



**UNJUK KERJA ARESTER TYPE HLMN 136 UNTUK PENGAMANAN
REAKTOR 7R1 PADA GARDU INDUK 500 KV DI UPT SEMARANG**

SKRIPSI

Diajukan Dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata 1

Untuk Mencapai Gelar Sarjana Pendidikan

Oleh:

Nama : Nur Kholis
Nim : 5301401039
Prodi : Strata 1 Pendidikan Teknik Elektro
Jurusan : Teknik Elektro

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2006

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul *Unjuk Kerja Arester Type HLMN 136 Untuk Pengamanan Reaktor 7R1 Pada Gardu Induk 500 KV di UPT Semarang*, telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang yang diselenggarakan pada :

Hari :

Tanggal :

Ketua

Sekretaris

Drs. Djoko Adi Widodo, M.T.

NIP. 131 570 064

Pembimbing I

Drs. Agus Suryanto. M.T

NIP. 131993878

Penguji I

Drs. Ngadirin.M.T

NIP. 130422773

Pembimbing II

Drs. Ngadirin.M.T

NIP. 130422773

Penguji II

Drs. Agus Suryanto. M.T

NIP. 131993878

Drs. Agus Suryanto. M.T

NIP. 131993878

Penguji III

Dekan

Drs. Sutarno. M.T

NIP.131404308

Prof. DR. Soesanto, M.Pd.

NIP. 130 875 753

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

- k *Sebaik baiknya manusia diantara manusia yang lain adalah yang mampu memberikan kemanfaatan bagi manusia yang lain (AL - Hadist)*
- k *Kita dapat mengingat kehidupan dimasa lalu, tapi kita tidak dapat hidup dimasa lalu tersebut.*
- k *Sesungguhnya setelah kesukaran itu ada kemudahan (Q.S Alamnashroh : 6)*

Kupersembahkan Skripsi ini kepada :

- P *Bapak dan Ibu, keluarga serta kedua adikku di rumah yang senantiasa mendoakan dan mendukungku.*
- P *Seseorang yang sangat aku cinta dan sayangi g terima kasih semangatnya.*
- P *Almamaterku*
- P *Teman-teman seperjuangan PTE 2001, yang telah banyak memberikan dorongan dan dukungan.*
- P *Perkembangan ilmu pengetahuan di Teknik Elektro UNNES.*

ABSTRAK

Nur Kholis, **Unjuk Kerja Arester Type HLMN 136 Untuk Pengamanan Reaktor 7R1 Pada Gardu Induk 500 KV di UPT Semarang**. Skripsi, Pendidikan Teknik Elektro S1, Universitas Negeri Semarang 2006.

Arester merupakan alat pelindung terhadap arus surja yang berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Sesuai dengan fungsinya, yaitu arester melindungi peralatan listrik pada sistem jaringan terhadap tegangan lebih yang disebabkan petir atau surja hubung, pada umumnya arrester terpasang pada tiap ujung saluran transmisi tegangan tinggi, yang memasuki gardu induk, khusus untuk tegangan 500 KV arester digunakan untuk melindungi peralatan dari gangguan proses pensaklaran, karena tegangan yang masuk akibat pensaklaran tersebut dapat mencapai dua kali lipat dari tegangan nominal, yang disalurkan. Peralatan-peralatan pada gardu induk misalnya reaktor, masih dapat dilindungi dengan baik jika jarak arester dan peralatan masih dalam batas maksimum yang diijinkan yaitu 50 meter dengan toleransi (20 – 30) % antara tingkat isolasi dasar (BIL) dari alat yang dilindungi.

Penelitian ini menggunakan obyek Gardu Induk 500 KV UPT Semarang, dan variable yang diteliti adalah pemasangan arester pada *transmission line bay* dan reaktor *bay*. Metode yang digunakan dalam pengumpulan data ialah dokumentasi, yaitu merupakan data perencanaan pembangunan GI 500 KV UPT Semarang, dan menggunakan metode observasi dengan cara pengamatan langsung pada obyek yang diteliti, yang kemudian dicatat dalam ceklis. Hasil pengamatan tersebut kemudian dianalisis secara matematis menggunakan teori diagram tangga untuk dapat mengikuti jejak gelombang berjalan pada setiap saat.

Hasil analisis data menunjukkan bahwa pemasangan arester pada *transmission line bay* dan reaktor *bay* adalah baik, sebab menurut hasil perhitungan jarak maksimum antara arester dengan peralatan adalah 49 meter, sedangkan jarak dilapangan jarak antara arester dengan peralatan pada *transmission line bay* adalah 38 meter dan pada reaktor *bay* 5 meter, hal tersebut menunjukkan bahwa jarak yang diterapkan masih dibawah dari harga maksimum yang diperbolehkan menurut hasil perhitungan.

Bila dilihat dari simulasi dan analisis matematis, letak arrester dengan reaktor 7R1 sudah dapat melindungi dengan baik, sedang waktu berlangsungnya percikan maksimal adalah 9.9 μ det, sedangkan naik tegangan yang terjadi dalam reactor 7R1 masih dibawah BIL peralatan. Tetapi kemungkinan terjadinya kegagalan perlindungan masih dapat terjadi, karena simulasi yang dilakukan berdasarkan perhitungan semu. disarankan supaya perawatan dan pemeliharaan tetap terus dilakukan.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmad dan hidayahNya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam tak lupa penulis ucapkan kepada Rosululloh SAW yang telah memberikan petunjuk kepada umat manusia dengan ilmu pengetahuan yang berguna di dunia dan di akherat nanti.

Skripsi dengan judul Unjuk Kerja Arester Type HLMN 136 Untuk Pengamanam Reaktor 7R1 Pada Gardu Induk 500 KV di UPT Semarang, disusun dalam rangka menyelesaikan studi starta I untuk meraih gelar sarjana pendidikan di jurusan Teknik Elektro UNNES Semarang.

Tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan dorongan dalam penulisan skripsi hingga selesai. Ucapan terima kasih khususnya penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Drs. Djoko Adi Widodo, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
2. Bapak Drs. R Kartono selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
3. Bapak Drs. Ngadirin M.T selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dengan sabar dan kebijaksanaan dari awal sampai akhir penulisan skripsi ini.
4. Bapak Drs. Agus Suryanto M.T selaku dosen pembimbing II yang telah banyak mengorbankan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing penulis dalam menyusun skripsi ini.

5. Bapak Ir. Suwadi di PT PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Jawa Bali Regional Jawa Tengah dan DIY Unit Pelayanan Transmisi Ungaran. Terima kasih telah meluangkan waktunya serta memberikan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Ahmadi selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan pengarahan pada penulis.
7. Kepada Bapak dan Ibu tercinta yang telah merawat, mendidik dan membesarkan aku, yang telah memberikan dorongan material dan Doa, kedua adikku tersayang terima kasih atas bantuan dan nasihatnya. Seseorang yang sangat aku cintai dan sayangi yang selalu memberikan dorongan semangat dan perhatian serta seluruh keluargaku di Ampel
8. Teman-teman PTE angkatan 2001 yang penulis cintai, terima kasih atas dukungan serta dorongan semangatnya, teman-teman seperjuangan di kost santai, serta semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis yang tidak mungkin penulis sebutkan namanya satu persatu, semoga ALLOH memberikan kemudahan bagi kita bersama..... Amin.

Dalam penyusunan skripsi, penulis menyadari masih banyak kekurangan, hal ini disebabkan adanya keterbatasan dan kemampuan penulis. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran membangun dari pembaca untuk kesempurnaan skripsi ini.

Semoga Skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan dapat dipergunakan sebagai bahan pembandingan dalam mata kuliah serupa.

Semarang, 2006

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMANJUDUL.....	i
LEMBARAN PENGESAHAN	ii
MOTO PERSEMBAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR GRAFIK.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Alasan Pemilihan Judul.....	1
B. Permasalahan.....	3
C. Batasan Permasalahan.....	3
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	4
F. Penegasan Istilah	4
G. Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB II LANDASAN TEORI.....	8
A. Klasifikasi dan Besarnya Tegangan Abnormal	8
1. Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi.....	8
2. Gelombang Sambaran Petir.....	12
a. Sambaran Langsung.....	12
b. Sambaran Induksi.....	12
c. Sambaran Dekat.....	13
d. Sambaran Jauh.....	13
3. Tegangan Abnormal Dengan Frekuensi Rendah.....	13
4. Surja Hubung.....	14

	B. Koordinasi Isolasi	15
	C. Karakteristik Lokasi Arester Dengan Tingkat Isolasi	
	Peralatan Yang Dilindungi	16
	D. Karakteristik Alat Pelindung	21
	1. Sela Batang.....	21
	2. Sela Sekring.....	22
	3. Sela Kontrol.....	23
	4. Reaktor.....	24
	5. Arester.....	25
	a. Prinsip Kerja Arester.....	25
	b. Karakteristik Arester.....	27
	c. Pemasangan Arester.....	31
	E. Prinsip dan Pengertian Dasar.....	32
BAB III	METODE PENELITIAN	34
	A. Tempat Penelitian	34
	B. Lama Penelitian.....	34
	C. Pendekatan Penelitian	34
	D. Obyek Penelitian.....	34
	E. Variabel Penelitian.....	35
	F. Metode Pengumpulan Data.....	35
	G. Langkah- Langkah Penelitian.....	36
	H. Teknik Analisis Data.....	38
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	40
	A. Hasil Penelitian....	40
	1. Waktu Percik Arester	40
	2. Simulasi Diagram Tangga Untuk Tegangan 2 x p.u	40

B.	Pembahasan.....	42
1.	Waktu Percik Arester.....	42
2.	Perhitungan Jarak Maksimum Antara Arester Dengan Peralatan Yang Dilindungi.....	42
3.	Analisis Tegangan Percik Arester.....	43
4.	Naik Tegangan Pada Reaktor 7R1.....	44
BAB V	PENUTUP	46
5.1	Kesimpulan.....	46
5.2	Saran.....	46
5.3	Kelemahan Dan Hambatan Penelitian.....	47
5.4	Daftar Pustaka.....	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Spesifikasi Gelombang Berjalan.....	11
Gambar 2. Reaktor dan Arester Dengan Jarak S	17
Gambar 3. Waktu Lelah Sekring dan Waktu Kerja Rele Pengaman.....	22
Gambar 4. Reaktor 7R1 di GITET Ungaran	25
Gambar 5. Kecuraman Gelombang.....	29
Gambar 6. Pengaruh Arester Terhadap Surja.....	30
Gambar 7. Bentuk Fisik Arester Type HLMN 136.....	31
Gambar 8. Diagram Tangga Antara Arester Dengan Reaktor.....	39
Gambar 9. Simulasi Diagram Tangga Arester – Reaktor 7R1.....	41

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 1. Waktu Percik Pada Arester.....	46
Grafik 2. Naik Tegangan Pada Reaktor 7R1	47

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1. Data Hasil Penelitian.....	L1
Lampiran 2. Tabel Tegangan Lebih Sementara	L2
Lampiran 3. Contoh Perhitungan Simulasi.....	L3
Lampiran 4. Permohonan Izin Penelitian	
Lampiran 5. Surat Tugas Dosen Pembimbing	
Lampiran 6. Daerah Kerja Sistim 500/150 Kv UPT Semarang.....	
Lampiran 7. Daftar Peralatan Yang Terpasang.....	
Lampiran 8. Pembebanan Transmisi.....	
Lampiran 9. Gambar Single Line Diagram 500 Kv.....	
Lampiran 10. Gambar Single Line Diagram 150 Kv	

BAB I

PENDAHULUAN

A. ALASAN PEMILIHAN JUDUL

Energi listrik di Indonesia dikelola oleh PT. Indonesia Power yang merupakan induk bisnis penyaluran daya di Indonesia. Dalam penyaluran daya listrik di Indonesia PT. Indonesia Power memiliki berbagai unit transmisi dan gardu induk. Salah satunya adalah Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Semarang di Semarang, dalam penyaluran daya Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Semarang dihubungkan dalam satu sistem interkoneksi, sehingga daya yang disalurkan dapat merata dan mempunyai kemampuan yang handal. Keandalan sistem tersebut harus ditunjang dengan sistem perlindungan yang baik, demikian juga untuk pengamanan sistem transmisi harus terlindungi dengan baik. (Nur kholis Laporan PKL, 2004 :1)

Desain isolasi untuk tegangan tinggi (HV) cenderung untuk melindungi saluran dari adanya tegangan lebih akibat surja hubung dan surja petir. Untuk tegangan ultra tinggi (UHV), desain isolasi lebih cenderung kepada proteksi terhadap surja hubung, terutama dalam proses *switching*. Adanya tegangan lebih ini akan mengakibatkan naiknya tegangan operasi yang tentunya dapat merusak peralatan-peralatan listrik yang ada dalam gardu induk.

Menurut Ir.Suwadi selaku pembimbing lapangan, pada sistem tegangan 500 KV gangguan surja petir jarang terjadi, walau pun mungkin pada jaringan transmisi terjadi sambaran petir, tapi tidak mempengaruhi tegangan yang disalurkan, karena tegangan petir sendiri masih berada dibawah tegangan rata-rata saluran transmisi tersebut, jadi di sini arester digunakan untuk melindungi reaktor dari akibat gangguan switching, karena tegangan yang dihasilkan bisa mencapai dua kali lipat dari tegangan sistem.

Untuk perlindungan peralatan seperti transformator, Reaktor dari gangguan surja, baik surja hubung maupun surja petir yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan lebih, maka di gunakan *lightning arester*, dengan pemilihan lokasi yang sesuai, arester tersebut terpasang pada *line in* reaktor, reaktor sendiri berfungsi untuk mengurangi terjadinya beban kapasitip yang terjadi dalam saluran transmisi.dan reaktor sendiri akan bekerja pada saat terjadi manufer yang disebabkan karena adanya beban yang terlalu besar, sehingga disini reaktor akan lepas, sehingga tegangan yang disalurkan kembali dalam busbar akan normal kembali.

Lightning arester sendiri adalah suatu alat pengaman atau proteksi bagi peralatan terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh surja petir maupun surja hubung. Dalam kondisi normal *lightning arester* berfungsi sebagai isolator,

apabila timbul gangguan surja petir atau surja hubung alat ini akan berubah menjadi konduktor yang mengalirkan arus surja ketanah dan akan berubah lagi menjadi isolator jika keadaan sudah normal, sehingga peralatan dapat bekerja secara optimal.

Dari uraian di atas maka penelitian tentang *lightning arrester* akan disusun dalam sebuah skripsi dengan judul

**“UNJUK KERJA ARESTER TYPE HLMN 136 UNTUK
PENGAMANAN REAKTOR 7R1 PADA GARDU INDUK 500 KV DI UPT
SEMARANG”**

B. PERMASALAHAN

Dari uraian diatas, permasalahan dalam penelitian ini adalah”Seberapa tepatnya jarak optimum arrester type HLMN 136 dengan reaktor 7R1 saat terjadi tegangan lebih?”

C. BATASAN PERMASALAHAN

Agar pembahasan masalah tidak meluas, maka pembahasan difokuskan pada:

1. Karakteristik atau *performance* alat pelindung yang digunakan dalam sistem pengaman, khususnya adalah arrester type HLMN 136 berdasarkan jarak penempatannya.
2. Penempatan lokasi optimum lightning arrester sebagai alat pelindung terhadap gangguan surja hubung atau *switching*.

D. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

Untuk memperoleh jarak yang tepat antara arrester dengan peralatan yang dilindungi, sehingga peralatan yang diamankan dapat bekerja secara optimal.

E. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui cara kerja dari sistem pengamanan dalam gardu induk 500 KV UPT Semarang.
2. Kontribusi terhadap mahasiswa, adanya motivasi yang lebih baik untuk menyelesaikan skripsi sehingga diperoleh pemahaman yang tinggi terhadap penelitian (skripsi) serta masa studi yang tepat waktu.
3. Bagi pembaca diharapkan dapat dipakai sebagai referensi untuk disiplin ilmu yang ditekuni atau dipelajari.
4. Manfaat terhadap hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai referensi untuk perhitungan secara matematis dalam menentukan jarak arrester dengan peralatan yang dilindungi.

F. PENEGASAN ISTILAH

Untuk menghindari salah penafsiran tentang judul skripsi ini, diperlukan penegasan istilah, yaitu sebagai berikut :

1. Unjuk kerja : Performance atau kelayakan, yang dianggap layak pada kualitas kerja alat (Kamus Ensiklopedi Elektroika cetakan 1, 1987 : 673)

2. Arester : Alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir.(Hutauruk, 1988 : 107)
3. HLMN 136 : Tipe arester yang digunakan.
4. Pengamanan : Pengamanan berasal dari kata kerja aman, yang berarti alat untuk menghindarkan atau mencegah terjadinya kecelakaan. (KBBI Edisi kedua, 1995 : 30)
5. Reaktor 7R1 : Alat yang digunakan untuk mengontrol tegangan kerja di tiap titik sepanjang saluran.
6. Gardu induk 500 kv : Gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi dengan tegangan 500 kv, untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban.
7. UPT Semarang : Unit Pelayanan Transmisi, yang bertempat di kota Semarang.

G. SISTEMATIKA PENULISAN SKRIPSI

Sistematika skripsi ini terdiri dari tiga bagian yaitu bagian pendahuluan, bagian isi, bagian akhir.

1. Bagian Pendahuluan

Bagian pendahuluan berisikan halaman judul, halaman pengesahan, halaman motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel dan gambar.

Bagian ini berguna untuk memudahkan membaca dan mengetahui isi skripsi.

2. Bagian Isi

Bagian ini terdiri dari lima bab, yaitu bab pendahuluan, landasan teori, metode penelitian, pembahasan dan penutup.

BAB I. Pendahuluan

Bab ini berisi tentang alasan pemilihan judul, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, sistematika skripsi.

BAB II Landasan Teori

Bab ini berisi tentang teori-teori yang menjadikan landasan dalam kegiatan penelitian yang mencakup tentang klasifikasi dan besarnya tegangan abnormal, koordinasi isolasi, karakteristik alat pelindung yang digunakan, pengertian dasar arester. Landasan teori digunakan sebagai landasan berpikir untuk melaksanakan

penelitian dan digunakan sebagai pedoman untuk melaksanakan penelitian.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis data yang diperoleh dan megabungkan dengan teori yang digunakan dalam penghitungan jarak antara arester dengan reaktor.

BAB IV Pembahasan

Bab ini membahas tentang pengkajian data, dan pembahasan hasil penelitian.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi rangkuman hasil penelitian yang ditarik dari analisis data, serta pembahasannya, saran berisi tentang perbaikan-perbaikan atau masukan dari peneliti untuk perbaikan yang berkaitan dengan penelitian.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Klasifikasi dan Besarnya Tegangan Abnormal

Meskipun tidak ada standart tertentu dari tegangan abnormal yang disebabkan oleh gangguan surja yang harus ditanggulangi dalam proteksi sebuah saluran transmisi secara umum dapat dihiatkan adanya gelombang berjalan akibat adanya surja, antara lain gelombang petir, gangguan frekuensi rendah dan surja hubung.

1. Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi

Bagian terbesar dari studi mengenai gangguan pada saluran transmisi adalah teori gelombang berjalan, sumber – sumber gelombang berjalan antara lain sambaran kilat secara langsung pada kawat transmisi, sambaran tidak langsung atau sambaran induksi, operasi pemutusan atau *switching*, gangguan arus ke tanah.

Semua sebab – sebab tersebut menimbulkan surja pada kawat transmisi, yaitu surja tegangan dan arus, dari sudut energi, dapat dikatakan surja pada kawat disebabkan bertambahnya energi listrik yang disalurkan secara tiba – tiba pada kawat transmisi. Energi ini merambat pada kawat yang berupa rambatan arus dan tegangan. Kecepatan merambat gelombang berjalan tergantung dari konstanta-konstanta kawat, pada kawat udara kecepatan merambat ini kira-kira 300 meter permikro detik jadi kecepatannya sama dengan kecepatan cahaya, sedang pada kabel tanah kira-kira 150 meter permikro detik (Hutauruk, 1988 : 2)

Apabila suatu gelombang energi listrik merambat disepanjang saluran kawat dengan konstanta L dan C, maka gelombang tegangan dan arus merambat

dengan kecepatan yang sama. Kedua besaran ini di hubugkan oleh suatu faktor proporsional, yaitu karakteristik kawat itu.

Besarnya impedansi surja (*surge impedance*) untuk saluran udara ialah sebesar

$$z = E / I = I / Cv = vL$$

$$z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \ln 2 h / r \text{ ohm (Hutauruk, 1988 :4)}$$

Bila kecepatan merambat gelombang itu v cm/detik, maka jumlah muatan yang dibutuhkan untuk mengisi kawat sepanjang v cm tiap detik adalah sebesar $C E v$. Muatan ini diberikan oleh arus yang mengalir pada kawat, dan untuk memberimuatan $C E v$ dalam satu detik dibutuhka arus sebesar :

$$I = C \cdot E \cdot v \text{ Ampere/dt (Hutauruk, 1988 :2)}$$

Bila gelombang itu telah merambat sejauh x cm, maka energi elektrostatik pada bagian ini (x cm) adalah :

$$Wc = \frac{1}{2} C \cdot x \cdot E^2 \text{ Watt/cm (Hutauruk, 1988 :2)}$$

Bila L = induktansi kawat *per* cm, maka dalam waktu yang sama, energi elektromagnetis pada kawat sepanjang x itu :

$$WL = \frac{1}{2} L \cdot x \cdot I^2 \text{ Ohm/cm (Hutauruk, 1988 :2)}$$

Pada kawat udara dengan jari – jari r da tinggi h di atas tanah,

$$L = (\frac{1}{2} + 2 \ln 2 h/r) \cdot 10^{-9} \text{ henry/cm}$$

$$C = \frac{10^{-11}}{18 \ln 2 h/r} \text{ farad / cm (Hutauruk, 1988 :3)}$$

Faktor $\frac{1}{2}$ pada persamaan di atas disebabkan oleh adanya fluks lingkup di dalam kawat (*internal fluk*), dengan pemisalan bahwa distribusi arus merata.

Tetapi pada gelombang berjalan efek kulit transient (*transient skin effect*) sangat besar sehingga arus berkumpul pada permukaan kawat, dengan demikian fluks lingkup dalam sangat kecil dan dapat diabaikan.

$$\text{Jadi :} \quad L = 2 (\ln 2h/r) 10^{-9} \text{ henry/cm}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{18 \ln 2h/r \cdot 10^{11}}{2 \ln 2h/r \cdot 10^{-9}}$$

$$= 3 \times 10^{10} \text{ cm/detik (Hutauruk, 1988 :3)}$$

Terlihat disini bahwa kecepatan merambat dari gelombang berjalan pada kawat udara adalah sama dengan kecepatan cahaya dalam hampa udara.

Sedangkan untuk kabel konduktor padat dengan jari-jari r dan isolasi pembungkus berjari-jari R dengan permitivitas ϵ .

$$L = 2 (\ln R/r + \frac{1}{2} + r^2/3R^2 - r^4/12R^4 + r^6/60R^6 - \dots) 10^{-9} \text{ hery/cm.}$$

$$C = \frac{\epsilon 10^{-11}}{18 \ln R/r} \text{ farad / cm (Hutauruk, 1988 :4)}$$

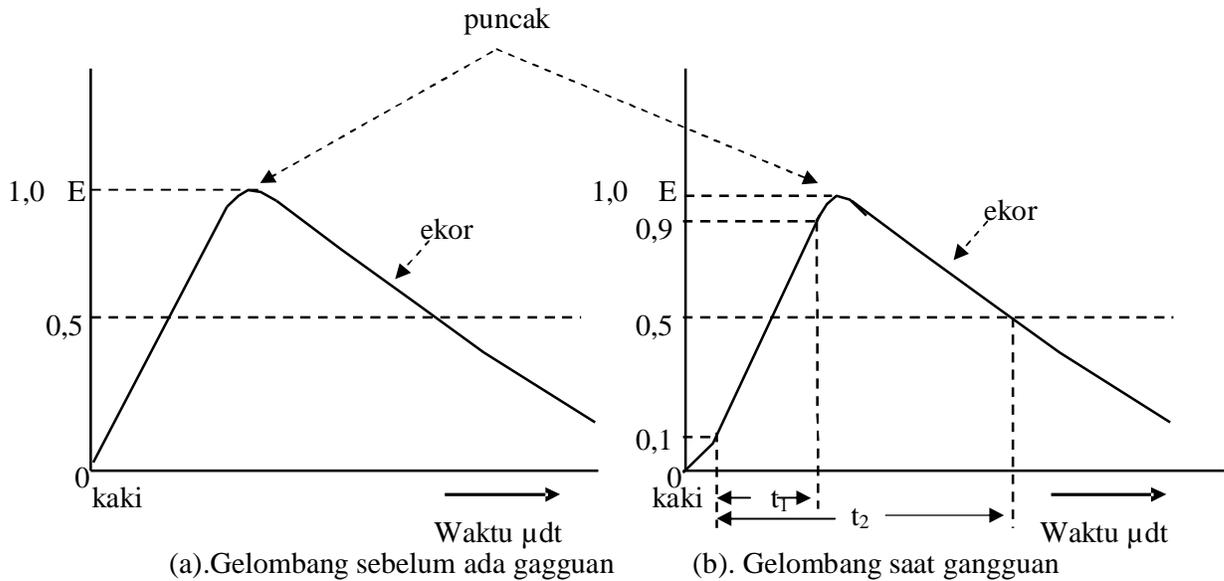
Tetapi fluks lingkup dalam dapat diabaikan, dan karena r jauh lebih kecil dari R , maka suku-suku $r^2/3R^2$ dan seterusnya dapat diabaikan. Jadi kecepatan merambat pada kabel menjadi :

$$v = 3 \times 10^{10} / \sqrt{\epsilon} \text{ cm/detik (Hutauruk, 1988 :4)}$$

Untuk kabel-kabel yang tersedia umumnya harga $\epsilon = 2,5 - 4$

Jadi kecepatan merambat dalam kabel kira-kira sebesar $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{2}{3}$ dari kecepatan cahaya.

Bentuk gelombang berjalan pada umumnya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1: Spesifikasi gelombang berjalan

(Hutauruk, 1988 : 4)

Spesifikasi dari suatu gelombang berjalan :

- Puncak (*crest*) gelombang, E (kV), yaitu amplitudo maksimum dari gelombang.
- Muka gelombang, t_1 (mikrodetik), yaitu waktu dari permulaan sampai puncak. Dalam praktek ini diambil dari 10% E sampai 90% E.
- Ekor gelombang, yaitu bagian di belakang puncak.
Panjang gelombang, t_2 (mikrodetik), yaitu waktu dari permulaan sampai titik 50% E pada ekor gelombang.
- Polaritas, yaitu polaritas dari gelombang, positif atau negatif.

Suatu gelombang berjalan (surja) dinyatakan sebagai :

$$E, t_1 \times t_2 \text{ (Hutauruk, 1988 :5)}$$

Jadi suatu gelombang polaritas positif, puncak 1000 kV, muka 3 mikrodetik, dan panjang 21 mikrodetik dinyatakan sebagai $+1000,3 \times 21$.

2. Gelombang Sambaran Petir

Gelombang yang disebabkan oleh sambaran petir (surja petir) ini dapat terjadi karena berbagai macam sebab berdasarkan dengan jenis sambaran petirnya, antara lain :

a. *Sambaran langsung*

Sambaran langsung merupakan jenis sambaran yang mengenai langsung peralatan pada gardu induk atau sepanjang kawat hantaran transmisi daya listrik. Sambaran ini merupakan sambaran yang paling hebat di antara gelombang berjalan lainnya yang datang ke GI. Hal ini dikarenakan sambaran tersebut menyebabkan tegangan lebih (*overvoltage*) yang sangat tinggi dan tidak memungkinkan dapat ditahan oleh isolasi yang ada.

b. *Sambaran induksi*

Sambaran induksi merupakan jenis sambaran yang terjadi apabila awan petir (*thunder cloud*) ada di atas peralatan yang berisolasi. Awan tersebut akan menginduksikan muatan listrik dalam jumlah besar dengan polaritas yang berlawanan dengan awan petir tersebut. Ini akan menimbulkan muatan terikat (*bound charges*). Bila terjadi pelepasan muatan dari awan petir tersebut maka muatan terikat tersebut kembali bebas dan terjadi gelombang berjalan yang besarnya tergantung pada keadaan

pelepasannya. Meskipun tegangan induksi itu berubah-ubah tergantung dari pelepasannya, kebanyakan besarnya tidak terlalu berbahaya bagi peralatan tegangan tinggi, meskipun sambaran induksi merupakan ancaman bagi peralatan distribusi.

c. Sambaran dekat

Sambaran dekat merupakan gelombang berjalan yang datang ke Gardu Induk dari sambaran petir pada saluran transmisi, jarak dari sambaran ini hanya beberapa kilometer dari gardu induk. Besarnya dibatasi oleh tegangan lompatan dari dari isolator saluran itu bila rambatannya sepanjang saluran melalui beberapa tiang.

d. Sambaran jauh

Sambaran ini terjadi jika perisai (*shielding*) dari gardu induk dan saluran transmisinya cukup baik, gelombang tegangan yang mungkin datang ke gardu induk adalah dari sambaran petir yang jauh. Gelombang berjalan yang jauh ini dapat berasal dari sambaran langsung pada saluran, dari sambaran induksi, maupun dari sambaran lompatan balik (*back flashover*) dari tiang.

3. Tegangan Abnormal dengan frekuensi rendah.

Tegangan abnormal dengan frekuensi rendah ini dapat disebabkan karena efek peralatan tegangan tinggi seperti :

- a. Penguatan sendiri dari generator
- b. Tegangan yang terjadi akibat beban lepas
- c. Tegangan abnormal karena lepas sinkron

- d. Tegangan abnormal akibat hilangnya gangguan satu fasa ke tanah pada sistem dengan pembumian, atau pada sistem dengan pembumian yang mempunyai saluran transmisi pada satu tiang bersama-sama dengan sistem yang lain yang mengalami gangguan satu fasa ke tanah.

Meskipun banyak macamnya, tetapi pada umumnya tegangan abnormal yang terjadi pada sistem tenaga listrik diperkirakan tidak seberat surja petir dan surja hubung, namun karena tegangan abnormal frekuensi rendah ini umumnya berlangsung lebih dari beberapa puluh millidetik, tegangan ini sukar terdeteksi oleh arester. Yang penting adalah mengusahakan agar tegangan abnormal frekuensi rendah yang terjadi pada sistem dapat serendah mungkin, karena perkiraan nilai tegangan abnormal ini merupakan dasar utama dalam penentuan tegangan dasar (*rated voltage*) dari arester. Tegangan dasar dipilih berdasarkan tegangan lebih dari fasa yang sehat pada saat ada gangguan satu fasa ke tanah.

4. Surja Hubung

Mekanisme pokok dan terjadinya surja hubung adalah sebagai berikut :

- a. Peristiwa pukulan kembali di dalam pemutusan arus kapasitif dari saluran transmisi tanpa beban.
- b. Peristiwa terpotongnya arus pembangkitan pada transformator tenaga.
- c. Pemutusan arus gangguan
- d. Pemutusan yang tidak serentak pada saklar pemutus tiga fasa.

Besarnya surja hubung ini, menurut hasil pengujian di lapangan dan analisa teoritis sangat berubah dengan keadaan rangkaian dari sistemnya, cara pengantanan titik netralnya, kemampuan pemutus bebannya dan lain sebagainya.

Besarnya surja ini dinyatakan oleh suatu factor tegangan lebih :

$$K_{ft} = \frac{\sqrt{3} E_{maks}}{2E} \frac{E}{E}$$

Dimana:

K_{ft} = faktor tegangan lebih fasa ke tanah

E_{maks} = tegangan maksimum sesudah operasi hubung (KV)

E = tegangan sistem fasa ke fasa sebelum operasi hubung (KV) (Arismunandar & S. Kuwahara, 1973 : 39)

faktor ini sering juga diberi nama per-unit (p.u) surja hubung. Variasi nilai faktor ini dalam praktik cukup besar, yaitu antara 1,2 sampai 4,0 p.u. Biasanya harga yang dihitung dari alat penganalisa gejala peralihan (*Transient Network Analyzer*, disingkat TNA) lebih tinggi dari harga pengujian sebenarnya dilapangan. Hal ini disebabkan karena representasi pada TNA terlalu pesimistis. Hal ini perlu diperhitungkan dalam perencanaan isolasi peralatan

Daya isolasi baru terhadap surja hubung (dinyatakan dalam p.u tegangan sistem) menurun sebagai fungsi dari tegangan sistem. tegangan lebih surja hubung lebih rendah dari daya isolasi tersebut. Karena itu tegangan lebih harus dikurangi bila tegangan sistem dinaikkan. Untuk tegangan sistem maksimum 145, 245, 365 kV tegangan lebih yang diperbolehkan adalah berturut-turut adalah 4,5 ; 3,6; 3,0 p.u.

B. Koordinasi Isolasi.

Tegangan lebih yang berasal dari dalam sistem jarang mencapai kondisi maksimum, dari hal ini maka tidaklah ekonomis jika seluruh peralatan sistem tersebut di isolasikan. Jadi, yang dikehendaki adalah perencanaan isolasi yang

aman dan ekonomis untuk semua peralatan (dalam G.I dan saluran transmisi) dengan koordinasi isolasi yang tepat dengan alat pengamannya.

Untuk meningkatkan keandalan dari saluran transmisi, cara yang terbaik yaitu dengan memperkuat isolasinya. Hal ini berarti bahwa isolasi saluran tersebut menjadi lebih kuat dari pada isolasi peralatan G.I, dan gelombang yang merambat kedalam G.I lebih besar, sehingga membahayakan peralatan G.I tersebut. Sebaliknya jika tingkatan isolasi dari saluran itu terlalu banyak diturunkan, maka gangguan akan lebih banyak terjadi dan keandalan saluran tersebut akan menurun. Oleh karena itu perlu disesuaikan tingkat isolasi secara menyeluruh dengan mengingat kemampuan dari alat pengaman tersebut, pentingnya rangkaian, serta keadaan rangkaian dan faktor-faktor ekonomis. Prinsip yang sama berlaku pula untuk tegangan lebih frekwensi rendah dan surja hubung. Dalam hal ini diperlukan perencanaan isolasi sistem yang cukup tahan terhadap tegangan lebih.

C. Karakteristik Lokasi Arester Dengan Tingkat Isolasi Peralatan Yang Dilindungi.

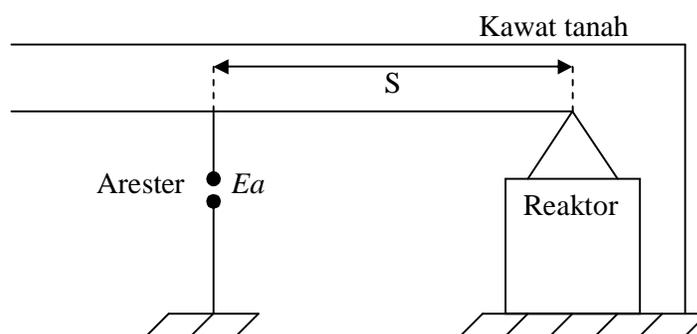
Untuk melindungi peralatan tegangan lebih surja digunakan arester. Arestor moderen dapat membatasi harga tegangan surja di bawah tingkat isolasi peralatan. Peralatan dapat dilindungi dengan menempatkan arester sedekat mungkin pada peralatan tersebut dan tidak perlu menggunakan alat pelindung pada tiap peralatan yang dilindungi. Walaupun pengaruh gelombang berjalan akan menimbulkan tegangan yang lebih tinggi di tempat yang agak jauh dengan arester, peralatan

masih dapat dilindungi dengan baik bila jarak peralatan dengan arester masih dalam batas yang diizinkan.

Untuk menentukan jarak yang maksimum yang diizinkan antara arester dengan peralatan yang dilindungi dikenal beberapa metoda. Salah satu metoda adalah metode pantulan berulang. Metoda ini adalah pendekatan yang digunakan untuk menentukan jarak maksimum arester dan peralatan, dan juga untuk menentukan panjang maksimum dari kabel penghubung peralatan dengan saluran transmisi.

1. Jarak Maksimum Arestor dan Reaktor Yang dihubungkan Dengan Saluran Udara.

Untuk menentukan jarak maksimum arester dan peralatan yang dilindungi yang dihubungkan langsung dengan saluran udara dianggap sebagai jepitan terbuka, jika gambar seperti di bawah ini :



Gambar 2.2 : Reaktor dan arester dengan jarak S

Perlindungan yang baik diperoleh bila arester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan reaktor. Tetapi, dalam praktek arester itu harus ditempatkan dengan jarak S dari reaktor yang dilindungi. Karena itu, jarak tersebut ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik. Misalnya :

E_a = Tegangan percik arester (*arester sparkover voltage*)

E_p = Tegangan pada jepitan reaktor

$a = de/dt$ = kecuraman gelombang datang, dan dianggap konstan

S = Jarak antara arester dengan reaktor

v = Kecepatan merambat gelombang.

Apabila reaktor dianggap jepitan terbuka, yaitu keadaan yang paling berbahaya, apabila gelombang mencapai reaktor akan terjadi pantulan total, dan gelombang ini kembali ke kawat saluran dengan polaritas yang sama, waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk merambat kembali ke arester $2S/v$. bila arester mulai memercik maka tegangan pada jepitan arester adalah :

$$\begin{aligned} E_a &= At + A(t - 2S/v) \\ &= 2At - 2AS/v \quad (\text{Hutauruk, 1988 :113}) \end{aligned}$$

Bila waktu percik arester t_{so} , dihitung mulai gelombang itu pertama kali sampai pada arester, makadari persamaan di atas menjadi :

$$t_{so} = \frac{E_a + 2AS/v}{2A} \quad (\text{Hutauruk, 1988 :113})$$

Setelah terjadi percikan maka arester berlaku sebagai jepitan hubung singkat, dan menghasilkan gelombang sebesar :

$$- A(t - t_{so}) \quad (\text{Hutauruk, 1988 :113})$$

Gelombang negatif ini akan merambat ke reaktor, dan setelah pantulan pertama pada reaktor terjadi, jumlah tegangan pada reaktor menjadi :

$$\begin{aligned} E_p &= 2 A t - 2 A (t - t_{so}) = 2 A t_{so} \\ &= 2A \frac{E_a + 2AS/v}{2A} \text{ (Hutauruk, 1988 :113)} \end{aligned}$$

Atau sebesar ;

$$E_p = E_a + 2 A S / v \text{ (Hutauruk, 1988 :113)}$$

Harga maksimum $E_p = 2 E_a$

Bila tegangan tembus isolator reaktor = E_p , maka E_p harus lebih besar dari $(E_a + 2 A S/v)$ agar diperoleh perlindungan yang baik. Untuk mengubah harga E_p cukup dengan mengubah S , yaitu makin kecil S maka makin kecil pula E_p

2. Menentukan Panjang Kabel Maksimum Penghubung Arester Antara Arester dan Transformator Menurut Teori Witzke-Bliss

Untuk menghubungkan kawat transmisi ke gardu induk dapat dilakukan secara langsung atau melalui sepotong kabel. Pada sambungan kawat udara, arester harus mampu didekatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi, atau jarak maksimumnya dapat diperoleh dengan metode pantulan berulang. Bila digunakan sepotong kabel, arester dipasang pada titik sambungan antara kawat transmisi dengan kabel, atau bias juga pada jarak tertentu ke titik sambungan kabel. Pemakaian sepotong kabel tersebut dapat menurunkan besar surja yang masuk ke peralatan atau reaktor. terjadinya pantulan berulang pada kabel menimbulkan tegangan yang tinggi pada titik sambungan dan dapat merusak isolator kabel.

3. Jarak Maksimum Antara Arester dan Pemutus Daya dan Transformator Menurut Teori Clayton-Powell

Metode ini menentukan jarak maksimum antara arrester dengan pemutus daya dan transformator, penentuan jarak maksimum tersebut didasarkan atas asumsi-asumsi di bawah ini :

- a. Perlindungan didasarkan pada gelombang surja yang datang mempunyai laju kenaikan 500 Kv per mikro detik.
- b. Tegangan surja pada peralatan disisi kawat transmisi dari arrester dibatasi sampai 1,15 TID dari peralatan. Tegangan dinamis system diabaikan karena tidak mempengaruhi jarak tersebut.
- c. Kapasitansi surja peralatan pada sisi kawat transmisi dari arrester diabaikan.
- d. Transformator dipresentasikan oleh suatu harga kapasitansi yang menghasilkan tegangan surja maksimum pada transformator.
- e. Jarak pemisah didasarkan atas tegangan percik (*sparkover voltage*).
- f. Panjang kawat arrester dari sadapan tanah diambil 10,66 meter (35 kaki) dan induktansinya 0,40 mikro-henry per kaki.
- g. Peralatan yang dilindungi dan arrester diketanahkan dengan suatu kisi-kisi (grid) pengetanahan bersama.
- h. Gardu induk diberi perisai terhadap sambaran langsung dan kawat transmisi juga diperisai mulai dari gardu induk sampai titik di mana surja terjadi.
- i. Harga tegangan surja yang datang = 1,2 kali tingkat isolasi gelombang penuh dari saluran.

- j. Tegangan yang masuk gardu induk mempunyai laju kenaikan yang tetap sampai tegangan percik arrester.
- k. Hanya satu saluran transmisi yang memasuki gardu induk.

D. Karakteristik Alat Pelindung

Alat pelindung berfungsi sebagai peralatan tenaga listrik dengan cara membatasi surja (*surge*) yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Berhubung dengan fungsinya tersebut alat pelindung harus dapat menahan tegangan sistem, 50 c/s untuk waktu yang tidak terbatas, dan harus dapat melakukan surja arus dengan tidak merusakkan alat pelindung. Alat pelindung yang baik mempunyai “*Protective ratio*” yang tinggi, yaitu perbandingan antara tegangan surja maksimum yang diperbolehkan pada waktu pelepasan dan tegangan sistem 50 c/s maksimum yang dapat ditahan sesudah pelepasan (*discharge*), sela sekring (*fuse gap*), tabung pelindung (*protector tube*) dan macam-macam arrester. Alat alat tersebut adalah :

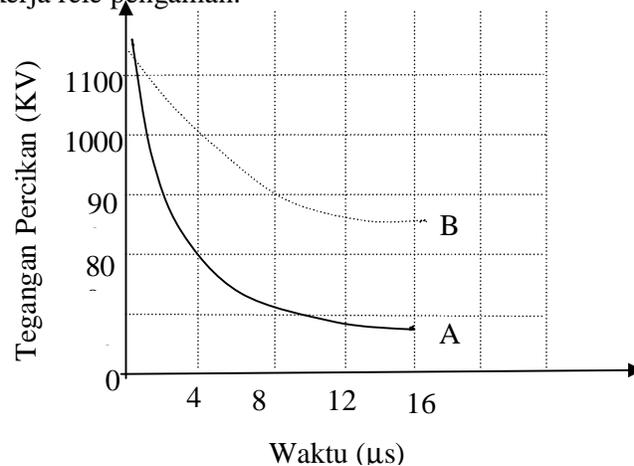
1. Sela Batang

Sela batang adalah alat pelindung yang sangat sederhana. Sela ini terdiri dari dua buah batang logam yang mempunyai penampang tertentu (biasannya persegi) yang satu di hubungkan dengan kawat transmisi, satunya dihubungkan dengan tanah. Oleh karena jarak suatu sela berkorespondensi dengan suatu tegangan percikan untuk suatu bentuk gelombang tegangan tertentu, maka untuk beberapa macam karakteristik isolasi, alat ini dapat dipakai sebagai alat pelindung. Keuntungan dari sela batang adalah bentuknya yang sederhana, mudah dibuat dan kuat (*rugged*). Kekurangannya ialah sekali terjadi percikan karena tegangan lebih, api akan timbul terus meskipun tegangan lebihnya sudah tidak

ada. Oleh sebab itu pada sirkuit harus diputuskan terlebih dahulu untuk menghentikan api tersebut. Kecuali itu tegangan gagalnya akan naik lebih tinggi dari pada isolasi yang dilindunginya, untuk gelombang berwaktu pendek sehingga diperlukan sela yang sempit untuk gelombang yang curam. Oleh karena itu sela batang dapat dipakai sebagai perlindungan cadangan (*back up protection*). Untuk sekarang ini masih dipakai terutama guna melindungi CB dalam keadaan terbuka terhadap pukulan petir.

2. Sela Sekring

Sela sekring adalah modifikasi dari sela batang yang dihubungkan secara seri dengan sekring yang digunakan untuk menginterupsi arus susulan (*power follow current*) yang disebabkan oleh percikan api. Oleh sebab itu sela sekring mempunyai karakteristik yang sama dengan sela batang, meskipun sela sekring mampu menghindarkan pemutusan sirkuit sebagai akibat percikan, namun dia memerlukan penggantian dan perawatan sekring yang telah dipakai. Kecuali itu, agar supaya penggunaanya efektif harus diperhatikan kaordinasi waktu leleh sekring dan waktu kerja rele pengaman.



Gambar 2.3: Waktu leleh sekring dan waktu kerja rele pengaman (Artono Arismunandar, 2001 : 121)

Keterangan :

- A. Lengkung sela batang standart 40 inci (gelombang positif)
- B. Karakteristik percikan (lompatan) dari isolator peralatan, 4 unit (gelombang 1,5 x 40 keadaan standart).

3. Sela Kontrol

Sela kontrol (*control gap*) terdiri dari dua belah sela yang diatur sedemikian rupa hingga karakteristiknya mendekati sela bola yang ditinjau dari segi lengkung volt waktunya yang mempunyai karakteristik lebih baik dari sela batang. Sela ini dapat dipakai bersama atau tanpa sekring, meskipun ia dapat dipakai sebagai pelindung cadangan atau sekunder, sela kontrol dianggap sekelas dengan sela sekring.

4. Reaktor.

Dalam saluran transmisi persoalan tegangan merupakan suatu hal yang sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perancangan harus diperhatikan tegangan pada tiap titik dalam saluran. Besar perubahan tegangan biasanya yang diperbolehkan biasanya berkisar antara -10% sampai +5%. (Hutauruk.1993 : 58), untuk mngantisipasi kenaikan tegangan pada saluran transmisi maka dipasanglah reaktor. Hal ini dilakukan untuk mengontrol tegangan kerja di setiap titik sepanjang saluran dan untuk memperkecil panjang elektrik saluran.

Reaktor sendiri adalah merupakan peralatan listrik yang bersifat induktif, berdasarkan cara penempatannya dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam

- a. Reaktor shunt, berfungsi sebagai beban induktif untuk mengkompensasikan daya reaktif kapasitip yang disebabkan oleh arus

pengisian saluran transmisi jarak jauh tegangan tinggi dengan tanah yaitu sekitar $1 \text{ km} = 1 \text{ MVAR}$.

- b. Reaktor seri, berfungsi untuk mengkompensasikan arus hubung singkat.
- c. Reaktor pentanahan, berfungsi untuk mengkompensasikan arus gangguan kapasitip.

Pada GITET Ungaran terpasang 3 buah reaktor shunt dan sebuah reaktor pentanahan yang ditempatkan pada sisi tegangan 16 KV, reaktor ini juga berfungsi untuk mengatur tegangan beban agar selalu stabil pada sisi 500 KV, jika beban pada jaringan transmisi 500 KV.

Data name plate reaktor yang terpasang di GI 500 KV UPT Semarang :

Tahun operasi	: 1985
Pabrik	: ELIN UNION
Type	: TLQ 164 SGK 99
Standart	: IEC 289
Daya nominal	: 33330 KVAR
Tegangan nominal	: 500 KV
Arus nominal	: 115,5 Amper
Frekuensi	: 50 Hz
Tegangan impedansi	: 2,550 Ohm
Macam pendingin	: ONAN
Tingkat isolasi	: 1550 KV
Tahun pembuatan	: 1983
Jenis pasangan	: Luar



5. Arester

a. Prinsip Kerja Arester

Alat pelindung yang paling sempurna adalah arester (*Lightning arrester*). Pada pokoknya arester ini terdiri dari dua unsur : sela api (*spark gap*) dan tahanan tangki linier atau tahanan kran (*valve resistor*), keduanya dihubungkan secara seri. Batas atas dan bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Sebenarnya arester terdiri dari tiga unsur : sela

api, tahanan keran atau tahanan katup dan sistem pengaturan atau pembagian tegangan (*grading sistem*).

Apabila arester hanya digunakan untuk melindungi isolasi terhadap bahaya kerusakan gangguan dengan tidak memperdulikan akibatnya terhadap pelayanan, maka cukup dipakai selabatang yang memungkinkan terjadinya percikan pada waktu teganya mencapai keadaan bahaya. Dalam hal ini, tegangan sistem bolak-balik akan tetap mempertahankan busur api sampai pemutus bebannya dibuka. Dengan menyambung sela api ini dengan sebuah tahanan, maka kemungkinan apinya dapat dipadamkan. Tetapi bila tahanannya mencapai harga tetap, maka jatuh tegangannya menjadi besar sekali sehingga perlindungan isolasi pun gagal. Oleh sebab itu dipakailah tahanan kran, yang mempunyai sifat khusus bila tahanannya kecil sekali bila tegangan dan arusnya besar. Proses pengecilan tahanannya berlangsung cepat, yaitu selama tegangan lebih mencapai harga puncaknya. Tegangan lebih dalam hal ini mengakibatkan penurunan drastis dari pada tahanan sehingga jatuh tegangannya dibatasi meskipun arusnya besar.

Bila tegangan lebih habis dan tegangan normal tinggi, tahanannya naik lagi sehingga arus susulannya dibatasi sampai kira-kira 50 amper. Arus susulan ini akhirnya dimatikan oleh sela api pada waktu tegangan sistemnya mencapai titik nol yang pertama sehingga alat ini bertindak sebagai kran yang menutup arus, dari sinilah didapatkan nama tahanan kran. Karakteristik arus tegangan dari tahanan kran pada arester modern pemadaman arus susulan yang cukup besar (200-300 A) dilakukan dengan

bantuan medan magnet. Dalam hal ini, maka baik amplitude maupun lamanya arus susulan dapat dikurangi dan pemadamannya dapat dilakukan sebelum tegangan sistem mencapai harga nol.

Sebagai catatan bahwa arus susulan tidak terjadi tiap arester bekerja. Ada tidaknya arus susulan tergantung saat terjadinya tegangan lebih. Hal ini akan mudah dipahami karena arus susulan dipadamkan pada saat arus nol yang pertama (atau sebelumnya).

b. Karakteristik Arestor

Karakteristik yang harus dipenuhi oleh arester agar dapat bekerja secara optimal adalah sebagai berikut :

- 1). Arestor mempunyai tegangan dasar (*rated*) 50 c/s yang tidak boleh dilampaui.
- 2). Arestor mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (*voltage limiting*) bila dilalui oleh berbagai macam arus petir atau surja hubung.
- 3). Arestor mempunyai batas termis.

Oleh karena arester adalah sebuah peralatan tegangan dan mempunyai dasar (*rating*) tegangan, maka ia tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi dasar ini, baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan hubung singkat, sebab arester ini harus menanggung tegangan sistem normal dan tegangan lebih 50 c/s.

Karakteristik pembatas tegangan impuls dari arester adalah harga yang dapat ditahan pada terminal, misalnya saat terjadi percikan pada selabila arester mulai bekerja (dengan adanya surja hubung maupun petir) sebelum arus mulai mengalir.

Ciri yang lain adalah batas termisnya, yaitu kemampuan untuk melakukan arus surja yang berwaktu lama dan tidak berulang-ulang, misalnya surja hubung tanpa menaikkan suhunya. Meskipun kemampuan arester untuk menyalurkan arus sudah tinggi, tetapi karena kemampuannya untuk melakukan surja hubung, terutama apabila saluran tersebut panjang dan berisi tenaga besar, adalah lebih penting lagi.

Berhubungan dengan hal-hal di atas, maka agar tekanan (*stresses*) pada isolasi dapat dibuat serendah mungkin, suatu sistem perlindungan tegangan lebih perlu memenuhi persyaratan sebagai berikut :

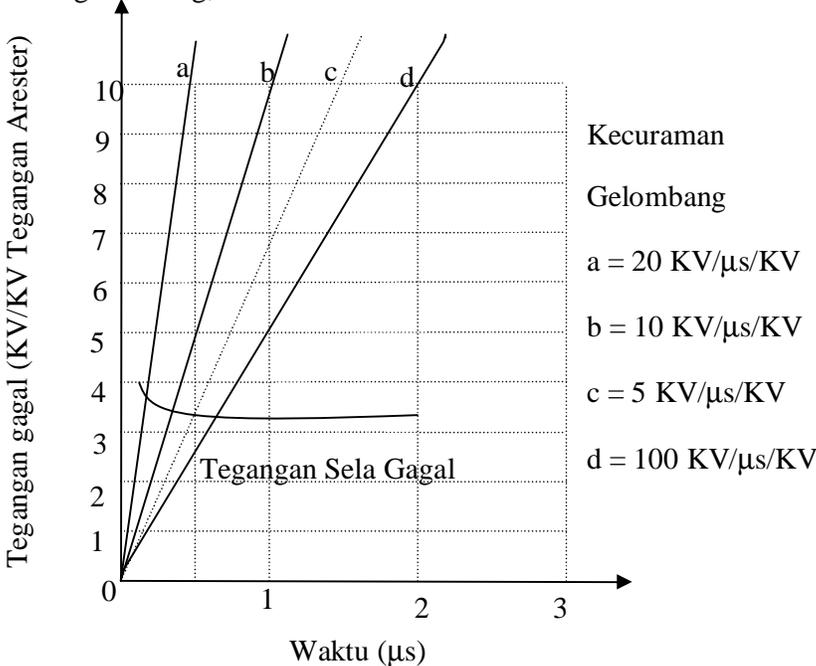
- 1). Dapat melepas tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubung singkat dengan tanah (*saturated ground fault*).
- 2). Dapat memutuskan arus susulan.
- 3). Mempunyai tingkat perlindungan (*protection level*) yang rendah, artinya tegangan percikan sela dan tegangan pelepasannya rendah.

Tegangan gagal sela merupakan tegangan percikan, pada frekwensi sistem 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 (*residual*) atau jatuh tegangan IR, adalah tegangan antara terminal-terminal arester jika ia sedang melakukan arus surja. Kegagalan sela yang dipengaruhi oleh kecuraman tegangan yang datang menentukan tegangan pelepasan permulaan pada arester. Jatuh tegangan pada elemen kran, yang tergantung pada kecuraman

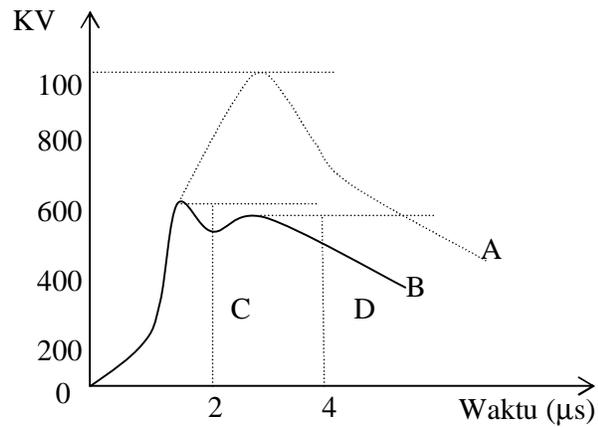
dan besarnya surja arus, menentukan tegangan arester pada waktu pelepasan.

Gambar di bawah menunjukkan variasi tegangan sela gagal terhadap kecuraman gelombang,



Gambar2.5: Kecuraman Gelombang (Artono Arismunandar, 2001 : 113)

Besarnya pengaruh arester terhadap sebuah surja tegangan lebih dinyatakan dalam gambar berikut, dimana efisiensi dari perlindungan ditentukan terutama oleh tegangan pelepasan (D), tegangan percikan (C) yang untuk tegangan impuls curam mungkin lebih tinggi dari tegangan sisa kurang penting artinya oleh karena waktunya yang sangat singkat sebelum kegagalan terjadi.



Gambar 26: Pengaruh Arrester Terhadap Surja
(Artono Arismunandar, 2001 : 114)

Keterangan gambar

A = gelombang surja di gardu induk tanpa arrester

B = gelombang surja di gardu induk dengan arrester

C = tegangan percikan pada muka

D = tegangan pelepasan (sisa)

Data name plate yang terpasang pada arrester :

Penempatan	: Netral reaktor 500 kV
Pabrik	: BBC
Type	: HLMN 136
Tegangan nominal	: 136 KV
Jenis pasangan	: Luar
Tahun pembuatan	: 1982
Short circuit	: 10 KA / HA
Waktu maximal (sc)	: 8 / 20 sc
Frekuensi	: 50 Hz



Gambar 2.7 : Gambar bentuk fisik arester type HLMN 136

c. Pemasangan Arestes

Pemakaian arester dalam koordinasi isolasi dapat memberikan hasil yang maksimal perlu diperhatikan azas-azas sebagai berikut :

- 1). Seperti yang telah disinggung di muka tegangan dasar 50 c/s dari arester dipilih sedemikian rupa sehingga nilainya tidak dilampaui saat terjadi hubung singkat maupun dalam keadaan normal.
- 2). Arestes ini akan memberikan perlindungan bila selisih (*margin*) yang cukup antara arester dan peralatan.

Daerah perlindungan harus mempunyai jangkauan yang cukup untuk melindungi semua peralatan gardu induk yang mempunyai BIL (*Basic Insulation Level*) atau lebih tinggi dari daerah perlindungan, diantaranya adalah :

- a). Arester harus dipasang sedekat mungkin dengan peralatan utama.
- b). Tahanan tanahnya harus rendah serta kapasitas arester harus dapat meneruskan arus besar yang berasal dari simpanan tenaga yang terdapat dalam saluran yang panjang.
- c). Jatuh tegangan maksimum dari arester dipakai sebagai tingkat perlindungan arester.
- d). Pengaruh dari sejumlah kawat dalam melindungi bahaya petir maupun surja hubung perlu diperhatikan untuk pemasangan arester.
- e). Bila ada keragu-raguan mengenai kemampuan 50 c/s dari arester, maka jumlah persentase ditambahkan pada harga yang dihitung atau ditetapkan untuk arester. Sekarang masih dipakai 10% sebagai faktor keamanan, juga untuk menanggulangi kemungkinan saat arester bekerja terdapat sebuah tegangan peralihan mungkin tertumpuk pada tegangan 50 c/s, tegangan ini harus diinterupsikan pada arester tersebut.

E. Prinsip dan Pengertian Dasar.

Rasionalisasi dan daya isolasi suatu sistem dan implemantasi dari pada kaoordinasi isolasi menyangkut prinsip-prinsip tertentu, yang di dalam praktiknya terdapat aturan-aturan sebagai berikut :

1. Arester petir (*lighting arrester*) dipakai sebagai alat pelindung pokok. Hal ini akan berakibat bahwa tegangan lebih harus ditentukan untuk peralatan yang harus dilindungi oleh arester ini. Oleh karena arester merupakan alat yang peka terhadap tegangan, maka pemakaiannya harus disesuaikan dengan tegangan sistem.
2. Tegangan sistem mempunyai tiga harga :
 - a. Tegangan nominal, yaitu tegangan kawat yang membedakan sistem dengan yang lain.
 - b. Tegangan dasar (*rated*), yaitu tegangan perencanaan dimana alat tersebut dapat dipakai secara kontinyu.
 - c. Tegangan maksimum, yaitu tegangan yang dapat ditahan oleh alat yang bersangkutan di mana arester tersebut dipasang.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Penelitian ini menggunakan obyek penelitian pada gardu induk 500 KV UPT Semarang, yang berada di Ungaran, Kecamatan Ungaran, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah.

B. Lama Penelitian

Untuk mendapatkan data yang akurat dan valid maka, penelitian ini dilaksanakan mulai tanggal 14 November sampai 30 November 2005 untuk bisa mendapatkan data-data mengenai koordinasi gardu induk 500 KV UPT Semarang.

C. Pendekatan Penelitian

Menurut Suharsimi Arikunto (1996 : 20) yang dimaksud dengan pendekatan penelitian adalah metode atau cara mengadakan penelitian, juga menunjukkan jenis atau penelitian yang diambil.

Berdasar pengertian tersebut maka penelitian ini adalah penelitian diskriptif, yaitu penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan keadaan obyektif dalam penelitian, dalam hal ini adalah jarak optimum pemasangan arrester dalam isolasi tegangan ekstra tinggi pada gardu induk 500 KV UPT Semarang.

D. Obyek Penelitian

Obyek penelitian ini adalah cara kerja dan kemampuan arrester pada GI 500 KV UPT Semarang, untuk mengetahui jarak optimum arrester type HLMN 136 dalam sistem pengamanan terhadap tegangan lebih, serta untuk mengetahui

berapa waktu yang dibutuhkan oleh arester untuk memercik dan apakah arester dapat memutuskan arus abnormal yang melewatinya seperti yang tertera dalam name platenya, sehingga peralatan yang diamankan dapat bekerja secara optimal, yang berkedudukan sebagai kunci dalam koordinasi isolasi

E. Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah obyek penelitian atau apa saja yang menjadi titik perhatian suatu penelitian (Suharsimi Arikunto, 1996 : 99).

Variabel dalam penelitian adalah :

1. Pemasangan arester pada *transmission line bay* dan pada reaktor 7R1 *bay*.
2. Cara kerja dan kemampuan arester dalam melindungi GI dan peralatan dari bahaya Surja (baik surja hubung maupun surja petir) yang merupakan kunci dalam koordinasi isolasi.

F. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam suatu penelitian akan sangat menentukan keberhasilan penelitian, oleh karena itu perlu direncanakan dengan tepat dalam memilih metode untuk pengumpulan data. Sedangkan metode-metode tersebut adalah sebagai berikut :

1. Metode Dokumentasi

Yang dimaksud metode dokumentasi adalah cara memperoleh data melalui hal-hal atau variabel yang berupa catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah dan lain lain (Suharsimi Arikunto, 1996 : 2002). Adapun dokumentasi yang akan peneliti gunakan adalah data-data yang berhubungan dalam perencanaan gardu induk tersebut dan selanjutnya dicatat dalam cek lis.

2. Metode Observasi

Pengumpulan data dengan observasi langsung atau dengan pengamatan langsung adalah cara pengambilan data tanpa ada pertolongan alat standar lain untuk keperluan tersebut, ditempat penelitian (Moh. Nazir, 1998 : 212). Dalam hal ini penulis langsung berada di lokasi gardu induk dan mengadakan penelitian mengenai hal-hal yang perlu dicatat sebagai data dalam penelitian.

G. Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang ditempuh dalam penelitian ini meliputi :

1. Tahap Persiapan

Tujuan dari tahap persiapan penelitian adalah untuk mengkoordinasikan agar saat penelitian dapat berjalan dengan lancar.

Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Mengkoordinasikan subyek penelitian

1). Pemilihan dan pemberian nomor pengenal pada isolasi GI 500 KV.

Pemilihan yang dimaksudkan adalah untuk mempermudah pengelompokan subyek penelitian dari bagian instalasi GI, yang tidak menjadi subyek penelitian. Sedangkan pemberian nomor pengenal dimaksudkan untuk menambah kecermatan dan pengumpulan data penelitian.

2). Pemberian tanda pada tempat-tempat atau bagian yang akan dilakukan pemeriksaan.

Hal ini dilakukan untuk mempermudah pemeriksaan dan pencatatan bagian isolasi GI.

b. Mempersiapkan Cek Lis

Cek Lis ini dimaksudkan untuk mendapatkan data yang akurat (sesuai dengan kondisi yang sesungguhnya). Untuk itu maka dalam pembuatan cek lis dikelompokkan sesuai dengan subyek penelitian yang akan dilakukan, sehingga mudah dalam menganalisa datanya.

2. Tahap Pelaksanaan

H. Teknik Analisis Data

Analisis data merupakan bagian penting dalam penelitian, karena dengan analisis data yang diperoleh mampu memberikan arti dan makna untuk memecahkan masalah dan mengambil kesimpulan penelitian.

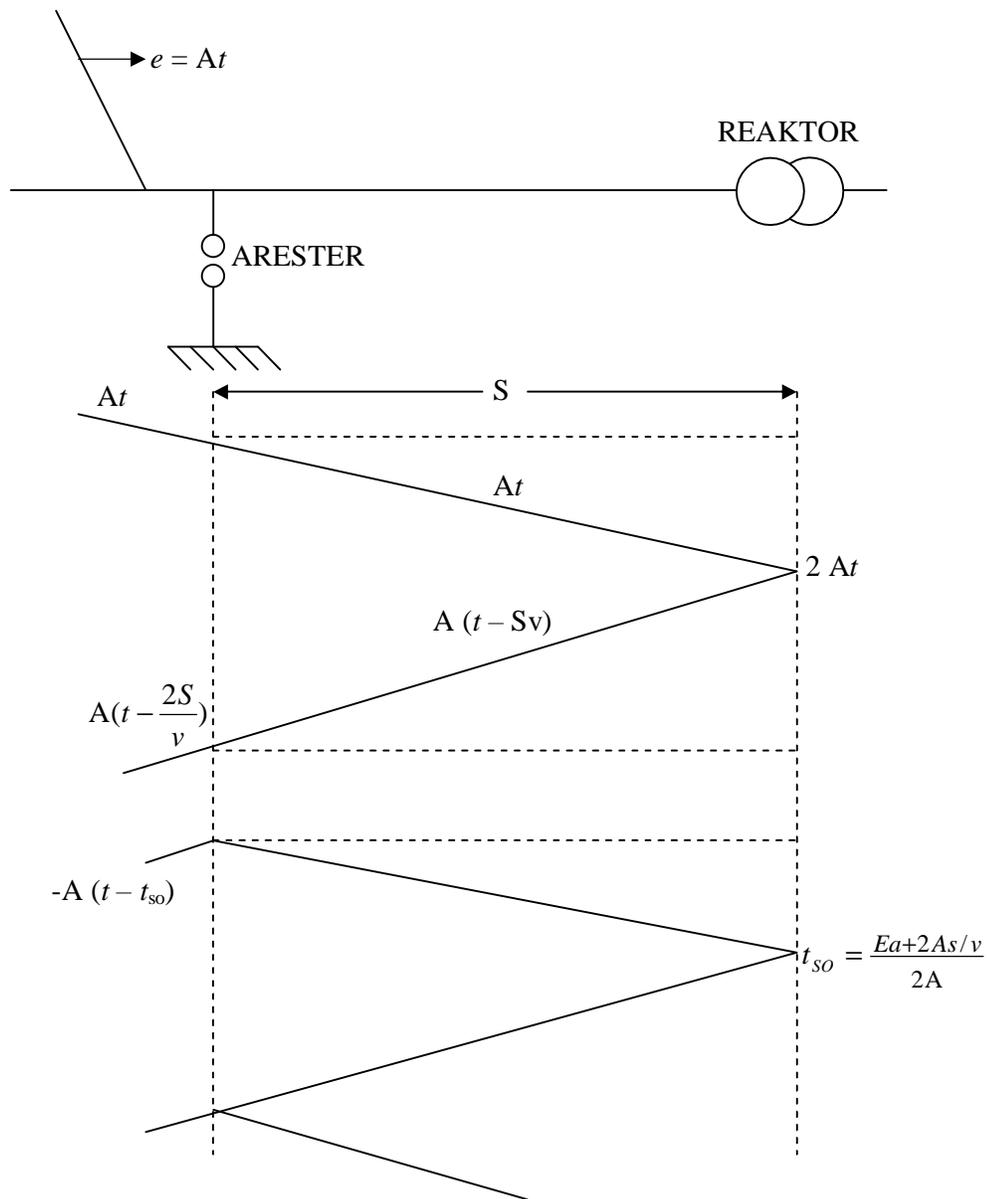
Dalam penelitian ini teknik analisis data yang digunakan adalah analisis matematis untuk mendapatkan hasil penelitian. Analisis ini adalah mengadakan perhitungan-perhitungan berdasarkan rumus yang berlaku di dalam perhitungan koordinasi lokasi arester.

Rumus yang digunakan untuk menentukan jarak maksimum antara arester dan reaktor 7R1 adalah :

$$E_p = E_a + 2 A S/v$$

Sesuai dengan rumus di atas maka, jarak penempatan arester (S) dipengaruhi oleh tegangan jepitan reaktor (E_p), tegangan percik arester (E_a), kecuraman gelombang datang (A) dan kecepatan rambat gelombang (v).

Dari rumus di atas kemudian analisis selanjutnya menggunakan diagram tangga untuk dapat mengikuti jejak gelombang-gelombang itu pada setiap saat, di bawah ini dapat dilihat contoh diagram tangga suatu gelombang surja yang melalui arester dan reaktor.



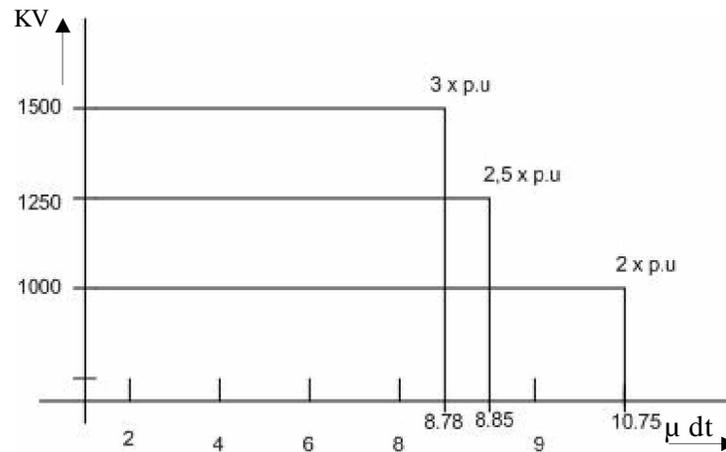
Gbr 3.1 Diagram tangga antara arester dengan reaktor

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian dapat dipaparkan sebagai berikut :

1. Waktu percik arester



Gambar 4.1 Grafik waktu percik arester berdasar penelitian

2. Simulasi diagram tangga untuk tegangan sebesar 2 x p.u (tegangan sistem)

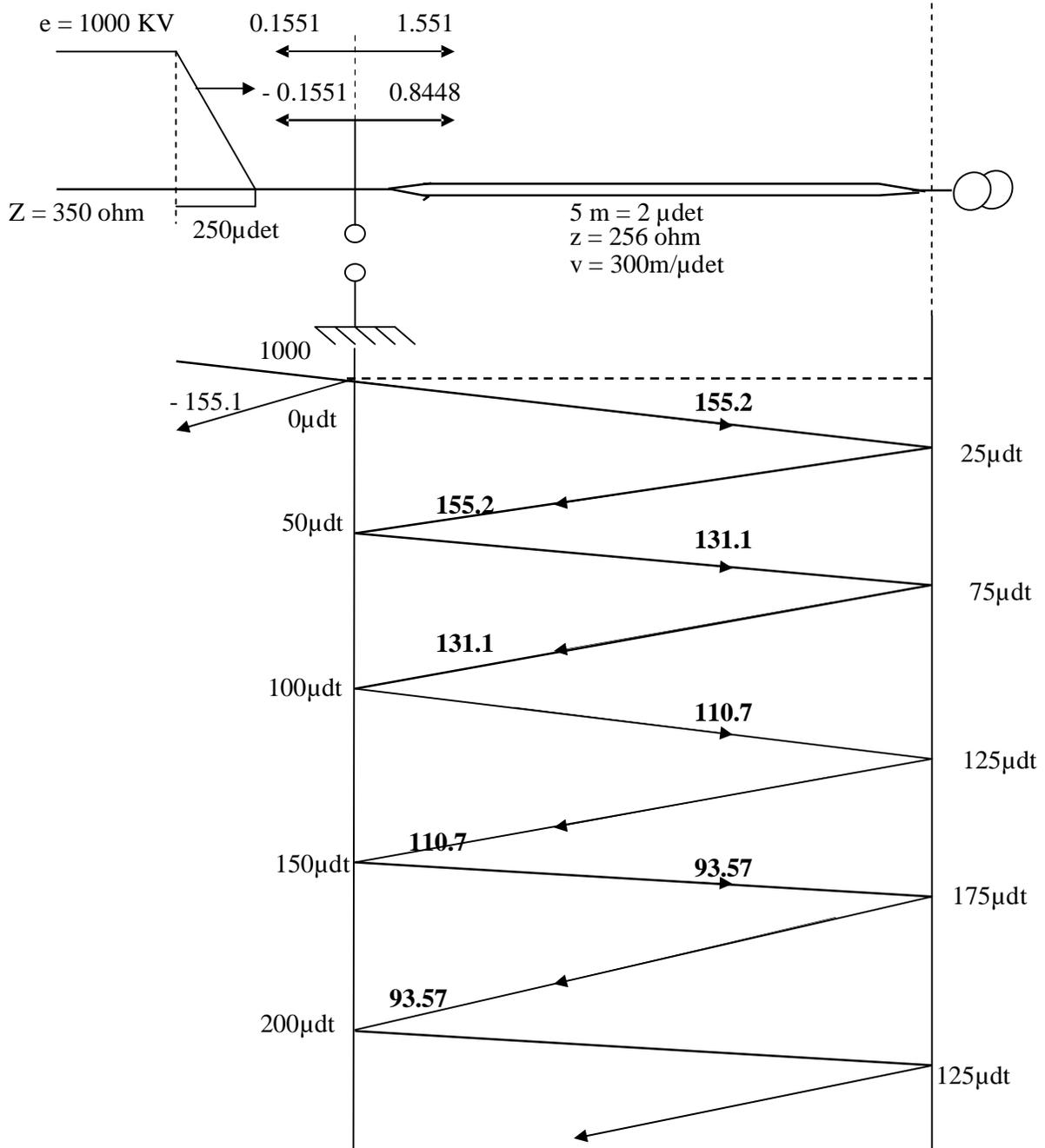
Berdasarkan tabel faktor tegangan lebih sementara dalam koordinasi yaitu untuk tegangan surja hubung dapat berlangsung selama 10 – 4000 μ detik,

sedangkan besarnya tegangan adalah 1,5 – 3,5 p.u, sehingga simulasi

diagram tangga untuk 2 x p.u adalah :

$$a = \frac{250 - 350}{256 + 350} = -0,1551 \quad ; \quad a' = \frac{2 \times 250}{256 + 350} = 0,8448$$

$$b = \frac{350 - 250}{256 + 350} = 0,1551 \quad ; \quad b' = \frac{2 \times 350}{256 + 350} = 1,1551$$



Gambar 4.2: Simulasi diagram tangga perlindungan arester terhadap reaktor 7R1.

B. Pembahasan

1..Waktu percik arester

Berdasar diagram waktu percik arester di atas, maka pada saat tegangan 2 x p.u adalah pada saat $t = 10.75 \mu\text{det}$, untuk 2,5 x p.u pada saat $t = 8.78 \mu\text{det}$, untuk 3 x p.u pada saat $t = 8.75 \mu\text{det}$.

2.Perhitungan jarak maksimum antara arester dengan peralatan yang dilindungi

Dari hasil surve penelitian diketahui bahwa arester terpasang pada ujung saluran, guna untuk melindungi semua peralatan. Diketahui bahwa tegangan system peralatan adalah sebagai berikut, tegangan transmisi 500 KV dengan BIL 890 KV. Reaktor ini dilindungi arester dengan tegangan percik 560 KV, pada lecutan 10 KA, dengan jarak perlindungan terhadap peralatan adalah sejauh 38 meter, misalkan sebuah surja 1000 KV, merambat menuju peralatan yang dilindungi arester dengan kecepatan $300 \text{ m}/\mu\text{dt}$, berapakah jarak maksimum antar arster dan peralatan, sehingga semua peralatan itu terlindungi dari bahaya surja?

Diketahui :

$$E_p = 890 \text{ KV}$$

$$E_a = 560 \text{ KV}$$

$$A = 1000 \text{ KV}$$

$$v = 300\text{m}/\mu\text{dt}$$

Ditanya : S (jarak maksimum antara arester dengan peralatan)?

Jawab :

$$\text{a. } E_p = E_a + 2 \frac{AS}{v}$$

$$890 \text{ KV} = 560 \text{ KV} + 2 \frac{1000 \text{KV} \cdot S}{300}$$

$$S = 49 \text{ meter.}$$

- b. Jadi jarak menurut perhitungan antar arester dengan peralatan adalah 49 meter, pada hal dalam kenyataan dilapangan dipasang sejauh 38 meter, sehingga pemasangannya masih di bawah harga maksimum.

3. Analisis tegangan percik arester

$$t = 0 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 25 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 155,2 \text{ KV}$$

$$t = 50 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 155,2 \text{ KV}$$

$$t = 75 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 155,2 + 155,2 + 131,11 = 441.51 \text{ KV}$$

$$t = 100 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 441.51 \text{ KV}$$

$$t = 125 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 441.51 + 131.11 + 110.76 = 683.38$$

waktu percik arester (t_{so}), adalah sebesar $8 + \Delta t$ (Hutauruk, 1988 : 115)

$$650 = 441.51 + 1.1551 \frac{131.11}{2}$$

$$208.49 = 75.72 \Delta t$$

$$\Delta t = 2.75$$

$$\text{Jadi } t_{so} = 8 + 2.75 = 10.75 \mu\text{detik}$$

4. Naik tegangan pada reaktor 7R1 adalah sebagai berikut :

$$t = 0 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 25 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 50 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 310.4 \text{ KV}$$

$$t = 75 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 310.4 \text{ KV}$$

$$t = 100 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 310.4 + 262.22 = 572.62 \text{ KV}$$

$$t = 125 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 572.62 \text{ KV}$$

$$t = 175 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 572.62 + 221.56 = 794.18 \text{ KV}$$

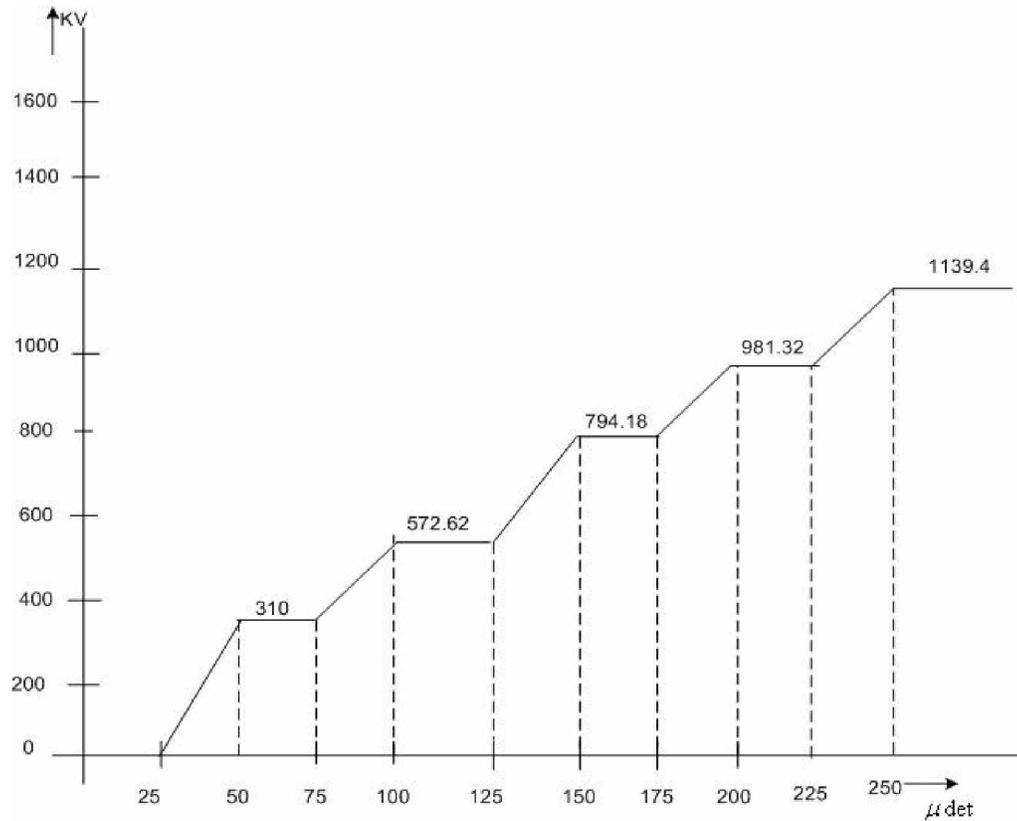
$$t = 200 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 794.18 \text{ KV}$$

$$t = 225 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 794.18 + 187.14 = 981.32 \text{ KV}$$

$$t = 250 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 981.32 \text{ KV}$$

$$t = 275 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 981.32 + 158.08 = 1139.4 \text{ KV}$$

jadi tegangan maksimum pada reaktor 7R1 adalah sebesar = 1139.4 KV, sehingga reaktor masih aman, karena tegangan tersebut masih berada di bawah BIL reaktor



Gambar 4.3 : Grafik naik tegangan pada reaktor 7R1

Jadi menurut percobaan simulasi di atas, naik tegangan yang terjadi berdasarkan waktu berlangsungnya tegangan lebih dalam surja hubung yaitu antara 10 – 4000 μdet , dengan besarnya antara 1.5 – 3.5 p.u (tegangan sistim) adalah sebesar 1471 KV, ini masih berada dibawah BIL dari reaktor 7R1, yaitu sebesar 1550 KV, sehingga arester masih mampu melindungi reaktor tersebut.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasar analisis dan pembahasan : “Unjuk Kerja Arester Type HLMN 136 Untuk Pengamanan Reaktor 7R1 Pada Gardu Induk 500 KV Di UPT Semarang”, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Menurut perhitungan analisis waktu berlangsungnya percikan arester masih berada dalam batas aman sesuai dengan analisis matematis.
2. Dari hasil simulasi dan analisis matematis, jarak pemasangan optimum dari arester type HLMN 136 yang diterapkan dalam GI 500 KV UPT Semarang, mampu melindungi reaktor dari gangguan surja hubung (switching).
3. Naik tegangan yang terjadi pada reaktor masih berada di bawah BIL dari reaktor 7R1, sehingga reaktor masih terlindungi oleh arester pada simulasi di atas.

B. Saran

Bila dilihat dari simulasi dan analisis matematis, memang arester masih mampu melindungi peralatan reaktor 7R1, tetapi kemungkinan terjadinya kegagalan perlindungan tetap terjadi untuk itu disarankan.

Perhitungan analisis yang dilakukan penulis hanya berdasar data semu, sehingga mungkin masih terjadi kesalahan, karena penelitian yang dilakukan berdasarkan pada perhitungan, bukan penelitian sebenarnya.

C. Kelemahan dan Hambatan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat kelemahan dan hambatan yaitu :

Pada pengambilan data, peneliti tidak dapat melakukan pengukuran secara langsung terhadap semua peralatan yang termasuk dalam koordinasi isolasi, sebab GI dalam keadaan ON atau dalam keadaan operasi. Sedang yang dilakukan peneliti hanyalah sebatas observasi data perencanaan dan data standart yang dibantu oleh operator GI setempat serta melakukan pengamatan secara langsung tanpa menggunakan alat Bantu (alat ukur). Sehingga dalam penentuan perhitungan berdasarkan pada analisis semu yang berdasarkan dari buku panduan penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Artono. 2001. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Arikunto, Suharsimi. 1996. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta : Renika Cipta
- Hutauruk.1993.*Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Hutauruk.1988.*Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta : Erlangga
- TEAM. 1987. *Diklat Pegangan Gardu Induk*. Pembangkitan Jabar-Raya.PLN

LAMPIRAN - LAMPIRAN

Hasil data penelitian di GI 500 KV UPT Semarang

Gardu Induk 500 KV UPT Semarang adalah merupakan Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET), yang terletak antara GI Mandirancan dengan GI Krian, yang kemudian di salurkan ke GI 150 KV dengan 6 penyulang. GI 500 KV UPT Semarang tersebut koordinasi isolasinya adalah sebagai berikut :

1. Pemasangan arester

- a. Pemasangan arester di GI 500 KV UPT Semarang terpasang pada reaktor masing – masing fasa R, S dan T, sebanyak 3 buah, Arestor yang terpasang itu semua memiliki ukuran dan bentuk dan type yang sama dengan spesifikasi sebagai berikut :

Penempatan	: Netral reaktor 500 kV
Type	: HLMN 136
Tegangan nominal	: 136 KV
Tegangan percik	: 560 KV
Jenis pasangan	: Luar
Tahun pembuatan	: 1982
Short circuit	: 10 KA / HA
Waktu maximal (sc)	: 8 / 20 sc
Frekuensi	: 50 Hz

- b. Jarak pemasangan arester dengan alat yang dilindungi

- Jarak sisi hantaran masuk dari GI Mandirancan adalah : 38 m.

- Jarak antara arester dengan reaktor adalah : 5 m.
- c. Masing-masing dilengkapi dengan cincin perisai
- d. Masing-masing arester dilengkapi dengan counter arester
- e. Tegangan sistem transmisi : 500 KV

2. Spesifikasi Reaktor 7R1

Reaktor yang terpasang pada GI 500 KV UPT Semarang termasuk reaktor jenis shunt yang terpasang pada fasa R, S dan T. Dengan mane plate sebagai berikut :

Tahun operasi	: 1985
Daya nominal	: 33330 KVAR
Tegangan nominal	: 500 KV
Arus nominal	: 115,5 Amper
Frekuensi	: 50 Hz
Tegangan impedansi	: 2,550 Ohm
Macam pendingin	: ONAN
Tingkat isolasi	: 1550 KV
Tahun pembuatan	: 1983
Jenis pasangan	: Luar

Faktor tegangan lebih sementara dalam koordinasi isolasi

Table Faktor tegangan lebih sementara dalam koordinasi isolasi

Jenis tegangan lebih	Waktu berlangsungnya	Besarnya (p.u)
Bertahan (sustained)	1 – 60 detik	1.0 – 1.4
Sementara (temporary)	0.03 – 1 detik	1.4 – 3.0
Surja hubung	10 – 4000 μ detik	1.5 – 3.5
Surja petir	0.5 – 10 μ detik	4.0

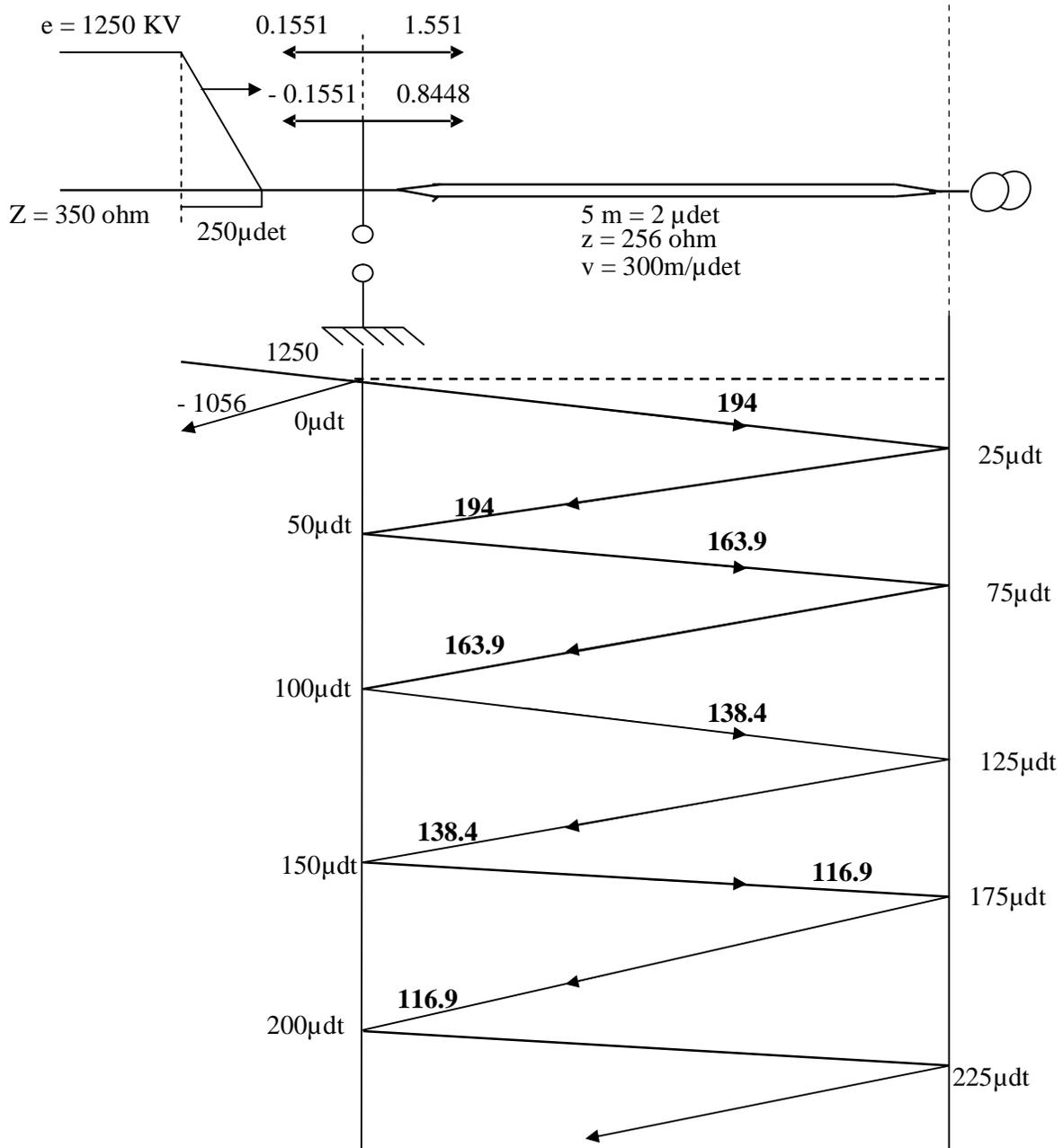
(Artono Arismunandar, 2001 : 135)

Penyelesaian dengan teori pantulan berulang dengan tegangan $2,5 \times p.u$

Jawab : konstruksi diagram tangga

$$a = \frac{250 - 350}{256 + 350} = -0,1551 \quad ; \quad a' = \frac{2 \times 250}{256 + 350} = 0,8448$$

$$b = \frac{350 - 250}{256 + 350} = 0,1551 \quad ; \quad b' = \frac{2 \times 350}{256 + 350} = 1,1551$$



Yang harus ditentukan pertama kali adalah waktu pada saat arester mengalami percikan. Dimisalkan dulu arester tidak ada, maka tegangan pada titik sambungan kabel kawat udara.

$$t = 0 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 25 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 194 \text{ KV}$$

$$t = 50 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 194 \text{ KV}$$

$$t = 75 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 388 + 163.9 = 551.9 \text{ KV}$$

$$t = 100 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 551.9 \text{ KV}$$

$$t = 125 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 551.9 + 163.9 + 138.4 = 854.2 \text{ KV}$$

tetapi pada saat $e = 560 \text{ KV}$ arester telah memercik (*spark over*)

waktu percik arrester (t_{so}), adalah sebesar $8 + \Delta t$ (Hutauruk, 1988 : 115)

$$650 = 557.9 + 1.1551 \frac{163}{2}$$

$$98.1 = 127.1 \Delta t$$

$$\Delta t = 0.78$$

$$\text{Jadi } t_{so} = 8 + 0.78 = 8.78 \mu\text{detik}$$

Naik tegangan pada reaktor 7R1 adalah sebagai berikut

$$t = 0 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 25 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 50 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 388 \text{ KV}$$

$$t = 75 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 388 \text{ KV}$$

$$t = 100 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 388 + 327.8 = 715.8 \text{ KV}$$

$$t = 125 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 715.8 \text{ KV}$$

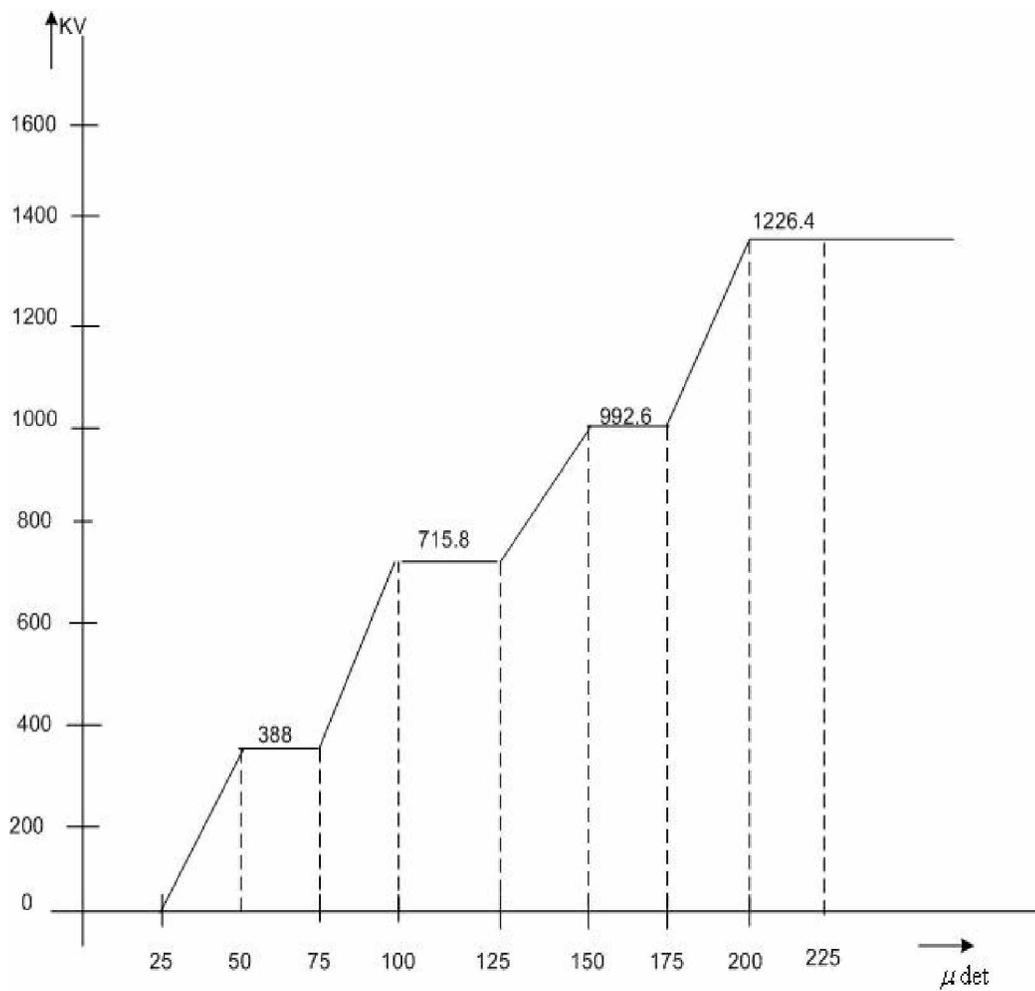
$$t = 150 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 715.8 + 276.8 = 992.6 \text{ KV}$$

$$t = 175 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 992.6 \text{ KV}$$

$$t = 200 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 992.6 + 233.8 = 1226.4 \text{ KV}$$

$$t = 225 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 1226.4 \text{ KV}$$

jadi tegangan maksimum pada reaktor 7R1 adalah sebesar = 1226.4 KV

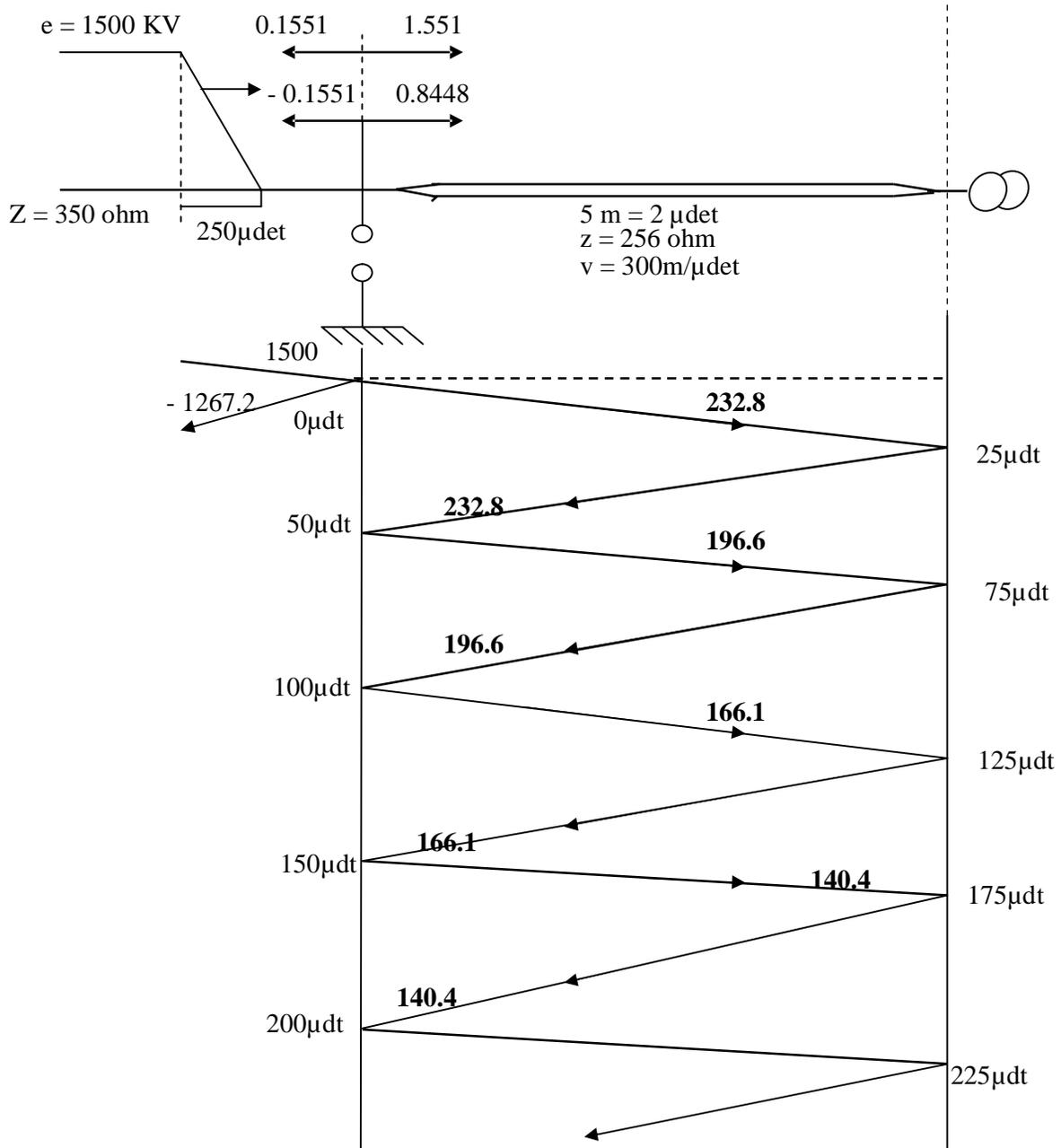


Penyelesaian dengan teori pantulan berulang dengan tegangan 3 x p.u

Jawab : konstruksi diagram tangga

$$a = \frac{250 - 350}{256 + 350} = -0,1551 \quad ; \quad a' = \frac{2 \times 250}{256 + 350} = 0,8448$$

$$b = \frac{350 - 250}{256 + 350} = 0,1551 \quad ; \quad b' = \frac{2 \times 350}{256 + 350} = 1,1551$$



Yang harus ditentukan pertama kali adalah waktu pada saat arester mengalami percikan. Dimisalkan dulu arester tidak ada, maka tegangan pada titik sambungan kabel kawat udara.

$$t = 0 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 25 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 194 \text{ KV}$$

$$t = 50 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 194 \text{ KV}$$

$$t = 75 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 388 + 163.9 = 551.9 \text{ KV}$$

$$t = 100 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 551.9 \text{ KV}$$

$$t = 125 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 551.9 + 163.9 + 138.4 = 854.2 \text{ KV}$$

tetapi pada saat $e = 560 \text{ KV}$ arester telah memercik (*spark over*)

waktu percik arrester (t_{so}), adalah sebesar $8 + \Delta t$ (Hutauruk, 1988 : 115)

$$650 = 557.9 + 1.1551 \frac{163}{2}$$

$$98.1 = 127.1 \Delta t$$

$$\Delta t = 0.78$$

$$\text{Jadi } t_{so} = 8 + 0.78 = 8.78 \mu\text{detik}$$

Naik tegangan pada reaktor 7R1 adalah sebagai berikut

$$t = 0 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 25 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$$

$$t = 50 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 465.6 \text{ KV}$$

$$t = 75 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 465.6 \text{ KV}$$

$$t = 100 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 465.6 + 393.2 = 858.8 \text{ KV}$$

$$t = 125 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 858.8 \text{ KV}$$

$$t = 150 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 858.8 + 332.2 = 1191 \text{ KV}$$

$$t = 175 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 1191 \text{ KV}$$

$$t = 200 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 1191 + 280.8 = 1471.8 \text{ KV}$$

$$t = 225 \quad \mu\text{det} \quad ; e = 1471.8 \text{ KV}$$

jadi tegangan maksimum pada reaktor 7R1 adalah sebesar = 1471.8 KV

