ANALISIS RETROFIT BREAKER SWITCHGEAR 6,3 KV PT. INDONESIA POWER SEMARANG PGU

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT MEMPEROLEH GELAR SARJANA STRATA SATU (S1) PADA PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

IRENE ZULFA NASIKHARACHMA WIDODO

NIM : 30601601861

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2022

FINAL PROJECT

ANALYSIS OF RETROFIT BREAKER SWITCHGEAR 6,3 KV PT. INDONESIA POWER SEMARANG PGU

Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Universitas Islam Sultan Agung

Arranged By :

IRENE ZULFA NASIKHARACHMA WIDODO

NIM : 30601601861

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2022

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **"ANALISIS RETROFIT BREAKER SWITCHGEAR 6,3 KV PT. INDONESIA POWER SEMARANG PGU"**ini disusun oleh:

Nama	: IRENE ZULFA NASIKHARACHMA W.
NIM	: 30601601861
Program Studi	: Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari :

Tanggal :

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.	**Gunawan, S.T., M.T.**
NIDN : 0628086501	**NIDN : 0607117101**

Mengetahui,
Ka. Program Studi Teknik Elektro

090922

Jenny Putri Hapsari, M.T.
NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul **"ANALISIS RETROFIT BREAKER SWITCHGEAR 6,3 KV PT. INDONESIA POWER SEMARANG PGU"** ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 9 September 2022

Tim Penguji	Tanda Tangan
Agus Suprajitno, S.T., M.T. **NIDN : 0619076401** **Ketua Penguji**	.....
Dr. Ir. Muhammad Haddin, M.T. **NIDN : 0618066301** **Penguji II**	.....
Dedi Nugroho, S.T., M.T. **NIDN : 0617126602** **Penguji III**	.....

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Irene Zulfa Nasikharachma Widodo
NIM	: 30601601861
Jurusan	: Teknik Elektro
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **"ANALISIS RETROFIT BREAKER SWITCHGEAR 6,3 KV PT. INDONESIA POWER SEMARANG PGU"** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 30 Agustus 2022

METERAI TEMPEL

DFEAJX969473051

(Irene Zulfa Nasikharachma Widodo)

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Irene Zulfa Nasikharachma Widodo
NIM	: 30601601861
Program Studi	: Teknik Elektro
Fakultas	: Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul : **Analisis Retrofit Breaker Switchgear 6,3 kV PT. Indonesia Power Semarang PGU**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islan Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila di kemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultang Agung.

Semarang, 30 Agustus 2022

Yang Menyatakan,

METERAI TEMPEL 5BAJX969472965

Irene Zulfa Nasikharachma Widodo

PERSEMBAHAN DAN MOTTO

"Sick and Tired, but I don't wanna mess up 'cause life goes on. I'll walk more like who I am. Walk it. When the night comes, I'll close my eyes and trust my old self again. Now wake up one more time. It's morning again. I have to be myself today. Let's go for it, one more night. No one knows what'll be at the end. No nights last forever. I've become stronger. I will never fade away"

Dis-ease-BTS

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur peneliti panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat, karunia, taufik dan hidayah-Nya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan tugas akhir dan penyusunan laporan ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, semoga kita semua atas izin Allah mendapat syafaatnya kelak di hari kiamat.

Tugas akhir dengan judul "ANALISIS RETROFIT BREAKER SWITCHGEAR 6,3 KV PT. INDONESIA POWER SEMARANG PGU" ini diajukan untuk memenuhi syarat akhir untuk menyelesaikan pendidikan Program Strata 1 Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Adapun penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan semua pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Novi Marlyana, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri UNISSULA.
2. Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro UNISSULA.
3. Dr. Ir. Agus Adhi N., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir ini.
4. Gunawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir ini.
5. Segenap Dosen Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri UNISSULA.
6. Orangtua dan Kedua adik yang selalu memberikan dorongan, memberikan semangat dan mendoakan untuk kesuksesan peneliti.
7. Kepada teman saya Novita Afrianti Nst, Tri Budi Prasetya, Afrida Hafshalya Riandini yang banyak membantu, memberikan semangat dan dukungan selama peneliti mengerjakan Tugas Akhir ini
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro 2016

Penulis harap laporan ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak. Maka dari itu peneliti mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi untuk penyempurnaan di masa yang akan datang.

Semarang, Agustus 2022

Yang Menyatakan

Irene Zulfa Nasikharachma Widodo

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

Persembahan

Pertama,

Tugas Akhir ini akan saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang sangat saya cintai (Bapak Erwin Widodo & Ibu Rini Hariyati) yang sudah membesarkan saya, memberikan dukungan dan menjadi motivasi hidup saya dalam menyelesaikan studi saya hingga saat ini. Dan juga kepada Adik-adik saya yang sudah menyemangati saya, merupakan penunjang untuk dapat menyelesaikan perkuliahan.

Kedua,

Untuk Dosen pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan pengarahannya.

Ketiga,

Untuk teman seperjuangan Tugas Akhir dan tidak lupa teman-teman Teknik Elektro angkatan 2016 yang saling memberikan dukungan.

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

DAFTAR ISI

LEMBARAN PENGESAHAN PEMBIMBING i

LEMBARAN PENGESAHAN PENGUJI ii

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iii

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH iv

PERSEMBAHAN DAN MOTTO v

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI ix

Daftar Gambar xi

Daftar Tabel xii

Abstrak xiii

Abstract xiv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan Penelitian 3

1.5 Manfaat Penelitian 3

1.6 Sistematika Penulisan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 5

2.1 Tinjauan Pustaka 5

2.2 Landasan Teori 5

BAB III METODE PENELITIAN 28

3.1 Model Penelitian 28

3.2 Obyek Penelitian 28

3.3 Diagram Alir Penelitian..... 29

3.4 Data Penelitian..... 30

3.5 Tahapan Penelitian 30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 34

4.1 Pengumpulan Data.....34

4.2 Data Keserempakan Waktu 34

4.3 Data Pengujian Tahanan Kontak 40

4.4 Data Pengujian Tahanan Isolasi 41

4.5 Data Pengukuran Mekanisme dan Kontrol Coil 43

4.6 Pengujian *Dielectric* pada *Main Circuit* 44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 46

5.1 Kesimpulan..... 46

5.2 Saran..... 46

DAFTAR PUSTAKA 47

Daftar Gambar

Gambar 2.1 *Heat RecoverySteam Generator* 6
Gambar 2.2 *Combined Cycle Generating Unit* 7
Gambar 2.3 Klasifikasi Jenis Motor Listrik 10
Gambar 2.4 Stator *Commutator* 11
Gambar 2.5 Motor Listrik 3 fasa 12
Gambar 2.6 Rangkaian Penguat Elektromagnetik 13
Gambar 2.7 Rangkaian Magnet Permanen 13
Gambar 2.8 Rangkaian Generator Shunt 14
Gambar 2.9 Rangkaian Generator Kompon 14
Gambar 2.10 Ekstensi Pembaruan Solusi *Retrofit* 15
Gambar 2.11 *Breaker* Motor *Cranking* 16
Gambar 2.12 *Circuit Breaker Single Pole* 17
Gambar 2.13 *Circuit Breaker Three Pole* 18
Gambar 2.14 *Air Blast Circuit Breaker* 19
Gambar 2.15 Bagian Samping pada *Control Device* 20
Gambar 2.16 Bagian Melintang pada *Interupting Chamber* 20
Gambar 2.17 PMT SF6 Proses Pemutusan Arus Listrik 21
Gambar 2.18 Panel *Cubicle* 22
Gambar 2.19 Komponen Bus-bar 23
Gambar 2.20 *Mechanical racking in - racking out interlock* 24
Gambar 3.1 *Switchgear Diagram* 23
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian 24
Gambar 3.3 *Breaker Analyzer* ISA CBA3000 26
Gambar 3.4 *Megger MIT525* 27
Gambar 3.5 *Fluke* 101 Digital Multimeter 27
Gambar 4.1 Rangkaian Pengukuran Keserempakan Kontak 35

Daftar Tabel

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Close* 36
Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Open* 31
Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Closing Time* 32
Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Opening Time* 33
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tahanan Kontak 35
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi 36
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Mekanisme 37
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Kontrol *Coil* 38
Tabel 4.9 Hasil Pengujian *Dielectric* pada *Main Circuit* 36

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

Abstrak

Abstrak- *Retrofit Breaker Switchgear* 6,3 kV dilaksanakan karena adanya kondisi unit eksisting tidak memiliki *spare breaker*, sehingga berpotensi kegagalan operasional peralatan pada 6,3 kV yang berakibat unit tidak beroperasi. Mendapatkan status kelayakan *breaker switchgear* yang berumur lebih dari 20 tahun berdasarkan standar ANSI/NETA-ATS 2017, ANSI/NETA-MTS 2015 Tabel 100.1, dan standar PLN sesuai dengan P3B O&M PMT/001/01 dalam mensuplai listrik melalui pengukuran kinerjanya. Penelitian menggunakan metode wawancara dengan mengambil data pada PT. Indonesia Power PGU Semarang. Data yang diambil adalah data inspeksi menyeluruh pada saat dilakukan *retrofit* pada April 2021 dan September 2021. Hasil perhitungan dapat disimpulkan nilai delta *time* saat *Close* memenuhi standar yaitu ≤ 10 ms. Hasil perhitungan yang diperoleh disimpulkan nilai delta *time* saat kondisi *Open* tidak memenuhi standar yaitu ≤ 10 ms, sehingga *switchgear* dalam melakukan keserempakan waktu kondisi *Open* tidak handal dan dapat menimbulkan gangguan beroperasi. Pengujian tahanan kontak dalam kondisi aman sesuai standar PLN P3B O&M PMT/001.01. Hasil pengujian tahanan isolasi dan kebocoran arus disimpulkan tahanan isolasi pada *breaker* berfungsi sesuai standar VDE *catalogue* 228/4. Setelah dilakukan pengujian keserempakan waktu saat menutup didapati Δt melebihi standar yang telah ditentukan yaitu 11,2 ms dan pada saat menutup melebihi standar yang telah ditetapkan yaitu 0,30 *cycle*. Breaker Medium Voltage 6,3 kV baru bisa beroperasi secara kontinyu pada kondisi tegangan operasi normal tanpa penurunan performa, kelainan maupun gangguan. *Breaker Medium Voltage* 6,3 kV baru dapat berfungsi normal sesuai dengan prosedur pengoperasian standar yang ditunjukkan dengan hasil pengujian fungsi peralatan. Hasil pengujian ini dilihat dari hasil uji keserempakan waktu, uji tahanan kontak dan uji tahanan isolasi Dilihat dari hasil pengujian *dielectric* pada *main circuit* setelah dilakukan *retrofit breaker switchgear* lebih baik dan lebih handal. Hasil test keseluruhan sistem memiliki performa sesuai dengan spesifikasi peralatan.

Kata Kunci: Switchgear, Keserempakan Waktu, Tahanan Kontak, Tahanan Isolasi

Abstract

Abstract- *Retrofit Breaker Switchgear 6.3 kV was carried out because of the existing condition of the unit there is no possibility of equipment operational failure at 6.3 kV which resulted in the unit not being able to operate. Obtaining the feasibility status of a switchgear breaker that is more than 20 years old based on the ANSI /NETA-ATS 2017 standard, ANSI / NETA-MTS 2015 Table 100.1, and the PLN standard in accordance with P3B O&M PMT / 001/01 in supplying electricity through its performance measurements. The research used interview method by collecting data from PT. Indonesia Power PGU Semarang. The data taken is a thorough data inspection during retrofit. The results of the calculation of the time delta when Close meets the standard, namely 10 ms. The results obtained from the key of the delta time value when the Open condition does not meet the standard, namely 10 ms, so that the switchgear in simultaneously operating the Open condition is unreliable and can cause operating disturbances. Resistance testing in safe conditions according to the PLN P3B O&M PMT/001.01 standard. The test results are free from insulation and leakage current limiting insulation on the breaker works according to the VDE 228/4 standard. After the simultaneous testing of the closing time, it was found that t exceeded the predetermined standard of 11.2 ms and at the time of closing it exceeded the predetermined standard of 0.30 cycles. Medium Voltage Breaker 6.3 kV can operate continuously at normal operating voltage conditions without any decrease in performance, disturbance or disturbance. Medium Voltage Breaker 6.3 kV can function normally in accordance with standard operating procedures as shown by the results of equipment function testing. Judging from the results of the dielectric test on the main circuit after retrofitting the switchgear breaker is better and more reliable. The overall system test results have performance in accordance with the equipment specifications.*

Keywords:Breaker Switchgear, Synchronously time, contact testing, insulation resistance.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PLTGU Tambaklorok UP Semarang berada di lokasi yang strategis yaitu berada di tengah area sistem tenaga listrik Jawa-Madura-Bali (JAMALI), sehingga memiliki fungsi sebagai penyangga dan penyeimbang beban listrik terutama di sistem kelistrikan area Jawa Tengah. PLTGU Tambaklorok Semarang menggunakan *Compressed Natural Gas* (CNG) sebagai bahan bakar pada gas turbin. PLTGU Tambaklorok terkoneksi dengan jaringan 150 kV yang menyalurkan tenaga listrik area Semarang dan sekitarnya, dengan terbatasnya unit pembangkit yang terhubung dengan jaringan 150 kV JAMALI dan terbatasnya kapasitas *Interbus Transformer* (IBT) 500/150 kV di area Jawa bagian tengah, maka keberlangsungan operasional PLTGU Tambaklorok masih sangat dibutuhkan. PLTGU Tambaklorok UP Semarang terdiri dari 2 blok dengan desain kapasitas daya terpasang masing-masing 515 MW, setiap blok terdiri dari 3 unit *Gas Turbine Generator* (GTG), 3 unit *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) dan 1 unit *Steam Turbine Generator* (STG). PLTGU Tambaklorok sudah beroperasi sejak 1993 untuk Blok 1 dan 1996 untuk Blok 2, atau sudah beroperasi lebih dari 20 tahun. (PT. Indonesia Power UP Semarang, 2018)

Didalam *Timeline of Operation* of Tambaklorok *Combined Cycle Power Plant* (CCPP) pada awal dioperasikannya PLTGU Tambak Lorok tahun 1993 sampai dengan tahun 2011 dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar HSD, pengoperasian dengan 2 GTG yang dioperasikan terus menerus 24 jam dan 4 GTG *start stop* pada kondisi beban puncak. Pada tahun 2014 *operational* GTG mulai menggunakan bahan bakar gas yang disuplai dari Gundih. Pengoperasian dengan bahan bakar gas ini dilakukan pada PLTGU Blok 2 dengan 2 GTG. Selanjutnya pada tahun 2015 terjadi penambahan suplai gas dari Kepodang. Adanya penambahan suplai gas ini untuk pengoperasiannya PLTGU Blok 1 dan Blok 2 total

ada 4 GTG yang dioperasikan *base load* dan 2 GTG ketika beban *peak load*.(PT. Indonesia Power UP Semarang, 2018)

Retrofit Breaker Switchgear 6,3 kV dilaksanakan karena pada hasil pengukuran keserempakan waktu menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan standar IEC62271-100 sehingga disimpulkan breaker dalam kondisi rusak dan juga adanya kondisi saat ini unit eksisting tidak memiliki *spare breaker*, sehingga berpotensi terjadi kegagalan operasional peralatan pada sisi tegangan 6,3 kV yang akan berakibat unit tidak beroperasi.

Retrofit Breaker Switchgear 6,3 kV menemukan alternatif yang dapat dilakukan, yaitu dengan melakukan penggantian *breaker* dengan merk lain sesuai spesifikasi *breaker* lama. Alternatif ini memiliki keuntungan keandalan breaker baru lebih terjamin, adanya jaminan garansi dari pabrikan, *life time* yang lebih panjang, material sesuai spesifikasi, dan juga efisiensi lebih baik dan dilakukan test sesuai perkembangan *breaker* terbaru.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memprediksi kelayakan *breaker switchgear* dalam suplai listrik jika berumur lebih dari 20 tahun?
2. Bagaimana dampak kegagalan operasi dan dampak permanen pada breaker yang kondisinya “kurang layak” apabila dipertahankan tetap beroperasi?
3. Bagaimana perbandingan kinerja *Breaker Switchgear* sebelum dan setelah dilakukan *retrofit*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan lebih fokus dan mendalam maka peneliti membatasi permasalahan penelitian yang diangkat pada variabelnya. Oleh karena itu, peneliti membagi batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek Penelitian dilakukan pada *Breaker Switchgear* 6,3 kV PT. Indonesia Power PGU Semarang

2. Penelitian diambil dari data inspeksi keseluruhan pada *Breaker Switchgear* 6,3 kV PT. Indonesia Power PGU Semarang.
3. Perhitungan penelitian menggunakan metode analisis aritmatika.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan status kelayakan *breaker switchgear* yang berumur lebih dari 20 tahun berdasarkan standar ANSI/NETA-ATS 2017, ANSI/NETA-MTS 2015 Tabel 100.1, dan standar PLN sesuai dengan P3B O&M PMT/001/01 dalam mensuplai listrik melalui pengukuran kinerjanya.
2. Mendapatkan data estimasi kerugian akibat kegagalan operasi jika breaker dipertahankan beroperasi
3. Mengetahui hasil kinerja dari perbandingan *breaker switchgear* sebelum dan setelah dilakukan *retrofit*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian Tugas Akhir yaitu sebagai berikut:

1. Bagi PLTGU Tambaklorok hasil dari Tugas Akhir ini dapat membantu menganalisa pengaruh yang ditimbulkan *breaker* sudah berumur 20 tahun, layak untuk dipertahan atau harus diganti baru.
2. Untuk pembangkit lain penelitian ini dapat membantu digunakan sebagai referensi pemeliharaan *breaker switchgear*.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas Akhir ini terbagi menjadi 5 bab, dengan masing-masing bab berisi berisi:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, manfaat penelitian, dan struktur penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Tinjauan pustaka dan uraian tentang alasan yang diperlukan untuk menyelesaikan rancangan akhir masalah dan, jika perlu, merumuskan hipotesis, berdasarkan referensi yang digunakan sebagai dasar penelitian yang dilakukan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Deskripsi metodologi penelitian, termasuk waktu dan lokasi penelitian, dan data untuk setiap komponen yang digunakan dalam studi akhir penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisi alternatif perbandingan spare breaker, perhitungan nilai tahanan isolasi, pengujian tahanan kontak, pengukuran resistansi, data pengujian kontrol dan alat bantu.

BAB V : PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan dari pembahasan mengenai penelitian tugas akhir dan saran yang dapat dikembangkan lebih lanjut.

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka ini sebagai referensi dan sebagai pembanding dengan penelitian yang akan dilakukan,

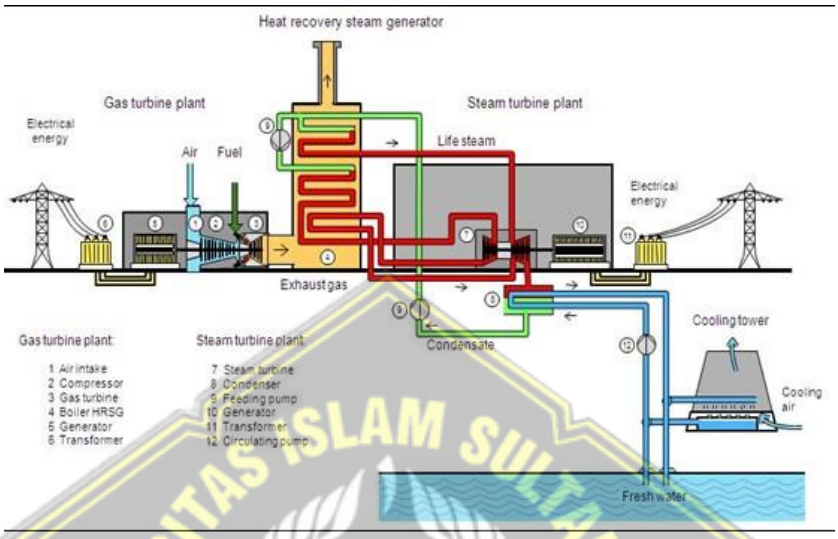
a. Analisa Kelayakan Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV berdasarkan Hasil Uji Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak, dan Keserempakan Kontak di Gardu Induk Singkawang. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa Hasil pengujian tahanan isolasi pemutus tenaga 150 kV pada bay line Sikawang-Bengkayang 1 dan bay line Singkawang-Sambas 2 baik pada fasa R, S, dan T sudah memenuhi standar VDE (*catalogue* 228/4) pada nilai R-nya 1kV/1M.(Susanto, Kurnianto and Rajagukguk, 2021)
b. Analisis Pengujian Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Bay Penghantar Mandirancan I berdasarkan Parameter *Breaker Analyzer* di Gardu Induk Sunyaragi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan pengujian, mendapatkan pada PMT Mandirancan I memiliki permasalahan anomali deviasi waktu yang cukup besar melebihi nilai standar yang telah ditentukan.(Firdaus, 2021)
c. *Innovative Retrofit Upgrades for Safety and Reliability in Aged Switchgear*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa solusi retrofiil dengan standar circuit breaker dapat memperpanjang masa pakai pemanfaatan pabrik untuk ketersediaan dan keandalan yang lebih tinggi. Dalam lingkungan ekonomi yang lebih baik di masa depan, penggantian *switchgear* lama ke panel baru dapat memberikan keuntungan dari penggunaan kembali *circuit breaker*, melestarikan sebagian besar investasi yang dilakukan.(Gemme *et al.*, 2016)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

PLTGU adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga gas dan uap. PLTGU memiliki dua pembangkitan yaitu Pembangkitan dengan turbin gas dan

pembangkitan dengan turbin uap. Turbin gas lebih dikenal dengan istilah *Gas Turbin Generator* (GTG), sedangkan turbin uap disebut dengan *Steam Turbin Generator* (STG), terdapat juga *Heat Recovery System Generator* (HRSG).



Gambar 2.1 *Heat Recovery Steam Generator*

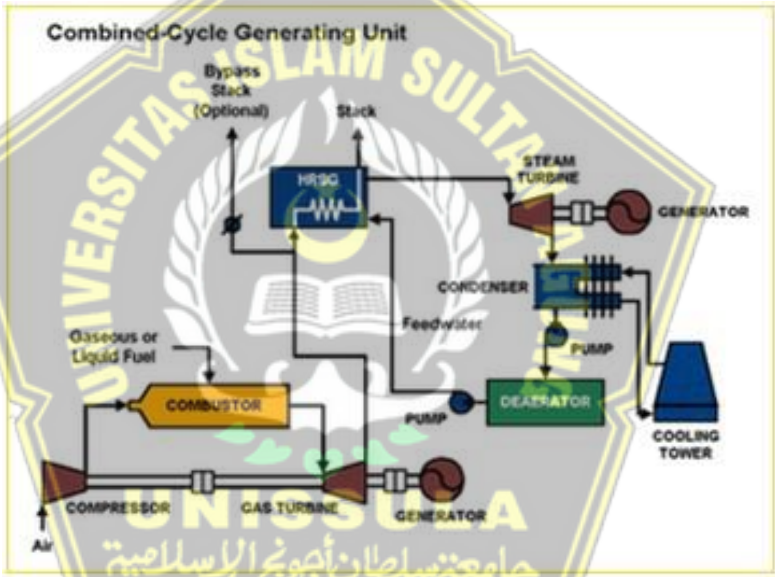
Gas yang digunakan pada GTG adalah gas hasil pembakaran bahan bakar *High Speed Diesel* (HSD) dan *Marine Fuel Oil* (MFO) yang menghasilkan emisi sisa pembakaran. Emisi diolah supaya kadar zat berbahaya tidak melebihi standar yang ditetapkan pemerintah. Bahan bakar ini disuplai ke tangki-tangki penampungan bahan bakar melalui pipa bawah laut.

Turbin gas ini dapat dioperasikan dalam dua mode, yaitu konfigurasi *simple cycle* dan konfigurasi *combined cycle*. Keadaan *simple cycle turbin gas* atau disebut GTG bekerja sendiri sehingga tidak ada pemanfaatan kembali sisa energi dari gas panas yang terbuang. Gas buang langsung dialirkan ke atmosfer. Pada *combined cycle* terdiri dari beberapa turbin gas yang pada energi sisa gas buang dimanfaatkan lagi untuk pemanasan air di HRSG supaya menghasilkan uap yang digunakan untuk pembangkitan turbin uap atau STG. (Maheswari, 2013)

Komponen utama pada PLTGU adalah Kompresor, Ruang Bakar (*Combuster*), Turbin, Generator. Diagram dimulai dari energi udara dan bahan bakar diubah menjadi energi gas. Energi gas dihasilkan dari proses pembakaran untuk memutar turbin, kemudian terjadi perubahan energi dari energi gas menjadi

energi mekanik. Turbin dan Generator adalah satu poros sehingga berputar secara bersamaan untuk menghasilkan energi listrik, pada proses ini terjadi perubahan dari energi mekanik menjadi energi listrik.

Udara luar yang dihisap kompresor akan bersamaan dengan bahan bakar yang dipompa oleh pompa bahan bakar dialirkan menuju ruang bakar. Di dalam *combuster* terjadi pertemuan bahan bakar, panas dan udara yang dihasilkan *ignitor* hingga terjadinya pembakaran. Hasil pembakaran berupa gas ini akan memutar turbin dan generator sehingga menghasilkan listrik. Sisa gas dari turbin sebagian keluar menuju *Stack*. Diambil kesimpulan bahwa diagram diatas memakai Siklus dau *Closed Cycle* pada PLTGU.(Maheswari, 2013)



Gambar 2.2 *Combined Cycle Generating Unit*

2.2.2 Komponen PLTGU

PLTGU memiliki beberapa komponen untuk menghasilkan energi listrik, yaitu:

a) *Cranking* Motor

Penggerak awal turbin saat belum menghasilkan tenaga penggerak generator atau *compressor* menggunakan alat yang dinamakan *cranking motor.*

b) *Air Filter*

Air filter memiliki fungsi memfilter udara bebas supaya udara yang dialirkan menuju *compressor* adalah udara yang bersih.

c) Compressor

Compressor berfungsi menghisap udara luar setelah terlebih dahulu melewati *air filter*. Compressor mengambil udara atmosfer kemudian menaikkan tekanan hingga 8 kali tekanan semula. Udara luar yang dibentuk menjadi udara *atomizing* yang sebagian kecilnya untuk pembakaran dan sebagian besar digunakan untuk pendingin pada turbin.

d) Ruang Bakar atau *Combustion Chamber*

Ruang yang digunakan sebagai wadah untuk pembakaran bahan bakar dan udara *atomizing*. Penggerak turbin gas menggunakan gas panas untuk proses pembakaran.

e) *Gas Turbine*

Turbin yang berputar memanfaatkan energi gas panas yang dihasilkan dari *combustion chamber*. Hasil putaran turbin kemudian diubah oleh generator untuk menghasilkan energi listrik.

f) *Selector Valve*

Selector valve memiliki fungsi mengatur gas buangan dari turbin gas untuk dibuang langsung ke udara atau kemudian dialirkan menuju HRSG.

g) *Gas Turbine Generator* (GTG)

GTG memiliki fungsi sebagai alat pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga putaran yang dihasilkan dari turbin gas. Satu buah generator menghasilkan daya 100 MW.

h) Steam Turbine

Steam Turbine atau Turbin Uap merupakan turbin yang berputar menggunakan energi uap. Uap ini diperoleh dari penguapan air yang berasal dari HRSG.

i) *Steam Turbine Generator* (STG)

STG berfungsi sebagai alat pembangkit listrik menggunakan tenaga putaran yang diperoleh dari turbin uap. Tenaga penggeraknya berasal uap kering yang dihasilkan oleh HRSG dengan putaran 3000 RPM, berpendingin hidrogen dan tegangan keluar 11,5 kV. Satu buah generator menghasilkan daya sekitar 200 MW.

j) *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG)

HRSG didesain beroperasi pada turbin gas dengan pembakaran natural gas dan destilate oil. PT. Indonesia Power Semarang PGU memiliki 2 blok CCPP dengan masing-masing kapasitas 1 x 500 MW. Per blok terdiri dari 3 x 100 MW turbin gas dan 1 x 200 MW turbin uap yang merupakan *combined cycle* dari sisa gas buang GTG. Masing-masing HRSG akan membangkitkan uap sebesar 194,29 ton/jam total *flow*, pada *inlet flow* gas 514°C (HSD) pada *outlet flow* gas 100°C tergantung dari load gas turbin dan ambien temperatur.

2.2.3 Motor Listrik

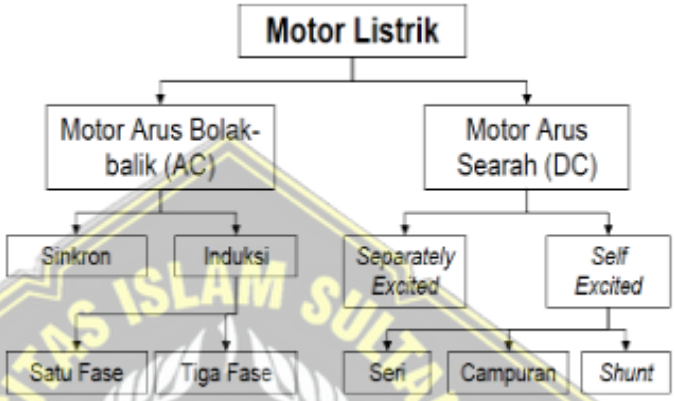
Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Perubahan dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektromagnet. Magnet dari kutub yang sama akan tolak-menolak dan kutub yang berlawanan akan tarik-menarik. Kesimpulannya jika menempatkan magnet pada sebuah poros yang dapat berputar dan magnet yang lain kedudukannya tetap. Motor AC tegangan tinggi biasanya dalam kisaran 2 hingga 14 kV dan 100 kW hingga 40 MW dan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

A. motor sangkar-tupai asinkron, pengasutan langsung, arus pengasutan 6 hingga 7 kali arus motor pengenal, daya faktor 0,1 sampai 0,2
B. motor slip-ring asinkron, arus start umumnya kurang dari 6 kali arus motor pengenal
C. motor sinkron, sering kali distart dengan menggunakan rotor sangkar tupai, arus start 3 sampai 5 kali arus pengenal motor, faktor daya 0,25 sampai 0,3. (Cigré Working Group A3.11, 2006)

Dari perspektif *circuit breaker* (atau kontaktor), motor asinkron yang di*start* langsung adalah kategori yang paling penting.

2.2.4 Jenis-jenis Motor Listrik

Motor listrik dibagi menjadi 2 jenis yaitu motor listrik AC dan motor listrik DC. Berikut ini adalah bagian-bagian dari motor listrik:



Gambar 2.3 Klasifikasi Jenis Motor Listrik

2.2.4.1 Motor DC

Motor DC atau motor arus searah menggunakan arus langsung yang tidak langsung. Penggunaan khusus motor DC memerlukan penyalaan *torque* yang tinggi atau percepatan tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.(Bagja and Parsa, 2018) Bagian-bagian dari motor DC terdiri dari:

1. Kutub Medan

   Motor DC mempunyai 2 kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan bearing pada celah antara kutub medan. Garis magnetic energy membesar melintasi bukaan antara kutub-kutub dari utara ke selatan.

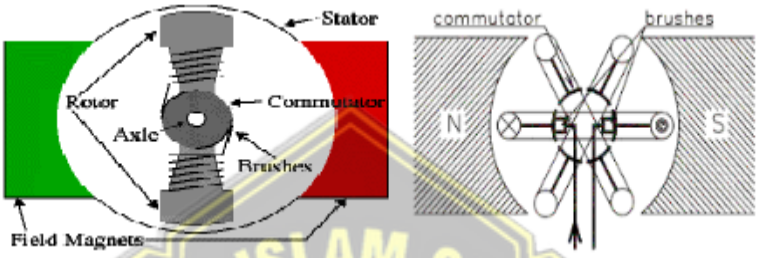
2. Dinamo

   Dinamo pada motor DC berbentuk silinder yang menghubungkan ke arah penggerak yang kemudian menggerakkan beban. Arus yang masuk menuju dinamo akan menjadi elektromagnet. Dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, hinga kutub utara dan kutub selatan berganti

lokasi. Saat sudah berganti arus yang masuk ke dalam motor DC akan berbalik dan merubah kutub utara dan kutub selatan dinamo.

3. *Commutator*

   Commutator pada motor DC memilik fungsi yaitu membalik arah arus listrik dalam dinamo, selain itu membantu motor DC dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.



Gambar 2.4 Stator Commutator

2.2.4.2 Motor AC

Motor AC memanfaatkan arus listrik yang membalikkan arah secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik mempunyai dua bagian yaitu rotor dan stator. Rotor berputar untuk memutar asmotor. Motor AC memiliki penggerak frekuensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan daya. Menurut karakteristik dari aliran arus listrik, motor AC terdiri dari 2 jenis, diantaranya:

1. Motor listrik 1 fasa
2. Motor listrik 3 fasa

Gambar 2.5 Motor Listrik 3 fasa

2.2.5 Generator DC

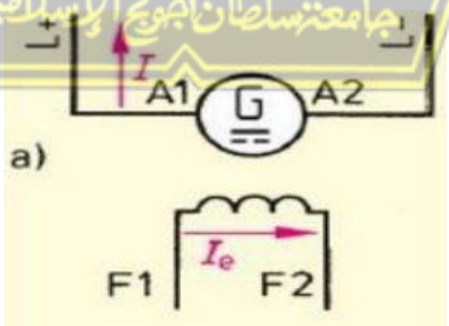
Generator DC adalah sebuah mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Michael Faraday adalah penemu pertama yang menemukan prinsip induksi elektromagnetik pada tahun 1831, mengatakan bahwa menggerakkan konduktor listrik adalah aliran listrik yang diinduksi, seperti kawat yang mengandung muatan listrik dalam medan magnet. Gerakan tersebut dapat menghasilkan perbedaan tegangan antar kedua ujung kabel kemudian terjadi muatan listrik mengalir dan menghasilkan arus listrik. Berdasarkan rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasi terhadap jangkar generator DC terdiri dari 3 jenis, yaitu:

1. Generator Penguat Terpisah

   Belitan eksitasi pada generator penguat terpisah tidak dihubungkan dengan rotor. Generator penguat terpisah memiliki 2 jenis, diantaranya:

   1) Penguat Elektromagnetik

      Penguat elektromagnet yang menghasilkan energi listrik dapat mengatur melalui pengaturan tegangan eksitasi. Pengaturan dapat dilakukan dengan cara magnetik atau elektronik. Generator ini beraksi dengan catu daya DC dari luar yang kemudian masuk melalui belitan F1-F2

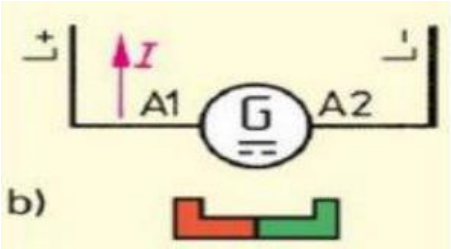


Gambar 2.6 Rangkaian Penguat Elektromagnetik

   2) Magnet Permanen

      Pada terminal rotor A1-A2 menghasilkan tegangan output generator yang konsisten pada penguat magnet permanennya.

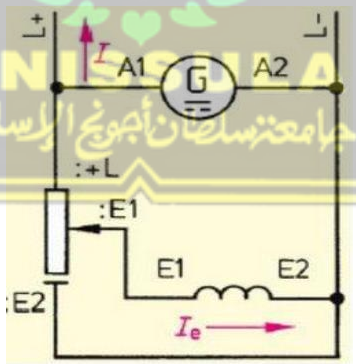
Karakter tegangan V relatif konstan dan tegangan akan menurun ketika arus beban (I) naik mendekati angka nominal.



Gambar 2.7 Rangkaian Magnet Permanen

2. Generator *Shunt*

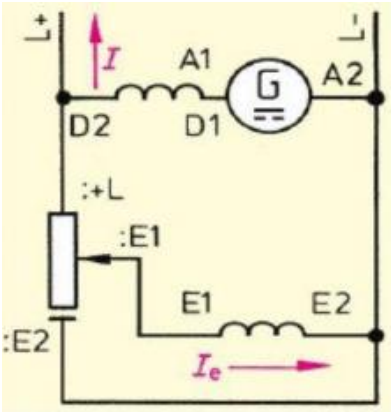
Penguat eksitasi menghubungkan paralel dengan rotor pada generator *shunt*. Tegangan awal generator didapat dari sisa-sisa magnet yang terdapat pada medan magnetstator. Rotor berputar dalam medan magnet yang menguatkan medan magnet stator hingga mencapai tegangan nominal. Pengaturan arus eksitasi yang melewati belitan shunt E1-E2 diatur oleh tahanan geser. Makin besar arus eksitasi shunt mka makin besar medan penguat shunt yang dihasilkkan dan tegangan terminal meningkat hingga menggapai tegangan nominal.



Gambar 2.8 Rangkaian Generator *Shunt*

3. Generator Kompon

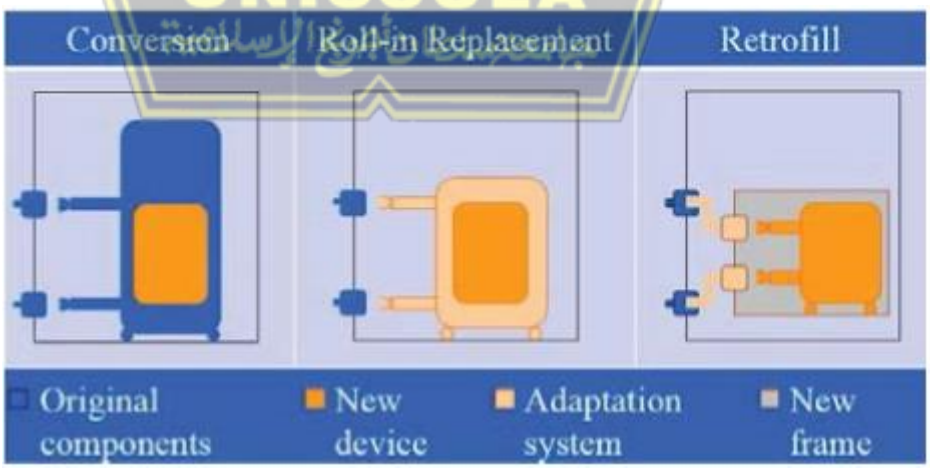
Generator Kompon mempunyai dua penguat eksitasi pada inti kutub utama yang sama. Satu penguat eksitasi merupakan penguat shunt, lainnya merupakan penguat seri. Pengatur medan magnet D1-D2 terletak di depan belitan *shunt*.



Gambar 2.9 Rangkaian Generator Kompon

2.2.6 *Retrofit Breaker Switchgear*

Retrofit Breaker Switchgear adalah solusi modernisasi *switchgear* yang hemat biaya untuk memenuhi kebutuhan peningkatan di waktu anggaran rendah. *Retrofit breaker* dapat menggantikan *circuit breaker* yang dihapus secara bertahap oleh versi produksi saat ini, yang direkayasa secara mekanis dan elektrik untuk beradaptasi dengan switchgear yang ada. Hasilnya adalah peningkatan nyata pada keandalan, keselamatan, dan kinerja, karena perangkat *switching* adalah bagian *switchgear* yang sebagian besar mengalami penuaan listrik dan mekanik. Solusi *retrofit* dikategorikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 tergantung pada tingkat spesifik dari bagian yang diperbarui *switchgear*.



Gambar 2.10 Ekstensi Pembaruan Solusi *Retrofit*

2.2.7 *Switchgear*

Switchgear adalah peralatan pemutus tenaga listrik atau disebut *Circuit Breaker*, berfungsi menghubungkan dan melepas beban pada jaringan listrik serta mengamankan atau melindungi peralatan yang terhubung di rangkaian beban bila terjadi gangguan pada sistem yang dilayani. Suatu *switchgear* harus dilengkapi dengan relai proteksi dan sistem interlock yang bisa membuka secara otomatis saat terjadi gangguan sehingga kerusakan dapat dihindari.(PLN, 2014)

Switchgear pada Unit Pembangkit Listrik adalah tipe busbar tunggal yang ditempatkan dalam bilik tertutup yang disebut *Cubicle*. *Circuit Breaker* yang berada di dalam cubicle harus dapat dikeluarkan (*rack out*) dan dimasukkan kembali (*rack in*) terutama untuk keperluan pemeliharaan.(PLN, 2014)

Gambar 2.11 *Breaker* Motor *Cranking*

Breaker motor *cranking* yang digunakan untuk penelitian ini terletak pada pada salah satu *switchgear* STG 2. *Breaker* ini berfungsi untuk memutus dan menghubungkan *power* suplai 6,3 kV ke motor. Motor *cranking* ini memiliki fungsi sebagai penggerak awal operasi *Gas Turbine Generator*. Pada kompresor, turbin dan generator dalam 1 poros akan memutar dalam putaran nominal 3000 RPM. Selanjutnya akan terjadi pembakaran pada *combustion cycle* dan kemudian menghasilkan gas. Gas yang dihasilkan kemudian berfungsi sebagai penggerak

turbin dan generator, sehingga generator dapat mengubah energi tersebut menjadi energi listrik. Tegangan Kerja *Switchgear* tergantung dari kapasitas Unit Pembangkit dan tegangan kerja peralatan bantunya, tegangan yang digunakan antara 3,3 kV sampai 11 kV. *Switchgear* memiliki fungsi sebagai berikut:

Saat *Switchgear* dalam kondisi normal:

1. Menghubungkan rangkaian listrik
2. Membaca parameter listrik
3. Mengatur penyaluran listrik
4. Mendeteksi parameter listrik

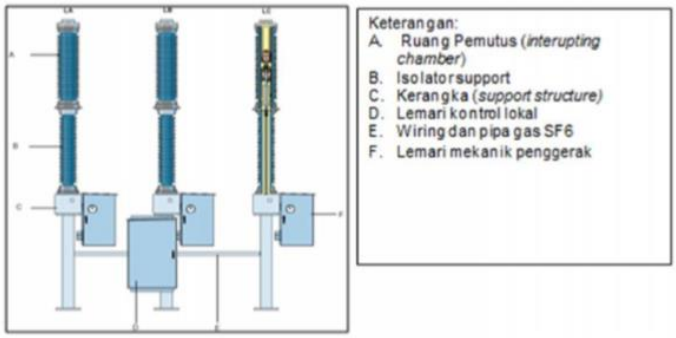
Saat kondisi gangguan:

1. Memutus rangkaian listrik
2. Membaca parameter listrik
3. Mengamankan komponen rangkaian listrik

2.2.8 Jenis-jenis *Switchgear*

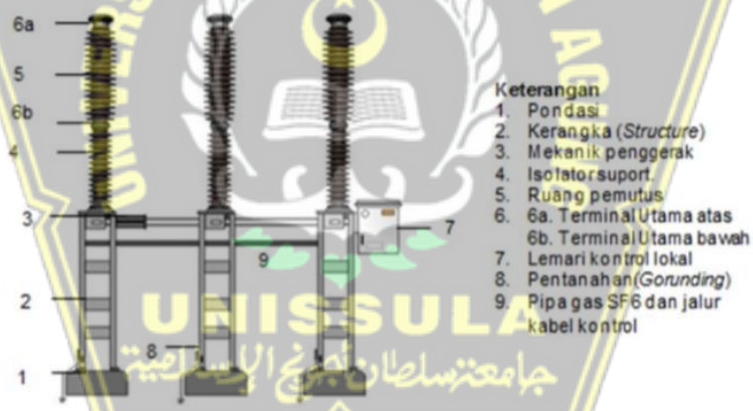
Beberapa jenis *switchgear* dibedakan menurut:

1. Kelas Tegangan, diantaranya yaitu:
   a. Tegangan Rendah, *range* tegangan kurang dari 1000 volt AC (SPLN 1.1995 – 3.3)
   b. Tegangan Menengah, *range* tegangan 1000 sampai 35.000 volt AC (SPLN 1.1995 – 3.4)
   c. Tegangan Tinggi, *range* tegangan 35.000 sampai 245.000 volt AC (SPLN 1.1995 – 3.5)
   d. Tegangan Ekstra Tinggi, *range* tegangan lebih besar dari 245 kV. (SPLN 1.1995 – 3.6)
2. Jumlah Mekanik Penggerak, diantaranya:
   a. *Circuit Breaker Single Pole*, PMT jenis ini memiliki mekanisme penggerak pada setiap kutubnya. Biasanya, PMT *Single Pole* dipasang di bay penghantar supaya *circuit breaker* dapat *reclose* satu fasa.



Gambar 2.12 *Circuit Breaker Single Pole*

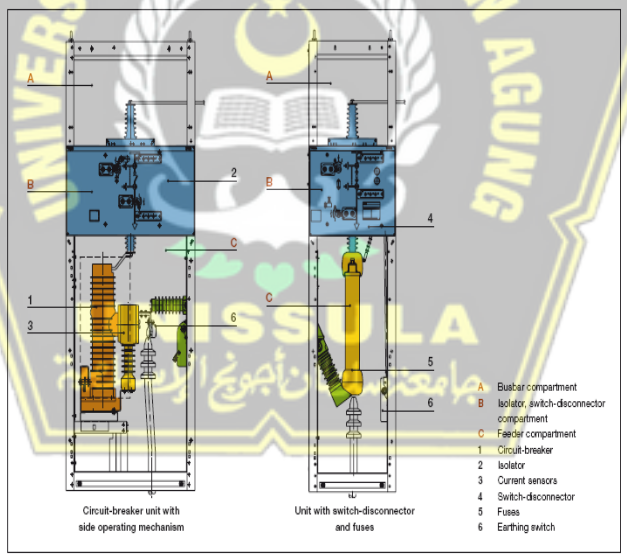
b. *Circuit Breaker Three Pole*, *circuit breaker* ini memiliki satu mekanisme untuk tiga fasa, penggerak berfungsi untuk disambungkan dari fasa satu dengan fasa lain. Umumnya *circuit breaker* ini dipasang di bay trafo dan bay kopel juga menggunakan *circuit breaker* 20kV untuk distribusinya.



Gambar 2.13 *Circuit Breaker Three Pole*

3. Berdasarkan media isolasi
   a. Udara
   b. Gas (SF6 atau campuran)
   c. Minyak
   d. *Vacuum*
4. Berdasarkan *interrupting device*
   a. *Fuses*
   b. Air Blast Circuit Breaker

Suatu *circuit breaker* yang menggunakan udara sebagai peredam busur api listrik. *Circuit breaker* ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV yang dirancang untuk mengatasi kelemahan pada Pemutus Tenaga (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 cepat. Saat busur api terbentuk, udara tekanan tinggi ditiupkan ke dalam busur api melalui nozzle pada kontak pemisahan dan ionisasi media antara kontak dipadamkan oleh ledakan udara bertekanan tinggi dan partikel-partikel bermuatan dihilangkan dari sela kontak, udara bertekanan tinggi tersebut juga memilikfungsi untuk mencegah tegangan pukul ulang.(PLN, 2014)



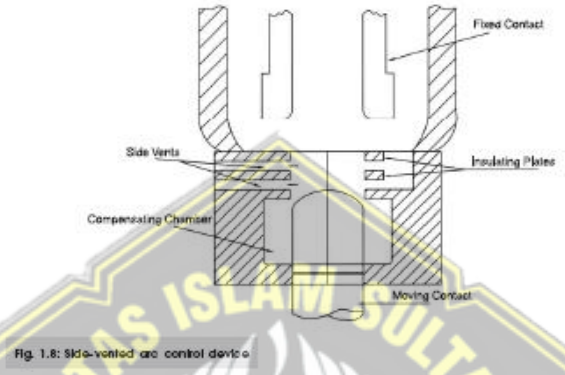
Gambar 2.14 *Air Blast Circuit Breaker*

c. Oil Circuit Breaker

Suatu pemutus tenaga yang menggunakan minyak sebagai media pemadam busur api dan isolasi saat kontak-kontak *circuit breaker* membuka.(PLN, 2014)

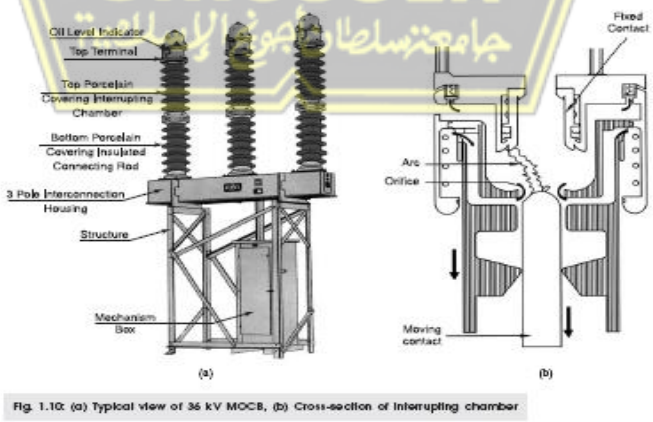
PMT minyak terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1) PMT menggunakan banyak minyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak berperan sebagai peredam percikan listrik saat terjadi pemutusan kontak dan sebagai isolator antara bagian yang bertegangan dengan badan, tipe PMT juga dilengkapi dengan alat pembatas busur api listrik.



Gambar 2.15 Bagian Samping pada *Control Device*

2) PMT yang memerlukan sedikit minyak (*Low Oil Content Circuit*), minyak haya dipergunakan sebagai peredam percikan listrik, sedangkan sebagai bahan isolator dari bagian bertegangan menggunakan porselen atau bahan isolator dari jenis organik.



Gambar 2.16 Bagian Melintang pada *Interupting Chamber*

d. *Vacuum Circuit Breaker*

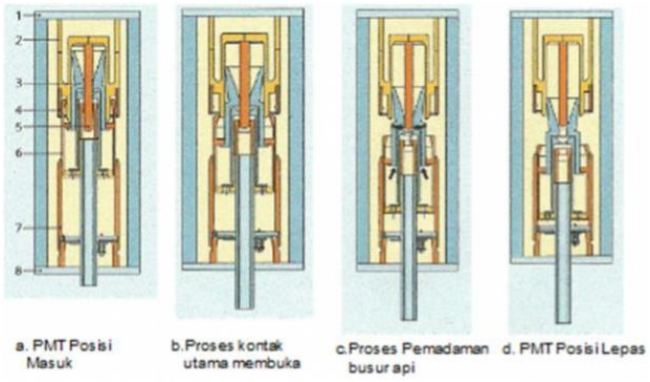
Suatu *circuit breaker* yang menggunakan ruang hampa (*Vacuum*) untuk mencegah munculnya busur api dan isolasi. *circuit breaker* dapat digunakan sebagai pemutus rangkaian bertegangan hingga 38 kV. Kontak ditempatkan di suatu bilik ruang hampa. Bilik diharuskan ditutup hingga tidak ada celah dan kontak bergerak diikat kencang dengan perapat logam untuk mencegah udara masuk ke dalam bilik bilik.

Jika kontak membuka, lalu katoda kontak akan terjadi emisi thermis dan medan tegangan yang tinggi mulai produksi elektron-elektron bebas. Elektron hasil emisi bergerak ke anoda, elektron-elektron tidak bertemu dengan molekul udara maka tidak terjadi proses ionisasi, akibatnya tidak ada tambahan elektron bebas untuk memulai pembentukan busur api.

e. Gas (SF6) *Circuit Breaker*

Circuit breaker yang memerlukan gas SF6 (*Sulfur Hexa Fluoride*) sebagai media pemadam busur api dan isolasi diantara kontak-kontak. *Circuit breaker* tipe gas SF6 dipakai dalam sistem tenaga listrik, karena memudahkan dalam pengoperasiannya dan juga sederhana. *Circuit Breaker* ada 2 jenis, diantaranya:

1) *Circuit Breaker* Tipe Tekanan Tunggal (*Single Pressure Type*), diisi dengan gas SF6 yang bertekanan kira-kira 5 Kg/cm^2. Selama pemisahan kontak, gas SF6 menekan ke dalam tabung yang menempel pada kontak bergerak, saat pemutusan kontak dilakukan, gas SF6 ditekan melalui *nozzle* yang hendak mematikan busur api.



Gambar 2.17 PMT SF6 Proses Pemutusan Arus Listrik

Keterangan Gambar:

1. Terminal Utama Atas (Rod Kontak Diam)
2. Support Kontak Diam
3. Nozzle
4. Kontak Utama (Main Contact)
5. Arcing Contact
6. Kontak Bergerak
7. Support Kontak Bergerak
8. Terminal Utama Bawah

2) Circuit Breaker Tipe Tekanan Ganda (*Double Pressure Type*), tidak ada yang memproduksi jenis ini lagi. Gas dari sistem tekanan tinggi dialirkan lewat nozzle menuju gas sistem bertekanan rendah semasa pemutusan busur api berlangsung. Sistem gas bertekanan tinggi memiliki tekanan gas SF6 kurang lebih 12 Kg/cm^2 dan pada sistem gas bertekanan rendah, tekanan gas SF6 lebih kurangnya 2 Kg/cm^2. Gas pada sistem bertekanan rendah akan dipompa kembali menuju sistem tekanan tinggi.

2.2.9 Peralatan *Switchgear*

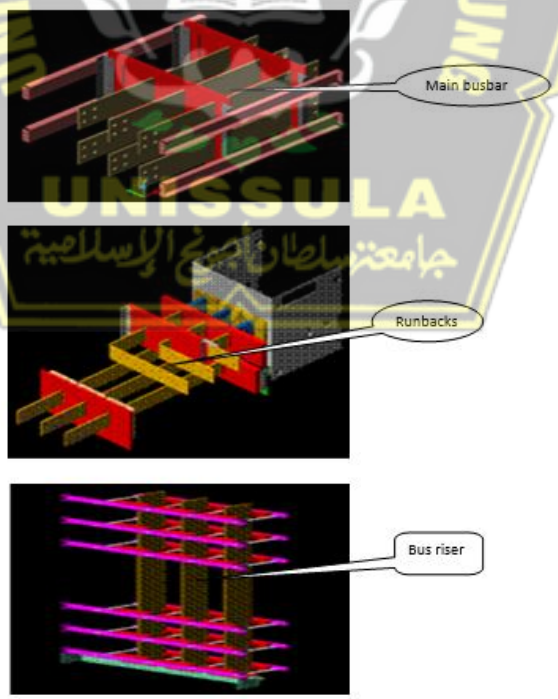
Switchgear memiliki beberapa macam peralatan, yaitu:

1) Panel Cubicle

Gambar 2.18 Panel *Cubicle*

2) Bus-bar

Bus-bar adalah rel utama, merupakan terminal kabel masukan dan keluaran *switchgear*, terbuat dari pelat tembaga yang terisolasi terhadap bodi panel, umumnya terpasang di bagian belakang panel.



Gambar 2.19 *Komponen Bus-bar*

3) Pemutus Daya

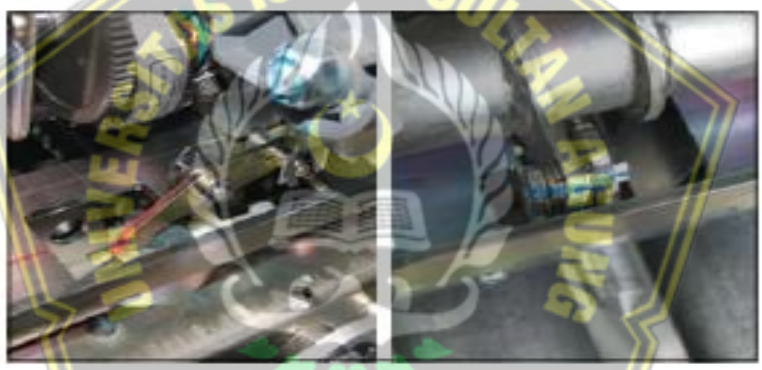
Alat pemutus rangkaian masukan dan keluaran *Switchgear*. Umumnya terdiri dari kontak utama, kontak bantu, pemisah dan penggerak mekanik yang dikemas menjadi satu bagian.

4) Sistem Pentanahan

Alat pemutus yang digunakan untuk menghubungkan ke grounding saat breaker posisi off untuk fasilitas keamanan. Alat ini dipasang di bagian belakang panel.

5) *Mechanical Interlock*

Mechanical interlock digunakan untuk mengunci secara mekanik saat *breaker racking in* atau *racking out*.



Gambar 2.20 *Mechanical racking in – racking out interlock*

2.2.10 Pemeliharaan *Switchgear*

Tujuan pemeliharaan untuk menjaga *circuit breaker* selalu dalam kondisi handal sehingga dapat beroperasi dengan baik sesuai fungsinya dengan aman. Pemeliharaan circuit breaker dibagi dalam tiga kategori yaitu:

1. Pembersihan dan pemeriksaan
2. Pemeliharaan rutin
3. Pemeliharaan *overhaul*

2.2.11 Pengujian *Switchgear*

Switchgear selain dilaksanakan pemeliharaan, juga dilakukan pengujian untuk mendapat unjuk kerja switchgear yang maksimal atau meyakinkan bahwa

operasi dan kerja peralatan benar dan tepat supaya dapat menjamin keamanan dan keandalan operasinya. Pengujian yang dilaksanakan meliputi:

1. Pengujian Keserempakan Kontak

   Pengujian keserempakan kontak dapat dilakukan dengan mencoba operasi penutupan kontak secara perlahan dengan menggunakan tongkat penggerak (*Maintenance Hand Closing Handle*). Batas angka selisih keserempakan waktu adalah $\Delta t \leq 10$ ms berdasarkan standar PLN. Maka perhitungan waktu keserempakan saat:

   Open Δt = waktu tertinggi − waktu terendah……..(2.1)

   Close Δt = waktu tertinggi – waktu terendah……...(2.2)

   Bergantung pada kapasitas laboratorium berdaya tinggi, uji pensaklaran arus kapasitif dapat dilakukan sebagai uji tiga fase atau uji satu fase. Untuk tegangan yang lebih tinggi (800 kV, 550 kV, 420 kV dan 362 kV) kadang dilakukan pengujian unit. Apabila pengujian fase tunggal dilakukan untuk mencakup aplikasi tiga fase, tegangan uji harus mencerminkan penerapan pemutus sirkuit di lapangan. Salah satu faktor yang mempengaruhi hal ini adalah situasi pembumian jaringan. Yang lainnya adalah adanya gangguan satu atau dua fasa.(Cigré Working Group A3.11, 2006)

   Subayat 6.111.7 dari IEC 62271-100 memberikan faktor tegangan berikut untuk tegangan uji fase tunggal:

   a) Faktor tegangan untuk uji sakelar arus pengisian saluran 1,2 dan 1,4 dapat diterapkan untuk konstruksi saluran sirkuit tunggal. Persyaratan untuk beberapa konstruksi saluran udara mungkin lebih besar dari faktor-faktor ini.

   b) Faktor 1,4 adalah kompromi dan berlaku untuk pemutusan arus kapasitif dalam sistem yang tidak dibumikan secara efektif, di mana kutub-ke-bersih kedua dan ketiga terputus 90° setelah yang pertama.

   c) Bila pemisahan kontak non-simultanitas di kutub yang berbeda dari pemutus sirkuit melebihi 1/6 dari siklus frekuensi pengenal,

direkomendasikan untuk menaikkan faktor tegangan atau hanya melakukan pengujian tiga fase. Pemutus sirkuit semacam itu berada di luar cakupan standar. (Cigré Working Group A3.11, 2006)

2. Pengukuran Tahanan Kontak

Pengukuran tahanan kontak dilakukan dengan mengukur resistansi hubungan kontak-kontak sebelum dilakukan pengukuran, kemampuan arus dari *breaker switchgear* (*nominal rating current*). Besarnya arus injeksi tidak boleh melebihi dari arus nominal kemampuan breaker atau mengikuti petunjuk perusahaan pembuatnya.

Setelah memperoleh nilai tahanan kontaknya kemudian dapat menghitung arus bocor(Fikri, Rudito and Usman, 2021) dengan persamaan

$$V = I \times R \quad \text{.....(2.3)}$$

Keterangan :

V = Tegangan

I = Arus Bocor

R = Tahanan

3. Pengujian Tahanan Isolasi

Tujuan dilakukannya pengujian tahanan isolasi untuk mengetahui besar kebocoran arus antara bagian bertegangan dengan tanah. Dianjurkan nilai tahanan isolasi mengikuti standar yang sudah ditetapkan.(Pranomo and Agus Supardi, 2019)

4. Pengujian Breaker saat tidak operasi

Pengujian dilakukan untuk *Test Circuit Breaker*, dalam pelaksanaannya tergantung dari tingkat kebutuhan, diantaranya:

a. Pengujian karena terjadi gangguan pada *circuit breaker*
b. Pengujian sebelum pemeliharaan
c. Pengujian setelah pemeliharaan

5. Pengujian Trip

Dilakukannya pengujian trip untuk mengetahui fungsi sistem *interlock* dapat bekerja dengan baik atau ada terjadi gangguan dalam pengoperasian.

6. Pengujian Trafo Pengukuran

   Arus (I) dan tegangan (V) pada sistem tegangan tinggi dan menengah tidak dapat dihubungkan langsung ke *voltmeter* dan *amperemeter*. Cara membaca besaran listrik diperlukan transformator pengukur yang fungsinya untuk menurunkan besaran listrik baik tegangan maupun arus dari rangkaian ke *range* tertentu yang dihubungkan pada *voltmeter* dan *amperemeter*.

2.2.12 Uji Kecepatan dan Keserempakan Waktu

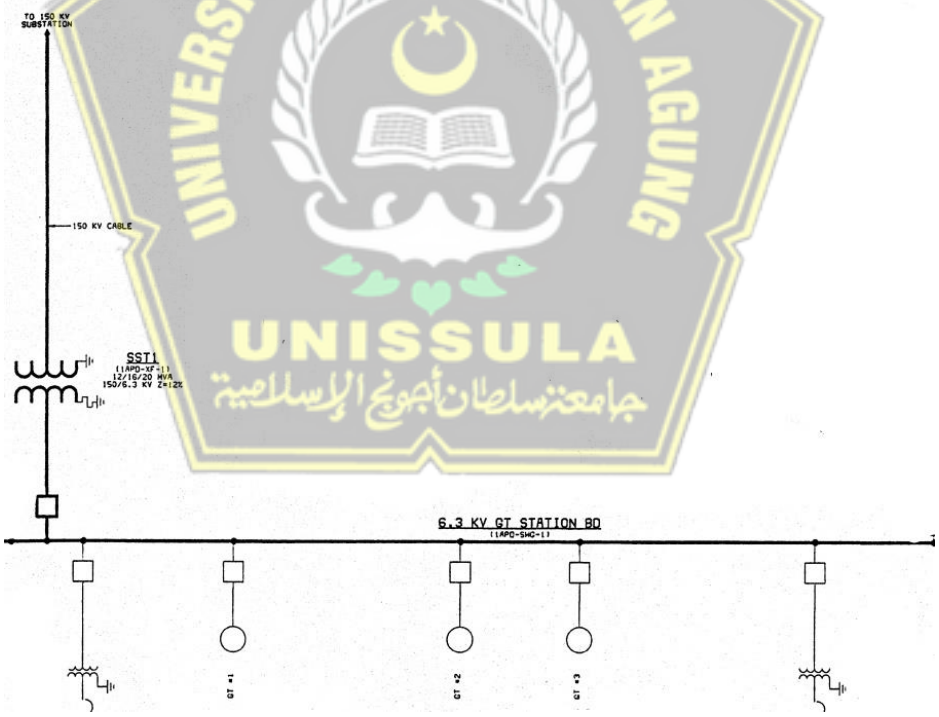
Tahapan pemeliharaan dilakukan dengan beberapa macam cara dengan periode waktu tertentu yang telah dijadwalkan. Salah satu hal yang paling penting dari pengujian dan pemeliharaan yang harus dilakukan adalah pengujian kecepatan dan keserempakan kontak pada tiap fasa menggunakan alat ukur yang dinamakan *Breaker Analyzer*. Pengujian keserempakan kontak termasuk dalam jenis pemeliharaan *Major Inspection*. Perlu dilakukan secara rutin pemeliharaan dengan mengukur pada peralatan dalam keadaan tidak bertegangan (*Off Line*). Tujuan pengujian keserempakan waktu supaya mengetahui kecepatan waktu di setiap fasa (fasa R, S, dan T) dan juga untuk mengetahui keserempakan waktu kerja dari kontak tersebut serempak saat *switchgear* beroperasi *open* ataupun *close* pada kontaknya. Waktu kerja kontak *switchgear* harus disesuaikan dengan ketentuan standar yang telah ditentukan dari pembuat *breaker switchgear* tersebut. Oleh sebab itu, waktu keserempakan yang dimiliki oleh ketiga fasa tidak boleh terlalu cepat dan juga tidak boleh terlalu lambat serta wajib serempak saat bekerja.(Firdaus, 2021)(Pranomo and Agus Supardi, 2019)

Pengujian keserempakan kontak *breaker switchgear* dilakukan pada *Circuit Breaker Single Pole* maupun *Three Pole*. Untuk menggerakkan ketiga fasa *circuit breaker* dilakukan dengan cara dikopel *se*hingga memungkinkan *switchgear* pada kontaknya memiliki perbedaan nilai waktu kerja

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Penelitian menggunakan metode wawancara dengan mengambil data pada PT. Indonesia Power PGU Semarang. Data yang diambil adalah data inspeksi menyeluruh pada saat dilakukan retrofit pada April 2021 dan September 2021. Kedua data akan dilakukan perhitungan untuk melihat perbandingan sebelum dan sesudah dilakukan *retrofit*, kemudian dibandingkan dengan standar yang berlaku pada PLN. Hasil perbandingan tersebut dapat menganalisa kelayakan *breaker switchgear* dalam suplai listrik.

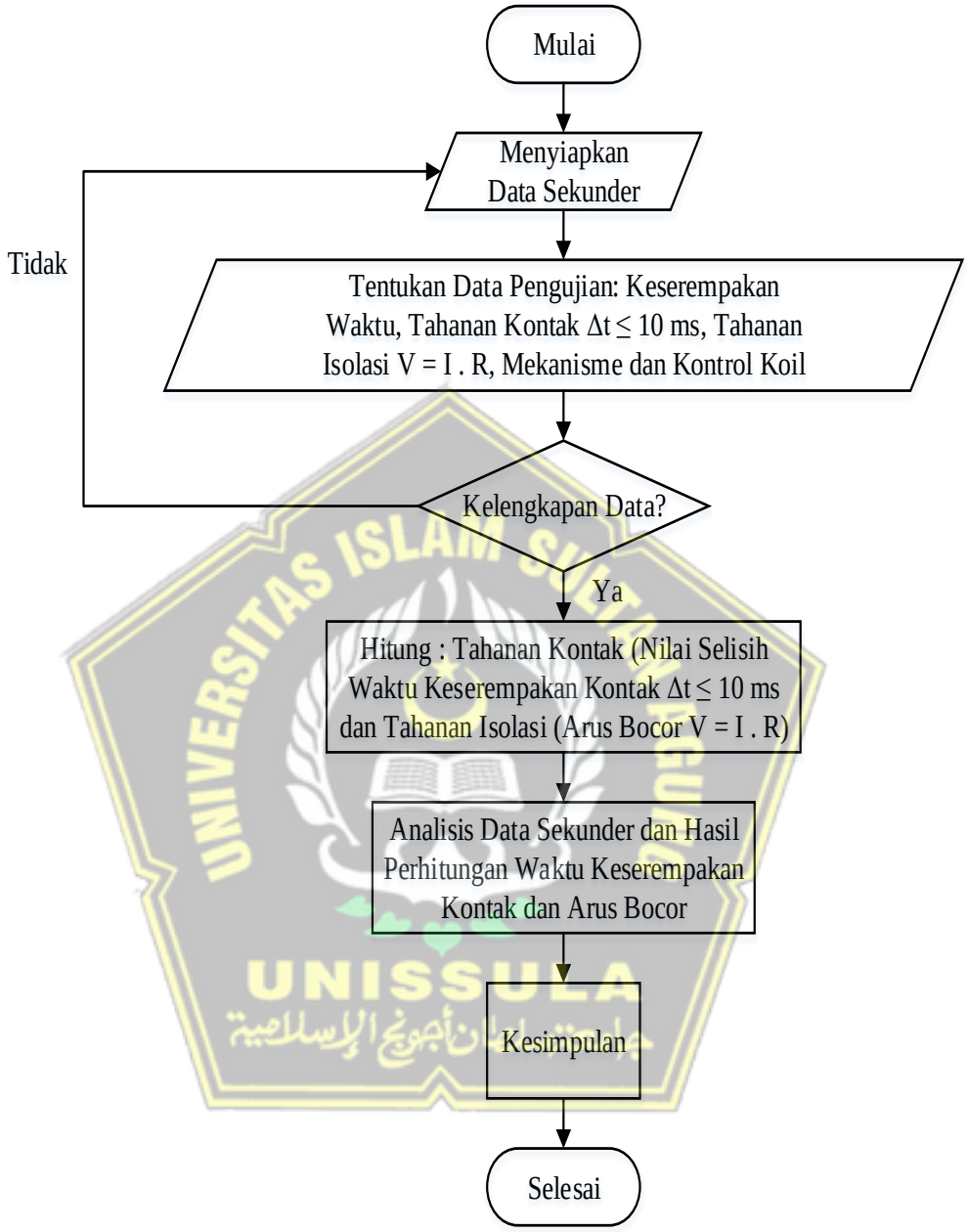


Gambar 3.1 *Switchgear* Diagram

3.2 Obyek Penelitian

Obyek yang akan diteliti adalah pada *breaker switchgear* 6,3 kV *unit* GTG 2.2 pada PT. Indonesia Power PGU Semarang.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.4 Data Penelitian

Adapun data yang diambil yaitu:

a. Data Pengukuran Keserempakan Waktu
b. Data Pengujian Tahanan Kontak
c. Data Pengujian Tahanan Isolasi
d. Data Pengukuran Mekanisme Dan Kontrol *Coil*
e. Data Pengujian *Dielectric* pada *Main Circuit*

3.5 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan yang akan dilakukan untuk penelitian *breaker switchgear* 6,3 kV PT. Indonesia Power PGU Semarang adalah sebagai berikut:

1. Observasi Lapangan

   Peneliti melakukan wawancara dengan pembimbing lapangan PT. Indonesia Power PGU Semarang mengenai switchgear 6,3 kV pada pengujian Keserempakan Waktu, pengujian Tahanan Kontak, Tahanan Isolasi, pengukuran Mekanisme dan Kontrol *Coil*, *Dielectric* pada *Main Circuit*.
2. Mengambil data inspeksi keseluruhan (pengukuran keserempakan waktu, tahanan kontak, tahanan isolasi, mekanisme dan kontrol *coil*) pada saat kondisi *disconnected*.
3. Pengambilan data
   a. Pengujian Keserempakan Waktu

      Dalam melaksanakan pengujian kecepatan waktu kontak dan keserempakan waktu, alat ukur yang dipakai untuk mengukur kedua paramater adalah *Digital Circuit Breaker Analyzer* ISA CBA 3000. *Breaker Analyzer* ini dapat mengukur kecepatan waktu kontak dan keserempakan waktu dari sebuah *Circuit Breaker*. Alat ini memiliki fungsi untuk mengukur dan menganalisa waktu kerja saat *Close* (C), *Open–Close*, *Close–Open* (C– O), dan *Open–Close–Open* (O–C–O). Selain mengukur kecepatan waktu dan keserempakan kerja kontak, alat ukur *Breaker Analyzer* ini bisa mengukur berbagai pengukuran lainnya, yaitu *Close times and Contact Open*, *Multiple Contemporary Static*, dan *Dynamic Contact*

Resistance. *Breaker* sinkronisasi (*phase vs phase*) menggunakan standar IEC62271-100, dimana pada saat pengoperasian *Close* < $^{1}/_{4}$ *cycle* atau setara dengan 0,25 *cycle* dan *Open* < $^{1}/_{6}$ *cycles* atau setara dengan 0,16 *cycle* (Group, 2021)

Gambar 3.3 *Breaker Analyzer* ISA CBA3000

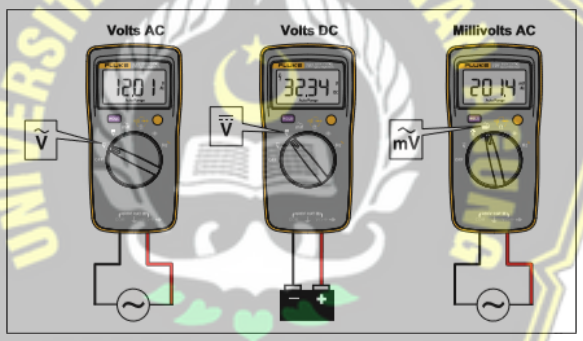
b. Pengujian Tahanan Isolasi

Melakukan pengujian tahanan isolasi menggunakan alat ukur *Megger MIT525*. Alat ukur ini dapat melakukan tegangan uji, seperti Tes diagnostik yang telah dikonfigurasi sebelumnya seperti *Polarisation Index* (PI), *Dielectric Absorption Ratio* (DAR), *Stepped Voltage* (SV) dan uji ramp tersedia bersama dengan tes resistansi isolasi dasar dan berjangka waktu.(*MEGGER*, no date) Prinsip kerja *Megger MIT525* adalah memberikan tegangan dari alat ukur ke isolasi peralatan sebesar 5 kV, kemudian bisa diukur nilai arus bocor. Sesuai hukum ohm yaitu V = I × R, maka tegangan dibagi tahanan isolasi atau I = $\frac{V}{R}$

Gambar 3.4 *Megger MIT525*

c. Pengukuran Mekanisme dan kontrol *Coil*

Melakukan pengukuran mekanisme dan kontrol coil menggunakan alat ukur *Fluke* 101 *Digital Multimeter*. Alat ukur dapat melakukan pengukuran tegangan AC maupun DC.



Gambar 3.5 *Fluke* 101 *Digital Multimeter*

4. Pengolahan Data

   Data yang telah diperoleh kemudian dilakukan konfirmasi oleh Supervisor Lapangan (SPS) PT. Indonesia Power PGU Semarang untuk dilakukan pembuktian terkait hasil pengujian yang telah didapat untuk digunakan materi penelitian.
5. Menganalisa hasil dari data inspeksi keseluruhan April 2021 dan September 2021 dengan perhitungan yang sudah dilakukan.
6. Mengetahui hasil dari status kelayakan yang kurang sesuai dengan P3B O&M PMT/001.01 standar PLN

7. Tahap terakhir penelitian ini untuk mengambil simpulan dan memberi saran untuk permasalahan berkaitan dengan keserempakan kontak pada *switchgear* 6,3 kV PT. Indonesia Power Semarang PGU.

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

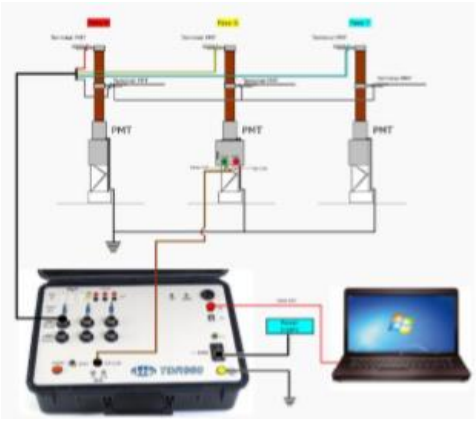
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini menggunakan data penelitian bersumber dari hasil survei lapangan, wawancara pembimbing lapangan dan para pekerja serta studi literatur dari jurnal, artikel maupun buku. Data lapangan dan wawancara diperoleh keserempakan waktu, tahanan kontak, tahanan isolasi serta mekanisme dan kontrol *coil* berdasarkan *Major Inspection* GTG 2.2 PLTGU Tambak Lorok Semarang. Pada bab ini membahas data pengukuran keserempakan waktu, pengujian tahanan kontak, pengujian tahanan isolasi, dan juga pengukuran mekanisme dan kontrol *coil* yang kemudian dinilai apakah layak untuk terus dioperasikan atau memerlukan penggantian *switchgear* dengan mengacu standar yang digunakan pada pengujian yaitu IEC62271-100, standar PLN (P3B O&M PMT/001.01, ANSI/NETA-ATS 2017 & ANSI/NETA-MTS 2015 Tabel 100.1.

4.2 Data Keserempakan Waktu

Pengujian kecepatan waktu kerja dan keserempakan kontak menggunakan alat ukur *Breaker Analyzer* CBA3000 dilakukan hingga 3 kali pengujian yaitu pada saat kondisi *Close*, *Open* dan *Close-Open*. Berikut adalah data hasil Inspeksi Keseluruhan yang dilakukan pada Switchgear 6,3 kV di PT. Indonesia Power Semarang PGU. Pengujian ini memiliki tujuan mengetahui keserempakan kontak pada saat menutup, membuka, dan menutup-membuka. Jika fasa R, S, T tidak serempak melakukan kontak maka akan mengakibatkan kerusakan pada beban. Oleh sebab itu, diperlukan pengujian ini untuk mengetahui keserempakan antar fasa R, S, T saat *close*, *open*, dan juga *close-open*.



Gambar 4.1 Rangkaian Pengukuran Keserempakan Kontak

Toleransi keserempakan waktu pada fasa R, S, T ketika *close* atau membuka dengan menggunakan nilai delta *time* (Δt) yaitu selisih waktu tertinggi dengan waktu terendah antara fasa R, S, T. Batasan selisih nilai keserempakan waktu adalah ≤ 10 ms. Siklus Gelombang (*Cycle*) pada *switchgear* juga memiliki standar yang digunakan yaitu IEC62271-100. Pengujian Keserempakan waktu menggunakan *Breaker Analyzer* untuk mengetahui waktu *Contact Bounce* pada *switchgear*. *Contact Bounce* adalah pengukuran waktu saat *Moving Contact* dan *Fix Contact* tersambung, kedua kontak dapat terhubung oleh gaya dorong mekanik pada saat *Moving Contact* yang bergerak menuju *Fix Contact* dalam kecepatan tinggi. Berikut adalah hasil pengujian yang dilakukan, diantaranya:

1. Pengujian Kontak Tertutup (*Close*)

   Pengujian dilakukan supaya mengetahui kecepatan *Moving Contact* dalam menutup ketiga fasanya. Pengujian ini diukur menggunakan alat *Breaker Analyzer* ISA CBA3000. Toleransi *Breaker Synchronization* (fasa vs fasa menggunakan standar IEC62271-100 (Cigré Working Group A3.11, 2006) dimana pada saat menutup < $^{1}/_{4}$ *cycle* atau 0,25 *cycle*. Berikut adalah data hasil pengujian keserempakan waktu pada saat *breaker switchgear* dalam posisi *close* :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Close*

PHASE	HASIL PENGUKURAN (ms)	DEVIASI	
		(ms)	(cycle)
R	81,4	0,07	0,00
S	81,6	0,13	0,01
T	81,4	0,07	0,00

Pada hasil pengukuran kondisi *close* didapatkan pada *phase* R menunjukkan 81,4 ms dengan deviasi kontak memantul 0,07 ms dan siklus gelombang 0,00 *cycle*, *phase* S menunjukkan 81,6 ms dengan deviasi kontak memantul 0,13 ms dan siklus gelombang 0,01 *cycle*, *phase* T menunjukkan 81,4 ms dengan deviasi kontak memantul 0,07 ms dan siklus gelombang 0,00 *cycle*. Kemudian setelah didapatkan hasil pengujian keserempakan waktu dalam posisi *close* maka akan dihitung menggunakan persamaan rumus (2) :

Close Δt = waktu tertinggi − waktu terendah

= 81,6 ms – 81,4 ms

= 0,2 ms

Dari hasil pengujian yang didapatkan pada saat posisi *Close*, diperoleh hasil delta *time* (Δt) adalah 0,2 ms. Dari hasil perhitungan yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai delta *time* saat kondisi *Close* sudah memenuhi standar yang telah ditentukan yaitu < 10 ms, sehingga *breaker switchgear* dapat melakukan kinerja keserempakan waktu saat kondisi *close* masih handal untuk beroperasi. Pengujian nilai *cycle* pada fasa R yaitu 0,00 *cycle*, fasa S yaitu 0,01 *cycle*, dan juga fasa T 0,00 *cycle* menunjukkkan bahwa nilai *cycle* tiap fasa tidak melebihi standar yang telah ditetapkan IEC62271-100 yaitu < $^{1}/_{4}$ *cycle* atau 0,25 *cycle*.

2. Pengujian Kontak Membuka (*Open*)

   Pengujian Keserempakan Waktu untuk mengetahui kecepatan fasa R, S, T pada *switchgear* saat membuka. Pengukuran kontak membuka diukur

menggunakan alat *Breaker Analyzer* ISA CBA 3000. Toleransi *Breaker Synchronization* fasa vs fasa IEC62271-100 dimana pada saat membuka (*open*) bernilai < $^{1}/_{6}$ *cycle* atau setara dengan 0,166 *cycle*.

Berikut adalah data dari hasil pengujian keserempakan waktu pada *breaker switchgear* dalam keadaan *open :*

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Open*

PHASE	HASIL PENGUKURAN (ms)	DEVIASI	
		(ms)	(cycle)
R	37,2	5,93	0,30
S	48,2	2,87	0,14
T	48,4	3,07	0,15

Pada hasil pengukuran kondisi *open* didapatkan pada *phase* R menunjukkan 37,2 ms dengan deviasi kontak memantul 5,93 ms dan siklus gelombang 0,30 *cycle, phase* S menunjukkan 48,2 ms dengan deviasi kontak memantul 2,87 ms dan siklus gelombang 0,14 *cycle, phase* T menunjukkan 48,4 ms dengan deviasi kontak memantul 3,07 ms dan siklus gelombang 0,15 *cycle*. Berdasarkan hasil dari pengujian dalam keadaan *open* maka akan dihitung menggunakan rumus (1) :

Open Δt = waktu tertinggi − waktu terendah

= 48,4 ms – 37,2 ms

= 11,2 ms

Dari hasil pengujian yang didapatkan pada saat posisi *Open*, diperoleh hasil delta *time* (Δt) adalah 11,2 ms. Dari hasil perhitungan yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai delta time saat kondisi *Open* tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu < 10 ms, sehingga *breaker switchgear* dalam melakukan kinerja keserempakan waktu saat kondisi *Open* tidak handal dan dapat menimbulkan gangguan dalam beroperasi. Perbedaan waktu yang terlalu lambat dapat menimbulkan loncatan arus dan tegangan pada fasa lain sehingga dapat merusak peralatan yang terhubung pada switchgear

tersebut. Pengujian nilai *cycle* pada fasa R yaitu 0,30 *cycle*, fasa S yaitu 0,14 *cycle*, dan juga fasa T 0,15 *cycle* menunjukkkan bahwa nilai *cycle* ada yang melebihi standar yang telah ditetapkan IEC62271-100 yaitu < $^{1}/_{6}$ *cycle* atau 0,166 *cycle*. Jika delta *time* dan *cycle* tidak memenuhi standar IEC62271-100 yang kemudian perlu segera dilakukan penggantian.

3. Pengujian Reclose (*Close – Open*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan *Moving Contact* dalam menutup ketiga fasanya. Pengujian ini diukur menggunakan alat *Breaker Analyzer* ISA CBA3000. Toleransi *Breaker Synchronization* (fasa vs fasa menggunakan standar IEC62271-100 (Cigré Working Group A3.11, 2006) dimana pada saat close < $^{1}/_{4}$ *cycle* atau 0,25 *cycle*.

Berikut adalah data hasil pengujian keserempakan waktu pada saat *breaker switchgear* dalam posisi *closing time* :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Closing Time*

PHASE	HASIL PENGUKURAN (ms)	DEVIASI	
		(ms)	(cycle)
R	81,4	0,07	0,00
S	81,6	0,13	0,01
T	81,4	0,07	0,00

Pengujian Keserempakan Waktu untuk mengetahui kecepatan fasa R, S, T pada *switchgear* saat menutup (*closing time*). Pengukuran kontak menutup diukur menggunakan alat *Breaker Analyzer* ISA CBA 3000. Toleransi *Breaker Synchronization* fasa vs fasa IEC62271-100 dimana pada saat membuka (*open*) bernilai < $^{1}/_{6}$ *cycle* atau setara dengan 0,166 *cycle*. Pada hasil pengukuran kondisi *closing time* didapatkan pada *phase* R menunjukkan 81,4 ms dengan deviasi kontak memantul 0,07 ms dan siklus gelombang 0,00 *cycle*, *phase* S menunjukkan 81,6 ms dengan deviasi kontak memantul 0,13 ms dan siklus gelombang 0,01 *cycle*, *phase* T menunjukkan 81,4 ms dengan deviasi kontak memantul 0,07 ms dan siklus gelombang 0,00 *cycle*. Berikut adalah data hasil

pengujian keserempakan waktu pada saat *breaker switchgear* dalam posisi *Opening Time* :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Opening Time*

PHASE	HASIL PENGUKURAN (ms)	DEVIASI	
		(ms)	(*cycle*)
R	37,2	5,93	0,30
S	48,2	2,87	0,14
T	48,4	3,07	0,15

Pada hasil pengukuran kondisi *open* didapatkan pada *phase* R menunjukkan 37,2 ms dengan deviasi kontak memantul 5,93 ms dan siklus gelombang 0,30 *cycle*, *phase* S menunjukkan 48,2 ms dengan deviasi kontak memantul 2,87 ms dan siklus gelombang 0,14 *cycle*, *phase* T menunjukkan 48,4 ms dengan deviasi kontak memantul 3,07 ms dan siklus gelombang 0,15 *cycle*.

Berdasarkan hasil dari pengujian dalam keadaan *closing* dan *opening* maka akan dihitung menggunakan rumus (1) dan (2) :

Close Δt = waktu tertinggi − waktu terendah

= 81,6 ms – 81,4 ms

= 0,2 ms

Open Δt = waktu tertinggi − waktu terendah

= 48,4 ms – 37,2 ms

= 11,2 ms

Dari hasil pengujian yang didapatkan pada saat posisi *Closing*, diperoleh hasil *delta time* (Δt) adalah 0,2 ms. Hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa nilai delta *time* pada kondisi *Closing* sudah memenuhi standar yaitu ≤ 10 ms, sehingga *breaker switchgear* dapat melakukan kinerja keserempakan waktu saat kondisi *close* masih handal untuk beroperasi. Pengujian nilai *cycle* pada fasa R yaitu 0,00 *cycle*, fasa S yaitu 0,01 *cycle*, dan juga fasa T 0,00 *cycle* menunjukkkan bahwa nilai *cycle* tiap

fasa tidak melebihi standar IEC62271-100 yang telah ditetapkan yaitu < $^{1}/_{4}$ *cycle* atau 0,25 *cycle*.

Hasil pengujian yang didapat pada saat posisi *Opening*, diperoleh hasil delta *time* (Δt) adalah 11,2 ms. Hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa nilai *delta time* saat kondisi *Opening* tidak memenuhi standar yanf telah ditetapkan yaitu ≤ 10 ms, sehingga *breaker switchgear* dalam melakukan kinerja keserempakan waktu saat kondisi *Opening* tidak handal dan dapat menimbulkan gangguan dalam beroperasi. Perbedaan waktu yang terlalu lambat dapat menimbulkan loncatan arus dan tegangan terhadap fasa lain sehingga dapat merusak peralatan yang terhubung pada *switchgear* tersebut. Pengujian nilai *cycle* pada fasa R yaitu 0,30 *cycle*, fasa S yaitu 0,14 *cycle*, dan juga fasa T 0,15 *cycle* menunjukkkan bahwa nilai *cycle* ada yang melebihi standar IEC62271-100 yang telah ditetapkan yaitu < $^{1}/_{6}$ *cycle* atau 0,166 *cycle*. Jika tiga kali pengujian pada saat kondisi *Open, close* dan *Close-Open*, pada *delta time* dan *cycle* tidak memenuhi standar IEC62271-100 yang telah ditetapkan maka hal ini perlu dilakukan *retrofit* (penggantian).

4.3 Data Pengujian Tahanan Kontak

Tujuan dari pengambilan data pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai resistansi pada *switchgear* yang dihasilkan dari titik sambung supaya dapat memastikan kontak bergerak (*moving contact)* dapat tersambung pada kontak tetap (*fixed contact*) dengan baik. Melakukan pengujian tahanan kontak pada saat keadaan *close*. Panas yang dihasilkan berasal dari kontak beberapa konduktor yang akan mengakibatkan hambatan yang nantinya akan mengalami kerugian teknis di masa sekarang maupun mendatang.

Batasan nilai tahanan kontak berdasarkan standar PLN sesuai dengan P3B O&M PMT/001.01 nilai R < 100μΩ. Berikut adalah data hasil pengujian pada tahanan kontak :

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tahanan Kontak

Phase	Pengujian Arus DC (A)	Tahanan Kontak(μΩ)
R	100	27,046
S		24,192
T		24,737

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa hasil dari pengujian tahanan kontak dengan pengujian arus DC pada fasa R menunjukkan nilai tahanan kontak 27,046 μΩ, pada fasa S menunjukkan nilai tahanan kontak 24,192 μΩ, fasa T menunjukkan nilai tahanan kontak 24,737 μΩ dari pengukuran ini dalam kondisi baik dan aman yang sesuai dengan standar PLN P3B O&M PMT/001.01 yaitu nilai R < 100. Jika pengukuran tahanan kontak ini tidak memenuhi standar tersebut maka perlu dilakukan pemeliharaan. Jika terus dilakukan pengoperasian dikhawatirkan terjadi kerusakan akibat panas yang ditimbulkan alat kontak.

4.4 Data Pengujian Tahanan Isolasi

Batasan Tahanan Isolasi menurut standar ANSI/NETA-ATS 2017 & ANSI/NETA-MTS 2015 TABEL 100.1 minimal besarnya adalah > 2500 MΩ, maka 2500 MΩ = 250000 GΩ. Kebocoran arus yang diijinkan oleh standar VDE (*catalogue* 228/4) untuk setiap kV adalah 1 mA. Berikut merupakan hasil pengujian tahanan isolasi *Breaker Switchgear* 6,3 kV PT. Indonesia Power Semarang PGU pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Phase	Pengujian Tegangan	*Insulated Resistance* / 1 menit(GΩ)
R-Ground	5000	217,0
S-Ground		744,0
T-Ground		850,0
R-S		941,0
S-T		>1000
T-R		>1000
R-R'		>1000
S-S'		>1000
T-T'		>1000

Setelah mendapatkan nilai tahanan isolasi dengan pengujian tegangannya 5000 V, menunjukkan pada phase R-Ground mendapatkan nilai tahanan isolasi tiap 1 menit yaitu 217,0 GΩ, pada phase S-Ground mendapatkan nilai tahanan isolasi tiap 1 menit yaitu 744,0 GΩ, pada phase T-Ground mendapatkan nilai tahanan isolasi tiap 1 menit yaitu 850,0 GΩ, pada phase R-S mendapatkan nilai tahanan isolasi tiap 1 menit yaitu 941,0 GΩ, pada phase S-T, T-R, R-R', S-S', T-T' mendapatkan nilai tahanan isolasi tiap 1 menit yaitu > 1000 GΩ. kemudian setelah mendapatkan nilai tahanan isolasi dilakukan hitung arus bocor dengan menggunakan cara tegangan dibagi tahanan isolasi menggunakan persamaan rumus (3) :

Perhitungan Arus Bocor

- Fasa R-Ground

  Arus Bocor (I) = $\frac{5000\,V}{217000M\Omega}$ = 0,02304 mA

- Fasa S-Ground

  Arus Bocor (I) = $\frac{5000\,V}{744000M\Omega}$ = 0,00672 mA

- Fasa T-Ground

  Arus Bocor (I) = $\frac{5000\,V}{850000M\Omega}$ = 0,00588 mA

- Fasa R-S

  Arus Bocor (I) = $\frac{5000\,V}{941000M\Omega}$ = 0,00531 mA

- Fasa S-T

  Arus Bocor (I) = $\frac{5000\,V}{1000000M\Omega}$ = 0,005 mA
- Fasa T-R

  Arus Bocor (I) = $\frac{5000\,V}{1000000M\Omega}$ = 0,005 mA
- Fasa R-R'

  Arus Bocor (I) = $\frac{5000\,V}{1000000M\Omega}$ = 0,005 mA
- Fasa S-S'

  Arus Bocor (I) = $\frac{5000\,V}{1000000M\Omega}$ = 0,005 mA
- Fasa T-T'

  Arus Bocor (I) = $\frac{5000\,V}{1000000M\Omega}$ = 0,005 mA

Setiap fasa dari data hasil pengujian menunjukkan kemampuan nilai isolasi yang berbeda. Biasanya debu atau kotoran yang menempel akan mempengaruhi fungsi dari masing-masing isolator *breaker switchgear*. Perbedaan ini tidak mempengaruhi kinerja tahanan isolasi selama masih memenuhi standar tersebut yang telah ditetapkan. Hasil perhitungan pada nilai kebocoran arus masih dibawah standar yang telah ditetapkan yaitu 1 kV = 1mA. Hasil ukuran pengujian tahanan isolasi dan pada kebocoran arus yang didapat bisa disimpulkan pada tahanan isolasi pada *breaker switchgear* masih berfungsi dengan baik dan handal sesuai dengan standar yang digunakan yaitu VDE (*catalogue* 228/4).

4.5 Data Pengukuran Mekanisme dan Kontrol *Coil*

Pengukuran Mekanisme dan Kontrol *Coil* diukur menggunakan *Fluke* 101 *Digital Multimeter*. Pengukuran ini dilakukan pada saat *cranking* motor *charging*. Berikut adalah hasil dari pengukuran Mekanisme:

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Mekanisme

Winding Resistance (Ω)	CARBON BRUSH LENGTH (mm)	
	RIGHT (outer)	LEFT (inner)
16,1	20,0	20,0

Berdasarkan tabel 4.7 Hasil Pengukuran mekanisme menunjukkan bahwa *winding resistance* mendapatkan angka 16,1 Ω, *Carbon Brush Length* bagian kanan (*outer)* sepanjang 20 mm dan pada bagian kiri (*inner)* sepanjang 20 mm. kemudian pada tabel 4.8 menunjukkan data hasil pengukuran kontrol *coil* :

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Kontrol *Coil*

CLOSING COIL | Y1 (Ω)	TRIPPING COIL | Y2 (Ω)	Ax. RLY SPRING CHRG | K1 (kΩ)	ANTI PUMPING RELAY | K2 (kΩ)
76,50	75,20	1,83	1,85

Berdasarkan tabel 4.8 Hasil Pengukuran Kontrol Coil pada *Closing Coil* menunjukkan Y1 76,50 Ω , *Tripping Coil* Y2 75,20*Ω*, *Ax. Relay Spring Charge* K1 1,83kΩ, *Anti Pumping Relay* K2 1,85kΩ.

4.6 Pengujian *Dielectric* pada *Main Circuit*

Berdasarkan data Hasil Pengujian *Dielectric* adalah data yang diambil setelah dilakukannya *retrofit* (penggantian) pada breaker. Data ini untuk mengetahui hasil keandalan alat yang sudah diperbarui. Tujuan dari data pengujian ini untuk mengetahui alat yang digunakan sudah memenuhi standar yang ditetapkan yaitu IEC62272-100. Berikut adalah data hasil pengujian dari *dielectric* pada *main circuit*:

Tabel 4.8 Hasil Pengujian *Dielectric* pada *Main Circuit*

No.	Pengujian Kondisi *Circuit Breaker*	Tahanan Isolasi 5000 V		Kriteria
		Sebelum *Retrofit*	Sesudah *Retrofit*	
1.	*Closed*	882 GΩ	1168 GΩ	>1MΩ/1KV
2.	*Closed*	1000 GΩ	1000 GΩ	>1MΩ/1KV
3.	*Open*	113 GΩ	368GΩ	>1MΩ/1KV

Dapat dilihat pada hasil pengujian *dielectric* pada *main circuit* dengan tahanan isolasi 5000 V, pada pengujian pertama dalam kondisi pengujian *closed*

sebelum dilakukan retrofit memiliki nilai 882000 MΩ kemudian setelah dilakukan retrofit mendapatkan nilai 1168000 MΩ, pada pengujian kedua dalam kondisi pengujian *closed* sebelum dilakukan retrofit memiliki nilai 1000000 MΩ kemudian setelah dilakukan retrofit mendapatkan nilai 1000000 MΩ, pada pengujian ketiga dalam kondisi pengujian *Open* sebelum dilakukan retrofit memiliki nilai 113000 MΩ kemudian setelah dilakukan retrofit mendapatkan nilai 368000 MΩ. Berdasarkan standar IEC62271-100 yang digunakan untuk pengujian *dielectric* pada tahanan isolasi adalah > 1MΩ/1KV. Dapat disimpulkan bahwa kinerja alat yang digunakan sekarang dapat berfungsi lebih baik dan handal

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan dalam analisis retrofit breaker switchgear 6,3 kV maka bisa disimpulkan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan pengujian keserempakan waktu saat menutup didapati Δt melebihi standar yang telah ditentukan yaitu 11,2 ms dan pada saat menutup melebihi standar yang telah ditetapkan yaitu 0,30 *cycle*. Breaker Medium Voltage 6,3 kV baru bisa beroperasi secara kontinyu pada kondisi tegangan operasi normal tanpa penurunan performa, kelainan maupun gangguan.
2. Breaker Medium Voltage 6,3 kV baru dapat berfungsi normal sesuai dengan prosedur pengoperasian standar yang ditunjukkan dengan hasil pengujian fungsi peralatan. Hasil pengujian ini dilihat dari hasil uji keserempakan waktu, uji tahanan kontak dan uji tahanan isolasi.
3. Dilihat dari hasil pengujian *dielectric* pada *main circuit* setelah dilakukan retrofit breaker switchgear lebih baik dan lebih handal. Hasil test keseluruhan sistem memiliki performa sesuai dengan spesifikasi peralatan.

5.2 Saran

Saran terkait masalah retrofit breaker switchgear adalah perlu melakukan pengecekan secara rutin sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan, agar dapat memastikan switchgear berjalan sesuai dengan fungsinya dan handal dalam melakukan kinerjanya.

DAFTAR PUSTAKA

Bagja, I. nyoman and Parsa, I. M. (2018) 'Motor-motor Listrik', *CV. Rasi Terbit*, 1(1), pp. 1–104.

Cigré Working Group A3.11 (2006) 'Guide for application of IEC 62271-100 and IEC 62271-1. Part 2 - Breaking and Making Tests.', *Cigré Brochure*, (October), p. 108.

Fikri, A. M., Rudito, H. and Usman, U. (2021) 'Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) Bay Punagaya Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan di Gardu Induk Tallasa', in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, pp. 1–5.

Firdaus, A. G. (2021) 'Analisa Pengujian Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Bay Penghantar Mandirancan I Berdasarkan Parameter Breaker Analyzer di Gardu Induk Sunyaragi', *Electrician*, 15(3), pp. 252–267.

Gemme, C. *et al*. (2016) 'Innovative Retrofit Upgrades for Safety and Reliability in Aged Switchgear', in *IEEE Petroleum and Chemical IndustryCommittee Conference*, pp. 14–16.

Group, A. (2021) *CBA 3000 All-in-one Circuit Breaker Analyzer*.

Maheswari, A. (2013) '140970794-Pembangkit-Listrik-Tenaga-Gas-Uap-PLTGU-HRSG', p. 6.

MEGGER (no date) *MIT515, MIT525, MIT1025, MIT1525, 5 kV, 10 Kv & 15 kV Insulation Resistance Testers User Manual*.

PLN, P. (2014) *Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*. Jakarta.

Pranomo, I. and Agus Supardi, S. T. (2019) 'Analisis Pengujian Pemutus Tenaga Bay Gondangrejo 2 Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan di Gardu Induk

Palur'. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

PT. Indonesia Power UP Semarang (2018) *Profil IP Semarang*. Semarang.

Susanto, A., Kurnianto, R. and Rajagukguk, M. (2021) 'ANALISA KELAYAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) 150 KV BERDASARKAN HASIL UJI TAHANAN ISOLASI, TAHANAN KONTAK DAN KESEREMPAKAN KONTAK DI GARDU INDUK SINGKAWANG', *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).