



**ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF6 TERHADAP
KUALITAS PEMADAMAN PMT 150KV DI GARDU INDUK
PANGKALAN BRANDAN**

**Disusun dan diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian
Akhir Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH

**NAMA : YUDA BAHARI
NPM : 1814210264
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

MEDAN

2022

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

JUDUL

: ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF6 TERHADAP KUALITAS PEMADAMAN PMT 150KV DI GARDU INDUK PANGKALAN BRANDAN

NAMA : YUDA BAHARI
N.P.M : 1814210264
FAKULTAS : SAINS & TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI : Teknik Elektro
TANGGAL KELULUSAN : 03 Desember 2022



DEKAN

KETUA PROGRAM STUDI



Hamdani, S.T., M.T.



Siti Anisah, S.T., M.T.

**DISETUJUI
KOMISI PEMBIMBING**

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II



Hamdani, S.T., M.T.



Eddy Sutejo, S.T., M.T.

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar keserjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Medan, November 2022



Yuda Bahari
NPM : 1814210264

YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yuda Bahari
NPM : 1814210264
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Fakultas : Sains dan Teknologi
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, meyakini untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: **“Analisis Pengaruh Tekanan Gas SF6 Terhadap Kualitas Pemadaman PMT 150 kV DI Gardu Induk Pangkalan Brandan”** Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non- eksklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan, mengalih- media/alih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*),merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



n, November 2022

Yuda Bahari
NPM : 1814210264

ANALISIS PENGARUH TEKANAN GAS SF6 TERHADAP KUALITAS PEMADAMAN PMT 150 KV DI GARDU INDUK PANGKALAN BRANDAN

Yuda Bahari*

Hamdani **

Eddy sutejo**

Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Kinerja Pemutus Tenaga tegangan tinggi bermedia Gas SF6 didasarkan kepada sejumlah parameter diri yang terdapat pada PMT dan bertujuan untuk memperoleh : nilai kualitas Gas SF6, Keserempakan titik kontak bebas saat operasi membuka ataupun menutup rangkaian listrik, dan parameter resistans isolasi dan kontak. Pengukuran kualitas Gas SF6 meliputi, tekanan, kemurnian, moisture content. Pengukuran keserempakan titik kontak bebas saat pembukaan ataupun penutupan dilakukan dengan breaker analyser. Diperoleh hasil pada pengukuran kualitas gas, bahwa tekanan gas terukur sebesar 6,4 bar, sedangkan kebutuhan minimum kondisi trip sebesar 5,1 bar dan untuk kondisi alarm sebesar 5,4 bar. Kemurnian berkisar 98,8% sampai 100% standart minimum yang diperlukan lebih kecil dari 97%. Dew point gas terukur berkisar -22 °C sedangkan batasan maksimum sebesar -5 °C. keserempakan titik kondak beda saat operasi pembukaan ataupun penutupan atau nilai dari Δt dari PMT berkisar 0,40 sampai 1,65 milidetik, sedangkan nilai maksimumnya kurang dari 10 milidetik

Kata kunci : Kinerja Pemutus Tenaga, Pemutus Tenaga bermedia Gas SF6, Gardu Induk

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : yudabahari218@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SF₆ GAS PRESSURE ON
THE QUALITY OF EXTINGUISHING PMT 150KV AT
PANGKALAN BRANDAN SUBSTANCES**

Yuda Bahari*

Hamdani **

Eddy Sutejo **

University of Pembangunan Panca Budi

ABSTRACT

The performance of high-voltage SF₆ gas-mediated circuit breakers is based on a number of self-parameters contained in the PMT and aims to obtain: SF₆ gas quality values, simultaneous free contact points when opening or closing electrical circuits, and insulation and contact resistance parameters. SF₆ Gas quality measurements include, pressure, purity, moisture content. Simultaneous measurements of free contact points during opening or closing are carried out with a breaker analyzer. The results obtained on the measurement of gas quality, that the measured gas pressure is 6.4 bar, while the minimum requirement for trip conditions is 5.1 bar and for alarm conditions is 5.4 bar. Purity ranges from 98.8% to 100%, the minimum standard required is less than 97%. The measured gas dew point ranges from -22 oC while the maximum limit is -5 oC. the simultaneous contact points differ during the opening or closing operations or the value of Δt from PMT ranges from 0.40 to 1.65 milliseconds, while the maximum value is less than 10 milliseconds.

Key word : Circuit Breaker Performance, SF₆ Gas Media Circuit Breaker, Substation

* Student of Faculty Electrical Engineering : yudabahari218@gmail.com

** Lecture of Faculty Electrical Engineering

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang mana telah memberikan rahmat-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk menempuh ujian akhir memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.

Dalam laporan ini, penulis akan membahas tentang analisis pengaruh tekanan gas sf6 terhadap kualitas pemadaman PMT 150KV di gardu induk Pangkalan Brandan.

Dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak menghadapi masalah dan kesulitan, namun berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa moral, informasi, maupun material. Oleh karena itu, sudah selayaknya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. H. Muhammad Isan Indrawan, S.E., M.M., selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi.
2. Bapak Hamdani, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi sekaligus dosen pembimbing I saya di Universitas Pembangunan Panca Budi.
3. Ibu Siti Anisah, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
4. Bapak Eddy Sutejo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan saran dalam

pembuatan dan penulisan Tugas Akhir ini.

5. Seluruh staf pengajar maupun pegawai yang berada di Universitas Pembangunan Panca Budi.
6. Orang tua penulis yang tak pernah berhenti memberi dukungan baik secara moral maupun material dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Sahabat-sahabat penulis yang sudah membantu, mendukung, dan mengajari kami dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca.

Medan, November 2022

Yuda Bahari
NPM : 1814210264

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Pembahasan.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pemutus Tenaga (PMT).....	7
2.1.1 Pemutus Tenaga Berdasarkan Jumlah Penggerak Mekanik	7
2.1.2 Pemutus Tenaga Berdasarkan Rate Tegangan	9
2.1.3 Pemutus Tenaga Berdasarkan Media Isolasi	10
2.1.4 Pemutus Tenaga Isolasi Minyak	10
2.1.5 Pemutus Tenaga Isolasi Udara Hembus	11
2.1.6 Pemutus Tenaga Isolasi Vakum.....	13
2.1.7 Pemutus Tenaga Isolasi Gas SF ₆	14

2.1.8 Prinsip Kerja PMT	15
2.1.9 Proses Terjadinya Busur Api	16
2.1.10 Komponen dan Fungsi	17
2.2. Pengoperasian PMT Gas SF6	20
2.3. Shutdown Measurement/shutdown function check.....	21
2.4. Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga	22
2.5. Resistansi Diri Pada PMT.....	23
2.6. Kelayakan Tahanan Isolasi dan Tahanan Kontak Pemutus Tenaga	24
2.6.1 Tahanan Isolasi	24
2.6.2 Tahanan Kontak.....	26
2.7. Gas SF6.....	27
2.7.1 Karakteristik Gas SF6.....	31
2.7.2 Implementasi Gas SF6 Bertekanan pada Pemutus Tenaga.....	33
2.7.3 Keserempakan Kontak Bebas saat Pembukaan atau Penutupan.....	34
2.7.4 Pemeriksaan Tekanan/Kerapatan Gas.....	35
2.7.5 Kelebihan dan Kekurangan Pemutus Tenaga Media Gas SF6	38
2.7.6 Data circuit Breaker SF6 di GI P.Brandan.....	40
2.7.7 Dampak SF6.....	41
2.8. Pengukuran/Pengujian Gas SF6	41
2.8.1 Pengujian Gas SF6.....	41
2.8.2 Pengujian Kualitas Gas SF6.....	41
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	46
3.1. Tempat dan Waktu.....	46
3.1.1 Tempat	46
3.1.2 Waktu.....	46
3.2. Bagian Alir Penelitian	47
3.3. Pengumpulan Data.....	48
3.4. Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga.....	54

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1. Data Hasil Pengujian Kualitas Gas SF6	55
4.2. Pengujian Keserempakan PMT	56
4.3. Hasil Pengujian Keserempakan PMT	58
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 PMT Single-Pole	8
Gambar 2.2 PMT Three-Pole.....	8
Gambar 2.3 Jenis-Jenis PMT	9
Gambar 2.4 PMT Bulk-Oil	10
Gambar 2.5 Pemadama busur api PMT minyak	11
Gambar 2.6 PMT Udara Hembus.....	12
Gambar 2.7 Pemadaman Busur Api Pada PMT Udara Hembus.....	12
Gambar 2.8 Ruang Kontak Utama PMT Vakum	13
Gambar 2.9 PMT SF6 Saat Proses Pemutusan Arus Listrik.....	14
Gambar 2.10 Interrupter.....	18
Gambar 2.11 Terminal Utama.....	19
Gambar 2.12 Isolator Pada Interrupting Chamber dan Support.....	20
Gambar 2.13 Rangkaian Pengukuran atas - bawah.....	24
Gambar 2.14 Rangkaian pengukuran atas ground	25
Gambar 2.15 Rangkaian pengukuran bawah ground	25
Gambar 2.16 Rangkaian pengukuran tahanan kontak.....	26
Gambar 2.17 Sifat Fisik Gas SF6.....	29
Gambar 2.18 Kurva Tekanan Uap dan Garis Densitas Ekuivalen SF6.....	29
Gambar 2.19 Perbandingan Tegangan Tembus SF6, Udara, dan Minyak Isolasi	30
Gambar 2.20 Alat Ukur Tekanan Gas SF6	36
Gambar 2.21 Grafik Tahapan Tekanan Gas SF6	38
Gambar 2.22 Circuit Breaker SF6 Gardu Induk Pangkalan Brandan	39
Gambar 2.23 Nameplate pemutus tenaga pbdan-Ingisa	40
Gambar 2.24 Nameplate pemutus tenaga pbdan-bnjai	40
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian.....	47
Gambar 3.2 Diagram satu garis gardu induk pangkalan brandan	48
Gambar 3.3 Bagian diagram satu garis sistem kelistrikan medan-aceh.....	49

Gambar 3.4 Langkah Pengujian Gas SF652

Gambar 4.1 Rangkaian pengukuran keserempakan kontak57



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Jadwal Pemeriksaan/Pengukuran Karakteristik Gas SF6 Pada PMT	31
Tabel 2.2 Perbandingan Beberapa Media Isolasi	33
Tabel 2.3 Konversi Satuan Tekanan	35
Tabel 2.4 Tekanan Gas SF6	42
Tabel 2.5 Standart Kualitas Pengujian Gas SF6	42
Tabel 2.6 Standart Kualitas Pengujian Gas SF6	43
Tabel 2.7 Dekomposisi Produk Gas SF6	44
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	46
Tabel 3.2 Data Beban Pbdan - Bnjai	50
Tabel 3.3 Data Beban Pbdan -Lngsa	51
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Gas SF6 dengan SF6 Analyser	56
Tabel 4.2 Pengujian Keserempakan PMT	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik merupakan suatu kebutuhan yang diperlukan oleh setiap orang, baik yang di pedesaan maupun yang di perkotaan. Sistem Tenaga listrik memiliki tiga bagian, yaitu pembangkit, transmisi, dan distribusi. Dalam penyaluran tenaga listrik yang menghubungkan antara pembangkit dengan beban adalah Gardu Induk. Setiap system kelistrikan di Gardu Induk telah terpasang alat Pemutus Beban (PMT). Keberadaan PMT atau Circuit Breaker berperan sebagai pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat yang sesuai dengan ratingnya. Agar dapat memisahkan bagian-bagian yang bertegangan atau bagian-bagian yang masih aktif diperlukan bahan penyekat atau yang biasa disebut dengan istilah isolasi.

Penggunaan isolasi paling umum adalah SF₆, baik domestic maupun internasional. Sejak 1990-an, industri tenaga listrik ASIA telah menggunakan SF₆ secara luas dalam pemutus sirkuit, gardu gas yang diinsulasi, dan switchgear lain yang digunakan dalam sistem transmisi untuk mengelola tegangan tinggi yang diangkut antara stasiun pembangkit dan pusat beban pelanggan. Seperti halnya sistem jaringan daya listrik di Gardu Induk Pangkalan Brandan memiliki PMT 150kV yang menggunakan Gas SF₆ (Sulphur Hexafluoride) sebagai media isolasi. Tingkatan tekanan SF₆ juga sangat berpengaruh pada kualitas kinerja PMT baik untuk melakukan pemutusan beban maupun pemasukan beban melalui mekanisme atau sistem

penggerak. Akan tetapi operator juga dapat melakukan pemutus secara manual untuk melakukan kepentingan pemeliharaan. Tingkat tekanan gas SF₆ berbeda beda sesuai dengan klasifikasi tipe PMT yang juga dapat dilihat melalui nameplate yang ada pada kontak kerja pemutus beban.

Pemutus Beban (PMT) di setiap gardu induk baik itu bay penghantar, bay kopel, dan juga bay trafo sangatlah penting, begitu juga dengan peran media isolasinya yang dimana harus tetap sesuai dengan tekanan standart yang ada pada nameplate tersebut. Apabila media isolasi pada pemutus beban (PMT) lebih rendah dari standart yang ditentukan, maka media isolasi tersebut tidak maksimal dalam memadamkan busur api yang timbul ketika pemutus beban itu bekerja.

Dalam pelaksanaan pengecekan kesiapan peralatan di pemutus beban (PMT) itu dapat dilaksanakan operator setiap paginya dengan cara visual, melihat, mendengar, dan mencium. Tentunya peran operator disini sangat penting mengingat peralatan tersebut sangat penting dalam melaksanakan tugasnya sebagai pemutus beban.

Dalam penyaluran sistem listrik pada pemutus tenaga tentu harus dilakukan pemeriksaan ataupun pemeliharaan rutin terhadap pemutus tenaga itu sendiri. Adapun pengujian yang dilakukan pada pemutus tenaga (PMT) dalam melakukan pemeliharaan diantaranya pengujian tahanan isolasi, pengujian tahanan kontak. Pengujian isolasi yaitu proses pengukuran dengan suatu alat ukur yang memperoleh besaran tahanan isolasi pemutus tenaga antara bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap badan (case) yang ditanahkan maupun antara terminal masukan dengan terminal keluaran pada fasa yang sama dan nilai resistansinya yang didapatkan tidak boleh melebihi nilai yang telah ditetapkan.

Untuk pengujian tahanan kontak bertujuan mengetahui nilai resistansi pada pemutus tenaga yang diakibatkan adanya titik-titik sambungan yang menyebabkan rugi rugi daya. Keserempakan kontak pemutus tenaga mengetahui waktu kerja PMT pada saat pembebasan (open) atau pemberian (close) tegangan dari batas waktu yang tidak boleh melebihi batas waktu yang telah dditetapkan. Pada dasarnya pengujian yang dilakukan terhadap pemutus tenaga PMT untuk menambah usia peralatan dan menambah kehandalan serta mendeteksi secara dini apabila adanya anomaly di pemutus tenaga, baik di kontak pmt maupun di media isolasi gas SF6 itu sendiri.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah standart kualitas kemurnian gas SF6 sebagai media isolasi pemutus tenaga sudah sesuai?
2. Bagaimana keserempakan kontak pemutus tenaga bermedia gas SF6 dalam pembukaan atau pemasukan beban baik dalam kondisi gangguan ataupun pemeliharaan di gardu induk pangkalan brandan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kemurnian gas SF6 sebagai media isolasi PMT sesuai standartnya
2. Mengetahui kondisi peralatan secara dini serta karakteristik pemutus tenaga dengan media isolasi gas SF6

1.4 Batasan Penelitian

Mengingat begitu banyak luasnya permasalahan tersebut dan adanya berbagai keterbatasan, maka perlu dilakukan pembatasan ruang lingkup pengkajian. Dalam penelitian ini ruang lingkup pengkajian dibatasi pada pokok permasalahan:

1. Membahas tentang Keserempakan kontak pemutus tenaga bermedia isolasi gas SF₆ di Gardu induk Pangkalan Brandan.
2. Membahas mengenai standart kemurnian gas SF₆ dari hasil SF₆ multi analyser di gardu induk Pangkalan Brandan.
3. Hanya membahas PMT 150kv di Gardu Induk Pangkalan Brandan 150Kv.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan gambaran informasi mengenai kondisi tekanan gas SF₆ yang ada di gardu induk pangkalan brandan.
2. Memberikan informasi kelayakan kemurnian gas SF₆ sesuai dengan pedoman pemeliharaan gas SF₆.
3. Untuk dijadikan acuan pembelajaran untuk studi tentang media isolasi gas SF₆ sehingga dapat menjadi bahan pembelajaran bagi penulis dan rekan-rekan yang lain.
4. Mengoptimalkan penyaluran energy secara konstan terhadap pelanggan listrik PLN.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulis pada masing-masing bab adalah sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan

Menjelaskan secara singkat tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah penelitian, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta sistematika pembahasan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan tentang penjelasan mengenai teori-teori yang akan digunakan dalam membuat deskripsi, sintesis serta data-data yang dapat digunakan untuk menganalisa permasalahan. Adapun teori-teori yang akan digunakan bersumber dari jurnal, prosiding, buku dan media lainnya yang dapat membantu teoritis dari penelitian ini.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang penjelasan dalam bentuk skema mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan skripsi.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

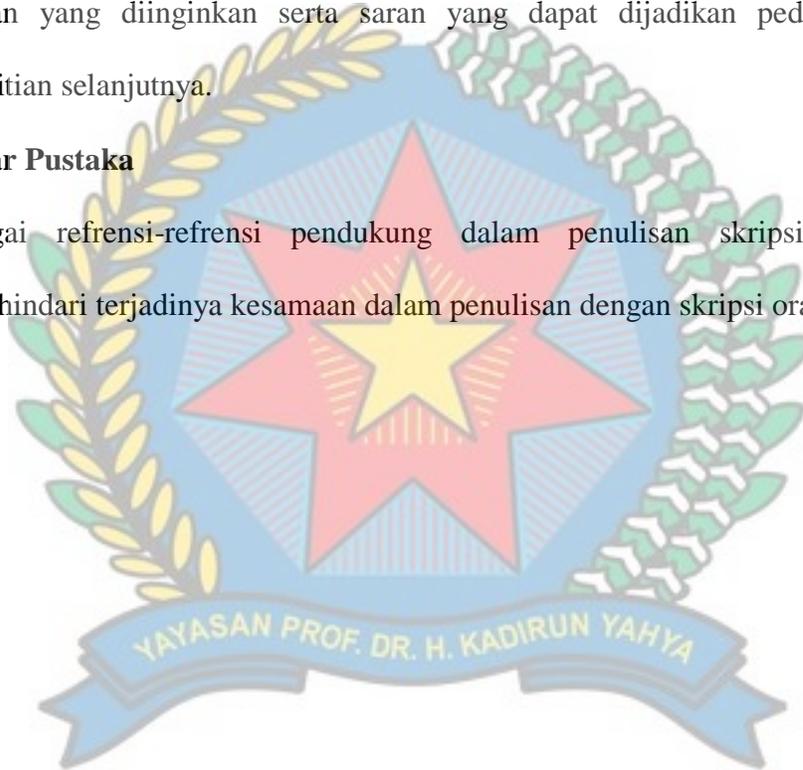
Bab ini untuk teknis pengolahan data untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian sehingga diperoleh suatu hasil yang dapat memecahkan permasalahan tersebut dan tentang penganalisaan terhadap hasil penelitian yang diperoleh.

5. Bab V Penutup

Berisi tentang kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan sesuai dengan yang diinginkan serta saran yang dapat dijadikan pedoman untuk penelitian selanjutnya.

6. Daftar Pustaka

Sebagai referensi-referensi pendukung dalam penulisan skripsi ini untuk menghindari terjadinya kesamaan dalam penulisan dengan skripsi orang lain.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemutus Tenaga (PMT)

Berdasarkan IEC (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 disebutkan bahwa Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi short circuit / hubung singkat.

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain.

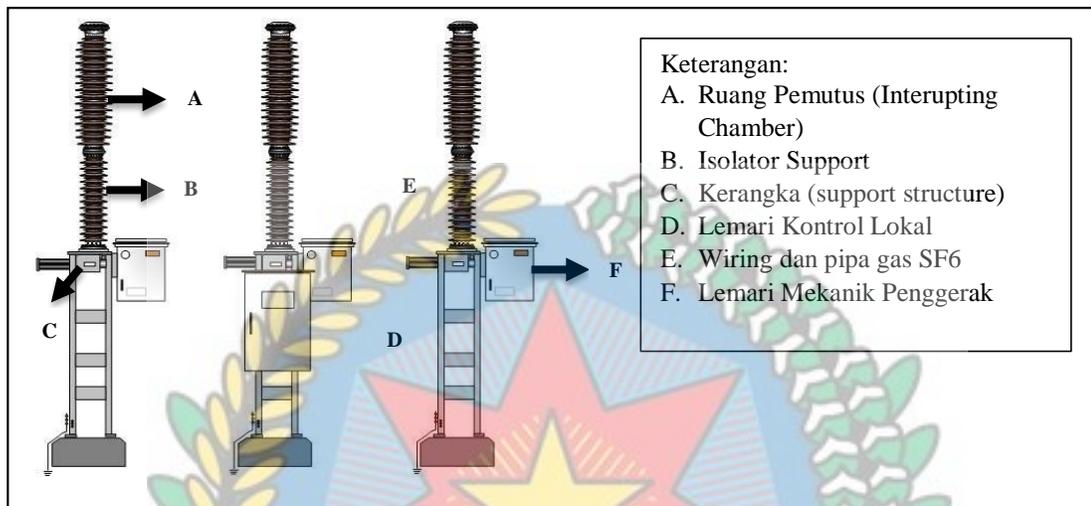
Pemutus Tenaga (PMT) diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan rating, jumlah penggerak, serta media isolasi pemadam busur apinya.

2.1.1 Pemutus Tenaga (PMT) Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak

PMT dapat dibedakan menjadi:

1. PMT Single Pole

PMT ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing pole atau phasa, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bias reclose satu phasa.

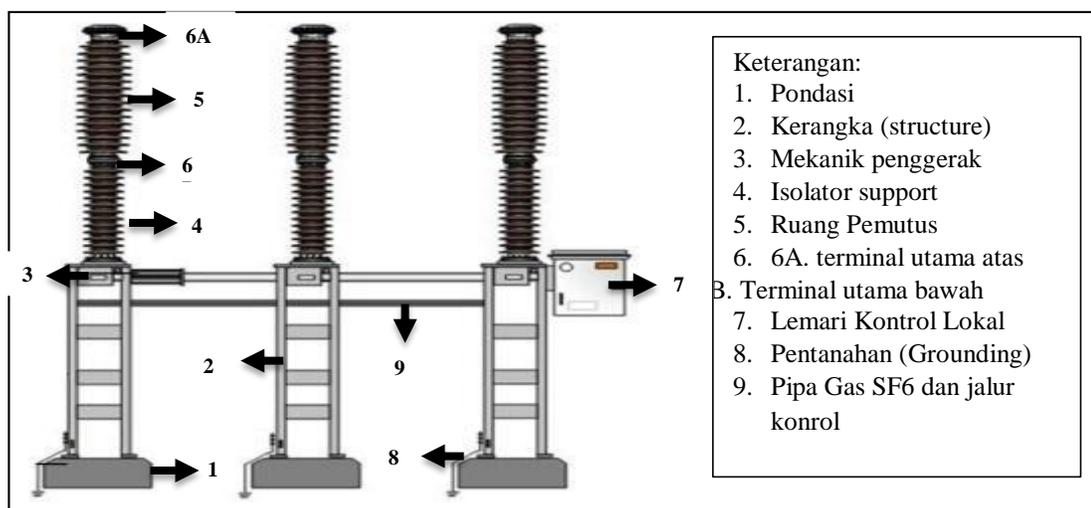


Gambar 2.1 PMT Single-Pole

Sumber : Product manual LTB 72.5-170D1/B

2. PMT Three Pole

PMT ini mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya dilengkapi dengan kopel mekanik, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay trafo dan kopel bus .



Gambar 2.2 PMT Three-Pole

Sumber : Product manual LTB 72.5-170D1/B

2.1.2 Pemutus Tenaga (PMT) Berdasarkan Besar/Kelas Tegangan

PMT dapat dibagi menjadi:

a. PMT Tegangan Rendah (Low Voltage)

Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV (SPLN 1.1995-3.3)

b. PMT Tegangan Menengah (Medium Voltage)

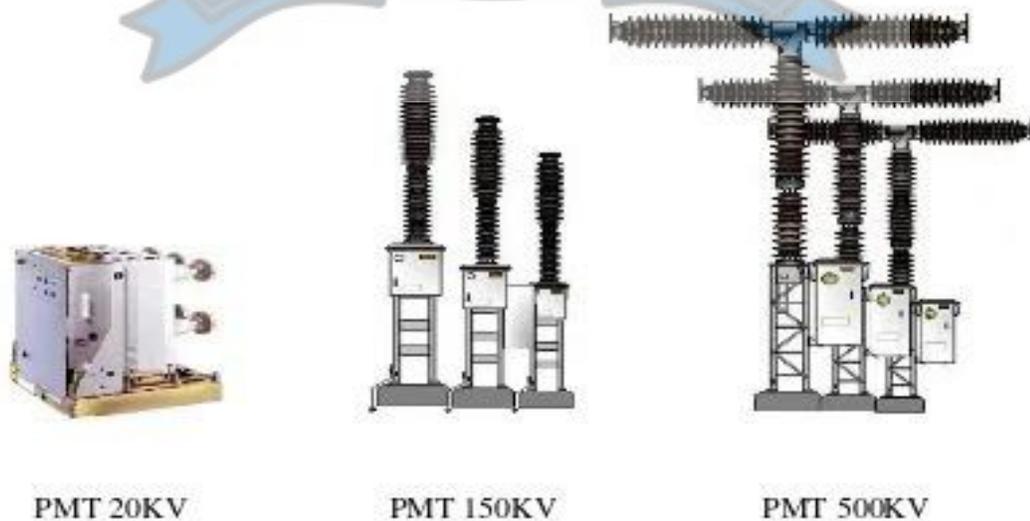
Dengan range tegangan 1 s/d 35 kV (SPLN 1.1995-3.4)

c. PMT Tegangan Tinggi (High Voltage)

Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV (SPLN 1.1995-3.5)

d. PMT Tegangan Extra Tinggi (Extra High Voltage)

Dengan range tegangan lebih besar dari 245 kVAC (SPLN 1.1995-3.6)



Gambar 2.3 Jenis – Jenis PMT

Sumber : Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

2.1.3 Pemutus Tenaga (PMT) Berdasarkan Media Isolasi

PMT memiliki beberapa media isolasi yaitu :

- a) Pemutus Tenaga (PMT) Media Minyak
- b) Pemutus Tenaga (PMT) Media Udara Hembus (Air Blast Circuit Breaker)
- c) Pemutus Tenaga (PMT) Media Vakum (Vacum Circuit Breaker)
- d) Pemutus Tenaga (PMT) Media Gas SF₆ (SF₆ Circuit Breaker)

2.1.4 Pemutus Tenaga (PMT) Media Minyak

PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10kA dan pada rangkaian bertegangan hingga 500 kV.



Gambar 2.4 PMT Bulk Oil

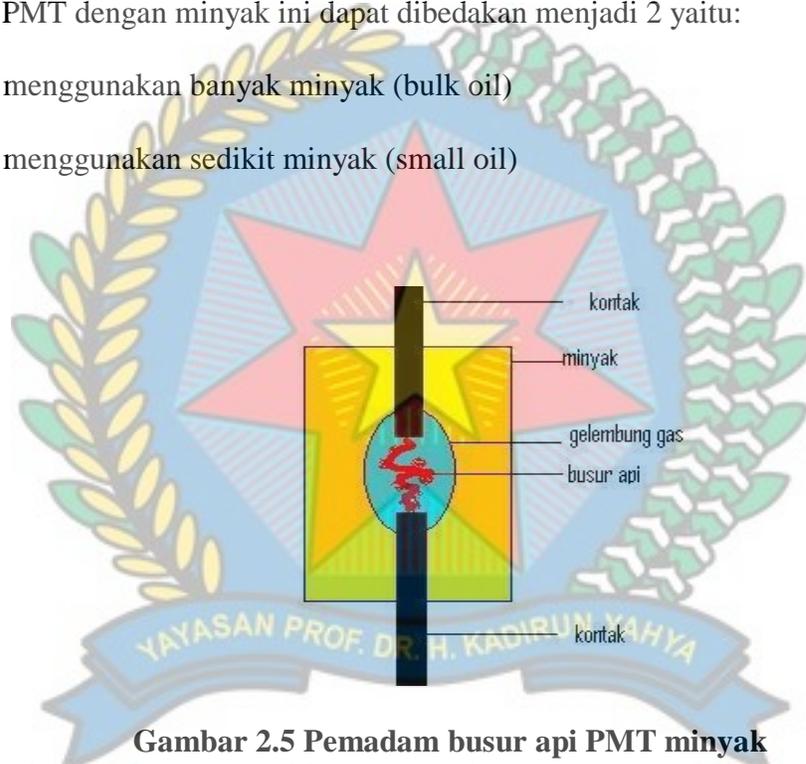
Sumber : Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

Pada saat kontak dipisahkan, busur api akan terjadi didalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gasyang menyelubungi busur api,

karena panas yang ditimbulkan busur api, minyak mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas hydrogen yang bersifat menghambat produksi pasangan ion.

Jenis PMT dengan minyak ini dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

- a) PMT menggunakan banyak minyak (bulk oil)
- b) PMT menggunakan sedikit minyak (small oil)



Gambar 2.5 Pemadam busur api PMT minyak

Sumber: Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

Gas yang timbul karena dekomposisi minyak menimbulkan tekanan terhadap minyak, sehingga minyak terdorong kebawah melalui lebar bilik. Di dalam bilik minyak dan busur api melakukan kontak intim, sehingga akan menimbulkan pendinginan busur api.

2.1.5 Pemutus Tenaga (PMT) Media Udara Hembus

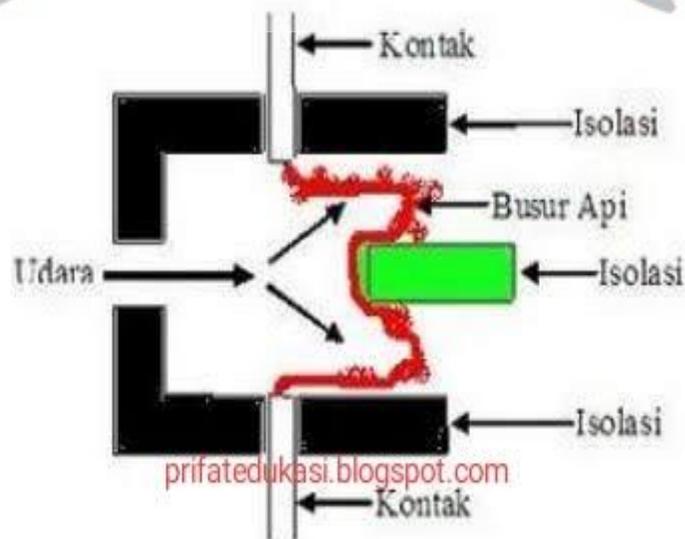
PMT ini dapat digunakan untuk memutuskan arus sampai 40kA dan pada rangkaian bertegangan hingga 765 kV.



Gambar 2.6 PMT Udara Hembus

Sumber : Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

PMT udara hembus dirancang untuk mengatasi kelemahan pada PMT minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisah kontak, sehingga pemisah kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat.



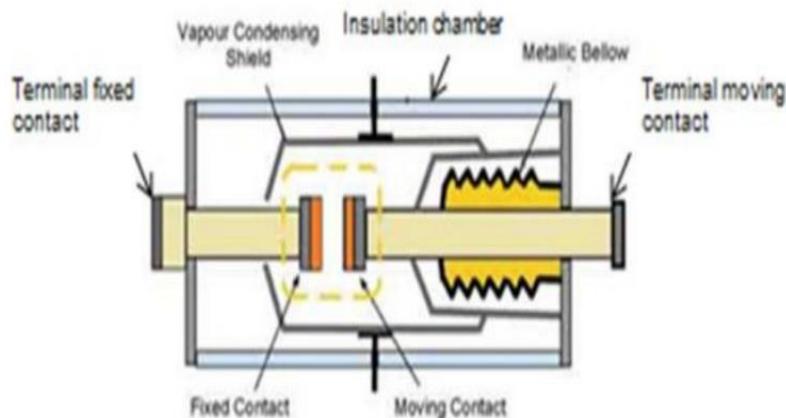
Gambar 2.7 Pemadam Busur Api pada PMT Udara Hembus

Sumber : Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

Kontak pemutus ditempatkan didalam isolator, dan juga kutub hembusan udara. Pada saklar PMT kapasitas kecil, isolator ini merupakan kesatuan dengan PMT, tetapi untuk kapasitas besar tidak demikian halnya.

2.1.6 Pemutus Tenaga (PMT) Media Vakum

PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan hingga 36 kV. PMT jenis vakum ini umumnya digunakan untuk tegangan menengah (24kV). Jarak antara kedua katoda adalah 1 cm untuk 15 kV dan bertambah 0,2 cm setiap kenaikan tegangan 3 kV. Ruang kontak utama tidak dapat dipelihara dan umur kontak utama sekitar 20 tahun. Kontak-kontak pemutus dari PMT ini terdiri dari kontak tetap dan kontak bergerak. Ruang kontak utama terbuat dari bahan porcelain, kaca atau plat baja yang kedap udara. Ruang kedap udara ini mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dan sebagai media pemadam busur api yang baik.



Gambar 2.8 Ruang Kontak Utama PMT Vakum

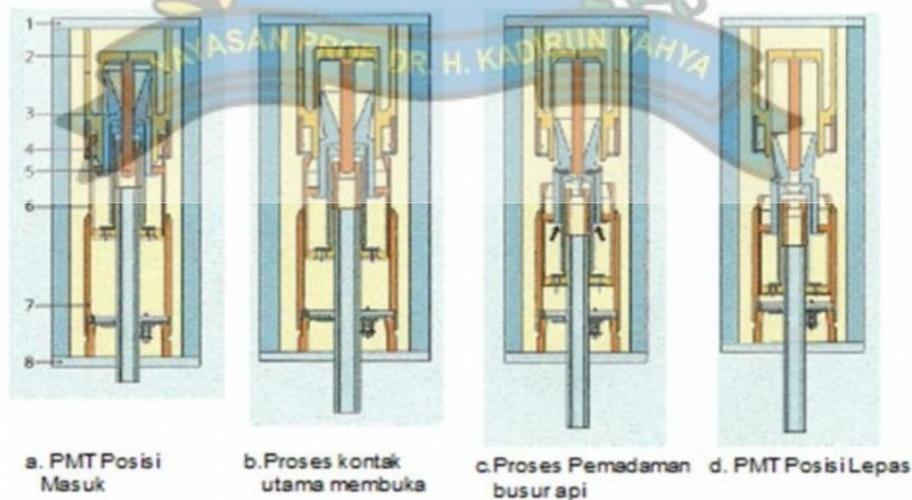
Sumber : Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

2.1.7 Pemutus Tenaga (PMT) Media Gas SF₆

PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan hingga 765 kV. PMT SF₆ dibagi dalam 2 (dua) jenis, yaitu:

a) PMT jenis tekanan Tunggal (single pressure type)

PMT terisi gas SF₆ dengan tekanan kira-kira 5 kg/cm², selama terjadi proses pemisahan kontak-kontak, gas SF₆ ditekan (fenomena thermal overpressure) kedalam suatu tabung/cylinder yang menempel pada kontak bergerak untuk selanjutnya saat terjadi pemutusan, gas SF₆ ditekan melalui nozzle yang menimbulkan tenaga hembusan/tiupan dan tiupan ini yang memadamkan busur api.



Gambar 2.9 PMT SF₆ Saat Proses Pemutusan Arus Listrik

Sumber : Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

Keterangan:

1. Terminal Utama atas (Rod kontak diam)
2. Support Kontak diam

3. Nozzle
4. Kontak Utama (main contact)
5. Arching contact
6. Kontak bergerak
7. Support kontak bergerak
8. Terminal utama bawah

b) PMT jenis tekanan Ganda (double pressure type)

PMT ini terisi gas SF₆ dengan system tekanan tinggi kira-kira 12 kg/cm² dan system tekanan rendah kira-kira 2Kg/cm², pada waktu pemutusan busur api gas SF₆ dari system tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke system tekanan rendah. Gas pada system tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke system tekanan tinggi, saat ini PMT SF₆ sudah tidak diproduksi lagi.

2.1.8 Prinsip Kerja PMT

Pada kondisi normal PMT dapat dipersiapkan local oleh operator untuk maksud switching dan peralatan. Pada kondisi abnormal atau gangguan, Current Tranformer (CT) akan membaca arus lebih yang lewat apabila sudah ditentukan kemudian relay akan mendeteksi gangguan dan menutup rangkaian trip circuit, sehingga trip coil energized, lalu mekanis penggerak PMT akan dapat diperintah buka dari relay dan beroperasi membuka kontak-kontak PMT, maka gangguan pun akan hilang. Mekanis penggerak yang digunakan pada PMT Gardu Induk Pangkalan Brandan adalah menggunakan mekanis penggerak spring.

2.1.9 Proses Terjadinya Busur Api

Pada waktu Pemutusan atau penghubung suatu rangkaian system tenaga listrik maka pada PMT akan terjadi busur api, hal tersebut terjadi karena pada saat kontak PMT dipisahkan, beda potensial diantara kontak akan menimbulkan medan elektrik diantara kontak tersebut.

Arus yang sebelumnya mengalir pada kontak akan memanaskan kontak dan menghasilkan emisi termis pada permukaan kontak. Sedangkan medan elektrik menimbulkan emisi medan tinggi pada kontak katoda. Kedua emisi ini menghasilkan elektron bebas yang sangat banyak dan bergerak menuju kontak anoda. Elektron-elektron ini membentur molekul netral media isolasi dikawasan positif, benturan-benturan ini akan menimbulkan proses ionisasi.

Dengan demikian, jumlah electron bebas yang menuju anoda akan semakin bertambah dan muncul ion positif hasil ionisasi yang bergerak menuju katoda, perpindahan electron bebas ke anoda menimbulkan arus dan memanaskan kontak anoda. Ion positif yang tiba dikontak katoda akan menimbulkan dua efek yang berbeda. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya tinggi, misalnya tungsten atau karbon, maka ion positif akan menimbulkan pemanasan dikatoda

Akibatnya, emisi termis semakin meningkat. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya rendah, misal tembaga, ion positif akan menimbulkan emisi medan tinggi. Hasil emisi termis ini dan emisi medan tinggi akan melenggangkan proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut busur api.

Untuk memadamkan busur api tersebut perlu dilakukan usaha-usaha yang dapat menimbulkan proses deionisasi, antara lain dengan cara sebagai berikut:

- a) Meniupkan udara ke sela kontak, sehingga partikel-partikel hasil ionisasi dijauhkan dari sela kontak.
- b) Menyemburkan minyak isolasi ke busur api untuk memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
- c) Memotong busur api dengan tabir isolasi atau tabir logam, sehingga memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
- d) Membuat medium pemisah kontak dari gas elektro negative, sehingga electron-elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut.

Jika pengurangan partikel bermuatan karena proses deionisasi lebih banyak daripada penambahan muatan karena proses ionisasi, maka busur api akan padam. Ketika busur api padam, disela kontak akan tetap ada terpaan medan elektrik. Jika suatu saat terjadi terpaan medan elektrik yang lebih besar daripada kekuatan dielektrik media isolasi kontak, maka busur api akan terjadi lagi.

2.1.10 Komponen dan Fungsi

a) Primary

Merupakan bagian PMT yang bersifat konduktif dan berfungsi untuk menyalurkan energy listrik dengan nilai losses yang rendah dan mampu menghubungkan / memutuskan arus beban saat kondisi normal / tidak normal.



Gambar 2.11 Terminal Utama

Sumber : penulis 2022

d) Dielectric

Berfungsi sebagai isolasi peralatan dan memadamkan busur api dengan sempurna pada saat moving contact bekerja.

e) Electrical Insulation (isolator)

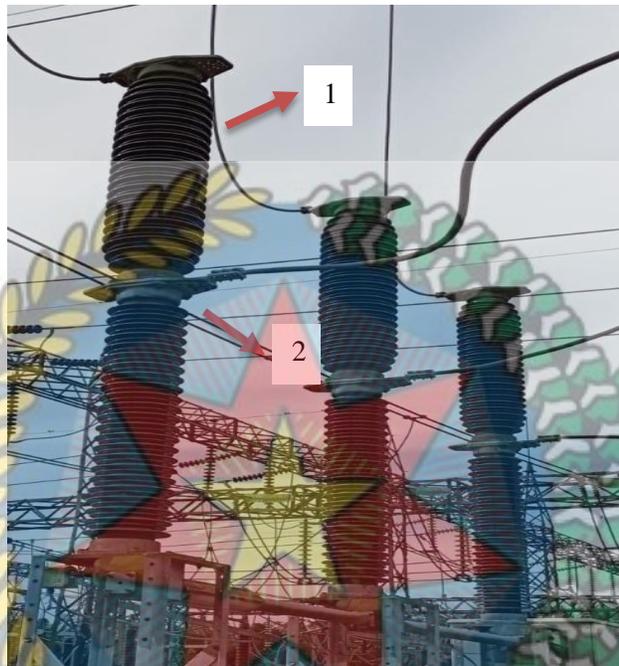
Pada Pemutus Tenaga (PMT) terdiri dari 2 (dua) bagian isolasi yang berupa isolator, yaitu :

- Isolator Ruang Pemutus (Interrupting chamber)

Merupakan isolator yang berada pada ruang pemutus (interrupting chamber) (1).

- Isolator Penyangga (Isolator Support)

Merupakan Isolator yang berada pada penyangga/support (2).



Gambar 2.12 Isolator Pada Interrupting Chamber dan Support

Sumber : penulis 2022

2.2 Pengoperasian PMT Gas SF₆

Pemutus Tenaga (PMT) 150kV bermediakan gas SF₆ dioperasikan untuk membebaskan peralatan gardu induk pada kondisi normal atau saat kondisi gangguan agar tidak bertegangan atau sebaliknya. Pembebasan atau pemasukan tegangan pada peralatan gardu induk dinamakan manuver.

Dalam proses manuver, PMT tidak bekerja sendiri tetapi ada peralatan yang dinamakan pemisah (PMS). PMS ini berfungsi untuk memisahkan peralatan yang ada di gardu induk dengan kondisi tidak berbeban. Berikut proses pengoperasian gas SF₆ yang terdiri dari pembukaan jaringan yang berarti pembebasan tegangan dan penutupan jaringan yang berarti pemberian tegangan.

1. Pembukaan jaringan

Atau yang biasa disebut pembebasan tegangan dilakukan apabila ada suatu gangguan yang terjadi pada peralatan didalam maupun diluar gardu induk atau dalam system transmisi, dan juga apabila akan dilakukan proses pemeliharaan pada peralatan-peralatan didalam maupun diluar gardu induk. Adapun langkah-langkah proses manuver pembebasan tegangan sebagai berikut:

- a. PMT 150kV dilepas
- b. PMS bus dilepas
- c. PMS line dilepas
- d. PMS Ground dimasukkan

2. Penutupan Jaringan

Dilakukan setelah peralatan yang ada didalam maupun diluar gardu induk telah selesai dilaksanakan pemeliharaan ataupun jaringan telah berada dalam kondisi siap diberi tegangan kembali. Adapun langkah-langkah proses manuver pemberian tegangan sebagai berikut:

- a. PMS Ground dilepas
- b. PMS line dimasukkan
- c. PMS bus dimasukkan
- d. PMT 150 kV dimasukkan

2.3 Shutdown Measurement/shutdown function check

Merupakan Pengukuran yang dilakukan pada periode 2 tahunan dalam keadaan peralatan tidak bertegangan (off line). Pengukuran dilakukan bertujuan untuk

mengetahui kondisi peralatan apakah masih layak atau tidak untuk digunakan dengan menggunakan alat ukur. Pengukuran atau pengujian yang dilakukan pada PMT 150kV bermediakan Gas SF₆ meliputi :

- a. Keserempakan kontak PMT
- b. Kelayakan Gas SF₆
- c. Tahanan Isolasi Tahanan Kontak

2.4 Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga

Pemenuhan terhadap nilai sistem tegangan, arus, dan frekuensi, PMT harus dengan kemampuan saat pemutusan (breaking capacity), kemampuan saat penyaluran (making capacity), dan kemampuan saat waktu pendek (short-time capacity). Peningkatan permintaan terhadap penggunaan pemutus tenaga paling andal, telah berdampak kepada tuntutan terhadap penemuan terobosan baru di bidang teknologi media isolasi yang berkaitan dengan cara pemutusan arus melalui pemisahan kontak-kontaknya dengan teknik yang sesuai, sehingga diperoleh beberapa cara dan medium untuk pemadaman busur api.

Ruang pemutusan/penghubungan dipasangkan pada isolator penyangga dan tiap tabung ruang pemutusan terdapat satu unit kontak tetap dan kontak bebas. Kontak bebas digerakkan oleh medium penghubung atau batang penghubung. Mekanisme penggerak pada PMT dengan energi yang dibutuhkan untuk pembukaan atau penutupan kontak-kontak PMT, saat busur api timbul disebabkan oleh kontak-kontak yang teraliri arus yang sebelumnya terpisah menjadi tertutup atau sebaliknya. Keberadaan medium pemadam busur api, maka PMT dibedakan berdasarkan

pemakaian medium tersebut, yaitu PMT bermedia minyak, hampa udara (vacuum), udara hembus (udara bertekanan), dan gas SF6.

2.5 Resistans Diri pada PMT

Keberadaan resistans diri pada PMT berupa resistans isolasi dan kontak. Nilai resistans isolasi suatu PMT digunakan sebagai indikasi keberadaan nilai arus bocor (leakage current) yang terjadi antara bagian terminal bertegangan masukan (incoming) dan/atau keluaran (outgoing) terhadap pembumian. Arus bocor yang tembus melalui isolasi peralatan listrik memang tidak dapat dihindarkan, sehingga diperlukan besar nilai sebagai acuan dalam penetapan sebuah PMT cukup aman untuk diberi tegangan, agar terhindar dari kegagalan isolasi. Nilai resistans isolasi yang sesuai ketentuan sebagai bentuk jaminan kelayakan operasi bagi PMT.

Instalasi tenaga listrik sebagian besar terdiri atas banyak titik sambungan. Sambungan adalah dua atau lebih permukaan dari beberapa jenis konduktor yang bertemu secara fisik, sehingga arus listrik dapat disalurkan tanpa hambatan berarti. Pertemuan beberapa konduktor tersebut, sebagai penyebab keberadaan suatu resistans saat arus teralirkan, sehingga terjadi panas dan sebagai faktor penyebab kerugian teknis. Rugi-rugi tersebut sangat signifikan untuk kondisi nilai resistans kontak cukup tinggi, dimana sambungan antara konduktor dan PMT atau peralatan lain merupakan pembentuk resistans kontak sesuai Hukum Ohm.

Nilai resistans kontak suatu PMT didasarkan kepada acuan awal yang harus disesuaikan dengan petunjuk atau manual operation dari masing-masing pabrik pembuat PMT, karena nilai tersebut dapat berbeda antar merk. Standar General Electric

(G.E.) dengan kisaran 100–350 $\mu\Omega$, standar ASEA dengan nilai lebih kecil atau sama dengan (\leq) 45 $\mu\Omega$, standar Merlin Gerin (M.G.) dengan nilai lebih kecil atau sama dengan (\leq) 35 $\mu\Omega$, dan standar PLN (apabila tidak tercantum di nameplate) dengan nilai lebih kecil atau sama dengan (\leq) 100 $\mu\Omega$.

2.6 Kelayakan Tahanan Isolasi dan Tahanan Kontak Pemutus Tenaga

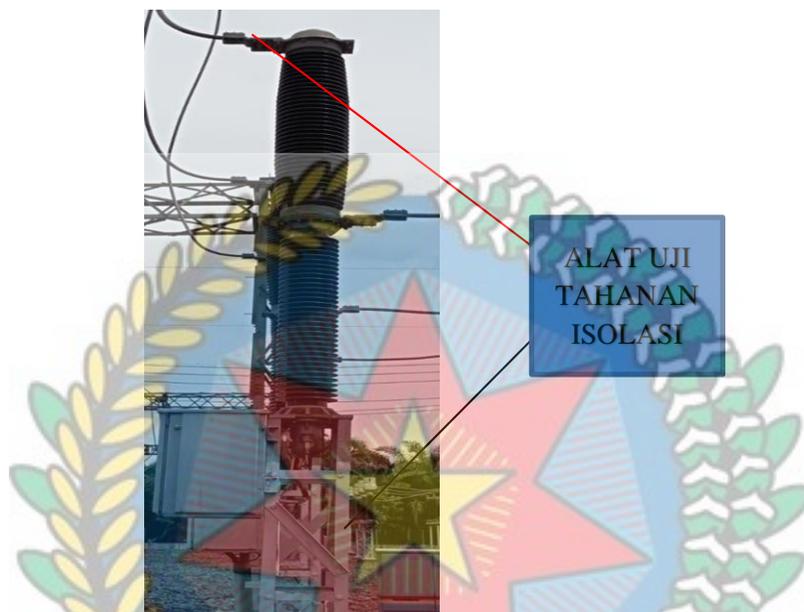
2.6.1 Tahanan Isolasi

Pada dasarnya pengujian tahanan isolasi pemutus tenaga adalah untuk mengetahui besar nilai kebocoran arus yang terjadi antara terminal atas, terminal bawah, dan ground. Posisi PMT pada saat melakukan pengujian tahanan isolasi adalah open. Pada pengujian tahanan isolasi ini terdapat 3 titik ukur pengujian yaitu titik ukur antara terminal atas dengan bawah, titik ukur antara terminal atas dengan ground dan titik ukur antara terminal bawah dengan ground



Gambar 2.13 Rangkaian pengukuran atas - bawah

Sumber : penulis 2022



Gambar 2.14 Rangkaian pengukuran atas - ground
Sumber : penulis 2022

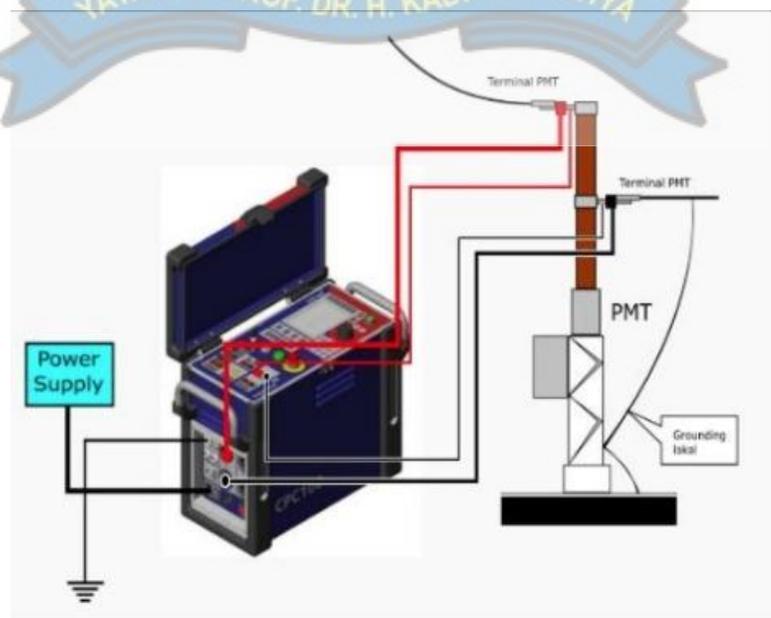


Gambar 2.15 Rangkaian pengukuran bawah - ground
Sumber : penulis 2022

Berdasarkan tahanan isolasi PMT sesuai buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 dan menurut standart VDE (catalogue 228/4) minimum besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung 1kilovolt = 1 Mohm.

2.6.2 Tahanan Kontak

Dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi pada pemutus tenaga yang diakibatkan adanya titik-titik sambungan yang menyebabkan timbulnya rugi-rugi serta untuk memastikan kontak tetap (fixed contact) dan kontak bergerak (moving contact) didalam PMT terhubung dengan baik. Posisi PMT pada saat dilakukannya pengujian tahanan kontak adalah close. Pertemuan dari beberapa konduktor menyebabkan suatu hambatan terhadap arus yang melaluinya sehingga akan terjadi panas dan menjadikan kerugian teknis. Rugi ini sangat signifikan jika nilai tahanan kontaknya tinggi.



Gambar 2.16 Rangkaian pengukuran Tahanan Kontak

Sumber : Ari susanto,dkk,2021

Batasan nilai tahanan kontak PMT berdasarkan standart IEC 60694 nilai $R < 50$ mikro Ohm/120 % nilai FAT. Pengujian tahanan kontak pada pemutus tenaga PMT 150 kV dilakukan dengan 3 kali pengukuran, yaitu 100 A, 200 A, Serta 300 A.

2.7 GAS SF₆

Gas SF₆ (sulfur Hexa Fluorida) merupakan suatu gas bentukan antara unsur sulphur dengan fluor dengan reaksi eksotermis $S + 3 F_2 \rightarrow SF_6 + 262$ kilo kalori. Memiliki kekuatan isolasi yang tinggi disebabkan memiliki afinita (affinity) untuk electron, yaitu bilaman suatu electron bebas bertubrukan dengan molekul gas netral guna membentuk ion negative, electron akan diserap oleh molekul gas netral. Melekatnya electron dengan molekul gas netral itu terjadi dengan dua cara :

- a. $SF_6 + e \rightarrow SF_6^-$
- b. $SF_6 + e \rightarrow SF_5^- + F$

Gas SF₆ adalah unsur campuran gas yang tidak beracun, tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mudah terbakar. Sampai temperatur 500°C, gas ini mempunyai susunan molekul yang sangat stabil mendekati sifat gas mulia, tidak akan terurai dan tidak terjadi reaksi kimia dengan bahan lain. Dibandingkan dengan udara, gas SF₆ memiliki massa 5 kali lebih berat dengan sifat elektronegatif pada gas ini, serta energi ikat yang tinggi, gas SF₆ memiliki kekuatan dielektrik 2 ½ sampai 3 kali dibanding udara.

Stabilitas gas SF₆ begitu baik sehingga tidak menimbulkan adanya perubahan kimia pada temperatur tinggi. Pada media pengisolasi lain seperti minyak, mulai beroksidasi dan rusak.

Gas SF₆ merupakan salah satu media isolasi yang baik, dapat berfungsi sebagai penyekat antara bagian bertegangan dengan ground hanya dengan jarak yang sangat pendek jika di bandingkan dengan isolasi udara. Selain itu jika terjadi percikan api / busur api pada peralatan yang di isolasi gas SF₆, maka gas tersebut akan berfungsi sebagai pemadam busur api, sehingga tidak terjadi kerusakan yang lebih parah pada peralatan tersebut.

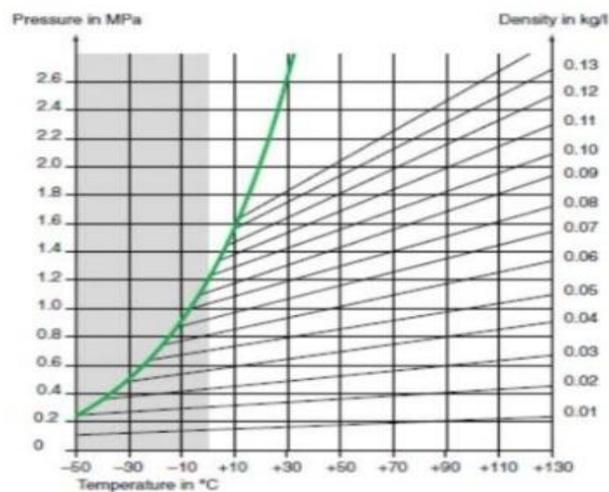
Sebagai isolasi, gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara dan kekuatan dielektrik ini bertambah seiring dengan penambahan tekanan. Umumnya PMT jenis ini merupakan tipe tekanan tunggal (single pressure type), dimana selama operasi membuka atau menutup PMT, gas SF₆ ditekan ke dalam suatu tabung/silinder yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan, gas SF₆ ditekan melalui nozzle dan tiupan ini yang mematikan busur api. Sakelar PMT SF₆ dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765kV.

Oleh karena kelebihan-kelebihan yang dimilikinya tersebut maka gas SF₆ banyak dipakai dalam bidang teknik elektro seperti pada switch gear tegangan tinggi, kabel tegangan tinggi dan seluruh transmisi serta pada trafo daya.

1. Sifat Fisik



Gas SF₆ murni (pada tekanan absolut = 1 Atm dan temperature = 20 °C) tidak berwarna, tidak berbau dan tidak beracun dengan berat isi 6.139 kg/m³ dan sifat lainnya adalah mempunyai berat molekul 146.7g temperature kritis 45.55 °C dan tekanan absolut kritis 3.78 MPa.



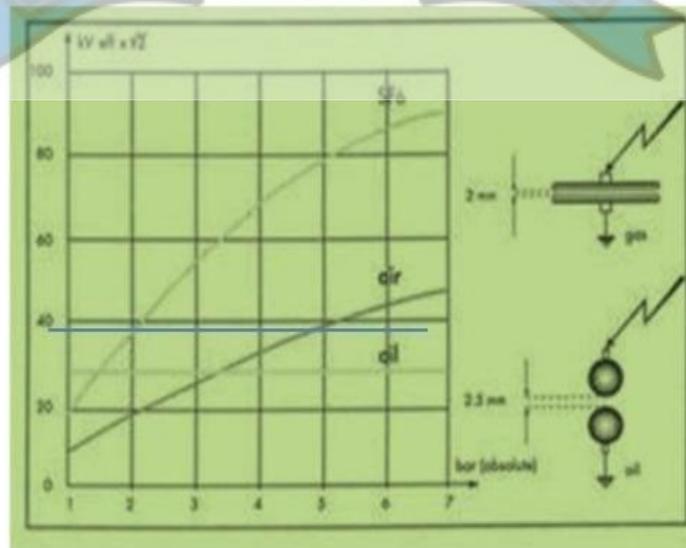
Gambar 2.18 Kurva Tekanan Uap dan Garis Densitas Ekuivalen SF6
Sumber : Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

2. Sifat Kimia

Sifat Kimia Gas SF₆ sangat stabil, pada ambient temperature dapat beruoa gas netral dan juga sifat pemanasannya sangat stabil. Pada temperature diatas 150 °C mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam-macam bahan umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi.

3. Sifat Listrik

Sebagai isolasi listrik, gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi, 2,35 kali kekuatan dielektrik udara dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan dan mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat setelah arus bunga api melalui titik nol.



Gambar 2.19 Perbandingan Tegangan Tembus SF₆, Udara tekanan 1atm (air) dan Minyak Isolasi (oil)

Sumber : Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

Periode dan kegiatan pemeliharaan gas SF6 dilaksanakan mengikuti jadwal berikut:

Tabel 2.1 Jadwal Pemeriksaan/Pengukuran Karakteristik Gas SF65 pada PMT

NO	PEMERIKSAAN/PENGUKURAN	PERIODE	KETERANGAN
01	Pemeriksaan Tekanan Gas (<i>Pressure Gas</i>)	A. Bulanan (visual / pembacaan)	Alat ukur yang terpasang permanen pada PMT
		B. 2 Tahunan (Pengukuran)	Alat ukur yang tidak terpasang pada PMT
02	Pengukuran Kerapatan/Kepadatan (<i>Gas Density</i>)	A. Bulanan (visual / pembacaan)	Untuk PMT yang terpasang alat ukur
		B. 2 Tahunan (Pengukuran)	Untuk PMT yang tidak terpasang alat ukur
03	Pengukuran Kelembapan (<i>Gas Moisture</i>)	2 Tahunan dan jika diperlukan	Dengan alat Dew Point Meter
04	Pengujian Pressure Switch	2 Tahunan dan jika diperlukan	Uji Fungsi: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aalrm ▪ Block/Trip
05	Pengukuran Kemurnian Gas (<i>Gas Impurity</i>)	12 Tahun dan jika diperlukan	Dengan alat Purity Test Meter
06	Dekomposisi Produk	Jika diperlukan	Descoposition Products Test

2.7.1 Karakteristik Gas SF6

Seiring perkembangan teknologi, maka dikembangkan suatu metode pengisolasian dengan gas pada akhir tahun 1970-an dengan penelitian terhadap gas SF6 sudah dicapai tahap komersial dan mulai dimanfaatkan sebagai media pada pemutus tenaga tegangan

tinggi. Gas SF₆ sekarang ini cukup banyak digunakan sebagai isolasi. Alasan penggunaan gas SF₆ sebagai media isolasi, yaitu: andal dan ekonomis.

a. Andal

Penggunaan gas SF₆ pada PMT, adalah untuk penyelesaian permasalahan pada switching overvoltages.

b. Ekonomis. Biaya pemeliharaan yang lebih murah, karena hanya diperlukan pengecekan ulang terhadap gas untuk jangka waktu operasional yang cukup lama (sekitar 10 sampai 20 tahun kemudian).

Stándar IEC 376 dengan peruntukan khusus dalam penggunaan gas SF₆ baru pertama kali digunakan dengan kemurnian 99,99% dan kandungan unsur-unsur lain berupa Carbon Tetra Fluoride (CF₄) dengan konsentrasi sebesar 0,03%, oksigen dan nitrogen (udara) dengan konsentrasi sebesar 0,03%, kandungan air 15 ppm, dan kandungan Hydrogen Fluoride (HF) sebesar 0,3 ppm. Standar IEC 480 untuk petunjuk pemeriksaan terhadap gas SF₆ pada peralatan listrik. Penguraian unsur dari gas SF₆ terjadi pada saat kontak yang teraliri arus menjadi terbuka, dimana busur api yang timbul bertemperatur lebih besar 500 °C, maka gas SF₆ terurai menjadi unsur sulfur, fluoride, SF₂, dan unsur SF₄.

Semua unsur terurai tersebut berkombinasi kembali menjadi unsur SF₆ seperti semula setelah temperatur kembali ke temperatur ruang. Berfungsi sebagai media isolasi dan pemadam busur api pada peralatan listrik, maka diperlukan tekanan gas SF₆ pada kisaran 5-6 bar. Perbandingan beberapa media isolasi. Seperti ditunjukkan pada table dibawah ini:

Tabel 2.2 Perbandingan beberapa media isolasi

Media Isolasi	Rating Tegangan	Rating Arus	Kapasitas Pemutusan	Metode Pemutusan	Pemanfaatan
Udara Biasa	< 1 kV	Hingga 400 A	16 kA	Busur api padam dengan sendirinya	PMT tegangan rendah
Minimum Oil (Less Oil)	Sampai 20 kV	Hingga 1250 A	50 kA	Busur api dipadamkan oleh keberadaan minyak	PMT Tegangan sampai 24 kV
Vakum Udara	Sampai 72 kV	Hingga 5000 A	50 kA	Busur api dicegah, karena kondisi kevakuman	PMT Tegangan hingga 72 kV
Gas SF ₆	Sampai 800 kV	Hingga 5000 A	50 kA	Busur Api ditarik oleh keberadaan SF ₆	PMT tegangan tinggi/ekstra tinggi

2.7.2 Implementasi Gas SF₆ Bertekanan pada Pemutus Tenaga

Gas SF₆ digunakan sebagai media pemadaman busur api dengan prinsip, bahwa mekanisme pemadaman busur api pada pemutus tenaga bermedia gas SF₆ hampir sama dengan pemutus tenaga semburan udara atau udara bertekanan (air blast circuit breaker). Hakikat perbedaannya terletak pada keadaan gas SF₆ tidak dilepas ke atmosfer dan kecepatan hembusan gas SF₆ lebih rendah dibandingkan dengan pemutus tenaga semburan udara. Berdasarkan hal itu, elemen pemutus tenaga dimasukkan ke dalam tangki tekanan rendah. Berkenaan dengan sifat-sifat SF₆ tersebut, maka gas SF₆ merupakan pemadam busur api yang baik, karena:

- a. tidak diproduksi karbon selama proses pemadaman busur api,
- b. tidak terdapat bahaya ledakan,
- c. konduktivitas termal baik,
- d. nilai kuat dielektrik tetap

2.7.3 Keserempakan Kontak Bebas saat Pembukaan atau Penutupan

Saat pada PMT terjadi tripping akibat terjadi suatu gangguan pada sistem tenaga listrik, PMT diharapkan beroperasi dengan cepat, sehingga clearing time yang diharapkan [4],[5], sesuai standar SPLN No. 52-1 1983, untuk sistem 70 kV sebesar 150 millidetik dan SPLN No. 52-1 1984, untuk sistem 150 kV sebesar 120 millidetik. Pengukuran keserempakan PMT perlu selalu dimonitor secara rutin dan berkala. Hal itu berkenaan dengan kondisi dimana PMT tidak tripping secara serempak, dapat sebagai penyebab gangguan, bahkan ledakan yang tidak diinginkan.

Untukantisipasi hal itu, pada PMT dilengkapi dengan sistem proteksi pole discrepancy, yaitu sejenis relai proteksi dengan perintah penjatuhan (tripping order) kepada ketiga pole fase PMT, apabila terdapat salah satu atau dua pole dari ketiga fase PMT yang gagal masuk. Untuk penentuan keserempakan saat pembukaan atau penutupan, dihitung berdasarkan selisih waktu antar fase dengan penggunaan standar yang berlaku di lingkungan PLN yang didasarkan kepada rekomendasi ALSTHOM, yaitu $\Delta t < 10$ milidetik (ms).

2.7.4 Pemeriksaan Tekanan/Kerapatan Gas

Pemeriksaan tekanan/kerapatan gas SF₆ pada PMT konvensional (Gardu Induk P.Brandan) dilakukan untuk mengetahui apakah tekanan/kerapatan gas SF₆ masih berada pada batas tekanan ratingnya (rated pressure).

Adapun konversi satuan tekanan yang umumnya digunakan:

Tabel 2.3 Tabel Konversi Satuan Tekanan

Item	Pa	Bar	Kg/cm ² at	Atm	Lbf/in ² = Psi
1 Pa	1	10 ⁻⁵	10,2x10 ⁻⁶	9,86x10 ⁻³	145,05x10 ⁻⁶
1 Bar	10 ⁵	1	1,02	0,987	14,505
1 Kg/cm ² = 1at (atmosfir teknik)	9,81x10 ⁵	0,981	1	0,968	14,224
1 atm = atmosfir fisika	1,01x10 ⁶	1,013	1,033	1	14,7
1 lbf/in ² = 1 Psi	6,89x10 ³	6,89x10 ³	0,0703	6,8x10 ⁻²	1

1 Bar = 100 kPa = 0,1 Mpa – 1,02 kg / cm² at

Pelaksanaan pemeriksaan tekanan / kerapatan gas SF₆ dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara yaitu :

- a) Pemeriksaan langsung yaitu pembacaan nilai tekanan / kerapatan dapat langsung dibaca pada alat ukur (*pressure gauge/density meter*) yang terpasang permanen pada PMT

- b) Pemeriksaan tidak langsung yaitu pembacaan nilai tekanan/kerapatan tidak dapat langsung harus terlebih dulu dipasang akat ukurnya, karena tidak terpasang alat ukur secara permanen.



Gambar 2.20 Alat Ukur Tekanan Gas SF6

Sumber : penulis 2022

Alat ukur yang digunakan untuk pemeriksaan tekanan gas tersebut baik yang terpasang permanen maupun yang tidak, ada dua macam yaitu yang pertama adalah alat ukur yang hanya dapat mengukur tekanan gas saja (standard pressure) dan alat yang digunakan adalah PMT 150kV.

Hasil pembacaan kedua alat ini juga berbeda, yang pertama berupa angka dan yang kedua berupa induksi warna.

Keterangan :

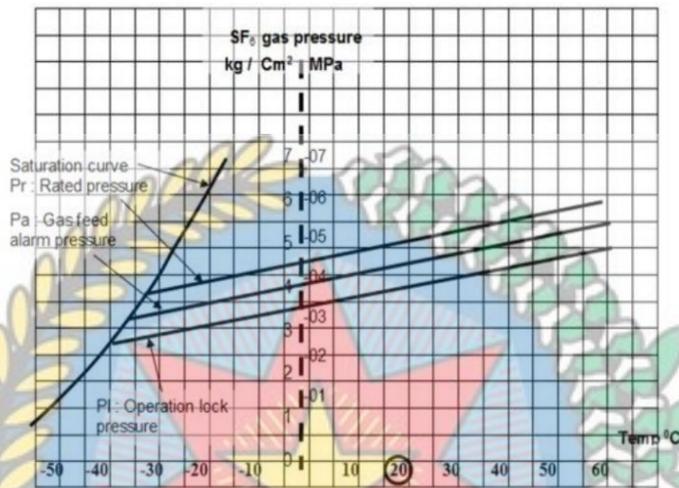
- Warna Hijau menandakan gas SF₆ keadaan sangat baik
- Warna Merah menandakan kerapatan gas dibawah abnormal

Gas SF₆ juga ada yang mengalami kebocoran, kebocoran gas SF₆ tersebut dapat mengakibatkan menurunnya tekanan dan selanjutnya dapat mempengaruhi unjuk kerja PMT (bocor halus dan dalam waktu lama). Untuk mengetahui titik letak kebocoran gas SF₆ pada PMT dapat dilakukan dengan cara tradisional (melalui pendengaran, busa sabun) dan dengan alat deteksi kebocoran /leakage detector.

Pada setiap PMT dilengkapi dengan alat pengaman tekanan gas yaitu pressure switch yang berfungsi untuk memberikan informasi tekanan alarm dan tekanan minimal gas SF₆.

Ada 3 (tiga) tahapan tekanan gas SF₆ yang harus diketahui, yaitu:

- a) Tekanan normal (Filling rated pressure for the insulation)
- b) Tekanan alarm (Alarm pressure for the insulation)
- c) Tekanan blok / trip (Minimal pressure for insulation)



Gambar 2.21 Grafik Tahapan Tekanan Gas SF6

Sumber: Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer GI (0520-K/DIR/2014)

Jika diketahui terjadi kebocoran gas SF6 pada PMT (biasanya kebocoran sangat kecil yang susah ditemukan titik bocornya) langkah penanggulangannya adalah dengan menambah tekanan gas SF6.

2.7.5 Kelebihan dan Kekurangan Pemutus Tenaga Media Gas SF6

Adapun kelebihan dan kekurangan gas SF6 dapat dilihat dibawah ini:

Kelebihan:.

- a) Tekanan SF6 sebagai pemadam busur api maupun sebagai pengisolasi dapat dengan mudah dideteksi.
- b) Penguraian pada waktu memadamkan busur api maupun pembentukannya kembali setelah pemadaman adalah menyeluruh.
- c) Mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, setelah arus bunga api listrik melalui titik nol.

- d) Karakteristik gas SF₆ adalah elektro negative sehingga penguraianya menjadi dielektripnya naik secara bertahap.
- e) Transien frekuensi yang tinggi akan naik selama operasi pemutusan dan dengan adanya hal ini busur api akan dipadamkan pada saat nilai arusnya rendah.
- f) Selain itu PMT ini jenis yang simple (tidak memakan banyak tempat).



Gambar 2.22 Circuit Breaker SF₆ Gardu Induk P.Brandan

Sumber : penulis 2022

Kekurangan :

- a) Relatif lebih mahal dari segi pembiayaan.
- b) Walaupun dalam jumlah yang kecil, apabila terjadi kerusakan maka membutuhkan waktu yang lama untuk melakukan perbaikan.
- c) Gas SF₆ harus dipompa kedalam tabung penyimpanan apabila ada penelitian dan maintenance.

- d) Karena titik lelehnya sangat rendah yaitu 100 celcius dan tekanan 1,520 kN/m², maka perlu dipakai alat ukur suhu untuk pengontrolan (Elvansyah, 2016)

2.7.6 Data Circuit Breaker SF6 di GI P.Brandan

Adapun rated spesifikasi PMT sebagai berikut:

- a. Pemutus Tenaga PBDAN – LNGSA

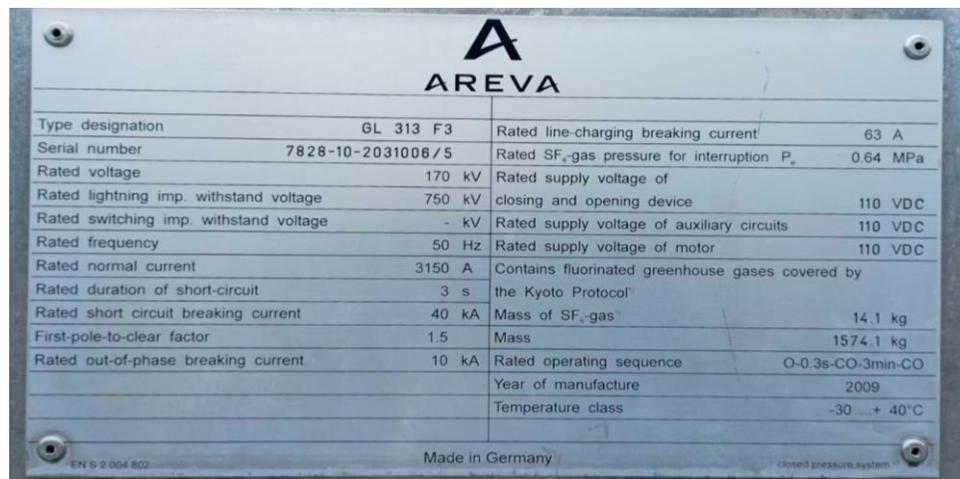


AREVA			
Type designation	GL 313 F3	Rated line-charging breaking current	63 A
Serial number	7828-10-2031006/2	Rated SF ₆ -gas pressure for interruption P ₀	0.64 MPa
Rated voltage	170 kV	Rated supply voltage of closing and opening device	110 VDC
Rated lightning imp. withstand voltage	750 kV	Rated supply voltage of auxiliary circuits	110 VDC
Rated switching imp. withstand voltage	- kV	Rated supply voltage of motor	110 VDC
Rated frequency	50 Hz	Contains fluorinated greenhouse gases covered by the Kyoto Protocol	
Rated normal current	3150 A	Mass of SF ₆ -gas	14.1 kg
Rated duration of short-circuit	3 s	Mass	1574.1 kg
Rated short circuit breaking current	40 kA	Rated operating sequence	O-0.3s-CO-3min-CO
First-pole-to-clear factor	1.5	Year of manufacture	2009
Rated out-of-phase breaking current	10 kA	Temperature class	-30 ... + 40°C
Made in Germany			

Gambar 2.23 Nameplate Pemutus Tenaga PBDAN-LNGSA

Sumber : penulis 2022

- b. Pemutus Tenaga PBDAN-BNJAI



AREVA			
Type designation	GL 313 F3	Rated line-charging breaking current	63 A
Serial number	7828-10-2031006/5	Rated SF ₆ -gas pressure for interruption P ₀	0.64 MPa
Rated voltage	170 kV	Rated supply voltage of closing and opening device	110 VDC
Rated lightning imp. withstand voltage	750 kV	Rated supply voltage of auxiliary circuits	110 VDC
Rated switching imp. withstand voltage	- kV	Rated supply voltage of motor	110 VDC
Rated frequency	50 Hz	Contains fluorinated greenhouse gases covered by the Kyoto Protocol	
Rated normal current	3150 A	Mass of SF ₆ -gas	14.1 kg
Rated duration of short-circuit	3 s	Mass	1574.1 kg
Rated short circuit breaking current	40 kA	Rated operating sequence	O-0.3s-CO-3min-CO
First-pole-to-clear factor	1.5	Year of manufacture	2009
Rated out-of-phase breaking current	10 kA	Temperature class	-30 ... + 40°C
Made in Germany			

Gambar 2.23 Nameplate Pemutus Tenaga PBDAN-LNGSA

Sumber : penulis 2022

2.7.7 Dampak SF6

Adapun bahaya atau dampak yang di timbulkan gas SF6 antara lain :

1. Terhadap Manusia

- a. Pencemaran Gas SF6 adalah mengandung racun yang berakibat pada kulit, mata dan dapat merusak selaput lendir dan bila terpegang lama akan mengganggu pangkal tenggorokan dan gangguan paru-paru, hati dan peredaran napas terhenti seperti pingsan.
- b. Dengan suatu konsentrasi SF6 melebihi 35% volume dalam udara itu berbahaya dan dapat berakibat mati lemas kekurangan oksigen

2. Terhadap Peralatan

- a. Dalam kurun waktu yang tertentu akan terjadi pengapuran pada Kontak-kontak metalik dan terjadi pegumpalan berupa serbuk.

2.8 Pengukuran/Pengujian Gas SF6

2.8.1 Pengujian Tekanan Gas SF6

Pemeriksaan tekanan/kerapatan gas SF6 pada PMT konvensional/GIS dilakukan untuk mengetahui apakah tekanan/kerapatan gas SF6 masih berada pada batas tekanan taringnya (rated pressure). Batas atas tekanan gas SF6 pada Pemutus Tenaga dapat berbeda untuk setiap merk sesuai dengan buku petunjuk/manual dari pabrikan.

Berikut merupakan daftar untuk beberapa merk pada suhu 20°C di Gardu induk Pangkalan Brandan.

Tabel 2.4 Tekanan Gas SF6

Merk PMT	Tekanan Gas SF6 Pemutus Tenaga pada Pengoprasian		
	Tekanan Normal (Rate Pressure)	Alarm tahap 1 (SF6 harus ditambah)	Alarm Tahap 2 (PMT Trip/block)
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
AREVA	0.64	0.54	0.51
AEG	0.68	0.58	0.55
ABB	0.80	0.72	0.69

2.8.2 Pengujian Kualitas Gas SF6

Pengujian kualitas gas SF6 dilaksanakan untuk mengetahui karakteristik gas SF6 apabila masih dapat dikatakan layak digunakan sebagai dielektrik/media isolasi. Standart nilai kualitas Gas SF6 menurut ASTM 2472, IEC 376 dan ASG TYPICAL adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5 Standart Pengujian Kualitas Gas SF6

Component	ASTM 2472	IEC 376	ASG TYPICAL
Sulfurhexafluoride (by wt.)	99.8%	99.8%	99.9%
Water (vol %)	8 ppmv	15 ppmv	5 ppmv
Dew Point	-62°C	-40°C	-65°C
Hydrolyzable Fluorides (HF)	0.3 ppmw	1.0 ppmw	0.3 ppmw
Air (wt %)	500 ppmw	500 ppmw	200 ppmw

Carbon Tetrafluoride (CF ₄) (wt.%)	500 ppmw	500 ppmw	200 ppmw
--	----------	----------	----------

Pengujian karakteristik dari gas SF₆ mengacu pada standart IEC dan pabrikan seperti table dibawah ini :

Tabel 2.6 Standart pengujian Kualitas Gas SF₆

Uraian	Satuan	Batasan
Beras jenis Gas (Gas density) pada temp. 20°C 1 bar	Kg/l	$6,16.10^{-3}$
Suhu Kritis (Critical Temperature)	°C	45.6
Degree of purity,	%	Min. 99
-SF ₆	%	Max. 0,05
-Carbon tetrafluoride (CF ₄)	%	Max. 0,05
-Oxygen + Nitrogen (udara)	Ppm	Max. 15
-Water (H ₂ O)	Ppm	Max. 0,3
-Acidity expressed as HF	ppm	Max 1,0
-Hidrolysable fluorides, expressed Asa HF		

Dikarenakan tidak semua parameter pengujian tersebut diatas diperlukan untuk pengujian, maka mengacu pada CIGRE 234 TF.B3.02/01:2003 (SF₆ recycling guide – revision 2003) ditentukan parameter yang secara praktikal dipakai pengujian untuk justifikasi kondisi gas SF₆. Yaitu sebagai berikut :

a) Purity

Menunjukkan oersentase kadar kemurnian gas SF₆. Kadar kemurnian gas SF₆ tidak memungkinkan mencapai 100%. Hal ini karena adanya beberapa kontaminan. Batas Purity gas SF₆ adalah 97%.

b) Decomposition Product

Merupakan hasil turunan gas SF₆ akibat suhu tinggi yang disebabkan adanya electric discharge (corona, spark dan arching). Decomposition Product dapat berupa gas dan padat, dalam jumlah besar bersifat korosif dan beracun.

Batas maksimum konsentrasi gas-gas hasil dekomposisi SF₆ adalah sebagai berikut:

Tabel 2.7 Dekomposisi Produk Gas SF₆

Decomposition Product	Batas Maksimum
SF ₄ , WF ₆	100 ppmv
SOF ₄ , SO ₂ F ₂ , SOF ₂ , SO ₂ , HF	2000 ppmv

Apabila alat uji kualitas gas SF₆ tidak bias mendeteksi konsentrasi masing-masing gas hasil dekomposisi maka batas maksimum konsentrasi total decomposition product adalah 2000 ppmv.

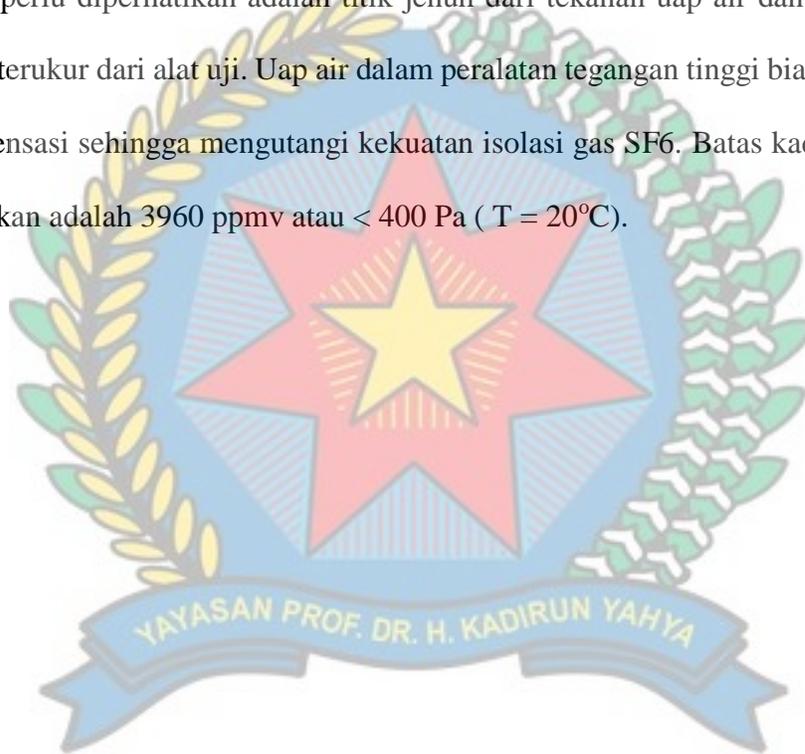
c) Dew Point

Suhu dimana uap air dalam gas tersebut berkondensasi (berubah menjadi zat cair).

Batas Dew point untuk gas SF₆ kurang dari -5 °C.

d) Moisture Content

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kandungan atau kadar uap air. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah titik jenuh dari tekanan uap air dan tekanan gas yang terukur dari alat uji. Uap air dalam peralatan tegangan tinggi bias mengalami kondensasi sehingga mengurangi kekuatan isolasi gas SF₆. Batas kadar uap yang diijinkan adalah 3960 ppmv atau $< 400 \text{ Pa}$ ($T = 20^\circ\text{C}$).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Dalam pelaksanaan penelitiandan penulisan tugas akhir ini dilakukan dengan pengambilan data langsung di PT.PLN (Persero) UPT Medan Gardu Induk Pangkalan Brandan 150kV.

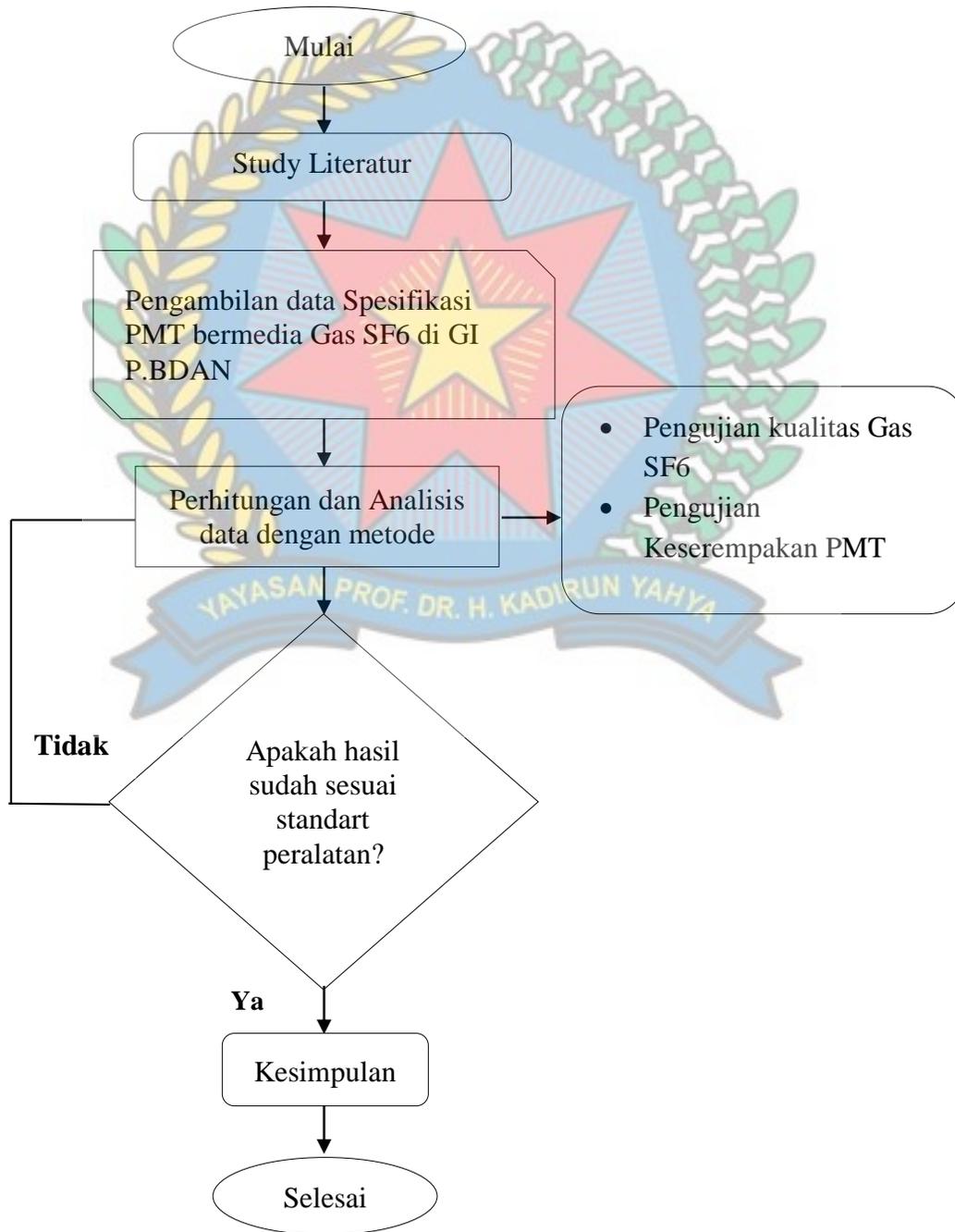
3.1.2 Waktu

Waktu Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari bulan Maret 2022 hingga selesai.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

NO	Uraian Kegiatan	Waktu					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul						
2	Studi Literatur						
3	Penulisan BAB I s/d BAB III						
4	Seminar Proposal						
5	Penelitian dan Pengambilan Data						
6	Pengolahan Data						
7	Penyelesaian Penulisan						
8	Sidang						

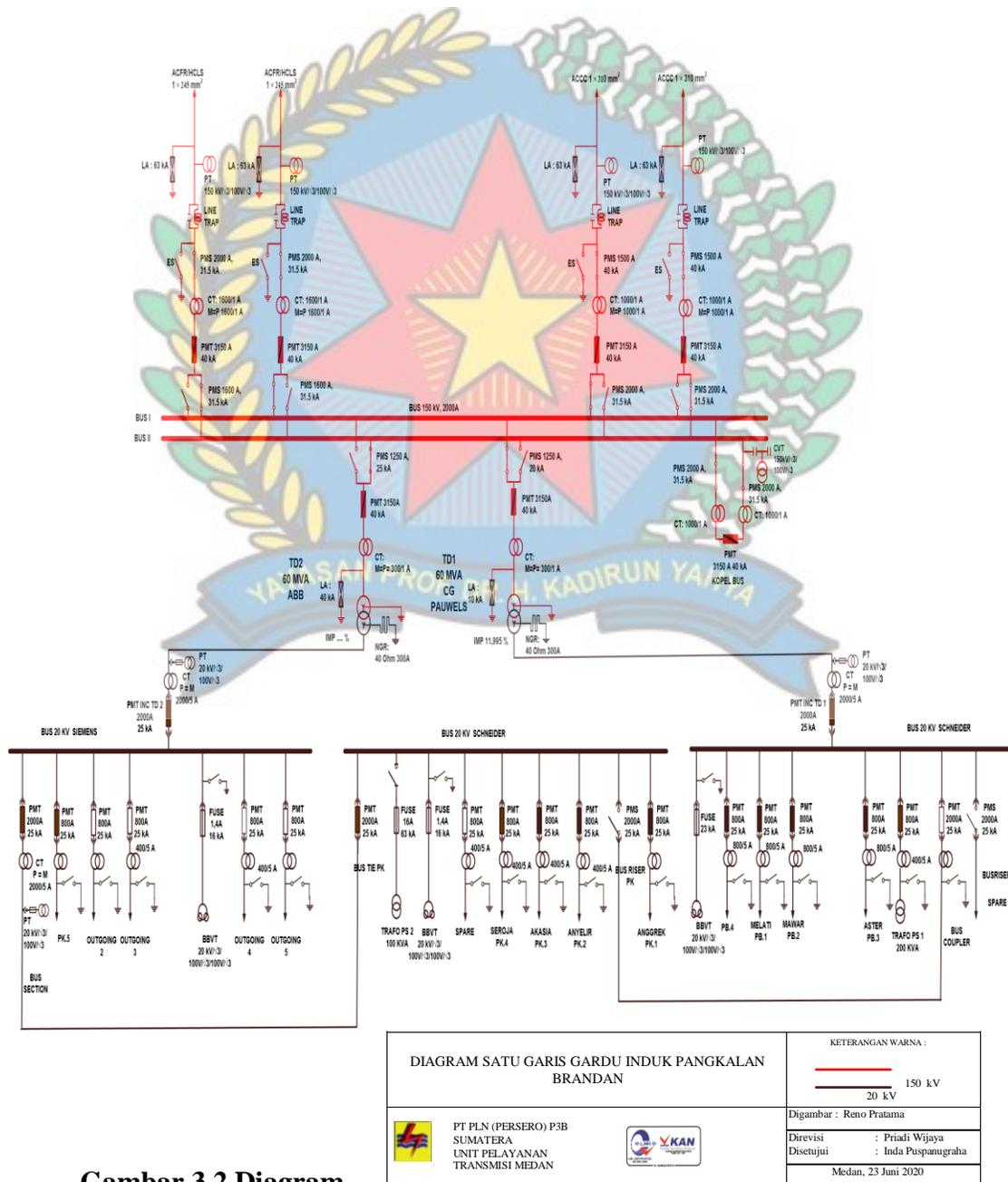
3.2 Bagian Alir Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.3 Pengumpulan Data

DIAGRAM SATU GARIS GARDU INDUK PANGKALAN BRANDAN

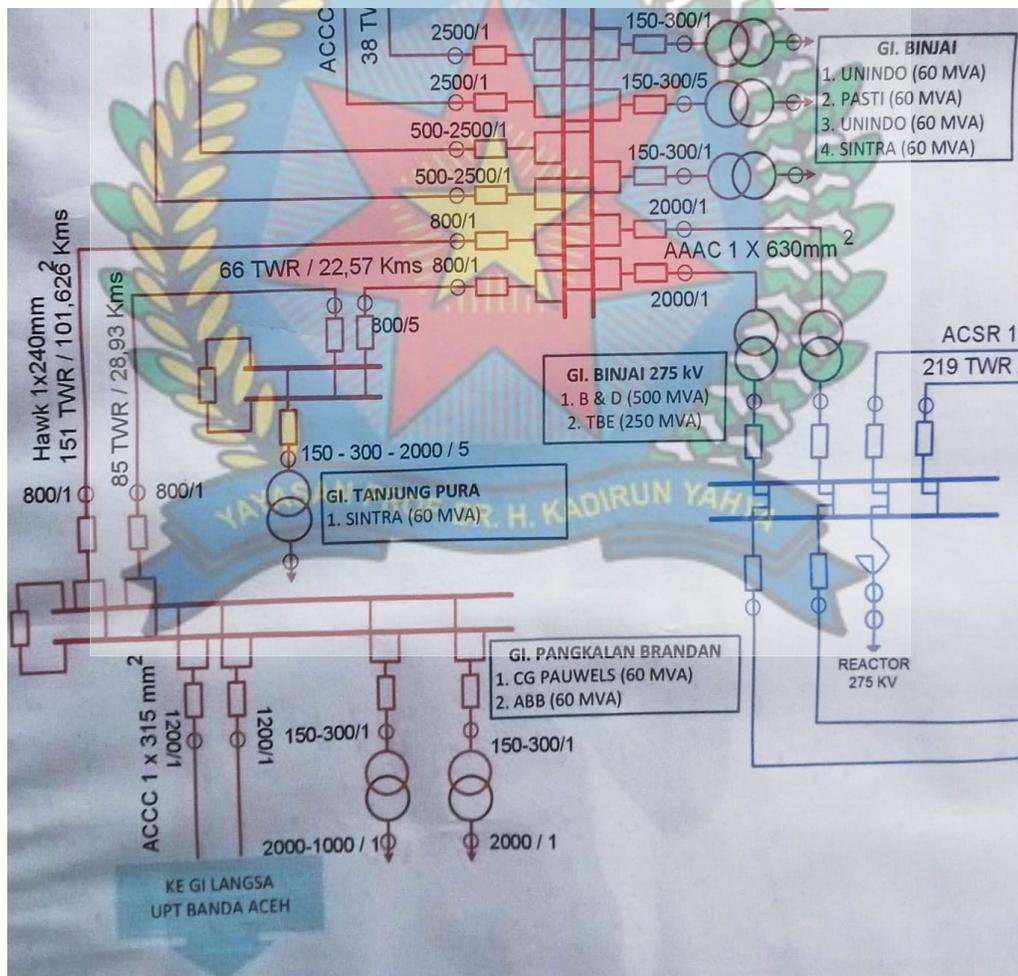


Gambar 3.2 Diagram

satu garis Gardu Induk Pangkalan Brandan

Sumber: Penulis 2022

Gambar diatas menunjukkan single Line diagram satu garis pangkalan Brandan yang dimana dibawah naungan UPT Medan, ULTG Binjai. Adarapun Gardu Induk Pangkalan Brandan sendiri memiliki 7 bay, diantaranya 2 bay trafo Daya 60mva, 1 bay Kopel Bus dan 4 Bay Penghantar.



Gambar 3.3 Bagian Diagram satu garis Kelistrikan Medan-Banda Aceh

Sumber: Penulis 2022

Gambar diatas menunjukkan sistem kelistrikan yang dimana gardu induk pangkalan Brandan merupakan salah satu backbone kelistrikan medan-aceh. Adapun alur sistem kelistrikan melalu Gardu induk binjai, Kemudian dikirim melalui

penghantar Pbdan-Bnjai (Gardu induk pangkalan Brandan). Dari Brandan kemudian dikirim melalui penghantar Pbdan-Lngsa.

Berdasarkan data yang dikumpulkan penulis, sangat penting memperhatikan kesiapan PMT bermedia gas SF6 GI P.Brandan untuk menjalankan sistem kelistrikan. Baik itu kediapan PMT dalam pembukaan atau pemasukan sistem listrik dan kesiapan gas SF6 sebagai media isolasinya.

Tabel 3.2 Data Beban Pbdan-Bnjai

JAM	BINJAI									
	TEG			MW		MVAR		AMPERE		
	R	S	T	IN	OUT	IN	OUT	R	S	T
00:00	149	149	149	47			3	178	202	194
00:30										
01:00	149	149	149	43			3	163	185	177
01:30										
02:00	149	149	149	41			3	155	176	169
02:30										
03:00	150	150	150	45			3	171	194	185
03:30										
04:00	150	149	149	48			2	182	206	198
04:30										
05:00	150	150	149	52			2	197	224	214
05:30										
06:00	150	150	150	55			2	208	237	227
06:30										
07:00	148	147	148	51			2	193	219	210
07:30										
08:00	148	149	148	32			3	121	138	132

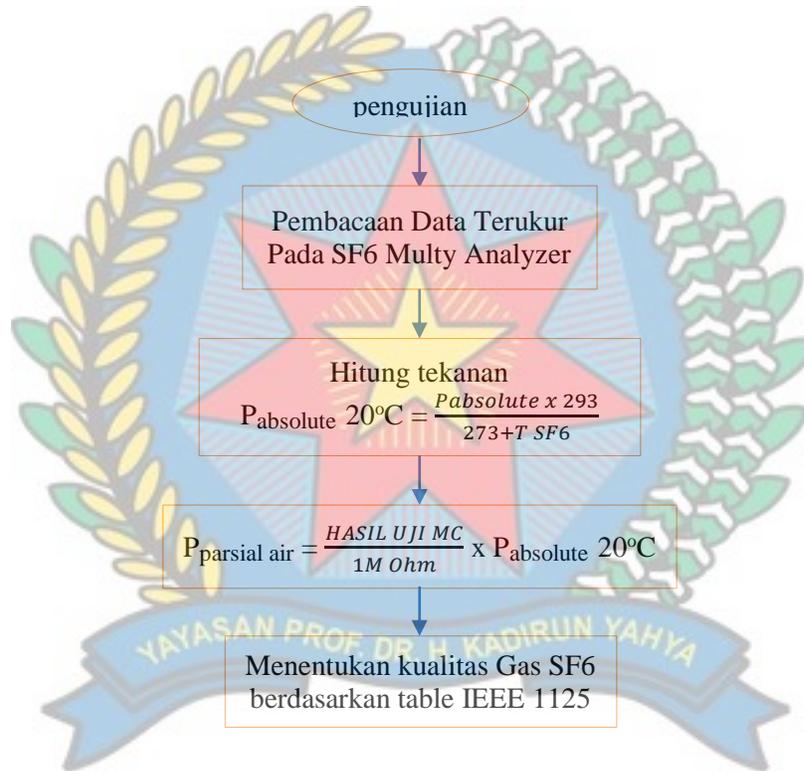
Tabel 3.3 Data Beban Pbdan-Lngsa

JAM	LANGSA 1									
	TEG			MW		MVAR		AMPERE		
	R	S	T	IN	OUT	IN	OUT	R	S	T
00:00	149	149	149		45	14		185	204	191
00:30										
01:00	148	148	149		43	14		176	195	183
01:30										
02:00	147	149	147		38	14		156	172	162
02:30										
03:00	147	149	147		32	12		131	145	136
03:30										
04:00	147	148	147		20	12		82	91	85
04:30										
05:00	148	147	147		16	8		66	72	68
05:30										
06:00	148	147	148		20	8		82	91	85
06:30										
07:00	148	148	149		48	13		197	217	204
07:30										
08:00	148	149	149		23	12		94	104	98

Berdasarkan dari table diatas, pentingnya peranan PMT sebagai penyalur sistem listrik yang harus diperhatikan baik dari kesiapan alat ataupun media isolasinya. Adapun data kualitas gas SF₆ yang baik dalam memadamkan busur api harus dilakukan pengukuran terhadap :

- a. Tekanan gas SF₆ (Pembacaan pada barometer yang terpasang di PMT)
- b. Data hasil uji Moisture Content (Pada sf₆ analyzer)
- c. Data hasil uji Dewpoint (Pada sf₆ analyzer)

Alat uji yang digunakan untuk mengukur tekanan gas SF₆, dari hasil pengujian dewpoint, dan hasil pengujian moisture content yaitu menggunakan SF₆ multi analyzer.



Gambar 3.4 langkah pengujian sf6

Sumber: Penulis 2022

Dengan menggunakan diagram alur mempermudah penulis dalam melakukan pengolahan data, seperti menghitung nilai kualitas standarisasi tekanan moisture content yang tidak ditemukan oleh pabrikan dan juga menentukan nilai dew point pada suhu 20°C pada PMT.

A. Menghitung pressure gauge absolute dengan menggunakan rumus:

$$P_{gauge\ absolute} = Inlet\ Press + P_{normal} \quad (2)$$

Keterangan:

Inlet Pres : Tekanan gas Terukur

P_{normal} : Tekanan Normal (Atmosfir)

P_{gauge} : Tekanan gas SF6 terhadap atmosfer sekitar

B. Menghitung Pressure absolute dengan menggunakan rumus:

$$P_{absolute} = P_{gauge} \times 1 \text{ Bar} \quad (3)$$

Keterangan:

$P_{absolute}$: Tekanan sebenarnya yang dipengaruhi oleh besarnya tekanan udara luar

C. Menghitung Pressure Absolute 20°C dengan menggunakan rumus:

$$P_{absolute \ 20^{\circ}\text{C}} = \frac{P_{absolute} \times 293}{273 + T_{SF6}} \quad (4)$$

Keterangan:

$P_{absolute \ 20^{\circ}\text{C}}$: Tekanan udara pada suhu sekitar 20°

T : Suhu SF6

D. Menghitung Pparsial pada PMT menggunakan rumus :

$$P_{parsial} = \frac{HASIL \ UJI \ MC}{1M \ Ohm} \times P_{absolute \ 20^{\circ}\text{C}} \quad (5)$$

Keterangan:

$P_{parsial}$: Tekanan parsial uap air

E. Menghitung standarisasi menggunakan rumus;

$$Standarisasi = \frac{0.004}{P_{gauge \ absolute}} \times 1000000 \quad (6)$$

F. Untuk menentukan nilai dewpoint maka terlebih dahulu untuk menghitung nilai tekanan parsial berdasarkan nilai moisture content, tekanan pengujian

menggunakan sf6 analyzer. Dari nilai tekanan parsial uap air maka melalui table IEEE 1125 Tahun 1993, maka didapat nilai dewpoint.

3.4 Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga

Pengujian keserempakan Pemutus Tenaga dinyatakan bahwa :

- a) Tujuan dilakukan pengujian kecepatan dan keserempakan pemutus tenaga adalah untuk mengetahui kerja pemutus tenaga pada saat penutupan ataupun membuka sehingga dapat memastikan kesiapan pemutus tenaga untuk memutuskan/memasukkan arus.
- b) Nilai uji disesuaikan dengan standart yang ada di pabrikan.
- c) Apabila terdapat nilai uji yang melebihi operating time maka harus diperiksa sistem penggerak yang ada pada pemutus tenaga.
- d) Apabila kondisi baik maka dilakukan uji ulang pada pemutus tenaga.
- e) Jika kondisi tidak baik maka harus segera diadakan pembongkaran (overhaul) pemutus tenaga untuk mengetahui penyebabnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kualitas Gas SF6

Ada beberapa tahapan yang diperlukan dalam mencari nilai dewpoint pada suhu 20°C dan standarisasi moisture content, yaitu:

- a. Tekanan Gas SF6 terhadap tekanan atmosfer sekitarnya (P_{gauge} Absolute)

$$P_{gauge} 6.4 + 1.01 = 7.41 \text{ Bar}$$

- b. Tekanan udara (Press Absolute)

$$P_{absolute} 7.41 \times 1 \text{ bar} = 750818 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Bar} = 101325 \text{ Pa}$$

- c. Tekanan udara pada suhu sekitar 20°C (Pressure Absolute 20°C)

$$P_{absolute} 20^\circ\text{C} = \frac{750818 \times 293}{273 + 30} = 726038 \text{ Pa}$$

- d. Tekanan Parsial uap air

$$P_{parsial \text{ air}} = \frac{115}{1000000} \times 726038 = 83,4 \text{ Pa}$$

$$83,4 \text{ Pa} = 0,625 \text{ mmhg}$$

- e. Standarisasi Moisture content

$$\text{Standarisasi} = \frac{0,004}{7.41} \times 1000000 = 539,8 \text{ PPMV}$$

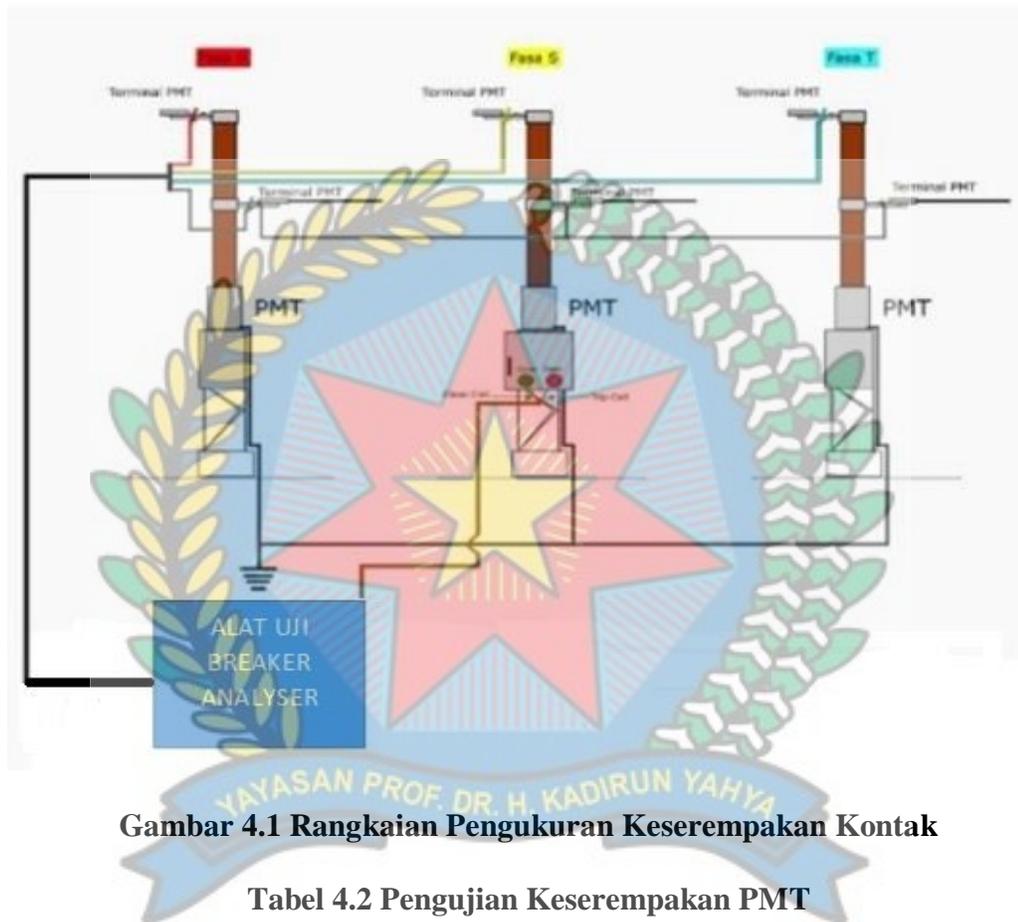
- f. Dari nilai tekanan parsial di dapat 0.625 maka melalui table IEEE 1125 tahun 1993, akan didapat nilai dewpoint yaitu -22

Tabel 4.1 Hasil pengujian SF6 analyser

BAY	Phasa	Moisture content (PPMV)		Dew point		Inlet press (BAR)	Kualitas SF6
		Hasil uji	Standart cigre (standarisasi)	Hasil uji			
				Suhu perhitu ngan 20°C	Standart cigre		
Langsa	R	115	<539,8	-23	< -5	6.57	BAIK/ MASIH LAYAK
	S				< -5		
	T				< -5		
Binjai	R	35.74	<539,8	-23	< -5	6.57	BAIK/ MASIH LAYAK
	S				< -5		
	T				< -5		

4.2 Pengujian keserempakan PMT

Tujuan adalah dilakukan pengujian ini adalah untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu serta keserempakan PMT pada saat menutup atau membuka sehingga dapat memastikan kesiapan kerja dari PMT untuk memutuskan/memasukkan arus sesuai dengan rating kinerjanya.



Kompartmen	Metode	R	S	T	Δt	Kesimpulan
Langsa	Close	57.9	58.10	58.50	0.6	Normal
	Open	40.20	40.50	40.10	0.40	Normal
Binjai	Close	64.70	63.05	63.05	1.65	Normal
	Open	35.35	36.20	35.90	0.85	Normal

4.3 Hasil Pengujian Keserempakan PMT

Berdasarkan pada table diatas dijelaskan bahwa:

- a) Δt 1 (PMT LNGSA) : selisih waktu tertinggi dan terendah antara fasa T dan R saat PMT dengan operasi tertutup kontak $58.50 - 57.9 = 0.6$ milidetik
- b) Δt 1 (PMT BNJAI) : selisih waktu tertinggi dan terendah antara fasa T dan R saat PMT dengan operasi tertutup kontak $64.70 - 63.05 = 1.65$ milidetik
- c) Δt 2 (PMT LNGSA): selisih waktu tertinggi dan terendah antara fasa T dan R saat PMT dengan operasi membuka kontak $40.50 - 40.10 = 0.40$ milidetik
- d) Δt 2 (PMT BNJAI): selisih waktu tertinggi dan terendah antara fasa T dan R saat PMT dengan operasi membuka kontak $36.20 - 35.35 = 0.85$ milidetik

Standart PLN yang diadopsi dari rekomendasi yang disebutkan, bahwa Δt yang diizinkan kurang dari 10ms ($\Delta t < 10$ milidetik). Sehingga keserempakan operasi titik-titik kontak PMT saat pembukaan maupun penutupan masih sesuai standart yang ditentukan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

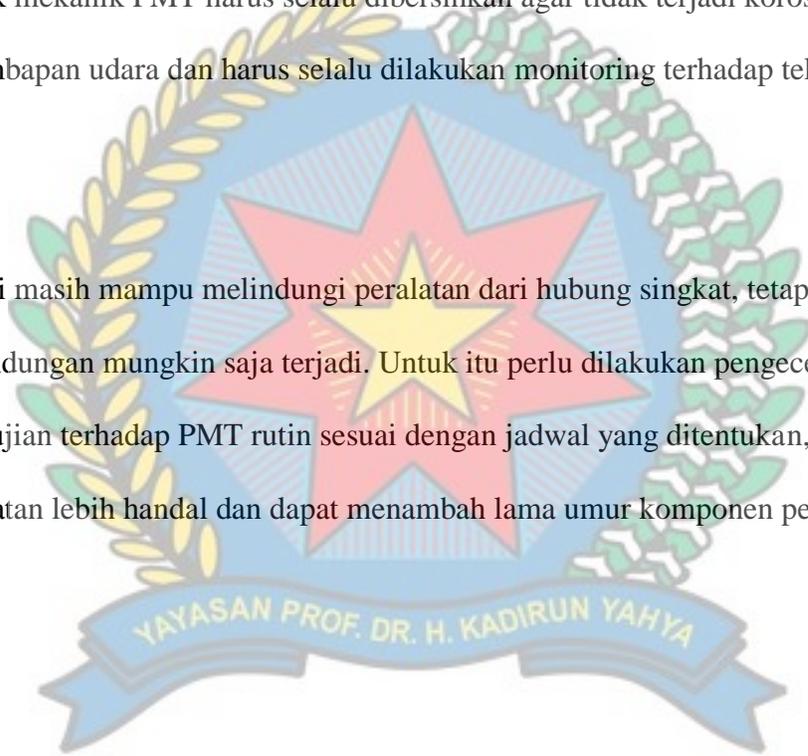
Berdasarkan hasil pengukuran dan pembahasan, secara keseluruhan PMT bermedia gas SF₆ masih sangat layak jika dioperasikan lebih lanjut, karena karakteristik terukur masih sesuai standart :

1. Pemeliharaan terkait Kualitas gas, nilai tekanan terukur 6,4 bar. Masih lebih baik jika dibandingkan standart minimal 5,4 bar (untuk alarm setting), 5,1 bar (untuk trip setting). Nilai kemurnian terukur 98.9 % - 100 % masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan standart (lebih kecil dari 97%). Nilai dew point gas terukur -22 °C masih lebih baik jika dibandingkan dengan standart (dibawah -5 °C). Nilai moisture content gas terukur 115 untuk PMT Langsa dan 35.74 untuk PMT Binjai masih lebih baik jika dibandingkan dengan standarnya.
2. Berdasarkan hasil Pemeliharaan 2 Tahunan terkait mekanik karakteristik gas isolasi SF₆ dapat dinyatakan tidak terjadi anomali dan kondisi pemutus tenaga di gardu induk pangkalan Brandan layak digunakan sebagai alat pemutus sistem tenaga listrik.
3. Keserempakan kontak PMT pada saat melakukan pembukaan atau penutupan titik titik kontak mempunyai selisih waktu berkisar pada nilai 0.40 sampai 1.65 milidetik, masih jauh dibandingkan dengan standart yang ditentukan yaitu dibawah nilai 10 milidetik.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh peneliti dari hasil penelitian ini adalah :

1. Untuk mekanik PMT harus selalu dibersihkan agar tidak terjadi korosi akibat kelembapan udara dan harus selalu dilakukan monitoring terhadap tekanan gas SF₆.
2. Meski masih mampu melindungi peralatan dari hubung singkat, tetapi kegagalan perlindungan mungkin saja terjadi. Untuk itu perlu dilakukan pengecekan atau pengujian terhadap PMT rutin sesuai dengan jadwal yang ditentukan, Agar peralatan lebih handal dan dapat menambah lama umur komponen peralatan.



DAFTAR PUSTAKA

- A. Goeritno, B.I. Syaputra, (2014). —Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (PMT) Tegangan Ekstra Tinggi Bermedia Gas Sulphur Hexaflourite (Sf6) Berdasarkan Kualitas Gas, Keserempakan Titik Titik Kontak, dan Parameter Resistans, di JUTEKS (Jurnal Teknik Elektro dan Sains), Vol.1, No.1, hlm. 1-7.
- Dokumen PT PLN (Persero), Nomor: PDM/PGI/07:2014. —Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT), pada Lampiran Surat Keputusan Direksi PT PLN (Persero), Nomor: 0520-2.K/DIR/2014.
- E. Nasrallah, F. Brikci, S. Perron, (2007, Januari/Februari). —Electrical Contacts in MV and HV Power Circuit Breakers, in Electric Energy Magazine, Terrebonne (City in Canada).
- P. Choonhapan, (2007). *Applications of High Voltage Circuit- Breakers and Development of Aging Models*. Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation, Elektrotechnik Informationstechnik – der Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt.
- S. Saad, (viewed April 10th, 2018). SF6 Gas Properties.
- S.A. Boggs, (1989). ‖Sulphur Hexafluoride: Introduction to the Material and Dielectric,‖ in IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.5, No.5, Sept./Oct. 1989, pp. 18-21
- Heryanto, Irwan. (2006). “Kajian Pengaruh Tekanan Gas SF6 Terhadap Penentuan Jarak Sela Minimum Kontak Pemutus Tenaga (Pmt)”. Jurnal ELTEK.
- Ariawan, Putu R. (2010). Bahan Isolasi Gas. Paper Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana: tidak diterbitkan.

Eka Setiwan, Gugun. (2005). Studi Pengaruh Gangguan Hubung Pendek 1 Fasa Ke Tanah Pada Penyulang Terhadap Setting Ground Fault Relay Pada Penyulang North Braga Orang. Tugas Akhir JPTE FPTK UPI Bandung: tidak diterbitkan.

Hasan, Bachtiar. (2003). Teknik Tegangan Tinggi. Pustaka Ramadhan : Bandung.

Heryanto, Irwan. (2006). “Kajian Pengaruh Tekanan Gas SF₆ Terhadap Penentuan Jarak Sela Minimum Kontak Pemutus Tenaga (Pmt)”. Jurnal ELTEK. 04, 96-104.

S.A. Ward, (2001). Electrical Discharges and Breakdown in Compressed Sulphur-Hexafluoride Gas. Department of Electrical Technology - Technical College at Dammam, Dammam (City in KingDom of Saudia Arabia).

Arief Goeritmo, dkk.2018. Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF₆ Berdasarkan Parameter. Tersedia di Jurnal EECCIS Vol. 12, No. 2, Oktober 2018)

