

PENGUNAAN GAS *SF6* PADA GENERATOR *CIRCUIT BREAKER* UNIT

3 ULP PLTA MUSI

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Tim Penguji Tugas Akhir

Program Studi Teknik Elektro Salah Satu Persyaratan

Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya



Oleh :

JIHAN ARDIKA

212013010

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK RAFLESIA REJANG LEBONG

TAHUN 2024

PENGUNAAN GAS *SF6* PADA GENERATOR *CIRCUIT BREAKER*

UNIT 3 ULP PLTA MUSI

TUGAS AKHIR



Oleh :

JIHAN ARDIKA

212013010

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK RAFLESIA REJANG LEBONG

TAHUN 2024

SURAT PERNYATAAN KARYA ASLI

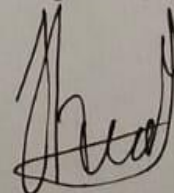
Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah saya berupa Tugas Akhir dengan judul : **“PENGUNAAN GAS SF6 PADA GENERATOR CIRCUIT BREAKER UNIT 3 ULP PLTA MUSI”**.

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menyelesaikan Program Pendidikan Diploma III pada Program Studi Teknik Elektro Politeknik Raflesia merupakan karya asli. Sejauh saya ketahui bukan merupakan tiruan, jiplakan atau duplikasi dari karya ilmiah orang lain yang sudah dipublikasikan dan pernah dipakai untuk mendapatkan gelar pendidikan di lingkungan Politeknik Raflesia maupun di Perguruan Tinggi lain serta instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Apabila dikemudian hari, karya saya ini terbukti bukan merupakan karya asli saya maka saya bersedia menerima sanksi yang diberikan oleh pihak Politeknik Raflesia, demikian surat pernyataan ini saya dengan sebenarnya.

Curup, Kamis 29 Agustus 2024

Yang Menyetujui,



JIHAN ARDIKA

NPM. 212013010

HALAMAN PENGESAHAN

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Didepan Tim Penguji Tugas Akhir
Program Studi Teknik Elektro Politeknik Raflesia

JUDUL : PENGGUNAAN GAS SF₆ PADA GENERATOR
CIRCUIT BREAKER UNIT 3 ULP PLTA MUSI
NAMA : JIHAN ARDIKA
NPM : 212013010
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
JENJANG : DIPLOMA III

Telah dikoreksi dengan baik dan cermat, kerana itu pembimbing menyetujui
mahasiswa tersebut untuk diuji

Curup, Kamis 29 Agustus 2024

Tim Penguji

Nama

Tanda Tangan

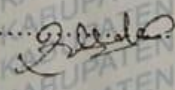
Ketua : Meriani, M.T

1. 

Anggota : Harold Harriman, M.T

2. 

Anggota : Zakia Lutfiyani, M.T

3. 

Mengetahui:

Direktur,

Curup, Agustus 2024

Ketua Program Studi,


RADEN GUNAWAN, MT

NIDN: 0210057303


MERIANI, MT

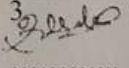
NIDN: 0213058101

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN (*Revisi*)

TUGAS AKHIR

NAMA : JIHAN ARDIKA
NPM : 212013010
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
JENJANG : DIPLOMA III
JUDUL : PENGGUNAAN GAS *SF6* PADA GENERATOR
CIRCUIT BREAKER UNIT 3 ULP PLTA MUSI

Tugas Akhir ini telah direvisi dan disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir serta diperkenankan untuk diperbanyak/dijilid.

No	Nama Tim Penguji	Jabatan	Tanggal	Tanda tangan	
1.	Meriani, M.T	Ketua	29-08-2024	1. 	
2.	Harold Harriman, M.T	Anggota	29-08-2024		2. 
3.	Zakia Lutfiyani, M.T.	Anggota	29-08-2024	3. 	2

MOTTO

“Setiap kesulitan dan kegagalan bukanlah akhir segalanya, tapi itu adalah caranya untuk mendewasakan anda menjadi sosok yang luar biasa”

(Merry Riana)

“Kegagalan dalam suatu hal adalah tanda bahwa ada keberhasilan dalam hal berikutnya, jangan Menyerah coba terus.”

(Mario Teguh)

“Seburuk apapun keadaanmu jangan pernah melupakan tuhanmu”

(Hidan akatsuki)

PERSEMBAHAN



Segala pemikiran yang terangkum dalam karya tulis ini adalah bagian dari keagungan dan petunjuk yang diberikan oleh Allah SWT. Dengan berkat dan hidayah-Nya, Tugas Akhir ini dapat selesai. Saya ingin mengabdikan hasil karya ini untuk :

1. Terima kasih kepada kedua orang tua saya (Bapak dan Ibu) atas doa dan dukungan tulus mereka dalam mewujudkan cita-cita saya menjadi seorang sarjana muda. Dukungan mereka tidak akan pernah saya lupakan
2. Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan seprodi Teknik Elektro di Politeknik Raflesia yang telah memberikan dukungan sejak awal masa kuliah hingga saat ini.
3. Terima kasih kepada teman-teman dekat yang telah membantu saya dalam menyusun tugas akhir ini dari awal hingga selesai, saya tidak dapat menyebutkan nama mereka satu per satu.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran *Allah subhanahu wa ta'ala.* zat pencipta dan Maha Kuasa atas segala hidayah dan rahmat-Nya. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi *Muhammad shalallaahu alaihi wassalaam.* *Alhamdulillahirabbil'alamin,* dengan izin Allah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sesuai dengan jadwal yang sudah ditentukan.

Tugas Akhir ini merupakan bukti pelaksanaan dengan judul **"PENGUNAAN GAS SF6 PADA GENERATOR *CIRCUIT BREAKER* UNIT 3 ULP PLTA MUSI".**

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan tugas akhir ini dapat selesai sesuai dengan yang diharapkan. Adapun pihak-pihak yang turut atau terkait diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Bapak Raden Gunawan, ST.,MT. selaku Direktur Politeknik Raflesia.
2. Ibu Meriani, M.T selaku Kaprodi Teknik Elektro
3. Ibu Zakia Lufiyani, M.T selaku Dosen Pembimbing I Politeknik Raflesia.
4. Ibu Hermayati, S.pd., M.Pd selaku Dosen Pembimbig II Politeknik Raflesia.
5. Kepada orang tua yang sudah mendukung dan mendoakan kelancaran dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
6. Kepada pihak lain yang telah ikut serta membantu sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik dalam penyampaian maupun penulisan pada penyelesaian Tugas Akhir ini, untuk itu penulis mengharapkan saran dan masukan demi perbaikan Tugas Akhir ini selanjutnya. Semoga karya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca, menambah wawasan dan dapat dijadikan pedoman dalam Tugas Akhir yang akan datang.

Curup, Kamis 29 Agustus 2024

Yang Menyetujui,

JIHAN ARDIKA
NPM. 212013010

DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN.....	0
HALAMAN JUDUL.....	0
HALAMAN PERNYATAAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN REVISI.....	iv
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGHANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Perumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Kegunaan Penelitian	4
1.7 Sistematika Pembahasan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Unit Pemeliharaan PLTA Musi	7
2.1.1 <i>Intake Dam</i>	8
2.1.2 <i>Surge Tank</i>	8
2.1.3 <i>Penstock</i>	9
2.1.4 <i>Power House</i>	10
2.1.5 <i>Tailrace Tunnel</i>	10
2.2 Generator.....	11
2.2.1 Proteksi Generator.....	11
2.2.2 Gangguan Pada Generator Secara Umum.....	15
2.3 Konsep Dasar PMT	18
2.3.1 Sakelar PMT Minyak	18
2.3.2 Sakelar PMT Udara Hembus (<i>air blast circuit breaker</i>).....	20
2.3.3 Sakelar PMT vakum (<i>vacuum circuit breaker</i>)	21
2.3.4 Sakelar PMT Gas SF6 (<i>SF6 circuit breaker</i>)	21
2.4 Proses Terjadinya Busur Api.....	25
2.5 Gas <i>Sulfur Hexafluoride</i> (SF6)	26
2.5.1 Karakteristik Gas SF6	27
2.5.2 Dampak gas SF6.....	27
2.5.3 Kelebihan dan Kekurangan Gas SF6	28
2.5.4 Pengisian Gas SF6 Pada Generator <i>Circuit Breaker</i>	29
2.6 Generator <i>Circuit Breaker</i> (GCB).....	30
2.6.1 <i>Single Line Diagram</i> GCB	31

2.6.2	Syarat-syarat Sinkron Generator <i>Circuit Breaker</i>	34
2.6.3	Spesifikasi GCB	35
2.6.4	Bagian-bagian Yang Ada Pada GCB	36
BAB III METODE PENELITIAN		38
3.1	Deskripsi Penelitian	38
3.2	Populasi dan Sampel	40
3.3	Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data	40
3.3.1	Studi Literatur	41
3.3.2	Bimbingan	41
3.3.3	Wawancara	42
3.3.4	Dokumentasi.....	42
3.4	Teknik Analisis Data	42
BAB IV HASIL PENELITIAN dan PEMBAHASAN		44
4.1	Deskripsi Objek Penelitian.....	46
4.2	Hasil Analisis Data.....	48
4.3	Pembahasan.....	54
BAB V KESIMPULAN dan SARAN		57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA.....		59
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Generator <i>circuit breaker</i> unit 3 PLTA Musi	36
Tabel 3.1 Lokasi Penelitian	39
Tabel 4.1 Lokasi tempat penelitian	45
Tabel 4.2 Spesifikasi generator <i>circuit breaker</i> unit 3.....	48
Tabel 4.3 Durasi waktu pemeliharaan dan perbaikan gas <i>SF6</i> pada GCB..	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses aliran air secara pada PLTA secara umum	7
Gambar 2.2 <i>intake dam</i> PLTA Musi.....	8
Gambar 2.3 <i>Surge tank</i> PLTA Musi	9
Gambar 2.4 <i>Penstock</i> pada PLTA secara umum.....	9
Gambar 2.5 Tampilan luar <i>power house</i> PLTA Musi	10
Gambar 2.6 <i>Tailrace</i> (kiri) dan <i>regulating dam</i> (kanan) PLTA Musi.....	10
Gambar 2.7 Bagian-bagian generator secara umum	11
Gambar 2.8 generator dc secara umum.....	13
Gambar 2.9 generator ac secara umum	13
Gambar 2.10 Rangkaian proteksi pada generator	14
Gambar 2.11 Pemutus daya minyak.....	19
Gambar 2.12 Pemutus daya udara hembus	20
Gambar 2.13 Pemutus daya vakum.....	21
Gambar 2.14 Konstruksi ruang pemadaman PMT SF6 secara sederhana.....	22
Gambar 2.15 Bagian dalam pemutus tenaga gas SF6.....	23
Gambar 2.16 Proses mekanisme kinerja PMT gas SF6	24
Gambar 2.17 Proses terjadinya busur api.....	25
Gambar 2.18 Bentuk tabung gas SF6.....	27
Gambar 2.19 Pengisian Gas <i>SF6</i> pada <i>GCB</i>	29
Gambar 2.20 Generator <i>circuit breaker</i> unit 3	31
Gambar 2.21 <i>Single line</i> diagram GCB.....	32
Gambar 2.22 Tampilan luar GCB dari sisi samping dan sisi depan.....	36

Gambar 2.23 Tampilan bagian dalam secara detail pada GCB.....	37
Gambar 4.1 Generator <i>circuit breaker</i> unit 3	47
Gambar 4.2 indicator gas SF6 berkurang.....	49
Gambar 4.3 Pemeriksaan tekanan gas SF6	50
Gambar 4.4 Proses <i>overhaul</i> di PLTA Musi.....	51
Gambar 4.5 Proses pengisian gas SF6.....	52
Gambar 4.6 Tekanan standar gas SF6 setelah di isi kembali	53

ABSTRAK

Jihan Ardika, Pengguna gas SF₆ pada generator *circuit breaker* unit 3 ULP PLTA Musi.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki penggunaan gas SF₆ pada generator *circuit breaker* unit 3 di Unit Layanan Pembangkit (ULP) PLTA, dengan fokus pada efisiensi, kualitas, keandalan, dan dampak lingkungan. Metode penelitian ini akan menganalisis kinerja gas SF₆ dalam kondisi operasional untuk menjaga stabilitas sistem dan mengurangi risiko gangguan listrik, serta mengevaluasi dampak penerapan gas SF₆ terhadap lingkungan sekitarnya.

Selain itu, penelitian juga mempertimbangkan kasus kebocoran *air kondensat* dalam perangkat GCB di PLTA Musi yang mengakibatkan penurunan gas SF₆ saat terjadi pemadaman busur api. Kondisi ini disebabkan oleh melemahnya penyambungan pada selang gas SF₆ akibat *air kondensat*. Oleh karena itu, diperlukan tindakan pengencangan dan pengeringan pada area yang terdampak oleh *air kondensat*, dengan target durasi pemeliharaan dan perbaikan selama 1 jam 10 menit. Berdasarkan spesifikasi alat yang menetapkan tekanan standar operasional agar kinerjanya baik dalam meredam busur api sebesar 850 Kpa. Keseluruhan penelitian bertujuan untuk meningkatkan pemahaman tentang penggunaan gas SF₆ dalam sistem PLTA serta upaya untuk memperbaiki kondisi saat terjadi kebocoran *air kondensat* guna menjaga efisiensi dan keandalan operasional sistem listrik.

Kata Kunci: Gas SF₆, Generator *Circuit Breaker*, busur api, keandalan, PLTA, *air kondensat*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sistem pembangkit tenaga listrik penting adanya proteksi sebagai pengaman untuk melindungi dari berbagai gangguan jaringan listrik dalam menjaga pasokan listrik yang handal dan aman. Untuk itu, perangkat pemutus tenaga (PMT) atau *circuit breaker* digunakan untuk melindungi generator dan jaringan listrik dari gangguan yang mungkin terjadi, seperti hubung singkat atau arus lebih. Pemutus tenaga yang efektif serta handal menjadi kunci utama dalam menjaga dari kerusakan dan keandalan sistem tenaga listrik.

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) Musi merupakan PLTA terbesar pertama yang dibangun di Provinsi Bengkulu dan merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air sungai Musi sebagai media penggerak turbin yang dialirkan menuju *power house*. *Power house* terletak di bawah tanah dengan kedalaman mencapai ± 400 meter yang dapat diakses melalui terowongan sepanjang ± 1300 meter. Daya yang terpasang pada *power house* adalah sebesar 3 x 70 MW (210 MW) serta mampu membangkitkan energi listrik sebesar 1,140 GWh/tahun. Sistem generator *circuit breaker* dalam PLTA Musi yang bertugas sebagai komponen pemutus arus listrik yang dapat membuka atau menutup sirkuit listrik terletak antara generator dan jaringan listrik. Pemutus tenaga (PMT) yang digunakan pada generator *circuit breaker* unit 3 di PLTA Musi merupakan pemutus tenaga bertipe *sulfur hexa flouride*

(*SF6*) yang mana penggunaan gas *SF6* pada generator *circuit breaker* unit 3 ULP PLTA Musi ini merupakan salah satu cara untuk menjaga keandalan dalam melindungi generator dan sistem kelistrikan dari percikan busur api.

Gas *SF6* dipilih sebagai objek penelitian ini karena kualitasnya dalam aplikasi isolasi peralatan tegangan tinggi seperti halnya *circuit breaker* generator pada PLTA Musi serta terdapat beberapa masalah penyebab Gas *SF6* tersebut bisa berkurang berdasarkan indikator gas yang menjadi alasan gas *SF6* dijadikan sebagai bahan penelitian. Alasan gas *SF6* dipilih PLTA pada umumnya ialah karena sifat dielektrik dan kekuatan isolasinya yang baik serta kemampuannya dalam pemadaman busur api yang mana dapat menjaga kinerja sistem listrik yang stabil. Sebagai media isolasi dalam peralatan tegangan tinggi memiliki hubungan yang erat yang mana gas ini digunakan untuk bahan isolasi yang efektif karena sifatnya yang tidak mudah terbakar. Namun karakteristik gas *SF6* dari segi bentuk dan sifatnya juga memiliki kekurangan serta gangguan-gangguan terkait kualitas penggunaannya terutama dampak yang ditimbulkan oleh Gas *SF6* bagi lingkungan sekitarnya. Kekurangan-kekurangan yang dimiliki oleh gas *SF6* ini akan diproses dan dicarikan solusi terbaiknya sebagai suatu sistem proteksi yang berdampak baik terhadap lingkungannya.

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengkaji lebih lanjut tentang dampak penggunaan gas *SF6* pada peralatan tegangan tinggi serta mengidentifikasi penyebab yang mempengaruhi keandalan gas *SF6*, dan mengeksplorasi upaya untuk meningkatkan kualitas gas *SF6* sehingga dapat

lebih ramah lingkungan. Penelitian ini juga akan menganalisis efektivitas upaya peningkatan kualitas gas SF₆ tersebut dalam menjaga keandalan dan kinerja peralatan tegangan tinggi, serta mengevaluasi potensi dampak positifnya bagi lingkungan. Dengan memahami karakteristik dan kelemahan gas SF₆ serta mencari solusi yang lebih berkelanjutan, diharapkan dapat berkontribusi pada upaya menjaga kelestarian lingkungan dan meningkatkan penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan dalam sistem kelistrikan.

1.2 Identifikasi Masalah

Meskipun gas SF₆ memiliki ketahanan daya isolasi tegangan tinggi, penggunaannya di generator *circuit breaker* di ULP PLTA Musi masih menimbulkan beberapa masalah :

1. Keandalan gas SF₆ dalam peredaman serta pemadaman busur api.
2. Kualitas gas SF₆ pada generator *circuit breaker* unit 3 PLTA Musi.
3. Dampak gas SF₆ bagi lingkungan sekitarnya.
4. Gangguan-gangguan serta kendala yang dihadapi gas SF₆ pada *circuit breaker* generator.
5. Penyebab berkurangnya gas SF₆ dalam *circuit breaker* generator.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini hanya akan membahas penggunaan gas SF₆ pada *circuit breaker* generator unit 3 ULP PLTA Musi di lingkungan operasional.

1.4 Perumusan Masalah

Bedasarkan beberapa identifikasi masalah diatas dapat menarik sebuah perumusan masalah antara lain sebagai berikut :

1. Bagaimana tingkat keandalan gas *SF6* dalam proses peredaman dan pemadaman busur api pada *circuit breaker* generator dalam konteks operasional sistem kelistrikan, serta faktor-faktor yang mempengaruhi keandalannya?
2. Bagaimana kualitas gas *SF6* pada generator *circuit breaker* unit 3 PLTA Musi serta upaya perbaikan yang diperlukan guna memastikan kualitas gas *SF6* yang optimal dan dampak bagi lingkungan sekitarnya?

1.5 Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tujuan yang ingin dicapai yakni sebagai berikut :

1. Untuk mengidentifikasi penyebab yang mempengaruhi penggunaan gas *SF6* pada generator *circuit breaker* ULP PLTA Musim dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan.
2. Untuk mengetahui apa saja upaya yang diperlukan untuk meningkatkan kualitas penggunaan gas *SF6* pada generator *circuit breaker* Unit 3 ULP PLTA Musi dalam kualitas.

1.6 Kegunaan Penelitian

Penelitian ini kedepannya dapat menjadi landasan untuk penelitian lanjutan mengenai sistem proteksi dan pengembangan ide yang lebih inovatif dari hasil penelitian karena banyak sekali macam-macam proteksi dalam sistem pembangkit listrik.

1.7 Sistematika Pembahasan

Pada sub-bab ini, dipaparkan tentang rencana penulisan dari hasil penelitian, yang akan dibagi ke dalam 5 (lima) bab, yakni :

- a. Bab I ini berisi pendahuluan yang akan memperkenalkan topik penelitian dengan membahas latar belakang penelitian ini. Tujuan penelitian juga akan dijelaskan secara rinci untuk memberikan pemahaman yang jelas tentang apa yang ingin dicapai. Selain itu, bab ini berisi tentang identifikasi masalah yang menggambarkan kondisi dan faktor yang akan diteliti. Ada juga batasan masalah yang akan ditetapkan untuk memfokuskan penelitian pada area yang spesifik, dan yang terakhir akan dijelaskan juga tentang sistematika pembahasan yang akan mengarahkan struktur penelitian ini.
- b. Bab II akan membahas landasan teori, yakni studi literatur terkait dengan penggunaan gas *SF₆* pada generator *circuit breaker* yang mana landasan teori ini akan mencakup penjelasan mengenai karakteristik gas *SF₆* seperti kemampuan dielektrik dan kestabilan kualitasnya. Selain itu akan diberikan gambaran umum mengenai pengisian gas *SF₆* pada generator

circuit breaker serta akan dijelaskan pula mengenai PLTA Musi yang memberikan pemahaman tempat penelitian ini dilakukan.

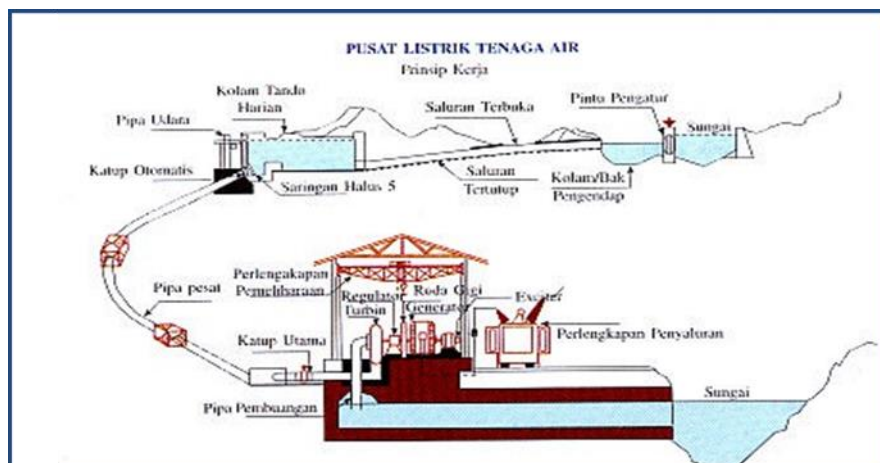
- c. Bab III berisi tentang metodologi penelitian yang akan menjelaskan secara rinci tentang desain penelitian yang digunakan dalam penulisan ini, termasuk pendekatan penelitian dan metode yang digunakan. Selain itu, instrumen dan teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini akan dijelaskan untuk memberikan pemahaman tentang bagaimana data dikumpulkan dan dianalisis.
- d. Bab IV berisi tentang pembahasan masalah dari objek penelitian yaitu generator *circuit breaker* unit 3 ULP PLTA Musi serta hasil analisis data yang telah dikumpulkan. Hasil analisis data akan dibahas secara rinci dan mendalam untuk menghasilkan temuan-temuan yang relevan dengan tujuan penelitian.
- e. Bab V berisikan kesimpulan dan saran mengenai hasil utama dari penelitian ini berdasarkan analisis data. Selain itu, bab ini juga berisikan tentang saran-saran praktis untuk pengembangan lebih lanjut di kemudian hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Unit Pemeliharaan PLTA Musi

Pembangkit Listrik Tenaga Air Musi ini berada di Kecamatan Ujan Mas Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu. PLTA Musi ini terdiri dari beberapa bagian unit yang bertugas untuk melakukan perawatan alat (*maintenance*) agar pembangkit tetap bekerja sebagaimana mestinya, usaha perawatan yang dilakukan terhadap suatu instalasi atau peralatan agar senantiasa dapat beroperasi dengan aman, handal, serta efisien.



Gambar 2.1 Proses aliran air secara pada PLTA secara umum

Sumber : supari muslim (2008) teknik pembangkit tenaga listrik jilid 1

Unit ini memiliki agenda pemeriksaan rutin yang diklasifikasikan berdasarkan satuan waktu. Satuan waktu yang dimaksud adalah harian, mingguan, bulanan, dan tahunan. P0 untuk kode instruksi pemeriksaan harian, P1 untuk pemeriksaan mingguan, P2 untuk pemeriksaan bulanan, dan P3 untuk pemeriksaan tahunan. Terdapat beberapa unit pemeliharaan di antaranya :

2.1.1 *Intake Dam*

Intake dam merupakan sebuah struktur bangunan yang digunakan untuk melepaskan air secara teratur serta mensuplai air sebagai penggerak runner pada turbin. Pada *intake dam* terdapat energi potensial air tersebut yang mana akan mengalir menuju *penstock* kemudian berubah menjadi energi kinetik (gerak) air.



Gambar 2.2 *intake dam* PLTA Musi

Sumber : dokumentasi Jihan Ardika

Aliran air yang masuk ke *intake dam* memiliki beberapa tahap penyaringan sampah dan tanaman air. Penyaringan tersebut bertujuan agar air yang masuk pada turbin bebas dari sampah.

2.1.2 *Surge Tank*

Surge tank pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) Musi terletak diantara *headrace tunnel* dan *penstock*. *Surge tank* dirancang berdasarkan massa air osilasi yang menghasilkan tekanan hidrodinamika minimum sehingga dapat menentukan bentuk, jenis, dan konfigurasi tangki.



Gambar 2.3 *Surge tank* PLTA Musi

Sumber : dokumentasi Jihan Ardika

Pembuatan *surge tank* bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi tambahan tekanan *penstock* akibat penutupan turbin secara tiba-tiba sehingga menimbulkan tekanan balik pada *penstock*. Gelombang yang timbul dapat keluar ke dalam *surge tank* dan tidak mengakibatkan tambahan tekanan pada *penstock*.

2.1.3 *Penstock*

Pipa pesat (*penstock*) merupakan sebuah pipa yang memiliki aliran tertutup. Alat ini berfungsi untuk menyalurkan dan mengarahkan air ke cerobong turbin.



Gambar 2.4 *Penstock* pada PLTA secara umum

Sumber : <http://surl.li/wwgqtg>

Dalam saluran pipa tertutup, baik aliran yang lancar maupun berputar-putar akan mengalami penurunan tekanan yang disebut kehilangan energi (*headlosses*). Penurunan energi ini akan mempengaruhi kinerja di setiap unit pada pembangkit listrik.

2.1.4 *Power House*

Power house berisi komponen pembangkit yang tersusun secara sistematis di antaranya turbin yang digabungkan ke generator. Aliran air yang mengalir menabrak *runner* kemudian menggerakkan turbin sehingga turbin bergerak. Putaran pada rotor yang di-*coupling* dengan generator menghasilkan torsi dan putaran poros turbin. Torsi rotasi ini di transfer ke generator dan diubah menjadi listrik.



Gambar 2.5 Tampilan luar *power house* PLTA Musi

Sumber : dokumentasi Jihan Ardika

Power house sendiri merupakan rumah pembangkit pada PLTA Musi yang mana terdapat 3 (tiga) unit pembangkit, setiap unit pembangkit dapat menghasilkan daya sebesar 70MW.

2.1.5 *Tailrace Tunnel*

Tailrace tunnel merupakan pipa keluaran air pada PLTA Musi atau dapat juga di katakan sebagai tempat pengembalian air ke sungai setelah melewati turbin di *power house*.



Gambar 2.6 *Tailrace* (kiri) dan *regulating dam* (kanan) PLTA Musi

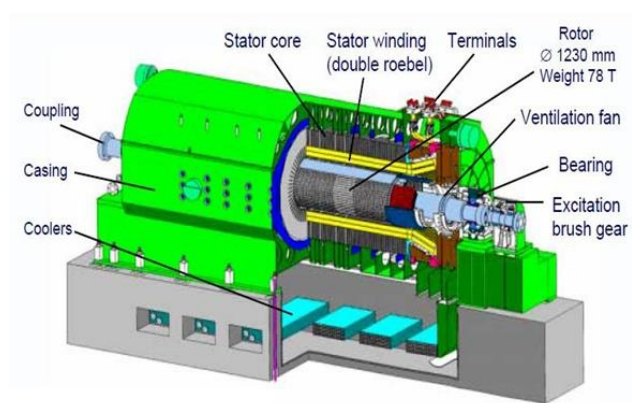
Sumber : dokumentasi Jihan Ardika

Serta terdapat bendungan yang memiliki sistem pengatur aliran (*regulating dam*) yang berfungsi menjaga stabilitas debit air keluar dari turbin. Hal ini penting untuk mencegah aliran air yang terlalu besar dan mencegah potensi bahaya bagi lingkungan di sekitar sungai.

2.2 Generator

Generator merupakan peralatan yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip pembangkit listrik berdasarkan induksi magnet. Unsur utama untuk membangkitkan listrik secara induksi yakni :

1. Medan magnet (kumparan magnet)
2. Penghantar (kumparan jangkar)
3. Kecepatan relatif



Gambar 2.7 Bagian-bagian generator secara umum

Sumber : dokumen tim HAR

Menurut hukum Faraday, apabila kumparan berputar di dalam medan magnet maka pada ujung-ujung kumparan tersebut akan timbul gaya gerak listrik/GGL. Besarnya tegangan yang diinduksikan pada kumparan jangkar tergantung pada Kuat medan magnet panjang penghantar dalam kumparan dan

kecepatan putar (gerakan). Oleh karena itu formula dari pembangkitan tegangan secara induksi adalah :

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ Volt} \dots\dots\dots(1)$$

Harga Efektifnya :

$$E = 4,44 f N \text{ Volt} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

e = Tegangan Sesaat (V)

E = Tegangan Efektif (V)

N = Jumlah lilitan

f = Frekuensi (Hz)

Ø= Fluksi

Berdasarkan persamaan 1 dan 2 disimpulkan bahwa besarnya tegangan dipengaruhi oleh :

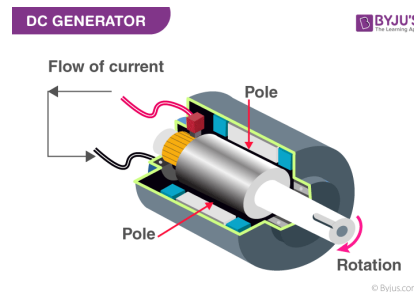
1. Jumlah lilitan (N) dimana merupakan konstanta.
2. Frekuensi (f) dimana harus konstan pada saat beroperasi.
3. Fluksi (Ø) dimana berubah-ubah (variabel) tergantung besar arus penguatan.

Berdasarkan jenisnya terbagi menjadi 2 (dua) generator arus searah dan generator arus bolak, yaitu :

1. Generator Arus Searah (DC)

Generator arus searah merupakan generator yang mana tegangan dihasilkan (tegangan *output*) berupa tegangan searah, karena di dalamnya terdapat

sistem penyearahan yang dilakukan bisa berupa oleh komutator atau menggunakan dioda.

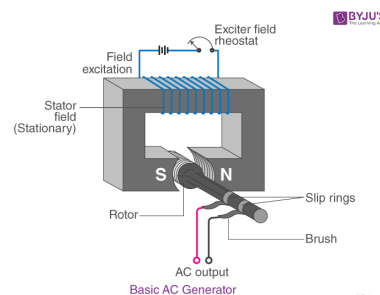


Gambar 2.8 generator dc secara umum

Sumber : <http://surl.li/sesyei>

2. Generator Arus Bolak- Balik (AC)

Generator arus bolak-balik merupakan generator yang mana tegangan yang dihasilkan (tegangan *output*) berupa tegangan bolak-balik.

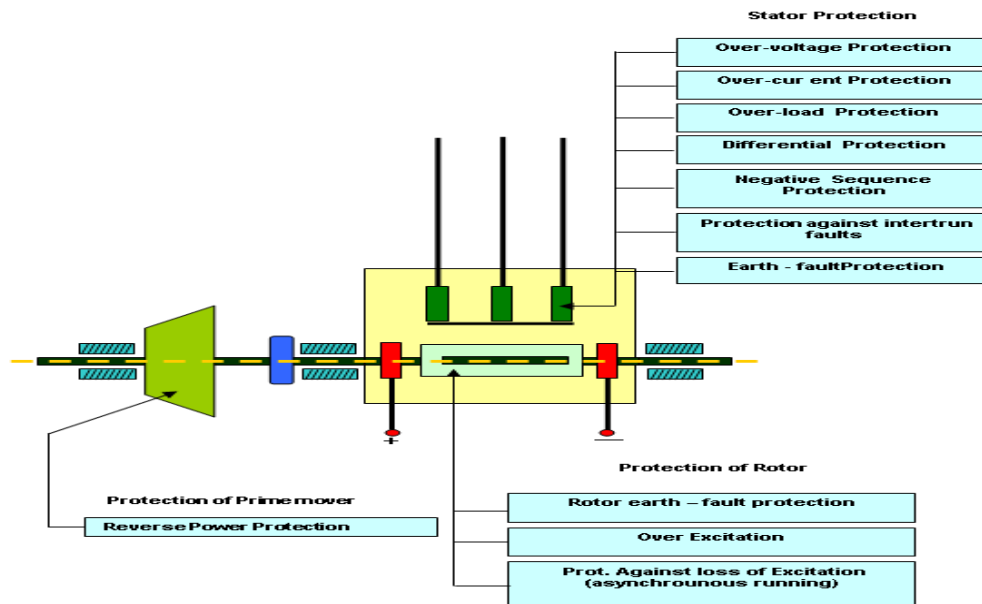


Gambar 2.9 generator ac secara umum

Sumber : <http://surl.li/sesyei>

2.2.1 Proteksi Generator

Sistem proteksi memiliki fungsi yaitu mendeteksi gangguan pada generator, melindungi generator dari gangguan, memproteksi generator dari keadaan tidak normal pada power sistem, serta mengisolir generator dari gangguan sistem yang tidak dapat diisolir oleh proteksi sistem transmisi.



Gambar 2.10 Rangkaian proteksi pada generator

Sumber : dokumen tim HAR

Jenis proteksi generator dapat diperlihatkan pada gambar diatas merupakan proteksi elektrikl dari peralatan generator, dimana secara umum bahwa generator dibagi menjadi 3 kelompok bagian dari generator yang diproteksi diantaranya :

1. Proteksi Stator Generator
2. Proteksi Rotor Generator
3. Proteksi *Prime Mover* Generator

Dalam proteksi generator terdapat pemeliharaan sistem proteksi terdiri dari dua jenis, yaitu:

- a) Pemeliharaan Rutin (bulanan/mingguan):
 1. Pemeriksaan visual kondisi relai proteksi.
 2. Pemeriksaan visual terminasi.
 3. Pemeriksaan *power supply* melalui pengukuran dan indikasi.
 4. Pemeriksaan flag/indikasi trip atau alarm.

b) Pemeliharaan Periodik (tahunan/inspeksi):

1. Pemeriksaan visual proteksi.
2. Pemeriksaan kekencangan terminasi.
3. Pembersihan proteksi, panel, dan terminasi.
4. Pengujian fungsi dan kontak proteksi.
5. Pengujian intertripping test.

2.2.2 Gangguan Pada Generator Secara Umum

Secara umum gangguan-gangguan pada generator terbagi menjadi 2 (dua) gangguan dari luar dan gangguan dari dalam yang akan dijelaskan sebagai berikut :

a) Gangguan Dari Luar

Penyebab gangguan utama dari luar yang melewati sistem adalah petir. Biasanya menyambar saluran udara transmisi dan saluran distribusi. Untuk menghadapi gangguan di luar pusat listrik, maka PMT yang di pasang dari saluran dilengkapi dengan relay-relay. Untuk gangguan di rel yang langsung berhubungan dengan generator, maka relay arus lebih merupakan pengaman utama. Tetapi bila ada pengaman rel difrensial, maka relay arus lebih merupakan pengaman *back up*. Gangguan di luar generator dapat menimbulkan arus urutan negatif yang selanjutnya arus ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebihan pada generator. Oleh karena itu pada generator dengan daya besar dipakai relay urutan negatif.

b) Gangguan Dari Dalam

Secara garis besar, gangguan generator dari dalam dapat dibagi menjadi gangguan hubung singkat antara fasa, hubung singkat fasa ke tanah, suhu tinggi, penguatan hilang, dan hubung singkat dalam sirkuit rotor. Penjelasan mengenai hal ini akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Hubung Singkat Antara Fasa

Gangguan ini terjadi bila isolasi antar fasa rusak bisa terjadi di dalam maupun di luar stator generator. Untuk melindungi generator dari gangguan ini dipakai relay difrensial yang segera men-trip/memutuskan PMT generator, PMT arus medan penguat dan memberhentikan mesin penggerak generator. Hal ini diperlukan untuk menghentikan sama sekali GGL (gaya gerak listrik) yang dibangkitkan dalam stator generator, sehingga hubung singkat antar fasa dapat segera berhenti. Relay difrensial tidak dapat menghindarkan terjadinya gannguan hubung singkat antar fasa, tetapi hanya dapat mendeteksi dan kemudian memberhentikan hubung singkat antar fasa yang terjadi, untuk menghindarkan kerusakan generator yang lebih besar.

2. Hubung Singkat Fasa Ke Tanah

Gangguan ini tidak dapat dideteksi oleh relay difrensial bila titik netral generator tidak ditanahkan, Oleh karenanya ada relay hubung tanah. Untuk pengaman generator yang titik netralnya tidak ditanahkan perlu dipasang transformator tegangan yang berfungsi mendeteksi kenaikan tegangan titik netral terhadap tanah dan selanjutnya akan menyebabkan relay hubung

tanah bekerja. Tegangan titik netral terhadap tanah akan naik bila ada gangguan hubung tanah dan selanjutnya akan menyebabkan relay bekerja.

3. Suhu Tinggi

Hal ini bisa terjadi pada stator atau pada bantalan Generator yang menyebabkan kenaikan suhu tersebut karena pembebanan lebih pada generator yang terlalu lama, ventilasi yang kurang sempurna atau karena banyak kotoran yang menempel pada isolasi lilitan stator sehingga menghambat pelepasan panas lilitan stator. Aliran minyak pelumas yang kurang baik juga bisa menyebabkan suhu yang tinggi. Untuk mengamankan generator terhadap masalah suhu yang tinggi, dipakai relay suhu yang pada tahap pertama membunyikan alarm serta pada tahap berikutnya men-trip PMT generator.

4. Penguatan Hilang

Bila terjadi gangguan pada rangkaian arus penguat, sehingga terjadinya medan penguat generator menjadi lemah atau hilang, maka generator mengalami kondisi “*out of step*” atau lepas dari sinkronisasinya dengan sistem dan dapat menimbulkan gangguan dalam sistem khususnya. Pada generator yang mempunyai daya relatif besar disediakan *Loss of Field* relay untuk mencegah terjadinya situasi *out of step* tersebut di atas dengan men-trip PMT generator bila arus penguat hilang atau menjadi terlalu lemah oleh karena ada gangguan pada sirkit arus penguat.

5. Hubung Singkat Dalam Sirkuit Rotor

Pada gangguan ini generator akan mengalami *Loss of Field* relay juga sirkuit rotor generator dapat mengalami kerusakan. Untuk mencegah kerusakan ini dipakai *relay* arus lebih atau sekering lebur dalam sirkuit rotor. Jika salah satu kutub (+ atau -) mengalami hubung tanah, maka hal ini dapat menimbulkan distorsi dalam medan magnet penguat sehingga timbul getaran yang berlebihan. Untuk melindungi gangguan ini, maka generator yang besar dipasang *relay* pengaman terhadap rotor hubung singkat.

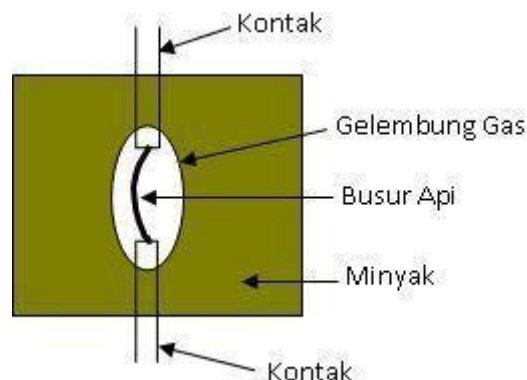
2.3 Konsep Dasar PMT

Circuit breaker atau sakelar pemutus tenaga (PMT) pada umumnya adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik suatu sistem tenaga listrik yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi termasuk arus hubung singkat, Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal. Jenis-jenis PMT berdasarkan media insulator dan material dielektriknya adalah terbagi menjadi empat jenis yaitu :

2.3.1 Sakelar PMT Minyak

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV. Pada saat kontak dipisahkan, busur api akan terjadi didalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi busur api, karena panas yang ditimbulkan busur api, minyak mengalami

dekomposisi dan menghasilkan gas hydrogen yang bersifat menghambat produksi pasangan ion. Oleh karena itu, pemadaman busur api tergantung pada pemanjangan dan pendinginan busur api dan juga tergantung pada jenis gas hasil dekomposisi minyak.



Gambar 2.11 Pemutus daya minyak

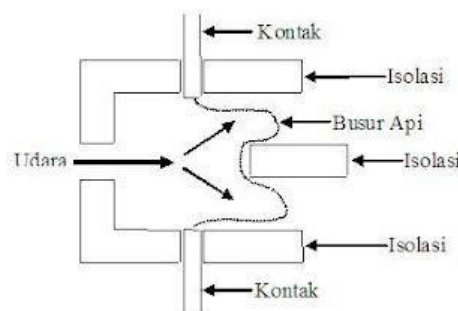
Sumber : imam setiono (2017) gas SF₆ (sulfur hexa flourida) sebagai pemadam busur api

Gas yang timbul karena dekomposisi minyak menimbulkan tekanan terhadap minyak, sehingga minyak terdorong ke bawah melalui leher bilik. Di leher bilik, minyak ini melakukan kontak yang intim dengan busur api. Hal ini akan menimbulkan pendinginan busur api, mendorong proses rekombinasi dan menjauhkan partikel bermuatan dari lintasan busur api. Minyak yang berada diantara kontak sangat efektif memutuskan arus. Kelemahannya adalah minyak mudah terbakar dan kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak, sehingga tidak cocok untuk sistem yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat.

2.3.2 Sakelar PMT Udara Hembus (*air blast circuit breaker*)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. 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 pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat. Saat busur api timbul, udara tekanan tinggi dihembuskan ke busur api melalui nozzle pada kontak pemisah dan ionisasi media diantara kontak dipadamkan oleh hembusan udara tekanan tinggi itu dan juga menyingkirkan partikel-partikel bermuatan dari sela kontak, udara ini juga berfungsi untuk mencegah *restriking voltage* (tegangan pukul ulang).



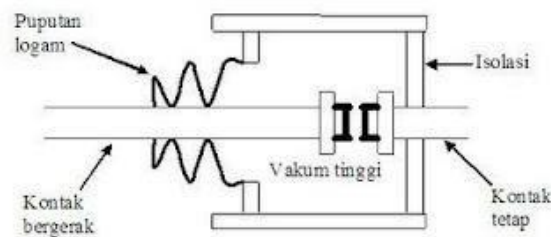
Gambar 2.12 Pemutus daya udara hembus

Sumber : imam setiono (2017) gas SF 6 (sulfur hexa flourida) sebagai pemadam busur api

Kontak pemutus ditempatkan di dalam isolator juga katup hembusan udara. Pada sakelar PMT kapasitas kecil isolator ini merupakan satu kesatuan dengan PMT.

2.3.3 Sakelar PMT vakum (*vacuum circuit breaker*)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 KV. Pada PMT vakum, kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Untuk mencegah udara masuk kedalam bilik, maka bilik ini harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam.



Gambar 2.13 Pemutus daya vakum

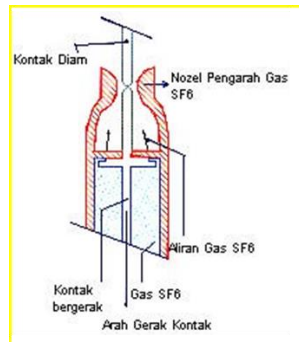
Sumber : imam setiono (2017) gas SF₆ (sulfur hexa flourida) sebagai pemadam busur api

Jika kontak dibuka, maka pada katoda kontak terjadi emisi *thermis* dan medan tegangan yang tinggi yang memproduksi elektron-elektron bebas. Elektron hasil emisi ini bergerak menuju anoda, elektron-elektron bebas ini tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi proses ionisasi. Akibatnya, tidak ada penambahan elektron bebas yang mengawali pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan.

2.3.4 Sakelar PMT Gas *SF₆* (*SF₆ circuit breaker*)

Pada saklar yang digunakan ini adalah gas *SF₆* (*Sulfur hexafluoride*). Sifat gas *SF₆* murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun, dan tidak mudah terbakar. Apabila saat suhu 150°C, gas *SF₆* mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik, dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, Gas *SF₆* mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dan kekuatan dielektrik ini bertambah seiring dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas *SF₆* ini ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, tidak terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka.

PMT gas SF_6 ini, menurut Djiteng (2005: 18) mengemukakan ada bagian yang menghasilkan gas SF_6 bertekanan untuk disemprotkan pada busur listrik yang terjadi baik pada waktu PMT dibuka maupun pada waktu PMT ditutup.

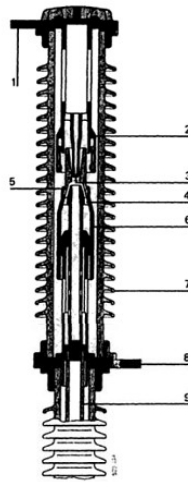


Gambar 2.14 Konstruksi ruang pemadaman PMT SF_6 secara sederhana

Sumber : supari muslim (2008) teknik pembangkit tenaga listrik jilid 1

Ruangan pemutus tenaga berupa ruangan yang diselubungi oleh porselin dan dalam ruang ini terdapat beberapa kontak-kontak silinder bergerak atau silinder penghembus (*moving cylinder or blast cylinder*) batang operasi, dan gas SF_6 . Bagian-bagian Pemutus Tenaga dengan media SF_6 dapat dilihat pada gambar 2.2 Secara umum ruangan Pemutus Tenaga dibagi menjadi dua yakni :

1. Unit interupsi Terdiri dari kontak tetap (2 dan 3), kontak bergerak (4 dan 5), silinder penghembus (6) dan piston penghembus.
2. Sistem gas SF_6 di isi dalam ruangan pemutus tenaga dengan tekanan tinggi untuk mencegah terjadinya kebocoran.



Gambar 2.15 Bagian dalam pemutus tenaga gas SF_6

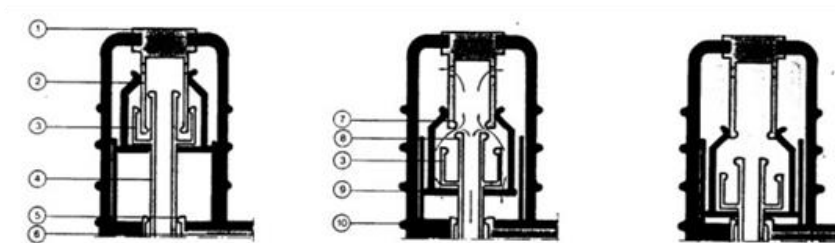
Sumber : <https://11nq.com/fRoZE>

Pada gambar di atas menjelaskan bagian-bagian dengan keterangan sebagai berikut :

1. Pinggiran koneksi atas.
2. Kontak tetap arus (*fixed continuous-current contact*).
3. Kontak busur tetap (*fixed arcing contact*).
4. Kontak busur bergerak (*moving arcing contact*).
5. Kontak bergerak arus (*moving continuous-current contact*).
6. Silinder penghembus (*puffer cylinder*).
7. Insulator porselin (*porcelain insulator*).
8. Pinggiran koneksi bawah.
9. Batang operasi (*operating rod*).

Untuk membuka dan menutup pemutus tenaga yaitu dengan cara menaikkan atau menurunkan posisi dari kontak bergerak (*moving contact*) yang terhubung pada batang penggerak (*operating rod*), dan

digerakkan oleh mekanisme penggerak. Proses tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



(a) Posisi tertutup (b) Proses pembukaan (c) Proses terbuka

Gambar 2.16 Proses mekanisme kinerja PMT gas SF₆

Sumber : <https://11nq.com/fRoZE>

Gambar di atas menjelaskan proses mekanisme kerja PMT dengan berdasarkan keterangan sebagai berikut :

(a) Posisi Tertutup

Arus mengalir dari terminal 1 sampai 6 melalui kontak utama 2 serta 5, kontak bergerak 3 dan 5 di sertai batang operasi 4.

(b) Posisi Pembukaan

Kontak bergerak utama 3 terpisah terlebih dahulu. Kemudian busur api akan terjadi pada kontak busur 7 dan 8. Gas SF₆ akan tertekan antara piston bergerak 9, piston tetap 10 yang akan memadamkan busur api dalam dua arah berlawanan.

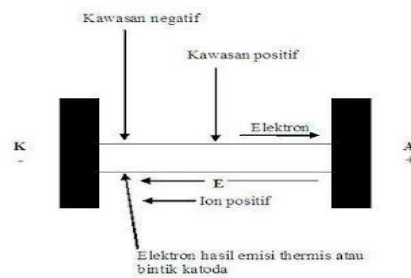
(c) Proses Terbuka

Setelah busur api padam, permukaan di sela kontak ruang pemadaman busur api akan terisi lagi dengan gas SF₆, sehingga kekuatan dielektrik pada busur di sela kontak secara cepat akan pulih kembali akibat sifat

keelektronegatifan gas SF_6 untuk menangkap elektron-elektron bebas yang melewatinya, sehingga PMT dapat dioperasikan kembali.

2.4 Proses Terjadinya Busur Api

Pada waktu saat pemutusan atau penghubungan suatu rangkaian sistem tenaga listrik, maka pada PMT akan terjadi busur api. Hal tersebut terjadi karena pada saat kontak PMT dipisahkan, beda potensial antara kontak akan menimbulkan medan elektrik.



Gambar 2.17 Proses terjadinya busur api

Sumber : imam setiono (2017) gas SF_6 (sulfur hexa flourida) sebagai pemadam busur api

Arus yang sebelumnya mengalir pada kontak akan memanaskan kontak dan menghasilkan pelepasan panas pada permukaan kontak. Sedangkan medan elektrik menimbulkan pelepasan medan tinggi pada kontak katoda (K). Kedua pelepasan ini menghasilkan elektron bebas yang sangat banyak dan bergerak menuju kontak anoda (A). Elektron-elektron ini membentur molekul netral media isolasi di kawasan positif, sehingga benturan-benturan ini akan menimbulkan proses ionisasi.

Dengan demikian, jumlah elektron bebas yang menuju anoda akan semakin bertambah dan muncul ion positif hasil ionisasi yang bergerak menuju katoda, perpindahan elektron bebas ke anoda menimbulkan arus dan memanaskan

kontak anoda. Ion positif yang tiba di kontak 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 di katoda. Akibatnya pelepasan panas semakin meningkat. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya rendah misalnya tembaga, ion positif akan menimbulkan pelepasan medan elektrik yang tinggi. Hasil pelepasan panas ini dan pelepasan medan elektrik yang tinggi akan memakan waktu cukup lama untuk proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut busur api.

2.5 Gas *Sulfur Hexafluoride* (SF_6)

Sulfur hexafluoride yang dapat kita sebut SF_6 merupakan jenis gas yang digunakan dalam peralatan listrik. Menurut PT. Usaha Mulia Perkasa (2024) sebagai distributor gas SF_6 di Indonesia, gas SF_6 ini dibentuk oleh reaksi kimia antara belerang cair dan *flour*. *Flour* diperoleh dengan elektrolisis asam *hidrofluorat* (HF). Gas SF_6 ini merupakan gas yang tidak mudah terbakar juga tidak beracun. Gas SF_6 memiliki sifat *self-healing* yang memungkinkannya untuk secara otomatis memperbaiki atau meregenerasi dirinya sendiri setelah digunakan untuk memadamkan busur api PT Cambridge Sensotec (2000).

2.5.1 Karakteristik Gas SF_6

Adapun karakteristik SF_6 di antaranya :

1. Tidak bewarna, tidak berbau, tidak beracun serta tidak mudah tercampur.
2. Gas ini akan mencair pada temperatur yang rendah dimana temperatur pencairan tergantung pada tekanan yang diberikan.
3. Biasanya Gas SF_6 pada pembangkit berbentuk tabung.



Gambar 2.18 Bentuk tabung gas SF_6

Sumber : umpgas.com

2.5.2 Dampak Gas SF_6

Adapun dampak yang ditimbulkan oleh gas SF_6 menurut Imam (2017: 5) yakni :

1. Bagi manusia, pencemaran Gas SF_6 adalah mengandung racun yang berakibat pada kulit, mata, dan dapat merusak selaput lendir. Apabila terhirup lama akan mengganggu pangkal tenggorokan, gangguan paru-paru, hati, dan peredaran napas terhenti seperti pingsan. Dengan suatu konsentrasi SF_6 yang melebihi 35% volume dalam udara itu berbahaya, karena akan dapat berakibat mati lemas kekurangan oksigen.

2. Bagi peralatan dalam kurun waktu yang tertentu akan terjadi pengapuran pada kontak-kontak metalik, dan terjadi pegumpalan berupa serbuk.

2.5.3 Kelebihan dan Kekurangan Gas SF₆

Adapun kelebihan dan kekurangannya sebagai berikut :

(a) Kelebihan :

1. Pengurangan sejumlah pemutus dalam hubungan seri per phasa pada rating tegangan yang digunakan.
2. Karena waktu durasi yang pendek dari busur api, maka bunga api kontak yang terjadi dibatasi meskipun untuk arus hubung singkat yang sangat tinggi.
3. Hasil busur api yang kebanyakan terdiri dari serbuk dengan sifat isolasi yang baik dapat dipindahkan saat perbaikan.
4. Gas blast tidak di-discharge (pelepasan muatan) ke atmosfer sehingga saat bekerja akan lebih tenang
5. Memiliki sifat kimia yang lamban, stabil, tidak mudah terbakar dan tidak beracun.

(b) Kekurangan :

1. Relatif lebih mahal dari segi pembiayaan.
2. Walaupun dalam jumlah yang kecil, apabila terjadi kerusakan maka membutuhkan waktu yang lama untuk perbaikan.
3. Gas *SF₆* harus dipompa ke dalam tabung penyimpanan apabila ada penelitian dan *maintenance*.

2.5.4 Pengisian Gas *SF6* Pada Generator *Circuit Breaker*

Untuk melakukan pengisian gas *SF6* ada prosedur yang harus dilakukan sebagai berikut :

1. Pastikan mengenakan peralatan keselamatan sebelum melakukan pengisian sesuai standar K3 serta menyiapkan beberapa alat yang diperlukan dalam pengisian gas;
2. hubungkan perangkat pengisian gas *SF6* ke *GCB* serta pastikan koneksi rapat dan aman;
3. kemudian saat melakukan pengisian periksa tekanan gas *SF6* dan pastikan indikator gas berjalan ketika melakukan pengisian yang di mana sebelumnya gas berkurang sampai dibatas 750 Kpa (minimal), isi sampai indikator gas yang disarankan berdasarkan spesifikasi generator *circuit breaker* tekanan gas *SF6 absolute pressure* yakni 850 Kpa (standar).



Gambar 2.19 Pengisian Gas *SF6* pada *GCB*

Sumber : dokumentasi Jihan Ardika

2.6 Generator *Circuit Breaker* (GCB)

Generator *Circuit Breaker* perangkat penting dalam sistem pembangkit listrik sebagai pengaman atau proteksi pada generator dan jaringan listrik yang berfungsi sebagai pemutus atau penghubung sirkuit apabila terjadi gangguan, terletak di antara generator dan trafo *step-up* pada jaringan listrik.

Pemutus tegangan (PMT) yang digunakan pada Generator PLTA Musi merupakan pemutus tenaga bertipe sulfur hexa flouride (SF₆) atau *circuit breaker* yang bertipe GIS (*Gas Insulated Switchgear*). Gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara dan kekuatan dielektrik ini bertambah seiring dengan pertambahan tekanan. Pada dasar *GCB* memiliki tugas utama diantara nya :

1. Mengatasi arus gangguan;
2. menginterupsi arus hubung singkat sumber sistem dan sumber generator;
3. membawa dan memutus arus beban;
4. dan memisahkan generator dari jaringan.

Mekanisme kerja generator *circuit breaker* mempunyai dua prinsip kerja, yaitu membuka dan menutup sirkuit dalam sekejap. Dengan begitu generator akan tetap aman dan jaringan listrik tidak mengalami kerusakan selama *GCB* dapat mendeteksi gangguan. Apabila terjadi gangguan secara otomatis. *GCB* melakukan operasi penutupan. kontak-kontak penutup merespon dengan melawan gaya-gaya saling berlawanan. Selama operasi pembukaan, kontak-kontak tertutup terpisah secepat mungkin. Pemeliharaan Generator *Circuit Breaker* Pemeliharaan generator *circuit breaker* (*GCB*) yang menggunakan gas

SF6 adalah tugas penting untuk memastikan operasional yang aman dan efisien.



Gambar 2.20 Generator *circuit breaker* unit 3

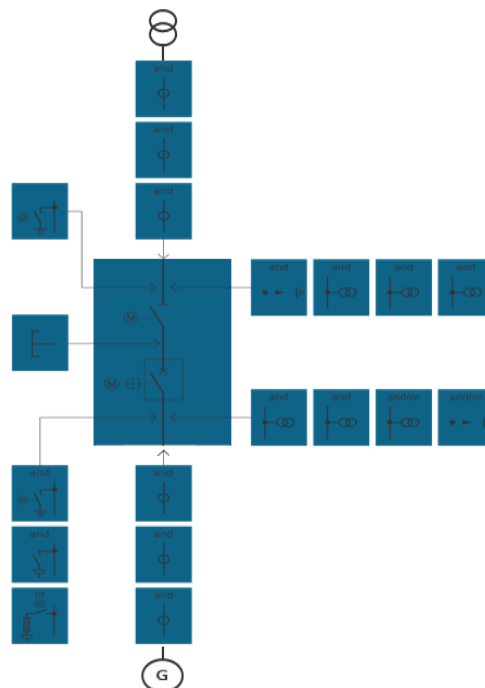
Sumber : dokumentasi Jihan Ardika

Berikut adalah langkah-langkah umum untuk melakukan pemeliharaan pada generator *circuit breaker* :

1. Melakukan pemeriksaan secara berkala untuk mengetahui ada tidaknya kerusakan fisik pada GCB;
2. serta memeriksa tekanan gas *SF6* secara berkala dengan melihat berapa tekanan gas pada indikator serta pastikan indikator gas tidak boleh kurang dari 850 Kpa.

2.6.1 *Single Line* Diagram GCB

Pada generator *circuit breaker* terdiri dari beberapa bagian yang akan dijelaskan dalam bentuk *single line* diagram sebagai berikut :



Gambar 2.21 Single line diagram GCB

Sumber : <https://feji.us/rmjsx8h>

Keterangan :

1.  Pemutus berfungsi sebagai memutuskan sekaligus menyambungkan arus listrik tanpa memadamkan sumber listrik.
2.  Saklar sirkuit generator vakum berfungsi sebagai perangkat pengaman yang menggunakan media vakum tertentu untuk meredamkan busur api.
3.  Transformator arus yang berfungsi mengubah arus tinggi menjadi arus rendah untuk pengukuran.
4.  Transformator tegangan yang berfungsi mengubah tegangan tinggi menjadi rendah untuk pengukuran.

5.  Penangkal petir berfungsi sebagai perangkat yang digunakan untuk melindungi peralatan listrik dari lonjakan tegangan atau petir dengan cara mengalirkan ke ground.
6.  Saklar pengaman tanah yang berfungsi untuk memutuskan dan menyambungkan peralatan listrik ke tanah.
7.  Pemutus start-up berfungsi untuk memberikan perlindungan pada sistem star-up.
8.  Pemutus start-up dengan sekering HRC merupakan pemutus yang dilengkapi dengan sekering bertipe *high rupturing capacity* (HRC) yang mampu menahan arus lebih tinggi.
9.  Alat korsleting berfungsi untuk membuat sirkuit pendek atau korslet secara sengaja untuk melakukan pengujian atau pemeliharaan pada sistem kelistrikan.
10.  Transformator step-up generator berfungsi untuk menaikkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator sebelum disalurkan ke jaringan transmisi.
11.  Generator berfungsi menghasilkan arus listrik untuk memasok daya pada sistem kelistrikan.

2.6.2 Syarat-syarat Sinkron Generator *Circuit Breaker*

Adapaun syarat yang harus dipenuhi agar generator *circuit breaker* sinkron dan berkerja dengan baik diantaranya :

1. Memiliki Frekuensi yang sama antara Generator dan sistem daya utama harus beroperasi pada frekuensi yang sama. Frekuensi ini biasanya adalah 50 Hz atau 60 Hz, tergantung pada standar lokal. Proses sinkronisasi akan memastikan bahwa frekuensi generator dan sistem daya utama selaras.
2. Memiliki Fasa yang sama antara generator harus selaras dengan sistem daya utama. Ini berarti gelombang tegangan generator harus mencapai puncak atau lembah pada waktu yang sama dengan sistem daya utama. Kekurangan sinkronisasi fase dapat menyebabkan lonjakan arus dan kerusakan peralatan.
3. Memiliki Tegangan yang sama antara Tegangan generator harus sesuai dengan tegangan sistem daya utama. Kekurangan atau kelebihan tegangan dapat merusak peralatan listrik, oleh karena itu penting untuk memastikan kesetaraan tegangan.
4. Tidak Ada Beban di Generator saat Sebelum sinkronisasi, generator harus dalam kondisi tidak memasok daya ke beban internal atau generator lainnya. Ini untuk memastikan bahwa generator siap untuk dihubungkan dengan sistem daya utama.

2.6.3 Spesifikasi GCB

Generator *circuit breaker* terdapat sebuah penjelasan mengenai spesifikasi secara detail tertera pada alat tersebut yang mana spesifikasi GCB dijelaskan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

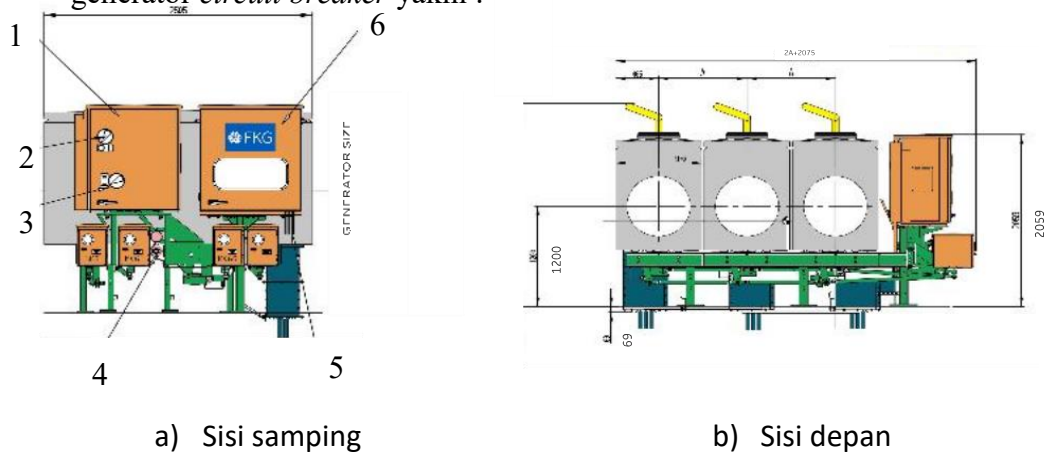
Spesifikasi Generator <i>Circuit Breaker</i> FKG2S-SKG2S			
Rated Maximum Voltage	12 Kv	Mass of Sf6 Gas	6 kg
Rated Frequency	50 Hz	Total Mass Of Circuit Breaker	3 200 kg
Rated Continuous Current	AT 40°C 5.8 kA	Electrical Standard Reference	ANSI C37-013/IEC 60 694
Rated Full-wave Impulse withstand Voltage	PEAK 125 kV	Instruction Book Number	D3 084
Rated Short-circuit Duty Cycle	C0-30min-C0	Manufacturer's Serial N°	113 909 0010 03
Rated Operating Sequence Without Short-circuit Fault	0-3min-C0-3min-C0	Year Of Manufacture	2005
Rated Short-circuit Current, Symmetrical	63 kA	Contract N°	P0-6 232 077K
Dc Component Of The Rated Short-circuit Current	70 %	Pln Contract N Lot III B: No. 02.PJ/063/PIKITRING	SBS/2003
Maximum Asymmetrical Short-circuit Peak Current	173 kA	Aux Voltage Spring Charging Motor For CB (Fkg2s)	230 VAC-50Hz
Short-time	63 kA 3s	Aux Voltage Spring	400 VAC-50Hz

Current		Charging Motor For DS (Skg2s)	
Assigned Out-of-phase switching Current	31.5 kA	Aux Voltage Opening And Closing Circuits	110 VDC
Interrupting Time	55 ms	Aux Voltage Heater And Lighting Circuits	230 VAC-50Hz
Sf6 Gas Absolute Pressure	850 Kpa	Degree Of Protection Enclosure/mechanism	IP55/IPS4
(Relative Pressure at 20° c, 1 013 hPa)	750 Kpa		

Tabel 2.1 Spesifikasi Generator *circuit breaker* unit 3 PLTA Musi

2.6.4 Bagian-bagian Yang Ada Pada GCB

Berikut merupakan gambaran bagian luar dan bagian dalam pada generator *circuit breaker* yakni :



Gambar 2.22 Tampilan luar GCB dari sisi samping dan sisi depan

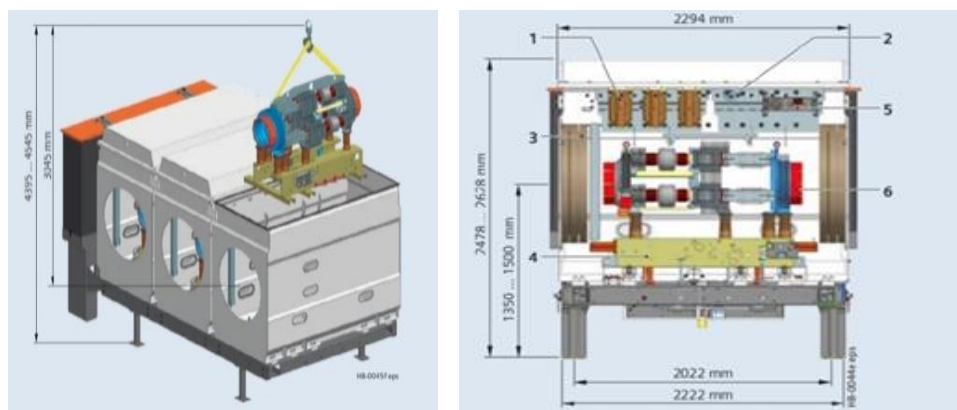
Sumber : <https://feji.us/p5dgnw>

Keterangan :

1. Mekanisme menggunakan pegas untuk mengontrol operasi dari perangkat.
2. Indikator yang menunjukkan posisi pemutus dalam sistem.

3. Indikator status kondisi pegas dalam perangkat.
4. Tempat pengisian gas SF_6 .
5. Koneksi tegangan rendah yang terhubung ke sistem jaringan listrik.
6. Bagian sistem yang digunakan untuk mengatur dan mengontrol perangkat sistem distribusi listrik.

Di atas telah menjelaskan bagian-bagian luar pada GCB, selanjutnya akan membahas bagian-bagian dalam pada generator circuit breaker yakni :



Gambar 2.23 Tampilan bagian dalam secara detail pada GCB

Sumber : <https://feji.us/rmjx8h>

Keterangan :

1. Transformator tegangan.
2. Penangkal petir.
3. Transformator arus.
4. Modul pengalihan pemutusan sirkuit listrik yang mengalir.
5. kapasitansi tambahan untuk menyerap lonjakan tegangan.
6. Titik penyambungan antara peralatan listrik.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi Penelitian

Deskripsi penelitian merupakan kerangka kerja yang digunakan untuk merencanakan dan melaksanakan sebuah penelitian. Selain itu, deskripsi penelitian ini mencakup tentang penjelasan langkah-langkah penelitian, jangka waktu, tempat, dan teknik pengumpulan data. Langkah-langkah perencanaan penelitian menjadi kunci dalam melaksanakan penelitian yang efektif, penelitian ini menerapkan beberapa teknik pengumpulan data yang telah disiapkan dengan tujuan meneliti objek serta beberapa data yang harus diambil untuk melengkapi penelitian ini.

Waktu perencanaan penelitian ini diestimasikan selama 4 minggu, pada awal Juni 2024 Ini, termasuk semua tahap penelitian dari perencanaan hingga persiapan untuk melakukan sebuah penelitian hingga terjun ke lapangan sekaligus pengamatan pada objek yang bersangkutan. Rencana jadwal kegiatan selama 4 minggu ini dapat disusun sebagai berikut :

1. Minggu pertama melakukan persiapan dokumen-dokumen yang diperlukan, beberapa pertanyaan sekaligus menyiapkan perlengkapan *safety* sesuai kesehatan, keamanan, dan keselamatan kerja (K3) untuk memasuki kawasan ruang lingkup PLTA;
2. pada minggu kedua, kunjungan dilakukan ke PLTA Musi ke *main control house* (MCH) untuk bertemu dengan tim unit pemeliharaan dan perbaikan yang dikenal sebagai tim HAR. Selain itu, juga bertemu dengan

pembimbing magang untuk berkonsultasi mengenai prosedur penelitian sesuai arahan perusahaan.

3. pada minggu ketiga, dilakukan pengurusan surat izin penelitian kepada pihak Program Studi Teknik Elektro Politeknik Raflesia. Selanjutnya ditindaklanjuti ke pihak PLTA Musi melalui manajer PLTA Musi, Bapak Rizki Putra S.T.
4. dan minggu yang keempat, usaha dilakukan untuk menemui beberapa tim unit pemeliharaan dan perbaikan (HAR) bertujuan mencari data yang dibutuhkan, karena pelaksanaan penelitian tidak dapat dilakukan. Beberapa hari kemudian, data pemeliharaan dan perbaikan berhasil diperoleh dalam bentuk dokumentasi bergambar dari pembimbing magang untuk diproses dalam tahap processing data.

Penelitian ini akan dilaksanakan di PLTA Musi, Kecamatan Ujan Mas, Kabupaten Kepahiang, Provinsi Bengkulu. Lokasi penelitian akan dijelaskan sebagai berikut:

No	Lokasi	Keterangan
1	Kantor Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkit (UPDK) Bengkulu	Pusat layanan data pemeliharaan dan perbaikan PLTA Musi, termasuk data penggunaan gas <i>SF6</i> pada generator <i>circuit breaker</i> .
2	<i>Power House</i>	Tempat generator <i>circuit breaker</i> unit 3 (tiga) berada.

Tabel 3.1 Lokasi Penelitian

3.2 Populasi dan Sampel Penelitian

Keseluruhan dari objek penelitian disebut dengan populasi serta sampel merupakan salah satu bagian dari populasi. Variabel dalam penelitian hampir sama dengan karakteristik yang bisa diukur dan diamati untuk menjawab pertanyaan penelitian. Penggunaan gas *SF6* merupakan variabel penelitian ini pada generator *circuit breaker* unit 3 (tiga) PLTA Musi. Adapun populasi dan sampel pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut :

1. Secara umum, populasi merujuk kepada keseluruhan objek atau unit yang akan dianalisis dalam suatu penelitian. Dalam konteks penelitian ini, populasinya adalah semua sistem proteksi yang terdapat pada generator PLTA Musi
2. Sampel merupakan sebagian kecil dari populasi yang dipilih untuk mewakili populasi secara keseluruhan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, sampel yang digunakan adalah generator *circuit breaker* dengan tipe *FKG2S-SKG2S*.

3.3 Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data

Dalam sebuah penelitian, instrumen merujuk pada alat yang digunakan untuk mengumpulkan informasi dari sumber data yang diperoleh melalui pengukuran. Instrumen ini berupa indikator yang terdapat pada alat tersebut. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi studi literatur, bimbingan, wawancara, dan dokumentasi. Penjelasan lebih lanjut akan dijelaskan sebagai berikut :

3.3.1 Studi Literatur

Mencari informasi dan data relevan mengenai penggunaan gas *SF6* pada *circuit breaker* unit 3 (tiga) di PLTA Musi dilakukan melalui berbagai sumber. Informasi diperoleh dari perpustakaan Politeknik Raflesia, termasuk buku dan laporan penelitian sebelumnya. Sementara itu, spesifikasi peralatan dan dokumentasi teknis diperoleh selama waktu magang di PLTA Musi. Untuk melengkapi studi literatur, pencarian informasi yang tidak tersedia di perpustakaan Politeknik Raflesia dan PLTA Musi dilakukan melalui situs internet, seperti, artikel, jurnal, dan spesifikasi peralatan dari perusahaan yang menyediakan peralatan proteksi untuk pembangkit listrik.

3.3.2 Bimbingan

Bimbingan melibatkan konsultasi juga diskusi dengan profesional, mentor, atau ahli teknik listrik untuk mendapatkan panduan, saran, dan pemahaman yang lebih mendalam tentang penggunaan gas *SF6* dalam konteks *circuit breaker* di PLTA Musi. Pembimbing magang, bapak Septian Hadi sebagai seorang teknisi di bagian kelistrikan PLTA turut terlibat karena memiliki pengetahuan luas mengenai pemeliharaan dan perbaikan dalam operasional. Melalui bimbingan ini diharapkan akan memperoleh wawasan praktis, panduan teknis, pemecahan masalah, dan solusi untuk mengoptimalkan kinerja dan keandalan *circuit breaker* unit 3 (tiga) di PLTA Musi.

3.3.3 Wawancara

Kegiatan dilakukan bersama pihak terkait di PLTA Musi, termasuk beberapa anggota satuan unit pemeliharaan dan perbaikan yang disebut tim HAR, operator dan pembimbing magang yang terlibat langsung dalam penggunaan gas *SF6* pada *circuit breaker* unit 3 (tiga). Tujuan dari sesi wawancara adalah untuk mendapatkan informasi, pengalaman, dan pandangan langsung dari mereka. Berbagai pertanyaan yang telah diajukan kepada tim HAR melalui wawancara untuk memperoleh pemahaman yang lebih dalam tentang pengalaman praktis, tantangan operasional, tindakan pencegahan, pemeliharaan dan perbaikan yang perlu dilakukan terkait penggunaan gas *SF6*.

3.3.4 Dokumentasi

Pengumpulan data dan informasi dilakukan dari dokumen resmi berupa gambar, catatan operasional, laporan pemeliharaan, catatan kejadian, serta dokumentasi teknis terkait penggunaan gas *SF6* pada generator *circuit breaker* unit 3 (tiga) di PLTA Musi. Beberapa dokumentasi telah diperoleh selama menjalani proses magang di PLTA Musi dalam beberapa bulan.

3.4 Teknik Analisis Data

Pada tahap teknik analisis data ini, terdapat beberapa langkah-langkah dalam pengelolaan data antara lain :

1. Reduksi Data

Langkah awal dalam proses analisis data adalah menyaring, memilih, dan mengurangi data yang relevan dari kumpulan data awal. Selanjutnya, dalam penelitian ini, reduksi data akan difokuskan pada evaluasi kinerja penggunaan gas *SF6* pada generator circuit breaker di PLTA Musi dalam konteks peredaman busur api.

2. Penyajian Data

Bagian ini melibatkan penggunaan gambar dokumentasi teknis pemeliharaan atau ilustrasi data yang dipilih dari berbagai sumber melalui proses reduksi data. Tujuannya adalah untuk menyusun teks naratif dari informasi yang telah direduksi, sehingga memungkinkan untuk menarik kesimpulan.

3. Penarikan Kesimpulan/Verifikasi Data

Langkah terakhir dalam teknik analisis data melakukan penarikan kesimpulan atau verifikasi. Hasil analisis data digunakan untuk membuat kesimpulan yang mendukung pemahaman yang lebih mendalam. Langkah berikutnya adalah menyusun kesimpulan berdasarkan analisis data dari studi literatur, bimbingan, wawancara, dan dokumentasi.

BAB IV

HASIL PENELITIAN dan PEMBAHASAN

Setelah menjelaskan latar belakang penelitian, teori-teori yang mendukung, dan metode penelitian yang digunakan, Bab ini memaparkan hasil penelitian. Hasil penelitian didasarkan pada studi literatur, bimbingan, wawancara, dan dokumentasi. Pembahasan dalam Bab ini berasal dari teknik pengumpulan data melalui dokumentasi, wawancara dengan informan, dan diskusi yang fokus pada masalah yang diteliti. Pada Bab hasil penelitian dan pembahasan ini, akan diuraikan hasil wawancara yang dilakukan pada bulan Juni 2024 di *Main Control House* (MCH) di ruangan satuan unit pemeliharaan dan perbaikan yang dikenal sebagai Tim HAR, PT PLN Indonesia Power ULP PLTA Musi di Kecamatan Ujan Mas, Kabupaten Kepahiang, Provinsi Bengkulu, terkait dengan penggunaan gas *SF6* pada generator *circuit breaker* unit 3 ULP PLTA Musi.

Wawancara yang dilakukan oleh peneliti terjadi pada bulan Juni 2024. Hasil penelitian ini diperoleh melalui wawancara mendalam dengan narasumber seperti bapak Septian Hadi seorang teknisi kelistrikan, dan beberapa anggota tim HAR, yaitu bapak Ansori dan bapak Syarifudin yang terlibat langsung dalam penggunaan gas *SF6* pada generator *circuit breaker*. Data lapangan ini kemudian dianalisis oleh peneliti dan digunakan untuk membuat tabel lokasi penelitian guna observasi lebih lanjut terhadap alat yang bersangkutan untuk melanjutkan penelitian berikutnya.

Lokasi penelitian akan dijelaskan sebagai berikut:

No	Lokasi	Keterangan
1	Kantor Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkit (UPDK) Bengkulu	Pusat layanan data pemeliharaan dan perbaikan PLTA Musi, termasuk data penggunaan gas <i>SF6</i> pada generator <i>circuit breaker</i> .
2	<i>Power House</i>	Tempat generator <i>circuit breaker</i> unit 3 (tiga) berada.

Tabel 4.1 Lokasi tempat penelitian

Kedua tempat tersebut tidak dapat dikunjungi karena sedang dalam proses *overhaul* yang dimulai pada 16 Mei 2024 dan tidak dapat diakses. Tempat tersebut baru bisa dikunjungi setelah selesainya proses *overhaul* di PLTA Musi. *Power House* tempat generator *circuit breaker* unit 3 (tiga) berada sedang dalam tahap pembongkaran peralatan di mana hanya pekerja yang diizinkan masuk. Sementara itu, kantor Unit Pelaksana Pembangkit (UPDK) Bengkulu tidak dapat diakses tanpa izin resmi karena data-data di dalamnya bersifat privasi dan tidak boleh diakses sembarangan. Karena PLTA Musi sedang menjalani proses *overhaul*, peneliti berusaha mencari data yang diperlukan untuk melengkapi penelitian ini karena observasi langsung tidak memungkinkan sampai PLTA Musi selesai *overhaul* untuk melihat perkembangan kinerja generator *circuit breaker* saat ini. Setelah beberapa hari, data tersebut diperoleh dari bapak Septian Hadi, dalam bentuk dokumentasi bergambar pemeliharaan terkait penggunaan gas *SF6* pada generator *circuit breaker* unit 3 (tiga).

Kemudian Setelah beberapa minggu, PLTA Musi menyelesaikan proses *overhaul*, sehingga kedua tempat tersebut baru dapat dikunjungi setelah tertunda

hingga bulan Agustus 2024. Data yang diperlukan telah diperoleh dari Kantor Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkit (UPDK) Bengkulu sebagai pusat layanan data pemeliharaan dan perbaikan terkait penggunaan *SF6* pada generator *circuit breaker* PLTA Musi, serta dari *Power House* untuk memastikan kinerja generator *circuit breaker* dalam keadaan optimal. Penjelasan lain disusun berdasarkan temuan dari teknik pengumpulan data melalui studi literatur, bimbingan, dan wawancara.

4.1 Deskripsi Objek Penelitian

Generator dalam pembangkit listrik tenaga air merupakan komponen terpenting dalam PLTA yang mengubah energi air menjadi listrik. Generator ini beroperasi dengan stator dan rotor untuk menghasilkan listrik saat air menggerakkan turbin. Energi dari air digunakan untuk memutar turbin, yang kemudian membuat generator menghasilkan listrik. Pada setiap generator dalam Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi terdapat proteksi yang disediakan untuk menjaga kinerja dan keandalan generator tersebut, salah satunya *circuit breaker* generator, yang juga dikenal sebagai generator *circuit breaker* berfungsi sebagai mengontrol aliran listrik antara generator dan jaringan listrik.



Gambar 4.1 Generator *circuit breaker* unit 3

Sumber : dokumentasi Jihan Ardika

Generator *circuit breaker* yang berada di PLTA Musi merupakan jenis pemutus yang menggunakan gas *SF6* sebagai peredam busur api, gas *SF6* yang terkandung dalam *circuit breaker* tersebut merupakan isolator yang sangat baik dan mampu memadamkan busur api dengan efektif. Pada generator *circuit breaker* ini, gas *SF6* berperan penting dalam menjaga keandalan sistem, terutama dalam situasi darurat atau gangguan yang memerlukan pemutusan sirkuit yang cepat dan aman. Dengan pemahaman yang mendalam tentang spesifikasi gas *SF6* dan karakteristik *circuit breaker*, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dan efektivitas penggunaan gas *SF6* dalam konteks operasional PLTA Musi.

Spesifikasi Generator Circuit Breaker FKG2S-SKG2S	
SF6 Gas Absolute Pressure	850 Kpa
(Relative Pressure at 20° c, 1 013 hPa)	750 Kpa
Mass of SF6 Gas	6 kg
Total Mass Of Circuit Breaker	3 200 kg
Year Of Manufacture	2005

Tabel 4.2 Spesifikasi generator *circuit breaker* unit 3

Berdasarkan spesifikasi generator *circuit breaker* yang menjadi fokus penelitian, terdapat penggunaan gas *SF6* sebagai isolator listrik yang efektif dan stabil. Gas *SF6* ini memiliki massa 6 kg dan tekanan absolut standar sebesar 850 Kpa. Pada suhu 20°C, tekanan relatifnya adalah 750 Kpa yang merupakan nilai minimal. Generator *circuit breaker* memiliki berat keseluruhan 3200 kg dan dibuat pada tahun 2005 dengan usia alat yang mencapai 19 tahun pada tahun 2024.

4.2 Hasil Analisis Data

Dalam hasil analisis data mengenai gas *SF6* pada generator *circuit breaker* unit 3 (tiga) PLTA Musi, terdapat bagian dalam generator *circuit breaker* yang menghasilkan gas *SF6* bertekanan untuk disemprotkan pada busur listrik yang terjadi baik saat PMT dibuka maupun saat PMT ditutup. Di bawah pengaruh pelepasan tersebut gas *SF6* terurai sebagian menjadi komponen atomnya selama proses ini, di mana oksigen, kelembapan, dan produk dekomposisi seperti sulfur dioksida dapat terbentuk. Berbeda dengan media isolasi lainnya, gas *SF6* memiliki kemampuan unik untuk menyembuhkan diri sendiri dengan atom-atom yang bergabung kembali setelah dilepaskan dan inilah salah satu alasan penggunaannya secara luas dalam industri kelistrikan. Berdasarkan penjelasan tersebut, gas *SF6* setelah meredamkan busur api tekanan gas *SF6* tidak berkurang pada generator *circuit breaker* melainkan kembali ke kondisi semula. Dalam kasus di PLTA Musi, gas *SF6* tidak mampu mengembalikan dirinya ke kondisi semula,

sehingga menyebabkan gas *SF6* tersebut terus berkurang seiring berjalannya waktu.



Gambar 4.2 indicator gas *SF6* berkurang

Sumber : dokumentasi tim HAR

Berdasarkan gambar tersebut, gas *SF6* mengalami penurunan hingga mencapai 750 Kpa (nilai minimal). Secara umum, penurunan gas disebabkan oleh penggunaan gas *SF6* untuk memadamkan busur api atau sebagai isolasi dalam pemutusan sirkuit yang berkelanjutan menyebabkan gas *SF6* tidak dapat kembali ke tekanan standarnya sebesar 850 Kpa (standar) hal ini mengakibatkan gas *SF6* harus diisi ulang secara manual. Sebelum melakukan pengisian, dilakukan pemeriksaan gas *SF6* untuk mengetahui penyebab berkurangnya gas *SF6* dan mengapa tidak dapat kembali ke kondisi semula.



Gambar 4.3 Pemeriksaan tekanan gas *SF6*

Sumber : dokumentasi tim HAR

Pemeriksaan dilakukan dengan peralatan yang lengkap, terdiri dari 1 (satu) set peralatan yang telah disiapkan untuk menghadapi kemungkinan kebocoran gas *SF6*. Setelah dilakukan penelusuran dan pemeriksaan, terungkap adanya kebocoran pada salah satu penyambungan selang gas *SF6*, penurunan gas *SF6* disebabkan oleh kebocoran *air kondensat* yang terjadi didalam GCB dapat mempengaruhi kekuatan penyambungan kabel. Hal ini menyebabkan partikel-partikel tersebar melalui salah satu selang dan tidak dapat berkumpul kembali setelah proses peredaman, akhirnya menyebabkan penurunan. Oleh karena itu, pemeriksaan dilakukan untuk memastikan bahwa bagian-bagian terutama pada selang telah dikencangkan kembali. Area yang terdampak *air kondensat* perlu dibersihkan dan dikeringkan dengan baik. Langkah pencegahan juga diperlukan untuk mencegah kebocoran berulang dengan melakukan pemeliharaan rutin dan monitoring kondisi GCB secara berkala, serta menjaga suhu sekitar agar tetap stabil guna meningkatkan kinerja gas *SF6* menjadi lebih optimal. Apabila gas *SF6* tersebut mengenai

peralatan dalam kurun waktu yang tertentu akan terjadi pengapuran pada kontak-kontak metalik, dan terjadi pegumpalan berupa serbuk.



Gambar 4.4 Proses overhaul di PLTA Musi

Sumber : dokumentasi tim HAR

Penelitian untuk memantau kinerja gas *SF6* pada generator *circuit breaker* unit 3 tidak dapat dilakukan hingga proses *overhaul* di PLTA Musi selesai. Oleh karena itu, observasi penelitian tidak dapat dilakukan sampai proses tersebut selesai. Penelitian dilakukan melalui wawancara dengan informan mengenai kinerja gas *SF6* pada generator *circuit breaker* unit 3. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari informan, setelah perbaikan pada bulan juli 2023 hingga Juni 2024 tidak terjadi lagi pengurangan gas *SF6* pada generator *circuit breaker* unit 3 (tiga). Setelah menyelesaikan pemeliharaan terkait gas *SF6* dan mengidentifikasi penyebab berkurangnya gas *SF6*, langkah selanjutnya adalah melakukan pengisian gas *SF6* untuk menjaga stabilitas tekanan agar kinerja gas *SF6* dalam memadamkan busur api

menjadi optimal. Dalam proses pengisian gas *SF6*, terdapat prosedur yang harus diikuti sebagai berikut :

1. hubungkan perangkat pengisian gas *SF6* ke GCB serta pastikan koneksi rapat dan aman;
2. kemudian saat melakukan pengisian periksa tekanan gas *SF6* dan pastikan indikator gas berjalan ketika melakukan pengisian, tekanan gas tersebut diisi sampai 850 Kpa (standar) berdasarkan spesifikasi peralatan.



Gambar 4.5 Proses pengisian gas *SF6*

Sumber : dokumentasi tim HAR

Keandalan gas *SF6* sebagai isolator listrik dalam pemadaman busur api bergantung pada beberapa faktor, termasuk tekanan gas *SF6* yang dijaga dalam batas yang diinginkan. Pada tekanan absolut 850 Kpa (standar), gas *SF6* memiliki potensi optimal untuk memadamkan busur api dengan cepat dan efisien. Menjaga tekanan gas absolut pada level yang tepat sangat penting untuk memastikan keandalan dan kinerja optimal gas *SF6* dalam pemadaman busur api. Dengan menjaga tekanan gas yang sesuai, gas *SF6* dapat memberikan isolasi yang handal, mencegah gangguan arus yang tidak diinginkan, serta menjaga keandalan operasional sistem secara keseluruhan.



Gambar 4.6 Tekanan standar gas SF6 setelah di isi kembali

Sumber : dokumentasi tim HAR

Untuk menjaga kinerja generator *circuit breaker* khususnya dalam hal peredaman busur api, beberapa langkah berikut dapat membantu memastikan alat tersebut dapat bertahan lama dan berfungsi dengan baik:

1. Melakukan pemeliharaan dan pemeriksaan rutin pada generator *circuit breaker*, termasuk unit satu, unit dua, serta unit tiga.
2. Monitoring dan pemantauan terutama pada indikator gas untuk mendeteksi masalah potensial sebelum menjadi serius.
3. Memastikan area sekitar pemutus sirkuit bersih dari debu, kelembaban berlebihan, atau bahan lain yang dapat mengganggu operasi.

Dengan menerapkan langkah-langkah ini secara konsisten, dapat membantu menjaga kinerja generator *circuit breaker* berfungsi dengan baik dan tetap beroperasi selama sekitar 19 tahun di PLTA Musi untuk unit 3, termasuk kemampuan pemadaman busur api, serta memperpanjang masa pakai alat tersebut secara keseluruhan.

4.3 Pembahasan

Berdasarkan analisis data dan temuan di Kantor Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkit (UPDK) Bengkulu, khususnya di bagian *HEPP*

CONTROL CENTER, telah terungkap adanya faktor-faktor tertentu yang menyebabkan berkurangnya gas *SF6* pada generator *circuit breaker* di PLTA Musi.

- Uraian gangguan : saat ini tekanan *SF6* GCB unit 3 di level 690 Kpa
- Lokasi : *Power House*
- Normal operasi alat : normal nya tekanan *SF6* GCB adalah 800 Kpa
- Batasan alarm/trip/dll : batasan tekanan *SF6* GCB adalah 650 Kpa
- Akibat kerusakan : dapat mengganggu proses *synchrone* unit
- Tindakan operator local : melaporkan dan mendokumentasikan tekanan *SF6* pada operator MCH
- Indikasi pendukung : tekanan *SF6* GCB saat ini 690 Kpa
- Faktor berkurangnya *SF6* pada GCB : di temukan kebocoran *air kondensat* pada GCB unit 3

Ketika udara yang bercampur dengan uap air di dalamnya mengalami penurunan suhu, uap air tersebut akan mengembun dan menjadi tetesan air yang disebut *air kondensat*. Berdasarkan analisis gambar pemeliharaan, tekanan gas *SF6* berada pada 750 Kpa, sedangkan data yang diperoleh menunjukkan tekanan terendah sebesar 690 Kpa.

$$750 \text{ Kpa} - 690 \text{ Kpa} = 60 \text{ Kpa.}$$

Gas *SF6* mengalami pengurangan sebesar 60 Kpa saat dilakukan pengisian tekanan antara tabung gas *SF6* dan GCB. Hal ini disebabkan karena saat melakukan pengisian terjadi hisapan *SF6* ke dalam tabung akibat kerusakan

pada salah satu komponen dalam penyambungan, yang menyulitkan pengaturan dalam mode pengisian.

No	Tahapan	Keahlian	Waktu Pengerjaan
1	Persiapan tool dan APD	Instalasi tenaga listrik	10 Menit
		Asisten pembantu	10 Menit
		Asisten pembantu	10 Menit
		Instrumen pengukuran	10 Menit
2	Melakukan pengisian gas SF6	Instalasi tenaga listrik	45 Menit
		Asisten pembantu	45 Menit
		Asisten pembantu	45 Menit
		Instrumen pengukuran	45 Menit
3	Melakukan post <i>maintenance</i>	Asisten pembantu	10 Menit
		Asisten pembantu	10 Menit
		Instalasi tenaga listrik	10 Menit
		Instrumen pengukuran	10 Menit
4	Buat <i>feedback</i> dan laporan	Asisten pembantu	5 Menit
		Asisten pembantu	5 Menit
		Instalasi tenaga listrik	5 Menit
		Instrumen pengukuran	5 Menit
Total			1 jam 10 Menit

Tabel 4.3 Durasi waktu pemeliharaan dan perbaikan gas *SF6* pada GCB

Berdasarkan tabel di atas, setiap keahlian memiliki waktu yang telah ditetapkan oleh perusahaan sebagai target untuk menyelesaikan sebuah pekerjaan. Sehingga penentuan waktu pekerjaan oleh perusahaan bertujuan untuk menjaga kelancaran operasional sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam penyelesaian setiap pekerjaan.

Work Order Details

20231249: CM MUSI 3 PENGISIAN GAS SF 6 GCB 11 KV

- Urutan Gangguan : saat ini tekanan sf6 GCB unit 3 di level 690 Kpa

='''lokasi''' p'''>

- Normal Operasi Alat : normal nya tekanan sf6 GCB adalah 800 Kpa

- Batasan alam/nydidi : batasan tekanan sf6 GCB adalah 650 Kpa

- Akibat kerusakan : dapat mengganggu proses synchrone unit

- Tindakan operator local : melaporkan dan mendokumentasikan tekanan sf6 GCB kepada operator MCH

- Indikasi pendukung : tekanan SF6 GCB saat ini pada 690 Kpa

Asset: MS01BAC10G5100-0 (EO) MUSI TA 03 CIRCUIT BREAKER 11 KV

Location: MS0101UNE03S001 GENERATOR AREA #3

CI:

Sched Start: 7/14/23	Site: BKL	Job Plan:
Sched Finish: 7/14/23	Priority: 3	Supervisor: 820605282
Target Start: 7/14/23	Work Type: CM	Lead: 820605282
Target Finish: 7/18/23	Status: CLOSE	Vendor:
Actual Start: 7/14/23	Parent:	Owner:
Actual Finish: 7/14/23	Failure Class: IP-LOWSF6-PMT	Owner Group:
Report Date: 7/14/23	Problem Code: IP-LEAKAGE-PMT	Service:
Reported By: 951600282Y	GL Account:	Service Group:
		Classification:

Work Order Details

202312492: CM MUSI 3 PENGISIAN GAS SF 6 GCB 11 KV

Task ID	Description	Status	Measurement Point	Value	Date	Observations
10	PERSIAPAN TOOL DAN APD	CLOSE		0		
20	LAKUKAN PENGISIAN ULANG GAS SF6	CLOSE		0		
30	LAKUKAN POST MAINTENANCE	CLOSE		0		
40	BUAT FEEDBACK DAN LAPORAN	CLOSE		0		

Planned Labor

Task ID	Craft	Skill Level	Labor	Vendor	Contract	Qty	Hours	Rate	Line Cost
	HELPER					1	01:10	21477.00	25066.50
	JRELEC					1	01:10	45532.00	53120.67
Total Planned Labor:									78177.17

Actual Labor

Task ID	Craft	Skill Level	Labor	Vendor	Contract Num	Regular Hours	Premium Hours	Regular Rate	Premium Rate	Line Cost
10	JRELEC		9212066BZY			00:10	00:00	449685.3K	0.00	74947.56
10	HELPER		004HLP-BKL			00:10	00:00	0.00	0.00	0.00
10	HELPER		004HLP-BKL			00:10	00:00	0.00	0.00	0.00
10	JRIC		9818022XBY			00:10	00:00	281286.1K	0.00	48861.02
20	JRELEC		9212066BZY			00:45	00:00	449685.3K	0.00	337264.02
20	HELPER		004HLP-BKL			00:45	00:00	0.00	0.00	0.00
20	HELPER		004HLP-BKL			00:45	00:00	0.00	0.00	0.00
20	JRIC		9818022XBY			00:45	00:00	281286.1K	0.00	210964.60
30	HELPER		004HLP-BKL			00:10	00:00	0.00	0.00	0.00
30	JRELEC		9212066BZY			00:10	00:00	449685.3K	0.00	74947.56
30	JRIC		9818022XBY			00:10	00:00	281286.1K	0.00	48861.02
40	HELPER		004HLP-BKL			00:05	00:00	0.00	0.00	0.00
40	JRELEC		9212066BZY			00:05	00:00	449685.3K	0.00	37473.78
40	JRIC		9818022XBY			00:05	00:00	281286.1K	0.00	23440.51
Total Actual Labor:										852800.07

Related Records

Task ID	Description	Class	Status	Relationship
2023135163	[MUSI 3] [GENERATOR LEADS SYSTEM] GCB 11 KVP [PRESSURE SF6 DIBAWAH NORMAL]	SR	CLOSED	ORIGINATOR

8/14/24 1:34 PM



Work Order Details

202312492: CM MUSI 3 PENGISIAN GAS SF 6 GCB 11 KV			
Ticket		Description	Class
2023149624		SM03 Ditemukan Kebocoran Air Kondensat Pada CVL B3	SR
Date	Class	Created By	Subject
7/4/23	WORKORDER	8808021B2	K3 FEEDBACK: Selalu gunakan APD yang sesuai dan berhati-hati dalam bekerja
7/5/23	WORKORDER	9212065B2Y	Normal
7/6/23	WORKORDER	8202098B2	OPERATOR COMMENT: Hasil baik
		Status	Relationship
		CLOSED	ORIGINATOR
		Long Description	
		Pressure sfto GCB 11 kv sudah normal di 850 kpa	



Spesifikasi Generator Circuit Breaker FKG2S-SKG2S			
Rated Maximum Voltage	12 Kv	Mass of Sf6 Gas	6 kg
Rated Frequency	50 Hz	Total Mass Of Circuit Breaker	3 200 kg
Rated Continuous Current	AT 40°C 5.8 kA	Electrical Standard Reference	ANSI C37-013/IEC 60 694
Rated Full-wave Impulse withstand Voltage	PEAK 125 kV	Instruction Book Number	D3 084
Rated Short-circuit Duty Cycle	C0-30min-C0	Manufacturer's Serial N°	113 909 0010 03
Rated Operating Sequence Without Short-circuit Fault	0-3min-C0-3min-C0	Year Of Manufacture	2005
Rated Short-circuit Current, Symmetrical	63 kA	Contract N°	P0-6 232 077K
Dc Component Of The Rated Short-circuit Current	70 %	Pln Contract N Lot III B: No. 02.PJ/063/PIKITRING	SBS/2003
Maximum Asymmetrical Short-circuit Peak Current	173 kA	Aux Voltage Spring Charging Motor For CB (Fkg2s)	230 VAC-50Hz
Short-time Current	63 kA 3s	Aux Voltage Spring Charging Motor For DS (Skg2s)	400 VAC-50Hz
Assigned Out-of-phase switching Current	31.5 kA	Aux Voltage Opening And Closing Circuits	110 VDC

Interrupting Time	55 ms	Aux Voltage Heater And Lighting Circuits	230 VAC- 50Hz
Sf6 Gas Absolute Pressure	850 Kpa	Degree Of Protection Enclosure/mechanism	IP55/IPS4
(Relative Pressure at 20° c, 1 013 hPa)	750 Kpa		



BAB V

KESIMPULAN dan SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan beberapa temuan dapat diambil sebuah kesimpulan yaitu :

1. Penggunaan gas *SF6* pada generator *circuit breaker* di unit 3 ULP PLTA Musi telah dilakukan. Gas *SF6* dipasang pada beberapa titik strategis di *circuit breaker* yang berfungsi sebagai peredam busur api. Penggunaan gas *SF6* ini penting untuk menjaga kestabilan dan keandalan operasi generator *circuit breaker* agar tegangan listrik tetap dalam batas yang aman. Jika tekanan gas rendah di bawah 750 Kpa (minimal), gas *SF6* tidak akan mampu meredam busur api secara efektif dan dapat menyebabkan gangguan dalam pemutusan aliran listrik. Di sisi lain, jika tekanan gas terlalu tinggi di atas 850 Kpa (standar), kemampuan gas *SF6* dalam meredamkan busur api akan optimal namun dapat mengakibatkan tekanan gas berlebih yang berisiko merusak komponen sistem.
2. Terdapat kebocoran *air kondensat* yang mempengaruhi kualitas di dalam generator *circuit breaker* mengakibatkan menurunnya kekuatan penyambungan kabel. Hal ini menyebabkan partikel-partikel tersebar melalui salah satu selang dan tidak dapat berkumpul kembali setelah proses peredaman, akhirnya menyebabkan penurunan tekanan gas *SF6*. Oleh karena itu, pemeriksaan dilakukan untuk memastikan bahwa bagian-bagian terutama

pada selang telah dikencangkan kembali. Area yang terdampak air *kondensat* perlu dibersihkan dan dikeringkan dengan baik.

5.2 SARAN

Saran-saran berdasarkan analisis dan temuan pada generator *circuit breaker* di Unit 3 ULP PLTA Musi akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Melakukan pemeliharaan rutin pada gas *SF6* dalam generator *circuit breaker* untuk memastikan tekanan optimal dan mencegah kebocoran. Langkah ini penting untuk menjaga keandalan dan kualitas gas *SF6* dalam meredamkan busur api dengan efektif dalam pemutusan aliran listrik yang optimal.
2. Melakukan pemantauan indikator gas *SF6* pada alat tersebut secara rutin untuk mendeteksi potensi masalah pada gas *SF6*. Dengan pemantauan yang teliti masalah dapat diidentifikasi lebih awal dan langkah-langkah pencegahan dapat diambil untuk mencegah kerusakan pada generator *circuit breaker* gas *SF6*.

DAFTAR PUSTAKA

- ARDIKA, JIHAN. *Laporan praktik kerja lapangan (PkL) sistem generator circuit breaker (GCB) dalam melindungi generator dan jaringan listrik di PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi*. Kepahiang, 2023.
- BYJU'S. *AC Generator and DC Generator*. 2024. <https://byjus.com/physics/> (accessed Agustus 8, 2024).
- Har, Tim, interview by Jihan. *PENGGUNA GAS SF6 PADA GENERATOR CIRCUIT BREAKER UNIT 3 ULP PLTA MUSI* (juli 6, 2024).
- Marsudi, Djiteng. *PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK*. Jakarta: ERLANGGA, 2005.
- Muslim, H. Supari. *TEKNIK PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK JILID 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- Perkasa, PT. Usaha Mulia. *Apa Itu Gas SF6 sebenarnya?* 2024. <https://www.umpgas.com/apa-itu-gas-sf6-sebenarnya.html> (accessed Juni 15, 2024).
- sensotec, cambridge. *rapidox*. 2000. <https://bit.ly/47uDiYp> (accessed agustus 1, 2024).
- setiono, iman. "Gas SF 6 (Sulfur Hexa Fluorida) Sebagai Pemadam Busur Api Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Saluran Transmisi Tegangan Tinggi." *METANA*, 2017: 1-6.
- SIEMENS. "HB3 Generator Circuit-Breaker Switchgear." *HB3 Generator Circuit-Breaker Switchgear - Digital Asset Management*. 2021. <https://bit.ly/3Xud44A> (accessed juli 10, 2024).

LAMPIRAN



Mencari studi literatur di perpustakaan Politeknik Raflesia dan PLTA Musi



Proses wawancara dilakukan baik secara tatap muka maupun secara online