

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TENAGA (PMT) DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL - PASURUAN



**Disusun oleh :
RIO ISA KURNIAWAN
NIM 0012119**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

SEPTEMBER 2007

12-11-62

RECEIVED BY THE DIRECTOR GENERAL INVESTIGATION
DIVISION (100) AND THE BUREAU OF INVESTIGATION
WASHINGTON - D.C. (20535)

THE DIVISION
OF INVESTIGATION
MILK

RECEIVED

WASHINGTON DC 20535
DEC 11 1962

RECEIVED BY THE DIRECTOR GENERAL INVESTIGATION
DIVISION (100) AND THE BUREAU OF INVESTIGATION
WASHINGTON - D.C. (20535)

RECEIVED

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP
KINERJA PEMUTUS TENAGA (PMT)
DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS)
BANGIL – PASURUAN**

SKRIPSI

*Disusun Untuk Melengkapi dan Memenuhi Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :

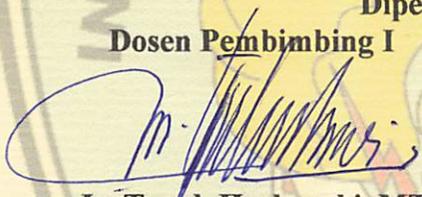
RIO ISA KURNIAWAN

00 12 119

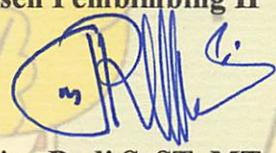
Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Ir. Teguh Herbasuki, MT

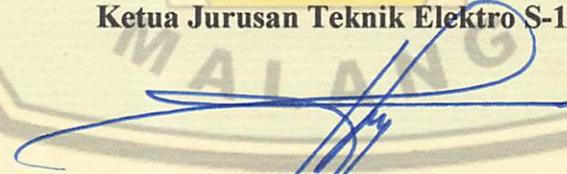
NIP. 103 890 0209


Irrine Budi S, ST, MT

NIP. 132 314 400

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT

NIP. Y : 103 950 0274

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2007

ABSTRAKSI

ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TENAGA (PMT) DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL – PASURUAN

(Rio Isa Kurniawan, 0012119, Teknik Elektro S-1 ITN Malang)
(Dosen Pembimbing I : Ir. Teguh Herbasuki, MT)
(Dosen Pembimbing II : Irrine Budi S., ST, MT)

Kata Kunci : *Pelepasan muatan listrik, karakteristik gas SF₆, medan seragam, medan tak seragam, tekanan, busur api dan proses kegagalan isolasi.*

Karakteristik pelepasan muatan listrik dari SF₆ dibahas secara teoritis dalam hubungannya dengan ketergantungan medan dari koefisien ionisasi α dan koefisien penangkapan electron η . Hasilnya dibandingkan dengan karakteristik udara. Pada tekanan 100 kPa kecepatan arus busur api pada gas SF₆ dua kali lebih baik dari pada udara. Selanjutnya analisa PMT dilakukan pada GIS Bangil dengan PMT uji pada tekanan 510 kPa untuk mendapatkan jarak pisah kontak dan jarak pisah elektroda. Hasil analisa menunjukkan kecepatan arus busur api sebesar 0,002 cm/s.kA.kgf.cm² dan jarak pisah sebesar 1,917 cm.

Keyword : *Electrical discharge, SF₆ characteristics, uniform field, nonuniform field, pressure, arcing current and isolating failure process.*

The electrical discharge characteristics of SF₆ are discussed theoretically in relation to the field dependence of the ionization coefficient α and the electron attachment coefficient η . The result are compared with the characteristics of air. At pressure of 100 kPa the accelerations of arcing current in SF₆ is better than air twice. Next it will be analyzed the circuit breaker at GIS Bangil with the circuit breaker test at pressure of 510 kPa to get relay of gaps spacing and electrode gaps spacing. The results has been showed.the accelerations of arcing curreant decreases as large 0,002 cm/s.kA.kgf.cm² and gaps distance as large 1,917 cm.

KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT karena hanya dengan lindungan, rahmat dan karuniaNya-lah penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini, sebagai syarat untuk melengkapi dan memenuhi syarat mencapai gelar sarjana.

Skripsi yang berjudul “ **ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TENAGA (PMT) DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL – PASURUAN** ” ini tersusun juga atas bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Energi Listrik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
3. Ibu Irrine Budi S, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu terselesaikannya penyusunan Skripsi ini.
5. Ibunda dan Ayahanda tercinta yang selalu memberikan dukungan lahir maupun batin kepada penulis.

6. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Elektro Energi Listrik yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Skripsi ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhirnya, sebagai puncak dari tujuan penulisan skripsi ini adalah semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, September 2007

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
1.7 Kontribusi.....	5
BAB II ISOLASI GAS DAN PEMUTUS TENAGA DI GIS BANGIL ...	6
2.1 Umum.....	6
2.2 Isolasi Gas	7

2.3 Mekanisme Tembus dalam Gas.....	8
2.3.1 Mekanisme Townsend.....	8
2.3.1.1 Koefisien Ionisasi.....	10
2.3.1.2 Koefisien Ionisasi Sekunder.....	13
2.3.2 Mekanisme Streamer.....	15
2.3.3 Hukum Paschen.....	17
2.4 PMT di GIS Bangil.....	18
2.4.1 Umum.....	18
2.4.2 Klasifikasi PMT di GIS Bangil.....	19
2.4.3 Tegangan Kerja PMT.....	23
2.4.4 Ketentuan Yang Harus Dipenuhi Oleh PMT.....	24
2.4.5 Penggerak Dalam Pemutus Tenaga.....	25
2.4.6 Mekanisme Pembukaan dan Penutupan PMT.....	26
BAB III ISOLASI GAS SF₆ DAN DATA GANGGUAN.....	30
3.1 Umum.....	30
3.2 Karakteristik Gas SF ₆	31
3.2.1 Sifat Dielektrik.....	31
3.2.2 Sifat Kimia.....	33
3.2.3 Sifat Fisik Gas SF ₆	34
3.2.4 Fenomena Gas SF ₆	34
3.3 Mekanisme Breakdown Pada Gas SF ₆	35
3.3.1 Breakdown Dalam Medan Seragam.....	37

3.3.2	Breakdown Dalam Medan Tak Seragam.....	39
3.4	Pengaruh Tekanan Terhadap Tegangan Breakdown Pada Medan Yang Tak Seragam.....	42
3.5	Pengaruh Kekasaran Permukaan Elektroda Terhadap Medan Kritis	47
3.6	Pengaruh Polaritas Terhadap Medan Kritis Terhadap Gas SF ₆	52
3.7	Busur Api Pada Gas SF ₆	54
3.7.1	Model Test.....	55
3.7.2	Pengaruh Tekanan Terhadap Busur Api.....	58
3.8	Data Gangguan di GIS Bangil.....	60
3.9	Flow Chart Perhitungan.....	62
BAB IV ANALISA PERHITUNGAN		63
4.1	Analisis Jari-jari Konduktor Dalam Silinder Koaksial	63
4.2	Analisis Pengaruh Tekanan Pada Penurunan Kecepatan Busur Api dan Penentuan Jarak Kontak.....	70
4.3	Kondisi Gas Setelah Terjadi Busur Api	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		76
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran-saran	76
DAFTAR PUSTAKA.....		77
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	Halaman
2.1 : Rangkaian Sederhana Percobaan Townsend	9
2.2 : Rangkaian Eksperimen Untuk Mengukur Koefisien Ionisasi α dan η	10
2.3 : Pertumbuhan Arus Sebagai Fungsi Waktu.....	11
2.4 : Kurva Pertumbuhan Arus Pada Pelepasan Muatan	12
2.5 : LOG I/I_0 Sebagai Fungsi d	14
2.6 : γ Sebagai Fungsi E/P Beberapa Gas.....	14
2.7 : Langkah Terjadinya Tembus Streamer	16
2.8 a : Potongan Bagian Ruang Pemutus PMT Dengan Media Gas SF ₆ dan Jarak Pisah Kontak	20
2.8 b : Potongan Bagian Penyangga Pemutus PMT Dengan Media Gas SF ₆ dan Jarak Pisah Konduktor	20
2.8 c : Potongan Bagian Dasar Pemutus PMT Dengan Media Gas SF ₆	21
2.9 : Rangkaian Trip PMT.....	26
2.10 : Proses Pembukaan Pada PMT	28
3.1 : Struktur Molekul SF ₆	32
3.2 : Grafik η/P Sebagai Fungsi E/P_{20}	36
3.3 : Breakdown Dalam Medan Seragam Gas SF ₆ Dengan Udara.....	38
3.4 : Distribusi Medan Di Sekitar Ujung Elektroda (E_{maks})	39
3.5 : Tegangan Breakdown Sebagai Fungsi Jari-Jari Elektroda.....	40

3.6	: Bentuk Elektroda Dengan Ujung Setengah Bola dan Katoda Bidang Datar	42
3.7	: Tegangan Breakdown Sebagai Fungsi Tekanan Pada Elektroda Batang Bidang 2 cm	43
3.8	: Tegangan Breakdown Sebagai Fungsi Jari-Jari Kelengkungan Ujung Batang Dengan Parameter Tekanan	44
3.9	: Tegangan Breakdown Minimum Sebagai Fungsi Tekanan	45
3.10	: Daerah Larangan Untuk Jari-Jari Kelengkungan Sebagai Fungsi Tekanan Pada Elektroda Bidang Dengan Tegangan 70 Kv dan 125 Kv	46
3.11	: Kuat Medan Kritis Sebagai Fungsi Tekanan Dengan Parameter Kelengkungan Ujung Elektroda	47
3.12	: Bentuk Kekasaran Permukaan Elektroda	50
3.13	: Hubungan Kuat Ambang Breakdown Dengan Kekasaran Permukaan Elektroda	51
3.14	: Medan Kritis Breakdown Sebagai Fungsi Tekanan	53
3.15	: Pembacaan Oscillograph Busur Api Yang Ditimbulkan Arus dan Tegangan	56
3.16	: Kecepatan Busur Api Pada Udara	57
3.17	: Kecepatan Busur Api Pada Gas SF ₆	57
3.18	: Arus Normalisasi Sebagai Fungsi Tekanan	58

DAFTAR TABEL

TABEL	Halaman
3.1 : Dimensi Fisik Tabung Koaksial	55
3.2 : Data Pengujian Busur Api Pada Gas SF ₆	56
3.3 : Perbandingan Kecepatan Busur Api (<i>U</i>) dan Arus (<i>I</i>).....	60
3.4 : Data Gangguan Penghantar 150 kV di <i>Gas Insulated Switchgear</i> (GIS) Bangil	61
4.1 : Jari-jari Konduktor, Luas Penampang Isolasi dan Tegangan Breakdown.....	68
4.2 : Perhitungan Arus Pemutusan Maksimum Berdasarkan Tegangan Nominalnya	72

DAFTAR GRAFIK

GRAFIK	Halaman
4.1 : Jari-jari Selubung Koaksial (r_2) dan Luas Penampang Isolasi Sebagai Fungsi Jari-jari Konduktor Dalam (r_1)	69
4.2 : Tegangan Breakdown Sebagai Fungsi (r_1)	69
4.3 : Hubungan Antara Tekanan dan Kecepatan Busur Api	71
4.4 : Arus Pemutusan Maksimum Sebagai Fungsi V_{nom}	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Penyaluran daya listrik dari pembangkit ke konsumen melibatkan peranan Gardu Induk (GI). Pemutus Tenaga (PMT) merupakan suatu peralatan yang berfungsi sebagai saklar untuk memutuskan dan menghubungkan arus listrik. PMT memerlukan media isolasi, mengingat pemutusan atau penyambungan arus dalam keadaan berbeban. Kondisi ini akan menimbulkan busur api yang harus segera dipadamkan. Media pemadaman busur api yang biasa digunakan adalah minyak isolasi, udara tekanan (air blast breaker), media hampa (vacum) dan gas SF₆.

Seiring perkembangan teknologi, GI konvensional mulai ditinggalkan dan beralih ke GIS (Gas Insulated Switchgear). Penggunaan GIS ini dilatar belakangi juga dengan permasalahan lahan yang digunakan, sehingga dengan penggunaan GIS lahan yang dibutuhkan akan semakin kecil. Penggunaan Gas SF₆ pada GIS memberi beberapa keuntungan dibandingkan dengan udara tekan (air blast breaker) dan media hampa (vacum) yaitu gas SF₆ mampu menaikkan breakdown electricy hanya pada tekanan tinggi dan gas yang mempunyai kekuatan dielektrik 2-3 kali lebih tinggi.

Pada tekanan tinggi, gas SF₆ merupakan bahan isolasi dengan kekuatan tembus yang besar. Hal ini dikarenakan gas SF₆ mempunyai koefisien penangkapan elektron (η) sangat besar sedangkan koefisien ionisasi (α) tidak terlalu berbeda dengan

udara^[1]. Apabila terjadi tegangan tembus, busur api akan segera dipadamkan dan cepat membentuk kekuatan dielektriknya kembali. Kekuatan dielektrik ini bertambah dengan penambahan tekanan. Sehingga gas SF₆ dapat digunakan dalam perkembangan maupun perkembangan GI baru.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian diatas, maka diperlukan kajian analisis mengenai perilaku Gas SF₆. Bagaimana pengaruh tekanan gas SF₆ dalam meredam busur api pada saat pembukaan dan penutupan PMT serta berapa jarak pisah minimal antar konduktor dan kontak PMT berdasarkan tekanan gas SF₆?

Berdasarkan uraian di atas, maka skripsi ini di beri judul :

ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TENAGA (PMT) DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL – PASURUAN

1.3 TUJUAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam skripsi ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh Gas SF₆ terhadap peredaman busur api yang timbul akibat pembukaan dan penutupan PMT.
2. Menghitung jarak pisah minimal kontak PMT dan jarak pisah antar konduktor.

1.4 BATASAN MASALAH

Agar tujuan dari skripsi ini dapat tercapai, perlu dilakukan pembatasan masalah. Permasalahan dibatasi pada :

1. Tekanan Gas SF₆ yang digunakan 4 - 6 kgf/cm².
2. Suhu yang digunakan adalah suhu kamar (20° C).
3. Konduktor yang digunakan adalah konduktor berbentuk silinder dengan isolasi gas SF₆ dan kekasaran permukaan yang konstan (< 40 μm).
4. Spesifikasi PMT sesuai dengan PMT yang digunakan dalam GIS Bangil. Media pemutus gas SF₆, tegangan nominal 150 kV, kapasitas pemutus arus hubung singkat 31,5 kA, durasi hubung singkat 1 sec, frekuensi 50 Hz, rating pemutusan 0,06 sec, ketahanan terhadap tegangan impuls 750 kV, arus beban nominal 1250 A, kapasitas hubung singkat 324,75 MVA.

1.5 METODOLOGI

Pengkajian ini diselesaikan dengan menggunakan metode-metode sebagai berikut

1. Studi Observasi

Melakukan pengamatan dan pengambilan data di GIS Bangil – Pasuruan. Waktu penelitian di lakukan pada tanggal 14 Juli 2007 sampai dengan 7 Agustus 2007. Data – data yang diambil adalah data – data yang berhubungan dengan PMT dengan media isolasi gas SF₆ yang meliputi : sifat dan karakteristik Gas SF₆, jenis PMT, tekanan gas SF₆, rating arus dan

tegangan, kapasitas pemutus PMT, ketahanan terhadap tagangan impuls, rating pemutusan, arus beban nominal.

2. Analisis Data Dari Hasil Observasi

Data – data yang telah didapatkan dari hasil observasi dapat dianalisis berdasarkan teori tembus gas pada Gas SF₆ bertekanan yang meliputi :

- a. Perhitungan tegangan breakdown dan medan kritis berdasarkan tekanan gas SF₆.
- b. Perhitungan celah minimal kontak PMT berdasarkan kecepatan busur api pada gas SF₆.

3. Pengambilan Kesimpulan

Dari hasil analisis dapat diambil kesimpulan : pengaruh Gas SF₆ terhadap busur api yang timbul saat pemutusan PMT dan mendapatkan jarak pisah minimal antar konduktor.

1.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Dalam skripsi ini terbagi dalam lima bab sebagai berikut :

- Bab I : Menjelaskan tentang hal – hal yang menjadi latar belakang penulisan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan pembahasan, metodologi, sistematika pembahasan serta kontribusi.
- Bab II : Berisi tentang penjelasan mengenai medan tembus, kekuatan dielektrik, mekanisme tembus dalam gas dan faktor – faktor yang

mempengaruhi serta mekanisme pemutusan dan penyambungan dalam PMT dengan media isolasi gas SF₆.

Bab III : Berisi penjelasan mengenai Gas SF₆ sebagai pengisi PMT, sifat dan karakteristik, ionisasi tembus dalam Gas SF₆ dan hal – hal yang mempengaruhi dalam hubungannya dengan tekanan yang diberikan serta data gangguan PMT 150 kV di GIS Bangil.

kondisi gas setelah terjadinya tembus, normalisasi setelah tembus.

Bab IV : Berisi tentang analisis hasil pengujian, perhitungan tegangan tembus terhadap variasi tekanan, perhitungan jarak sela konduktor dengan memperhatikan tekanan yang diberikan.

Bab V : Berisi kesimpulan dan saran

1.7 KONTRIBUSI

Terdapat beberapa keuntungan digunakannya gas SF₆ di GIS Bangil yaitu dapat mengurangi terjadinya trip/ pemutusan arus dibandingkan dengan menggunakan media peredam busur api lainnya seperti minyak isolasi, udara tekanan (air blast breaker), media hampa (vacuum). Selain permasalahan lahan yang dibutuhkan GIS tidak terlalu luas.

BAB II

ISOLASI GAS DAN PEMUTUS TENAGA DI GIS BANGIL

2.1 Umum

Kekuatan dielektrik suatu bahan didefinisikan sebagai tekanan listrik maksimum yang dapat ditahan oleh bahan tersebut atau sebagai potensial yang menyebabkan arus listrik mengalir pada nilai yang sangat tinggi. Kekuatan tembus listrik sebagai isolasi tergantung pada beberapa parameter antara lain tekanan, konfigurasi medan, sifat tegangan yang diterakan, dan beberapa factor tersebut sangat menentukan terjadinya kegagalan isolasi walaupun ada faktor lain yaitu timbulnya pelepasan muatan melalui bagian dalam isolator (*sparkover*) atau melalui permukaan isolator (*Flashover*). *Flashover* terjadi apabila isolator padat seperti dari bahan porselin dicelupkan dalam zat cair atau gas dan terbentuk formassi jalur konduksi pada hantaran. Jalur konduksi ini sangat merugikan karena dapat menurunkan kualitas isolasi bahan tersebut. Sedangkan *Sparkover* lebih disebabkan karena adanya rongga di dalam isolasi padat yang nilai dielektriknya jauh di bawah isolasi padat itu sendiri. Namun *Sparkover* ini sangat kecil kemungkinannya dibandingkan dengan *Flashover*.

Gas merupakan isolasi yang sempurna dalam keadaan tidak bertekanan, akan tetapi dalam keadaan bertekanan, gas merupakan bahan dielektrik yang baik dan merupakan dielektrik yang sederhana dan banyak dijumpai dalam peralatan tegangan

tinggi. Gas digunakan sebagai media isolasi, Selain udara yaitu N_2 (nitrogen), CO_2 (karbon dioksida), CCl_2F_2 (freon), dan SF_6 (sulfur heksa fluorida). Umumnya tembus dalam gas terjadi karena proses ionisasi tumbukan^[5].

Elektron- elektron timbul menurut fungsi eksponensial. Bila ada tegangan yang cukup besar, maka akan terjadi tembus. Disini gas dapat merupakan bahan isolasi dengan kekuatan tembus yang besar. Sebagai contoh gas yang mempunyai dielektrik besar adalah gas SF_6 dimana gas ini mempunyai sifat elektronegatif yang berarti juga sangat mudah menangkap elektron – elektron bebas saat terjadi tembus.

2.2 Isolasi Gas

Ketika tegangan diterapkan pada dielektrik berupa gas, maka akan berlaku ketentuan yaitu bila tegangan yang terapkan rendah, maka arus kecil akan mengalir antar elektroda. Dan isolasi itu tetap pada sifat-sifat listriknya. Sebaliknya apabila tagangan yang diterapkan besar, maka arus yang cukup besar mengalir menembus isolasi dan bertambah cepat sehingga mengakibatkan tembus. Kilatan konduksi yang kuat akan terbentuk selama terjadi tembus yang menghasilkan hubungan singkat antar elektroda. Tegangan maksimum yang menyebabkan tembus di dalam isolasi tersebut dinamakan tegangan tembus.

Tembus dalam suatu isolasi gas dilatar belakangi oleh dua jenis pelepasan listrik yaitu :

- a. Pelepasan tertahan
- b. Pelepasan tidak tertahan (dengan sendirinya)

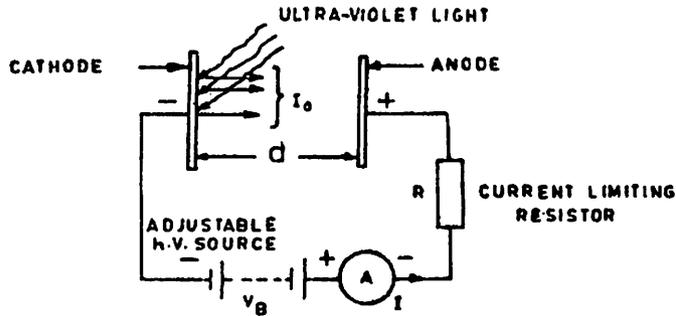
Sedangkan tembus di dalam gas merupakan transisi dari pelepasan tertahan ke pelepasan tak tertahan. Peningkatan arus yang tinggi dalam proses tembus suatu media gas disebabkan oleh proses ionisasi. Dalam hal ini elektroda ion diciptakan dari atom-atom atau molekul-molekul netral dan perpindahan ke anoda dan ke katoda akan menghasilkan arus yang besar, dan ionisasi ini ikut dipengaruhi oleh temperatur gas, tekanan, kekasaran permukaan elektroda dan tersedianya partikel konduksi awal.

2.3 Mekanisme Tembus Dalam Gas

2.3.1 Mekanisme Townsend

Mekanisme Townsend digunakan untuk tembus gas pada celah sempit pada tekanan yang rendah. Elektron dari luar yang dipercepat oleh medan listrik akan membentuk pembawa muatan baru akibat ionisasi tumbukan dari molekul yang bersangkutan. Selanjutnya akan terbentuk suatu awalan yang bergerak dari katoda dan menuju anoda. Apabila didekat katoda terbentuk sejumlah ion baru yang mencukupi, sehingga akan terjadi tembus sempurna.

Percobaan tembus Townsend yang sederhana dapat digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 2.1

RANGKAIAN SEDERHANA PERCOBAAN TOWNSEND

Percobaan ini menggunakan suatu susunan elektroda sederhana seperti pada gambar di atas dengan dua elektroda pelat sejajar terpisah dengan jarak d dan ditempatkan dalam medium gas bertekanan p . Ketika dua elektroda sejajar dihubungkan dengan sumber tegangan V_B maka arus I mengalir menuju elektroda. Sehingga diantara dua elektroda tersebut akan timbul medan listrik E . Apabila medan listrik E diterapkan antara elektroda tersebut, maka elektron-elektron akan dibebaskan dari katoda dikarenakan adanya radiasi eksternal seperti iluminasi sinar ultra violet.

Untuk mengetahui seberapa besar gaya eE menuju anoda dan energi yang diberikan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W = e.E.x = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2-1)$$

dimana :

x : jarak yang ditempuh electron dari katoda

m : massa elektron

v : kecepatan elektron menuju anoda

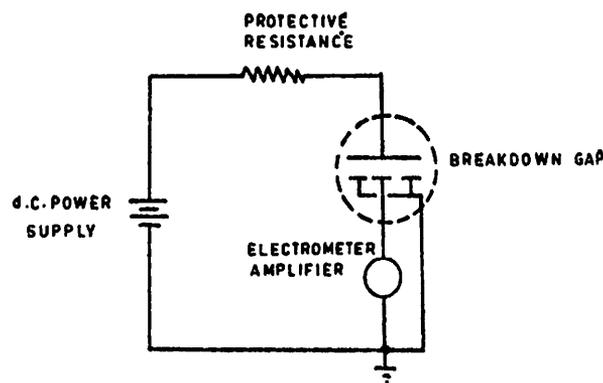
e : muatan elektron

E : medan listrik

Selama elektron bergerak menuju anoda akan membentuk molekul-molekul gas lainnya. Jika elektron mempunyai energi yang cukup besar, maka dapat menyebabkan pecahnya atom atau molekul netral menjadi elektron dan ion positif.

2.3.1.1 Koefisien Ionisasi (α)

Koefisien ionisasi (α) dalam kriteria tembus Townsend dapat diperoleh dengan melakukan percobaan seperti berikut ini ^[5] :



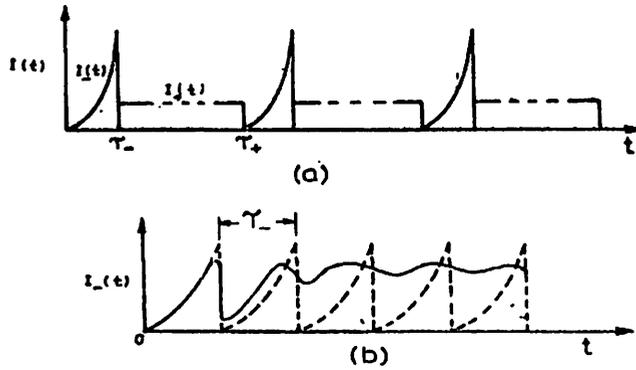
GAMBAR 2.2

RANGKAIAN EKSPERIMEN UNTUK MENGUKUR

KOEFISIEN IONISASI α DAN η

Seperti pada gambar diatas, elektroda pada celah diberi tegangan dc dengan rating 2 s/d 10 kV, elektroda dihubungkan dengan *electrometer amplifier* yang mempunyai resistensi masukan antara 10^9 sampai dengan 10^{13} ohm. Apabila

tegangan yang dikenakan pada elektroda nilainya masih rendah, maka hasilnya akan diberikan seperti gambar dibawah ini ^[5] :



GAMBAR 2.3

PERTUMBUHAN ARUS SEBAGAI FUNGSI WAKTU

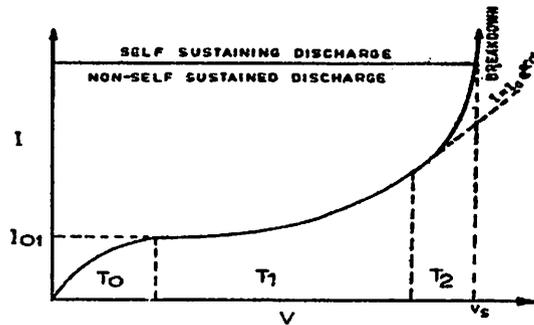
Keterangan :

- a. Ketika elektron kedua diproduksi di katoda oleh ion positif.
- b. Ketika elektron kedua diproduksi oleh foton di katoda.

————— : Kondisi Praktek
 ----- : Kondisi Ideal

$I(t)$ merupakan arus total, I_- dan I_+ merupakan arus ion elektron. Sedangkan τ_- dan τ_+ adalah waktu transit ion dan elektron.

Ketika tegangan dinaikkan, maka gelombang pulsa akan hilang dan arus rata-rata dc dapat dilihat pada gambar dibawah ini ^[5] :



GAMBAR 2.4

KURVA PERTUMBUHAN ARUS PADA PELEPASAN MUATAN

Apabila elektron dari katod n_0 dan ketika sebuah elektron bertumbukan dengan sebuah partikel netral, maka sebuah ion positif dan sebuah elektron akan terbentuk. Hal ini dinamakan ionisasi tumbukan. Semakin jauh jarak dari katoda maka elektron semakin bertambah. Apabila jarak dari katoda sejauh x maka jumlah elektron menjadi n_x dan ketika jumlah n_x bergerak sejauh d_x maka akan ada tambahan elektron sebanyak $\alpha, n_x d_x$. Sehingga jumlah elektron yang mencapai anoda ($x=d$) :

$$n_x = n_0 e^{\alpha d} \quad (2-2)$$

Sedangkan rata-rata jumlah elektron baru yang diciptakan adalah :

$$\frac{n_d - n_0}{n_0} = e^{\alpha d} - 1 \quad (2-3)$$

Sehingga pertumbuhan arus rata-rata dalam celah adalah sama dengan jumlah elektron yang bergerak tiap detik yaitu :

$$I = I_0 e^{\alpha d} \quad (2-4)$$

Dengan I_0 = arus awal dari katoda. Konstanta α didefinisikan sebagai nilai rata-rata ionisasi tumbukan yang dibuat elektron per sentimeter dalam arah medan.

2.3.1.2 Koefisien Ionisasi Sekunder (γ)

Proses ionisasi sekunder ini dimungkinkan karena di dalam medan listrik dapat terjadi pembentukan avalanche lain karena elektron baru tetapi dalam proses yang tidak sama. Proses yang lain ini dapat disebabkan :

$$n_0 = \gamma [n - (n_0 + n'_0)] \quad (2-5)$$

$$n = n_0 e^{\alpha d} \quad (2-6)$$

Dan dengan memasukkan persamaan (2-4) ke persamaan (2-5) diperoleh :

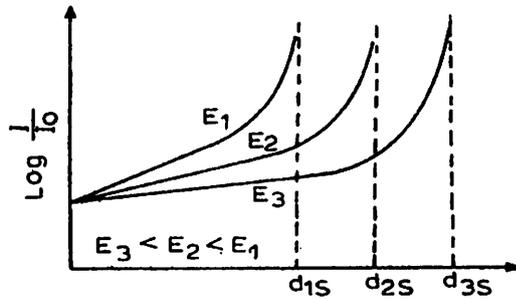
$$I = \frac{I_0 \exp(\alpha d)}{1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1]} \quad (2-7)$$

Untuk mencapai tembus Townsend, pada bagian pembagi pada persamaan diatas sama dengan nol.

$$1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1] = 0 \quad (2-8)$$

Apabila kedua persamaan dipengaruhi, maka akan terjadi pelepasan tak tertahan dan akan terjadi aliran arus yang sangat besar dan tembus pada celah.

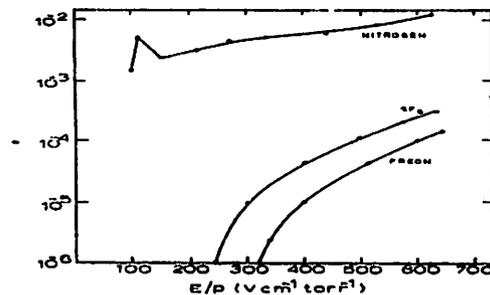
Secara eksperimental koefisien α dan γ dapat diketahui dengan karakteristik tegangan – arus dalam celah yang berbeda. Dengan hasil ini, grafik $\log I / I_0$ sebagai fungsi jarak dalam medan E yang konstan dapat diperoleh sebagai berikut :



GAMBAR 2.5

$\text{LOG } I/I_0$ SEBAGAI FUNGSI d

Untuk koefisien ionisasi sekunder dapat dilihat pada gambar berikut ini :

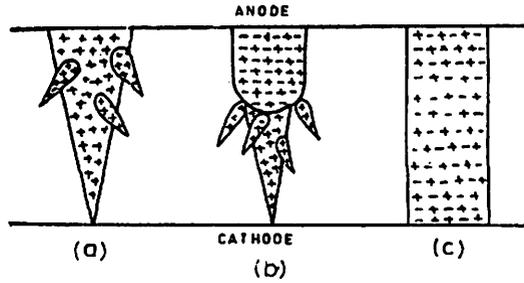


GAMBAR 2.6

γ SEBAGAI FUNGSI E/p BEBERAPA GAS

2.3.2 Mekanisme Streamer (Raether, Loeb dan Meek)

Mekanisme ini terjadi pada tekanan gas yang tinggi dan pada sela yang lebih besar. Ciri utama dari mekanisme streamer adalah emisi foton pada ujung avalance baru dan mengalami pertumbuhan streamer yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan pertumbuhan avalance primer. Elektron dalam avalance tersebut bergerak sangat cepat melebihi ion positif. Saat elektron mencapai anoda, ion positif relatif tetap dalam posisi semula dan membentuk muatan ruang dalam anoda. Hal ini dapat mempertinggi medan dan avalance sekunder dibentuk oleh elektron yang dihasilkan dari proses fotoionisasi dalam daerah muatan ruang sehingga menyebabkan daerah dekat anoda mempunyai muatan ruang maksimum dan semakin menambah muatan ruang dengan waktu yang sangat cepat. Muatan ruang positif yang sampai ke katoda menghasilkan formasi streamer. Pada saat ujung streamer mendekati katoda, sebuah titik di katoda terbentuk dan aliran elektron bergerak dengan cepat dari katoda untuk menetralkan muatan ruang positif dalam streamer tersebut yang menghasilkan tembus total. Tiga langkah yang berturut-turut dalam mekanisme streamer ditunjukkan dalam gambar berikut ^[5] :



GAMBAR 2.7

LANGKAH TERJADINYA TEMBUS STREAMER

Keterangan :

- a. Menunjukkan langkah ketika avalanche menyeberangi celah
- b. Menunjukkan ketika streamer menyeberangi separuh panjang celah
- c. Menunjukkan terbentuknya kanal jembatan

Medan E_r yang dihasilkan oleh muatan ruang dengan radius r dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_r = 5,27 \times 10^{-7} \frac{\alpha e^{\alpha x}}{(x/p)} V/cm \quad (2-9)$$

Dalam sela tertentu, transisi peluahan dari pertumbuhan Townsend dapat menjadi pertumbuhan streamer. Hal ini dapat disebabkan dari beberapa macam parameter diantaranya sebagai berikut :

- Semakin besar hasil perkalian tekanan gas (p) dan jarak (s) maka akan semakin kecil probabilitas bahwa sebuah avalanche elektron dapat bergerak melewati ruang peluahan sebelum nilai perkalian kritis tercapai.

Untuk tegangan impuls yang curam dapat menimbulkan kuat medan yang lebih tinggi dari nilai statik E_d . nilai α akan meningkat cepat terhadap E sehingga nilai perkalian kritis akan tercapai untuk lintasan avalanche yang pendek. Sedangkan probabilitas ionisasi akibat radiasi foton hampir sebanding dengan nilai kerapatan gas. Untuk perkalian berat molekul (M) dan tekanan (p) yang besar menjadikan perkalian kritis avalanche akan lebih cepat tercapai sehingga berubah menjadi pertumbuhan streamer. Sehingga E_d elektroda silinder dan bola akan meningkat cepat terhadap radius kelengkungan r yang lebih kecil. Jadi jika avalanche telah dimulai maka perkalian kritis akan mudah tercapai ^[6].

2.3.3 Hukum Paschen

Keberadaan tembus dalam gas tidak dapat dipisahkan dengan hukum paschen, yang sampai sekarang secara eksperimen terbukti benar untuk kebanyakan gas.

Persamaan umum untuk kriteria dalam gas diberikan sebagai berikut :

$$\gamma \left[e^{\alpha d} - 1 \right] = 1 \quad (2-10)$$

Dengan α dan γ merupakan fungsi dari E/P yaitu :

$$\frac{\alpha}{p} = f_1(E/P) \quad (2-11)$$

$$\gamma = f_2(E/P) \quad (2-12)$$

dan

$$E = V/d \quad (2-13)$$

Sedangkan untuk susunan koaksial

$$V = E \cdot r_1 \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2-14)$$

Atau

$$E = \frac{V}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2-15)$$

Dengan mendistribusi E dalam persamaan diatas dapat dimasukkan dalam kriteria

Townsend didapat :

$$f_2(V / pd) \left[e^{pdf_1(V/pd)} - 1 \right] = 1 \quad (2-16)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa tembus merupakan fungsi dari pd. Dari fungsi f_1 dan f_2 dapat ditulis kembali menjadi persamaan sebagai berikut :

$$V = f(pd) \quad (2-17)$$

Persamaan ini dikenal dengan Hukum Paschen.

2.4 PMT di GIS Bangil

2.4.1 Umum

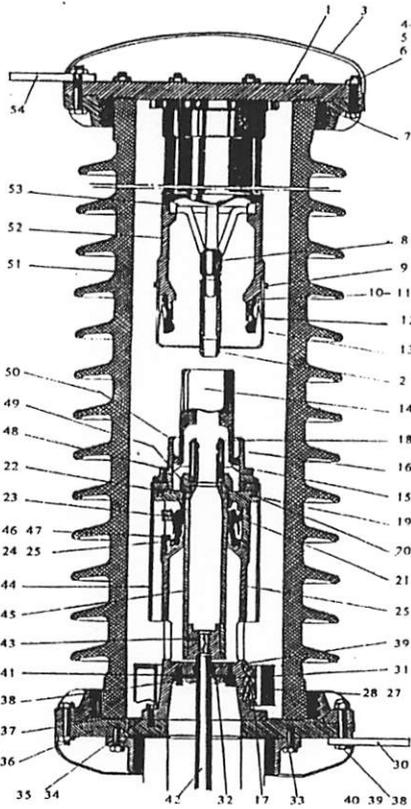
Unit Transmisi dan Gardu Induk Bangil terletak di Kabupaten Pasuruan – Jawa Timur, dengan konsumen sebagian besar untuk keperluan industri terutama di daerah Beji, Pier dan Pasuruan. GIS Bangil ini menggunakan sistem tegangan 150 kV, 70 kV dan 20 kV dengan perincian sebagai berikut :

- a. Untuk tegangan 150 kV menggunakan *double bus bar* yang mendapat pasokan daya dari Surabaya, Grati, Paiton. Sutami dan saluran radial ke GI Bumi Cokro. Dalam GIS dilengkapi dengan : 2 buah trafo IBT 150/70 kV, 50 MVA dan 2 buah trafo distribusi 150/20 kV, 20 MVA.
- b. Untuk tagangan 70 kV menggunakan *busbar* dengan sistem ganda (Bus A dan Bus B), dengan Bus A melalui saluran transmisi Buduran dan Porong sedangkan Bus B terdapat 4 saluran transmisi Pandaan I dan II, Blimbing I dan II.
- c. Untuk tegangan 20 kV menggunakan 2 *cubicle* masing-masing 5 penyulang dilengkapi dengan kopel bus untuk melayani konsumen di daerah kecamatan Bangil, kecamatan Beji dan kecamatan Rembang.

2.4.2 Klasifikasi PMT di GIS Bangil

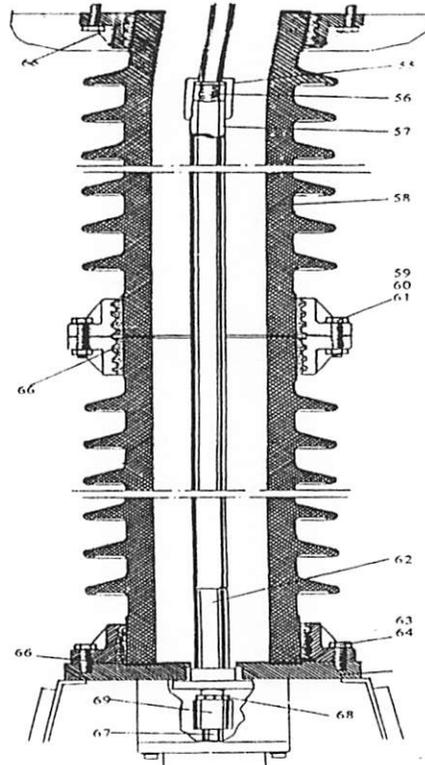
Salah satu perangkat proteksi di GIS Bangil adalah pemutus tenaga/ *Circuit Breaker*. Pemutus Tenaga (PMT) merupakan suatu pemutus rangkaian yang dapat membuka maupun menutup dan mampu dioperasikan dalam keadaan berbeban ataupun pada saat terjadi gangguan. Dasar kerja PMT ini adalah membuka dan menutup kontak-kontaknya yang terpisah dengan peralatan mekanisnya. Pada saat kontak terbuka, maka akan timbul bunga api dan bunga api tersebut akan dipadamkan oleh media isolasinya yaitu gas SF₆.

PMT dengan media gas SF₆ dapat digambarkan sebagai berikut [7] :



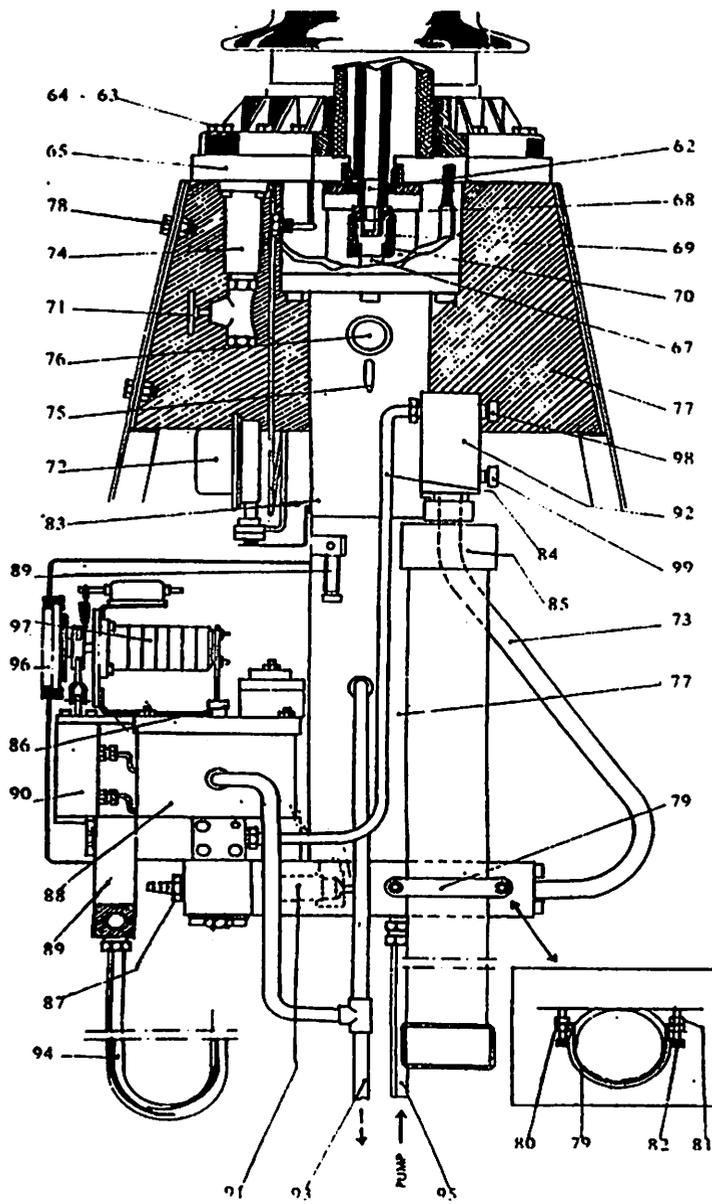
GAMBAR 2.8 (a)

**POTONGAN BAGIAN RUANGAN
PEMUTUS PMT DENGAN MEDIA
GAS SF₆ DAN JARAK PISAH
KONTAK**



GAMBAR 2.8 (b)

**POTONGAN BAGIAN PENYANGGA
PEMUTUS PMT DENGAN MEDIA
GAS SF₆ DAN JARAK PISAH
KONDUKTOR**



GAMBAR 2.8 (c)

POTONGAN BAGIAN DASAR PEMUTUS PMT DENGAN MEDIA GAS SF₆

Keterangan gambar 2.8 a, 2.8 b, 2.8 c :

1. Tutup atas
2. Kontak busur tetap
3. Penutup
4. Baut
5. Ring
6. Mur
7. Perapat
8. Tabung kontak tetap
9. Baut
10. Baut
11. Ring pengunci
12. Tutup
13. Jari-jari kontak tetap atas
14. Nozzle penghembus busur api
15. Perapat
16. Jari-jari kontak bergerak
17. Kotak pengering
18. Kontak busur bergerak
19. Perapat ring piston
20. Ring piston elastis
21. Penunjang
22. Piston tetap
23. Jari-jari kontak tetap bawah
24. Baut
25. Ring pengunci
26. Pegangan kontak tetap bawah
27. Baut
28. Ring
29. Penunjang
30. Terminal bawah
31. Ring elastis
32. Pelat
33. Baut dan ring
34. Baut
35. Ring
36. Flens bawah
37. Perapat
38. Baut
39. Ring
40. Mur
41. Ring
42. Nozzle
43. Grub screw
44. Silinder bergerak
45. Silinder bergerak
46. Baut
47. Ring
48. Baut
49. Pegangan kontak bergerak
50. Ujung kontak bergerak
51. Isolator ruangan pemutus
52. Pegangan kontak tetap atas
53. Baut dan ring
54. Terminal atas
55. Sleeve
56. Socket
57. Batang bergerak
58. Isolator penyangga
59. Baut
60. Ring
61. Mur
62. Batang kopleng bawah
63. Baut
64. Ring
65. Pelat tempat dudukan
66. Perapat
67. Batang untuk pendorong
68. Jepitan-jepitan
69. Pembungkus jepitan
70. Pembungkus baut kunci
71. Katup pengisi gas SF₆
72. Saklar tekanan
73. Pipa tekanan tinggi (ke 91)
74. Pipa penghubung
75. Alat pernafasan gas SF₆
76. Plug pelumas
77. Removable partition of truck
78. Baut
79. Stirrups
80. Mur bagian luar
81. Mur bagian dalam
82. Baut
83. Ram
84. Pipa tekanan tinggi
85. Akumulator
86. Pernafasan
87. Bleeding valve untuk pipa control
88. Selubung menakis control
89. Katup searah
90. Pilot jack
91. Main manifold
92. Bleeding valve pipa tekanan tinggi
93. Oil bleeding piping
94. Pipa control
95. Pipa pompa tekanan tinggi
96. Indicator
97. Kontak-kontak sinyal
98. Peralatan pembatas keluar
99. Peralatan pembatas keluar

Berdasarkan media isolasi pemadaman busur api maka PMT di bagi menjadi :

- a. PMT dengan banyak menggunakan minyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*), digunakan pada sistem tegangan sampai dengan 245 kV.
- b. PMT dengan sedikit minyak (*Low Oil Content Circuit Breaker*), perbedaan dengan *Bulk Oil Circuit Breaker* yaitu pada *Low Oil Content Circuit Breaker* minyak digunakan hanya sebagai peredam loncatan bunga api listrik sedangkan untuk bahan isolasi bagian yang bertegangan digunakan bahan dari porselin atau material isolasi dari jenis organik.
- c. PMT dengan Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*).
- d. PMT dengan menggunakan Hampa Udara (*Vacuum Circuit Breaker*)
- e. PMT dengan media Isolasi Gas SF₆.

2.4.3 Tegangan Kerja PMT

Tegangan kerja PMT antara lain 500 kV, 150 kV, 70 kV, 30 kV, 20 kV, 6 kV dan 220/380 V. pada tegangan 220/380 V PMT tidak menggunakan media isolasi dan biasanya digunakan pada konsumen. Tegangan kerja tersebut digunakan pada PMT pada Penghantar, Transformator dan Transmisi pada sistem tenaga listrik. Sedangkan dalam penulisan ini PMT yang diamati adalah PMT dengan tegangan kerja 150 kV.

2.4.4 Ketentuan Yang Harus Dipenuhi Oleh PMT

Pemutus Tenaga (PMT) yang digunakan dalam sistem tenaga listrik harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- a. Harus mampu menutup dan dialiri arus beban penuh dalam waktu yang lama.
- b. Membuka otomatis dalam memutuskan beban atau beban lebih.
- c. Harus memutus dengan cepat saat dialiri arus hubung singkat.
- d. Celah (*gap*) harus tahan terhadap tegangan rangkaian apabila kontak membuka.
- e. Mampu dialiri arus hubung singkat sampai gangguan hilang.
- f. Mampu memutuskan arus magnetisasi trafo serta arus pemuatan (*Charging Current*).
- g. Mampu menahan efek dari arcing kontakannya. Gaya elektromagnetik atau kondisi-thermal akibat hubung singkat.

2.4.5 Penggerak Dalam Pemutus Tegangan

Penggerak merupakan suatu sistem peralatan yang menggerakkan kontak gerak (*moving contact*) PMT sehingga dapat membuka maupun menutup sesuai waktu yang diizinkan. Beberapa penggerak yang digunakan dalam PMT yaitu

a. Penggerak Mekanis/ Pegas

Penggerak ini menggunakan peralatan seperti per, rantai, engkol, roda gigi dan lain sebagainya yang bergerak secara mekanis sehingga dapat membuka dan menutup pemutus tenaga.

b. Penggerak Pneumatik

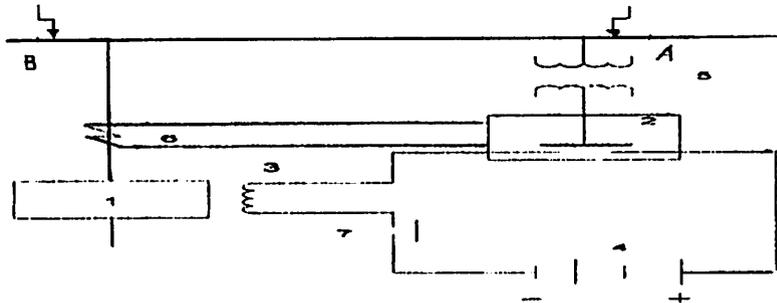
Sistem ini menggunakan udara bertekanan untuk menggerakkan *moving contact* membuka maupun menutup.

c. Penggerak Hidrolik

Sistem ini menggunakan minyak bertekanan untuk menggerakkan *moving contact*. membuka maupun menutup.

2.4.6 Mekanisme Pembukaan dan Penutupan PMT

Secara sederhana mekanisme pembukaan dan penutupan dapat dijelaskan dalam gambar sebagai berikut ^[7] :



GAMBAR 2.9

RANGKAIAN TRIP PMT

Keterangan :

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1. PMT | 5. Trafo Tegangan |
| 2. Rele | 6. Trafo Arus |
| 3. Kumparan Trip | 7. Saklar Bantu |
| 4. Baterai | |

Apabila terjadi gangguan di titik A maka trafo tegangan akan memberikan sinyal trip kepada rele. Kemudian tegangan dari baterai mengalir dari muatan positif ke negatif menuju kumparan trip, sehingga peralatan mekanis akan bekerja untuk membuka kontak-kontak PMT.

Apabila terjadi gangguan di titik B maka trafo arus akan memberikan sinyal trip kepada rele. Kemudian arus dari baterai mengalir maka kumparan trip akan mendapatkan tegangan, sehingga peralatan mekanis akan bekerja untuk membuka kontak-kontak PMT. Sedangkan saklar bantu hanya digunakan untuk membantu terhadap kerja PMT.

Mekanisme pembukaan dan penutupan pemutus tegangan antara lain :

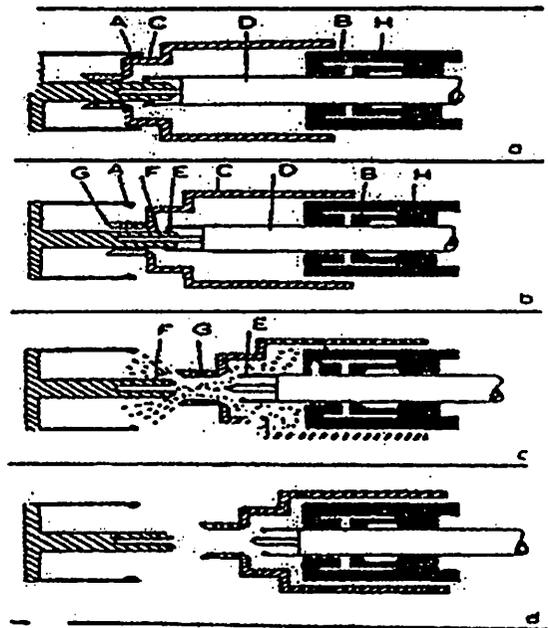
a. Trip Coil atau Coil untuk melepas tenaga dengan cara :

- Remote atau dilepas pada panel kontrolnya.
- Lokal atau dilepas pada pemutus yang bersangkutan.
- Rele untuk pelepasan waktu ada gangguan dan trip test.

b. Close Coil atau coil untuk melepas pemutus tenaga dengan cara yang sama seperti trip coil, hanya saja untuk rele digunakan recloser yang menutup kembali secara otomatis.

c. Handle atau operasi pembukaan dan penutupan secara manual yang dilakukan pada *emergency trip* dan *handle close*.

Secara *visual* proses pembukaan PMT dengan media isolasi gas SF₆ dapat digambarkan sebagai berikut [8] :



GAMBAR 2.10

PROSES PEMBUKAAN PADA PMT

Keterangan :

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| A. Jari-jari kontak tetap | E. Jari-jari kontak busur |
| B. Kontak tetap | F. Kontak busur tetap |
| C. Silinder bergerak | G. Nozzle isolasi |
| D. Tabung kontak tetap | H. Penyangga kontak tetap |

Pada gambar 2.8 (b), ketika silinder (C) bergerak bergerak keluar dari jari-jari kontak (A) maka arus listrik akan mengalir melalui kontak busur tetap (F), jari-jari kontak busur (E) pada tabung kontak bergerak (D), kontak tetap (B) dan penyangga kontak tetap (H) secara bersamaan menekan gas untuk masuk ketika kontak busur tetap (F) bergerak keluar sekaligus terjadi pembukaan nozzle (G). gambar (c) menunjukkan ketika jari-jari kontak busur (E) bergerak menjauhi kontak busur tetap (F) busur api terjadi. Pada saat itu juga nozzle (G) yang telah terbuka dan tanpa terhalangi kontak busur tetap (F) menjadi jalan gas SF₆ bertekanan untuk memadamkan busur api yang terjadi.

BAB III

ISOLASI GAS SF₆ DAN DATA GANGGUAN

3.1 Umum

Sulfur Heksafluorida merupakan gas yang sangat baik untuk penerapan tegangan tinggi. Gas ini telah banyak digunakan pada PMT tegangan tinggi dan alat-alat penghubung dan pembagi dalam sistem tenaga. Aplikasi SF₆ terdiri dari garis transmisi gas terisolasi. Perpaduan dari sifat fisika, kimia kelistrikan dan sifat-sifat panas memberikan banyak keuntungan ketika gas ini digunakan dalam peralatan penghubung dan pembagi daya. Sifat-sifat gas SF₆ yang menguntungkan diantaranya adalah :

- a. Kekuatan dielektrik yang tinggi
- b. Kemampuan meredam busur api yang tinggi
- c. Kestabilan panas yang bagus
- d. Konduksi panas yang baik

Sampai saat ini gas SF₆ sudah banyak dipakai sebagai bahan isolasi listrik tegangan tinggi dan ekstra tinggi sekalipun. Pemakaian gas SF₆ diantaranya adalah untuk bahan dielektrik bushing, gas pengisi PMT dan lain-lainnya. Hal ini karena sifat-sifat gas SF₆ yang menguntungkan, dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu sifat dielektrik, sifat kimia dan sifat fisik.

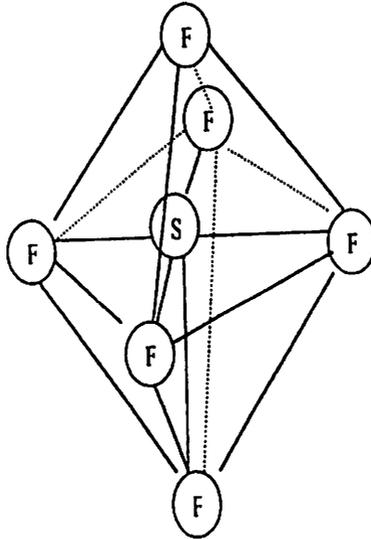
Cara pembuatan gas ini yaitu dengan cara membakar secara kasar satu roll sulfur yang telah dihancurkan dalam gas fluorin dalam kotak baja yang dilengkapi dengan laci-laci horizontal yang terpisah. Masing-masing mengandung 4 kg sulfur. Kotak dibuat kedap akan gas sehingga gas yang diperoleh akan mengandung senyawa-senyawa fluorin yang lain.

Sulfur hexafluoride terdiri dari sulfur cair dan gas fluorin yang disuling sampai 99.9 % kemurniannya. Pada keadaan lembab, gas asam hidrofleur dapat dibentuk sehingga penggunaan bahan isolasi seperti kaca dan porselin yang sensitif terhadap air dan asam hidrofleur dapat diganti dengan SF₆. Gas SF₆ umumnya dihasilkan oleh perusahaan kimia. Harga gas ini akan lebih rendah apabila diproduksi dalam skala besar. Gas SF₆ ini dalam pengangkutan dibuat dalam bentuk cair dalam tabung. Sebelum diisi gas SF₆, PMT harus dikosongkan terlebih dahulu dengan memberi tekanan sekitar 4 mm Hg untuk menghilangkan air dan udara..

3.2 Karakteristik Gas SF₆

3.2.1 Sifat Dielektrik

Gas SF₆ pada tekanan atmosfer memiliki kekuatan dielektrik 2 sampai 3 kali dari udara yaitu kira-kira 9 kV mm⁻¹, sedangkan udara kekuatan dielektriknya sekitar 3 kV mm⁻¹. Dalam susunan molekulnya, gas SF₆ dapat digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 2.1

STRUKTUR MOLEKUL SF₆

Gas SF₆ memiliki berat molekul 146 dan tersusun atas 22% berat belerang dan 78% berat flour. Molekul gas SF₆ terbentuk sedemikian sehingga atom belerang berada di pusat oktahedron yang beraturan dengan masing-masing sebuah atom flour pada setiap ujung oktahedron.

Kekuatan dielektrik dari gas SF₆ pada tekanan atmosfir adalah 2,35 kali udara dan 30% lebih rendah dari dielektrik minyak yang digunakan pad CB. Pada tekanan yang lebih tinggi kekuatan dielektriknya akan naik. Pada tekanan sekitar 3 kgf/cm² kekuatan dielektrik gas SF lebih besar dari minyak. Oleh karena itu ukuran peralatan akan lebih kecil untuk tegangan yang sama.

3.2.2 Sifat Kimia

Sifat kimia gas SF₆ adalah sebagai berikut :

1. Gas SF₆ masih stabil sampai kenaikan suhu mencapai 500° C.
2. Gas SF₆ bersifat kaku (inert)

Dengan inertnya, gas SF₆ membantu untuk mencegah proses oksidasi pada saat adanya pembusuran sehingga mengurangi biaya pemeliharaan maupun tenaga pemeliharaan itu sendiri. Dengan sifat inert itu pula umur kontak antara circuit breaker (CB) akan lebih lama dibandingkan bila CB menggunakan udara selain gas SF₆. Namun bila terjadi kelembaban udara maka akan merusak alat-alat yang menggunakan gas SF₆ sebagai media pemadam busur api.

3. Merupakan gas yang elektronegatif

Gas ini sangat elektronegatif yang berarti elektron-elektron bebas siap dipindahkan dari pelepasan dengan pembentukan ion negative melalui proses dimana elektron bebas ditempelkan pada molekul gas netral.

Penempelan dapat terjadi melalui dua cara :

- a. Penempelan langsung : $SF_6 + e^- \rightarrow SF_6^-$
 - b. Penempelan disosiasi : $SF_6 + e^- \rightarrow SF_5 + F^-$
4. Pada temperatur diatas 150° C gas SF₆ mempunyai sifat tidak merusak plastik, metal dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutusan tenaga yang bertegangan tinggi.

3.2.3 Sifat-Sifat Fisik Gas SF₆

Sifat-Sifat Fisik Gas SF₆ antara lain :

1. Tidak berbau.
2. Tidak berwarna.
3. Tidak beracun, sehingga tidak berbahaya bagi makhluk disekitarnya.
4. Tidak mudah terbakar.
5. Merupakan gas berat

Pada tekanan 1 atmosfer dan suhu 20° C berat gas SF₆ lima kali berat udara. Dan pada tekanan 13,6 atm (200 lb/in²) kapasitas tegangan tembus mencapai empat kali kapasitas tegangan udara pada tekanan dan temperatur yang sama.

6. Bentuk fisik dari gas SF₆ akan berubah sesuai dengan perubahan suhu dan tekanan absolutnya.

3.2.4 Fenomena Gas SF₆

Walaupun gas SF₆ akan meningkat kekuatan dielektriknya jika tekanan dinaikkan tetapi memiliki nilai saturasi. Apabila nilai saturasi tersebut dilampaui, maka gas SF₆ akan berubah wujud dari gas menjadi cair. Pencairan gas SF₆ pada switchgear harus dihindarkan karena dapat menurunkan kekuatan isolasinya. Gas SF₆ mulai mencair pada suhu yang rendah, sedangkan temperatur pencairan tergantung pada tekanan gas SF₆. pada tekanan 15 kgf/cm² dan pada suhu 10°C gas SF₆ mulai mencair. Oleh sebab itu gas SF₆ tidak cocok pada tekanan diatas 15 kgf/cm².

Temperatur yang membuat gas SF₆ menjadi dalam keadaan cair tergantung dari tekanan gas. Semakin tinggi tekanan, maka semakin tinggi pula temperatur pencairan. Untuk menghindari pencairan maka temperatur gas harus dijaga di atas harga dimana gas mulai mencair yaitu pada tekaanan 15 kgf/cm² dan pada suhu 10°C. Gas SF₆ dapat dibuat dalam wujud cair hanya dilakukan jika dikehendaki untuk disimpan dalam sebuah tabung.

3.3 Mekanisme Breakdown Pada Gas SF₆

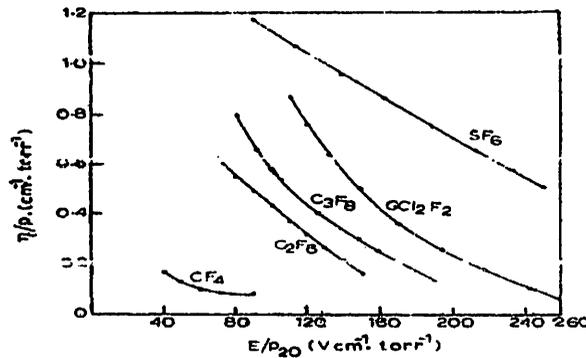
Molekul gas yang mempunyai atom halogen dalam struktur mempunyai kemampuan menangkap elektron bebas untuk membentuk ion negatif. Karena kemampuan untuk menangkap elektron bebas ini, karakteristik peluahan listrik ini tidak sama dengan gas pada umumnya.

Proses tembus dalam gas dimulai oleh suatu penumpukan elektron yang besar. Peningkatan jumlah elektron oleh proses ionisasi terjadi di daerah harga koefisien ionisasi α melebihi harga koefisien pelekatan η . Jumlah elektron yang disebabkan oleh proses dan pelekatan suatu lintasan diberikan oleh persamaan^[1] :

$$\ln N = \int_0^{x_c} (\alpha - \eta) dx \quad (3-1)$$

Disini x adalah jarak dari permukaan elektroda yang memberikan medan listrik maksimum. Dan X_c adalah harga x dimana $\alpha = \eta$ selalu lebih besar dari η sepanjang sela, maka X_c sama dengan panjang sela tersebut.

Untuk menunjukkan hubungan antara harga η/p dan E/p_{20} untuk SF_6 dan beberapa gas yang lain adalah sebagai berikut :



GAMBAR 3.2

GRAFIK η/p SEBAGAI FUNGSI E/p_{20}

Harga E/p pada saat $\alpha = \eta$ untuk SF_6 adalah tiga kali lebih besar dari udara. Hal ini dikarenakan harga η untuk SF_6 lebih besar, sedangkan besarnya α tidak jauh berbeda dengan udara. Kemiringan garis K dapat dicari dimana harga $\alpha = \eta$. Harga K untuk SF_6 kira-kira sekitar 10 kali lebih besar dari udara. Berarti apabila harga E/p sedikit saja melampaui $(E/p)_{kritis}$ yaitu harga E/p ketika $\alpha = \eta$, N akan menjadi besar dan cukup untuk memenuhi kriteria formasi Streamer.

Dari gambar 3.2 dapat diketahui bahwa hubungan $(\alpha - \eta)/P$ terhadap E/P untuk SF_6 merupakan garis linier. Sehingga memberikan formasi seperti pada persamaan di bawah ini ^[1] :

$$\frac{\alpha - \eta}{P} = K \left[\frac{E}{P} - \left(\frac{E}{P} \right)_{kritis} \right] \quad (3-2)$$

dimana :

E = kuat medan listrik ($kV\ cm^{-1}$)

P = tekanan gas (kgf/cm^2)

$\left[\frac{E}{P} \right]_{kritis}$ = harga kritis dari E/P pada saat sebelum terjadi breakdown

Untuk konstanta numerik dapat diperoleh sebagai berikut ^[1] :

$$K = 27(kV^{-1})$$

$$\left(\frac{E}{P} \right)_{kritis} = 89(kV / cm.atm)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (3-2) ke persamaan (3-1) didapatkan nilai N sebagai berikut :

$$\ln N = K \left[\int_0^{x_c} E(c) dx - \left[\frac{E}{P} \right]_{kritis} \cdot P \cdot X_c \right] \quad (3-3)$$

Suatu kriteria sederhana dari formasi streamer digunakan dalam pembahasan ini. Bahwa transisi dari suatu aliran elektron menjadi streamer terjadi ketika jumlah elektron dalam aliran tersebut mencapai harga kritis N_{kritis} . Reather menyatakan bahwa besarnya N_{kritis} tidak tergantung dari jenis gas dan distribusi medan besarnya sekitar 10^8 .

3.3.1 Breakdown Dalam Medan Seragam

Untuk medan seragam atau mendekati seragam, formasi streamer langsung tumbuh menjadi breakdown jika $N = N_{kritis}$.

Dalam suatu medan seragam, E konstan sepanjang celah sehingga Xc sama dengan panjang celah l . Untuk menghitung N diberikan persamaan sebagai berikut :

$$\ln N = K[E - (E/P)_{kritis} \cdot P]l \quad (3-4)$$

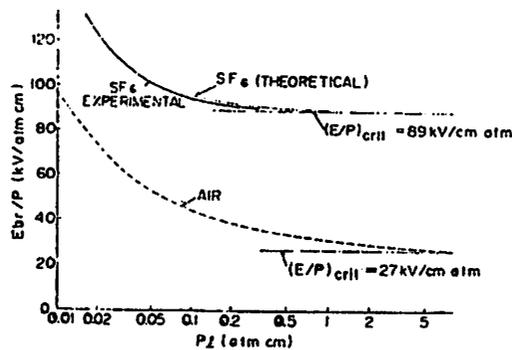
Dengan mengganti $N = N_{kritis}$, kuat medan breakdown E_d akan diperoleh. Sehingga tegangan breakdown V_d dapat dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$\frac{E_d}{P} = \frac{\ln N_{kritis}}{K \cdot pl} + \left[\frac{E}{P} \right]_{kritis} \quad (3-5)$$

Dari persamaan diatas maka tegangan breakdown dapat dinyatakan :

$$Vd_s = \frac{\ln N_{kritis}}{K} + \left[\frac{E}{P} \right]_{kritis} \cdot pl \quad (3-6)$$

Kurva karakteristik E_d/P dengan $p.l$ untuk SF₆ dan udara diberikan pada gambar 3.3 [1]. Kurva teoritis dari persamaan (3-5) diperlihatkan garis terputus-putus untuk SF₆ (harga N_{kritis} diambil sebesar 10^8). Harga $p.l$ yang memberikan E_d/P sama dengan $(E/P)_{kritis}$ adalah sekitar 0,2 atm cm lebih rendah dari udara.

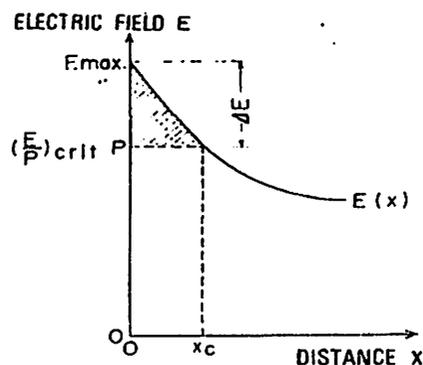


GAMBAR 3.3

BREAKDOWN DALAM MEDAN SERAGAM GAS SF₆ DENGAN UDARA

3.3.2 Breakdown Dalam Medan Tak Seragam

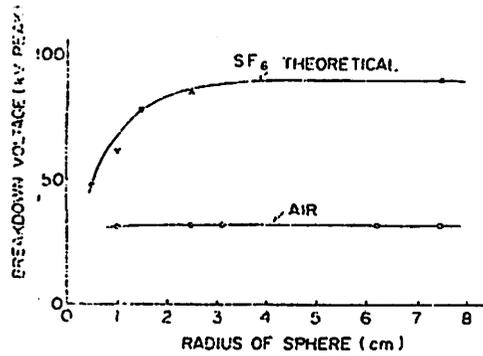
Meskipun streamer dalam gas SF₆ akan berkembang menjadi breakdown, hal ini tidak selalu terjadi dalam gas yang medannya tidak seragam. Untuk medan yang sangat tidak seragam pada tekanan rendah, streamer akan berkembang menjadi korona. Tegangan breakdown menjadi lebih tinggi dari tegangan awal korona disebabkan oleh keseimbangan medan dari korona ini. Dalam hal ini kriteria untuk formasi streamer yang berhubungan dengan permulaan korona dan beberapa kriteria lain diperlukan selama breakdown.



GAMBAR 3.4

DISTRIBUSI MEDAN DI SEKITAR UJUNG ELEKTRODA (EMAKS)

Gambar 3.4 memperlihatkan suatu perbandingan tegangan breakdown pada tekanan 1 atm, jarak sela 1 cm dengan diameter diubah-ubah. Pada gambar 3.4 terlihat bahwa tegangan breakdown untuk udara tidak terlalu dipengaruhi oleh ketidakseragaman medan dan tetap konstan untuk radius di atas jarak elektroda. Sebaliknya kenaikan sedikit saja ketidak seragaman medan akan menurunkan tegangan breakdown SF₆.



GAMBAR 3.5

TEGANGAN BREAKDOWN SEBAGAI FUNGSI JARI-JARI ELEKTRODA

Suatu tegangan peluahan kritis diterapkan untuk memberikan medan tak seragam dalam sela. Besarnya harga K untuk SF₆ bila harga E_{maks}/P sedikit saja melampaui E/P_{kritis} . Oleh karena itu jarak X_c sangat kecil dan hanya disekitar ujung elektroda. Dalam hal ini tegangan breakdown SF₆ ditentukan oleh distribusi medan di sekitar permukaan elektroda dan tegangan breakdown untuk medan tak seragam dapat dihitung secara teori sebagai berikut :

Pada elektroda yang berbentuk silinder koaksial, permukaan elektroda yang memberikan medan maksimum dianggap halus dengan jari-jari r . kuat medan listrik pada titik yang berjarak x cm dari ujung elektroda diberikan oleh persamaan ^[1] :

$$E_{(x)} = \frac{E_{maks} \cdot r}{(r + x)} \tag{3-7}$$

Dengan membuat $E(X_c)/P = (E/P)_{kritis}$ ditentukan oleh persamaan berikut :

$$\left[\frac{E}{P} \right]_{kritis} \cdot P = \frac{E_{maks} \cdot r}{(r + X_c)} \tag{3-8}$$

$$X_c = r \left[\frac{E_{maks}}{\left[\frac{E}{P} \right]_{kritis} \cdot P} - 1 \right] \quad (3-9)$$

Substitusi persamaan 3-7 dan 3-9 ke persamaan 3-3 akan menghasilkan :

$$\ln N = K \left[E_{maks} r \int_0^{X_c} \frac{dx}{r+x} - \left(\frac{E}{P} \right)_{kritis} \cdot P \cdot X_c \right] \quad (3-10)$$

Dengan memasukkan $N = N_{kritis}$, medan listrik maksimum pada saat breakdown (E_{maks}) diberikan oleh :

$$E_{maks} = \left[\frac{E}{P} \right]_{kritis} \cdot P - \frac{\ln N_{kritis}}{K \cdot r \cdot P} \quad (3-11)$$

Dengan menggunakan faktor efisiensi medan f yaitu perbandingan $E_{rata-rata}$ dan medan maksimum E_{maks} dan karena besarnya harga $K \cdot r$ maka tegangan breakdown dapat diperoleh sebagai berikut :

$$V_d = E_{rata-rata} \cdot l = E_{maks} \cdot f \cdot l \quad (3-12)$$

Dengan menggabungkan kedua persamaan diatas diperoleh :

$$V_{d_{TS}} = \left[\frac{E}{P} \right]_{kritis} \cdot f \cdot P \cdot l \quad (3-13)$$

dimana :

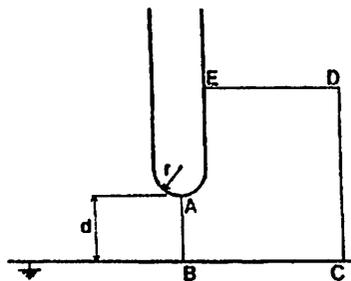
f = efisiensi medan

$\left[\frac{E}{P} \right]_{kritis}$ = medan kritis saat sebelum breakdown

l = jarak elektroda terdekat

3.4 Pengaruh Tekanan Terhadap Tegangan Breakdown Pada Medan Yang Tidak Seragam.

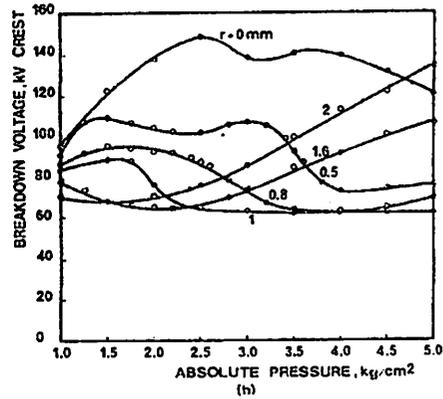
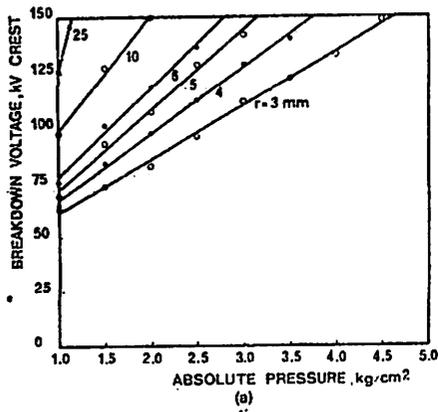
Untuk mendapatkan kejelasan mengenai hal-hal yang mempengaruhi breakdown yang tidak seragam, suatu percobaan dilakukan dengan membuat elektroda batang (anoda) yang ujungnya dibentuk setengah bola dengan jarak tertentu dan katoda yang berbentuk bidang datar seperti pada gambar 3.6



GAMBAR 3.6

BENTUK ELEKTRODA DENGAN UJUNG SETENGAH BOLA DAN KATODA BIDANG DATAR

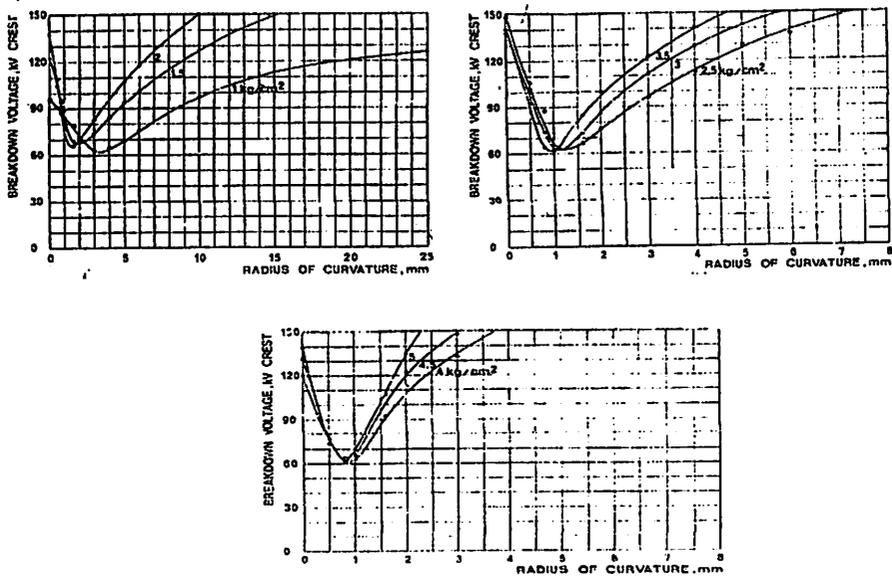
Percobaan dilakukan dengan memberikan tekanan 1 sampai 5 kgf/ cm², yaitu suatu tekanan yang sering digunakan pada peralatan-peralatan listrik yang menggunakan isolasi gas SF₆. hasil percobaan pada bermacam-macam jari kelengkungan elektroda dengan jarak yang sama ditunjukkan pada gambar 3.7 (a), (b) dan 3.8 (a), (b) dan (c).



GAMBAR 3.7 (a) dan (b)

**TEGANGAN BREAKDOWN SEBAGAI FUNGSI TEKANAN
PADA ELEKTRODA BATANG BIDANG 2 CM**

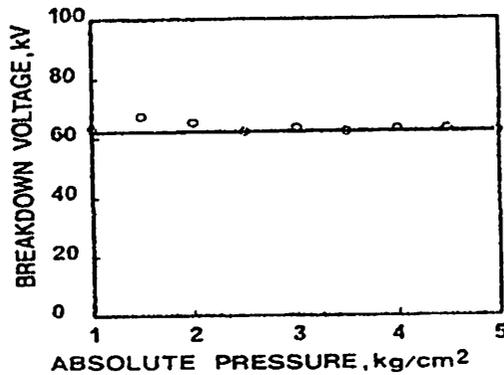
Pada gambar 3.7 (a) dan (b) terlihat bahwa untuk harga $r < 2$ mm dapat diasumsikan akan menghasilkan medan tidak seragam, maka tegangan breakdown akan menurun pada kenaikan tekanan. Jika $r > 2$ mm dan dengan menaikkan tekanan, tegangan breakdown akan naik. Hal ini dikarenakan r diperbesar sehingga ketidakseragaman medan akan berkurang.



GAMBAR 3.8 (a), (b) dan (c)

TEGANGAN BREAKDOWN SEBAGAI FUNGSI JARI-JARI KELENGKUNGAN UJUNG BATANG DENGAN PARAMETER TEKANAN

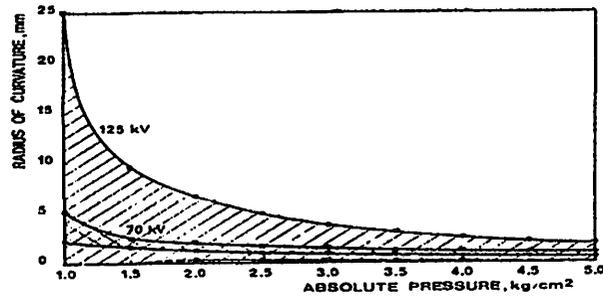
Dari gambar 3.8 tersebut bahwa karakteristik umum pada celah dengan ketidakseragaman yang tinggi adalah adanya kemiringan negatif dari kurva. Semua kurva mempunyai harga tegangan breakdown minimum yang hampir konstan yaitu sebesar 62 kV. Harga tagangan breakdown minimum ini terjadi pada jari-jari ujung elektroda yang besarnya antara 3,5 sampai 0,75 mm. dengan tekanan dinaikkan dari 1 sampai 5 kgf/ cm². gambar 3.9 menunjukkan tegangan breakdown minimum sebagai fungsi tekanan.



GAMBAR 3.9

TEGANGAN BREAKDOWN MINIMUM SEBAGAI FUNGSI TEKANAN

Dari gambar tersebut terlihat adanya suatu tegangan breakdown minimum yang tidak dipengaruhi oleh jari-jari kelengkungan ujung elektroda batang pada tekanan antara 1 sampai 5 kgf/ cm². Jika diinginkan tidak terjadi brekdown pada tegangan 70 kV, maka dari gambar 3.8 akan didapatkan harga jari-jari dari tiap tekanan yang bersesuaian. Dua harga ini merupakan batas atas dan batas bawah dari jari-jari kelengkungan ujung elektroda. Jika titik ini di plot dalam grafik tegangan fungsi tekanan akan didapatkan suatu daerah larangan yang berarti harga dari jari-jari kelengkungan tidak boleh berada pada daerah ini jika diinginkan tidak terjadi breakdown pada tagahan yang bersesuaian. Sebagai contoh untuk tegangan 125 kV akan dihasilkan daerah larangan yang terlihat pada gambar 3.10 berikut ^[2] :



GAMBAR 3.10

**DAERAH LARANGAN UNTUK JARI-JARI KELENGKUNGAN
SEBAGAI FUNGSI TEKANAN PADA ELEKTRODA BIDANG
DENGAN TEGANGAN 70 KV DAN 125 KV**

Dari gambar 3.10 untuk tegangan 70 kV dan 125 kV juga terlihat adanya keuntungan penggunaan tekanan gas antara 2,5 sampai 3,5 kgf/ cm² yaitu pada tekanan ini daerah larangan lebih sempit dari tekanan yang lebih rendah serta tidak akan didapatkan keuntungan bila tekanan dinaikkan. Karena dengan menaikkan tekanan, lebar daerah larangan relatif konstan. Dengan alasan ini maka tekanan gas antara 2,5 sampai 3,5 kgf/ cm² sering digunakan dalam peralatan listrik yang menggunakan gas SF₆ sebagai isolasi, khususnya untuk tegangan < 150 kV.

Tegangan Breakdown dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut ^[2.] :

$$V_d = E_c \cdot d \cdot \eta \quad (3-14)$$

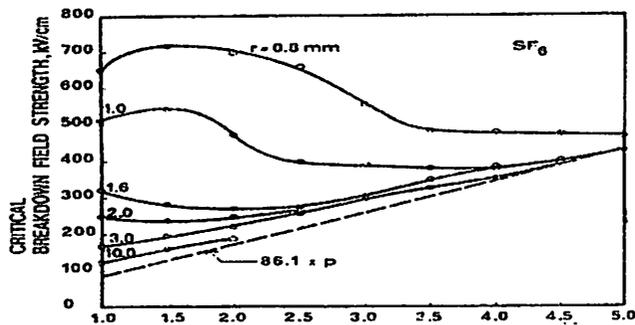
dimana :

d = jarak celah

E_c = harga dari permukaan ujung elektroda yang diperlukan untuk *breakdown*

η = efisiensi medan, yaitu perbandingan medan rata-rata dan medan maksimum.

Variasi harga medan kritis dari susunan elektroda batang diperlihatkan pada gambar 3.11 berikut [2] :



GAMBAR 3.11

KUAT MEDAN KRITIS SEBAGAI FUNGSI TEKANAN

DENGAN PARAMETER KELENGKUNGAN UJUNG ELEKTRODA

Dari gambar 3.11 terlihat bahwa semakin besar jari-jari kelengkungan elektrod, besarnya medan kritis per tekanan yang diterapkan akan mendekati sama dengan medan seragam yaitu sebesar $86,1 \text{ kV cm}^{-1}\text{kgf}^1\text{cm}^2$ yang ditunjukkan oleh garis putus-putus. Tetapi pada tekanan tinggi (5 kgf/ cm^2), harga tidak terpegaruh oleh kelengkungan jari-jari kelengkungan elektroda.

3.5 Pengaruh Kekasaran Permukaan Elektroda Terhadap Medan Kritis

Permukaan elektroda yang kasar akan menimbulkan pengurangan yang besar pada harga ambang breakdown pada peralatan yang menggunakan isolasi gas SF_6 . pengaruh ini dapat ditulis dengan menggunakan teori breakdown streamer pada

daerah medan yang berhubungan dengan kekasaran permukaan elektroda. Hubungan kuantitatif diturunkan dalam bentuk ambang medan breakdown dan perkalian antara tekanan gas yang diterapkan dan kekasaran permukaan elektroda.

Penentuan tekanan gas SF₆ untuk digunakan dalam peralatan yang menggunakan gas SF₆ sebagai isolasi tergantung dari beberapa faktor, salah satunya adalah kekasaran dari permukaan elektroda. Permukaan elektroda yang kasar menyebabkan adanya daerah medan mikroskopis dengan kuat medan yang lebih besar dari kuat medan mikroskopis rata-rata didaerah dekat elektroda. Pada bab ini akan dijelaskan tentang fenomena ini dengan menggunakan teori streamer untuk breakdown. Selanjutnya diturunkan hubungan kuantitatif antara kuat medan ambang breakdown dan perkalian antara tekanan dan kekasaran permukaan maksimum.

Kegagalan dalam gas SF₆ pada tekanan dan geometri medan yang sering dijumpai pada sistem isolasi SF₆ dapat dijelaskan dengan menggunakan teori streamer untuk breakdown. Mekanisme streamer menjelaskan pengembangan pelepasan percikan langsung dari banjiran tunggal dimana muatan ruang yang terjadi karena banjiran itu sendiri mengubah banjiran tersebut menjadi streamer plasma, dan kegagalan terjadi dalam alur banjiran itu. Ambang breakdown ditentukan oleh kriteria breakdown streamer :

$$\int_0^{z_0} \alpha(z).dz = k \quad (3-15)$$

dimana :

α = koefisien ionisasi

η = koefisien penangkapan

z = jarak dari permukaan elektroda tegangan tinggi

Z_0 = panjang aliran kritis, yaitu panjang aliran pada saat formasi streamer

k = konstanta, untuk SF₆ besarnya k adalah 10,5

koefisien ionisasi untuk SF₆ diberikan oleh :

$$\alpha(E.p) = \beta E - kp \quad (3-16)$$

dimana :

$$\beta = 27,8/kV$$

$$k = 1422/kgf\ cm^2.cm$$

E = kuat medan listrik dalam kV/cm

P = tekanan gas dalam kgf/ cm²

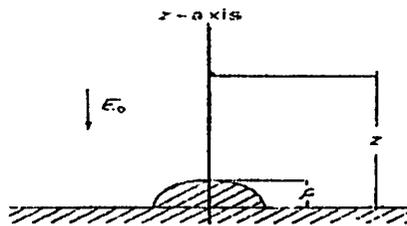
Dalam medan yang sangat homogen, jarak jejak banjir kritis Z_0 adalah sama dengan jarak sela. Sedangkan Z_0 akan berkurang pada medan yang tidak homogen. Besarnya pengaruh kekasaran permukaan terhadap breakdown khususnya dalam gas SF₆ bertekanan dan gas lain yang bersifat elektronegatif, Z_0 tergantung bukan hanya pada geometri medan tetapi tergantung pada sifat fisik gas.

Jumlah elektron bebas yang dapat membentuk formasi streamer akan terjadi mula-mula pada daerah yang jaraknya kurang dari Z_0 dari elektroda tegangan tinggi. Di luar daerah ini harga koefisien efektif α akan berharga negatif yaitu semua elektron bebas akan ditangkap menjadi dalam bentuk negatif. Dalam daerah ini kuat medan listrik di bawah harga batas ($\alpha = 0$). Harga batas untuk SF₆ diberikan oleh :

$$\left[\frac{E}{p} \right]_{kritis} = \frac{k}{\beta} = 88,4 \text{ kV/cm.bar} \quad (3-17)$$

$$= 86,09 \text{ kV/cm kgf cm}^{-2}$$

Perhitungan kuantitas yang teliti dari fenomena ini sangat sulit karena kompleksnya struktur geometri dari permukaan elektroda. Tetapi suatu cara pendekatan dapat digunakan untuk analisa yaitu dengan membuat model sederhana dari kekasaran permukaan, yaitu suatu tonjolan berbentuk setengah bola dengan radius ρ yang terletak pada permukaan elektroda yang halus seperti gambar 3.12 :

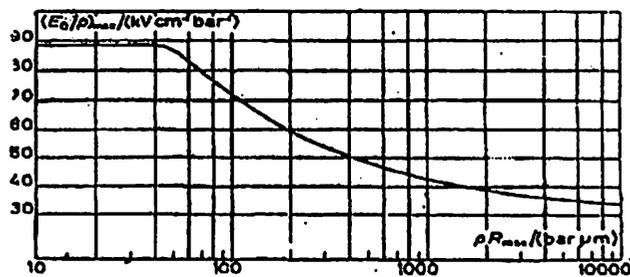


GAMBAR 3.12

BENTUK KEKASARAN PERMUKAAN ELEKTRODA

Bentuk tonjolan yang dipilih untuk menggambarkan model kekasaran permukaan dapat berbeda, misalnya bentuknya elips. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh A. Pedersen (1975) dan S. Berger (1976), pilihan ini tidak akan mempengaruhi pada kesimpulan. Untuk permukaan elektroda yang halus sempurna, harga ambang breakdown E_0/p akan mendekati sama dengan $(E/p)_{kritis}$ yaitu sebesar $86,09 \text{ kV/cm kgf cm}^2$. tetapi karena kekasaran permukaan elektroda, harga ambang breakdown E_0/p akan berkurang dari harga tersebut.

Derajat kekasaran permukaan sering diberikan sebagai jarak rata-rata tinggi puncak tonjolan terhadap permukaan halus elektroda, ini dinamakan sebagai harga kekasaran rata-rata R_{ai} . Parameter kekasaran permukaan yang lain ialah kekasaran permukaan maksimum R_{maks} , yang digambarkan dalam gambar 3.14 identik dengan ρ . Grafik medan kritis per tekanan gas sebagai fungsi perkalian tekanan dan kekasaran permukaan elektroda dapat dilihat pada gambar 3.13.



GAMBAR 3.13

HUBUNGAN KUAT AMBANG BREAKDOWN DENGAN KEKASARAN PERMUKAAN ELEKTRODA

Dalam gambar 3.13 terlihat bahwa medan ambang breakdown tidak akan dipengaruhi oleh kekasaran permukaan elektroda jika :

$$PR_{maks} < 40 \text{ bar } \mu\text{m}$$

Untuk peralatan yang menggunakan SF_6 sebagai isolasi, besarnya kekasaran permukaan elektroda dibatasi pada harga 150 μm .

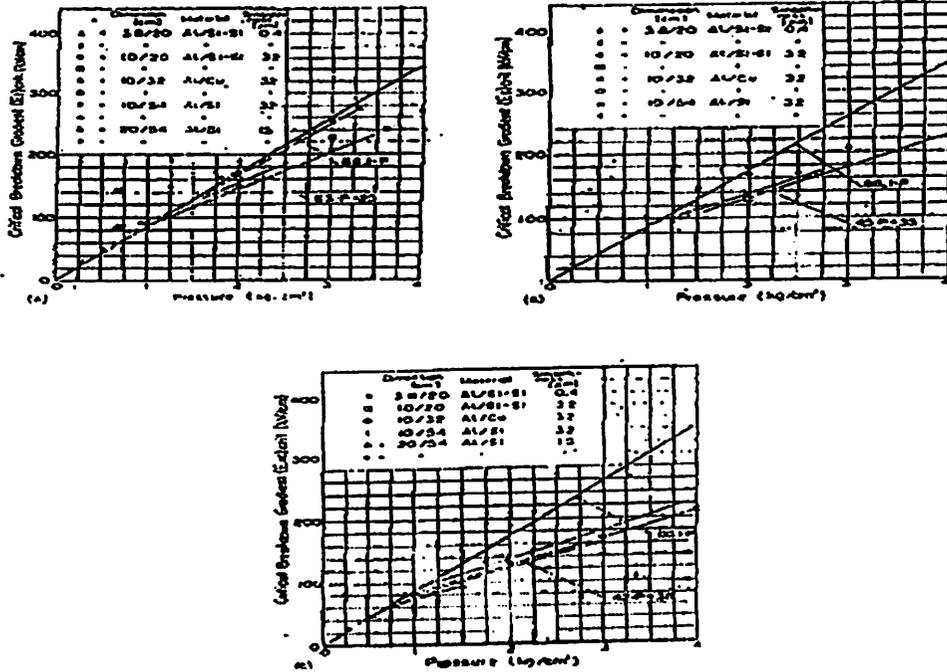
3.6 Pengaruh Polaritas Terhadap Medan Kritis Pada SF₆

Pada medan sangat tidak homogen, misal pada susunan elektroda jarum pelat. Di depan elektroda tajam terjadi ionisasi tumbukan di udara setelah tegangan insepasi terlewati. Elektron-elektron akan secara cepat meninggalkan daerah ionisasi karena mobilitasnya yang tinggi, sedangkan ion-ion yang bergerak lambat akan membentuk muatan ruang positif di depan elektroda tajam sehingga distribusi potensialnya berubah, dengan demikian maka tergantung dari jarak sela. Tegangan tembus elektrik pada elektroda jarum positif akan lebih rendah dibandingkan dengan jarum negatif.

Pada jarum negatif, elektron-elektron bergerak menuju elektroda pelat. Ion-ion positif yang tertinggal akan menyebabkan kenaikan kuat medan listrik sangat tinggi tepat pada ujung jarum sedangkan daerah ruang medan lainnya hanya memiliki beda potensial yang kecil. Dengan demikian pengembangan peluahan muatan ke arah elektroda pelat akan terhambat.

Pada jarum positif, elektron-elektron bergerak menuju elektroda pelat. Ion-ion positif yang tertinggal memperkecil besar kuat medan listrik di ujung jarum. Dengan demikian maka kuat medan listrik ke arah elektroda pelat akan meninggi sehingga memudahkan pengembangan kanal peluahan muatan.

Pengaruh bentuk gelombang dan polaritas telah diteliti oleh Y. Kawaguchi, K. Sakata dan S. Menju dengan memakai berbagai ukuran konduktor dan dengan kekasaran permukaan dibatasi sampai dengan 32 μm , harga kuat medan listrik kritis pada elektroda silinder koaksial untuk gelombang tegangan surja petir, surja hubung dan frekwensi daya diperlihatkan pada gambar 3.14 (a), (b) dan (c).



GAMBAR 3.14 (a), (b) dan (c)

MEDAN KRITIS BREAKDOWN SEBAGAI FUNGSI TEKANAN

Pada gambar 3.14 (a), (b) dan (c) terlihat bahwa breakdown impuls positif naik secara linier hampir berimpit dengan harga yang diperoleh Graballe dan Reeves. Sedangkan untuk impuls negatif, kemiringan garis karakteristik lebih landai untuk tekanan di atas 1 kg/cm^2 . Untuk gelombang surja hubung dan tegangan AC terlihat lebih landai dari surja petir.

Karena pengaruh polaritas ini, maka untuk elektroda koaksial besarnya medan kritis adalah ^[9] :

Impuls negatif ($1,1/40 \mu\text{s}$), $1 \leq p \leq 4 \text{ kg/cm}^2$

$$[E_{\text{imp}}]_{\text{kritis}} = 63p + 30 \text{ kV/cm}^{-1} \quad (3-18)$$

Surja hubung negatif, $1 \leq p \leq 4 \text{ kg/cm}^2$

$$[E_{sh}]_{kritis} = 45 p + 35 \text{ kV/cm}^{-1} \quad (3-19)$$

Tegangan AC, $1 \leq p \leq 4 \text{ kgf cm}^{-2}$

$$[E_{AC}]_{kritis} = 42 p + 38 \text{ kV/cm}^{-1} \quad (3-20)$$

Dimana p adalah tekanan gas SF_6 dalam kgf cm^{-2} .

3.7 Busur Api/ Arcing Pada SF_6

Dalam pengembangan gas SF_6 sebagai media isolasi diperlukan juga pengetesan arcing atau pembusuran. Busur api dalam peralatan yang menggunakan isolasi gas dapat mengakibatkan kerusakan/ kegagalan isolasi. Beberapa eksperimen telah dilakukan untuk mempelajari fenomena busur api dalam SF_6 , diantaranya dengan menggunakan tegangan 22 kV dalam tabung koaksial yang didalamnya diisi gas SF_6 bertekanan. Hasil dalam eksperimen ini sangat penting untuk mendisain PMT.

Penelitian tentang busur api (arcing) sebelumnya dilakukan oleh :

- a. Guile et.al yang menyajikan "*comprehensive review arcing*" arus tinggi dalam medan magnet transversal dalam udara bertekanan.
- b. Adam, menyajikan perputaran busur api dalam udara bertekanan dengan ukuran tertentu.
- c. Meyer dengan analisis aliran untuk memprediksi gerakan busur api pada batang elektroda dengan menyeimbangkan gaya magnet dan resistansi fluida dinamis. Akan tetapi pengaruh dinamika busur api dan interaksinya dengan elektroda belum dapat dimengerti.

- d. Fukuda, dalam makalahnya yaitu tes hubung singkat pada kabel EHV dengan isolasi SF₆ didapatkan lengkung busur api di dalam tekanan yang tinggi, yang kemudian Strasser et.al dalam risetnya mempelajari kerusakan yang disebabkan busur api pada saat terjadi bunga api listrik dan naiknya tekanan.
- e. Eksperimen terakhir dilakukan oleh Harvey et.al yang menguji karakteristik busur api SF₆ pada elektroda bola.

3.7.1 Model Test

Dalam pengujian ini digunakan 2 macam gas sebagai perbandingan diantara udara dan SF₆. Dimensi tabung koaksial dan pengujian busur api dijelaskan dalam tabel 3.1 dan 3.2 berikut ini ^[3] :

TABEL 3.1
DIMENSI FISIK TABUNG KOAKSIAL

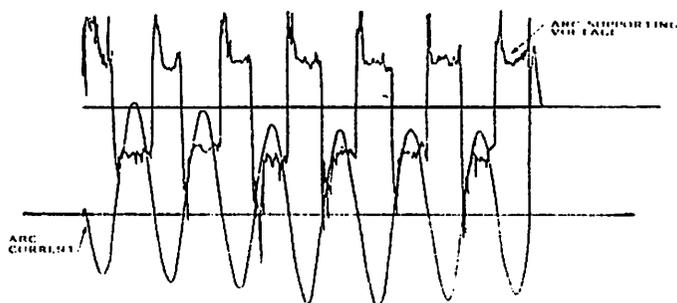
<i>Sheath</i>		
ID (cm)	16.2	20.5
Wall Thickness (cm)	0.32	0.82
Length (m)	3	3
	6	
<i>Conductor</i>		
OD (cm)	4.8	7.3
Wall Thickness (cm)	0.32	0.64
Length (m)	3.3	3.3
	7	
Elektrode Spacing (cm)	5.7	6.6
Material	Alumunium	Alumunium

TABEL 3.2

DATA PENGUJIAN BUSUR API PADA SF₆

Summary Of SF ₆ Arcing Test				
Arc Current (kA)	Arc Voltage (volt)	Duration (Cycles)	SF ₆ Pressure (kpa)	Measure Distance (cm)
2.7	168	3.5	240	19
2.6	183	9.0	240	46
5.5	183	2.4	240	30
6.0	188	7.5	240	81
5.7	187	6.2	345	46
11.6	214	9.2	345	163
9.3	210	4.5	345	61
9.3	210	4.0	345	69
5.9	223	6.2	450	51
6.0	214	9.2	450	74
10.0	233	9.0	510	127

Dengan memberikan tegangan dan arus uji pada konduktor dalam tabung uji didapatkan beberapa hasil sebagai berikut :

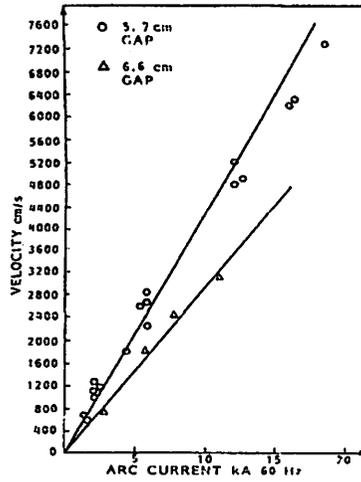


GAMBAR 3.15

**PEMBACAAN OSCILLOGRAPH BUSUR API
YANG DITIMBULKAN ARUS DAN TEGANGAN**

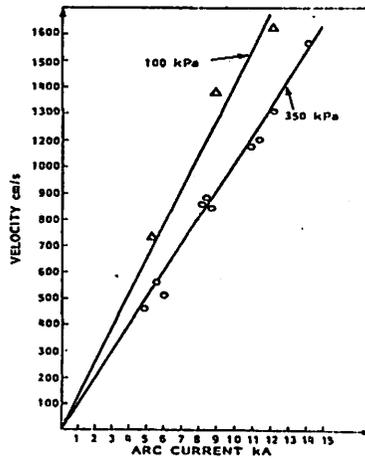
Sedangkan kecepatan busur api pada udara dan SF₆ dapat dilihat pada gambar

3.16 dan 3.17 di bawah ini :



GAMBAR 3.16

KECEPATAN BUSUR API PADA UDARA



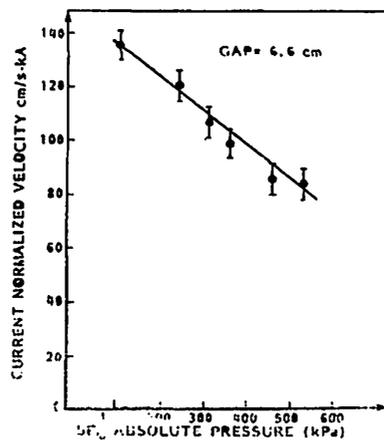
GAMBAR 3.17

KECEPATAN BUSUR API PADA GAS SF₆

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan F. Y. Chu dan teamnya, didapatkan hasil kecepatan busur api dalam udara dan gas SF₆. kecepatan arus normalisasi pada udara adalah 300 cm/ s.kA dan SF₆ yaitu 135 cm/ s.kA pada tekanan atmosfer dan celah elektroda sebesar 6,6 cm.

3.7.2 Pengaruh Tekanan Terhadap Busur Api

Pengaruh tekanan terhadap busur api telah diuji dalam rating tekanan 100 kPa sampai dengan 510 kPa. Pengujian ini menunjukkan adanya hubungan terbalik antara kecepatan aksial busur api dengan tekanan gas seperti pada gambar 3.18 dan 3.19 di atas. Kecepatan arus normalisasi turun dalam rating 0,2 cm/ s kA kPa sehingga dengan menaikkan tekanan dari tekanan atmosfer sampai dengan 500 kPa maka kecepatan busur api turun dengan faktor penurunan = 2^[3].



GAMBAR 3.18

ARUS NORMALISASI SEBAGAI FUNGSI TEKANAN

Untuk celah dan tekanan yang konstan, kecepatan busur api akan linier dengan arus sehingga akan sesuai dengan hasil pengujian oleh Guile, dengan $k = 4,6$.

Pendekatan teori untuk mengetahui kecepatan busur api yaitu ^[3] :

$$U = k.I^{0,4} .B^{0,6} .d^{-0,4} .\rho a^{-0,5} \quad (3-21)$$

dimana :

U = kecepatan busur api

k = tetapan gas SF₆

I = arus busur api

B = rapat fluks magnetik

P_a = perbandingan rapat gas dengan udara pada tekanan 1 kgf/ cm²

Apabila rapat fluks magnetik dapat didekati dengan :

$$B \approx \frac{\mu_0 I}{4\pi d} \quad (3-22)$$

Maka dengan memasukkan persamaan (3-34) ke persamaan (3-33) didapatkan kecepatan arus normalisasi ^[3] :

$$\frac{U}{I} = 6,3 \times 10^{-5} \frac{k.I}{d\sqrt{p}} \quad (3-23)$$

Sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel di bawah ini ^[3] :

TABEL 3.3**PERBANDINGAN KECEPATAN BUSUR API (U) DAN ARUS (I):**

	Spacing cm	Pressure kPa	Calculated U/I Cm/s.kA	Measure U/I Cm/s.kA
SF ₆	6.6	100	200	136
SF ₆	6.6	250	126	120
SF ₆	6.6	350	107	100
SF ₆	6.6	450	94	85
SF ₆	6.6	510	88	84
Air	6.6	100	440	305
Air	5.7	100	527	440
$\frac{(U/I)_{air}}{(U/I)_{SF_6}}$	6.7	100	2.2*	2.2

3.8 Data Gangguan di GIS Bangil

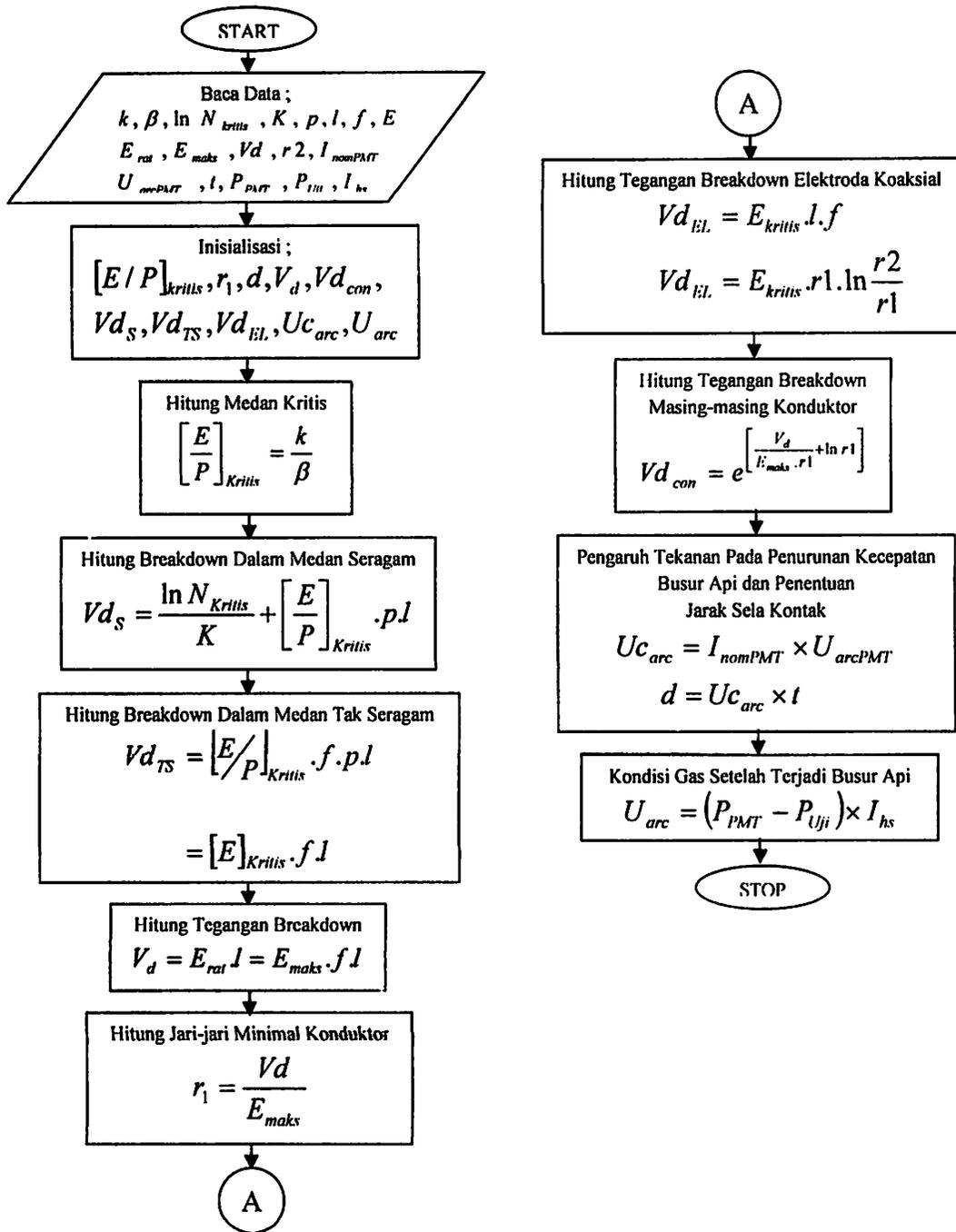
Pada GIS Bangil, data gangguan dibagi menjadi 3 bagian menurut tegangan PMT yang digunakan yaitu data gangguan pada PMT 20 kV, 70 kV dan 150 kV. Untuk data gangguan pada penghantar 20 kV, 70 kV dan 150 kV selengkapnya dapat dilihat pada lampiran. Sedangkan data gangguan pada penghantar 150 kV di GIS Bangil diberikan pada tabel berikut :

TABEL 3.4

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL

BULAN	PMT YANG TRIP	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN
FEBRUARI	PMT T/L G.Wetan 1-2 PMT T/L Bumicokro 1-2	Ry : K401 (Lock Out Relay) Ind : - Ry : K401 (Lock Out Relay) Ind : Dead Line Detect Faliure	Analisa Gangguan : PMT Trip oleh Sistem Breaker Faliure dan Bus Bar Prot (Bus B). Akibat Gangguan : Terjadi pemadaman konsumen pada Gardu Induk : GI Bumicokro Black Out Beban = 30,2 MW selama 9 menit GI Blimbing Trafo 3 Beban = 3,6 MW selama 8 menit GI Pandaan Black Out Beban = 16,8 MW selama 8 menit GI Sukorejo Black Out Beban = 10,2 MW selama 8 menit Langkah Penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan di system protection dan kontrol
MARET	PMT T/L Buduran PMT T/L Lawang	Ry : Distance Relay 44 ph R Anunciator Faulth ph R, Ground Faulth Ind : MPO, Dead Line Protection Faliure, 79 Ry : Distance Relay 44 ph RS Anunciator Faulth ph RS, Ind : MPO, Dead Line Protection Faliure, 79	Analisa Gangguan : Gangguan Fasa-Ground, cuaca mendung Langkah Penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW (SUTT Wilayah UPT Surabaya) Analisa Gangguan : Gangguan Fasa-Ground, cuaca hujan dan petir Langkah Penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
APRIL	PMT T/L Lawang PMT T/L G.Wetan 1-2	Ry : Distance Relay 44 ph T Ind : MPO,79,Fault ph T Ground Faulth Ry : RTN Ind : Dead Line Detect Faliure	Analisa Gangguan : Gangguan Fasa-Ground, cuaca mendung Langkah Penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW Analisa Gangguan : Bus Bar B 150 kV GIS Bangil hilang tegangan akibat gangguan di GI Probolinggo-Kraksan 1-2 Trip (UPT Probolinggo) GI Bangil Trafo 3 = 6 MW selama 13 menit GI Sukorejo Trafo 1 = 10 MW selama 6 menit GI Pandaan Trafo 1,2,3 = 37 MW selama 5 menit GI Bumicokro Trafo 1,2 = 39 MW selama 2 menit GI Blimbing Trafo 3 = 7,1 MW selama 6 menit Langkah Penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB

3.9 Flow Chart Perhitungan



BAB IV

ANALISA PERHITUNGAN

4.1 Analisis Jari-jari Konduktor dalam Silinder Koaksial

Berdasarkan persamaan (3-18), (3-19) dan (3-20) besarnya medan kritis untuk tegangan impuls, surja hubung dan tegangan AC pada elektroda koaksial adalah :

$$[E_{imp}]_{kritis} = 63 p + 30 \quad \text{kV/ cm}$$

$$[E_{sh}]_{kritis} = 45 p + 35 \quad \text{kV/ cm}$$

$$[E_{AC}]_{kritis} = 42 p + 38 \quad \text{kV/ cm}$$

Dari hasil survey didapatkan tekanan (p) dalam isolasi = 4 kgf/ cm² sehingga :

$$\begin{aligned} [E_{imp}]_{kritis} &= 63.4 + 30 \\ &= 282 \text{ kV/ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [E_{sh}]_{kritis} &= 45.4 + 35 \\ &= 215 \text{ kV/ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [E_{AC}]_{kritis} &= 42.4 + 38 \\ &= 206 \text{ kV/ cm} \end{aligned}$$

Untuk peralatan klas 170 kV di dapatkan ketentuan sebagai berikut ^[1] :

BIL : 900 kV

$$V_{dsh} = 0.83 \times 900 = 747 \text{ kV}$$

$$V_{dAC} = 395 \text{ kV}$$

Sedangkan r_1 yang memberikan tegangan breakdown maksimum adalah :

$$\frac{dV_d}{dr} = 0 \quad (4-1)$$

Apabila dimasukkan pada persamaan (2-15) didapatkan :

$$E_{\max} \ln r_2 - (E_{\max} + E_{\max} \ln r_1) = 0 \quad (4-2)$$

dan $\ln \frac{r_2}{r_1} = 1$ sehingga $r_2 = e r_1$

Sehingga dari persamaan (2-15) untuk r_1 yang memberikan tegangan breakdown adalah :

$$r_1 = \frac{V_d}{E_{maks}} \quad (4-3)$$

Sehingga :

$$r_{1imp} = \frac{V_{dim p}}{E_{imp}} = \frac{900}{282} = 3,191 \text{ cm}$$

$$r_{1sh} = \frac{V_{dsh}}{E_{sh}} = \frac{747}{215} = 3,474 \text{ cm}$$

$$r_{1AC} = \frac{V_{dAC}}{E_{AC}} = \frac{395}{206} = 1,917 \text{ cm}$$

Selanjutnya perlu diperiksa apakah jari-jari konduktor di atas sesuai dan dapat digunakan untuk tegangan nominal dan daya trafo. Berdasarkan data PMT di GIS Bangil didapatkan :

$$V_{\text{line}} = 150 \text{ kV}$$

$$S_{\text{trafo}} = 50 \text{ MVA}$$

$$I_{\text{nom}} = \frac{S}{\sqrt{3}xV_1} \quad (4-4)$$

$$I_{\text{nom}} = \frac{50.10^6}{\sqrt{3}x150.10^3}$$

$$I_{\text{nom}} = 192,45 \text{ A}$$

Jika diketahui [7] :

1. Kemampuan hantar alumunium = 3,52 A mm²

2. Kemampuan hantar tembaga = 4,7 A mm²

Maka :

1. Jari-jari konduktor minimal apabila menggunakan bahan alumunium adalah :

$$r_1^2 = \frac{192,45}{3,52.\pi} = 17,4$$

$$r_1 = 4,17 \text{ mm}$$

2. Jari-jari konduktor minimal apabila menggunakan bahan tembaga adalah :

$$r_1^2 = \frac{192,45}{4,7.\pi} = 13,03$$

$$r_1 = 3,61 \text{ mm}$$

Terlihat bahwa hasilnya masih lebih kecil dari hasil perhitungan berdasarkan medan listriknya, sehingga dua jenis konduktor ini dapat digunakan.

Untuk r_2 dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$r_2 = e^{\left[\frac{Vd}{E_{maks} \cdot r_1} + \ln r_1 \right]} \quad (4-5)$$

Untuk masing-masing nilai r_{2imp} diperoleh sebagai berikut :

$$r_{2imp} = e^{\left[\frac{Vd_{imp}}{E_{imp} \cdot r_1} + \ln r_1 \right]}$$

$$r_{2imp} = e^{\left[\frac{900}{282 \times 3,191} + \ln 3,191 \right]}$$

$$r_{2imp} = 8,671 \text{ kV}$$

Sedangkan untuk masing-masing nilai r_{2sh} diperoleh sebagai berikut :

$$r_{2sh} = e^{\left[\frac{Vd_{sh}}{E_{sh} \cdot r_1} + \ln r_1 \right]}$$

$$r_{2sh} = e^{\left[\frac{747}{215 \times 3,474} + \ln 3,474 \right]}$$

$$r_{2sh} = 9,44 \text{ kV}$$

Dan untuk masing-masing nilai r_{2AC} diperoleh sebagai berikut :

$$r_{2AC} = e^{\left[\frac{Vd_{AC}}{E_{AC} \cdot r_1} + \ln r_1 \right]}$$

$$r_{2AC} = e^{\left[\frac{395}{206 \times 1,917} + \ln 1,917 \right]}$$

$$r_{2AC} = 5,228 \text{ kV}$$

Untuk luas penampang dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$A = (\pi \cdot r_2^2) - (\pi \cdot r_1^2) \quad (4-6)$$

Untuk masing-masing nilai A_{imp} adalah sebagai berikut :

$$A_{imp} = (3,14 \times 8,671^2) - (3,14 \times 3,191^2)$$

$$A_{imp} = 236,085 - 31,973$$

$$A_{imp} = 204,112 \text{ cm}^2$$

Sedangkan masing-masing nilai A_{sh} adalah sebagai berikut :

$$A_{imp} = (3,14 \times 9,44^2) - (3,14 \times 3,474^2)$$

$$A_{imp} = 279,817 - 37,896$$

$$A_{imp} = 241,921 \text{ cm}^2$$

Dan untuk masing-masing nilai A_{AC} adalah sebagai berikut :

$$A_{imp} = (3,14 \times 5,228^2) - (3,14 \times 1,9171^2)$$

$$A_{imp} = 85,822 - 11,539$$

$$A_{imp} = 74,283 \text{ cm}^2$$

Dari persamaan (3-13) untuk tegangan breakdown elektroda koaksial adalah :

$$V_d = E_{kritis} \cdot f \cdot l$$

$$V_d = E_{kritis} \cdot r_1 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (4-7)$$

Sehingga tegangan breakdown impuls untuk jari konduktor di atas adalah :

$$V_{dim,p} = 282,3,191 \cdot \ln \frac{8,671}{3,191}$$

$$V_{dim,p} = 899,437 \text{ kV}$$

Tegangan breakdown surja hubung untuk jari konduktor di atas adalah :

$$V_{dsh} = 215.3,474 \cdot \ln \frac{9,44}{3,474}$$

$$V_{dsh} = 746,557 \text{ kV}$$

Dan tegangan breakdown AC untuk jari konduktor di atas adalah :

$$V_{dAC} = 206.1,917 \cdot \ln \frac{5,228}{1,917}$$

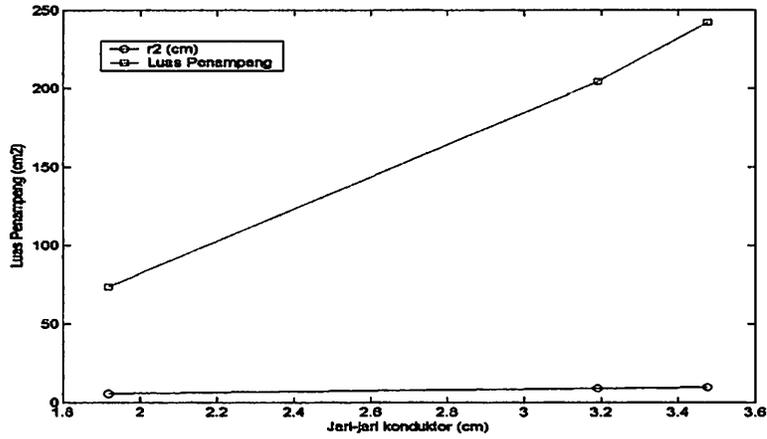
$$V_{dAC} = 396,167 \text{ kV}$$

TABEL 4.1

**JARI-JARI KONDUKTOR, LUAS PENAMPANG ISOLASI DAN
TEGANGAN BREAKDOWN**

r_1 (cm)	r_2 (cm)	Luas Penampang Isolasi (cm ²)	Tegangan Breakdown (kV)
3,191	8,671	204,112	899,437
3,474	9,44	241,921	746,557
1,917	5,228	74,283	396,167

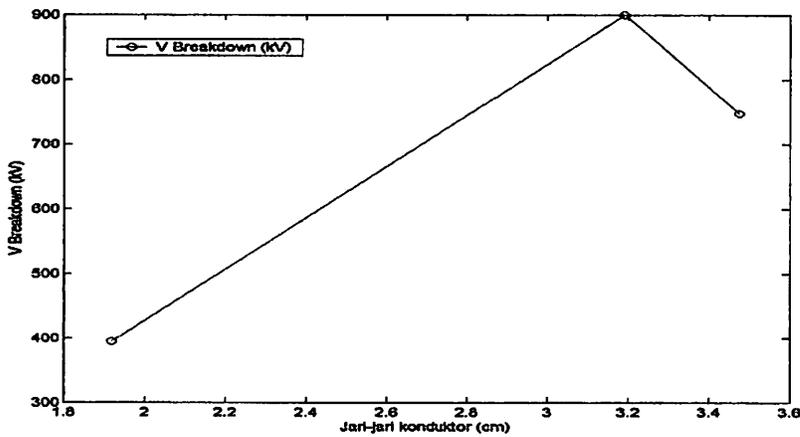
Sehingga hubungan antara jari-jari konduktor dalam, selubung koaksial, luas penampang isolasi dan tegangan breakdown dapat digambarkan dalam grafik sebagai berikut :



GRAFIK 4.1

JARI-JARI SELUBUNG KOAKSIAL (r_2) DAN LUAS PENAMPANG ISOLASI SEBAGAI FUNGSI JARI-JARI KONDUKTOR DALAM (r_1)

Sedangkan hubungan tegangan breakdown dan jari-jari konduktor dalam (r_1) diberikan pada gambar grafik berikut :



GRAFIK 4.2

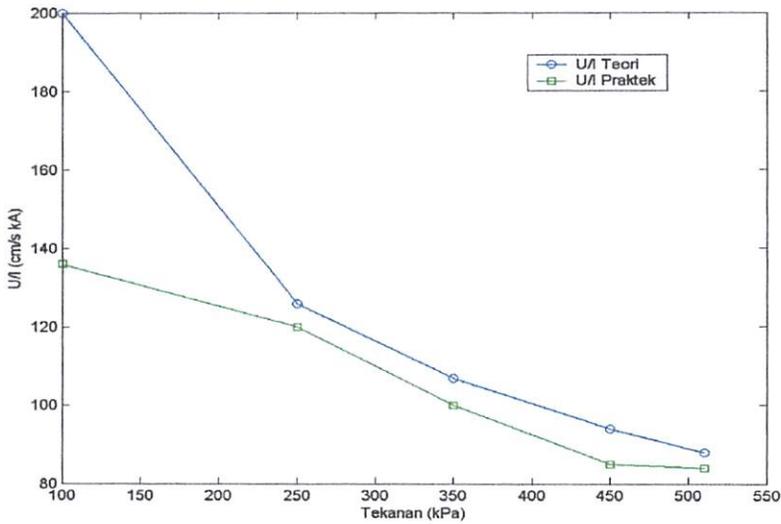
TEGANGAN BREAKDOWN SEBAGAI FUNGSI (r_1)

Berdasarkan kurva di atas terlihat bahwa jari-jari konduktor dalam yang memberikan nilai tegangan breakdown tertinggi adalah 3,191 cm dengan $V_d = 899,437$ kV. Berdasarkan hasil perhitungan di atas pula, jari-jari konduktor yang memberikan penggunaan gas yang paling minimal yaitu 1,917 cm dengan luas penampang isolasi $5,228 \text{ cm}^2$ sehingga dari segi ekonomis hal ini sangat menguntungkan.

Apabila yang dikehendaki penggunaan gas SF_6 yang paling minimum, maka jari-jari konduktor yang dipilih adalah 1,917 cm. Akan tetapi perlu juga dipertimbangkan tegangan tembus maksimum yaitu 396,167 kV apabila menggunakan jari-jari konduktor 1,917 cm. Untuk daerah yang jumlah gangguan surja hubung maupun surja petir yang sangat kecil kemungkinannya, maka nilai jari-jari ini dapat dipilih. Sedangkan pada daerah yang sangat tinggi gangguannya, maka penggunaan jari-jari ini tidak memberikan keuntungan.

4.2 Analisis Pengaruh Tekanan Pada Penurunan Kecepatan Busur Api dan Penentuan Jarak Sela Kontak

Berdasarkan tabel 3.3 digambarkan kurva hasil perhitungan dan eksperimen yang dilakukan F. Y. Chu di bawah ini :



GRAFIK 4.3

HUBUNGAN ANTARA TEKANAN DAN KECEPATAN BUSUR API

Terlihat baik secara teori maupun pengujian dengan semakin bertambahnya tekanan gas, maka kecepatan busur api akan semakin kecil. Hasil sangat menguntungkan karena disain PMT sangat tergantung dari hasil ini. Apabila dibandingkan dengan udara, jelas gas SF₆ jauh lebih baik dalam meredam busur api, dengan 2-3 kali lebih baik dari pada udara. Hal ini telah dijelaskan pada bab III di depan, pada bagian sifat dan karakteristik gas SF₆.

Selanjutnya hasil ini akan diterapkan untuk menganalisis PMT di GIS Bangil sebagai berikut :

Data dari PMT dapatkan :

- (a) Ketahanan terhadap tegangan impuls = 750 kV
- (b) Arus hubung singkat = 31,5 kA

- (c) Tekanan = 6 kgf/ cm²
= 587,54 kPa
- (d) Ketahanan terhadap tegangan frekwensi daya = 325 kV

Jika diketahui arus pemutusan maksimum pada adalah :

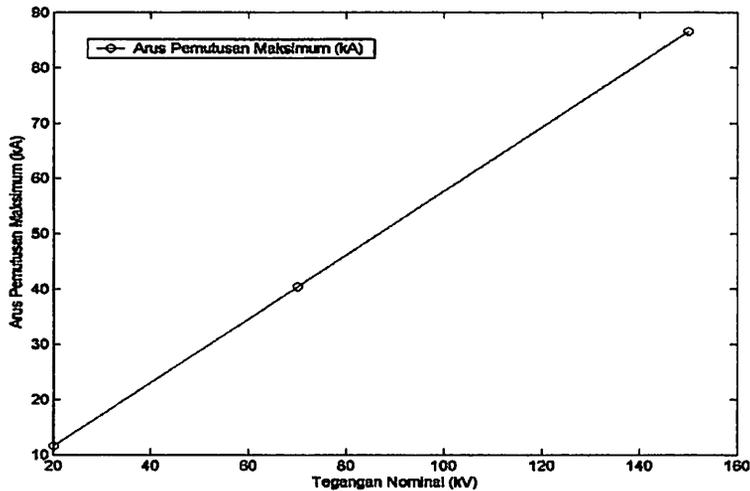
$$I_{maks} = \frac{V_{nomi}}{\sqrt{3}}$$

Pada tegangan yang lebih tinggi maka arus pemutusan akan linier dengan tegangan nominalnya pada tekanan yang sama. Formula ini dapat dijadikan acuan untuk mendapatkan arus pemutusan pada tegangan yang lain, mengingat sifat gas SF₆ yang inert/ lembam. Sehingga berdasarkan perhitungan di atas didapatkan arus pemutusan maksimum seperti pada tabel 4.2 di bawah ini :

TABEL 4.2
PERHITUNGAN ARUS PEMUTUSAN MAKSIMUM BERDASARKAN
TEGANGAN NOMINALNYA

Tegangan Nominal (kV)	Arus Pemutusan Maksimum (kA)
20	11,5
70	40,4
150	86,6

dan berdasarkan tabel di atas dapat digambarkan kurva sebagai berikut :



GRAFIK 4.4

ARUS PEMUTUSAN MAKSIMUM SEBAGAI FUNGSI V_{nom}

Dari gambar grafik 4.4 di atas terlihat adanya hubungan linier bahwa kenaikan arus pemutusan masih lebih kecil daripada tegangan. Hal ini dikarenakan kemampuan gas SF₆ dapat merespon dengan cepat perubahan setiap kondisi. Sebagai isolasi yang baik untuk memadamkan busur api, gas SF₆ hanya membutuhkan waktu dalam orde mikro detik untuk menjadikan molekul-molekulnya merapat sehingga tidak memberi kesempatan elektron bebas berkeliaran dan membentuk *avalanche-avalanche*, dengan kata lain gas SF₆ stabil dalam kondisi busur api/ *arching*. Bahkan untuk arus pemutusan di atas 25 kA gas SF₆ masih sanggup untuk meredam kenaikan tegangan sekitar 300 V/ μ s hanya dengan menaikkan tekanan sekitar 4 kgf/ cm² sampai 6 kgf/ cm².

Sedangkan untuk mengetahui kecepatan busur api pada gas SF₆ bertekanan diberikan sebagai berikut :

Berdasarkan data pada tabel 3.3 kecepatan busur api pada tekanan 510 kPa secara teoritis = 88 cm/ s kA. Sedangkan pada penurunan kecepatan busur api adalah $0,2 U_{arc}/ \text{kA.kPa} = 0,2 \times 0,01 U_{arc}/\text{kA.kgf.cm}^{-2} = 0,002 U_{arc}/ \text{kA.kgf.cm}^{-2}$ dengan U_{arc} = kecepatan arus busur

Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{PMT} - P_{UJI} &= 587,54 - 510 \\ &= 77,54 \text{ kPa} \end{aligned}$$

dengan p = tekanan gas SF₆ dalam kPa

$$\begin{aligned} U_{arc} \text{ berkurang sebesar} &= 0,2 \times 77,54 \\ &= 15,5 \text{ cm/s kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{arc \text{ PMT}} &= 88 - 15,5 \\ &= 72,5 \text{ cm/ s kA} \end{aligned}$$

Celah kontak minimal berdasarkan pada kecepatan busur api adalah :

$$\text{Arus pemutusan PMT} = I_{nom \text{ PMT}} = 1,25 \text{ kA}$$

$$\text{Waktu pemutusan} = t = 0,06 \text{ s}$$

$$U_{arc} = 1,25 \times 72,5 = 90,62 \text{ cm/ s}$$

Jarak sela kontak :

$$d = 90,625 \times 0,06 = 5,44 \text{ cm}$$

Pada jarak sela yang cukup kecil, gas SF₆ sudah dapat menghentikan laju busur api pada tekanan 6 kgf/ cm². pada tekanan yang lebih besar lagi tentunya jarak sela yang diperlukan semakin kecil.

4.3 Kondisi Gas Setelah Terjadi Busur Api

Saat terjadi busur api maka gas-gas yang bersifat racun akan berbentuk seperti gas SF₂ dan SF₄. 1 liter SF₆ pada tekanan 1 atm apabila dikenai efek korona selama 240 jam terjadi penurunan tekanan sebesar 7% dan 36% dari volume gas terdapat zat racun seperti tersebut di atas^[8]. Pada pemutusan dengan arus pemutusan $I = 500$ A gas tidak akan berubah sampai pemutusan 100 kali.

Kemampuan gas ini dikarenakan sifat gas yang elektronegatif, sehingga pada saat terjadi pemutusan dengan cepat elektron bebas yang ada langsung diikat. Sifat keelektronegatifan akan tetap selama gas tidak berubah wujud sebagaimana pada poin 3.2. Hasil tersebut dapat diasumsikan pada PMT pada durasi waktu hubung singkat = 1 s, maka dapat diprediksi tekanan gas yang akan berkurang sebanyak 7% pada pemutusan yang ke : $240 \times 3600 = 8,6 \times 10^5$ kali. Sebuah angka yang cukup besar yang menyebabkan gas ini banyak dikembangkan sebagai bahan isolasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari keseluruhan pembahasan masalah pengaruh tekanan terhadap isolasi gas SF₆ pada PMT di GIS Bangil dan berdasarkan rumusan masalah yang disajikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kecepatan busur api yang timbul pada saat pemutusan PMT berbanding terbalik dengan tekanan gas dengan faktor penurunan = 0,002 cm/s.kA.kgf.cm⁻². Sehingga didapatkan kecepatan busur api pada PMT di GIS Bangil sebesar 72,5 cm/s kA pada tekanan 6 kgf.cm⁻².
2. Jarak sela minimal kontak PMT di GIS Bangil berdasarkan kecepatan busur api adalah 5,44 cm pada tekanan 6 kgf.cm⁻². Besarnya jari-jari konduktor untuk mendapatkan gas SF₆ yang paling hemat adalah 1,917 cm pada tekanan 4 kgf.cm⁻².

5.2 Saran

Untuk pembangunan ataupun pengembangan GI maupun GIS, kiranya dapat diperluas penggunaan gas SF₆ sebagai isolasi mengingat keuntungan yang dapat diperoleh dengan menggunakan gas ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. T. Nitta Y. Shibuya. 1999, *SF₆ Pressure Effect With Duty Of Circuit Breaker*, IEEE Transaction On Power Insulation, Vol. 14, No. 4, October 1999.
- [2]. AZER, A.A, R.P Comsa. 1973, *Influence Of Field Nonuniformity On The Breakdown Characteristics Of Sulfur Hexafloride*, IEEE Transactions On Electrical Insulation, vol. 8, no. 4, December 1973.
- [3]. Chu, FY, SA. Bogs, CK Law. 1981, *Studies of Power Arc Faults in SF₆ Insulated Equipment*, IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-100, No. 1, January 1981.
- [4]. Arismunandar, A. 1983, *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*, Ghalia Indonesia Jakarta.
- [5]. Naidu, MS, V. Karamaju. 1995, *High Voltage Engineering*. Second Edition, Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- [6]. Kind, Dieter. 1993, *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*, ITB Bandung.
- [7]. PUSDIKLAT PLN, 1984. *Peralatan Hubung BAB III Pemutus Tenaga*, PLN.
- [8]. Naidu, MS, Maller, VN. 1977, *SF₆ And Facuum Insulation For high Voltage Application*, Khanna Publisher, New Delhi.
- [9]. Kawaguchi, Y, K. sakata, S. Menju. 1971, *Effect of a Grounded Cylinder Enclosure on The Breakdown Gradient of Rod Gaps In SF₆*, IEEE Transactions On Power Apparatus And System, vol 8, no. 4, December 1971.

LAMPIRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : RIO ISA KURNIAWAN
2. NIM : 0012119
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆
TERHADAP KINERJA PEMUTUS TENAGA (PMT)
DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL
- PASURUAN

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : SELASA
Tanggal : 4 SEPTEMBER 2007
Dengan Nilai : 78,45 (B+) *Zuf*



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT
Penguji Pertama

Ir. Eko Nurcahyo
Penguji Kedua



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

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1), yang diselenggarakan pada:

Hari : Selasa
Tanggal : 4 September 2007

Telah dilakukan perbaikan oleh:

Nama : RIO ISA KURNIAWAN
N.I.M : 00.12.119
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : ENERGI LISTRIK
Judul Skripsi : **ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TENAGA (PMT) DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL – PASURUAN**

Perbaikan meliputi:

No.	Materi Perbaikan	Keterangan
1.	Kesimpulan supaya disesuaikan/ dihubungkan dengan CB yang ada di GI Bangil	

Anggota Penguji

Penguji I

Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Ir. Teguh Herbasuki, MT

Dosen Pembimbing II

Irrine Budi S, ST, MT



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : RIO ISA KURNIAWAN
 NIM : 00-12-119
 Semester : XII
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-1
 Konsentrasi : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik
 Alamat : Jl Bola Voli / 16 Tasikmadu

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat **SKRIPSI Tingkat Sarjana**. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan-persyaratan pengambilan **SKRIPSI** adalah sebagai berikut :

1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh mata kuliah ≥ 134 sks dengan IPK ≥ 2 dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas
 Recording Teknik Elektro

[Signature]
 (.....*[Name]*.....)

Malang,200
 Pemohon

[Signature]
 (.....RIO ISA KURNIAWAN.....)

Disetujui
 Ketua Jurusan Teknik Elektro
[Signature]
 Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
 NIP. P. 1039500274

Mengetahui
 Dosen Wali
[Signature] 9/10/08
 (.....)

Catatan :
 Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Jurusan/Sekretaris Jurusan T. Elektro S-1

1. IPK 3.23 / 137 = 2.35
2.
3. - praktikum *[Signature]*
 PROSI
 Sistem



FORMULIR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO/T. ENERGI LISTRIK S-1

1.	Nama Mahasiswa : <i>RIO ISA KURNIAWAN</i>	Nim : <i>00.12.119</i>		
2.	Waktu Pengajuan :	Tanggal <i>24</i>	Bulan <i>MARET</i>	Tahun <i>2007</i>
3.	Spesifikasi Judul *)			
	a. Sistem Tenaga Elektrik b. Mesin-Mesin Elektrik & Elda c. Sistem Pemb.Energi Elektrik	d. Sistem Kendali <input checked="" type="radio"/> Teknik Tegangan Tinggi f. Lainnya		
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Kelompok Dosen Keahlian	Ketua Jurusan, <i>Ir. Yudi Limpraptono, MT</i> NIP.Y 103 950 0274		
5.	Judul yang diajukan mahasiswa	<i>"Analisis Pengaruh Tekanan Gas SF6 Terhadap Kinerja Pemutus Tegangan (PMT) di Gas Insulated Switchgear (GIS) Bargil - Pasuruan"</i>		
6.	Perubahan Judul yang Diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
7.	<i>Cacatan :</i>			
8.	Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Kelompok Dosen Keahlian	Disetujui, <i>25-04-07</i> Kelompok Dosen Keahlian <i>TEGUVH.1</i> Tanggal :		

Perhatian :

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan ke Jurusan paling lambat *satu minggu* setelah disetujui Kelompok Dosen Keahlian dengan dilampirkan Proposal Skripsi beserta persyaratan Skripsi sesuai **Form. S-1**.
2. *) dilingkari a, b, c,atau f, sesuai bidang Keahlian.
3. **) diisi oleh Jurusan.



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Malang, 1 Mei 2007

Lampiran : Satu Lembar
Perihal : **Kesediaan Sebagai
Dosen Pembimbing**

Kepada : Yth. Bapak **Ir. Teguh Herbasuki, MT.**
Dosen Jurusan Elektro/ T.Energi Listrik
Institut Teknologi Nasional Malang
di-
Malang

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : RIO ISA KURNIAWAN
Nim : 00.12.119
Semester : XIV
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : ENERGI LISTRIK S-1

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TEGANGAN (PMT) DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL – PASURUAN

Seperti proposal terlampir.

Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro.

Demikian permohonan kami, atas kesediaan Bapak kami ucapkan terimakasih.

Mengetahui,
Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ir.F.Yudi Limpraptono,MT
Nip.P.1039500274

Malang, 1 Mei 2007

Pemohon,

RIO ISA KURNIAWAN
Nim : 00.12.119

Form S-3a



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Malang, 1 Mei 2007

Lampiran : Satu Lembar
Perihal : **Kesediaan Sebagai
Dosen Pembimbing**

Kepada : Yth. Ibu. **Irrine Budi S, ST, MT.**
Dosen Jurusan Elektro/ T.Energi Listrik
Institut Teknologi Nasional Malang
di-
Malang

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : RIO ISA KURNIAWAN
Nim : 00.12.119
Semester : XIV
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : ENERGI LISTRIK S-1

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Pendamping, untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TEGANGAN (PMT) DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL – PASURUAN

Seperti proposal terlampir.

Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro.

Demikian permohonan kami, atas kesediaan Ibu kami ucapkan terimakasih.

Mengetahui,
Kctua Jurusan
Teknik Elektro

Ir.F. Yudi L. Praptono, MT
Nip.P.1039500274

Malang, 1 Mei 2007

Pemohon,

RIO ISA KURNIAWAN
Nim : 00.12.119

Form S-3a



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa :

Nama : RIO ISA KURNIAWAN
Nim : 00.12.119
Semester : XIV
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : ENERGI LISTRIK S-I

Dengan ini menyatakan bersedia / tidak bersedia *) menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping *) , untuk penyusunan Skripsi Mahasiswa tersebut dengan judul :

ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TEGANGAN (PMT) DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL - PASURUAN

Demikian pernyataan ini kami buat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 1 Mei 2007
Yang Membuat Pernyataan,

Ir. Teguh Herbasuki, MT.
Nip. 103 890 0209

Catatan :

1. Setelah disetujui agar formulir ini diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut.
2. *) Coret yang tidak perlu

Form. S - 3b



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa :

Nama : RIO ISA KURNIAWAN
Nim : 00.12.119
Semester : XIV
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : ENERGI LISTRIK S-1

Dengan ini menyatakan bersedia / tidak bersedia *) menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping **, untuk penyusunan Skripsi Mahasiswa tersebut dengan judul :

ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TEGANGAN (PMT) DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL – PASURUAN

Demikian pernyataan ini kami buat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 1 Mei 2007
Yang Membuat Pernyataan,

Irine Budi S., ST., MT.
Nip. 132 314 400

Catatan :

1. Setelah disetujui agar formulir ini diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut.
2. *) Coret yang tidak perlu



BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik-Elektronika*)

1.	Nama Mahasiswa: <u>RIO SA KURNIAWAN</u>		Nim: <u>00 12 119</u>	
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	<u>23-06-2007</u>	<u>12.00</u>	Ruang:
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)				
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik		e. Elektronika & Komponen	
	b. Energi & Konversi Energi		f. Elektronika Digital & Komputer	
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran		g. Elektronika Komunikasi	
	d. Sistem Kendali Industri		h. lainnya	
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<u>ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆ TERHADAP KINERJA PEMUTUS TEGANGAN (PMT) DI GAS INSULATE D SWITCH GEAR (GIS) BANGIL - PASURUAN</u>		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian		
6.	Catatan: <u>Perlu dikaji ulang tlg. kegunaan jurnal dengan tsm yg ditulis pada proposal skripsi</u>			
	Catatan:			
Persetujuan Judul Skripsi				
7.	Disetujui, Dosen Keahlian I <u>Ir. Widodo Pudji M, MT</u>		Disetujui, Dosen Keahlian II <u>Ir. Eko Nurcahyo</u>	
	Mengetahui, Ketua Jurusan. <u>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs <u>Ir. TEGUH HERBASUKI, MT.</u> NIP. 103 890 0209	

Perhatian:

1. Keterangan: *) Coret yang tidak perlu

**) dilingkari a, b, c, atau g sesuai bidang keahlian



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

(PERSERO) MALANG
K NIAGA MALANG

Malang, 16 Juli 2007

Nomor : ITN-381/I.TA/2/2007
Lampiran : -
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**
Kepada : Yth. Sdr. Ir. **TEGUH HERBASUKI, MT**

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal Skripsi
untuk Mahasiswa:

Nama : RIO ISA KURNIAWAN
Nim : 0012119
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya
kepada Saudara/I selama masa waktu 6 (enam) bulan, terhitung mulai
tanggal:

23 Juni 2007 s/d 23 Desember 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik, Jurusan
Teknik Elektro-S1
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami sampaikan
terima kasih.



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form. S4a



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : RIO ISA KURNIAWAN
Nim : 0012119
Masa Bimbingan : 23 Juni 2007 s/d 23 Desember 2007
Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆
TERHADAP KINERJA PEMUTUS TEGANGAN (PMT)
DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL -
PASURUAN

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	27/07/07	Dijelaskan jarak pisah kontak & konduktor → dg. gambar	
2.	02/08-07	Konsultasi bab I & II	
3.	09/08-07	Revisi bab II	
4.	15/08-07	Konsultasi bab III & IV	
5.	21/08/07	Revisi bab IV	
6.	28/08/07	Konsultasi bab V	
7.	31/08/07	Acc Elplan	
8.			
9.			
10.			

Dosen Pembimbing,

Ir. Teguh Herbasuki, MT
Nip. 103 890 0209



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : RIO ISA KURNIAWAN
Nim : 0012119
Masa Bimbingan : 23 Juni 2007 s/d 23 Desember 2007
Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF₆
TERHADAP KINERJA PEMUTUS TEGANGAN (PMT)
DI GAS INSULATED SWITCHGEAR (GIS) BANGIL -
PASURUAN

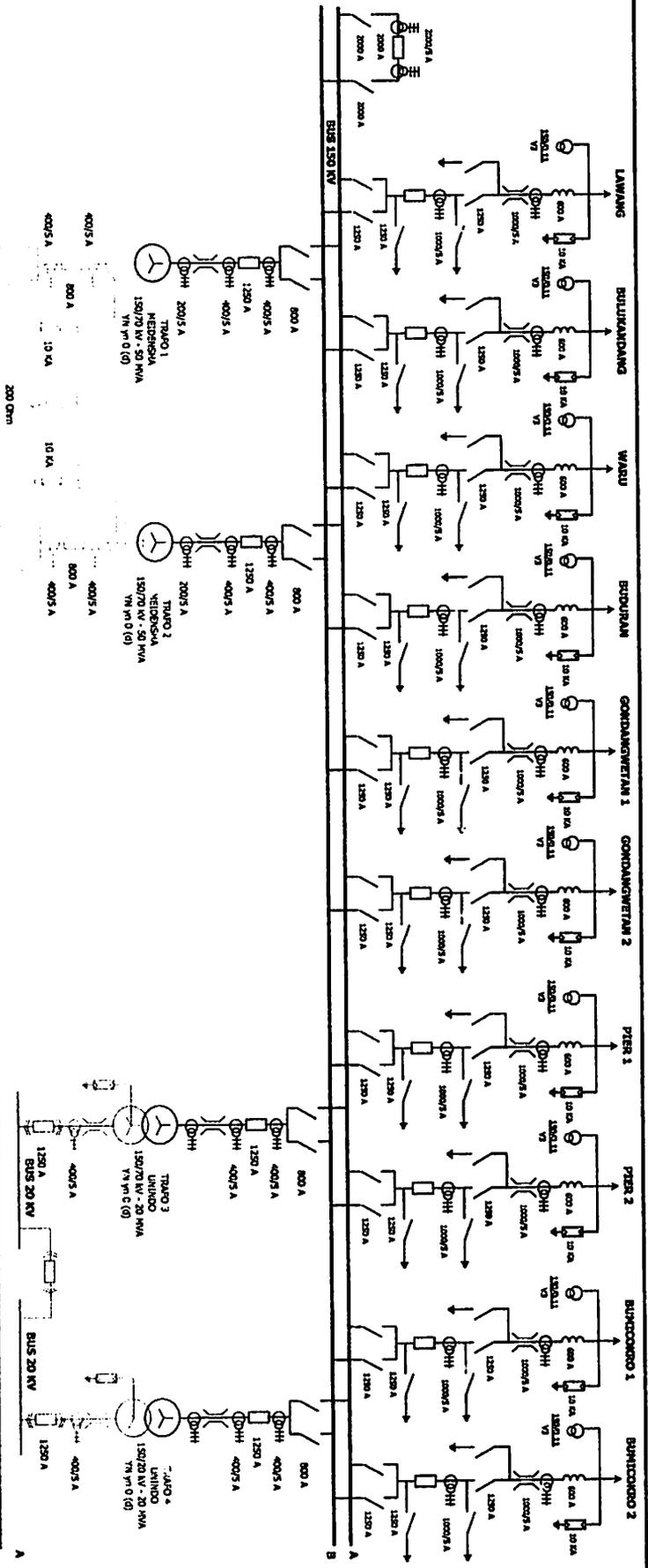
No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	25 Juli 2007	Bab I revisi sedulisionale	
2.	30 Juli 2007	Bab I. revisi kontribusi di hupuk an pd GI Bangil Bab II revisi glor part, sedulisionale struktur part	
3.	6 Agustus 2007	Bab II. glor. di tulis huruf kepitme. Ace Bab I control kamer bila ada gangguan tgm PMT kerja	
4.	8 Agust 2007	Bab II kerj control gangguan Bab III kerj data yg diambil di rumah	
5.	13 Agustus 2007	Ace Bab II, Bab III	
6.	14 Agustus 2007	- kemampuan keutaran aluminun di mana? - penulisan tabel di susun dalam - kerangka di perbaiki sesuai hujir	
7.		- buat malukah karil & slide	
8.	15 Agustus 2007	Abstrak di perbaiki & persiapan malukah di susun dalam	
9.	20 Agustus 2007	Ace Bab II & Bab III. Abstrak di susun dalam untuk ujian susunan, sebelum handin!	
10.			

Dosen Pembimbing,

Irrine Budi S., ST, MT
Nip. 132 314 400

Data PMT di *Gas Insulated Switchgear* (GIS) Bangil

Merk PMT	: Nissin, Japan
Type	: GT 14
Nomor Serie	: 91-7141
Tahun Pembuatan	: 1991
Tahun Operasi	: 16 November 1992
Media Pemutus	: Gas SF ₆
Tegangan Nominal	: 150 kV
Frekwensi	: 50 Hz
Tekanan Gas Pada PMT	: 6 kgf/ cm ² (20° C)
Tekanan Gas Isolasi	: 4 kgf/ cm ² (20° C)
Ketahanan Terhadap Tegangan Frekwensi Daya	: 325 kV
Ketahanan Terhadap Tegangan Impuls	: 750 kV
Arus Beban Nominal	: 1250 A
Kapasitas Pemutus Arus Hubung Singkat	: 31,5 kA
Durasi Hubung Singkat	: 1 sec
Rating Pemutusan	: 0,06 sec
Kapasitas Pemutusan PMT	: 324,75 MVA
Kapasitas Hubung Singkat 3 Fasa bus 150 kV	: 10,39 MVA
Daya Trafo	: 50 MVA
Sistem Alat Penggerak	: Pneumatik
Penggerak Pemutusan	: 1 phasa
Cycle Breaker	: 3



BUS 70 KV		BUS 130 KV		BUS 20 KV	
6600 L1 V1	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A
1250 A	1250 A	800 A	800 A	800 A	800 A
250-500/5 A	250-500/5 A	200/5 A	200/5 A	400/5 A	400/5 A
800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A
10 KA	10 KA	10 KA	10 KA	10 KA	10 KA
600 A	600 A	600 A	600 A	600 A	600 A

PANDUAN 1	PANDUAN 2	BLIMBING 1	BLIMBING 2	BUDURAN	PORONG
800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A
1250 A	1250 A	800 A	800 A	800 A	800 A
250-500/5 A	250-500/5 A	200/5 A	200/5 A	400/5 A	400/5 A
800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A
10 KA	10 KA	10 KA	10 KA	10 KA	10 KA
600 A	600 A	600 A	600 A	600 A	600 A



PT. PLN (PERSERO)
REVISI
 PENYALURAN DAN PUSAT PENGANTAR BEBAS JAWA BALI
 SEKTOR MALANG

**TRANSMISI BANGIL
 GIS. BANGIL**

DIBANGUN	DIREVISI	OSERTUJUI	TANGGAL
890			NOVEMBER 2000

ogram TA SF6

```
;
=900;
ne=150;
afo=50;
=3.57;
=4.7;
s]=HitungPro(p,BIL,Vline,Strafo,Ial,Icu);
p('TABEL JARI-JARI LUAS PENAMPANG DAN TEG BREAKDOWN');
p(' ');
p('-----');
p('| r1 | r2 | A Isolasi | V Breakdown |');
p('| cm | cm | cm2 | kV |');
p('-----');
i=1:3
Sa=[has(i,1) has(i,2) has(i,3) has(i,4)];
fprintf(' %7.3f %7.3f %7.3f %7.2f\n',Sa');
p('-----');
=zeros(3,1);
=zeros(3,1);
p(' ');
p('TABEL PERHITUNGAN ARUS PEMUTUSAN MAKSIMUM BERDASARKAN');
p(' TEGANGAN NOMINALNYA');
p(' ');
p('-----');
p('| V nom | I Pemutusan |');
p('-----');
0;
a/3^0.5;
(1)=a;
(1)=b;
=[a b];
rintf(' %5.1f %5.1f\n',Sa');
0;
a/3^0.5;
(2)=a;
(2)=b;
=[a b];
rintf(' %5.1f %5.1f\n',Sa');
150;
a/3^0.5;
(3)=a;
(3)=b;
=[a b];
rintf(' %5.1f %5.1f\n',Sa');
p('-----');
figure(1);
has(:,1);
=has(:,2);
=has(:,3);
=zeros(3,1);
=zeros(3,1);
=zeros(3,1);
(1)=t(3);
```

```
(2)=t(1);  
(3)=t(2);  
(1)=x1(3);  
(2)=x1(1);  
(3)=x1(2);  
(1)=x2(3);  
(2)=x2(1);  
(3)=x2(2);  
plot(ta, xa, '-o', ta, xb, '-s');  
xlabel('Jari-jari konduktor (cm)');  
ylabel('Luas Penampang (cm2)');  
legend('r2 (cm)', 'Luas Penampang');  
figure(2);  
has(:,1);  
=has(:,4);  
=zeros(3,1);  
(1)=x2(3);  
(2)=x2(1);  
(3)=x2(2);  
plot(ta, xa, '-o');  
xlabel('Jari-jari konduktor (cm)');  
ylabel('V Breakdown (kV)');  
legend('V Breakdown (kV)');  
(1)=100;  
(2)=250;  
(3)=350;  
(4)=450;  
(5)=510;  
(1)=200; mea(1)=136;  
(2)=126; mea(2)=120;  
(3)=107; mea(3)=100;  
(4)=94; mea(4)=85;  
(5)=88; mea(5)=84;  
figure(3);  
plot(t, cal, '-o', t, mea, '-s');  
xlabel('Tekanan (kPa)');  
ylabel('U/I (cm/s kA)');  
legend('U/I Teori', 'U/I Praktek');  
figure(4);  
plot(xs, ys, '-o');  
xlabel('Tegangan Nominal (kV)');  
ylabel('Arus Pemutusan Maksimum (kA)');  
legend('Arus Pemutusan Maksimum (kA)');
```

```
function [has]=HitungPro(p,BIL,Vline,Strafo,Ial,Icu)
r1_imp_kritis=63*p+30;
r1_sh_kritis=45*p+35;
r1_ac_kritis=42*p+38;
Iimp=BIL;
sh=0.83*Vd_imp;
ac=395;
Iimp=Vd_imp/Eimp_kritis;
sh=Vd_sh/Esh_kritis;
ac=Vd_ac/Eac_kritis;
n=(Strafo*1000000)/(3^0.5*Vline*1000);
I=Inom/(Ial*pi);
r1=r12^0.5;
I=Inom/(Icu*pi);
r1=r12^0.5;
Iimp=exp(Vd_imp/(Eimp_kritis*r1_imp)+log(r1_imp));
sh=exp(Vd_sh/(Esh_kritis*r1_sh)+log(r1_sh));
ac=exp(Vd_ac/(Eac_kritis*r1_ac)+log(r1_ac));
Iimp2=Eimp_kritis*r1_imp*log(r2_imp/r1_imp);
sh2=Esh_kritis*r1_sh*log(r2_sh/r1_sh);
ac2=Eac_kritis*r1_ac*log(r2_ac/r1_ac);
Iimp=pi*r2_imp^2-pi*r1_imp^2;
sh=pi*r2_sh^2-pi*r1_sh^2;
ac=pi*r2_ac^2-pi*r1_ac^2;
=zeros(3,4);
has(1,1)=r1_imp;has(1,2)=r2_imp;has(1,3)=A_imp;has(1,4)=Vd_imp2;
has(2,1)=r1_sh;has(2,2)=r2_sh;has(2,3)=A_sh;has(2,4)=Vd_sh2;
has(3,1)=r1_ac;has(3,2)=r2_ac;has(3,3)=A_ac;has(3,4)=Vd_ac2;
```

**DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV
 TAHUN : 2006**

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
<u>BULAN : JANUARI 2006</u>						
1	BANGIL	PMT 70 kV T/L Blimbing 2	✘	10-Jan-06 21.26	Ry : 44S ph ST,64V Ind : 44S2L,A/R In Prog.KV0=1 KV	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca Hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
2	BANGIL	PMT 70 kV T/L Blimbing 1, 2	✘	10-Jan-06 21.29	Ry : 44S ph ST,64V Ind : 44S1L, 44S2L,A/R In Prog	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca Hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
<u>BULAN : FEBRUARI 2006</u>						
3	KEBONAGUNG	PMT 150 kV T/L Lawang 1	✘	16-Feb-06 13.15	Ry : 44GT,44SH,79H Ind : Fault ph T, Ground Fault, Distance (21) ph T	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
4	LAWANG	PMT 150 kV T/L Kb. Agung 1	✘	16-Feb-06 13.15	Ry : Distance Relay 44 ph T Ind : 79, 44S ph T	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Mendung Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
5	BANGIL	PMT 70 kV T/L Blimbing 1	✘	17-Feb-06 14.22-14.30	Ry : DGR, kV0 = 6 kV Ind : 67G1L, A/R InProg, A/R Lock	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan dan Petir Akibat gangguan : Terjadi pemadaman konsumen pada GI. Sukorejo & Blimbing GI. : GI. Sukorejo Trafo 1 Beban = 9,5 MW selama 8 menit GI. Blimbing Trafo 3 Beban = 6 MW selama 8 menit Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW tanggal 18-2-2006 ditemukan hasil : Lembaran Hex dan Flash Over di F125 Line 2 dan F127 Line 1

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
6	BANGIL	PMT 70 kV T/L Blimbing 2	⊗	17-Feb-06 14.22-14.31	Ry : DGR, kV0 = 6 kV Ind : 67G2L, A/R InProg, A/R Lock	<p>Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan dan Petir</p> <p>Akibat gangguan : Terjadi pemadaman konsumen pada GI. Sukorejo & Blimbing GI. Sukorejo Trafo 1 Beban = 9,5 MW selama 8 menit GI. Blimbing Trafo 3 Beban = 6 MW selama 8 menit</p> <p>Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW tanggal 18-2-2006 diteruskan hasil : Relator Flex dan Flex Over di T 125 Line 2 dan T 127 Line 1</p>
7	BANGIL	PMT 150 kV T/L G.Wetan 1-2	⊗	27-Feb-06 11.41-11.49	Ry : K401 (Lock Out Relay) Ind : -	<p>Analisa Gangguan : PMT Trip oleh Sistem Breaker Failure & Bus Bar Prot (Bus B)</p> <p>Akibat gangguan : Terjadi pemadaman konsumen pada Gardu induk : GI. Bumicokro Black Out Beban = 30,2 MW selama 9 menit GI. Blimbing Trafo 3 Beban = 3,6 MW selama 8 menit GI. Pandaan Black Out Beban = 16,4 selama 8 menit GI. Sukorejo Black Out Beban = 10,2 selama 8 menit</p> <p>Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB - Dilakukan pemeriksaan di sistem Protection & Control, Interlocking Bus Protection Panel Busbar dan Bus Protection, dan terdapat masalah sebagai berikut : Busbar Protection dan Bus Protection, dan Bus Protection, dan Bus Protection, Bus Protection, dan Bus Protection, dan Bus Protection, dan Bus Protection</p>
		PMT 150 kV T/L Bumicokro 1-2	⊗	27-Feb-06 11.41-11.50	Ry : K401 (Lock Out Relay) Ind : Dead Line Detec Failure	
<u>JULIUS : MARET 2006</u>						
8	BANGIL	PMT 150 kV T/L Buduran	⊗	02-Mar-06 17.58	Ry : Distance Relay 44 ph R Anunciator Fault ph R, Ground Fault Ind : MPO, Dead Line Prot Failure 79	<p>Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Mendung</p> <p>Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW (SUTT Wilayah UPT Surabaya)</p>

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
9	BANGIL	PMT 70 kV T/L Blimbing 1 & 2	✘	13-Mar-06 15.38	Ry : 67G, kV0 = 3 kV Ind : 67G1L,67G2L, 64VA, A/R In Prog	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan dan Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
10	SENGGURUH	PMT 70 kV T/L k.Kates 1 & 2	✘	16-Mar-06 18.50	Ry : 67G, 79, Ind : 67G, 79L	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan dan Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
11	SENGGURUH	PMT 70 kV T/L k.Kates 2	✘	16-Mar-06 18.55	Ry : 44S ph R,T,N, 79 Ind : 44S,79L	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan dan Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
12	SENGGURUH	PMT 70 kV T/L k.Kates 2	✘	16-Mar-06 18.59	Ry : 44S ph R,S, Zone 2-3, 79 Ind : 44S,79L	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca Hujan dan Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
13	SENGGURUH	PMT 70 kV T/L k.Kates 2	✘	16-Mar-06 19.01	Ky : 44S ph R,S, Zone 2-3, 79 Ind : 44S,79L	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca Hujan dan Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
14	KARANGKATES	PMT 70 kV T/L Sengguruh 2	✘	16-Mar-06 18.55	Ry : 44S ph R,S, N, 79 Ind : 44SL2,A/R In Prog	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan dan Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW

DATA GANGGUAN PENGHANTAP 150 kV & 76 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
15	KARANGKATES	PMT 70 kV T/L Sengguruh 2	✘	16-Mar-06 13.59	Ry : 44S ph R,S, N, 79 Ind : 44SL2,A/R In Prog	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan dan Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
16	KARANGKATES	PMT 70 kV T/L Sengguruh 2	✘	16-Mar-06 19.01	Ry : 44S ph R,S, N, 79 Ind : 44SL2,A/R In Prog	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan dan Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
17	BANGIL	PMT 150 kV T/L Lawang	✘	17-Mar-06 18.24	Ry : Distance Relay 44 ph T Anunciator Faulth ph T, Ground Faulth Ind : MPO, Dead Line Prot Failure 79	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Mendung Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
18	LAWANG	PMT 150 kV T/L Bangil	✘	17-Mar-06 18.24	Ry : Distance Relay 44 ph T Anunciator Faulth ph T, Ind : T ph Trip (21Z),79	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Mendung Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
19	BANGIL	PMT 150 kV T/L Lawang	✘	27-Mar-06 16.50	Ry : Distance Relay 44 ph RS, Anunciator Faulth ph RS, Ind : MPO, Dead Line Prot Failure 79	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca Hujan & Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
20	LAWANG	PMT 150 kV T/L Bangil	✘	27-Mar-06 16.50	Ry : Distance Relay 44 ph RS, Anunciator Faulth ph RS, Ind : RST phase Trip, 79	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca Hujan & Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
21	BULUKANDANG	PMT 150 kV T/L Lawang	✘	27-Mar-06 16.50-16.51	Ry : Distance Relay 44 ph RS, Aided Trip Ind : RST phase Trp, 79	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca Hujan & Petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
22	KEBONAGUNG	PMT 150 kV T/L Lawang 1	✘	27-Mar-06 16.50-17.00	Ry : UFR Ind : UFR	Analisa Gangguan : Akibat ggn BGL-Lwang sehingga frekwensi hunting PLTA Sutami posisi pengauran Load limit mestinya memakai sistem governor free. Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
		PMT 150 kV T/L Lawang 2	✘	27-Mar-06 16.50-17.00	Ry : UFR Ind : UFR	
		PMT 150 kV T/L Sutami 1	✘	27-Mar-06 16.54-17.07	Ry : UFR Ind : UFR	
		PMT 150 kV T/L Sutami 2	✘	27-Mar-06 16.54-17.05	Ry : UFR Ind : UFR	
		PMT 70 kV T/L Polehan 1-2	✘	27-Mar-06 16.54-17.01	Ry : UFR Ind : UFR	
		PMT 150 kV T/L Sengkaling 1	✘	27-Mar-06 16.55-17.10	Ry : RTN Ind : RTN	Analisa Gangguan : Akibat ggn BGL-Lwang sehingga frekwensi hunting PLTA Sutami posisi pengaturan Load limit mestinya memakai sistem governor free. dan Line Sutami 1 - 2 trip sehingga KBA Black Out Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
23	PAKIS	PMT 150 kV T/L Pakis i-2	✗	27-Mar-06 16.55-17.03	Ry : RTN Ind : RTN	Analisa Gangguan : tegangan Hilang Akibat ggn BGL-Lwang & T/L Pakis 1-2 di Kb. Agung Trip RTN Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
		PMT 150 kV Trafo IBT 1	✗	27-Mar-06 16.55-17.02	Ry : RTN Ind : RTN	
		PMT 150 kV Trafo IBT 2	✗	27-Mar-06 16.55-17.17	Ry : RTN Ind : RTN	
23	PAKIS			27-Mar-06 16.54-17.03	Ry : Ind : LR27,F84	Analisa Gangguan : Akibat ggn BGL-Lwang DAN LINE Pakis 1-2 di Kb. Agung Trip RTN Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
24	GAMPINGAN	PMT 70 kV Bustic	✗	27-Mar-06 16.55-17.51	Ry : RTN Ind : RTN	Analisa Gangguan : Akibat ggn BGL-Lwang Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
25	SENGKALING	PMT 150 kV t/l Kebonagung 1	✗	27-Mar-06 16.55-17.13	Ry : RTN Ind : 86L1,L2,RTN	Analisa Gangguan : Akibat ggn BGL-Lwang dan GI. Kebonagung Black Out Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
		PMT 150 kV t/l Kebonagung 2	✗	27-Mar-06 16.55-17.03	Ry : RTN Ind : 86L1,L2,RTN	

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDIK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
<i>BULAN : APRIL 2006</i>						
30	LAWANG	PMT 150 kV T/L Kebonagung I	✘	10-Apr-06 17.02	Ry : Distance Relay 44 ph S Ind : ph S Trip, 79	<p>Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Mendung Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW</p> <p>Counter I.A : Awal $\phi R = 14;$ $\phi S = 14;$ $\phi T = 15$ Akhir $\phi R = 14;$ $\phi S = 15;$ $\phi T = 15$</p> <p>Counter PMT : Awal $\phi R = 323;$ $\phi S = 333;$ $\phi T = 331$ Akhir $\phi R = 323;$ $\phi S = 335;$ $\phi T = 331$</p>
31	KEBONAGUNG	PMT 150 kV T/L Lawang I	✘	10-Apr-06 17.02	Ry : Distance Relay 44 ph S Ind : 21Z ph S, Ground Fault, 44GT, 44SH, 79H	<p>Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Mendung Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW</p> <p>Counter I.A : Awal $\phi R = 02;$ $\phi S = 02;$ $\phi T = 05$ Akhir $\phi R = 02;$ $\phi S = 02;$ $\phi T = 05$</p> <p>Counter PMT : Awal $\phi R = 398;$ $\phi S = 244;$ $\phi T = 333$ Akhir $\phi R = 398;$ $\phi S = 248;$ $\phi T = 333$</p>
32	BANGIL	PMT 150 kV T/L Lawang	✘	10-Apr-06 17.02	Ry : Distance Relay 44 ph T Ind : MPO, 79, Faulth ph T, Ground faulth	<p>Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Mendung Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW</p>

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
33	KEBONAGUNG	PMT 70 kV T/L TUREN	✗	11-Apr-06 13.50	Ry : Distance Relay 44 ph T (X1) Ind : 44S,79L	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
34	TUREN	PMT 70 kV T/L KEBONAGUNG	✗	11-Apr-06 13.50-14.03	Ry : Distance Relay 14 ph T (X1) Ind : 44S	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
35	BANGIL	PMT 150 kV T/L G.WETAN 1,2	✗	13-Apr-06 14.44-14.54	Ry : RTN Ind : Dead Line Detec Failure	Analisa Gangguan : BUS bar B 150 kv GIS Bangil hilang tegangan akibat gangguan di GI. Probolinggo- Kraksaan 1, 2 trip (UPT Probolinggo). Akibat gangguan : Terjadi pemadaman konsumen pada Gardu induk : GI. Bangil trafo 3 = 6 MW selama 13 menit GI. Sukorejol trafo 1 = 10 MW selama 6 menit GI. Pandaan trafo 1,2,3 = 37 MW selama 5 menit GI. Bumicokro trafo 1,2 = 39 MW selama 2 menit GI. Blimbing trafo 3 = 7,1 MW selama 6 menit Langkah penyelesaian : Kooruinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
36	WLINGI	PMT 70 kV T/L Blitar 1	✗	19-Apr-06 14.00-14.13	Ry : Ind :	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
		PMT 70 kV T/L Blitar 2	✗	19-Apr-06 14.00-14 15	Ry : 44S ph S (X1),50G,64V Ind : 44s,86,50G	Analisa Gangguan : gangguan fasa - ground, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW Pada tanggal 27-4-2006 dilaksanakan pemeriksaan CT 70 kV line Blitar 1 dan Blitar 2 ditemukan hasil bahwa Sekunder CT ph R Line Blitar 2 hubung singkat dengan ground sehingga penunjukan pdarelay tidak normal
37	SENGGURUH	PMT 70 kV T/L K.Kates 1 &2	✗	22-Apr-06 13.17	Ry : 67G,79 Ind : 67G,79L1,79L2	Analisa Gangguan : gangguan fasa - ground, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
<u>BULAN : MEI 2006</u>						
38	SENGGURUH	PMT 70 kV T/L K.Kates 2	✗	03-Mei-06 14.56	Ry : 44 ph RSN,67G2,79 Ind : 44S,67G1 2.79L2	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa - ground, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
39	KARANGKATES	PMT 70 kV T/L Sengguruh 2	✗	03-Mei-06 14.56	Ry : 44 ph RSN,79 Ind : 44SL2,,A/R !n Progress	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa - ground, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
40	MENDALAN	PMT 70 kV T/L Blimbing 2	✗	25-Mei-06 16.35 - 16.41	Ry : 67G, Kv0 = 56 kV Ind : 67g	Analisa Gangguan : gangguan fasa - ground, cuaca hujan Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Penghantar untuk pengamanan / tidak berbeban hanya sampai T.42 Dilakukan pemeriksaan ROW

**DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV
 TAHUN : 2006**

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA FUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATO :	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
41	KEBONAGUNG	PMT 70 kV T/L Turen	✘	28-Mei-06 15.40	Ry: 44S ph R Zone1, 79 Ind: 44S,7911	Analisa Gangguan : gangguan phasa - ground, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
42	TUREN	PMT 70 kV T/L Kebonagung	✘	28-Mei-06 15.40	Ry: 44S ph R Zone1, 79 Ind: 44S,79	Analisa Gangguan : gangguan phasa - ground, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
43	BUDURAN	PMT 70 kV T/L Buduran	✘	30-Mei-06 11.38	Ry: 44S ph S-FN Zone2, 67G, 791 Ind: 67G, 44S	Analisa Gangguan : gangguan phasa - ground Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW wilayah UPT SERABAYA
	BUDURAN	PMT 70 kV T/L Porong	✘	30-Mei-06 11.38	Ry: 67G Ind: 67G	Analisa Gangguan : gangguan phasa - ground, cuaca hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
		<u>BULAN : JUNI 2006</u>				
		NIHIL				

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
<u>BULAN : JULI 2006</u>						
44	SENGKALING	PMT 70 kV T/L Blimbing 1 PMT 70 kV T/L Blimbing 2	⊗ ⊗	08-Jul-06 16.08 - 17.18 08-Jul-06 16.08 - 16.13	Ry: 44S ph RST, X1 Ind: 44S,86,791L,63AL Ry: 44S ph RST, X1 Ind: 44S,86,792L,63AL	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, Konduktor putus fasa S Tiang 58 - 59 SUTT Blimbing Sengkaling 1 Akibat gangguan : Terjadi pemadaman konsumen pada GI. Blimbing & PLTA Selorejo GI : GI. Blimbing Trafo 1 & 2 Beban = 23,7 MW selama 5 menit PLTA SelorejoTrafo 1 Beban = 1,74 MW selama 5 menit Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW tanggal 8-7-2006 ditemukan hasil : Konduktor putus fasa S antara T 58 - 59 SUTT 70KV Blimbing - Sengkaling 1 Dilaksanakan penambungan SUTT pada tanggal 9-7-2006 oleh UPT Malang
45	BLIMBING	PMT 70 kV T/L Sengkaling 1	⊗	08-Jul-06 16.08 - 17.19	Ry: 44S ph RST Ind: 44S,A/R In Progress,A/R Lock Out	Analisa Gangguan : gangguan fasa - fasa, Konduktor putus fasa S Tiang 58 - 59 SUTT Blimbing Sengkaling 1 Akibat gangguan : Terjadi pemadaman konsumen pada GI. Blimbing & PLTA Selorejo GI : GI. Blimbing Trafo 1 & 2 Beban = 23,7 MW selama 5 menit PLTA SelorejoTrafo 1 Beban = 1,74 MW selama 5 menit Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW tanggal 8-7-2006 ditemukan hasil : Konduktor putus fasa S antara T 58 - 59 SUTT 70KV Blimbing - Sengkaling 1 Dilaksanakan penambungan SUTT pada tanggal 9-7-2006 oleh UPT Malang
46	LAWANG	PMT 150 kV T/L Kebonagung 1	⊗	09-Jul-06 23.35	Ry: Distance Relay 44 ph T Ind: ph T Trip, 79	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Mendung Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
47	KEBONAGUNG	PMT 150 kV T/L Lawang I	✘	09-Jul-06 23.35	Ry : 44S ph T, Aided Trip Ind : 44GT,44SH,79H Anuc : Faulth ph T, Ground Faulth Aided Trip	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Mendung Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW
48	TUREN	PMT 70 kV T/L Gampingan	✘	17-Jul-06 14.19	Ry : 67G Ind : 67G, /9L	Analisa Gangguan : gangguan fasa - ground, cuaca terang dan angin Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW tanggal 18-7-2006 ditemukan hasil : SUPT terkena gangguan di 178 dan 129 SUPT 70KV Turen - Gampingan
49	GAMPINGAN	PMT 70 kV T/L Turen	✘	17-Jul-06 14.19 - 15.10	Ry : 67G Ind : 67G,A/R In Prog, A/R LockOut	Analisa Gangguan : gangguan fasa - ground, cuaca terang dan angin Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW tanggal 18-7-2006 ditemukan hasil : SUPT terkena gangguan di 178 dan 129 SUPT 70KV Turen - Gampingan
50	SENGGURUH	PMT 70 kV T/L Gampingan	✘	17-Jul-06 14.19 - 14.24	Ry : 67G Ind : 67G,A/R In Prog, A/R LockOut	Analisa Gangguan : gangguan fasa - ground, cuaca terang dan angin Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW tanggal 18-7-2006 ditemukan hasil : SUPT terkena gangguan di 178 dan 129 SUPT 70KV Turen - Gampingan
51	PORONG	PMT 70 kV T/L Bangil	✘	30-Jul-06 12.28 -12.41	Ry : 44S2L fasa STN Zone 2, 51 Ind : 51,44S	Analisa Gangguan : gangguan fasa - ground, cuaca terang dan angin Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW UPT Surabaya tanggal 31-7-2006 ditemukan hasil : SUPT terkena gangguan di 178 dan 129 SUPT 70KV Turen - Gampingan Dilakukan pemeriksaan Rele Distance hasil baik

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
52	BANGIL	PMT 70 kV T/L Buduran	✗	30-Jul-06 12.28	Ry : 44S X1 phasa S Ind : 44S21,A/R In Prog, A/R LockOut	<p>Analisa Gangguan : gangguan phasa - ground, cuaca terang dan angin</p> <p>Langkah penyelesaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW UPT Surabaya tanggal 31-7-2006 ditemukan hasil : SUTT terkena layang-layang antara T.2 - 3 SUTT 70KV Bangil - Porong Dilakukan pemeriksaan Rele Distance Bangil - Buduran hasil baik Dilakukan pemeriksaan Rele Distance Bangil - Porong hasil rele phasa S Kontak-rusak / tidak bekerja untuk starting OC
<p><u>BULAN : AGUSTUS 2006</u></p> <p>NIHIL</p> <p><u>BULAN : SEPTEMBER 2006</u></p>						
53	WLINGI	PMT 70 kV T/L Blitar 2	✗	09-Sep-06 11.15 - 13.33	Ry : 50G, 86, 64V Ind : 86 50G, K=0 = 62 kV	<p>Analisa Gangguan : gangguan phasa - ground, cuaca terang</p> <p>Langkah penyelesaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW oleh UPT Kediri ditemukan hasil : SUTT terkena layang-layang antara T.24 (SUTT wilayah UPT Kediri)
54	WLINGI	PMT 70 kV T/L Blitar 2	✗	10-Sep-06 07.45 - 07.57	Ry : 50G, 86, 64V Ind : 86, 50G, , K=0 = 64 kV	<p>Analisa Gangguan : gangguan phasa - ground, cuaca terang</p> <p>Langkah penyelesaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW oleh UPT Kediri ditemukan hasil : SUTT terkena layang-layang antara T.17 (SUTT wilayah UPT Kediri)

**DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV
 TAHUN : 2006**

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
BULAN : OKTOBER 2006						
NIHIL						
BULAN : NOVEMBER 2006						
55	LAWANG	PMT 150 kV T/L Kebonagung I	✘	07-Nov-06 15.14	Ry : Distance Relay 44 ph R Ind : 21 Z ph R, ph R Trip, 79	<p>Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca Hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW</p> <p>Counter LA : Awal $\phi R = 14;$ $\phi S = 15;$ $\phi T = 15$ Akhir $\phi R = 14;$ $\phi S = 15;$ $\phi T = 15$</p> <p>Counter PMT : Awal $\phi R = 355;$ $\phi S = 367;$ $\phi T = 363$ Akhir $\phi R = 357;$ $\phi S = 367;$ $\phi T = 363$</p>
56	KEBONAGUNG	PMT 150 kV T/L Lawang I	✘	07-Nov-06 15.14	Ry : Distance Relay 44 ph R Ind : 21Z ph S, Ground Fault, 41GT, 44SH, 79T1	<p>Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca cerah Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW</p> <p>Counter LA : Awal $\phi R = 2;$ $\phi S = 2;$ $\phi T = 5$ Akhir $\phi R = 2;$ $\phi S = 2;$ $\phi T = 5$</p> <p>Counter PMT : Awal $\phi R = 402;$ $\phi S = 251;$ $\phi T = 339$ Akhir $\phi R = 403;$ $\phi S = 251;$ $\phi T = 339$</p>

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN : 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
57	SENGKALING	PMT 70 kV T L Blimbing 1 PMT 70 kV T L Blimbing 2	✘	25-Nov-06 11.54	Ry : 67G 1 & 67G 2 Ind : 67G 1 & 67G 2, 79L1,79L2 kV0 = 61 kV	Analisa Gangguan : Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
<u>BULAN : DESEMBER 2006</u>						
58	BANGIL	PMT 150 kV T L PIER 1	✘	17-Des-06 20.25 - 21.01	Ry : - Ind : -	Analisa Gangguan : masih dalam pemeriksaan Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Koordinasi dengan Staf SCADA RJTB
59	BANGIL	PMT 70 kV T L Blimbing 1	✘	19-Des-06 13.49	Ry : Distance Relay 44 ph RN Ind : 44S 1L,A/R In Progress, A/R Lock Out	Analisa Gangguan : gangguan fasa - Ground, cuaca cerah Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
		PMT 70 kV T L Blimbing 2	✘	19-Des-06 13.49	Rv : Distance Relay 44 ph RN Ind : 44S 2L,A/R In Progress, A/R Lock Out	
60	SUKOREJO	PMT 70 kV T L BLB-BGL 1	✘	19-Des-06 13.49 - 13.59	Ry : UVR Ind : 27,24,80	Analisa Gangguan : gangguan pada penghantar Blimbing - Bangil 1&2 Reclose bersamaan sehingga sistem Auto Selektive Line gagal operasi karena 2 line tidak ada tegangan Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Koordinasi dengan Piket UPDS Terjadi Pemadaman Konsumer 10 MW selama 10 Menit

DATA GANGGUAN PENGHANTAR 150 kV & 70 kV

TAHUN . 2006

NO	GARDU INDUK	PMT YANG TRIP	STA TUS	TANGGAL JAM	RELE INDIKATOR	ANALISA GANGGUAN DAN TINDAK LANJUT
51	BANGIL	PMT 70 kV T/L Blimbing 1	✘	22-Des-06 15:33	Ry: DGR Ind: 67G 1L, AVR In Progress. KV0 = 3 kV, 64VA Bus A. CB Blimbing 1 Open	Analisa Gangguan : gangguan fase - Ground, cuaca Hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
52	BLIMBING	PMT 70 kV T/L Sengkaling 2	✘	22-Des-06 17:23	Ry: DGR Ind: 6/G 2L, VT Failure 2	Analisa Gangguan : gangguan fase - Ground, cuaca Hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
53	SENGKALING	PMT 70 kV T/L Blimbing 2	✘	22-Des-06 17:23	Ry: DGP, KV0 = 60 KV Ind: 67G L2, 79L, 63AL	Analisa Gangguan : gangguan fase - Ground, cuaca Hujan dan petir Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB
54	SENGGURUH	PMT 70 kV T/L Kebonagung	✘	30-Des-06 02:51 - 17:09	Ry: 44S fase RT Ind: 44S, AVR In Prog. AVR LockOut	Analisa Gangguan : gangguan fase - ground, cuaca Hujan dan angin Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW tanggal 30 - 12-2006 (ditemukan hasil
55	KEBONAGUNG	PMT 70 kV T/L Sengguruh	✘	30-Des-06 02:51 - 17:09	Ry: 44S fase RST, N2 Ind: 44S, 79-L, 86	Analisa Gangguan : gangguan fase - ground, cuaca Hujan dan angin Langkah penyelesaian : Koordinasi dengan Piket Dispatcher RJTB Dilakukan pemeriksaan ROW tanggal 30 - 12-2006 ditemukan hasil

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Rio Isa Kurniawan
Tempat/ Tgl.Lahir : Sidoarjo/ 20 Mei 1982
Agama : Islam
Kebangsaan : Indonesia
Suku bangsa : Jawa
Alamat : Jl.Hangtuah I /12 RT. 17 RW. 06
Sidoarjo – Jawa timur
Nomor HP : 081703410255

Dengan ini menerangkan dengan sesungguhnya :

PENDIDIKAN

1. SD Negeri Sidoklumpuk I Sidoarjo (1988 – 1994)
2. SLTP PGRI 8 Sidoarjo (1994 – 1997)
3. SMK Antartika Sidoarjo (1997 – 2000)
4. Teknik Energi Listrik S-1 ITN Malang (2000 – 2007)

PENDIDIKAN NONFORMAL DAN PENGALAMAN

2004 – sekarang Anggota HIMAKPA ITN Malang
2006 – 2007 Pengurus Harian HIMAKPA ITN Malang