

**ANALISIS KELAYAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) 70KV
BERDASARKAN PENGUJIAN KESEREMPAKAN, TAHANAN ISOLASI
DAN TAHANAN PENTANAHAN DENGAN PERBANDINGAN JUMLAH
PENGOPERASIAN PADA GI TANJUNG PANDAN**

LAPORAN TUGAS AKHIR

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



DISUSUN OLEH :

DODIK EKO SUGIYANTO

NIM 30602200138

**PROGRM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

FINAL PROJECT

***FEASIBILITY ANALYSIS OF 70KV CIRCUIT BREAKER (CB) BASED ON
SIMULTANEOUS TEST, INSULATION RESISTANCE TEST AND
GROUNDING RESISTANCE TEST WITH COMPARISON OF THE
NUMBER OF OPERATIONS AT TANJUNG PANDAN SUBSTATION***

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



Arranged By :

DODIK EKO SUGIYANTO

NIM 30602200138

MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING

INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS KELAYAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) 70KV BERDASARKAN PENGUJIAN KESEREMPAKAN, TAHANAN ISOLASI DAN TAHANAN PENTANAHAN DENGAN PERBANDINGAN JUMLAH PENGOPERASIAN PADA GI TANJUNG PANDAN” ini disusun oleh

Nama : Dodik Eko Sugiyanto

NIM : 30602200138

Progrm Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada

Hari : Jum'at

Tanggal : 21 Maret 2025

Pembimbing

Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T.

NIDN. 0619076401

Mengetahui,

Ketua Program Studi teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

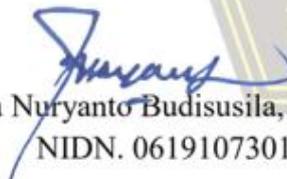
Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS KELAYAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) 70KV BERDASARKAN PENGUJIAN KESEREMPAKAN, TAHANAN ISOLASI DAN TAHANAN PENTANAHAN DENGAN PERBANDINGAN JUMLAH PENGOPERASIAN PADA GI TANJUNG PANDAN” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji Tugas Akhir pada

Hari : Jum'at

Tanggal : 21 Maret 2025

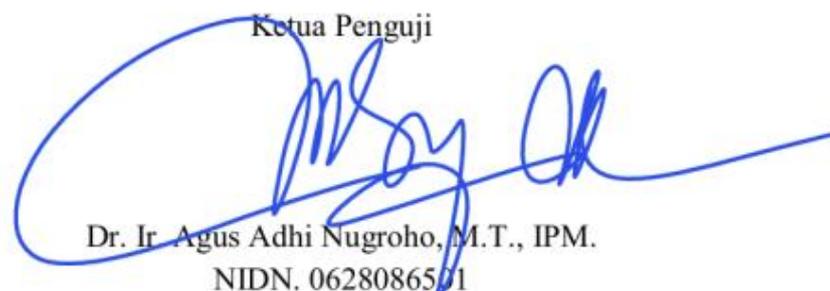
Anggota I

Anggota II


Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.
NIDN. 0619107301


Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T.
NIDN. 0619076401

Ketua Penguji


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T., IPM.
NIDN. 0628086501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Dodik Eko Sugiyanto
NIM : 30602200138
Judul Tugas Akhir : ANALISIS KELAYAKAN PEMUTUS
TENAGA (PMT) 70KV BERDASARKAN
PENGUJIAN KESEREMPAKAN, TAHANAN
ISOLASI DAN TAHANAN PENTANAHAN
DENGAN PERBANDINGAN JUMLAH
PENGOPERASIAN PADA GI TANJUNG
PANDAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Universitas Islam Sultan Agung Semarang adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir saya pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh selain saya, maka saya bersedia untuk dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, Januari 2025

Yang Menyatakan



Dodik Eko Sugiyanto

HALAMAN PERSEMBAHAN

Pertama

“Saya ucapkan syukur alhamdulillah kepada tuhan yang maha agung, Allah Subhanahu Wa Ta’ala atas segala nikmat dan rahmat-Nya yang tiada terbendung, sehingga dalam penulisan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar sebagaimana mestinya tanpa adanya halangan yang begitu berarti.”

Kedua

“Tugas akhir ini saya persembahkan kepada yang tercinta, kedua orang tua saya Bapak Sugih dan Alm. Ibu Giyanti karena berkat doa dan semangat dari beliau, saya dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.”

Ketiga

“Tugas akhir ini saya persembahkan juga kepada sang istri yang amat sangat saya cintai, Ibu Nurhayana yang support dan doanya senantiasa mengalir kepada saya, tiada pernah berhenti.”

Keempat

“Tugas akhir ini saya persembahkan kepada dosen pembimbing, Bapak Sukarno Budi Utomo yang telah mendukung serta memberikan arahan kepada saya dalam bidang keilmuan serta motivasi.”

Kelima

“Tugas akhir ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri, karena sampai dengan saat ini api semangatnya masih terus membara, juga masih terus berjuang dengan sepenuh yang dapat kamu lakukan.”

HALAMAN MOTTO

Dia (Musa) berkata, “Tidak! Sesungguhnya Tuhanku bersamaku. Dia akan memberi petunjuk kepadaku.”

Q.S Asy-Syu'ara' ayat 62

“Yen wani aja wedi-wedi, yen wedi aja wani-wani”

(kalau berani jangan takut-takut, kalau takut jangan berani berani)

Peribahasa Jawa

“Ini akan berlalu”

Dr. H. Fahrudin Faiz, S.Ag., m.Ag.

UNISSULA

جامعة سلطان اجونغ الإسلامية

“Manusia yang dalam kebaikannya saja ada buruknya, apalagi dalam keburukannya”

Ibnu Atha'illah as-Sakandari dalam Al-Hikam

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

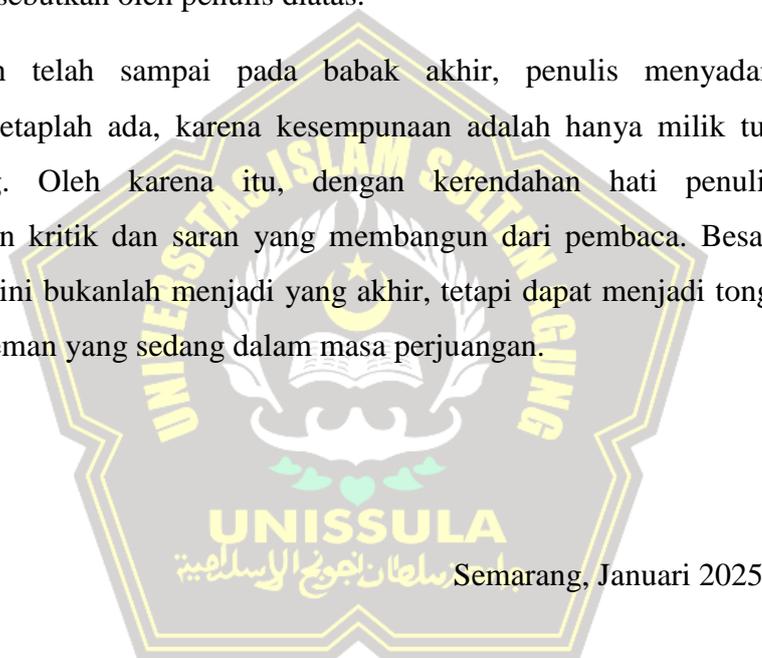
Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji syukur bagi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang senantiasa kita panjatkan atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan kepada kita. Selawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi besar, Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam* yang selalu kita nanti-nantikan syafaatnya kelak di *yaumul qiyamah*. Dengan telah terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini, penulis sangat bersyukur dan berbahagia tiada tara. Penulisan tugas akhir ini merupakan syarat untuk meraih gelar Sarjana (S1) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung, dengan judul **“ANALISIS KELAYAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) 70KV BERDASARKAN PENGUJIAN KESEREMPAKAN, TAHANAN ISOLASI DAN TAHANAN PENTANAHAN DENGAN PERBANDINGAN JUMLAH PENGOPERASIAN PADA GI TANJUNG PANDAN”**.

Mustahil begitu dirasa, jika dalam sebuah proses tiada pernah menjumpai suatu halang rintang. Tidak terlepas dari hal itu, selama proses penulisan laporan Tugas Akhir ini penulis juga menjumpai berbagai keluhan resah selama penulisan. Namun, berkat bimbingan dan kerjasama dari berbagai pihak, segala kendala, kesah dan kekurangan yang ada dapat diketemukan solusi dengan baik pada akhirnya. Oleh karena itu, dalam lembar ini penulis dengan hati yang tulus mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak yang telah membantu.

1. Kepada Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T.
2. Kepada Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
3. Kepada Muhammad Khosyi'in, S.T., M.T Selaku Koordinator Tugas Akhir Mahasiswa Teknik Elektro.

4. Kepada Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T Selaku Dosen Pembimbing.
5. Kepada Seluruh Pengajar dan Karyawan Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Kepada Andryanto Selaku Team Leader (TL) Pemeliharaan Gardu Induk (Hargi) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Belitung.
7. Kepada semua pihak yang telah membantu penulis, dan belum sempat disebutkan oleh penulis diatas.

Walaupun telah sampai pada babak akhir, penulis menyadari bahwa kekurangan tetaplah ada, karena kesempunaan adalah hanya milik tuhan yang maha agung. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Besar harapan Tugas Akhir ini bukanlah menjadi yang akhir, tetapi dapat menjadi tonggak awal bagi teman-teman yang sedang dalam masa perjuangan.



Semarang, Januari 2025
Dodik Eko Sugiyanto

DAFTAR ISI

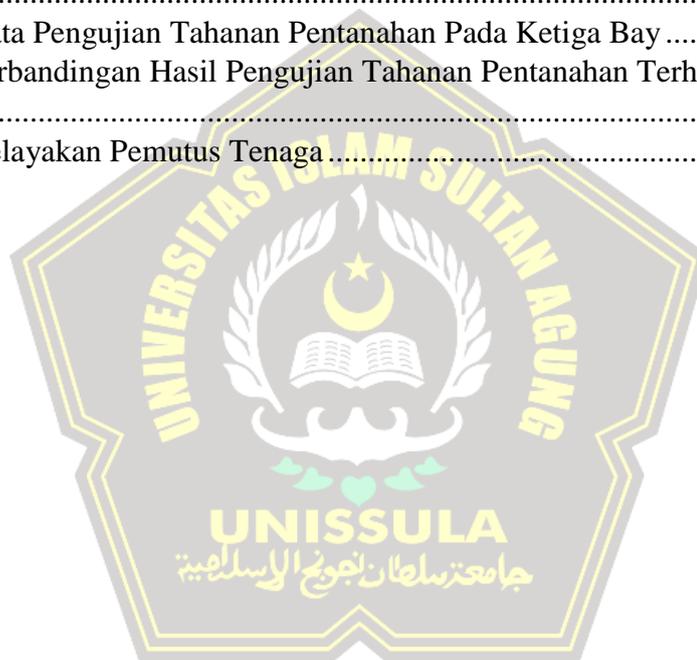
FINAL PROJECT	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
PERNTAYAAN PESETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1. Distribusi tenaga listrik	7
2.2.2. Gardu induk	8
2.2.3. Pemutus tenaga (PMT)	14
2.2.4. Keserempakan	19

2.2.5.	Tahanan isolasi	22
2.2.6.	Tahanan pentanahan	24
2.2.7.	Standar PLN KEPDIR 0520 tahun 2014	27
BAB III	METODE PENELITIAN	29
3.1	Objek Penelitian	29
3.2	Flowchart	30
BAB IV	DATA DAN ANALISA	33
4.1	Pengujian Keserempakan	33
4.1.1	Pengujian waktu kontak open dan keserempakan open	33
4.1.2	Pengujian waktu kontak close dan keserempakan close	36
4.2	Pengujian Tahanan Isolasi	39
4.3	Pengujian Tahanan Pentanahan	43
4.4	Hasil Kelayakan Ketiga PMT	45
BAB V	PENUTUP	46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	49



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Pengujian Waktu Open dan Keserempakan Open.....	33
Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Waktu Open dan Keserempakan Open Terhadap Standar PLN	35
Tabel 4. 3 Data Pengujian Waktu Close dan Keserempakan Close.....	36
Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Waktu Close dan Keserempakan Close Terhadap Standar PLN	38
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian Tahanan Isolasi dengan Jumlah Kali Pengoperasian	41
Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Terhadap Standar PLN	42
Tabel 4. 7 Data Pengujian Tahanan Pentanahan Pada Ketiga Bay	44
Tabel 4. 8 Perbandingan Hasil Pengujian Tahanan Pentanahan Terhadap Standar PLN	44
Tabel 4. 9 Kelayakan Pemutus Tenaga.....	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 PMT Single Pole	15
Gambar 2. 2 PMT Three Pole	16
Gambar 2. 3 KEPDIR 0520 Keserempakan.....	20
Gambar 2. 4 Rangkaian Pengujian Keserempakan	21
Gambar 2. 5 Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi	24
Gambar 2. 6 Rangkaian Pengujian Tahanan Pentanahan.....	26
Gambar 2. 7 Acuan Waktu PMT.....	28
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	30



DAFTAR LAMPIRAN



DAFTAR ISTILAH



ABSTRAK

Listrik adalah kebutuhan pokok bagi sebagian besar masyarakat Indonesia, sebagai energi mudah, murah, dan tentunya bersih. Pada prosesnya, untuk menyalurkan tenaga listrik hingga sampai kepada masyarakat dibutuhkan gardu induk gardu induk penghubung yang menjadi titik awal pendistribusian tenaga listrik. Kegagalan peralatan yang ada pada gardu induk, utamanya peralatan pada fungsi pemutus dan penghubung (switching) adalah suatu hal yang tidak dapat dianggap sepele.

Dalam tugas akhir ini, dibahas oleh penulis proses dan hasil analisis kelayakan pemutus tenaga (PMT) 70kV dengan berdasarkan pengujian keserempakan, tahanan isolasi dan tahanan pentanahan dengan perbandingan jumlah pengoperasian pada GI Tanjung Pandan. Diambil data hasil pemeliharaan, dan dianalisis dengan membandingkan dengan standar kelayakan yang ada, maka didapatkan hasil kelayakan yang dapat dipertanggung jawabkan.

Setelah melalui proses analisa yang terhitung cukup panjang, hasil dari pembuatan tugas akhir ini adalah ditemukannya pengaruh jumlah pengoperasian terhadap waktu dari open close pemutus tenaga. Semakin banyak atau semakin sering pemutus tenaga dioperasikan (sama dengan atau lebih dari 724 kali pengoperasian), maka waktu yang dibutuhkan kontak bekerja akan semakin lama hingga melebihi standar (lebih dari 35,00 ms).

Kata Kunci : Kelayakan Pemutus Tenaga, Standar Kelayakan Pemutus Tenaga, Pemeliharaan Pemutus Tenaga

ABSTRACT

Electricity is a basic need for most Indonesian people, as easy, cheap, and of course clean energy. In the process, to distribute electricity to the community, a main substation is needed, which is the starting point for distributing electricity. Failure of equipment in the main substation, especially equipment in the breaker and connecting function (switching) is something that cannot be considered trivial.

In this final project, the author discusses the process and results of the feasibility analysis of 70kV circuit breakers (PMT) based on simultaneity testing, insulation resistance and grounding resistance with a comparison of the number of operations at the Tanjung Pandan GI. Maintenance data is taken, and analyzed by comparing it with existing feasibility standards, then the feasibility results are obtained that can be accounted for.

After going through a fairly long analysis process, the result of making this final project is the discovery of the effect of the number of operations on the open-close time of the circuit breaker. The more or more often the circuit breaker is operated (at least 724 operations), the required contact operating time will become longer, exceeding the standard (more than 35.00 ms).

Keywords: Circuit Breaker Feasibility, Circuit Breaker Feasibility Standards, Circuit Breaker Maintenance

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik adalah kebutuhan pokok bagi sebagian besar masyarakat Indonesia, sebagai energi mudah, murah, dan tentunya bersih, yang mampu membantu menyelesaikan pekerjaan pekerjaan rumah tangga. Pada prosesnya, untuk menyalurkan tenaga listrik hingga sampai kepada masyarakat dibutuhkan gardu induk gardu induk penghubung yang menjadi titik awal pendistribusian tenaga listrik. Gardu Induk adalah gardu kelistrikan yang mendapatkan suplai daya dari satuan transmisi atau sub-transmisi suatu sistem tenaga listrik, yang kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota dan sebagainya) melalui saluran distribusi primer [4]. Selain sebagai pusat pendistribusian awal penyaluran tenaga listrik, fungsi lain gardu induk ialah sebagai tempat untuk beroperasinya sistem proteksi untuk melindungi peralatan dari gangguan, baik gangguan internal maupun external.

Peralatan peralatan yang terdapat pada gardu induk, harus dinyatakan sebagai peralatan yang layak untuk dioperasikan untuk menjaga agar kestabilan penyaluran tenaga listrik dapat terjaga. Pada area di dalam gardu induk yang disebut sebagai switchyard, terdapat material material utama yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu material transmisi utama (MTU) sebagai alat ukur dan material transmisi utama (MTU) sebagai saklar atau peralatan switching. Current transformer (CT) dan voltage transformer (VT) adalah bagian dari material transmisi utama yang berfungsi sebagai alat ukur. Sedang MTU yang termasuk dalam peralatan switching adalah pemisah (PMS) dan pemutus daya (PMT).

Dalam menjaga keandalannya, salah satu cara untuk menjaga agar peralatan tetap baik dan dalam kondisi yang layak untuk dioperasikan adalah dengan dilakukan sejumlah pengujian pada peratan tersebut. material transmisi utama (MTU) yang terdapat pada gardu induk akan dilakukan pengujian dalam agenda

pemeliharaan yang berkelanjutan dan dilaksanakan secara berkala. Salah satu item pemeliharaan adalah pemeliharaan pada MTU pemutus tenaga atau sering disebut PMT. Menurut IEEE C37.100:1992, PMT merupakan peralatan pensaklaran atau *switching* mekanis, yang mampu menutup (mengalirkan) dan membuka (memutus) arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya, serta mampu memutus arus beban dalam kondisi abnormal (gangguan) sesuai dengan ratingnya [5]. Keberhasilan PMT dalam operasinya untuk memutus daya adalah tugas utama peralatan tersebut.

Kegagalan peralatan, utamanya peralatan pada fungsi pemutus dan penghubung (*switching*) adalah suatu hal yang tidak dapat dianggap sepele. Berdasar pada latar belakang ini, penulis membuat proposal tugas akhir yang berjudul ANALISIS KELAYAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) 70KV BERDASARKAN PENGUJIAN KESEREMPAKAN, TAHANAN ISOLASI DAN TAHANAN PENTANAHAN DENGAN PERBANDINGAN JUMLAH PENGOPERASIAN PADA GI TANJUNG PANDAN.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas beberapa permasalahan-permasalahan sebagai berikut :

- a. Bagaimana menentukan kondisi kelayakan PMT dengan menganalisis hasil pengujian keserempakan dan perbandingan jumlah pengoperasian pada tiga (3) buah PMT?
- b. Bagaimana menentukan kondisi kelayakan PMT dengan menganalisis hasil pengujian tahanan isolasi dan perbandingan jumlah pengoperasian pada tiga (3) buah PMT?
- c. Bagaimana menentukan kondisi kelayakan PMT dengan menganalisis hasil pengujian tahanan pentanahan dan perbandingan jumlah pengoperasian pada tiga (3) buah PMT?

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan penelitian ini, telah ditentukan batasan masalah sebagai berikut :

- a. Alat uji yang digunakan untuk pengujian keserempakan adalah DV Power dengan seri CAT-P.
- b. Alat uji yang digunakan untuk pengujian tahanan isolasi adalah Kyoritsu dengan seri KEW 3125A.
- c. Alat uji yang digunakan untuk pengujian tahanan pentanahan adalah Kyoritsu dengan seri KEW 4104DL.
- d. PMT yang digunakan adalah pemutus tenaga dengan pabrikasi ABB seri EDF SK 1-1 berjumlah tiga (3) buah.
- e. Standar pemeliharaan menggunakan standar yang telah ditetapkan oleh PT. PLN (Persero), yaitu KEPDIR 0520-2.K/DIR/2014.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis hasil pengujian pemutus tenaga (PMT) 70KV di Gardu Induk Tanjung Pandan adalah

- a. Mengetahui bagaimana menentukan kondisi kelayakan PMT dengan menganalisis hasil pengujian keserempakan dan perbandingan jumlah pengoperasian.
- b. Mengetahui bagaimana menentukan kondisi kelayakan PMT dengan menganalisis hasil pengujian tahanan isolasi dan perbandingan jumlah pengoperasian.
- c. Mengetahui bagaimana menentukan kondisi kelayakan PMT dengan menganalisis hasil pengujian tahanan pentanahan dan perbandingan jumlah pengoperasian.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui kelayakan operasi pemutus tenaga (PMT).

- b. Dapat menjadi referensi penentuan kelayakan pemutus tenaga (PMT).
- c. Dapat menjadi sumber wawasan bagi pembaca.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam pembuatan laporan ini, penulis merancang sistematika penulisan yang didasarkan pada buku panduan Tugas Akhir sebagai berikut.

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

HALAMAN PERSEMBAHAN

HALAMAN MOTTO

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR ISTILAH

ABSTRAK DAN ABSTRACT

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan membahas tentang segala hal yang melatarbelakangi pembuatan Tugas Akhir, berisikan perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan Tugas Akhir, manfaat Tugas Akhir, dan sistematika penulisan Tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini memuat penjelasan tentang konsep dan prinsip dasar yang diperlukan untuk memecahkan masalah Tugas Akhir dan untuk

merumuskan hipotesis yang diperlukan dari berbagai referensi yang dijadikan sebagai landasan pada kegiatan penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

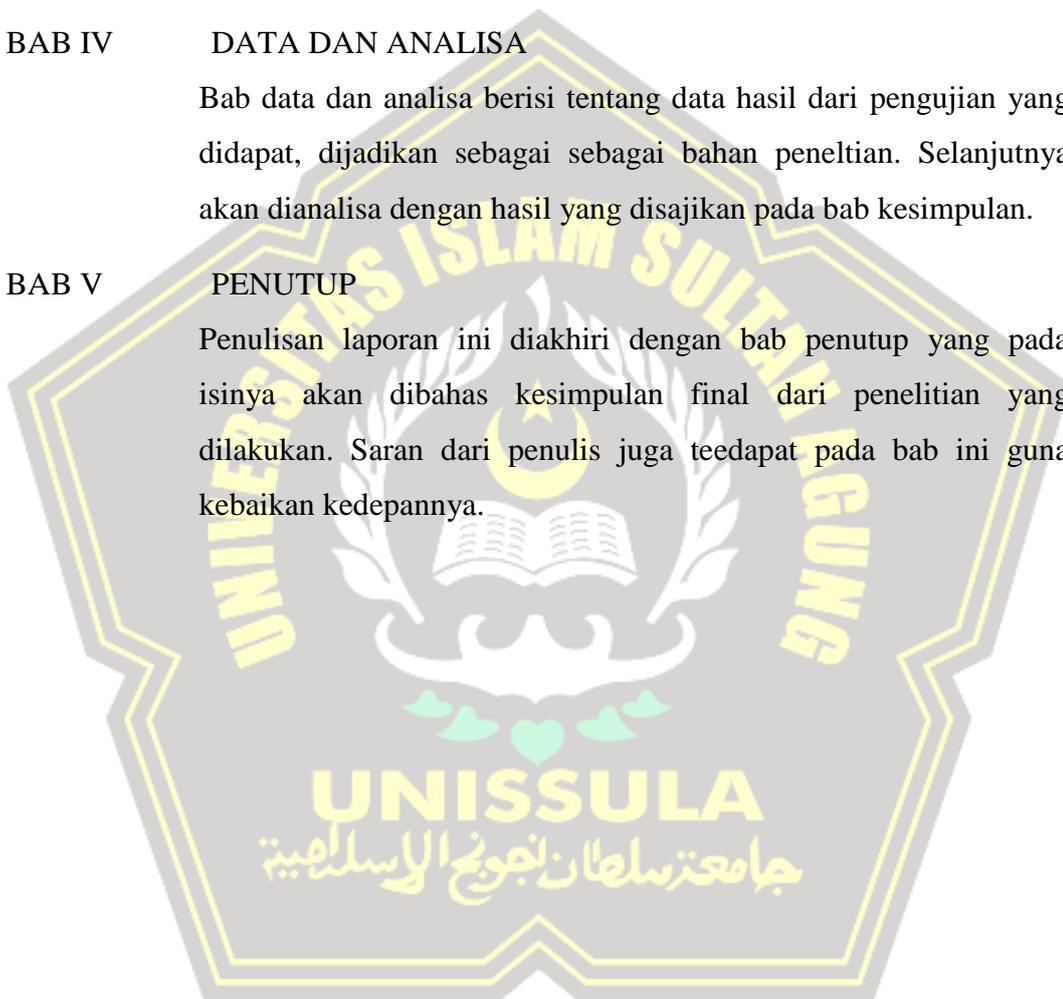
Dalam bab ini, ditulis uraian rinci tentang desain, metoda atau pendekatan yang digunakan dalam menjawab permasalahan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB IV DATA DAN ANALISA

Bab data dan analisa berisi tentang data hasil dari pengujian yang didapat, dijadikan sebagai sebagai bahan peneltian. Selanjutnya akan dianalisa dengan hasil yang disajikan pada bab kesimpulan.

BAB V PENUTUP

Penulisan laporan ini diakhiri dengan bab penutup yang pada isinya akan dibahas kesimpulan final dari penelitian yang dilakukan. Saran dari penulis juga teedapat pada bab ini guna kebaikan kedepannya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam skripsi tugas akhir oleh M. Arham dan Muhammad Isram, telah dilakukan penelitian dengan judul skripsi “Analisa Kelayakan PMT 150KV di Gardu Induk (GI) Bulukumba”. Penelitian dilakukan pada pemutus tenaga yang ada di Gardu Induk Bulukumba sejumlah empat buah PMT dengan hasil penelitian kelayakan pemutus tenaga adalah 75%, dikarenakan ada satu dari keempat PMT mengalami penurunan kualitas yang ditandai dengan hasil pengujian yang buruk. Hasil pengujian tahanan isolasi pada PMT Line Jeneponto menunjuknya nilai yang tidak sesuai dan dapat menjadi indikasi adanya masalah pada PMT. Penulis dalam skripsi ini menyarankan, untuk dapat melakukan pemeliharaan dengan baik dan rutin sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, guna menjaga dan mengetahui kondisi PMT dengan lebih dini sehingga terhindar dari hal-hal yang tidak kita inginkan.

Pada Jurnal yang disusun oleh Ari Susanto, Rudi Kurnianto, dan Managam Rajaguguk dengan judul “Analisa Kelayakan Pemutus Tenaga (PMT) 150kV berdasarkan Hasil Uji Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak, dan Keserempakan Kontak di Gardu Induk (GI) Singkawang”, telah dilakukan penelitian analisa kelayakan pemutus tenaga tegangan operasi 150kV, dengan berdasar pada hasil uji tahanan isolasi (tasol), tahanan kontak (takon), dan keserempakan kontak (uji keserempakan) yang dilakukan pada PMT di Gardu Induk (GI) Singkawang. Penelitian melibatkan pemutus tenaga yang menjadi aset Gardu Induk Singkawang sejumlah dua buah, yaitu PMT pada Bay Line 1 Singkawang – Bengkayang dan PMT pada Bay Line 2 Singkawang – Sambas dengan hasil akhir penelitian dinyatakan bahwa pemutus tenaga masih layak untuk dioperasikan dengan berdasar pada nilai tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak yang masih normal, baik dan aman.

Deden Emil Salam dan Elih Mulyana, dengan judul “Analisis Uji Kelayakan Pemutus (PMT) pada Jaringan Tenaga Listrik 150kV”. Dalam jurnal ini dilakukan penelitian dengan melakukan analisa kelayakan pemutus tenaga (PMT) tegangan tinggi 150kV di Gardu Induk (GI) Padalarang pada Bay Penghantar 1 Bandung Utara. Dengan pengujian tahanan pentanahan (grounding), pengujian tahanan isolasi (tasol), pengujian tahanan kontak (takon), dan pengujian keserempakan dijadikan sebagai dasar penentuan kelayakan, dinyatakan bahwa hasil pengujian adalah baik dan siap melanjutkan operasi. Jurnal ini dibuat dengan metode studi literatur, dengan mempelajari dan membaca teori maupun jurnal tentang PMT untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam pembuatan penelitian.

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Distribusi tenaga listrik

Salah satu bentuk energi yang dianggap paling ekonomis, mudah dan aman untuk dapat dikirimkan adalah energi listrik. Dengan kemudahannya dalam pendistribusian, yang mana dapat dengan mudah dan secara kontinyu dikirimkan dari satu tempat ke tempat lain dengan jaraknya yang terbilang berjauhan menggunakan suatu sistem tenaga listrik. Serangkaian dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban, yang saling terhubung dan membentuk suatu sistem disebut sebagai sistem tenaga listrik [4].

Secara umum, sistem tenaga listrik meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi, yang sinkron dalam satu kesatuan sistem. Siklus aliran energi listrik pada sistem tenaga listrik dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada pusat pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam, dan batubara), hidro, panas bumi, dan nuklir diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa. Melalui

transformator step-up, energi listrik ini kemudian ditingkatkan nilai tegangannya menjadi seperti yang diinginkan [4].

Pusat-pusat pembangkit listrik tersebut umumnya tersebar jauh dari daerah dimana energi listrik itu digunakan, sehingga energi listrik yang dibangkitkan harus terlebih dahulu disalurkan melalui suatu saluran tenaga listrik. Saluran yang menghubungkan antara pusat pembangkit tenaga listrik dengan pusat-pusat beban disebut sebagai saluran transmisi. Dalam pelaksanaannya di lapangan, proses ini tidak dapat dikatakan sederhana, bukan hanya menghubungkan beberapa kota yang saling bersebalahan, lebih jauh lagi saluran ini dapat menjadi penghubung beberapa pulau dalam satu jaringan tenaga listrik.

Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan yang sebelumnya dinaikkan oleh *step up transformer* kembali diturunkan menjadi tegangan menengah melalui *step down transformer*. Di pusat-pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik ini diubah menjadi bentuk-bentuk energi terpakai lainnya seperti energi mekanis ((motor), penerangan, pemanas, pendingin, dan sebagainya [4]. Pusat-pusat beban tenaga listrik yang juga terhubung dengan saluran distribusi primer disebut sebagai gardu induk.

2.2.2. Gardu induk

Gardu induk adalah suatu instalasi kelistrikan yang terdiri dari peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau tegangan menengah. Gardu induk memiliki fungsi utama sebagai pengukuran, pengawasan, operasi serta pengaturan pengamanan sistem tenaga listrik [4]. Gardu induk menerima listrik bertegangan tinggi dari pembangkit listrik atau jaringan transmisi, kemudian menurunkan atau menstabilkan tegangannya sebelum didistribusikan ke konsumen (rumah tangga, industri, dll.).

a. Klasifikasi Gardu Induk

1) *Air Insulated Substation (AIS)*

Gardu Induk berisolasi udara adalah gardu induk yang menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya. Gardu Induk ini adalah gardu induk konvensional yang umum digunakan di Indonesia yang dalam instalasinya AIS memerlukan tempat terbuka yang cukup luas [4].

2) *Gas Insulated Substation (GIS)*

Gardu Induk berisolasi Gas adalah gardu induk yang menggunakan gas SF₆ sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian lain yang bertegangan, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. *Gas Insulated Substation* atau *Gas Insulated Switchgear (GIS)* memiliki kelebihan dibandingkan dengan gardu induk konvensional yaitu tidak memerlukan tempat lahan luas untuk instalasinya [4].

b. Peralatan Gardu Induk

Dalam penyalurannya, pada gardu induk (GI) dilakukan pemasangan peralatan peralatan untuk mendukung sistem penyaluran tenaga listrik. Terbagi dalam tiga jenis peralatan menurut tegangan operasinya, masing masing dari ketiga tersebut adalah Peralatan tegangan tinggi, peralatan tegangan menengah, dan peralatan tegangan rendah.

1) Peralatan Tegangan Tinggi

Peralatan tegangan tinggi adalah berbagai macam peralatan kelistrikan yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik tegangan tinggi dengan beberapa fungsi pada tiap peralatannya. Dalam operasinya, PT. PLN menyalurkan tegangan tinggi dengan nilai tegangan yang berbeda beda pada setiap daerahnya. Sebagai contoh, di Pulau Belitung PLN mentransmisikan listrik dengan

nilai tegangan kirim sebesar 70kV, sedangkan di Pulau Bangka, PLN menaikkan tegangan kirimnya hingga 150kV.

- *Lightning Arrester (LA)*

Lighting arrester berfungsi untuk mengamankan instalasi (peralatan listrik pada instalasi) dari gangguan tegangan lebih yang di akibatkan oleh sambaran petir maupun oleh surya petir.

- *Capacitive Voltage Transformer (CVT)*

Capacitive Voltage Transformer atau trafo tegangan kapasitif berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, yang digunakan untuk alat pengukuran (metering) dan alat pengaman (proteksi).

- *Disconnecting Switch (DS)*

Disconnecting Switch atau dalam bahasa Indonesia disebut pemisah berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan yang bertegangan. Pemisah dioperasikan dalam keadaan tanpa beban untuk menghindari terjadinya busur api.

- *Current Transformer (CT)*

Current Transformer atau trafo arus berfungsi untuk menurunkan arus besar pada tegangan tinggi menjadi arus kecil pada tegangan rendah untuk keperluan pengukuran (metering) dan pengaman (proteksi).

- *Circuit Breaker (CB)*

Circuit Breaker atau dalam bahasa Indonesia disebut Pemutus tenaga (PMT) Berfungsi untuk memutus dan menghubungkan arus listrik atau tenaga listrik dalam keadaan gangguan maupun dalam keadaan normal (berbeban). Pemutusan beban menggunakan PMT dilakukan dalam waktu yang cepat (dalam hitungan milisecond). PMT terbagi menjadi beberapa jenis sesuai

dengan peredam busur apinya, yaitu PMT jenis SF6, PMT jenis Vacuum, dan PMT jenis minyak. Peredam busur api dimaksudkan untuk meredam timbulnya busur api agar tidak terjadi ledakan atau terbakarnya peralatan [5].

- *Power Transformer (PT)*

Power Transformer atau Trafo tenaga, adalah transformator yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya dari tegangan tinggi atau sebaliknya. Dalam gardu induk selain gardu induk pembangkit, trafo tenaga yang digunakan adalah tranformator tipe step down.

2) Peralatan Tegangan Menengah

Peralatan tegangan menengah adalah berbagai macam peralatan kelistrikan yang digunakan untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah dengan beberapa fungsi pada tiap peralatannya. Peralatan tegangan menengah (TM) yang ada pada gardu induk (GI) terletak pada satu peralatan kompleks yang bernama Panel Kubikel 20kV. Setiap panel kubikel dihubungkan dengan penghantar tak berisolasi yang disebut sebagai busbar.

- *Lightning Arrester (LA)*

Lighting arrester berfungsi untuk mengamankan instalasi (peralatan listrik pada instalasi) dari gangguan tegangan lebih yang di akibatkan oleh sambaran petir maupun oleh surya petir.

- *Potential Transformer (PT)*

Potential Transformer atau trafo tegangan berfungsi untuk mengubah tegangan dari tinggi menjadi tegangan rendah, yang digunakan sebagai alat pengukuran tegangan (metering) dan alat pengaman (proteksi) dari tegangan berlebih.

- *Disconnecting Switch (DS)*

Disconnecting Switch atau dalam bahasa Indonesia disebut pemisah berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan yang bertegangan. Pemisah dioperasikan dalam keadaan tanpa beban untuk menghindari terjadinya busur api.

- *Current Transformer* (CT)

Current Transformer atau trafo arus berfungsi untuk menurunkan arus besar pada tegangan tinggi menjadi arus kecil pada tegangan rendah untuk keperluan pengukuran (metering) dan pengaman (proteksi).

- *Circuit Breaker* (CB)

Circuit Breaker atau dalam bahasa Indonesia disebut Pemutus tenaga (PMT) Berfungsi untuk memutus dan menghubungkan arus listrik atau tenaga listrik dalam keadaan gangguan maupun dalam keadaan normal (berbeban). Pemutusan beban menggunakan PMT dilakukan dalam waktu yang cepat (dalam hitungan milisecond). PMT terbagi menjadi beberapa jenis sesuai dengan peredam busur apinya, yaitu PMT jenis SF₆, PMT jenis Vacuum, dan PMT jenis minyak. Peredam busur api dimaksudkan untuk meredam timbulnya busur api agar tidak terjadi ledakan atau terbakarnya peralatan [5].

- *Power Transformer* (PT)

Power Transformer atau Trafo tenaga, adalah transformator yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya dari tegangan tinggi atau sebaliknya. Dalam gardu induk selain gardu induk pembangkit, trafo tenaga yang digunakan adalah transformator tipe *step down*.

3) Peralatan Tegangan Rendah

Peralatan tegangan rendah adalah berbagai macam peralatan kelistrikan yang digunakan untuk mendistribusikan tenaga listrik

tegangan rendah dengan beberapa fungsi pada tiap peralatannya. Peralatan tegangan rendah beroperasi pada tegangan 220 Volt, 110 Volt dan 48 Volt dan terbagi dalam dua jenis arus yang berbeda. Peralatan yang beroperasi pada tegangan 220 Volt adalah peralatan dengan arus AC, dan Peralatan yang beroperasi pada tegangan 110 Volt dan 48 Volt adalah peralatan dengan arus DC.

- Distribution Board Panel

Distribution Board Panel adalah kotak distribusi arus listrik yang berfungsi untuk membagi arus listrik ke beberapa peralatan. Terdapat dua jenis Panel Distribution Board, yaitu Panel Distribution Board AC dan Panel Distribution Board DC.

- Baterai

Baterai merupakan sebuah perangkat kelistrikan yang terdiri dari satu atau lebih sel elektrokimia yang saling terkoneksi dengan fungsi sebagai penyimpan daya. Baterai terhubung dengan peralatan kelistrikan eksternal untuk memberi daya pada perangkat listrik tersebut. Baterai dalam GI digunakan sebagai suplai tegangan DC. Terdapat dua jenis baterai sesuai dengan tegangan keluarannya, yaitu 110 VDC dan 48 VDC.

- *Rectifier*

Rectifier (Penyearah) adalah alat listrik yang digunakan sebagaimana fungsinya untuk mengubah sumber arus listrik bolak-balik (AC) menjadi sumber arus listrik searah (DC). *Rectifier* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti power supply adaptor, charger ponsel, pengisian baterai, dan sistem kontrol motor DC. Pada Gardu Induk, *rectifier* digunakan sebagai *charger* baterai.

- *Protection Relay*

Relay adalah saklar elektromekanis yang berfungsi untuk membuka (*open*) dan menutup (*close*) rangkaian listrik secara elektronik dan elektromekanis. Protection Relay adalah peralatan proteksi yang berfungsi mendeteksi adanya lonjakan arus pada jaringan distribusi 20 kV yang salah satunya disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat (*short circuit*). Relay 20 kV terpasang satu paket dalam panel kubikel.

2.2.3. Pemutus tenaga (PMT)

Berdasarkan IEV (*International Electrotechnical Vocabulary*) 441-14-20 disebutkan bahwa *Circuit Breaker* atau Pemutus Tenaga merupakan peralatan saklar / *switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*) [5].

Sedangkan definisi PMT berdasarkan IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) C37.100:1992 adalah sebuah peralatan saklar mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya [5].

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain. Prinsip kerja PMT didasarkan pada mekanisme pemadaman busur listrik (*electric arc*) yang terbentuk ketika kontak pemisah membuka di bawah beban. Busur listrik ini harus dipadamkan dengan cepat dan efektif

untuk mencegah kerusakan peralatan dan memastikan keandalan sistem. Dengan kemampuannya dalam mengamankan sistem distribusi daya, pemutus tenaga menjadi komponen kunci yang menjaga stabilitas dan efisiensi pasokan listrik di jaringan tegangan tinggi [7].

a. Klasifikasi Pemutus Tenaga

1) Berdasarkan Besar/Kelas Tegangan

PMT dapat dibedakan berdasarkan besar/kelas tegangan menjadi :

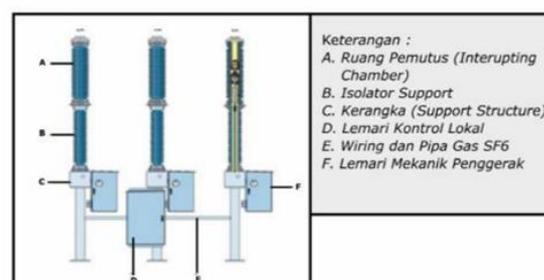
- *Low Voltage Circuit Breaker* dengan jangkauan tegangan operasi 0.1 s/d 1 kV (SPLN 1.1995 - 3.3).
- *Medium Voltage Circuit Breaker* dengan jangkauan tegangan operasi 1 s/d 35 kV (SPLN 1.1995 – 3.4).
- *High Voltage Circuit Breaker* dengan jangkauan tegangan operasi 35 s/d 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.5).
- *Extra High Voltage Circuit Breaker* dengan jangkauan tegangan operasi lebih besar dari 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.6).

2) Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak

Pemutus tenaga dapat dibedakan berdasarkan jumlah mekanik penggerak menjadi :

- PMT Single Pole

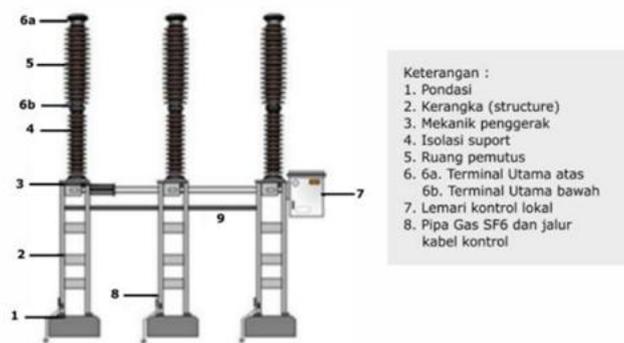
PMT tipe ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing pole, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa [6].



Gambar 2. 1 PMT Single Pole

- PMT Three Pole

PMT jenis three pole hanya mempunyai satu mekanik penggerak pada ketiga fasanya, kopel mekanik digunakan sebagai penghubung fasa satu dengan fasa lainnya. Umumnya PMT tipe three pole dioperasikan pada bay trafo dan bay kopel juga PMT 20 kV untuk penyaluran distribusi [6].



Gambar 2. 2 PMT Three Pole

3) Berdasarkan Media Isolasi

Jenis Pemutus tenaga dapat dibedakan berdasarkan media isolasi menjadi:

- Pemutus tenaga berisolasi minyak
- Pemutus tenaga berisolasi udara hembus (air blast)
- Pemutus tenaga berisolasi hampa udara (vacuum)
- Pemutus tenaga berisolasi gas SF₆

4) Berdasarkan Proses Pemadaman Busur Api Diruang Pemutus

Jenis Pemutus tenaga berdasarkan proses pemadaman busur api diruang pemutus dapat dibagi menjadi :

- Pemutus tenaga *single pressure type* atau jenis tekanan tunggal.
- Pemutus tenaga *double pressure type* atau jenis tekanan ganda.

b. Prinsip Kerja Pemutus Tenaga

Pemutus tenaga Pada kondisi normal dapat dioperasikan lokal oleh operator untuk maksud switching pada saat manuver beban dan perawatan. Pada kondisi sistem tidak normal atau adanya gangguan, arus lebih yang lewat akan terbaca oleh *Current Transformer* (CT). Apabila sudah ditentukan besaran arus maksimalnya, relay kemudian akan mendeteksi adanya gangguan dan seketika akan menutup rangkaian perintah trip pada circuit. Rangkaian perintah trip akan membuat trip coil yang ada pada panel kontrol energized, lalu mekanis kontak utama penggerak PMT dapat beroperasi membuka, dan gangguan telah dapat terisolasi. Mekanis penggerak pemutus tenaga yang digunakan pada Gardu Induk Tanjung Pandan menggunakan mekanis penggerak jenis *spring* (pegas).

c. Pengoperasian Pemutus Tenaga

Pemutus tenaga (PMT) bermediakan gas SF₆ dioperasikan salah satunya untuk membebaskan beban pada peralatan di gardu induk saat beroperasi normal ataupun saat kondisi gangguan agar peralatan tidak lagi berbeban atau sebaliknya. Pembebasan atau pemasukan beban pada peralatan gardu induk dinamakan manuver beban.

Dalam proses manuver, PMT bekerja secara kolaboratif dengan peralatan switching lainnya yang dinamakan pemisah (PMS). Sesuai dengan namanya, PMS ini memiliki fungsi untuk memisahkan peralatan yang ada di gardu induk dari tegangan, dengan kondisi peralatan telah tidak berbeban akibat dari beban yang telah dilepaskan oleh PMT terlebih dahulu [7]. Berikut alur proses pengoperasian PMT dengan isolasi busur api gas SF₆ yang terdiri dari pembukaan jaringan yang berarti pembebasan tegangan dan penutupan jaringan yang berarti pemberian tegangan.

1) Pembukaan Jaringan

Pembukaan jaringan atau pembebasan tegangan dilakukan apabila ada suatu gangguan yang terjadi pada peralatan didalam maupun diluar gardu induk (dalam sistem transmisinya), yang

ditandai dengan adanya indikasi lonjakan arus yang signifikan. Juga apabila akan diadakan proses pemeliharaan pada peralatan-peralatan didalam maupun diluar lingkup gardu induk, pembukaan jaringan dilakukan dengan mengoperasikan PMT.

Urutan pembukaan jaringan yang ada pada gardu induk, yang pertama dilakukan adalah pembukaan PMT (open), dilanjutkan dengan pembukaan PMS busbar, kemudian PMS line dibuka dan terakhir PMS tanah ditutup. Dalam pembukaan jaringan terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, diantaranya :

- PMT sebagaimana fungsinya yaitu sebagai pemutus beban pada jaringan tenaga listrik, hal pertama yang harus dilakukan adalah pengoperasian open PMT. Hal ini harus dioperasikan terlebih dahulu sebagai safety pada saat manuver beban. Baru kemudian pemisah-pemisah dioperasikan setelahnya.
- Setelah proses pengoperasian PMT berhasil, pemeriksaan pada PMT dilakukan terlebih dahulu sebelum pemisah dikeluarkan atau dioperasikan. Pemeriksaan pada PMT meliputi pengecekan kontak apakah sudah dalam kondisi terbuka sempurna atau belum, juga apakah amperemeter telah menunjukkan nol atau masih terdapat arus beban. Pengecekan kontak dilakukan dengan melihat penanda (*sign*) yang terdapat pada PMT.

2) Penutupan Jaringan

Penutupan jaringan dilakukan setelah peralatan yang ada didalam maupun diluar gardu induk telah selesai dilaksanakan pemeliharaan ataupun jaringan telah berada dalam kondisi siap diberi tegangan kembali.

Proses penutupan jaringan jika diurutkan secara lengkap maka yang terjadi adalah sebagai berikut. Pertama, pemisah tanah (PMS Ground) dibuka, kemudian dilanjutkan dengan penutupan PMS

busbar. Selanjutnya, PMS line ditutup dan terakhir PMT dioperasikan tutup (close). Hal yang perlu diperhatikan dalam penutupan jaringan :

- Pengoperasian PMT adalah dilakukan terakhir setelah semua pemisah telah selesai dioperasikan (dimasukkan).
- Pemeriksaan pada PMT pasca dimasukkan harus dilakukan untuk memastikan PMT beroperasi dalam kondisi yang aman. Salah satu indikasi kegagalan operasi pada PMT yaitu terjadinya kebocoran gas SF₆ (kegagalan isolasi) pada pipa penyaluran gas SF₆ didalam PMT.

d. *Shutdown Measurement / Shutdown Function Check*

Shutdown Measurement atau yang dalam bahasa Indonesia berarti pengukuran dalam kondisi dimatikan merupakan serangkaian proses pengukuran yang dilakukan secara periodik selama 2 tahun sekali dalam keadaan peralatan tidak berbeban dan bebas tegangan (*Shutdown*). Tujuan utama dilakukannya pengukuran ini tidak lain untuk mengetahui bagaimana kondisi aktual peralatan setelah dioperasikan selama kurang lebih 2 tahun [5]. Apa yang terjadi pada peralatan tersebut, apakah masih layak atau tidak untuk digunakan kembali. Pengukuran tahanan isolasi, tahanan kontak dan keserempakan kontak adalah item pengujian yang akan dilakukan pada PMT dengan media peredam busur api menggunakan gas SF₆.

2.2.4. Keserempakan

Keserempakan adalah istilah yang digunakan untuk menyebutkan nilai kecepatan pada beberapa kontak bergerak. Pengujian keserempakan adalah pengujian pada pemutus tenaga untuk mengetahui seberapa cepat kerja dari kontak PMT, kemudian dihitung nilai keserempakan kontaknya ketika PMT bekerja untuk *reclose* (buka tutup) kontak pada tiap fasanya. Tujuan utama dari pengujian keserempakan ini yaitu untuk menghindari adalah lonjakan

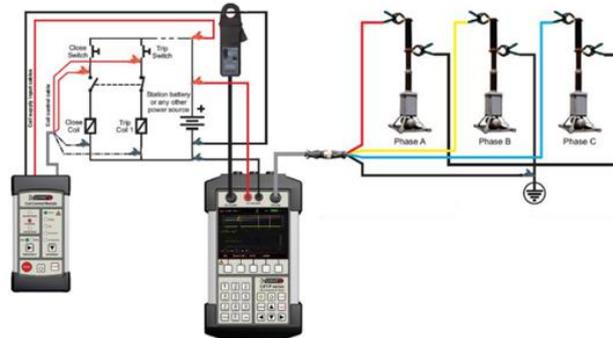
arus beban pada beberapa fasa yang memiliki waktu keserempakan tertinggi pada salah satu fasa. Diharapkan PMT dapat bekerja dengan cepat sesuai pada standar yang berlaku, yaitu standar SPLN. Terdapat beberapa jenis PMT yang dibedakan berdasarkan mereknya, maka dari itu nilai standar keserempakan pada PMT juga tergantung pada merk PMT tersebut (PT.PLN, 2014). Berikut adalah gambar tabel standar kelayakan pemutus tenaga berdasarkan KEPDIR 0520.

Merk	Tipe	WAKTU BUKA(O) (mili detik)	WAKTU TUTUP (C) (mili detik)
SIEMENS	3AQ1EE	36-39	90-95
SIEMENS	3AQ1EG	36-39	95-100
SIEMENS	3AP1F1	34-37	58-66
AREVA	GL313 F3	35-38	85
ABB	L72,5 D1/B	32-35	70
ABB	L170 D1/B	32-35	70
ABB	L245E1	17-19	28
ABB	H72,5	25	90
ABB	H170	25	90
NISSIN	FA1 N	35	120
NISSIN	SO-21	50	80
NISSIN	SO-11	50	80
AEG	S1-170	40	90

Gambar 2. 3 KEPDIR 0520 Keserempakan

Dalam penelitian kali ini, pemutus tenaga yang diuji adalah pemutus tenaga single pole tegangan operasi 70kV dengan merek pabrikasi ABB seri EDF SK 1-1. Berdasarkan dengan tabel standard kelayakan diatas, maka untuk kubikel yang diuji dapat dinyatakan layak jika dalam pengujiannya didapati hasil waktu buka (O) kurang dari 32-35 ms, dan waktu tutup (C) kurang dari 70 ms. Nilai keserempakan (Δt) adalah selisih antara waktu tercepat (t_{maks}) dengan waktu terlambat (t_{min}), atau dalam rumus matematis dapat dituliskan sebagai :

$$\Delta t = t_{maks} - t_{min}$$



Gambar 2. 4 Rangkaian Pengujian Keserempakan

Cara pengujian

1. Sebelum melakukan pengujian, pastikan PMT tidak terhubung dengan beban (*open*), karena pengujian ini dilakukan dalam keadaan peralatan bebas beban.
2. Pengujian dilakukan secara individual, maka isolasi PMT terhadap sistem dengan melepas konduktornya.
3. Hubungkan *circuit breaker analyzer* dengan sumber 220 AC sebagai sumber alat uji.
4. *Circuit Breaker Analyzer* dihubungkan dengan PMT dengan memasang kabel pada setiap fasa bawah PMT (R,S,T).
5. Setiap fasa atas (R,S,T) pada PMT dihubungkan paralel dengan grounding.
6. *Closing coil* (coil perintah tutup), *tripping coil* (coil perintah buka), dan sumber tegangan 110 DC dari *circuit breaker analyzer* dihubungkan ke *control box* pada PMT.
7. Setelah semua rangkaian telah terpasang dengan benar sesuai dengan gambar rangkaian dan panduan cara pengujian, nyalakan *circuit breaker analyzer* dengan menekan tombol *power switch on*.
8. Uji nilai waktu untuk open maupun close sesuai dengan instruksi pada alat uji.

9. Setelah nilai keserempakan muncul lalu save, kemudian close.
10. Pengujian selesai.

2.2.5. Tahanan isolasi

Mengetahui nilai tahanan isolasi pemutus tenaga terhadap kebocoran arus yang mungkin terjadi adalah tujuan utama pengukuran uji tahanan isolasi pada PMT. Kebocoran arus pada PMT dapat terjadi dimanapun, semua isolasi tidak dapat lepas sepenuhnya dari gangguan kebocoran isolasi. Kebocoran antar terminal, atau terminal terhadap badan (*case*) yang bisa disebut dengan grounding dapat juga terjadi. Berdasarkan pada prinsip hukum Ohm, dinyatakan bahwa semakin tinggi resistansi isolasi yang ada, maka semakin kecil arus yang didapat dalam tegangan yang sama. Dalam perhitungan matematis hal ini dapat dirumuskan sebagai :

$$V = I \times R$$

$$I = V / R$$

$$R = V / I$$

Dengan :

- V = tegangan
- I = arus
- R = hambatan

Aliran arus beban yang tinggi akan cenderung menyebabkan arus lebih melebihi ketahanan isolasinya. Sebuah tahanan yang dialiri arus melebihi kapasitasnya akan terjadi perubahan energi menjadi panas (kalor), yang pada akhirnya dapat menyebabkan breakdown pada peralatan. Dengan membatasi nilai arus yang kecil pada sebuah isolasi, tentu sifat destruktif dari arus listrik terhadap bahan isolasi tidak akan terjadi. Namun demikian, sesuai yang tidak diinginkan dapat pula terjadi ketika kualitas isolasi memburuk sehingga arus yang melewati melonjak naik.

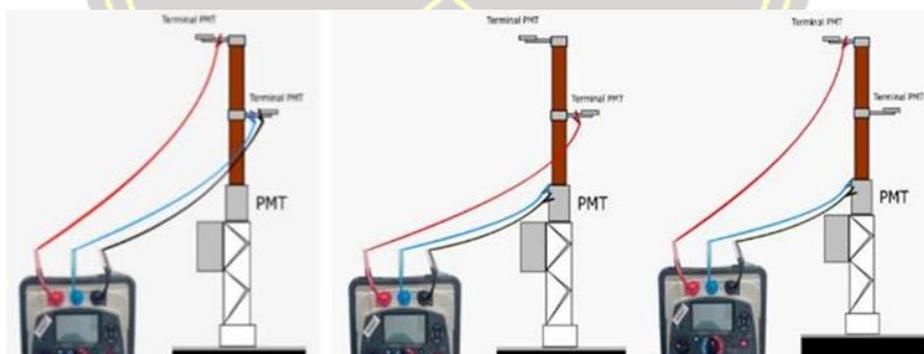
Menurut buku pedoman pemeliharaan peralatan pemutus tenaga (PMT) pada Gardu Induk 70 kV, nilai standar minimum besarnya tahanan isolasi yang berlaku pada PMT 70 kV adalah 1 kV / 1 M Ω atau 1 kV / 1 mA terhadap kebocoran arusnya (PT.PLN, 2014). Berdasarkan pada standard tersebut, maka dapat dihitung nilai arus maksimal yang dizinkan pada sebuah isolasi yaitu :

$$I = V / R$$

$$I = 1000 / 1000000$$

$$I = 0.001 \text{ A atau } 1 \text{ mA}$$

Dalam prinsipnya, pengujian tahanan isolasi ini dilakukan dengan menginject (mengisi) tegangan searah (DC) pada nilai yang stabil, kemudian alat akan mengukur nilai arus yang melewati isolasi. Dengan diketahui nilai tegangan (V) dan arus (I), maka alat uji akan secara otomatis menghitung nilai tahananannya (R) sesuai dengan prinsip hukum Ohm, yang kemudian ditampilkan pada display alat uji sebagai nilai tahanan isolasi yang terukur. Menjadi sebuah kemustahilan ketika berharap tidak adanya kebocoran arus yang menembus isolasi peralatan listrik. Oleh karena itu, mengukur tahanan isolasi sebuah peralatan dengan alat ukur yang benar adalah salah satu cara meyakinkan bahwa instalasi cukup aman untuk diberi tegangan.



Gambar 2. 5 Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi

Cara Pengujian Nilai Tahanan Isolasi

1. Polutan pada isolator merupakan salah satu penyebab kebocoran isolasi, maka *cleaning* permukaan isolator pada PMT menjadi hal yang penting sebelum dilakukan pengujian. Pembersihan pada PMT juga bertujuan agar kabel alat ukur dapat terhubung dengan baik pada peralatan.
2. Memastikan kondisi alat uji adalah dalam keadaan yang baik dan telah terkalibrasi sebelum digunakan.
3. Pastikan PMT dalam keadaan *off line* dan sudah tidak terhubung dengan peralatan transmisi yang lain.
4. Hubungkan *tester cable* pada peralatan yang akan diuji (PMT).
5. Setelah *tester cable* terhubung dengan peralatan uji (PMT), putar *output knob selektor* pada pengaturan tegangan output 5 kVDC.
6. Tekan dan putar tombol *inject* pada alat uji hingga tegangan output ditampilkan pada layar LCD. Tunggu selama beberapa waktu hingga pengujian selesai.
7. Pengukuran tahanan isolasi pada PMT dilakukan sebanyak 4 tahapan. Pengukuran pertama mengukur nilai isolasi pole atas – bawah, kemudian nilai isolasi pole atas – tanah, dilanjutkan dengan nilai isolasi bawah – tanah, dan yang terakhir nilai isolasi fasa – tanah. Pastikan pada setiap pengujian kabel terhubung dengan benar.
8. Lakukan pengujian berulang pada setiap fasanya (R,S,T) dengan melakukan 4 tahapan pengujian berturut turut.
9. Catat hasil pengujian.

2.2.6. Tahanan pentanahan

Pengujian nilai tahanan pentanahan suatu peralatan kelistrikan merupakan pengertian dari pengujian tahanan pentanahan. Berkebalikan

dengan nilai tahanan isolasi yang semakin besar artinya semakin layak sebuah peralatan untuk dioperasikan, pada tahanan pentanahan ini semakin kecil nilai tahanannya, maka semakin layak peralatan untuk diopeasikan. Hal demikian berkaitan dengan fungsi pentanahan itu sendiri, yaitu sebagai jalur atau media untuk mengalir arus gangguan yang besar menuju tanah, untuk melindungi peralatan kerusakan akibat arus berlebih.

Sesuai dengan prinsip hukum Ohm, dimana semakin kecil nilai tahanan suatu penghantar, maka akan semakin besar arus yang dapat mengalir atau melewati penghantar tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, semakin kecil nilai tahanan pentanahan, maka semakin baik pentanahan pada peralatan tersebut.

$$\mathbf{Tahanan (R) = Tegangan (V) / Arus (I)}$$

Pentanahan pada peralatan berfungsi sebagai peralatan proteksi ketika adanya arus yang lebih. Salah satu penyebab adanya arus lebih pada peralatan adalah tersambarnya peralatan oleh petir. Arus berlebih yang mengalir pada peralatan memiliki sifat destruktif, yang mana dapat merusak peralatan dalam waktu yang tidak lama. Maka dari itu, pengamanan terhadap arus berlebih menjadia krusial dan sangat penting untuk dijaga keandalannya.

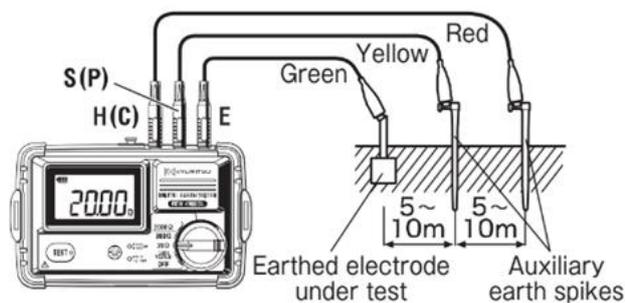
Pengukuran pengujian tahanan pentanahan dilakukan menggunakan alat ukur bernama *Earth Resistance Tester* dengan merek Kyoritsu seri KEW 4104DL. Menurut IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, standard maksimal nilai tahanan pentanahan yang diizinkan pada PMT switchgear Gardu Induk 70 kV yaitu sebesar < 1 Ohm. Menurut hukum Ohm, dengan nilai tahanan (R) 1 Ohm dan tegangan operasi (V) sebesar 70 kV, maka dapat dihitung nilai arus maksimal yang dapat mengalir sebesar :

$$\mathbf{I = V / R}$$

$$\mathbf{I = 70.000 / 1}$$

$$\mathbf{I = 70.000 A \text{ atau } 70 \text{ kA}}$$

Dengan nilai arus yang dapat dihantarkan oleh penghantar sebesar 70 kA, nilai ini sudah mencukupi untuk dapat mengalirkan arus gangguan pada peralatan akibat petir, yang dalam wawancara kepada Team Leader (TL) Jaring dan Gardu Induk (JarGi) ULTG Belitung, nilai arus lebih terbesar akibat petir yang pernah tercatat sebesar 30 kA pada tahun 2024.



Gambar 2. 6 Rangkaian Pengujian Tahanan Pentanahan

Urutan Cara pengujian Nilai Tahanan Pentanahan

1. Dalam kelengkapan alat uji tahanan pentanahan telah diberikan dua buah elektroda dan tiga buah kabel dengan tiga yang warna berbeda (merah, kuning, hijau). Tiap kabel memiliki panjang kurang lebih 10 meter. Pastikan kelengkapan dan kondisi semua peralatan tersebut.
2. Tancapkan pada tanah dua (2) buah elektroda yang telah disiapkan dengan jarak tiap elektroda 5 - 10 meter.
3. Bersihkan grounding PMT yang akan di ukur menggunakan sikat kawat atau amplas agar *probe* dapat terhubung ke *grounding cable* dengan baik.
4. Kawat pentanahan PMT yang sebelumnya telah dibersihkan kemudian dihubungkan dengan *probe* berwarna hijau. Pastikan *probe* benar benar menempel pada kawat.
5. Dua kabel lainnya, yaitu kabel berwarna merah dan kuning dihubungkan ke elektroda yang telah ditancapkan ke tanah, dengan

urutan kabel kuning lebih dekat dengan pentanahan terukur daripada kabel berwarna merah.

6. Hubungkan juga ketiga kabel yang telah terhubung, dengan alat ukur (*earth tester*) sesuai dengan panduan yang terlampir pada alat uji.
7. Atur *knob selektor* pada alat ukur untuk mengatur *range* pengukuran nilai pentanahan.
8. Setelah limit pengukuran diatur, tekan dan putar tombol berwarna orange pada alat ukur (*earth tester*) untuk memulai pengukuran nilai tahanan pentanahan.
9. Pengujian akan dilakukan pada masing-masing fasa PMT, sehingga Pengukuran akan dilakukan sebanyak 3 kali.
10. Lakukan berulang dan catat hasil pengukuran pada lembar hasil pengujian.

2.2.7. Standar PLN KEPDIR 0520 tahun 2014

Dalam pengelolaan aset diperlukan kebijakan, strategi, regulasi, pedoman, aturan, faktor pendukung serta pelaksana yang kompeten dan berintegritas. PLN telah menetapkan beberapa ketentuan terkait dengan pengelolaan aset yang salah satunya adalah buku Pedoman pemeliharaan peralatan penyaluran tenaga listrik. Pedoman pemeliharaan yang dimuat dalam buku ini merupakan bagian dari kumpulan Pedoman pemeliharaan peralatan penyaluran [5].

Pada Kepdir 0520 yang diterbitkan oleh PT. PLN, telah tercantum didalamnya standard standard pengujian, dalam hal ini adalah standar pengujian pemutus tenaga (PMT) dengan pengujian Keserempakan, Tahanan Isolasi, dan Tahanan Pentanahan. Nilai standard ini adalah nilai yang nantinya akan digunakan oleh penulis sebagai nilai acuan penentuan kelayakan peralatan sejumlah 3 buah. Ketiga buah PMT yang dijadikan sample dalam penelitian ini adalah PMT yang beroperasi pada Bay Penghantar Suge –

Dukong 1, Bay Penghantar Suge Dukong 2, dan Bay Penghantra Dukong – Manggar 1.

a. Nilai Standard Pengujian Keserempakan

Berdasarkan pada buku pedoman pemeliharaan yang diterbitkan oleh PT. PLN, dapat diketahui nilai standar pengujian keserempakan yang dizinkan untuk dapat digunakan sebagai acuan penentuan kelayakan peralatan adalah sebagai berikut.

Merk	Tipe	WAKTU BUKA(O) (mili detik)	WAKTU TUTUP (C) (mili detik)
SIEMENS	3AQ1EE	36-39	90-95
SIEMENS	3AQ1EG	36-39	95-100
SIEMENS	3AP1F1	34-37	58-66
AREVA	GL313 F3	35-38	85
ABB	LTB 72,5 D1/B	32-35	70
ABB	LTB 170 D1/B	32-35	70
ABB	LTB 245E1	17-19	28
ABB	HPL 72,5	25	90
ABB	HPL 170	25	90
NISSIN	FA1 N	35	120
NISSIN	SO-21	50	80
NISSIN	SO-11	50	80
AEG	S1-170	40	90

Gambar 2. 7 Acuan Waktu PMT

b. Nilai Standard Pengujian Tahanan Isolasi

Berdasarkan pada buku pedoman pemeliharaan yang diterbitkan oleh PT. PLN, dapat diketahui nilai standar pengujian tahanan isolasi yang dizinkan untuk dapat digunakan sebagai acuan penentuan kelayakan peralatan adalah sebesar 1 kV / 1 M Ω atau 1 kV / 1 mA.

c. Nilai Standard Pengujian Tahanan Pentanahan

Berdasarkan pada buku pedoman pemeliharaan yang diterbitkan oleh PT. PLN, dapat diketahui nilai standar pengujian tahanan isolasi yang dizinkan untuk dapat digunakan sebagai acuan penentuan kelayakan peralatan adalah sebesar < 1 Ohm.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Gardu Induk (GI) Tanjung Pandan adalah salah satu dari ketiga Gardu Induk yang menjadi aset dari Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Belitung. Dua gardu induk yang lain yaitu Gardu Induk Suge dan Gardu Induk Manggar. GI Tanjung Pandan terletak di pusat kota Pulau Belitung, tepatnya di Jalan Dukong, Desa Perawas, Kecamatan Tanjung Pandan, Kabupaten Belitung, Kepulauan Bangka Belitung. Karena lokasinya yang berada di Jalan Dukong, orang sekitar lebih mengenal GI Tanjung Pandan dengan sebutan GI Dukong.

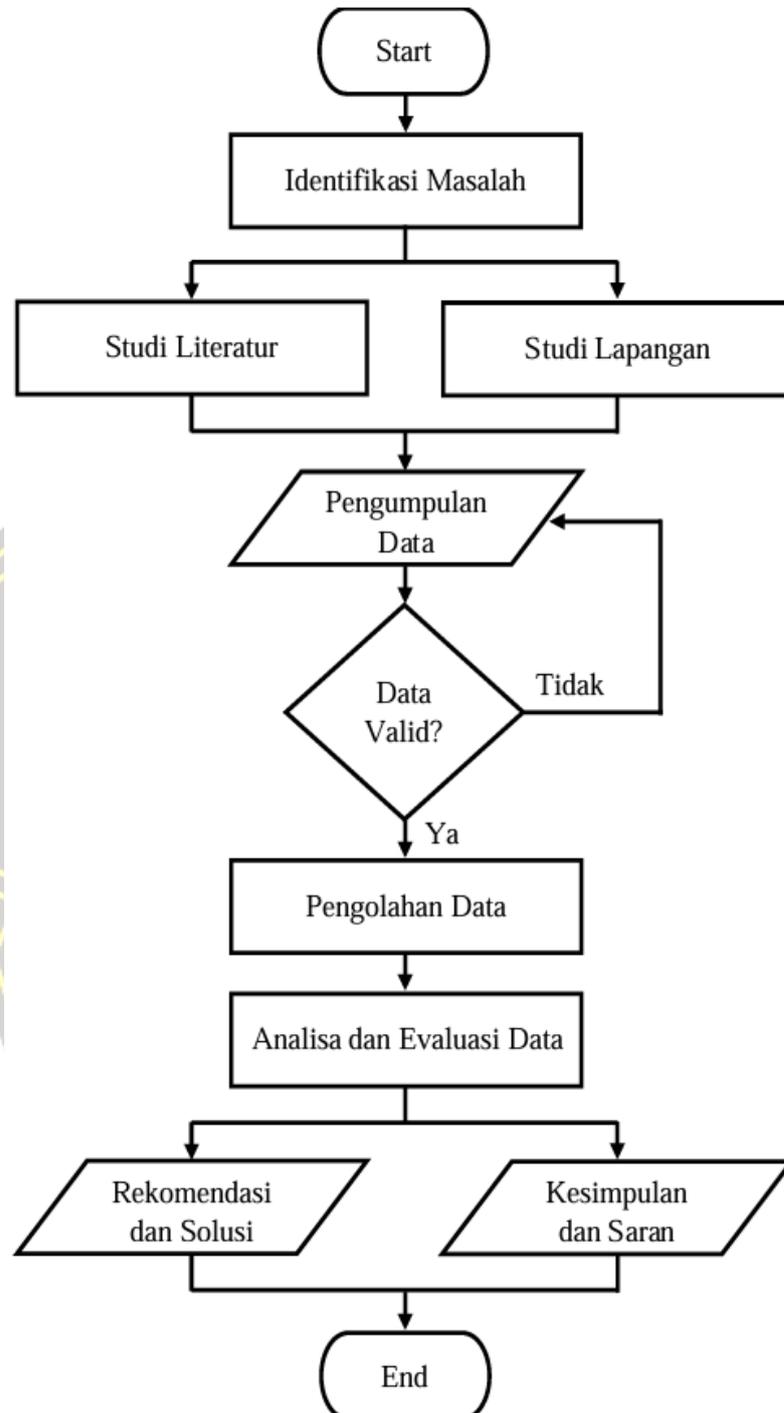
Sistem transmisi penyaluran tenaga listrik di Pulau Belitung menerapkan konfigurasi jaringan sistem radial, menghubungkan ketiga gardu induk dengan posisi GI Tanjung Pandan berada di tengah tengah antara GI Suge dan GI Manggar. GI Tanjung Pandan menjadi pusat beban tertinggi di sistem kelistrikan Pulau Belitung dengan total kapasitas daya mampu sebesar 60 KVA. Dua buah transformator daya yang terdapat di GI Tanjung Pandan menjadi tulang punggung suplay kelistrikan di pulau ini.

Secara total, pada Gardu induk Tanjung Pandan terdapat tujuh (7) Bay, dengan rincian empat (4) bay line, dua (2) buah bay trafo dan satu (1) bay kopel. Bay line merupakan bay yang menghubungkan GI Tanjung Pandan dengan gardu induk sebelah, yaitu GI Suge dan GI Manggar. Bay trafo adalah bay yang menjadi pemasok tegangan pada trafo daya, dan bay kopel adalah bay yang menjadi penghubung antara dua bus yang ada di GI Tanjung Pandan.

Pada penelitian ini, penulis akan menganalisa data dari hasil pengujian PMT pada 3 bay yang ada di GI Tanjung Pandan. Ketiga bay yang dimaksud ialah :

- Bay Line Suge 1
- Bay Line Suge 2
- Bay Line Manggar 2

3.2 Flowchart



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, penulis melakukan beberapa metode dan tahapan penelitian, agar dapat dengan tepat menentukan kelayakan operasi dari sebuah PMT melalui sejumlah pengujian yang telah dilakukan. Adapun tahapan penelitian tersebut antara lain:

a) Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahapan awal yang dilakukan dalam penelitian ini, pada tahapan ini dilakukan pencarian informasi mengenai riwayat kerja PMT 70 kV di GI Tanjung Pandan melalui dokumen laporan teknik dan wawancara dengan Team Leader (TL) Pemeliharaan Gardu Induk (HARGI) ULTG Belitung mengenai sumber pokok permasalahan yang biasanya terjadi pada PMT yang sudah berumur dan alasan mengapa pentingnya PMT rutin dipelihara. Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan, diketahui permasalahan yang biasanya terjadi pada PMT ini adalah tidak serempaknya waktu kerja yang dimiliki oleh tiap kontak antar fasanya ketika PMT tersebut bekerja membuka atau menutup kontakannya.

b) Studi Literatur

Pada tahapan ini aktifitas penelitian diutamakan untuk mencari bahan penelitian untuk dijadikan referensi penulisan dan penelitian terkait konsep sistem distribusi tenaga listrik pada sebuah Gardu Induk (GI) melalui beberapa sumber yang relevan dan terpercaya dari jurnal-jurnal ilmiah, artikel, serta buku pedoman pemeliharaan Gardu Induk yang dimiliki oleh PT. PLN (Persero), khususnya pemeliharaan pada Circuit Breaker (CB) atau yang biasa disebut dengan Pemutus Tenaga (PMT) dan mengkaji permasalahan yang berkaitan dengan PMT di Gardu Induk Tanjung Pandan, yaitu ketidakserempaknya kontak PMT Single Pole yang ada di Gardu Induk Tanjung Pandan.

c) Studi Lapangan

Pada tahapan ini dilakukan pengamatan secara langsung ke lapangan, tepatnya di Gardu Induk Tanjung Pandan untuk melihat secara langsung bagaimana PMT 70 kV bekerja ketika membuka ataupun menutup kontakannya.

Pengamatan dilakukan bersamaan dengan agenda pemeliharaan rutin 2 tahunan yang telah dijadwalkan oleh tim pemeliharaan ULTG Belitung. Pada pelaksanaannya, pemeliharaan dilakukan dengan dua agenda utama, yaitu cleaning dan measuring.

d) Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan ketika kegiatan pemeliharaan rutin 2 tahunan selesai dilakukan. Data yang digunakan untuk melakukan evaluasi dan analisa merupakan data print out hasil pengujian yang dilakukan oleh alat ukur. Breaker Analyzer yang akan menghitung kecepatan waktu kerja kontak PMT dari tiap kontak pada fasanya. Insulation tester yang akan menghitung nilai tahanan isolasi antar bagian pada PMT, dan Earth Tester yang akan menghitung nilai tahanan pentanahan pemutus tenaga.

e) Pengolahan Data

Data yang diperoleh akan dilakukan validasi terlebih dahulu oleh Team Leader (TL) HARGI ULTG Belitung untuk dilakukan verifikasi terkait hasil pengujian yang diperoleh untuk digunakan sebagai bahan penelitian. Jika dirasa data belum valid, maka kembali lagi ke proses pengumpulan data hingga data hasil pengujian yang valid diperoleh. Setelah data yang dikumpulkan sudah cukup dan sudah valid dari segi informasinya, maka data tersebut sudah siap untuk digunakan sebagai bahan evaluasi dan analisis dari penelitian pengujian yang dilakukan.

f) Analisis dan Evaluasi Data

Data yang telah diolah akan dianalisis dan dievaluasi untuk menentukan kelayakan operasi kerja dari PMT 70 kV Suge #2. Dimana dalam tahapan ini, data yang diperoleh akan dievaluasi dengan cara membandingkan hasil pengujian yang diperoleh dengan Standar PLN (SPLN).

g) Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dari penelitian ini yaitu penarikan sebuah kesimpulan dan saran untuk permasalahan yang terjadi mengenai masalah PMT yang terjadi di PMT 70 kV Suge #2.

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 Pengujian Keserempakan

Dalam kegiatan pemeliharaan rutin, hasil dari pengujian pemutus tenaga (PMT) akan tercatat di laporan pemeliharaan rutin (LAPHARTIN). Pada Pengujian Keserempakan pemutus tenaga, akan diambil nilai dari waktu buka (Open) PMT, nilai dari waktu tutup (close) PMT, dan nilai dari keserempakan itu sendiri. Secara berurutan pengujian akan dilakukan pada semua bay menggunakan alau uji DV Power dengan seri CAT-P. Berdasarkan LAPHARTIN, diketahui hasil dari pengujian waktu kontak dan keserempakan PMT pada Bay Line Suge 1, Bay Line Suge 2, dan Bay Line Manggar 2 adalah sebagai berikut.

4.1.1 Pengujian waktu kontak open dan keserempakan open

Pengujian Waktu Open pada pemutus tenaga merupakan salah satu uji kinerja kritis yang bertujuan untuk mengukur interval waktu yang diperlukan sejak penerimaan sinyal trip hingga kontak pemutus mencapai posisi terbuka penuh. Pengujian ini sangat penting untuk memastikan keandalan proteksi sistem tenaga listrik, karena nilai waktu pemutusan yang terlalu lama dapat menyebabkan perluasan gangguan dan kerusakan peralatan.

Pengujian Waktu Open dilakukan dengan prosedur yang telah disusun dalam standar pengoperasian alat uji. Dalam proses pengukurannya, Sinyal trip diinjeksikan ke koil trip breaker sementara timer diaktifkan secara simultan. Sensor akan mendeteksi saat kontak mulai bergerak (*break time*) dan mencapai posisi terbuka penuh (*fully open position*). Selisih waktu antara sinyal trip dan posisi terbuka penuh dicatat sebagai waktu open. Pengujian waktu open dilakukan pada setiap fasanya, dengan hasil tiga nilai waktu open pada satu PMT. Waktu open yang tercatat pada setiap fasa selanjutnya akan dihitng nilai selisihnya dan disebut sebagai nilai waktu keserempakan.

Tabel 4. 1 Data Pengujian Waktu Open dan Keserempakan Open

No.	Bay	Fasa	Waktu Open (ms)	Keserempakan Open (ms)	Jumlah Pengoperasian
1.	Line Suge 1	R	27,75	1,00	470 Kali
		S	28,75		
		T	28,00		
2.	Line Suge 2	R	26,85	0,80	507 Kali
		S	27,65		
		T	27,40		
3.	Line Manggar 2	R	36,30	0,85	724 Kali
		S	37,15		
		T	36,70		

Dari tabel perbandingan waktu kontak open diatas, diketahui bahwa nilai waktu yang didapatkan dalam pengujian, didapati dalam range 26,85 ms hingga 37,15 ms. Nilai tertinggi ada pada Bay Penghantar Manggar 2 dengan rata rata waktu open 36,70 ms. Sedangkan pada dua (2) bay lainnya, yaitu Bay Penghantar Suge 1 dan Bay Penghantar Suge 2, rata rata waktu yang didapatkan pada saat pengujian adalah 28,15 ms (Bay Penghantar Suge 1) dan 27,30 ms (Bay Penghantar Suge 2). Penghitungan nilai keserempakan secara matematis dapat dihitung sebagai berikut

$$\Delta t = t_{\text{maks}} - t_{\text{min}}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} (1) \Delta t \text{ Suge 1} &= t_{\text{maks}} - t_{\text{min}} \\ &= 28,75 - 27,75 \\ &= 1,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \Delta t \text{ Suge 2} &= t_{\text{maks}} - t_{\text{min}} \\ &= 27,65 - 26,85 \\ &= 0,80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (3) \Delta t \text{ Suge 1} &= t \text{ maks} - t \text{ min} \\
 &= 37,15 - 36,30 \\
 &= 0,85
 \end{aligned}$$

Dengan telah didapat hasil pengujian waktu kontak open beserta dengan waktu keserempakan open, maka data dapat diperbandingkan dengan standar yang telah ada, yaitu standar PLN Kepdir 520.

Pada Kepdir 520 yang dikeluarkan oleh PT. PLN pada tahun 2014, disebutkan bahwa standar untuk waktu kontak open pemutus tenaga (PMT) dengan tegangan operasi 70 kV adalah kurang dari 35,00 ms. Sedangkan standar untuk keserempakan open pada pemutus tenaga (PMT) dengan tegangan operasi 70 kV adalah kurang dari 10 ms. Jika dalam hasil pengujian didapati nilai yang diluar dari standar yang telah ditentukan, baik waktu open maupun keserempakannya, maka dapat disimpulkan bahwa peralatan tidak layak untuk dioperasikan. Dalam tabel berikut akan diperbandingkan hasil rata rata pengujian waktu kontak open dan keserempakannya, terhadap standar yang telah ditentukan.

Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Waktu Open dan Keserempakan Open Terhadap Standar PLN

No.	Bay	Standar Waktu Open	Waktu Open	Standar Keserempakan Open	Keserempakan Open
1.	Line Suge 1	$\leq 35,00$ ms	28,15 ms	$\leq 10,00$ ms	1,00 ms
2.	Line Suge 2	$\leq 35,00$ ms	27,30 ms	$\leq 10,00$ ms	0,80 ms
3.	Line Manggar 2	$\leq 35,00$ ms	36,70 ms	$\leq 10,00$ ms	0,85 ms

Diketahui pada tabel 4.1 dan Tabel 4.2, adalah data lengkap pengujian waktu kontak open yang telah diperbandingkan dengan standar PLN dan

Jumlah Pengoperasian. Dapat dianalisa bahwa pada pemutus tenaga (PMT) Bay Line Suge 1 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 470 kali, hasil dari pengujian waktu open dan keserempakan open menunjukkan masih dalam range standarnya, yaitu 28,15 ms dengan standar dibawah 35 ms, dan 1,00 ms keserempakan open dengan standar dibawah 10,00 ms. Pemutus tenaga kedua, yaitu PMT pada Bay Line Suge 2 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 507 kali, hasil dari pengujian waktu open dan keserempakan open juga menunjukkan masih dalam range standar, yaitu 27,30 ms dengan standar dibawah 35 ms, dan 0,80 ms keserempakan open dengan standar dibawah 10,00 ms.

PMT yang terakhir, yaitu PMT pada Bay Line Manggar 2 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 724 kali, didapati hasil dari pengujian waktu open yang sudah melewati *range* yang telah ditentukan oleh PLN. Nilai pengujian waktu open adalah 36,70 ms, dimana nilai ini adalah diatas dari 35,00 ms yang menjadi standar waktu teratas pada standar PLN. Namun demikian, hasil dari waktu keserempakan open masih dalam standarnya, yaitu 0,85 ms dengan standar dibawah 10,00 ms.

4.1.2 Pengujian waktu kontak close dan keserempakan close

Pengujian Waktu Close pada pemutus tenaga merupakan salah satu uji kinerja kritis yang bertujuan untuk mengukur interval waktu yang diperlukan sejak penerimaan sinyal close hingga kontak pemutus mencapai posisi tertutup penuh. Pengujian Waktu Close dilakukan dengan prosedur yang telah disusun dalam standar pengoperasian alat uji. Dalam proses pengukurannya, Sinyal close diinjeksikan ke koil close breaker sementara timer diaktifkan secara simultan. Sensor akan mendeteksi saat kontak mulai bergerak (*break time*) dan mencapai posisi tertutup penuh (*fully close position*). Selisih waktu antara sinyal close dan posisi tertutup penuh dicatat sebagai waktu close. Pengujian waktu close dilakukan pada setiap fasanya, dengan hasil tiga nilai waktu close pada satu PMT. Waktu close yang tercatat pada setiap fasa selanjutnya akan dihitng nilai selisihnya dan disebut sebagai nilai waktu keserempakan.

Tabel 4. 3 Data Pengujian Waktu Close dan Keserempakan Close

No.	Bay	Fasa	Waktu Open	Keserempakan Open	Jumlah Pengoperasian
1.	Line Suge 1	R	56,25 ms	1,45 ms	470 Kali
		S	56,65 ms		
		T	57,70 ms		
2.	Line Suge 2	R	54,30 ms	1,85 ms	507 Kali
		S	55,30 ms		
		T	56,15 ms		
3.	Line Manggar 2	R	55,95 ms	1,20 ms	724 Kali
		S	56,20 ms		
		T	55,00 ms		

Dari tabel perbandingan waktu kontak close diatas, diketahui bahwa nilai waktu yang didapatkan dalam pengujian, didapati dalam range 54,30 ms hingga 57,70 ms. Nilai tertinggi ada pada Bay Penghantar Suge 1 dengan rata rata waktu close 56,85 ms. Sedangkan pada dua (2) bay lainnya, yaitu Bay Penghantar Suge 2 dan Bay Penghantar Manggar 2, rata rata waktu yang didapatkan pada saat pengujian adalah 55,25 ms (Bay Penghantar Suge 2) dan 55,70 ms (Bay Penghantar Manggar 2). Penghitungan nilai keserempakan secara matematis dapat dihitung sebagai berikut

$$\Delta t = t \text{ maks} - t \text{ min}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} (1) \Delta t \text{ Suge 1} &= t \text{ maks} - t \text{ min} \\ &= 57,70 - 56,25 \\ &= 1,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \Delta t \text{ Suge 2} &= t \text{ maks} - t \text{ min} \\ &= 56,15 - 54,30 \\ &= 1,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (3) \Delta t \text{ Suge 1} &= t \text{ maks} - t \text{ min} \\
 &= 56,20 - 55,00 \\
 &= 1,20
 \end{aligned}$$

Dengan telah didapat hasil pengujian waktu kontak Close beserta dengan waktu keserempakan close, maka data dapat diperbandingkan dengan standar yang telah ada, yaitu standar PLN Kepdir 520.

Pada Kepdir 520 yang dikeluarkan oleh PT. PLN pada tahun 2014, disebutkan bahwa standar untuk waktu kontak close pemutus tenaga (PMT) dengan tegangan operasi 70 kV adalah kurang dari 70,00 ms. Sedangkan standar untuk keserempakan close pada pemutus tenaga (PMT) dengan tegangan operasi 70 kV adalah kurang dari 10 ms. PLN menentukan standar yang berbeda antara waktu kontak open dan close, dan mengharuskan waktu open yang lebih cepat daripada waktu close. Dalam tabel berikut akan diperbandingkan hasil rata rata pengujian waktu kontak close dan keserempakannya, terhadap standar yang telah ditentukan.

Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Waktu Close dan Keserempakan Close Terhadap Standar PLN

No.	Bay	Standar Waktu Close	Waktu Close	Standar Keserempakan Close	Keserempakan Close
1.	Line Suge 1	≤ 70,00 ms	56,85 ms	≤ 10,00 ms	1,45 ms
2.	Line Suge 2	≤ 70,00 ms	55,25 ms	≤ 10,00 ms	1,85 ms
3.	Line Manggar 2	≤ 70,00 ms	55,70 ms	≤ 10,00 ms	1,20 ms

Diketahui pada tabel 4.3 dan Tabel 4.4, adalah data lengkap pengujian waktu kontak close yang telah diperbandingkan dengan standar PLN dan Jumlah Pengoperasian. Dapat dianalisa bahwa pada pemutus tenaga (PMT)

Bay Line Suge 1 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 470 kali, hasil dari pengujian waktu close dan keserempakan close menunjukkan masih dalam range standarnya, yaitu 56,85 ms dengan standar dibawah 70 ms, dan 1,45 ms keserempakan close dengan standar dibawah 10,00 ms. Pemutus tenaga kedua, yaitu PMT pada Bay Line Suge 2 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 507 kali, hasil dari pengujian waktu close dan keserempakan close juga menunjukkan masih dalam range standar, yaitu 55,25 ms dengan standar dibawah 70 ms, dan 1,85 ms keserempakan close dengan standar dibawah 10,00 ms.

PMT yang terakhir, yaitu PMT pada Bay Line Manggar 2 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 724 kali, juga tidak didapati hasil dari pengujian waktu close yang sudah melewati *range* yang telah ditentukan oleh PLN, seperti halnya pengujian pada waktu open yang mendapat hasil kurang baik karena sudah melebihi standar dari PLN. Nilai pengujian waktu close adalah 55,70 ms, dimana nilai ini masih dibawah 70,00 ms yang menjadi standar waktu teratas pada standar PLN. Hasil dari waktu keserempakan close juga masih dalam standarnya, yaitu 1,20 ms dengan standar dibawah 10,00 ms. Dengan jumlah pengoperasian 724 kali, yang merupakan jumlah tertinggi pada ketiga PMT, PMT pada Bay Line Manggar 2 masih cukup mampu beroperasi dengan baik dan tidak mempengaruhi waktu kontakannya, yaitu ketika beroperasi menutup atau close.

4.2 Pengujian Tahanan Isolasi

Selain daripada data pengujian keserempakan, dalam penelitian ini juga menganalisa pengujian tahanan isolasi sebagai dasar penentuan keyakan pemutus tenaga. Sama halnya dengan pengujian waktu kontak dan keserempakan, data bahan untuk dapat dianalisa didapatkan dari laporan pemeliharaan rutin. Pengujian tahanan isolasi merupakan salah satu tes paling fundamental dalam pemeliharaan sistem kelistrikan, bertujuan untuk mengevaluasi kualitas isolasi antara komponen yang bertegangan dan tanah atau antara konduktor yang berbeda. Tes ini membantu mendeteksi penurunan kualitas isolasi sebelum

menyebabkan kegagalan yang lebih serius, seperti kebocoran arus atau bahkan hubungan singkat yang berbahaya. Secara sederhana pengujian tahanan isolasi merupakan hasil dari pengujian nilai ketahanan suatu isolasi peralatan terhadap tegangan yang diberikan. Hal ini sangat berkaitan erat, dan dapat menjadi indikasi adanya kebocoran isolasi pada peralatan. Pengujian tahanan isolasi bekerja berdasarkan hukum Ohm, dimana alat uji akan mengaplikasikan tegangan DC stabil dan mengukur arus kebocoran yang sangat kecil yang melalui material isolasi. Rasio tegangan terhadap arus kebocoran ini menghasilkan nilai tahanan isolasi dalam satuan megaohm ($M\Omega$).

Pada Pengujian tahanan isolasi pemutus tenaga, akan diambil tiga (3) data pengujian nilai isolasi. Pengujian dilakukan pada sisi pole atas (A), sisi pole bawah (B), dan sisi body atau ground (Gnd). Dari ketiga sisi tersebut, pengujian dilakukan antara sisi pole atas terhadap sisi pole bawah (A - B), pole atas terhadap ground (A - Gnd), dan pole bawah terhadap Ground (B - Gnd). Pengujian secara berurutan dilakukan pada semua bay menggunakan alat uji Kyoritsu dengan seri KEW 3125A. Alat uji ini mampu mensuplay tegangan uji mulai dari 250 VDC, 500 VDC, 1000 VDC, 2500 VDC, DAN 5000 VDC. Pada pengujian PMT kali ini, dipilih injeksi tegangan sebesar 5000 VDC atau 5 KVDC sesuai dengan standar prosedur pengujian pada peraturan perusahaan dan akan dilakukan selama 60 second.

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada alat dapat dengan otomatis menghitung berdasarkan dengan satuannya. Satuan yang dapat ditunjukkan alat mulai dari Ohm (Ω), MegaOhm ($M\Omega$), hingga GigaOhm ($G\Omega$). Perbedaan satuan pada saat pengujian dapat berakibat pada kesalahan penulisan hasil pada laporan dan kesulitan ketika akan dilakukan analisa, maka dari itu untuk tujuan kemudahan satuan dikonversi agar seragam dalam bentuk MegaOhm ($M\Omega$). Satuan ini dipilih karena menjadi satuan pada standar pengujian tahanan isolasi. Berikut adalah data hasil pengujian tahanan isolasi pada Bay Line Suge 1, Bay Line Suge 2, dan Bay Line Manggar 2.

Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian Tahanan Isolasi dengan Jumlah Kali Pengoperasian

No.	Bay	Fasa	A – B (MΩ)	A – Gnd (MΩ)	B – Gnd (MΩ)	Jumlah Pengoperasian
1.	Line Suge 1	R	145.000	273.000	158.000	470 Kali
		S	530.000	378.000	336.000	
		T	27.000	461.000	209.000	
2.	Line Suge 2	R	1.000.000	1.000.000	1.000.000	507 Kali
		S	1.000.000	1.000.000	1.000.000	
		T	1.000.000	1.000.000	1.000.000	
3.	Line Manggar 2	R	1.000.000	1.000.000	1.165.000	724 Kali
		S	1.000.000	1.000.000	1.000.000	
		T	1.000.000	1.000.000	1.000.000	

Ditunjukkan pada tabel 4.5 diatas, data perbandingan setiap fasa pada tiap bay, dengan jumlah kali pengopersian yang telah dilakukan. Diketahui bahwa nilai tahanan isolasi terendah pada pengujian tahanan isolasi ini adalah pada Bay Line Suge 1 saat pengujian di Fasa T, dengan nilai teruji adalah 27.000 MegaOhm (MΩ). Sedangkan nilai tahanan isolasi tertinggi pada pengujian tahanan isolasi ini adalah pada Bay Line Manggar 2 saat pengujian di Fasa R, dengan nilai teruji adalah 1.165.000 MegaOhm (MΩ). Pada Bay line Suge 2, nilai pengujian tahanan isolasi sempurna pada angka 1.000.000 MegaOhm (MΩ) atau 1.000 GigaOhm (GΩ).

Pengujian diatas dilakukan dengan injeksi tegangan sebesar 5 kV, maka dengan nilai standar yang berlaku pada PMT 70 kV menurut buku pedoman pemeliharaan peralatan PMT pada Gardu Induk 70 kV, minimum besarnya nilai pada tahanan isolasi adalah 1 kV / 1 MΩ. Berdasarkan pada standar tersebut, maka dapat dihitung nilai tahanan minimal yang disyaratkan pada sebuah pemutus tenaga dengan injeksi tegangan 5 kV yaitu :

$$1 \text{ kV} / 1 \text{ M}\Omega = 5 \text{ kV} / x \text{ M}\Omega$$

$$X = 5 \text{ M}\Omega$$

Pemutus tenaga yang memiliki nilai tahanan isolasi dibawah 5 M Ω dapat dinyatakan sebagai pemutus tenaga yang tidak layak dioperasikan, karena tidak dapat memenuhi apa yang disyaratkan. Dalam tabel berikut akan diperbandingkan hasil pengujian tahanan isolasi terhadap standar yang telah ditentukan.

Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Terhadap Standar PLN

No.	Bay	Fasa	Standar Tahanan Isolasi	A – B (M Ω)	A – Gnd (M Ω)	B – Gnd (M Ω)
1.	Line Suge 1	R	> 5 M Ω	145.000	273.000	158.000
		S		530.000	378.000	336.000
		T		27.000	461.000	209.000
2.	Line Suge 2	R	> 5 M Ω	1.000.000	1.000.000	1.000.000
		S		1.000.000	1.000.000	1.000.000
		T		1.000.000	1.000.000	1.000.000
3.	Line Manggar 2	R	> 5 M Ω	1.000.000	1.000.000	1.165.000
		S		1.000.000	1.000.000	1.000.000
		T		1.000.000	1.000.000	1.000.000

Diketahui pada tabel 4.5 dan Tabel 4.6, adalah data lengkap pengujian tahanan isolasi yang telah diperbandingkan dengan standar PLN dan Jumlah Pengoperasian. Dapat dianalisa bahwa pada pemutus tenaga (PMT) Bay Line Suge 1 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 470 kali, hasil dari pengujian tahanan isolasi pada ketiga fasa menunjukkan masih dalam range standarnya, yaitu 145.000 M Ω , 273.000 M Ω dan 158.000 M Ω untuk fasa R, 530.000 M Ω , 378.000 M Ω , dan 336.000 M Ω untuk fasa S, dan 27.000 M Ω , 461.000 M Ω , dan 209.000 M Ω untuk fasa T. Pada fasa T ini menjadi nilai terendah pada pengujian, namun demikian nilai tersebut masih jauh diatas standarnya, yaitu lebih dari 5 M Ω .

Pemutus tenaga kedua, yaitu PMT pada Bay Line Suge 2 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 507 kali, hasil dari pengujian tahanan isolasi juga

menunjukkan masih dalam range standar, yaitu rata di angka 1.000.000 M Ω untuk semua item pengujian, baik pengujian tiap fasa maupun tiap titiknya. Dan PMT yang terakhir, yaitu PMT pada Bay Line Manggar 2 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 724 kali, juga tidak didapati hasil dari pengujian tahanan isolasi yang sudah melewati *range* yang telah ditentukan oleh PLN. Nilai pengujian tahanan isolasi pada fasa R adalah 1.000.000 M Ω , 1.000.000 M Ω dan 1.165.000 M Ω , sedangkan pada fasa S dan T, hasil pengujian adalah rata sempurna di angka 1.000.000 M Ω . Nilai ini adalah nilai diatas 5 M Ω , yang mana ini menjadi nilai terendah tahanan isolasi pada standar PLN. Dengan jumlah pengoperasian 724 kali dan merupakan jumlah tertinggi pada ketiga PMT, PMT pada Bay Line Manggar 2 masih cukup mampu beroperasi dengan baik dan tidak mempengaruhi nilai tahanan isolasinya.

4.3 Pengujian Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan adalah nilai tahanan listrik yang berasal dari peralatan listrik untuk pembumian listrik. Disamping dari nilai waktu kontak, keserempakan dan tahanan isolasi, kelayakan dari pemutus tenaga juga dapat dilihat dari sistem pembumian dari peralatan tersebut. Nilai pentanahan penting dan diperhitungkan dalam penentuan layak atau tidaknya suatu peralatan listrik untuk dioperasikan. Hal ini karena eratnya kaitan antara nilai tahanan pentanahan dengan kehandalan proteksi peralatan. Nilai pentanahan pada pemutus tenaga akan diuji secara periodik dalam agenda pemeliharaan rutin untuk mengetahui bagaimana kualitas proteksi peralatan tersebut.

Dapat dibenarkan bahwa nilai dari tahanan pentanahan berkaitan erat terhadap keandalan proteksi pada peralatan, karena ini akan berfungsi membuang arus lebih yang ada pada peralatan menuju tanah. Semakin besar nilai tahanannya, maka semakin terhamat arus yang ada untuk dibuang atau dialirkan menuju tanah. Arus berlebih yang terperangkap pada peralatan terlalu lama akan berakibat buruk pada peralatan tersebut. Berikut akan disajikan nilai dari pengujian tahanan pentanahan di PMT pada bay Line Suge 1, Bay Line Suge 2, dan Bay Line Manggar 2.

Tabel 4. 7 Data Pengujian Tahanan Pentanahan Pada Ketiga Bay

No.	Bay	Nilai Tahanan Pentanahan	Jumlah Pengoperasian
1.	Bay Line Suge 1	0,87 Ω	470 Kali
2.	Bay Line Suge 2	0,70 Ω	507 Kali
3.	Bay Line Manggar 2	0,96 Ω	724 Kali

Seperti yang telah disampaikan pada dasar teori, Standar PLN adalah nilai yang telah ditentukan oleh PT. PLN (Persero) sebagai dasar penentuan kelayakan peralatan yang digunakan oleh PT. PLN (Persero). Berdasarkan hal tersebut, penulis dalam proses analisisnya akan membandingkan nilai dari hasil pengujian yang telah dilakukan dengan standar yang telah ditentukan oleh PLN untuk mengetahui kelayakan peralatan, pada hal ini adalah pemutus tenaga untuk dapat dioperasikan kembali. Standar yang ditentukan oleh PLN untuk nilai tahanan pentanahan pada peralatan material transmisi utama (MTU) adalah kurang dari 1 Ω . Perbandingan akan penulis sajikan dalam bentuk tabel guna mempermudah analisa dan penarikan kesimpulan.

Tabel 4. 8 Perbandingan Hasil Pengujian Tahanan Pentanahan Terhadap Standar PLN

No.	Bay	Standar Nilai Tahanan Pentanahan	Nilai Tahanan Pentanahan
1.	Bay Line Suge 1	< 1 Ω	0,87 Ω
2.	Bay Line Suge 2	< 1 Ω	0,70 Ω
3.	Bay Line Manggar 2	< 1 Ω	0,96 Ω

Diketahui pada tabel 4.7 dan Tabel 4.8, adalah data lengkap pengujian tahanan pentanahan yang telah diperbandingkan dengan standar PLN dan Jumlah

Pengoperasian. Dapat dianalisa bahwa pada pemutus tenaga (PMT) Bay Line Suge 1 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 470 kali, hasil dari pengujian tahanan pentanahan menunjukkan masih dalam range standarnya, yaitu $0,87 \Omega$ dengan standar nilai tahanan pentanahan tertinggi yang diperbolehkan adalah 1Ω .

Pemutus tenaga kedua, yaitu PMT pada Bay Line Suge 2 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 507 kali, hasil dari pengujian tahanan pentanahan juga menunjukkan masih dalam range standar, yaitu rata di angka $0,70 \Omega$ dengan standar nilai tahanan pentanahan tertinggi yang diperbolehkan adalah 1Ω . Dan PMT yang terakhir, yaitu PMT pada Bay Line Manggar 2 dengan jumlah pengoperasian sebanyak 724 kali, juga tidak didapati hasil dari pengujian tahanan isolasi yang sudah melewati *range* yang telah ditentukan oleh PLN. Nilai pengujian tahanan pentanahan adalah $0,96 \Omega$ dengan standar nilai tahanan pentanahan tertinggi yang diperbolehkan adalah 1Ω . Dengan jumlah pengoperasian 724 kali dan merupakan jumlah tertinggi pada ketiga PMT, PMT pada Bay Line Manggar 2 masih cukup mampu beroperasi dengan baik dan tidak mempengaruhi nilai tahanan isolasinya.

4.4 Hasil Kelayakan Ketiga PMT

Setelah proses pengumpulan data dan analisa, maka dapat dituliskan hasil kelayakan pada ketiga PMT dengan berdasarkan pada ketiga pengujian diatas. Akan dituliskan hasil kelayakan dalam bentuk tabel untuk kemudahan dalam penentuan kesimpulan pada bab selanjutnya.

Tabel 4. 9 Kelayakan Pemutus Tenaga

No.	Bay	Keserempakan	Tahanan Isolasi	Tahanan Pentanahan
1.	Bay Line Suge 1	Layak	Layak	Layak
2.	Bay Line Suge 2	Layak	Layak	Layak
3.	Bay Line Manggar 2	Tidak Layak	Layak	Layak

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Alhamdulillah rabbil 'alamin, penulisan tugas akhir ini telah sampai pada bab yang terakhir. Bab kesimpulan ini adalah hasil dari analisa data yang telah dilakukan dengan memperbandingkan hasil pengukuran dengan standar yang ada. Berikut adalah kesimpulan yang dapat ditarik oleh penulis pada pembuatan tugas akhir ini.

1. Dengan melihat dan memeperbandingkan hasil pengujian keserempakan dengan jumlah pengoperasian, dapat disimpulkan bahwa Bay Line Suge 1 dan Bay Line Suge 2 dinyatakan layak untuk dioperasikan, sedang pada bay Line Manggar 2 dinyatakan tidak layak untuk dioperasikan. Hal ini dikarenakan, dalam analisisnya hasil pengujian waktu open menunjukkan nilai yang lebih dari standar yang ditentukan, yaitu 36,70 ms waktu open dengan standar waktu open kurang dari 35,00 ms. Pada Bay Line Manggar 2 diketahui jumlah pengoperasian adalah tertinggi dari ketiga bay, yaitu 724 kali. Maka dari itu, dapat disimpulkan juga bahwa PMT dengan jumlah pengoperasian tertentu, dalam hal ini adalah 724 kali, didapati satu dari beberapa hasil dari pengujian yang telah *out of range* atau melewati batas yang telah ditentukan.
2. Kesimpulan kedua, dengan melihat dan memeperbandingkan hasil pengujian tahanan isolasi dengan jumlah pengoperasian, Ketiga pemutus tenaga, yaitu pemutus tenaga pada Bay Line Suge 1, Bay Line Suge 2, dan Bay Line Manggar 2 dinyatakan layak karena dalam analisisnya, hasil pengujian tahanan isolasi menunjukkan nilai diatas dari standar minimalnya, yaitu 1 kV / 1 M Ω . Berdasarkan pada standar tersebut dapat dihitung nilai tahanan minimal yang disyaratkan pada sebuah pemutus tenaga dengan

injeksi tegangan 5 kV yaitu lebih dari 5 M Ω , dan pada pengujian nilai tahanan isolasi yang ditunjukkan adalah melebihi dari 5 M Ω .

3. Kesimpulan ketiga, dengan melihat dan memeperbandingkan hasil pengujian tahanan pentanahan dengan jumlah pengoperasian, dapat disimpulkan bahwa semua pemutus tenaga dapat dinyatakan sebagai layak dioperasikan. Kesimpulan ini diambil berdasarkan hasil pengujian tahanan pentanahan yang masih sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Ketiga pemutus tenaga, yaitu pemutus tenaga pada Bay Line Suge 1, Bay Line Suge 2, dan Bay Line Manggar 2 dinyatakan layak karena dalam analisisnya, hasil pengujian tahanan pentanahan menunjukkan nilai dibawah dari standar maksimalnya, yaitu 1 Ω .

5.2 Saran

Melihar dari kesimpulan diatas, penulis memberikan saran sebagai brikut.

1. Pada PMT Bay Line Manggar 2 dengaa nilai jumlah pengoperasian yang sudah tinggi dan mengakibatkan waktu kerja kontak open melebihi dari standar PLN, maka dapat dilakukan pemantauan rutin untuk menanggulangi adanya kegagalan fungsi pada peralatan.
2. Salah satu langkah yang dapat diambil untuk mengembalikan fungsi pemutus tenaga menjadi optimal kembali adalah dengan melakukan perbaikan. Maka pada PMT Bay Line Manggar 2 disarankan untuk dapat dilakukan perbaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Arham, Muhammad Isram, “Analisa Kelayakan PMT 150 kV di Gardu Induk Bulukumba”, Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Makassar : Universitas Muhammadiyah, 2017.
- [2] Ari Susanto, Rudi Kurnianto, Managam Rajaguguk, “Analisa Kelayakan Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Berdasarkan Hasil Uji Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak dan Keserempakan Kontak di Gardu Induk Singkawang”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Pontianak : Universitas Tanjungpura, 2021.
- [3] Deden Emil Salam, Elih Mulyana, “Analisis Uji Kelayakan PMT Pada Jaringan Tenaga Listrik 150 kV”, Jurnal Kehumasan 2021 Vol 4, No 2 p-ISSN: 2338-1507.
- [4] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, “Gardu Induk Semester 3”, Jakarta : 2014.
- [5] PT.PLN (Persero), “Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga”, (Surat keputusan Dir. PLN: 0520-2.K/DIR/2014), Jakarta, 2014.
- [6] Anindita Singgih Pambudi, Dr. Ir. Hermawan, DEA, “Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (PMT) Three Pole 150 kV Bay Trafo Gardu Induk Simulator Udiklat Semarang (TLM Academy)”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Semarang : Universitas Diponegoro, 2014.
- [7] Adis Galih Firdaus, Rahmat Hidayat, “Analisa Pengujian Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Bay Penghantar Mandirancan I Berdasarkan Parameter Breaker Analyzer di Gardu Induk Sunyaragi”, Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro September 2021, Volume 15, No.3.