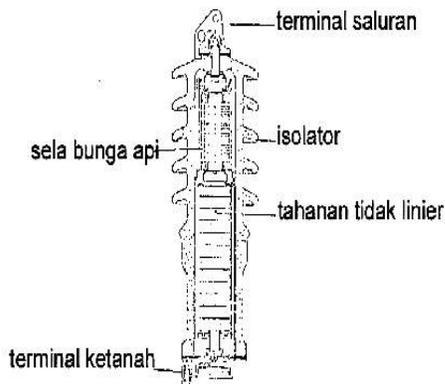
Gambar 2.5 Lightning Arrester “Vickers”

Arrester petir atau disingkat arester, atau sering juga disebut penangkal petir adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Ia berlaku sebagai jalan pintas (by-pass) sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem 50 Hz. Jadi pada kerja normal arrester itu berlaku sebagai isolator dan bila timbul surja dia berlaku sebagai konduktor, jadi melewatkan arus yang tinggi. Setelah surja hilang arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutusan daya tidak sempat membuka. Berlainan dengan sela batang yang dibicarakan dimuka arrester dapat memutuskan susulan tanpa menimbulkan gangguan. Inilah salah satu fungsi penting dari arrester (T. S. Hutahuru). Untuk mencegah hal tersebut diatas, digunakanlah tahanan tidak linier yang mempunyai sifat tahanan mengecil sekali jika tegangan dan arus yang melaluinya besar sekali. Proses pengecilan ini

berlangsung cepat sekali yaitu selama tegangan lebih mencapai tegangan puncaknya. Tegangan lebih dalam hal ini menyebabkan penurunan sangat cepat dari tahanan, sehingga jatuh tegangan dapat dibatasi meskipun arusnya besar.

Tahanan katub memiliki sifat khusus yaitu tahanannya kecil ketika dilewati tegangan dan arus yang besar. Proses pengecilan tahanan berlangsung cepat yaitu selama tegangan lebih mencapai harga puncaknya. Tegangan lebih mengakibatkan nilai tahanan menurun dratis sehingga jatuh tegangan dapat dibatasi meskipun arusnya besar.

Bila tegangan lebih habis dan hanya tersisa tegangan normal maka nilai tahanan akan naik lagi sehingga arus susulan dibatasi 50 Ampere. Arus susulan ini akan dimatikan oleh sela api saat tegangan sistem mencapai nol pertama sehingga alat ini bertindak sebagai sebuah kran susulan yang cukup besar (200 – 300 Ampere) dilakukan dengan bantuan medan magnet (Arismundar, 1975).



Berdasarkan atas

enal 3 kelas arrester

:

4. Tipe Gardu (station type)

Konstruksinya lebih berat, karakteristiknya lebih baik, kapasitas arus pelepasannya lebih tinggi (tidak kurang dari 100.000 ampere, $5 \times 10 \mu s$, dan dipakai untuk melindungi gardu dan trafo tenaga.

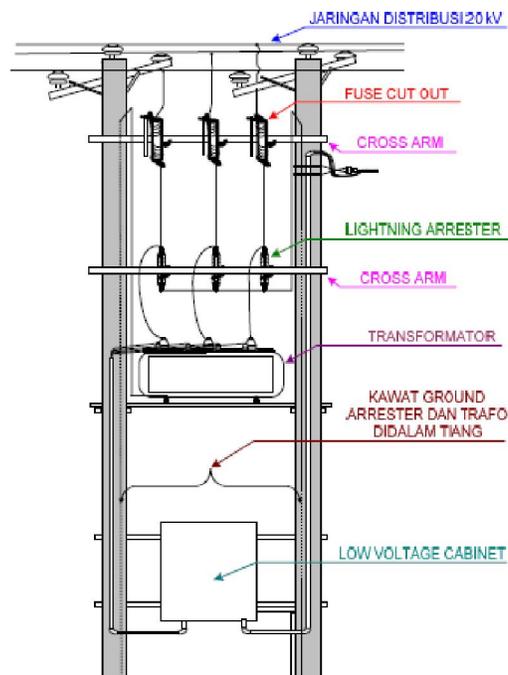
5. Tipe Saluran Transmisi (line type)

Jenis ini dipakai untuk melindungi trafo distribusi, trafo bertenaga kecil, dan kadang-kadang juga gardu kecil.

6. Tipe Distribusi (distribution type)

Jenis ini terutama dipakai untuk melindungi trafo distribusi yang ada di tiang.

Jenis transmisi dan distribusi dibuat untuk dapat menahan kapasitas arus 65.000 ampere dengan gelombang $5 \times 10 \mu s$.



Gambar 2.7 Posisi arrestes pada trafo distribusi

b.1. Karakteristik Arrester

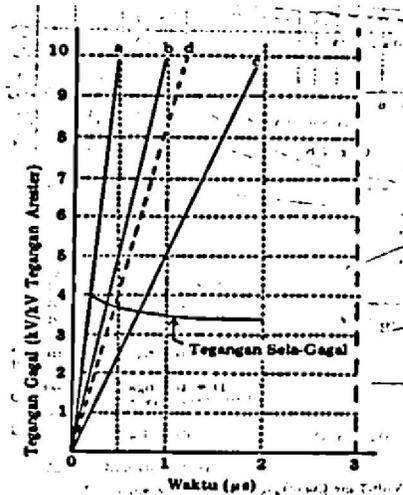
Oleh karena arrester digunakan sebagai pelindung terhadap surja petir, maka karakteristiknya perlu diketahui sebagai berikut :

- d. Mempunyai tegangan dasar (rated) 50 c/s yang tidak boleh dilampaui.
- e. Mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (voltage limiting) bila dilalui oleh berbagai macam arus petir.
- f. Mempunyai batas termis.

Berhubung dengan hal yang di atas, maka agar tekanan pada isolasi dapat dibuat serendah mungkin, suatu sistem perlindungan tegangan lebih perlu memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- d. Dapat melepas tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubung singkat ke tanah (saturated ground fault).
- e. Dapat memutuskan arus susulan.
- f. Mempunyai tingkat perlindungan (protection level) yang rendah, artinya tegangan percikan sela dan tegangan pelepasannya rendah.

Karakteristik perlindungan dari arrester sudah mengalami perubahan-perubahan. Yang paling menonjol dalam perubahan ini adalah tegangan gagal sela dan tegangan pelepasan maksimumnya sebanding dengan tegangan dasarnya untuk suatu bentuk surja tertentu. Tegangan gagal sela disebut juga tegangan percikan, pada frekuensi 50 c/s harus mempunyai harga yang tinggi untuk mengurangi seminimum mungkin pelepasan yang disebabkan oleh adanya hubung singkat ke tanah dan surja hubung. Tegangan pelepasan disebut juga tegangan sisa atau jatuh tegangan IR, adalah tegangan antara terminal-terminal arrester bila ia sedang melakukan arus surja. Kegagalan sela dipengaruhi oleh kecuraman tegangan yang datang, menentukan tegangan pelepasan permulaan pada arrester. Jatuh tegangan pada elemen kran, yang tergantung pada kecuraman dan besarnya arus surja, menentukan tegangan arrester pada waktu pelepasan. *Gambar 2.7* menunjukkan variasi tegangan gagal sela terhadap kecuraman gelombang.



Kecuraman Gelombang :

a= 20 kV/μs/kV rating

b= 10 kV/μs/kV rating

c= 5 kV/μs/kV rating

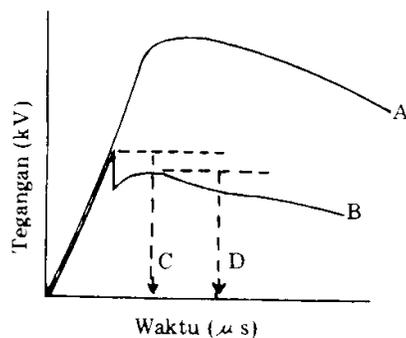
d=100 kV/μs/ 12 kV rating

(standar Amerika)

Gambar 2.8 Karakteristik tegangan gagal sela arrester

Besarnya pengaruh arrester terhadap sebuah surja tegangan lebih dinyatakan dengan jelas sekali pada Gambar 2.9. Efisiensi dari perlindungan

ditentukan terutama oleh tegangan pelepasan. Tegangan percikan untuk tegangan impuls curam mungkin lebih tinggi dari tegangan sisa. Hal ini dianggap kurang penting karena waktunya yang sangat singkat sebelum kegagalan terjadi.



Keterangan :

- A = gelombang surja di gardu tanpa arrester
- B = gelombang surja di gardu dengan arrester
- C = tegangan percikan arrester
- D = tegangan pelepasan (sisa)

Gambar 2.9 Pengaruh Arrester Terhadap Surja Tegangan

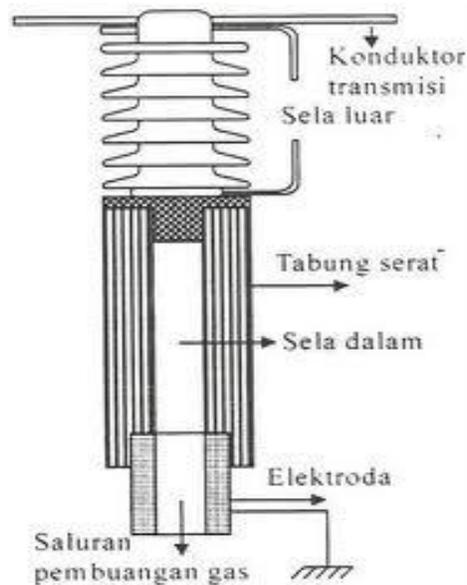
b.2. Jenis-jenis Arrester

Berikut ini adalah beberapa jenis arrester yang sering digunakan untuk perlindungan sistem dari tegangan lebih :

3. Arrester jenis ekspulsi atau tabung pelindung;

Arrester jenis ekspulsi atau tabung pelindung pada prinsipnya terdiri dari sela percik yang berada dalam tabung serat atau sela percik batang yang berada diluar udara atau disebut sela-sela seri. Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan arrester kedua sela percik yang diluar dan yang berada didalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan penghantar dalam busur api. Jadi arrester menjadi konduktor dengan impedansi rendah dan melakukan surja arus dan arus daya sistem bersama-sama. Arus susulan dalam arrester jenis ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali tetapi lamanya tidak melebihi dari satu atau dua gelombang, dan biasanya kurang dari setengah

gelombang. Jadi tidak menimbulkan gangguan. Arrester jenis ekspulsi ini mempunyai karakteristik volt-waktu yang lebih baik dari sela batang dan dapat memutuskan arus susulan. Tetapi gangguan percik impulsnya lebih tinggi dari arrester jenis katup. Pada dasarnya kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari tingkat arus hubung singkat dari sistem pada titik dimana arrester itu dipasang. Dengan demikian perlindungan dengan arrester ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya, kecuali untuk sistem distribusi. Arrester ini banyak digunakan pada saluran distribusi untuk membatasi besar surja yang memasuki gardu induk. Dalam penggunaan arrester jenis ini sering disebut sebagai tabung pelindung (T. S. Hutahuru).



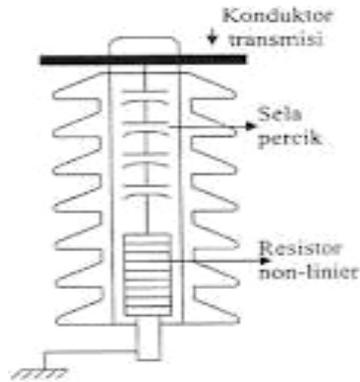
Gambar 2.10 Arrester jenis Ekspulsi

4. Arrester jenis katup

Arrester jenis katup ini terdiri dari sela percik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linier.

Tegangan frekuensi dasar tidak dapat menimbulkan tembus pada sela seri. Apabila sela seri tembus pada saat tibanya suatu surja yang cukup tinggi, alat tersebut menjadi penghantar. Sela seri itu tidak dapat memutuskan arus susulan. Dalam hal ini sela seri tersebut dibantu oleh tahanan non linier yang mempunyai karakteristik tahanan kecil untuk arus besar dan tahanan besar untuk arus susulan dari frekuensi dasar. Arrester jenis katup ini dibagi menjadi tiga jenis ; jenis gardu, jenis saluran dan arrester untuk melindungi mesin-mesin berputar (T. S. Hutahuru).

- e. Arrester katup jenis gardu ini adalah jenis yang paling efisien dan juga paling mahal. Umumnya dipakai untuk melindungi alat-alat yang mahal pada rangkaian-rangkaian mulai dari 2.400 volt sampai 287 kV dan lebih tinggi.
- f. Arrester katup jenis saluran ini lebih murah dari arrester jenis gardu. Kata "saluran" disini bukanlah berarti untuk perlindungan saluran transmisi. Arrester jenis saluran ini dipakai pada sistem dengan tegangan 15 kV sampai 69 kV.
- g. Arrester katup jenis gardu untuk mesin-mesin ini untuk melindungi mesin berputar. Pemakaiannya untuk tegangan 2,4 kV sampai 15 kV.
- h. Arrester katup jenis distribusi untuk mesin-mesin dimana arrester jenis ini khususnya untuk melindungi mesin-mesin berputar dan juga untuk melindungi transformator dengan pendinginan udara tanpa minyak. Arrester jenis ini dipakai pada peralatan dengan tegangan 120 volt sampai 750 volt.



Gambar 2.11 Arrester jenis katup

b.3. Pemilihan Arrester

dalam memilih arrester yang sesuai untuk keperluan tertentu, beberapa faktor harus diperhatikan, yaitu :

- g. Kebutuhan perlindungan ; ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi dan karakteristik impuls dari arrester.
- h. Tegangan sistem ; ialah tegangan maksimum yang mungkin timbul pada jepitan arrester.
- i. Arus hubung singkat sistem ; ini hanya diperlukan pada arrester jenis ekspulsi.
- j. Jenis arrester ; apakah arrester jenis gardu, jenis saluran dan jenis distribusi.
- k. Faktor kondisi luar ; apakah normal atau tidak normal (2.000 meter atau lebih tinggi di atas permukaan laut), temperatur dan kelembaban, yang tinggi serta pengotoran.
- l. Faktor ekonomi ; faktor ekonomi adalah perbandingan antara ongkos pemeliharaan dan kerusakan bila tidak ada arrester, atau bila dipasang arrester yang lebih rendah mutunya.

Untuk tegangan 69 kV dan lebih tinggi dipakai arrester jenis gardu, sedangkan untuk tegangan 23 kV sampai 69 kV salah satu jenis diatas dapat dipakai, tergantung dari segi ekonomisnya.

b.4 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 untuk mengkoordinasikan isolasi peralatan jaringan dengan alat-alat proteksinya. Salah satu metode yang baik adalah menentukan level tertentu isolasi. Level isolasi peralatan harus lebih tinggi dari level isolasi ditentukan dengan pertimbangan dasar sebagai berikut :

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

Penentuan level isolasi didapat dari data pengamatan di lapangan dan laboratorium yang dikombinasikan dengan karakteristik tegangan impuls. Isolasi peralatan yang digunakan tidak boleh mempunyai level isolasi yang lebih rendah dari BIL pada kolom 2 tabel 2.1. Harga yang dapat diambil sebagai acuan dalam pemilihan standar BIL permukaan yang akan digunakan tanpa melihat apakah sistem tersebut ditanahkan atau tidak.

Tabel 2.1 TID (BIL peralatan sistem yang ditanahkan)

Kelas Referensi (kV)	BIL (kV)	80% BIL (kV)
1,2	30	24
8,7	75	60
12	95	76
23	150	120
34,5	200	160
66	250	200
49	350	280
92	450	360
115	550	440
138	650	520
161	750	600
180	825	660
196	900	720
230	1050	840
260	1175	940
287	1300	1040
345	1550	1240

Tabel 2.2 Penetapan Tingkat Isolasi Transformator dan Penangkal Petir

Spesifikasi	Tegangan nominal		
	150	66	20
	kV		
Tegangan tinggi untuk peralatan	170	72,5	24
Pentanahan	Efektif	Tahanan	Tahanan
Transformator (Tegangan pengenalan/sisi Tegangan tinggi)	150	66	20
Tingkat isolasi dasar (TID)	650	325	125
Penangkal Petir			
Tegangan pengenalan	138	75	24
Arus pelepasan nominal	10 kA	10 kA	5 kA
Tegangan pelepasan	460	270	87
Tegangan percik denyut muka gelombang (MG)	530	310	100
Tegangan percik denyut standart	460	270	87
Kelas	10 kA	10 kA	5 kA

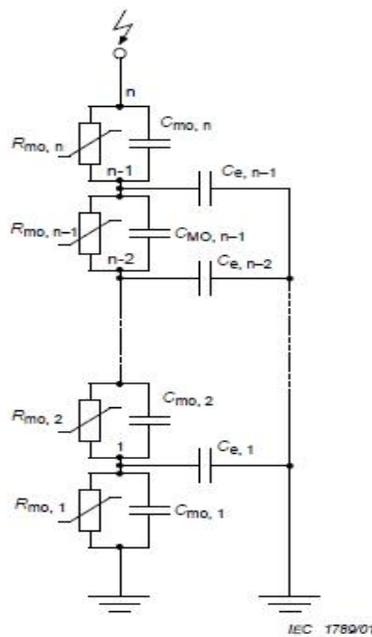
b.5. *Stray capacitance* Pada Arrester

Stray capacitance pada arrester adalah kapasitansi yang timbul pada arrester karena adanya beda potensial yang terjadi antara arrester dengan tanah. Hal tersebut bisa saja mempengaruhi kemampuan arrester dalam meredam

gangguan petir yang datang. *Stray capacitance* pada arrester hanya akan terjadi jika arrester tersebut terdiri dari 2 atau lebih stack arrester yang disusun secara seri. Karena kapasitansi tersebut akan timbul diantara 2 buah stack arrester yang tersusun secara seri. Sehingga untuk arrester yang hanya terdiri dari 1 buah arrester saja *stray capacitance* tidak akan muncul.

Menurut standar IEC untuk menghitung besarnya *stray capacitance* yang timbul pada arrester tersebut, dapat digunakan suatu persamaan sebagai berikut

:



Gambar 2.12 *Stray capacitance* pada arrester

$$C_{e, x} = \frac{(U_{x+1} - U_x) X C_{mo, x+1} - (U_x - U_{x-1}) X C_{mo, x}}{U_x} \dots\dots\dots (2.1)$$

(X = 1,2, ..., n - 1)

Dimana :

U_x = Tegangan pada titik x

$C_{MO,x}$ = Kapasitansi pada bagian x

$C_{e,x}$ = *Stray capacitance* dari tanah ke titik x

n = Nomor bagian

Dan besarnya nilai $C_{MO,x}$ dapat dicari dengan mengacu pada persamaan untuk mencari besarnya kapasitansi total yang dimiliki oleh arrester tersebut.

Dimana persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$C = 100 \frac{n}{d} \text{ pF} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

d = Panjang keseluruhan arrester (meter)

n = Jumlah kolom panel

Dengan menggunakan persamaan kapasitansi hubungan seri, maka besar kapasitansi untuk tiap stack arresternya yaitu :

$$\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana

n = nomor stack arrester

F. Simulasi Menggunakan ATP-EMTP

ATPDraw adalah preprosesor versi ATP dari *Electromagnetic Transients Program (EMTP)* pada sistem operasi windows. Program ini ditulis dengan bahasa Borland Delphi 2..0 dan dapat berjalan normal dengan perangkat lunak Windows 9x/NT/2000/XP. ATPDraw memiliki kemampuan membuat dan menyusun rangkain listrik dan memilih komponen dari menu yang tersedia.

Electromagnetic Transients Program (EMTP) dikembangkan pada domain public di Bonneville Power Administration (BPA) Portland, Oregon pada tahun

1984 oleh EMTP Development Coordination Group and the Electric Power Reserch Institute (EPRI) di Paolo Alto, California. Kelahiran ATP pada awal tahun 1984 dan mulai berkembang secara bertahap melalui kontribusi internasional. Beberapa ahli dari berbagai negara telah memberikan kontribusinya terhadap perkembangan EMTP mulai tahun 1975.

ATPDraw mempunyai perintah standar seperti yang dimiliki oleh windows. Hampir semua standar perintah modifikasi rangkaian terdapat pada ATPDraw, seperti *copy/paste*, *grouping*, *rotate*, *export/import*, *undo/redo* (ATPDRAW version 3.5).

c.1. Modul Terintegrasi Program ATP

MODELS di ATP adalah simulasi untuk memodelkan dan mensimulasikan sistem time-variant. MODELS pada ATP menjadikan ATP mudah untuk melakukan hubungan dengan program lain atau models lain ke ATP MODELS adalah alat yang mempunyai fungsi yang masih bisa diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan misalnya saja melakukan simulasi baik itu dalam domain waktu maupun dalam domain frekuensi.

TACS dalam ATP adalah modul simulasi untuk analisa domain waktu pada sistem kendali. Sebenarnya dibuat untuk melakukan simulasi pada kontrol konverter tegangan tinggi arus searah (High Voltage Direct Current. HVDC). Untuk TACS digunakan blok diagram. TACS bisa digunakan untuk :

- d. Kontrol konverter HVDC
- e. Sistem eksitasi pada mesin sinkron
- f. Arcing (pada CB)

Tampilan antara jaringan elektrik dan TACS membentuk pertukaran sinyal seperti titik tegangan, arus switch, status switch, resistansi berdasarkan waktu, sumber arus dan tegangan (ATPDRAW version 3.5).

c.2. Kemampuan Program ATP

Program ATP mampu memperkirakan hasil dari variabel tertentu (tegangan atau arus) pada sebuah rangkaian listrik dalam fungsi waktu, yang biasanya pada rangkaian tersebut terdapat gangguan. ATP menyediakan banyak model komponen listrik misalnya motor, generator, transformator, lightning arrester, saluran transmisi dan kabel. ATP juga menyediakan modul program untuk menganalisa kondisi transien sistem kontrol. Fasilitas ini biasa dikenal dengan nama TACS (Transient Analysis of Control System). Dengan fasilitas ini, dimungkinkan untuk menganalisa respon transien sistem kontrol terhadap gejala-gejala atau gangguan nonlinier seperti surja dan gejala korona. TACS juga mampu menganalisa karakteristik dinamis sistem tanpa melalui penggambaran atau pemodelan sistem sebagai sebuah rangkaian listrik. ATP dapat digunakan untuk simulasi dalam gangguan kondisi simetris maupun tidak simetris, surja petir. ATP juga mampu menganalisa efek harmonis dari suatu sistem dengan metode injeksi arus harmonik.

Library yang disediakan oleh ATP terdapat beberapa komponen antara lain sebagai berikut :

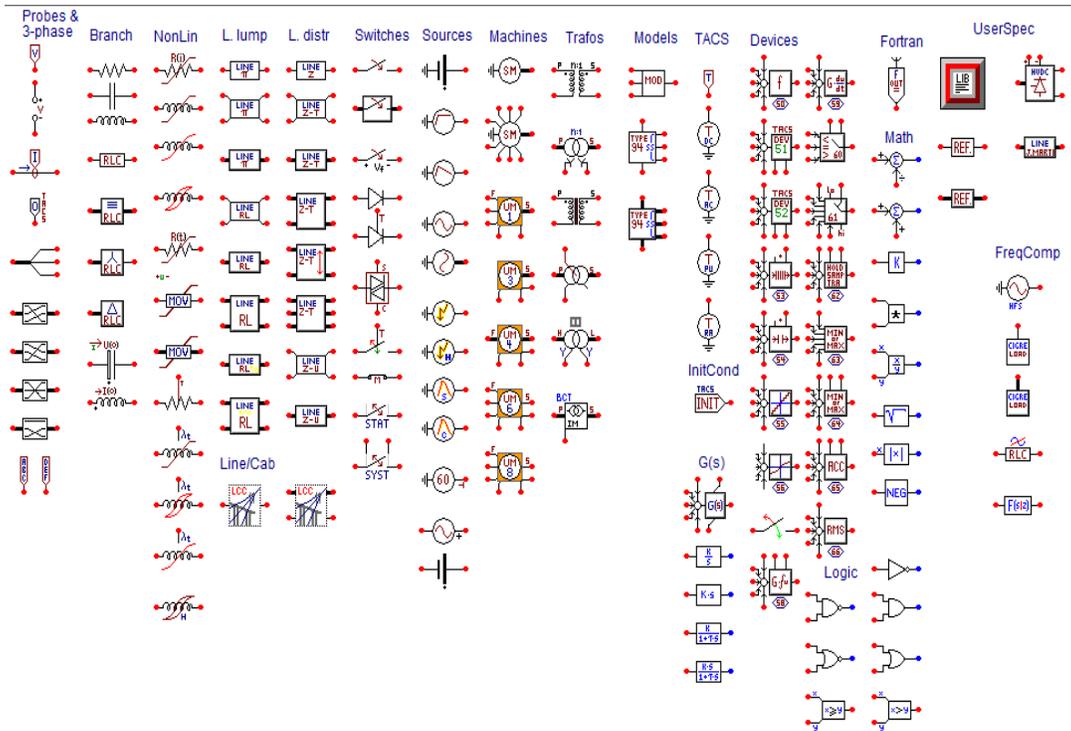
10. Komponen RLC, baik yang terintegrasi (lumped) maupun terpisah
11. Saluran transmisi dan kabel dengan parameter yang bergantung pada frekuensi.

12. Resistor dan induktor nonlinier, hysteretic inductor dan time varying resistance
13. Komponen-komponen kontrol (TACS)
14. Komponen listrik yang memiliki sifat nonlinier, seperti : transformator dengan saturasi dan rugi-rugi histeresis, lightning arrester dan komponen busur api
15. Dioda, thyristor dan triac
16. Mesin-mesin berputar : mesin sinkron 3 fasa, model TACS mesin listrik.
17. Sumber arus dan tegangan.

c.3. Menu Dasar ATP – EMTP

ATPDraw hampir semua standar yang dimiliki oleh system operasi windows. Ada beberapa tools penting yang perlu untuk diketahui dan dimengerti agar dapat memakai program ini dengan baik. Tools utama yang harus diketahui adalah menu utama, jendela rangkaian dan menu untuk memilih komponen.

Komponen yang diperlukan dapat dipilih secara langsung dari component selection menu ini, dengan klik kanan dan memilih komponen yang disediakan. Spesifikasi komponen juga dapat kita tentukan sendiri dengan cara klik dua kali pada komponen yang dipilih. Adapun beberapa komponen tersebut terlihat gambar 2.13 dibawah ini.

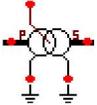


Gambar 2.13 Komponen simulasi EMTP

c.4. Pemodelan Menggunakan EMTP

Dalam tesis ini akan dimodelkan dan disimulasikan terjadinya sambaran petir langsung pada saluran yang terjadi pada jaringan sistem distribusi jaringan tegangan menengah 20 kV. Berikut ini adalah komponen-komponen yang digunakan dalam simulasi.

Tabel 2.3 Gambar komponen yang dipakai dalam simulasi

Komponen	Keterangan
	Sumber Tegangan
	Transformator

	Pemodelan untuk beban
	Saluran Transmisi
	Arus Impuls petir
	Lightning Arrester

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang bertujuan untuk mengetahui kinerja arrester pada jaringan tegangan menengah 20 kV akibat *stray capacitance* pada PT.PLN (Persero) Rayon Makassar. Yang dikhususkan pada Penyulang Pelindo dan Penyulang Andalas.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

- a. Lokasi penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) Rayon Makassar pada jaringan tegangan menengah 20 kV pada Penyulang Pelindo dan Penyulang Andalas
- b. Penelitian ini akan dilakukan di PT.PLN (Persero) Rayon Makassar kurang lebih 2 bulan terhitung mulai bulan Maret 2011 – April 2012

C. Metode Pengumpulan Data

1. Data Primer

Melakukan pengumpulan data dokumenter pada objek penelitian.

2. Data Sekunder

- a. Studi pustaka, merupakan pengumpulan materi, artikel, buku, laporan kerja, atau makalah.
- b. Dokumentasi, dalam hal ini sebagai penunjang data utama.

D. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah Kinerja Arrester pada sistem Jaringan tegangan menengah 20 kV akibat *stray capacitance* pada PT. PLN (Persero) Rayon Makassar pada Penyulang Pelindo dan Penyulang Andalas.

E. Alat yang Dipergunakan

Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak. Sebagai berikut

1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan adalah 1 ((satu) unit komputer (laptop) yang telah dilengkapi dengan peralatan printer.

2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Perangkat lunak yaitu *Microsoft Windows 7*

b. Perangkat lunak yaitu *EMTP*

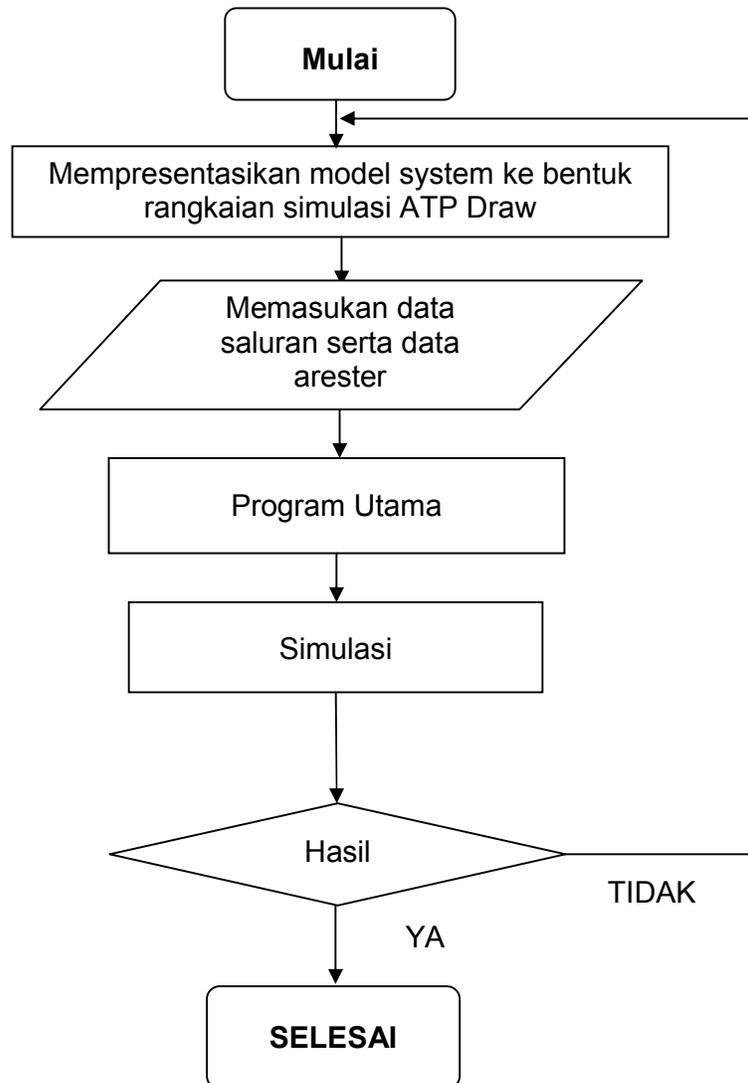
F. Teknik Analisis

Data-data yang telah didapatkan selanjutnya dipakai untuk menentukan kinerja arrester pada jaringan tegangan menengah akibat *stray capacitance* dengan menggunakan simulasi EMTP. Adapun langkah-langkah dalam penyelesaian

1. Menyiapkan data terkait yang akan dipakai dalam simulasi dalam EMTP.
2. Menyiapkan data-data yang diperlukan seperti data arrester, data saluran pada jaringan tegangan menengah 20 kV pada Penyulang Pelindo dan penyulang Andalas

3. Menggambar dan memodelkan rangkaian arrester pada jaringan tegangan menengah 20 kV tanpa adanya *stray capacitance* dan dengan adanya *stray capacitance*.
4. Mensimulasi dengan model petir dengan bentuk surja tipikal 1,2/50 μ s; 1/4 μ s; 8/20 μ s dan 30/60 μ s.
5. Menjalankan simulasi dari ke empat model petir dengan bentuk surja tipikal dengan menguji kemampuan arrester 24 kV dengan petir 20 kA dan 40 kA
6. Setelah mendapatkan hasil dari simulasi maka dibuatkan grafik untuk melihat besar tegangan pada phasa A.

G. Prosedur Simulasi



Gambar 3.1. Diagram Alur simulasi

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISA

A. *Stray Capacitance* Pada Arrester

Simulasi untuk menemukan besarnya *stray capacitance* yang timbul pada sebuah arrester dilakukan dengan perangkat lunak ATP_EMTP. Arrester yang dimodelkan mengacu pada model EXLIM – P. Surge Arrester yang diproduksi oleh ABB seperti yang terlihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 EXLIM-P surge arrester produk ABB

Penangkal petir umumnya tidak dapat bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah di satu tempat dalam sistem, oleh karena itu rating tegangan penangkal petir harus lebih tinggi dan tegangan fasa sehat ke tanah. Rating tegangan arrester dapat dicari dengan persamaan :

$U_r = \text{Tegangan rms fasa ke fasa} \times 1.10 \times \text{koefisien pentanahan}$

Besarnya koefisien pentanahan bergantung pada jenis pentanahan dalam sistem yaitu :

- a. Sistem yang ditanahkan langsung koefisien pentanahan 0.8. Penangkal petirnya disebut sebagai penangkal petir 80 %.
- b. Sistem yang tidak ditanahkan langsung koefisien pentanahannya 1.0. Penangkal petirnya disebut sebagai penangkap 100 %

Maka untuk sistem tegangan 20 kV, rating arrester yang dipakai adalah:

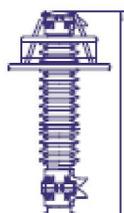
- a. Sistem yang ditanahkan secara langsung :

$$\begin{aligned}U_r &= (20 \times 1.1 \times 0.8) \\ &= 17.6 \text{ kV}\end{aligned}$$

- b. Sistem yang tidak ditanahkan secara langsung :

$$\begin{aligned}U_r &= (20 \times 1.1 \times 1.0) \\ &= 22 \text{ kV}\end{aligned}$$

Sistem yang dilakukan diasumsikan sistem tenaga listrik ditanahkan secara langsung, dan sesuai dengan tabel maka tegangan yang mendekati dengan 17.6 adalah 24 kV dan dimensi arrester petir ditunjukkan pada gambar 4.2.



1.200 mm

Gambar 4.2. Dimensi surge arrester

Parameter-parameter untuk rangkaian dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

$$C = 100 \frac{n}{d} \text{ pF} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$C = 100 \frac{1}{1.200} \text{ pF}$$
$$= 83.33 \text{ pF}$$

Maka besar kapasitansi untuk tiap stack arresternya yaitu :

$$\frac{1}{C_{\text{total}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \dots\dots\dots (C_1 = C_2) \dots\dots\dots(4.2)$$

$$\frac{1}{83.33} = \frac{2}{C_1}$$

$$C_1 = 166.66 \text{ pF}$$

Karena system yang dipakai adalah sistem yang ditanahkan langsung maka besar tegangan $U_1 = 1732$; $U_2 =$ Akar tiga kali koefisien pentanahan = $1732 \times 0,8 = 13853$ dan $U_3 = 20000$.

Jadi besarnya nilai *stray capacitance* dapat dicari sbb :

$$C_{e,1} = \frac{(U_3 - U_2)C_{mo,2} - (U_2 - U_1)C_{mo,1}}{U_2} \dots\dots\dots(4.3)$$

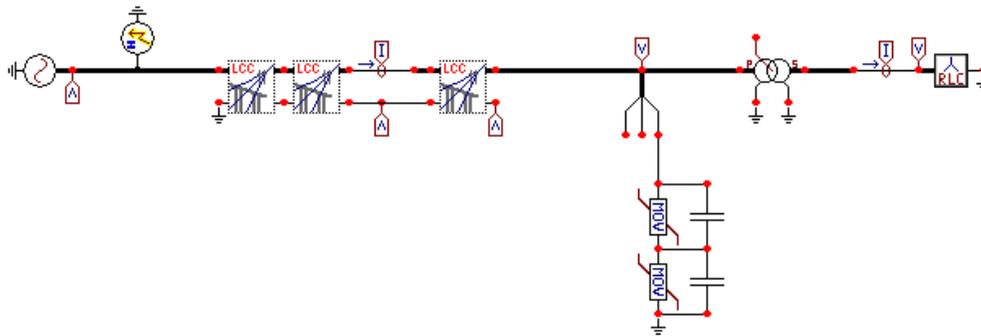
$$= \frac{(20000 - 13856) \times 166,66 - (13856 - 1732) \times 166,66}{13865}$$

$$= 71.92 \text{ pF}$$

B. Simulasi Kinerja Arrester Tanpa Adanya *Stray capacitance*

Simulasi pada penelitian ini dilakukan dengan perangkat lunak Elektromagnetic Transient Program (EMTP) pada arrester petir tegangan menengah 20 kV. Model rangkaian yang digunakan adalah model rangkaian Narong Mungkung.

Model rangkaian yang digunakan oleh Narong Mungkung dapat dilihat pada gambar 4.3. Simulasi dilakukan dengan sumber tegangan 20 kV, kemudian menghubungkan input rangkaian arrester petir yang digunakan untuk melindungi sisi primer dari sebuah transformator 20kV/380-220 V dan sebuah sumber tegangan petir. Pada sisi sekunder trafo dipasang sebuah beban berupa rangkaian RLC. Adapun arrester petir ditanahkan secara langsung.



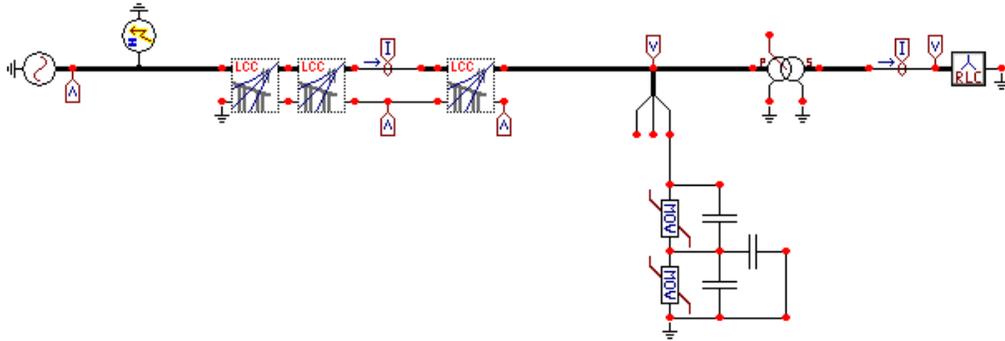
Gambar 4.3 Model rangkaian arrester pada jaringan tegangan menengah tanpa adanya *stray capacitance* pada arrester.

Model petir yang digunakan pada simulasi ini yaitu model petir dengan bentuk surja tipikal ($1.2/50 \mu\text{s}$), model petir dengan model front time yang pendek ($1/4 \mu\text{s}$), model petir dengan front time sedang ($8/20 \mu\text{s}$) dan model petir dengan front time yang panjang ($30/60 \mu\text{s}$). Dan akan dilihat besarnya tegangan pada fasa A pada sisi primer trafo.

C. Simulasi Kinerja Arrester Dengan Adanya *Stray capacitance*

Simulasi dimodelkan dengan menambah kapasitansi yang timbul pada arrester karena adanya perbedaan potensial tegangan. Rangkaian yang digunakan hampir sama seperti pada gambar 4.3 diatas, hanya saja arrester di sisi primer transformator dipararel dengan sebuah kapasitor yang menggambarkan *stray capacitance* yang timbul (gambar 4.4). Model petir yang digunakan pada simulasi ini yaitu model petir dengan bentuk surja tipikal ($1,2/50 \mu\text{s}$), model petir dengan front time yang pendek ($1/4 \mu\text{s}$), model petir dengan front time yang sedang ($8/20 \mu\text{s}$) dan model petir dengan front time yang panjang ($30/60 \mu\text{s}$), sehingga akan didapatkan efek kapasitansi tersebut terhadap kinerja

dari sebuah arrester. Dan akan dilihat besarnya tegangan pada fasa A sisi primer trafo.



Gambar 4.4 Model rangkaian arrester pada Jaringan Tegangan Menengah dengan adanya *stray capacitance* pada arrester.

D. Pengaruh *Stray capacitance* Pada Kinerja Arrester Pada Penyulang

Pelindo

Perbedaan tegangan yang terjadi antara konduktor dan tanah pada sebuah arrester menyebabkan sifat kapasitansi dari sistem tersebut, sifat kapasitansi tersebut pastinya akan memberikan efek pada kemampuan dari arrester tersebut. Pada sub bab ini akan diperlihatkan seberapa besar efek yang disebabkan oleh timbulnya kapasitansi tersebut pada kinerja dari sebuah arrester 20 kV. Dengan mengubah besarnya gangguan petir dan model petir yang terjadi pada saluran sebagai pembanding, maka dapat dilihat efek dari kapasitansi tersebut.

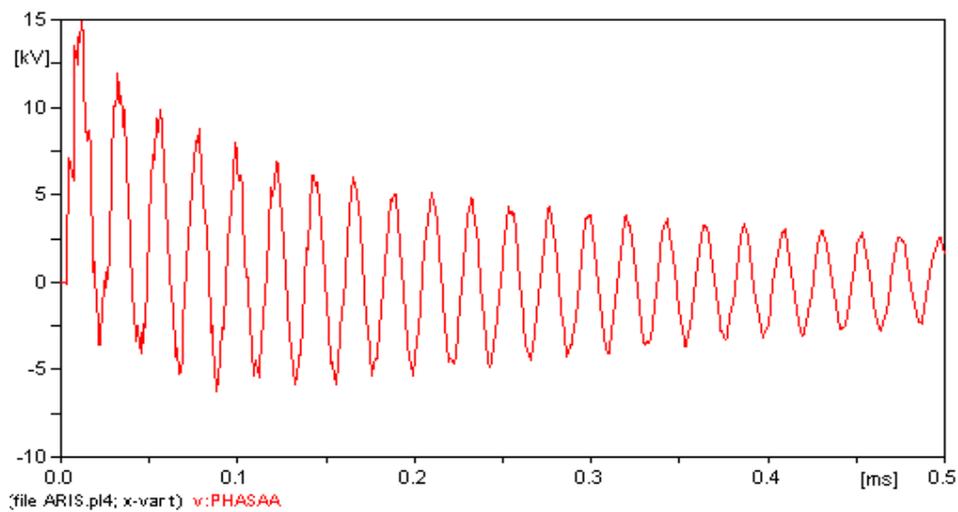
d.1. Kinerja Arrester Untuk 20 kA

Arrester akan diuji kemampuannya dengan memberikan gangguan sebesar 20 kA. Model gangguan petir yang terjadi yang diberikan pada simulasi

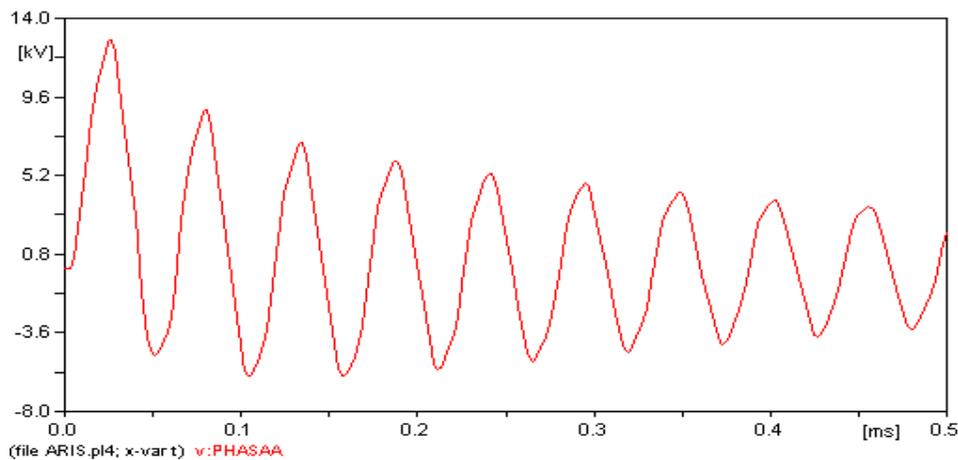
yaitu model petir dengan bentuk surja tipikal (1,2/50 μ s), model petir dengan front time yang pendek (1/4 μ s), model petir dengan front time sedang (8/20 μ s) dan model petir dengan front time yang panjang (30/60 μ s).

d.1.1 Model Petir Dengan Bentuk Surja Tipikal (1,2/50 μ s)

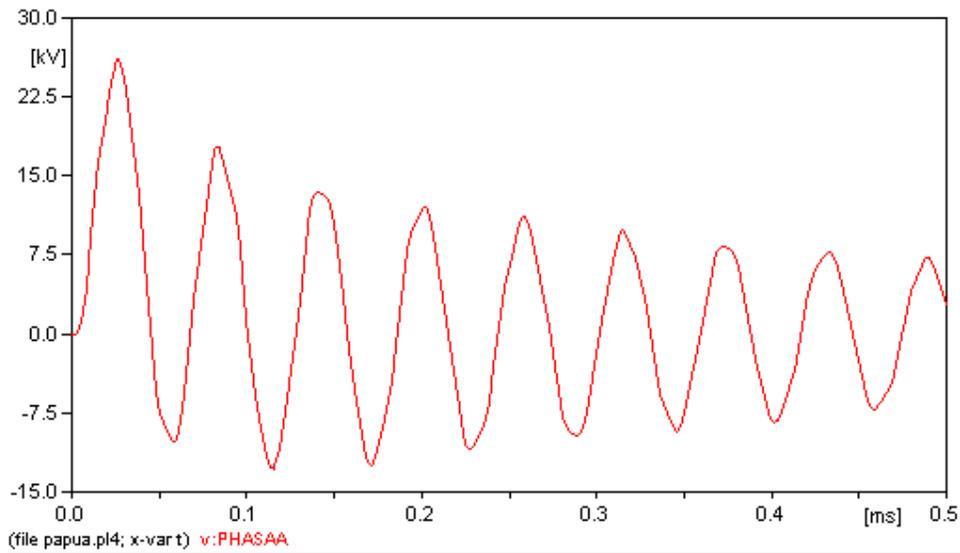
Dengan model petir bentuk surja tipikal (1,2/50 μ s) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 20 kA.



Gambar 4.5. Tegangan phasa A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 20 kA (1.2/50 μ s)



Gambar 4.6. Tegangan phasa A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA (1,2/50 μ s).

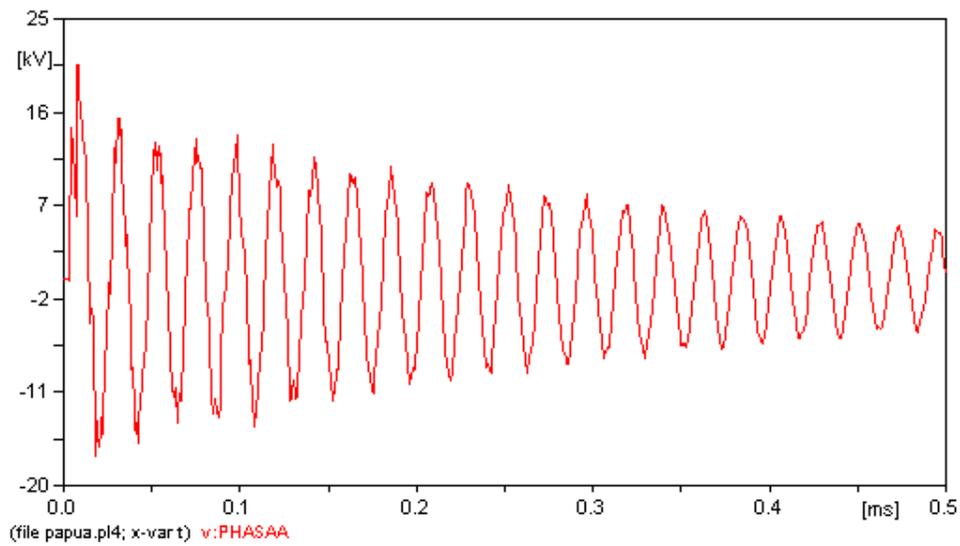


Gambar 4.7 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA (1,2/50 μ s)

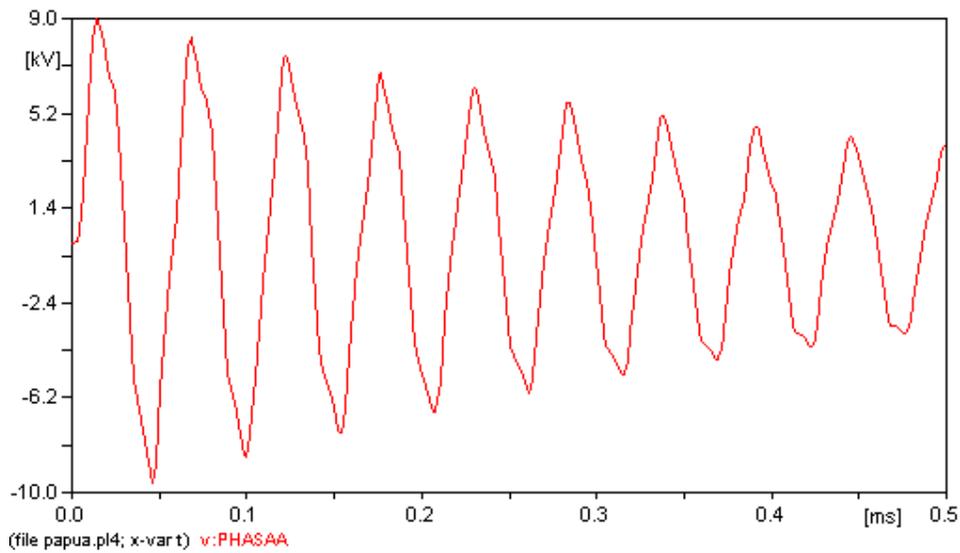
Dapat dilihat pada gambar di atas tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi. Maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan puncak yang terjadi pada fase A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan puncak untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 26505 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 26062 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 30653 Volt.

d.1.2 Model Petir Dengan Front Time Pendek (1/4 μ s)

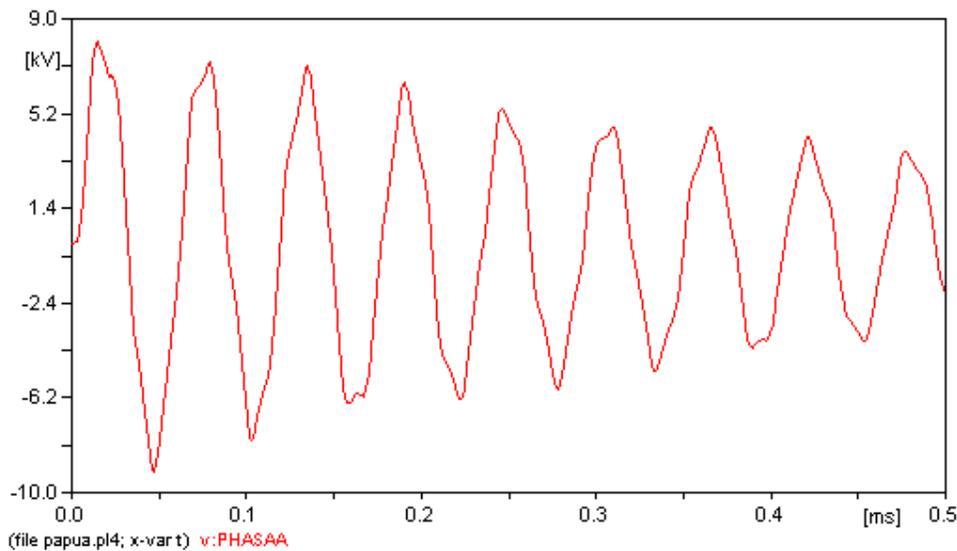
Dengan model petir front time pendek (1/4 μ s) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 20 kA.



Gambar 4.8 Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 20 kA ($1/4 \mu\text{s}$)



Gambar 4.9 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA ($1/4 \mu\text{s}$)

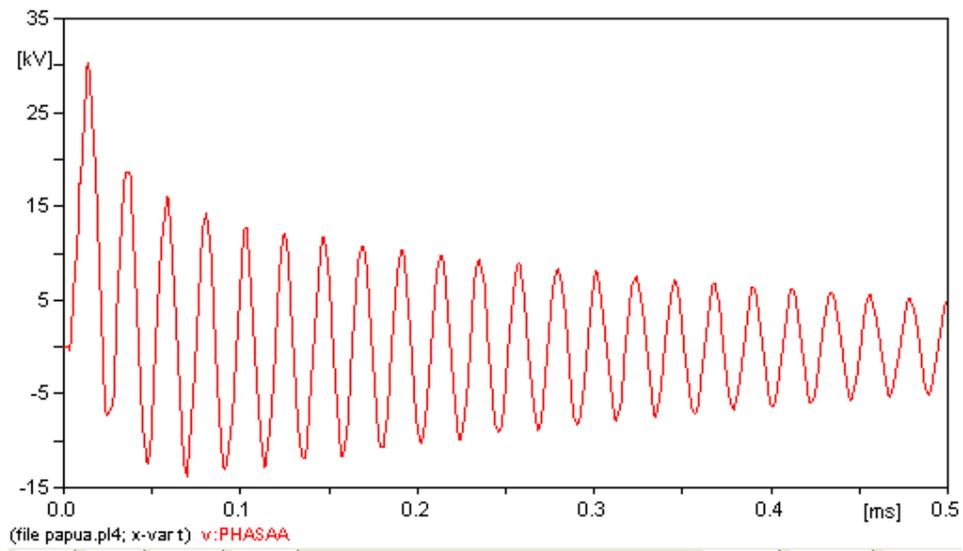


Gambar 4.10 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA (1/4 μ s)

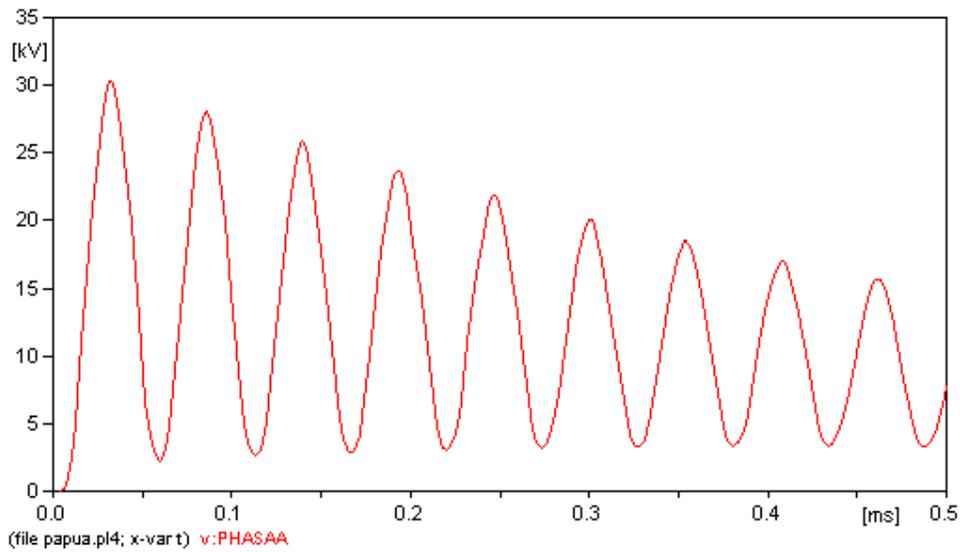
Dapat dilihat dari gambar di atas maka tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh besar pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi, maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan puncak yang terjadi pada fase A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan *puncak* untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 8992 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 8066 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 18852 Volt.

d.1.3 Model Petir Dengan Front time Sedang (8/20 μ s)

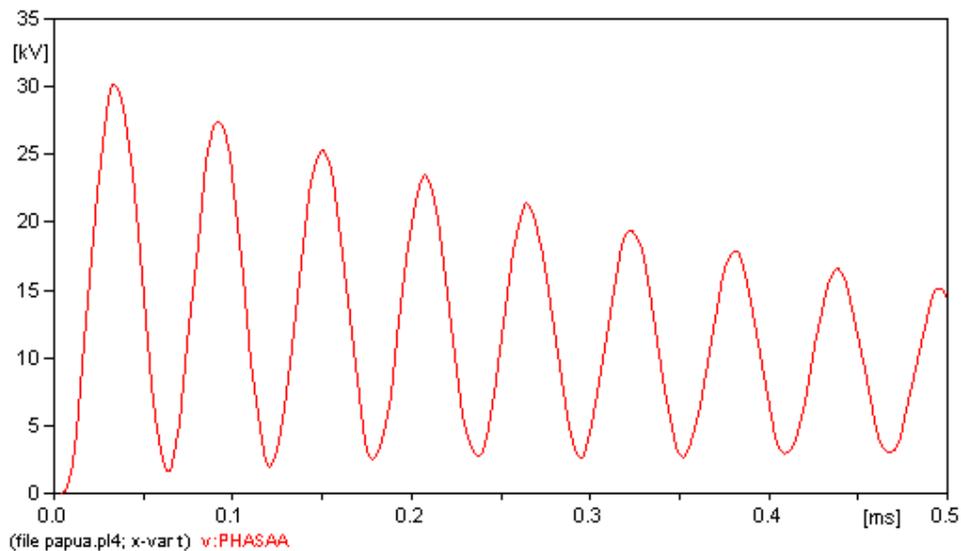
Dengan model petir front time sedang (8/20 μ s) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 20 kA.



Gambar 4.11 Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 20 kA (8/20 μ s).



Gambar 4.12 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA (8/20 μ s).

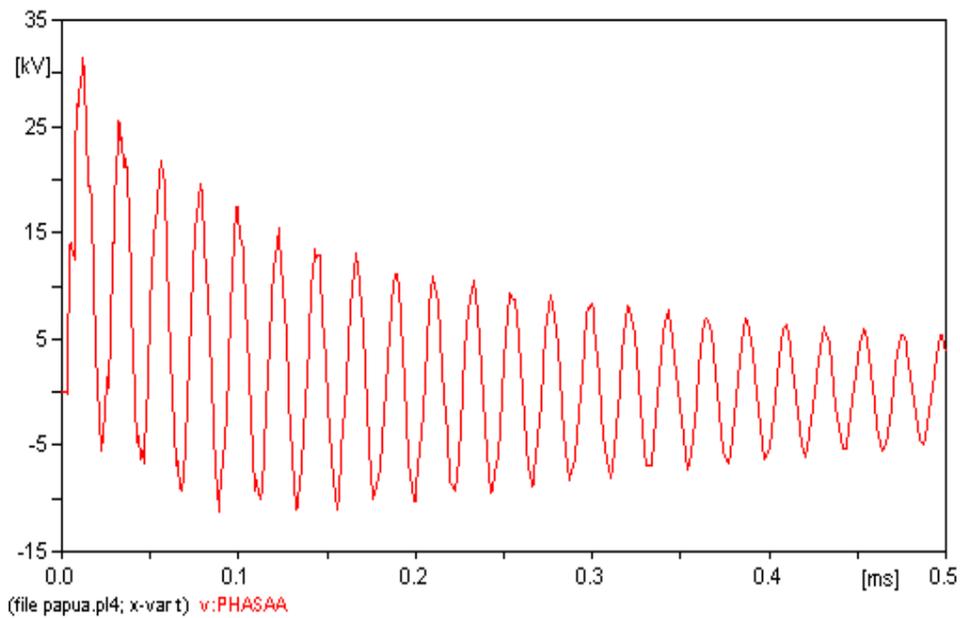


Gambar 4.13 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA (8/20 μ s).

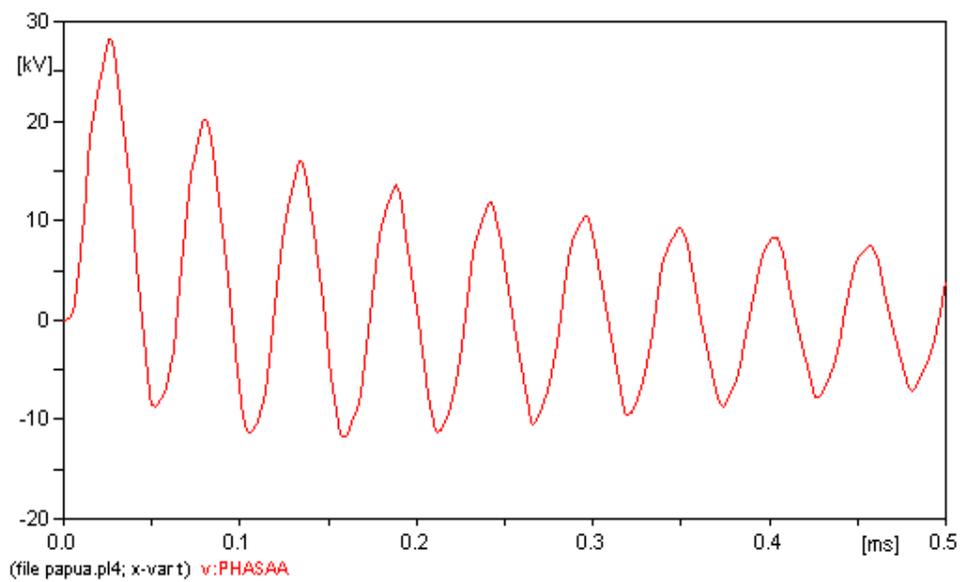
Dapat dilihat dari gambar di atas maka tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh besar pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi, maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan puncak yang terjadi pada fase A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan puncak untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 25975 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 25251 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 30105 Volt.

d.1.4 Model Petir Dengan Front time Panjang (30/60 μ s)

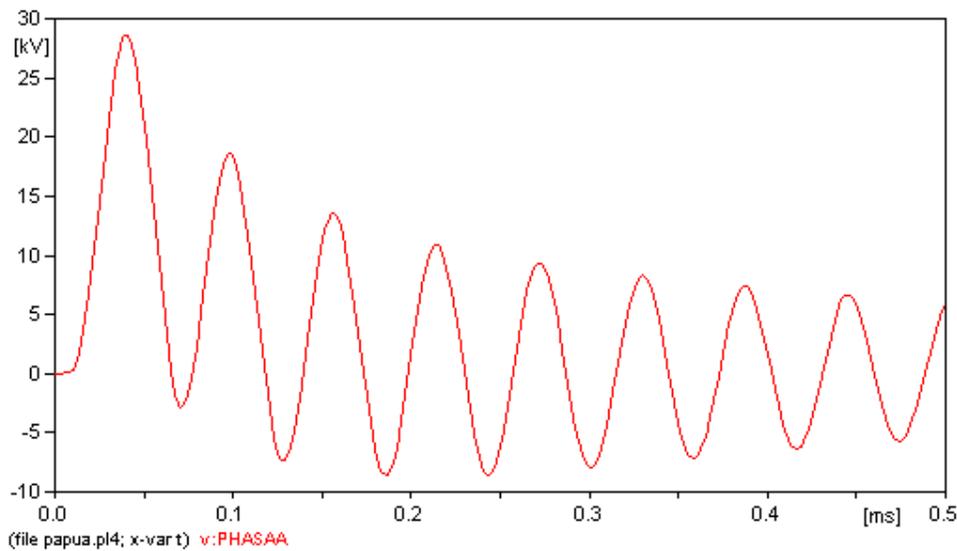
Dengan model petir front time panjang (30/60 μ s) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 20 kA.



Gambar 4.14 Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 20 kA (30/60 μ s)



Gambar 4.15 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA (30/60 μ s)



Gambar 4.16 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA (30/60 μ s)

Dapat dilihat dari gambar di atas maka tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh besar pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi, maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan puncak yang terjadi pada fase A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan puncak untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 28290 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 27826 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 31229 Volt.

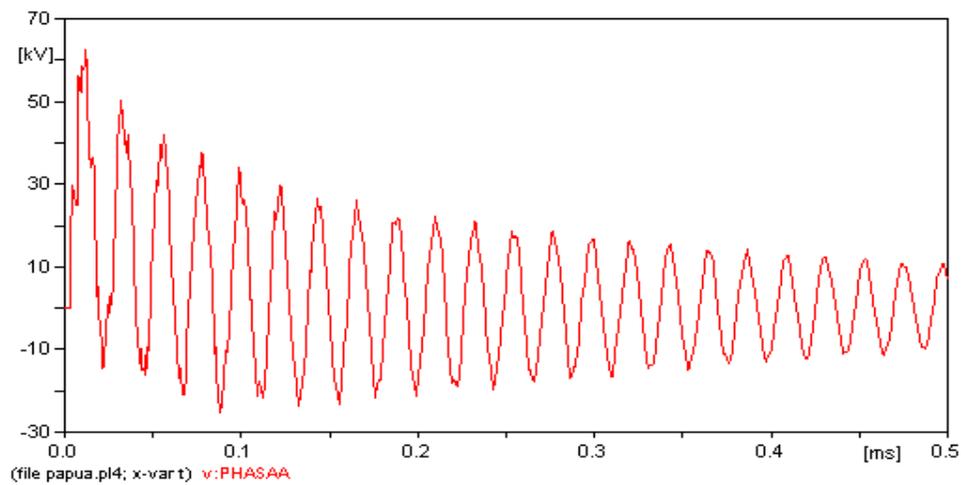
d.2. Kinerja Arrester Untuk Petir 40 kA

Arrester akan diuji kemampuannya dengan memberi gangguan petir sebesar 40 kA. Model gangguan petir yang terjadi yang diberikan pada simulasi yaitu model petir dengan bentuk surja tipikal (1,2/50 μ s), model petir dengan front

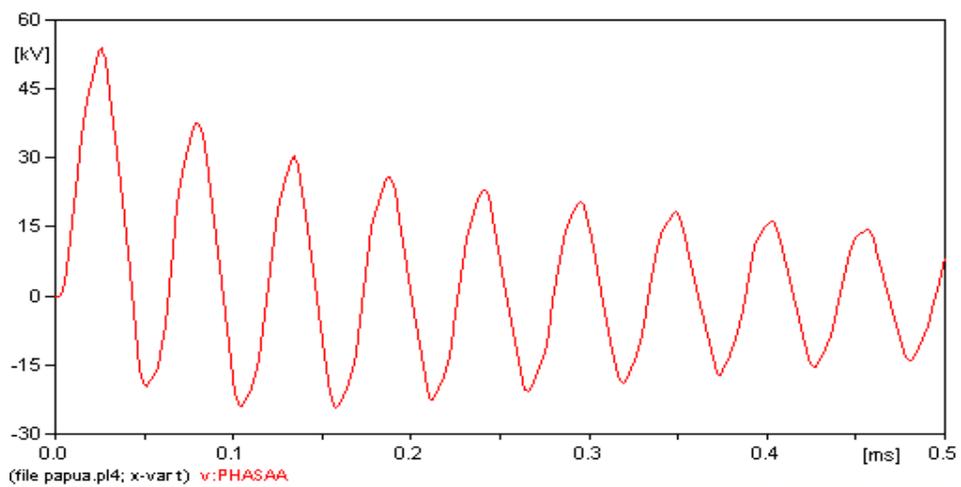
time pendek ($1/4 \mu\text{s}$), model petir dengan front time sedang ($8/20 \mu\text{s}$) dan model petir dengan front time yang panjang ($30/60 \mu\text{s}$).

d.2.1 Model Petir Dengan Bentuk Surja Tipikal ($1,2/50 \mu\text{s}$)

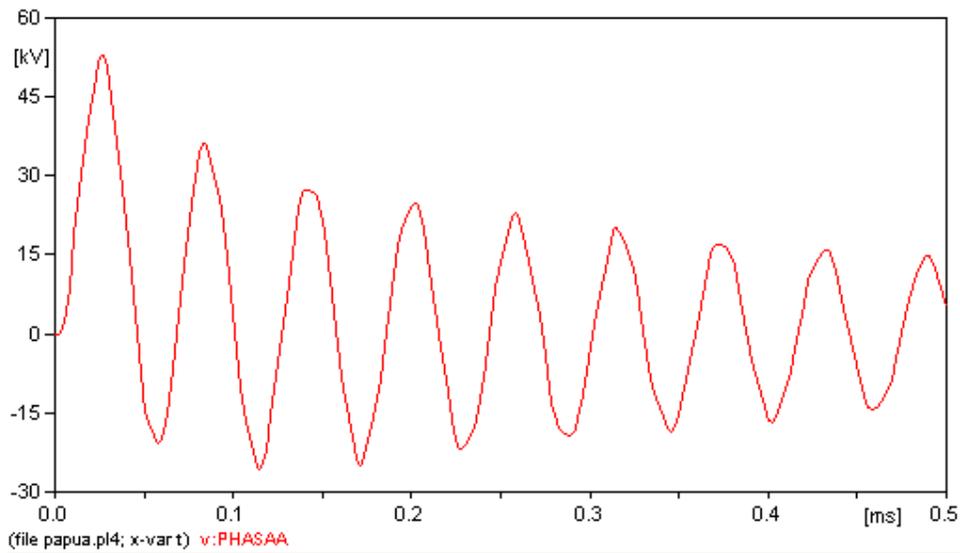
Dengan model petir bentuk surja tipikal ($1,2/50 \mu\text{s}$) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 40 kA



Gambar 4.17 Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA ($1,2/50 \mu\text{s}$)



Gambar 4.18 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA ($1,2/50 \mu\text{s}$)

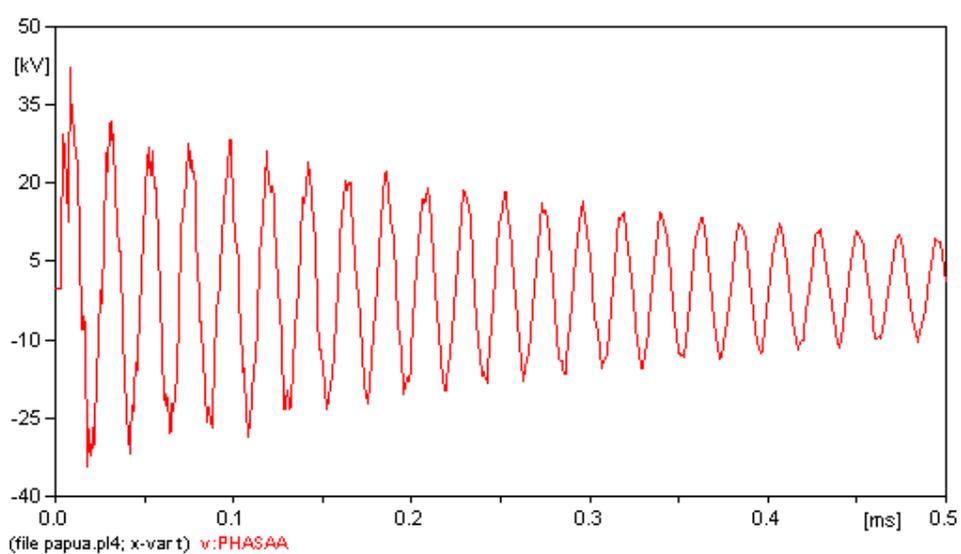


Gambar 4.19 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)

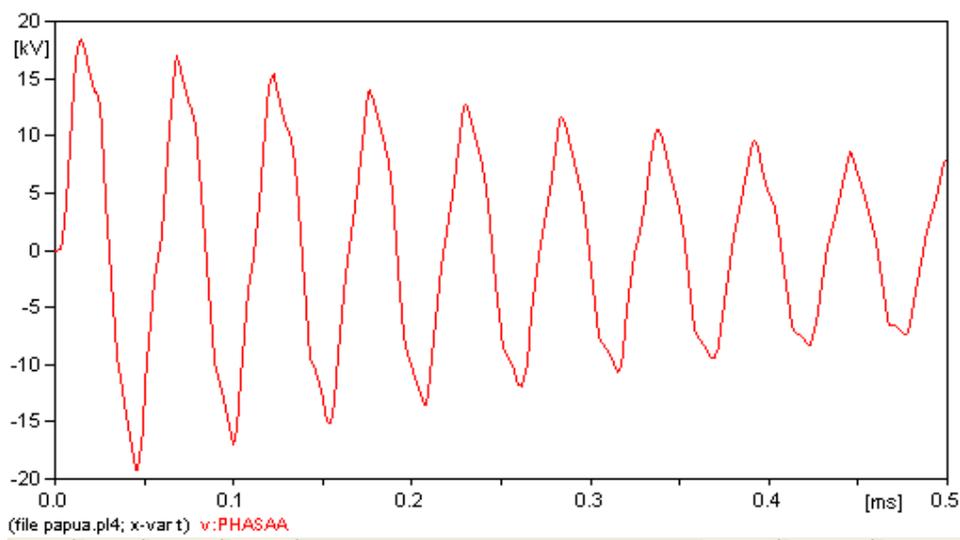
Dapat dilihat dari gambar di atas maka tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh besar pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi, maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan puncak yang terjadi pada fase A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan puncak untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 53748 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 52951 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 62181 Volt.

d.2.2 Model Petir Dengan Front Time Pendek (1/4 μ s)

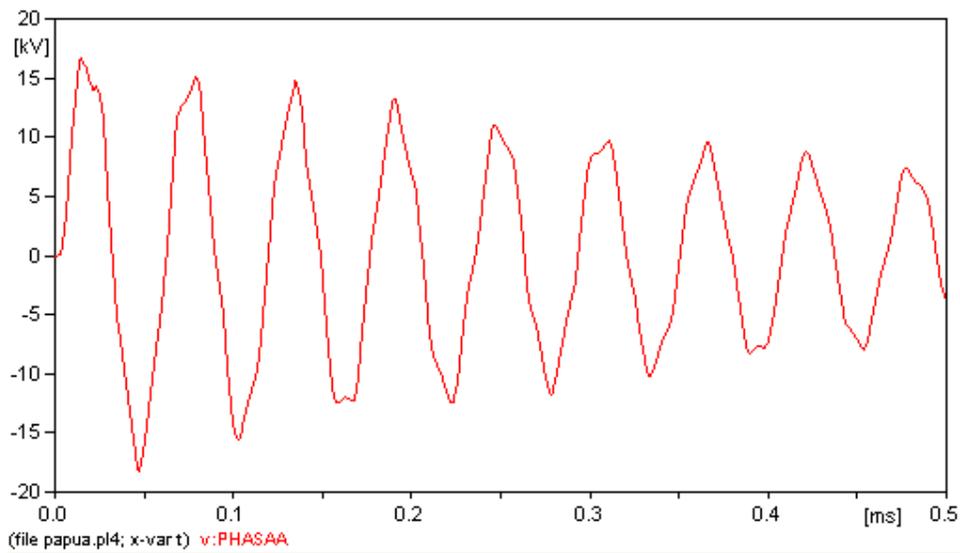
Dengan model petir front time pendek (1/4 μ s) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 40 kA.



Gambar 4.20 Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA ($1/4 \mu\text{s}$)



Gambar 4.21 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA ($1/4 \mu\text{s}$)

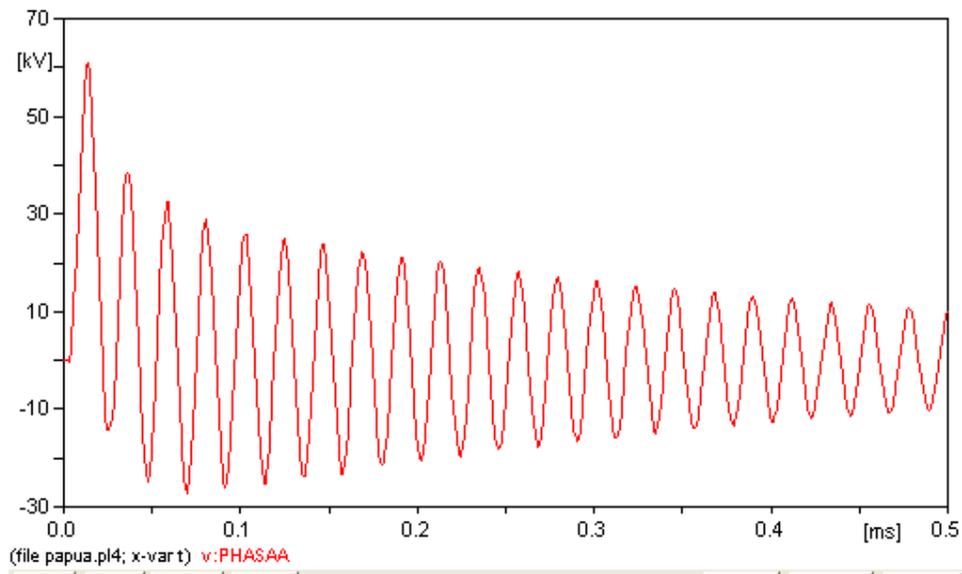


Gambar 4.22 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA ($1/4 \mu\text{s}$)

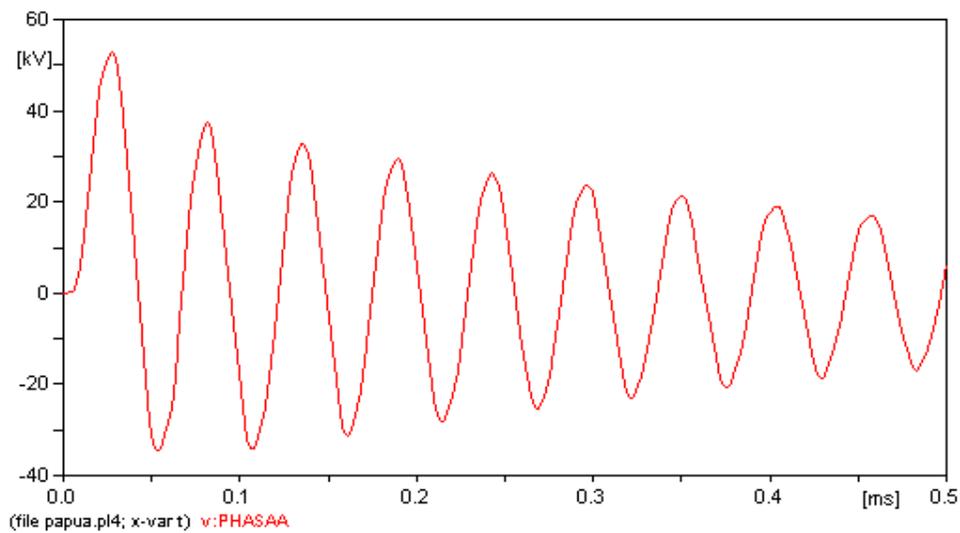
Dapat dilihat dari gambar di atas maka tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh besar pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi, maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan puncak yang terjadi pada fase A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan puncak untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 18400 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 16625 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 39176 Volt.

d.2.3 Model Petir Dengan Front Time Sedang ($8/20 \mu\text{s}$)

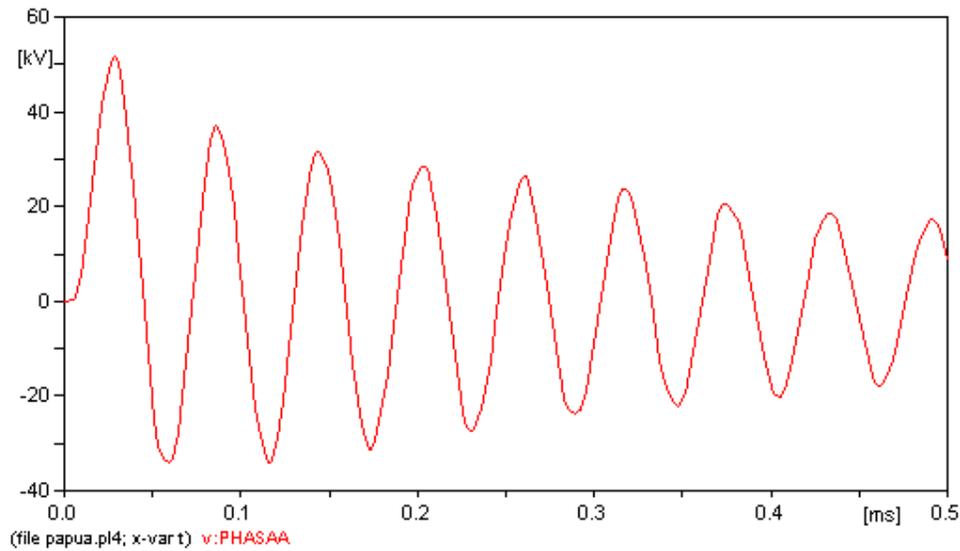
Dengan model petir front time sedang ($8/20 \mu\text{s}$) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 40 kA



Gambar 4.23 Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA (8/20 μ s)



Gambar 4.24 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA (8/20 μ s)

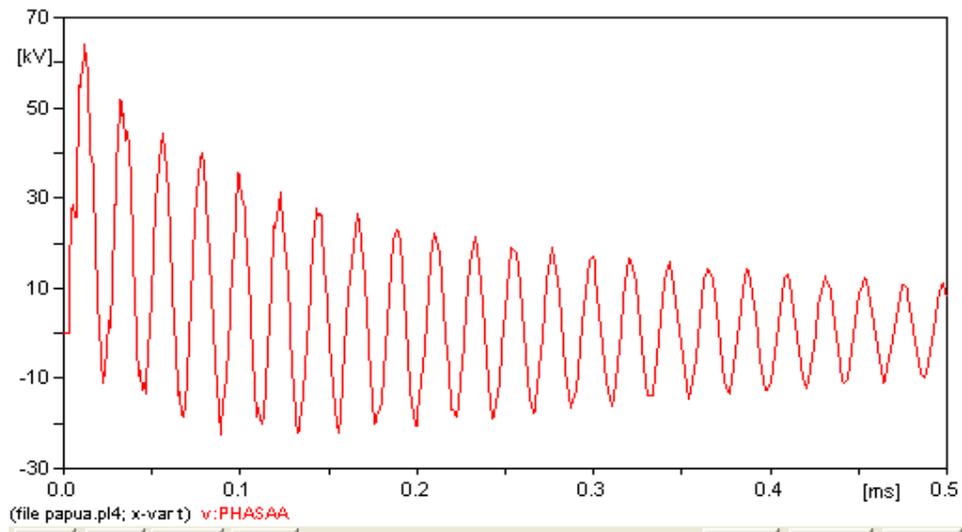


Gambar 4.25 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA (8/20 μ s)

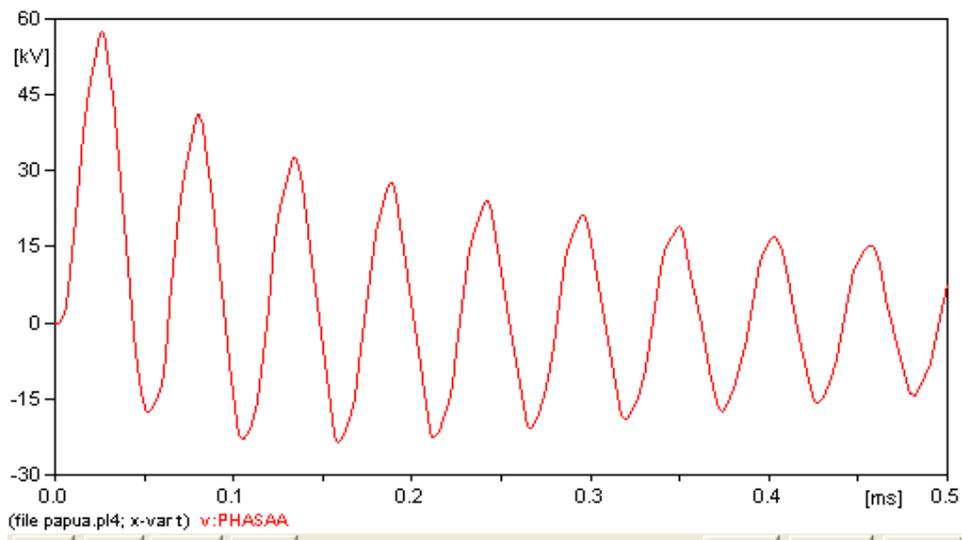
Dapat dilihat dari gambar di atas maka tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh besar pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi, maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan puncak yang terjadi pada fase A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan puncak untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 52793 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 51720 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 60783 Volt.

d.2.4 Model Petir Dengan Front Time Panjang (30/60 μ s)

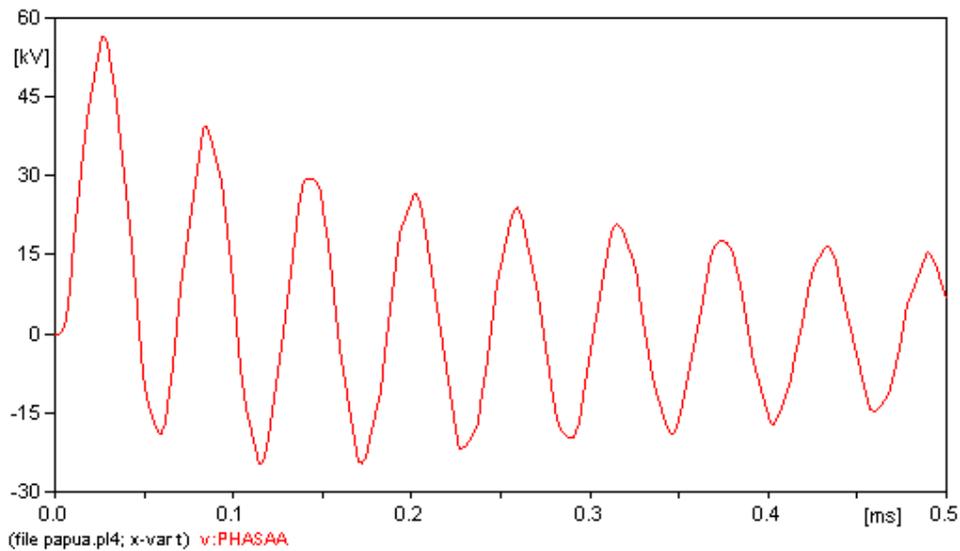
Dengan model petir front time panjang (30/60 μ s) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 40 kA.



Gambar 4.26 Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA (30/60 μ s)



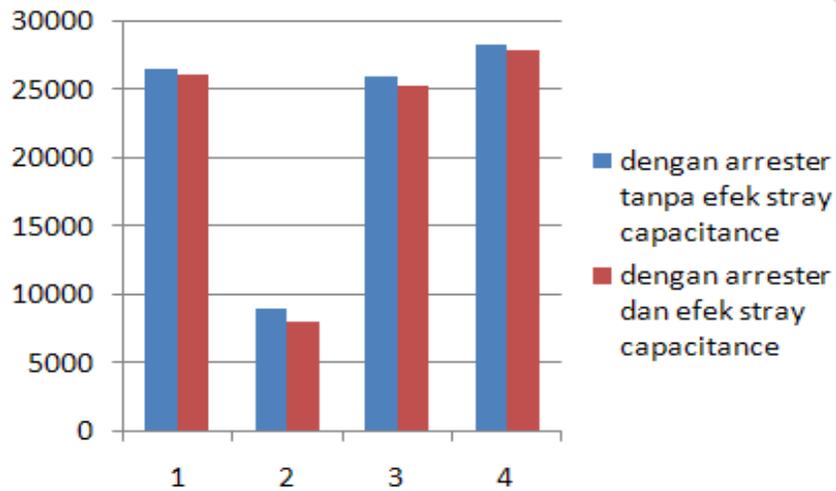
Gambar 4.27 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA (30/60 μ s)



Gambar 4.28 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA (30/60 μ s)

Dapat dilihat dari gambar di atas maka tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh besar pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi, maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan puncak yang terjadi pada fase A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan puncak untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 57454 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 56511 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 63334 Volt.

Dari beberapa kondisi gangguan diatas maka dapat dibuat grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.29 dan gambar 4.30. Pada grafik tersebut dapat terlihat jelas bahwa pengaruh *stray capacitance* sangat kecil pada kemampuan arrester untuk meredam gangguan yang terjadi.



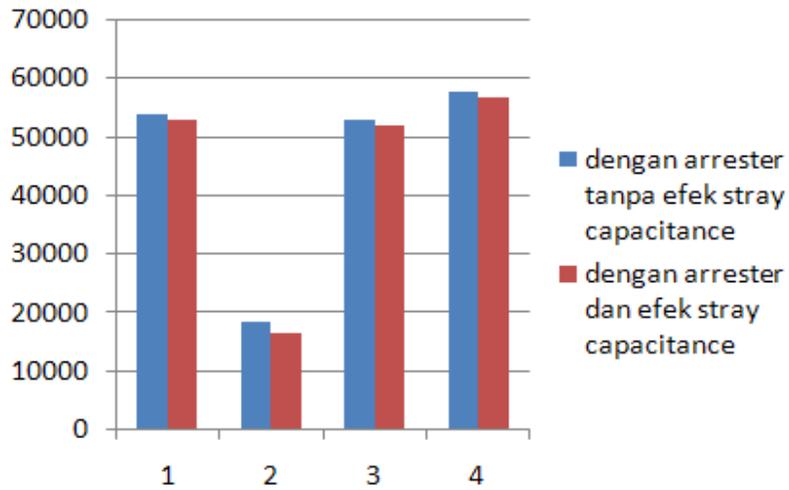
Gambar 4.29 Grafik besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA

Keterangan :

1. = Model surja tipikal (1,2/50 μ s)
2. = Model front time pendek (1/4 μ s)
3. = Model front time sedang (8/20 μ s)
4. = Model front time panjang (30/60 μ s)

Tabel 4.1 Besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA

Model Petir	Sebelum dipasang arrester (V)	Setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> (V)	Setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> (V)
1,2/50 μ s	30653	26505	26062
1/4 μ s	18852	8992	8066
8/20	30105	25975	25251
30/60 μ s	31229	28290	27826



Gambar 4.30 Grafik besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA

Keterangan :

1. = Model surja tipikal (1,2/50 μ s)
2. = Model front time pendek (1/4 μ s)
3. = Model front time sedang (8/20 μ s)
4. = Model front time panjang (30/60 μ s)

Tabel 4.2 Besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA.

Model Petir	Sebelum dipasang arrester (V)	Setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> (V)	Setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> (V)
1,2/50 μ s	62181	53748	52951
1/4 μ s	39176	18400	16625
8/20	60783	52793	51720
30/60 μ s	63334	57454	56511

Jika dibuat persentase error dengan rumus

$$\% \text{ error} = \frac{a-b}{a} \times 100 \% \dots\dots\dots (4.4)$$

Dimana :

- a. = besarnya tegangan yang diredam oleh arrester tanpa pengaruh *stray capacitance*.
- b. = besarnya tegangan yang diredam oleh arrester setelah dipengaruhi oleh *stray capacitance*.

Jadi untuk gangguan petir 20 kA dengan model surja tipikal (1.2/50 μ s), maka besarnya error :

$$\% \text{ error} = \frac{26505 - 26062}{26505} \times 100 \%$$

$$= 1.67 \%$$

Dengan cara yang sama, maka besarnya persentase error yang terjadi dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Persentase error arrester 24 kV

Model Petir	% Error	
	Petir 20 kA	Petir 40 kA
1,2/50 μ s	1.67	1.48
1/4 μ s	10.29	9.64
8/20	2.78	2.03
30/60 μ s	1.64	1.64

Dari hasil diatas, dapat diketahui bahwa *stray capacitance* berpengaruh pada kecepatan arrester dalam meredam gangguan.

E. Pengaruh *Stray Capacitance* Pada Kinerja Arrester Pada Penyulang

Andalas

Diketahui panjang keseluruhan arrester adalah 1500 mm. Maka parameter-parameter untuk rangkaian dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan 4.1 yaitu sebagai berikut :

$$C = 100 \frac{n}{d} \text{ pf}$$

$$C = 100 \frac{1}{1.500} \text{ pf}$$

$$= 66.66 \text{ pf.}$$

Maka besar kapasitansi untuk tiap stack arresternya berdasarkan persamaan 4.2 yaitu :

$$\frac{1}{C_{\text{tot}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \dots\dots\dots (C_1 = C_2)$$

$$\frac{1}{66.66} = \frac{2}{C_1}$$

$$C_1 = 133.32 \text{ pf}$$

Karena sistem yang dipakai adalah sistem yang ditanahkan langsung maka besar tegangan $U_1 = 1732$; $U_2 =$ Akar tiga kali koefisien pentanahan = $1732 \times 0,8 = 13853$ dan $U_3 = 20000$.

Jadi besarnya nilai *stray capacitance* dapat dicari sesuai dengan persamaan 4.3 sbb :

$$C_{e,1} = \frac{(U_3 - U_2)C_{mo,2} - (U_2 - U_1)C_{mo,1}}{U_2}$$

$$= \frac{(20000 - 13856) \times 133.32 - (13856 - 1732) \times 133.32}{13865}$$

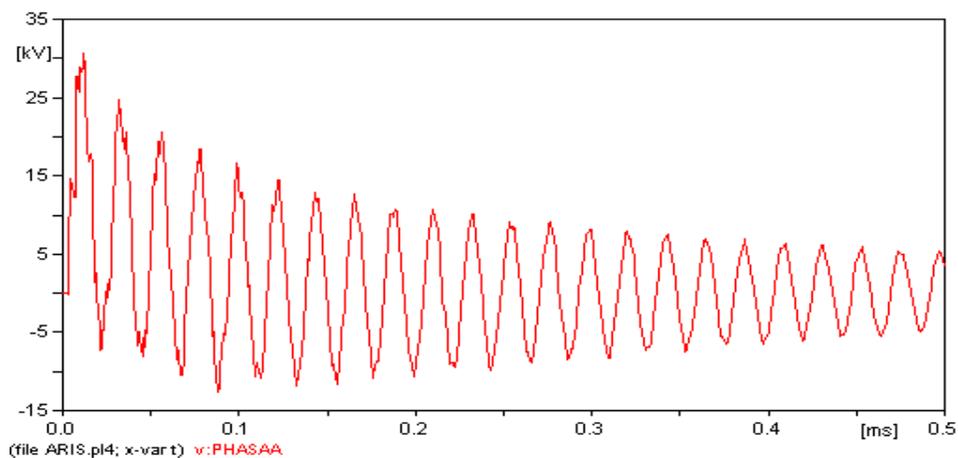
$$= 57,53 \text{ pf}$$

Untuk gambar simulasi kinerja arrester tanpa adanya stray capacitance dan dengan adanya stray capacitance sama dengan gambar 4.3 dan gambar 4.4.

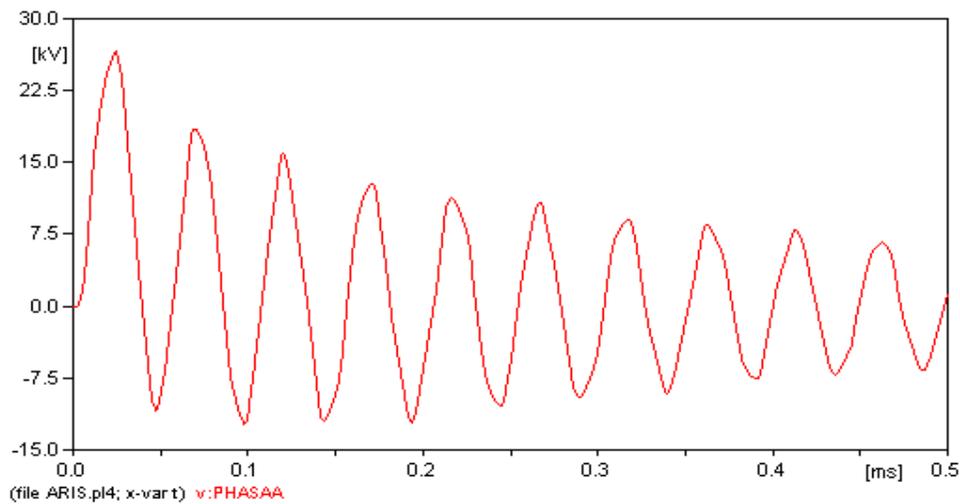
Model petir yang digunakan pada simulasi ini yaitu model petir dengan bentuk surja tipikal (1,2/50 μ s), model petir dengan model front time yang pendek (1/4 μ s), model petir dengan front time sedang (8/20 μ s) dan model petir dengan front time yang panjang (30/60 μ s). Dan akan dilihat besarnya tegangan pada fasa A pada sisi primer trafo.

e.1.1 Model Petir Dengan Bentuk Surja Tipikal (1,2/50 μ s) untuk gangguan petir 20 kA

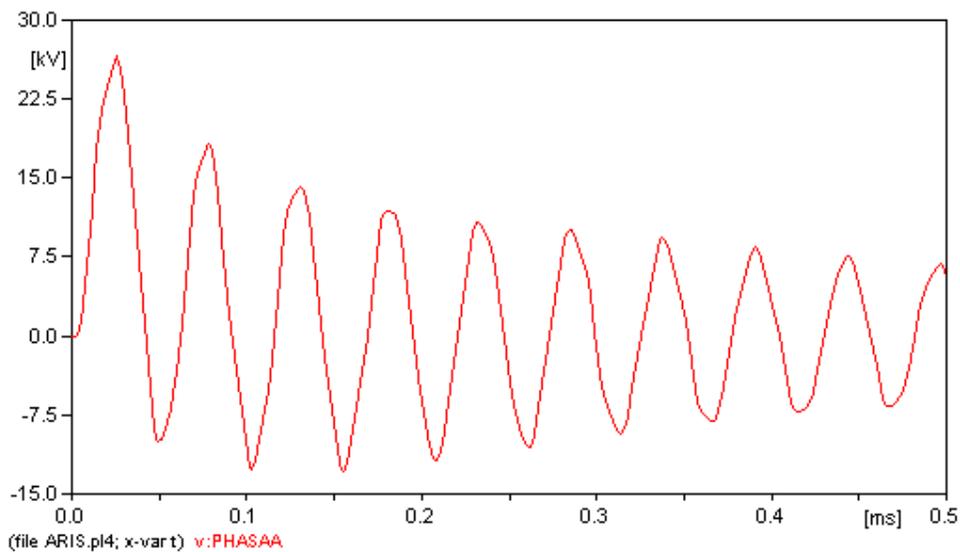
Dengan model petir bentuk surja tipikal (1,2/50 μ s) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 20 kA.



Gambar 4.31. Tegangan fasa A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 20 kA (1,2/50 μ s)



Gambar 4.32. Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA (1,2/50 μ s).



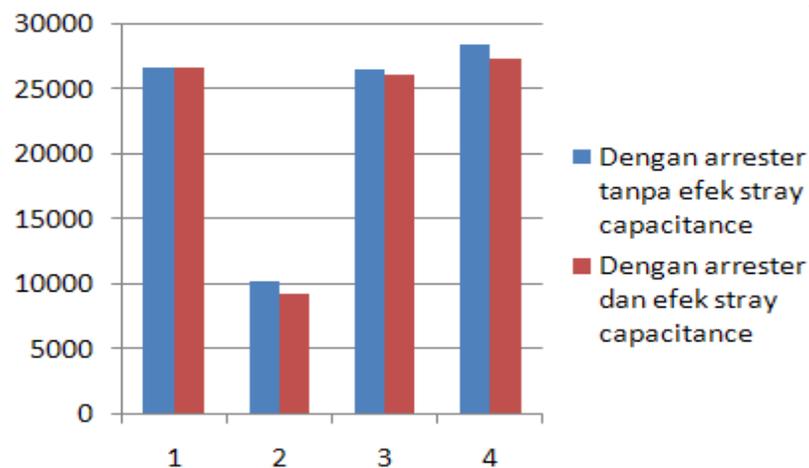
Gambar 4.33. Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 20 kA (1,2/50 μ s)

Dapat dilihat pada gambar di atas tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi. Maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan

puncak yang terjadi pada fasa A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan puncak untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 26656 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 26555 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 30653 Volt.

Untuk simulasi dengan model petir dengan front time pendek ($1/4 \mu\text{s}$), model petir dengan front time sedang ($8/20 \mu\text{s}$) dan model petir dengan front time panjang ($30/60 \mu\text{s}$) dengan gangguan petir 20 kA dapat dilihat pada tabel 4.4

Dari beberapa kondisi gangguan diatas maka dapat dibuat grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.34. Pada grafik tersebut dapat terlihat jelas bahwa pengaruh *stray capacitance* sangat kecil pada kemampuan arrester untuk meredam gangguan yang terjadi.



Gambar 4.34 Grafik besar tegangan pada fasa A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA

Keterangan :

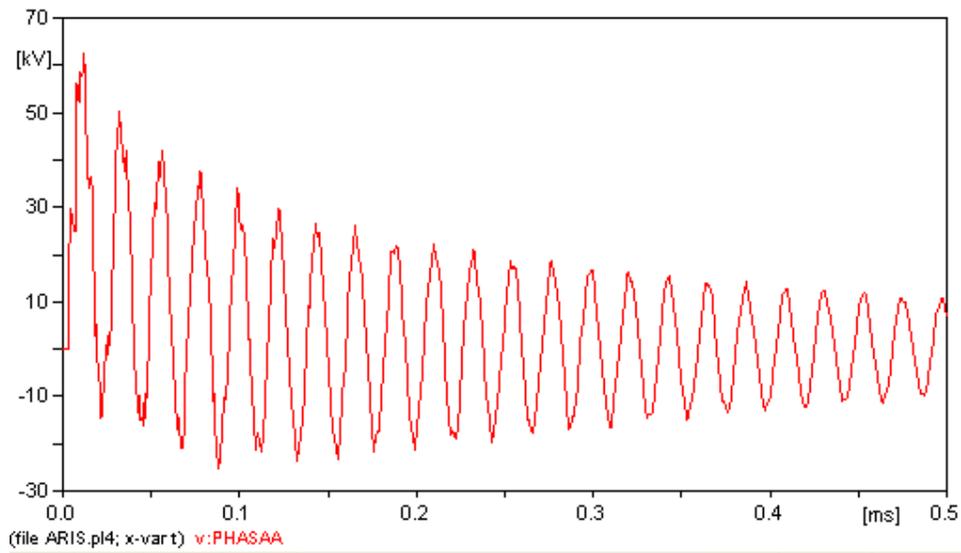
1. = Model surja tipikal (1,2/50 μ s)
2. = Model front time pendek (1/4 μ s)
3. = Model front time sedang (8/20 μ s)
4. = Model front time panjang (30/60 μ s)

Tabel 4.4 Besar tegangan pada phasa A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA

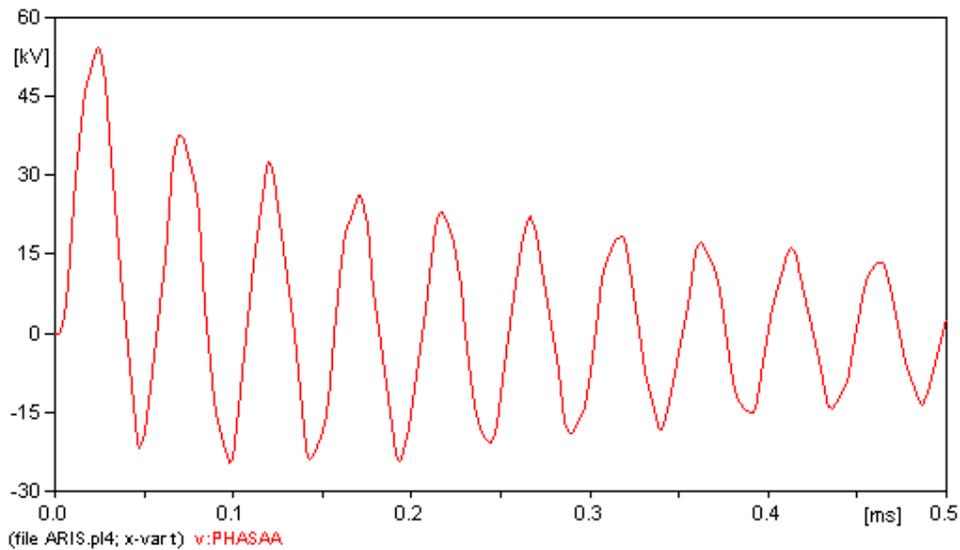
Model Petir	Sebelum dipasang arrester (V)	Setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> (V)	Setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> (V)
1,2/50 μ s	30653	26656	26555
1/4 μ s	18852	10273	9328
8/20	30105	26429	26085
30/60 μ s	31229	28426	28336

e.1.2 Model Petir Dengan Bentuk Surja Tipikal (1,2/50 μ s) untuk gangguan petir 40 kA

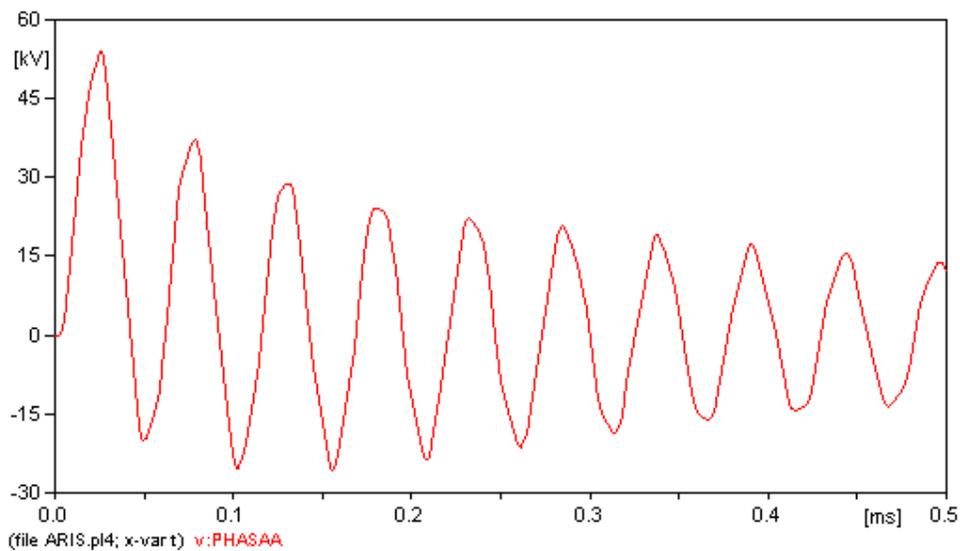
Dengan model petir bentuk surja tipikal (1,2/50 μ s) akan diuji kemampuan arrester 24 kV pada gangguan petir 40 kA



Gambar 4.35. Tegangan fase A sisi primer trafo sebelum dipasang arrester untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)



Gambar 4.36 Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester tanpa efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)

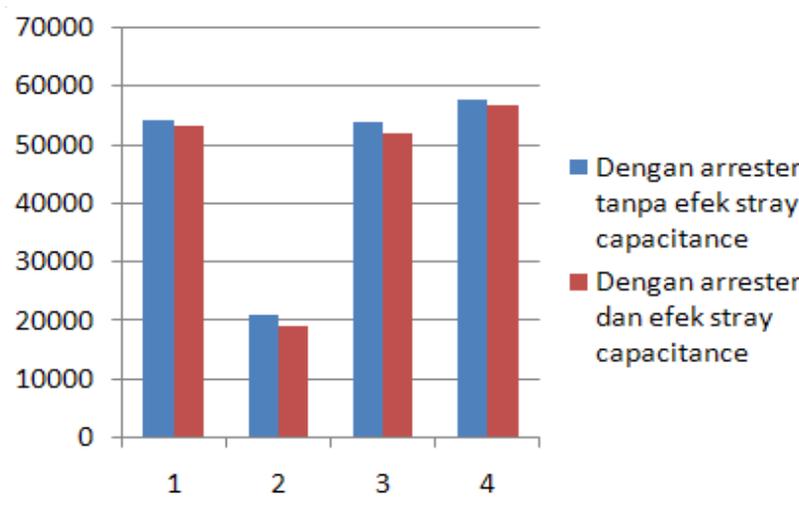


Gambar 4.37. Tegangan fase A sisi primer trafo setelah dipasang arrester dengan efek *stray capacitance* untuk petir 40 kA (1,2/50 μ s)

Dapat dilihat dari gambar di atas maka tidak dapat terlihat jelas bahwa adanya *stray capacitance* pada arrester berpengaruh besar pada kemampuan arrester tersebut dalam meredam gangguan yang terjadi, maka untuk mengetahui efek *stray capacitance* tersebut dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan puncak yang terjadi pada fase A sisi primer trafo. Dalam pengukuran didapat besarnya tegangan puncak untuk arrester tanpa pengaruh *stray capacitance* sebesar 54233 Volt dan saat arrester dipengaruhi oleh efek *stray capacitance* menjadi sebesar 52988 Volt, dimana saat arrester tidak terpasang besarnya tegangan yaitu sebesar 62181 Volt.

Untuk simulasi dengan model petir dengan front time pendek (1/4 μ s), model petir dengan front time sedang (8/20 μ s) dan model petir dengan front time panjang (30/60 μ s) dengan gangguan petir 40 kA dapat dilihat pada tabel 4.5

Dari beberapa kondisi gangguan diatas maka dapat dibuat grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.38. Pada grafik tersebut dapat terlihat jelas bahwa pengaruh *stray capacitance* sangat kecil pada kemampuan arrester untuk meredam gangguan yang terjadi.



Gambar 4.38 Grafik besar tegangan pada phasa A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA

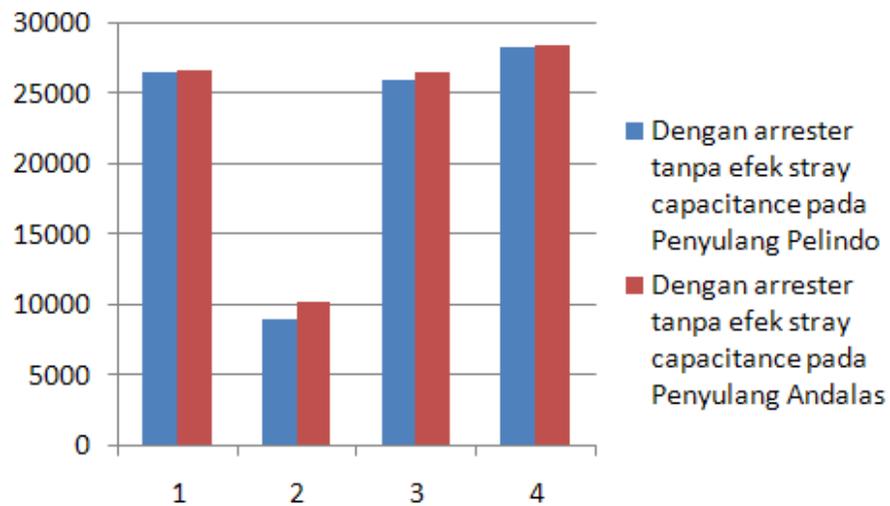
Keterangan :

1. = Model surja tipikal (1,2/50 μ s)
2. = Model front time pendek (1/4 μ s)
3. = Model front time sedang (8/20 μ s)
4. = Model front time panjang (30/60 μ s)

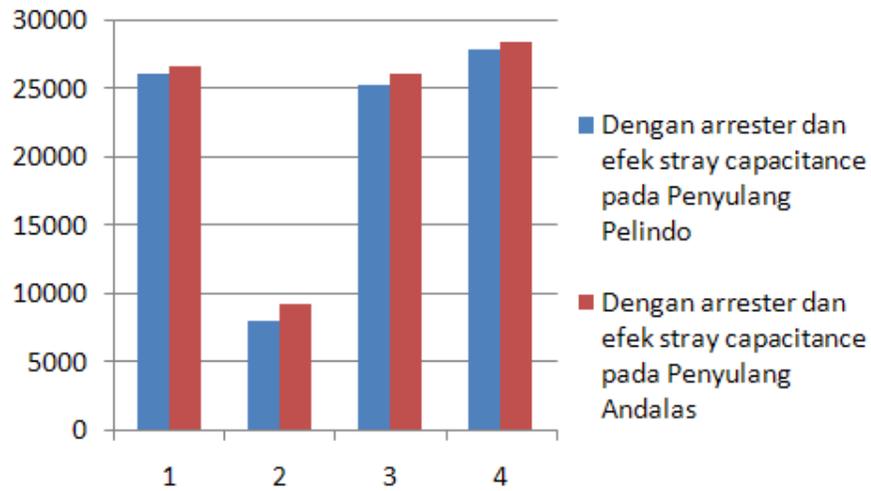
Tabel 4.5 Besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA

Model Petir	Sebelum dipasang arrester (V)	Setelah dipasang arrester tanpa efek <i>stray capacitance</i> (V)	Setelah dipasang arrester dengan efek <i>stray capacitance</i> (V)
1,2/50 μ s	62181	54233	52988
1/4 μ s	39176	21099	19083
8/20	60783	53710	53021
30/60 μ s	63334	57728	56585

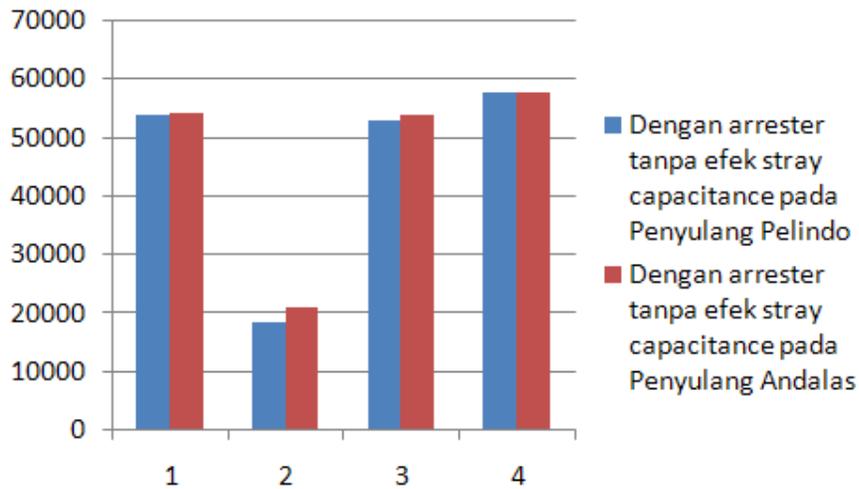
Dari hasil simulasi dapat dibuat grafik perbandingan antara simulasi kinerja arrester pada Penyulang Pelindo dengan simulasi kinerja arrester pada penyulang Andalas.



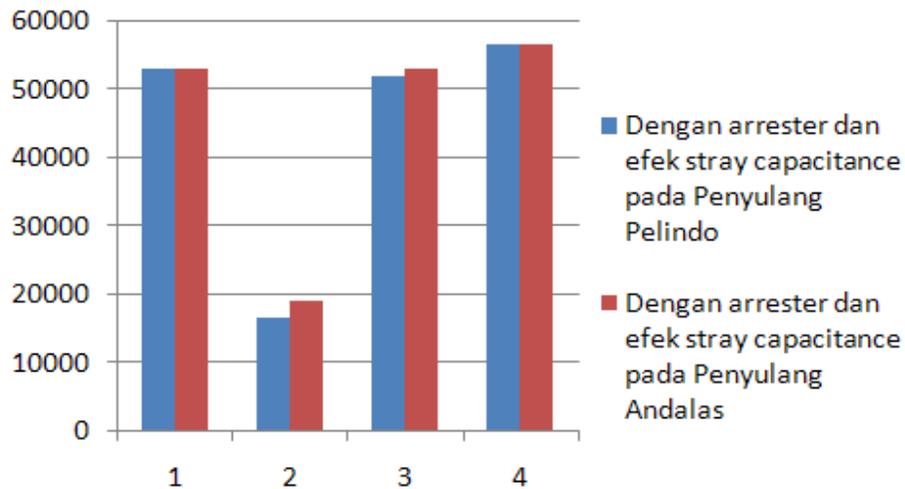
Gambar 4.39 Grafik perbandingan besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA tanpa efek *stray capacitance* untuk Penyulang Pelindo dan Penyulang Andalas



Gambar 4.40 Grafik perbandingan besar tegangan pada phasa A trafo setelah terjadi gangguan petir 20 kA dengan efek *stray capacitance* pada Penyulang Pelindo dan Penyulang Andalas



Gambar 4.41 Grafik perbandingan besar tegangan pada phasa A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA tanpa efek *stray capacitance* untuk Penyulang Pelindo dan Penyulang Andalas



Gambar 4.42 Grafik perbandingan besar tegangan pada fase A trafo setelah terjadi gangguan petir 40 kA dengan efek *stray capacitance* pada Penyulang Pelindo dan Penyulang Andalas

Dari hasil gambar grafik perbandingan besar tegangan pada fase A baik gangguan petir 20 kA maupun gangguan petir 40 kA dari bentuk surja tipikal 1.2/50 μ s; bentuk surja tipikal 1/4 μ s ; bentuk surja tipikal 8/20 μ s dan bentuk surja tipikal 30/60 μ s, maka dapat dilihat perbandingannya dimana gangguan petir untuk 20 kA pada penyulang Pelindo besar tegangan amplitudo lebih kecil dibandingkan dengan besar tegangan amplitudo pada penyulang Andalas. Sedangkan untuk 40 kA sama dengan 20 kA dimana besar tegangan amplitudo pada Penyulang Pelindo lebih kecil bila dibandingkan dengan Penyulang Andalas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Dari hasil perhitungan *stray capacitance* pada arrester didapat kapasitansi sebesar 71.92 pF
2. Efek *stray capacitance* tidak terlalu berpengaruh pada besarnya tegangan yang dihasilkan oleh arrester 24 kV tersebut dengan dibuktikan dari persentase error yang terjadi pada arrester akibat adanya *stray capacitance*.
3. Perbandingan dari hasil simulasi untuk gangguan 20 kA maupun gangguan 40 kA dari hasil simulasi dapat dilihat perbandingan tanpa adanya *stray capacitance* dengan adanya *stray capacitance* tidak terlalu besar pengaruhnya.
4. Besarnya kapasitansi yang timbul pada arrester maupun *stray capacitance* yang muncul pada arrester sangat mempengaruhi besarnya tegangan amplitudo.

4.2. Saran

Agar diperoleh hasil yang lebih baik lagi maka perlu dilakukan studi lebih lanjut pada beberapa jenis arrester lainnya yang terdapat di pasaran serta perlu

adanya evaluasi pada pengamanan jaringan distribusi tegangan menengah terhadap sambaran petir. Evaluasi ini ditujukan agar dapat meminimalisir akibat tegangan induksi yang dihasilkan sambaran sehingga tidak merugikan pelanggan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. 1975. "Teknik Tegangan Tinggi". Jakarta : Pradnya Paramita.
- ATPDRAW version 3.5 for Windows 9x/NT/2000/XP Users' Manual.
- Badan Meteorologi dan Geofisika: Kelistrikan Udara//Lightning
- Djiteng Marsudi, 1990. "Operasi Sistem Tenaga Listrik". Jakarta : Graha Ilmu
- D. Thompson, Philip, Robert O'Brien, "Kosa Kata Awan"
- Golde, R. H., 1977. Lightning Protection. London: Academic Press Inc, vol-2.
- Hutahuruk, T.S., 1989 "Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja", Erlangga Jakarta.
- IEC 60099-4 International Standard Part 4, metal oxide surge arrester without gaps for A. C. systems.
- Kadir, A. 2000. Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik. Jakarta: Universitas Indonesia.
- L. Tobing, Bonggas, 2003. Peralatan Tegangan Tinggi. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Metal-Oxide Surge Arresters in High-Voltage Transmission and Distribution Systems Effective and reliable devices increasing system availability and reducing maintenance costs Volker Hinrichsen, Siemens PTB, Berlin/Germany
- Mungkung, N., Wongcharoen., S., Tanes Tanitteerapan, Saejao, C., Arunyasot, D., ' Analysis of Lightning Surge Condition Effect on Surge Arrester in Electrical Power System by using ATP/EMTP Program', World Academy of Science, Engineering and Technology 28, 2007.
- Pabla, AS., Abdul Hadi, Ir. "*Sistem Distribusi Daya Listrik*", Erlangga, Jakarta, 1991.
- Sanabria, Rodriguez, D, Robles, Ramos, C, *Lightning and Lightning Arrester Simulation in Electerical power distribution Systems. Agustus 2004.*

- SPLN 7 : 1978. “ Pedoman Pemilihan Tingkat Isolasi Transformator dan Penangkal Petir”.
- Sulasno, Ir. “Distribusi Tenaga Listrik”, Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang, 2003.
- Surge Arresters Buyers Guide Edition 7.3 2009-12, ABB.
- Syariffuddin, M. 2007. Teknik Tegangan Tinggi. Handout Kuliah, Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya.
- Valsalal, P., Usa, S., Udayakumar, K., ' Effect of Stray Capacitance on Surge Arrester Performance', Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 Vol I WCECS 2009, October 20-22, 2009, San Francisco, USA.
- Zoro H Reynaldo . 2004. Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Petir Pada sistem Tenaga Listrik. Catatan Kuliah, Departemen Teknik Elektro ITB, Bandung.
- Zoro. R, Saodah. S, “Peningkatan Ketahanan SUTM 20 kV Terhadap Sambaran Petir di PT PLN (Persero) Distribusii Jawa Barat – APJ Bogor”, LPPM ITB, Bandung, 2005.

