

**ANALISIS MINIMUM PADAM PADA PEMELIHARAAN PHB
JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PADA TRAFO DAYA 400 KVA
TERHADAP NILAI SAIDI SAIFI**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan Ini Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh

Gelar Sarjana (S1) Pada Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Sultan Agung



DISUSUN OLEH :

BAGUS AJI SEPTIAN

30602200126

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

2025

FINAL PROJECT

**ANALYSIS OF MINIMUM OUTAGES IN MAINTENANCE OF CONNECTIONS
FOR MEDIUM VOLTAGE PANEL NETWORKS ON 400 KVA POWER
TRANSFORMER TOWARD SAIDI SAIFI VALUES**

*Proposed To Complete The Requirement Bachelor's degree (S1) at Department of
Electrical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By :

BAGUS AJI SEPTIAN

30602200126

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS MINIMUM PADAM PADA PEMELIHARAAN PHB JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PADA TRAFO DAYA 400 KVA TERHADAP NILAI SAIDI SAIFI” ini disusun oleh :

Nama : BAGUS AJI SEPTIAN
NIM : 30602200126
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Selasa
Tanggal : 12 Agustus 2025
Pembimbing

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT., IPM.

NIDN : 0628086501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



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

NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS MINIMUM PADAM PADA PEMELIHARAAN PHB JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PADA TRAFO DAYA 400 KVA TERHADAP NILAI SAIDI SAIFI” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 6 Agustus 2025

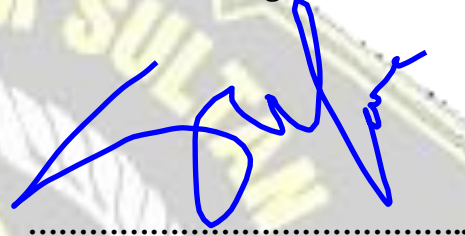
Tim Penguji

Tanda Tangan

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

NIDN. 0619076401

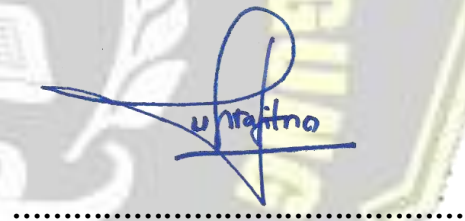
Ketua



Agus Suprajitno, S.T., M.T.

NIDN. 0602047301

Penguji I



DR. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT., IPM

NIDN. 0628086501

Penguji



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bagus Aji Septian
NIM : 30602200126
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“ANALISIS MINIMUM PADAM PADA PEMELIHARAAN PHB JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PADA TRAFO DAYA 400 KVA TERHADAP NILAI SAIDI SAIFT”** 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, 25 Juli 2025

Yang Menyatakan,



Bagus Aji Septian

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bagus Aji Septian

NIM 30602200126

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS MINIMUM PADAM PADA PEMELIHARAAN PHB JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PADA TRAFO DAYA 400 KVA TERHADAP NILAI SAIDI SAIFI”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh – sungguh. Apabila dikemudian 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 pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, Agustus 2025

Yang Menyatakan

Bagus Aji Septian

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur kepada Allah SWT atas segala Rahmat, Berkah dan Kasih sayangNya yang telah memberikan kesabaran, kesehatan dan kekuatan sehingga Tugas Akhir ini sebagai sayarat untuk mendapatkan gelas Sarjana dapat diselesaikan.

Setelah mengucap Syukur kepada Allah SWT tak lupa juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu, Bapak, dan pasangan tercinta yang terus memberikan dukungan dan doa serta setia mendampingi.

Selain itu kami ucapkan terima kasih kepada rekan – rekan yang bersama – sama mengerjakan Tugas Akhir ini untuk saling mendukung dan semua pihak yang sudah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.



HALAMAN MOTTO

“Mencintai pekerjaan kita adalah bagian dari rasa syukur kita atas berkatNya”

“Semua akan terasa indah dengan kita yang selalu bersyukur atas apa yang sudah terjadi”



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS MINIMUM PADAM PADA PEMELIHARAAN PHB JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PADA TRAFO DAYA 400 KVA TERHADAP NILAI SAIDI SAIFI”** dalam rangka memenuhi tugas semester enam dan sebagai syarat kelulusan pendidikan diploma dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penyusunan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Ibu Dr. Ir. Hj.Novi Marlyana, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT., IPM. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Managemen dan karyawan PT. PLN (Persero) UP3 Cikokol yang telah membimbing dalam kegiatan penyusunan Tugas Akhir.
5. Ibu Sri Yukti dan Bapak Suncoko selaku kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan selama proses perkuliahan dan penyusunan Tugas
6. Angeline Vincentia selaku istri saya yang selalu memberikan dukungan selama proses perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang telah membantu.

Semoga Allah SWT memberkahi dan membalas semua kebaikan yang telah dilakukan.

Semarang, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR	i
FINAL PROJECT	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Pemeliharaan	6
2.2.2. Sistem Tenaga Listrik	11
2.2.3. Gardu Distribusi Tenaga Listrik	19
2.2.4. Kubikel 20 kV (PHB-TM)	24
2.2.5. Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR)	26

2.2.6. Transformator	27
Berikut tabel 3.1 Spesifikasi Transformator Distribusi Fase-Tiga Sesuai SPLN 50 Tahun 1997	40
Tabel 3.1 Spesifikasi Transformator Distribusi Fase-Tiga Sesuai SPLN 50 Tahun 1997	40
3.1.2. Kualitas dan Keandalan Sistem Tenaga Listrik.....	40
3.1.3. SAIDI (<i>System Average Interruption Duration Index</i>)	42
3.1.4. SAIFI (<i>System Average Interruption Frequency Index</i>).....	42
3.1.5. ENS (<i>Energy Not Supply</i>).....	42
3.1.6. Minim Padam / Jaringan Distribusi NET	43
BAB III METODE PENELITIAN	46
SIMULASI LAPANGAN	46
3.1. Gambaran Umum Sistem.....	46
3.2. Tahapan Penelitian.....	46
3.3. Perancangan Alat.....	49
3.3.1. Blok Diagram.....	49
3.3.2. Flowchart.....	50
3.3.3. Perlengkapan Peralatan Yang Ada.....	53
BAB IV DATA DAN ANALISA	55
4.1. Data dan Analisa Pemeliharaan Minim Padam	55
4.2. Pengujian Alat	Error! Bookmark not defined.
4.2.1. Pengujian Tegangan.....	61
4.2.2. Pengujian Putaran Fasa.....	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	1

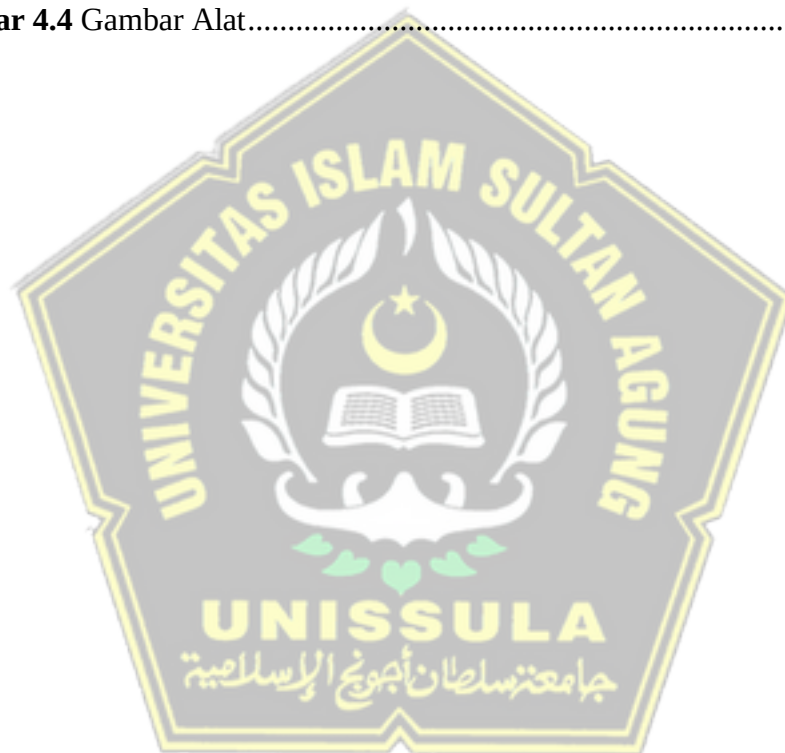
DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Transformator Distribusi Fase-Tiga Sesuai SPLN 50 Tahun 1997	40
Tabel 3.2 Daftar Perlengkapan Peralatan Yang Dibutuhkan	53
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tegangan	62
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Putaran Fasa	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik	11
Gambar 2.2 Gambar Ruang Lingkup Sistem Tenaga Listrik.....	17
Gambar 2.3 Skema Sistem Tenaga Listrik Interkoneksi	18
Gambar 2.4 Gardu Distribusi (Gardu Beton).....	20
Gambar 2.5 <i>Single Line</i> Gardu Beton.....	20
Gambar 2.6 Gardu Tang Tipe Portal dan Midel Panel.....	21
Gambar 2.7 Bangun Garis Gardu Tiang Tipe Portal.....	22
Gambar 2.8 Gambar Gardu Tiang Tipe Cantol.....	23
Gambar 2.9 Gardu Kios.....	24
Gambar 2.10 Kubikel TM.....	25
Gambar 2.11 PHBTR.....	27
Gambar 2.12 Konstruksi Transformator	28
Gambar 2.13 Bentuk Lilitan Primer dan Sekunder Transformator	29
Gambar 2.14 Kumparan Trafo.....	33
Gambar 2.15 <i>Bushing</i> Transformator.....	34
Gambar 2.16 <i>Transformator</i> Distribusi 20 kV.....	38
Gambar 2.17 Gambar Nameplate Trafo UGB	39
Gambar 2.18 Alur Pemeliharaan Minim Padam	44
Gambar 2.19 Gardu <i>Mobile</i> (UGB)	45
Gambar 3.1 Flowchart Tahap Penelitian	48

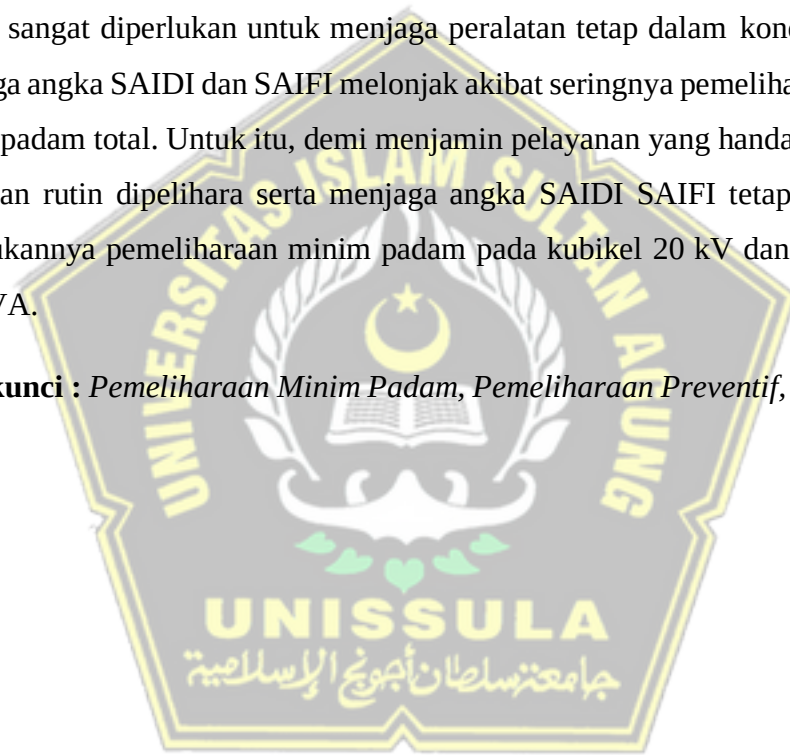
Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan Sistem Secara Keseluruhan	49
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Uji Tegangan dan Putaran Fasa Secara Keseluruhan	51
Gambar 3.4 <i>Wiring Diagram</i> Pemeliharaan Gardu dan Kubikel 20 kV Dengan Menggunakan Cara Minim Padam.....	54
Gambar 4.1 Laporan Pengukuran Beban dan Tegangan Trafo Gardu PNA66....	55
Gambar 4.2 Perancangan dan Gelar Peralatan UGB/trafo mobile	60
Gambar 4.3 Tampilan Perancangan Pemeliharaan Trafo dan Kubikel 20 kV Dengan Menggunakan Cara Minim padam.....	60
Gambar 4.4 Gambar Alat.....	61



ABSTRAK

Dalam hal menjaga mutu dan kualitas penyaluran sistem tenaga listrik, pemeliharaan terhadap peralatan listrik yang ada sangat penting dilakukan karena hal ini bertujuan untuk menjaga kualitas peralatan listrik serta menjamin bahwa peralatan yang beroperasi memiliki kondisi yang baik dan layak untuk beroperasi. Untuk itu, diperlukannya pemeliharaan preventif dalam jangka waktu tertentu untuk mencegah terjadinya gangguan peralatan listrik yang ada. Pemeliharaan sendiri bisa dilakukan dengan cara padam total maupun minim padam. Pemeliharaan minim padam sangat diperlukan untuk menjaga peralatan tetap dalam kondisi baik serta menjaga angka SAIDI dan SAIFI melonjak akibat seringnya pemeliharaan preventif secara padam total. Untuk itu, demi menjamin pelayanan yang handal, memastikan peralatan rutin dipelihara serta menjaga angka SAIDI SAIFI tetap rendah maka diperlukannya pemeliharaan minim padam pada kubikel 20 kV dan transformator 400 kVA.

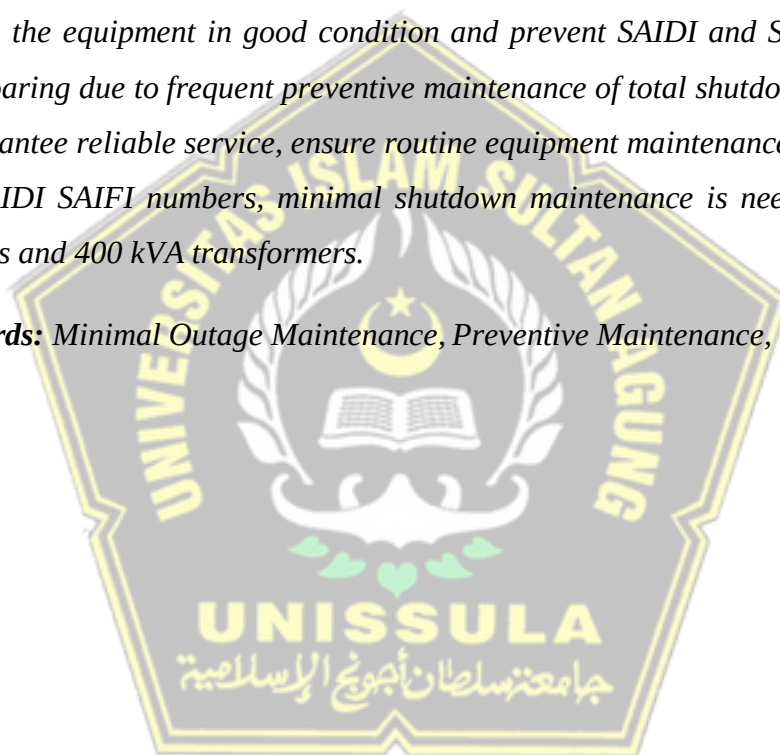
Kata kunci : *Pemeliharaan Minim Padam, Pemeliharaan Preventif, SAIDI, SAIFI*



ABSTRACT

In terms of maintaining quality of the distribution of the electric power system, maintenance of existing electrical equipment is very important because it aims to maintain the quality of electrical equipment and ensure that the equipment in operation is in good condition and is suitable for operation. Therefore, preventive maintenance is needed within a certain period to prevent disruptions to existing electrical equipment. The maintenance itself can be done by means of a total shutdown or minimal shutdown. Minimal shutdown maintenance is very necessary to keep the equipment in good condition and prevent SAIDI and SAIFI numbers from soaring due to frequent preventive maintenance of total shutdown. Therefore, to guarantee reliable service, ensure routine equipment maintenance and maintain low SAIDI SAIFI numbers, minimal shutdown maintenance is needed on 20 kV cubicles and 400 kVA transformers.

Keywords: *Minimal Outage Maintenance, Preventive Maintenance, SAIDI, SAIFI*





BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan semakin banyaknya peralatan yang ada di dalam sistem distribusi tenaga listrik, hal ini membuat pemeliharaan listrik sangat diperlukan. Dengan pemeliharaan peralatan listrik yang ada, maka bisa membuat peralatan listrik yang ada menjadi lebih terjaga kualitas penyaluran tenaga listrik serta menjamin berjalannya penyaluran tenaga listrik yang baik. Pemeliharaan peralatan listrik sendiri disebut dengan pemeliharaan preventif, pemeliharaan ini dilakukan secara rutin dan berkala. Dengan adanya pemeliharaan preventif ini tentunya akan berdampak kepada penyaluran tenaga listrik ke pelanggan, untuk itu bisa berpengaruh terhadap angka SAIDI dan SAIFI yang ada di PLN UP3 Cikokol, dan hal ini juga bisa berpengaruh terhadap keluhan pelanggan yang ada di gardu yang mengalami pemadaman akibat pemeliharaan preventif, tentunya *Energy Not Sale* pun akan turun.

Pola pemeliharaan yang sudah dilakukan adalah dengan cara melakukan pemadaman gardu distribusi secara menyeluruh yang menyebabkan pelanggan mengalami pemadaman dengan durasi yang sejalan dengan durasi pemeliharaan. Berdasarkan data rekapitulasi laporan SAIDI dan SAIFI PT PLN UP3 Cikokol pada bulan Oktober 2023 angka SAIDI sebesar 30,36 menit/pelanggan, sedangkan angka SAIFI pada bulan Oktober 2023 adalah sebesar 0,37 kali/pelanggan. Untuk bulan November 2023 angka SAIDI adalah 35,41 menit/pelanggan dan angka SAIFI adalah 0,41 kali/pelanggan. Pada bulan berikutnya yaitu pada bulan Desember 2023 angka SAIDI adalah 37,92 menit/pelanggan dan angka SAIFI adalah 0,44 kali/pelanggan. Pada saat bulan Oktober sampai dengan Desember 2023 pola pemeliharaan masih menggunakan cara padam pelanggan secara total dan belum sepenuhnya menerapkan pemeliharaan gardu menggunakan cara minim padam. Pada awal tahun 2024, khususnya bulan Januari sampai dengan April 2024, pemeliharaan gardu sudah menggunakan minim padam, sehingga pelanggan yang mengalami padam pun menurun secara drastis dan tentunya mempengaruhi angka

SAIDI dan SAIFI pada PLN UP3 Cikokol. Adapun angka tersebut adalah pada bulan Januari 2024 angka SAIDI adalah 5,07 menit/pelanggan dan SAIFI 0,10 kali/pelanggan. Sedangkan pada bulan Februari angka SAIDI adalah 6,04 menit/pelanggan dan SAIFI adalah 0,11 kali/pelanggan. Dan pada bulan Maret angka SAIDI adalah 7,81 menit/pelanggan dan SAIFI adalah 0,13 kali/pelanggan. Pada bulan April angka SAIDI adalah 9,30 menit/pelanggan dan SAIFI adalah 0,15 kali/pelanggan. Angka ini jauh lebih banyak menurun dibandingkan dengan tahun 2023 khususnya bulan Agustus-Oktober 2023. Dengan demikian, kinerja PT PLN UP3 Cikokol lebih efektif dan lebih baik menggunakan cara pemeliharaan gardu minim padam serta pelanggan yang mengalami padam jauh lebih sedikit dibandingkan menggunakan pemadaman total.

Dengan pemeliharaan minim padam ini tidak hanya menyelamatkan revenue atau pendapatan PLN karena ENS (*Energy Not Sale*) cukup sedikit, namun juga kinerja PLN terkait SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) bisa ditekan angkanya menjadi lebih rendah, serta keluhan pelanggan akibat padam yang berjam – jam menjadi hilang karena pemeliharaan minim padam. Dengan demikian, pemeliharaan gardu dengan minim padam dapat sangat efektif, terlebih dilakukan wilayah perkotaan yang padat penduduk sehingga dapat menjaga kontinuitas penjualan listrik.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka didapatkan rumusan masalah antara lain sebagai berikut :

1. Berapakah besar perbedaan SAIDI pada pemeliharaan PHB TM ketika menggunakan cara minim padam dibandingkan dengan pemeliharaan PHB TM dengan cara padam total?
2. Berapakah besar perbedaan SAIFI pada pemeliharaan PHB TM ketika menggunakan cara minim padam dibandingkan dengan pemeliharaan PHB TM dengan cara padam total?

3. Berapakah besar perbedaan *ENS (Energy Not Sale)* pada pemeliharaan PHB TM ketika menggunakan cara minim padam dibandingkan dengan pemeliharaan PHB TM dengan cara padam total?

1.3. Pembatasan Masalah

Pembahasan masalah pada makalah ini dibatasi meliputi :

1. Pemeliharaan minim padam hanya membahas proses dan prinsip kerja
2. Adapun untuk dampak ke pelanggan tidak dijelaskan secara perhitungan detail dampak SAIDI atau SAIFI
3. Pemeliharaan minim padam hanya dilaksanakan di gardu beton

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui seberapa besar perbedaan nilai SAIDI ketika pemeliharaan PHB TM menggunakan cara minim padam dibandingkan dengan pemeliharaan PHB TM dengan cara padam total
2. Mengetahui seberapa besar perbedaan nilai SAIFI ketika pemeliharaan PHB TM menggunakan cara minim padam dibandingkan dengan pemeliharaan PHB TM dengan cara padam total
3. Mengetahui seberapa besar perbedaan nilai *ENS (Energy Not Sale)* ketika pemeliharaan PHB TM menggunakan cara minim padam dibandingkan dengan pemeliharaan PHB TM dengan cara padam total

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui dampak yang ada sehingga bisa meningkatkan kinerja dan kehandalan PLN pada saat terjadi pemeliharaan
2. Mengetahui peralatan apa saja yang digunakan untuk pemeliharaan dengan minim padam pada gardu distribusi 20 kV
3. Menjaga nilai SAIDI, SAIFI, dan *Energy Not Sale* agar selalu rendah ketika pemeliharaan preventif masih berjalan pada gardu distribusi 20 kV

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian serta tercantum sistematika dalam penulisan laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini memuat tentang tinjauan pustaka dari penelitian serupa yang telah dilakukan terdahulu, sistem distribusi tenaga listrik, gardu distribusi, kubikel 20 kV, Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR), transformator daya, SAIDI, *Energy Not Sale*, Pemeliharaan Minim Padam, Unit Trafo Bergerak (UTB), Unit Gardu Bergerak (UGB).

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang *object* penelitian, alat alat penelitian, data data penelitian, metode penelitian dan *flowchart*.

BAB IV DATA DAN ANALISA

Bab ini membahas mengenai pembahasan hasil penelitian, yaitu data data hasil pemeliharaan minim padam pada gardu distribusi 20 kV serta perhitungan ENS(*Energy Not Sale*), pengaruh terhadap SAIDI, perhitungan SAIDI serta Langkah Langkah yang dilakukan untuk kegiatan pemeliharaan minim padam

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dalam pengembangan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini dilakukan tidak terlepas dari hasil penelitian – penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebagai bahan perbandingan dan kajian. Adapun hasil – hasil penelitian yang dijadikan perbandingan tidak terlepas dari topik penelitian yaitu mengenai pemeliharaan gardu dan kubikel 20 kV menggunakan cara minim padam.

Berdasarkan hasil penelitian dan praktik lapangan dimana melakukan penelitian mengenai analisa dan uji lapangan pemeliharaan dengan cara minim padam. Pemeliharaan minim padam menurut (Husodo & Akbar, 2018) ini bertujuan untuk mengurangi durasi padam serta menekan nilai SAIDI pemeliharaan. Cara ini menggunakan cara yaitu alat bantu Unit Trafo Bergerak atau Unit Gardu Bergerak, sehingga nantinya beban gardu akan dipindahkan dari gardu ke Unit Gardu Bergerak atau Unit Trafo Bergerak. Hasil yang didapatkan menurut penulis baik karena bisa menurunkan angka SAIDI secara signifikan dan durasi padam juga menurun cukup signifikan juga. Analisa yang digunakan juga sama khususnya untuk mengetahui pengaruh minim padam pada kubikel 20 kV dan trafo 400 kVA yang ada pada gardu distribusi 20 kV, hanya saja pada penelitian ini menggunakan alat Unit Gardu Bergerak atau Unit Trafo Bergerak bukan dilimpahkan ke gardu lainnya.

Penelitian oleh (Husodo & Akbar, 2018) pengaruh penerapan pemeliharaan minim padam terhadap nilai SAIDI dan ENS di PT PLN Area Bulungan. Namun pada penelitian ini tidak dijelaskan mengenai cara kerja secara detail proses dan tahapan pekerjaan minim padam, tetapi perhitungan lengkap *ENS* Padam Total dan *ENS* Minim Padam. Penelitian ini menjadi referensi yang meyakinkan penulis bahwa sangat memungkinkan dalam membuat analisis minim padam pada pemeliharaan kubikel 20 kV dan trafo daya 400 KVA terhadap nilai SAIDI SAIFI.

Menurut (PT PLN (Persero) UNIT INDUK DISTRIBUSI BANTEN, 2021) dalam tulisan instruksi kerja mengenai pemeliharaan tanpa padam dengan Unit Gardu Bergerak (UGB) dijelaskan kebutuhan apa saja yang ada sebelum dan pada saat pelaksanaan pelaksanaan kegiatan pemeliharaan tanpa padam menggunakan Unit Gardu Bergerak (UGB), baik dari segi material, peralatan kerja, perlengkapan K3, uraian kegiatan, dan dokumen terkait. Instruksi kerja ini menjadi panutan utama pekerjaan pemeliharaan minim padam pada kubikel 20 kV dan trafo daya 400 KVA terhadap nilai SAIDI SAIFI. Adapun total data pelanggan PT PLN UP3 Cikokol adalah sebesar 409.064 pelanggan.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pemeliharaan

Menurut (Hayusman, 2022) Pemeliharaan itu sendiri adalah suatu kegiatan yang memiliki tujuan untuk mendapat jaminan bahwa suatu sistem ataupun peralatan tetap selalu dijaga fungsinya secara optimal, memperpanjang umur teknis serta menjamin keselamatan bagi personil maupun masyarakat yang ada disekitarnya. Pemeliharaan itu sendiri memiliki banyak sekalian rangkaian dan tahapan kerjam diulai dari perencanaan atau persiapan pekerjaan, pelaksanaan pekerjaan, pengendalian risiko yang ada selama proses pekerjaan, dan yang terakhir adalah evaluasi pekerjaan setelah selesai pekerjaan. Pekerjaan itu sendiri dilakukan baik secara terjadwal atau terencana dan tidak terjadwal atau *emergency*.

Untuk itu Adapun tujuan dan maksut pemeliharaan menurut (Hayusman, 2022) adalah sebagai berikut:

- Mendapatkan jaminan dan kepastian bahwa peralatan yang ada dapat dioperasikan
- Mendapatkan jaminan bahwa keandalan dan mutu tenaga listrik akan mempunyai nilai tinggi.
- Mendapatkan jaminan bahwa umur teknis sistem atau peralatan dapat dipertahankan.

- Mendapatkan jaminan bahwa peralatan aman bagi personil maupun bagi masyarakat umum.

Untuk mencapai tujuan pemeliharaan, maka diperlukan beberapa rumusan kriteria pemeliharaan yang baik. Dan pemeliharaan tersebut meliputi beberapa aspek sebagai berikut:

- Sistem yang ada di dalam pemeliharaan wajib direncanakan secara baik dan matang.
- Peralatan dan material yang digunakan harus sesuai dengan ketentuan dan standar yang ada.
- Adapun sistem kelistrikan yang baru selesai dibangun harus dilakukan pemeriksaan secara teliti dan cermat.
- Untuk petugas yang melakukan pemeliharaan wajib memiliki kompetensi dibidangnya dan memiliki pelatihan yang baik serta jumlah yang memadai.
- Peralatan yang digunakan harus berstandar nasional atau internasional serta petugas yang melakukan pemeliharaan wajib dilengkapi peralatan kerja yang sesuai dengan standar tersebut.
- Untuk petugas wajib mempunyai dan memahami buku *manual operation* ketika akan melakukan pemeliharaan
- Ketika melakukan pemeliharaan, petugas wajib menggunakan peralatan perlengkapan keselamatan kerja yang sudah disediakan

2.2.1.1. Jenis-Jenis Pemeliharaan

Menurut (Hayusman, 2022) ada beberapa jenis pemeliharaan dan dibedakan menjadi beberapa bagian, sebagai berikut:

a. Pemeliharaan rutin (*Preventif maintenance*)

Pemeliharaan rutin adalah suatu kegiatan pemeliharaan yang sudah dilakukan proses perencanaan serta dapat dilakukan secara kontinyu agar hasil yang didapatkan adalah sistem yang baik atau menjaga sistem atau peralatan agar tetap dalam kondisi yang cukup baik dan optimal.

Adapun contoh yang ada untuk pemeliharaan rutin adalah sebagai berikut:

- Dilakukannya proses pengecekan instalasi listrik yang ada dengan infrared

- Pengukuran beban yang ada pada trafo distribusi 20 kV
- Pengukuran tegangan yang ada disetiap jurusan pada Papan Hubung Bagi Tegangan Rendah
- Pengujian *trip* pada PMT penyulang 20 kV di Gardu Induk, dsb.

b. Pemeliharaan khusus (*Corrective maintenance*)

Adalah pemeliharaan yang hanya dapat dilakukan ketika peralatan sudah mengalami kerusakan atau mengadakan perubahan atau penyempurnaan dari suatu sistem atau peralatan.

Adapun contoh dari pemeliharaan korektif adalah sebagai berikut:

- Perbaikan kondisi andongan kabel Jaringan Tegangan Menengah yang kurang sesuai standar atau rendah.
- Perbaikan titik *jointing* yang mengalami gangguan tau meledak.
- Penggantian *bushing* trafo distribusi yang mengalami kerusakan atau pecah.
- Penggantian tiang jaringan tegangan menengah atau tegangan rendah yang bengkok atau retak akibat tertabrak kendaraan.

c. Pemeliharaan *emergency* atau darurat

Merupakan pemeliharaan akibat dari peralatan yang rusak secara mendadak, tidak terencana, atau hal hal yang lain yang sifatnya berasal dari gangguan peralatan, untuk itu perlu dilakukan pengecekan dan pemeliharaan yang ada.

Adapun contoh pemeliharaan *emergency* adalah sebagai berikut:

- Penggantian atau perbaikan instalasi listrik atau gardu yang rusak akibat petir, banjir, atau huru hara.

2.2.1.2. Jadwal Pemeliharaan

Saat proses pelaksanaan pemeliharaan sangat diperlukan perencanaan dengan sangat matang dan baik. Untuk itu diperlukan observasi dan melakukan pengecekan history yang pernah dilakukan digardu tersebut, sehingga diharapkan nantinya ketika ada pemeliharaan selanjutnya akan didapatkan hasil yang lebih optimal.

Adapun kategori pemeliharaan yang akan dilakukan sesuai dengan jadwal yang ada dan jangka waktu yang berbeda-beda memiliki kategori sebagai berikut:

a. Pemeliharaan mingguan

b. Pemeliharaan bulanan

Berikut adalah contoh kegiatan pemeliharaan tiap bulan atau bulanan atau dilakukan dalam peralatan beroperasi adalah sebagai berikut:

- Perawatan tinggi permukaan minyak

Rutin melakukan pemeriksaan dan pengecekan level minyak trafo pada peralatan agar sesuai dengan batas normal level oli trafo

- Bushing Trafo

Melakukan kegiatan pemeriksaan bushing trafo secara rutin untuk memastikan apakah bushing trafo tersebut masih baik atau sudah retak, pecah, atau sudah terjadi kebocoran minyak

- Tangki radiator

Melakukan kegiatan pemeriksaan tangki radiator atau pendingin trafo apakah masih berfungsi secara normal atau sudah mulai ada suara – suara yang kurang normal

- Alat pemadam kebakaran

Melakukan kegiatan pengecekan alat pemadam kebakaran untuk mengetahui apakah alat tersebut masih bisa digunakan atau sudah mulai tidak bisa digunakan

- Pengukuran beban trafo

Melakukan kegiatan pengukuran tegangan yang ada di trafo tersebut serta pengukuran beban yang ditampung trafo yang dipelihara

c. Pemeliharaan tiga bulan atau triwulan

Pemeliharaan tiga bulan adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk melakukan pengecekan kondisi peralatan atau sistem yang ada, sehingga sistem yang terganggu dapat ditentukan lebih dini. Jadi, ketika ada bagian bagian sistem atau jaringan distribusi yang rawan gangguan bisa dilakukan mitigasi gangguan dengan baik.

Adapun kegiatan yang biasa dilakukan untuk membantu program pemeliharaan tiga bulan adalah sebagai berikut ini:

- Melakukan inspeksi jaringan SUTM yang ada dan memastikan sesuai dengan jarak aman minimal yangizinkan adalah 2 meter dari SUTM.

- Melakukan evaluasi hasil inspeksi dan melakukan perencanaan perbaikan atau pemeliharaan secepat mungkin.

d. Pemeliharaan enam bulan sekali atau semesteran

Pemeliharaan tiap enam bulan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi beban jaringan dan tegangan yang ada pada jaringan SUTR yang ada, sehingga hal ini sangat penting untuk menjaga penyaluran dan kualitas tegangan pada jaringan ujung di gardu distribusi untuk mencegah *drop voltage*. Adapun nilai toleransi tegangan yang masih diizinkan dari PLN adalah sebesar + 5 % untuk sisi pengirim dan -10 % untuk sisi penerima. Perbandingan beban untuk setiap fasanya pada setiap penyulang TR tidak kurang dari 90 %, 100 % dan 110 %, hal ini untuk menjaga adanya perbedaan nilai tegangan yang terlalu besar pada saat terjadi gangguan berupa putusnya kawat netral di jaringan TR.

Adapun kegiatan yang bisa dilakukan untuk pemeliharaan setiap enam bulan adalah sebagai berikut:

- Melakukan pengukuran beban setiap jurusan pada PHB-TR.
- Melaksanakan pengukuran tegangan ujung jaringan distribusi.
- Melakukan proses evaluasi dan melakukan tindak lanjut pekerjaan
- Melakukan proses pemeriksaan kondisi penghantar
- Melakukan proses pemeliharaan pada isolator jaringan SUTM
- Melakukan proses pemeriksaan kondisi tiang JTM

e. Pemeliharaan setahun atau tahunan

Pemeliharaan rutin setahun adalah kegiatan yang dilakukan untuk pemeriksaan sistem atau perbaikan peralatan. Kegiatan ini biasanya disesuaikan dengan skala prioritas peralatan tertentu. Pekerjaan perbaikan sistem atau jaringan yang sifatnya dapat mengurangi potensi gangguan biasanya akan didahulukan karena urgensinya. Pada proses pelaksanaannya. Proses pemeliharaan dapat dilakukan dalam kondisi bertegangan dan tidak bertegangan.

Berikut bagian – bagian sistem tenaga listrik yang rutin dilakukan pemeliharaan secara periodik adalah sebagai berikut:

- Peralatan JTM

- Gardu Distribusi 20 kV
- Peralatan yang ada pada JTR
- Alat Pengukur dan Pembatas berserta sambungan kabel SR

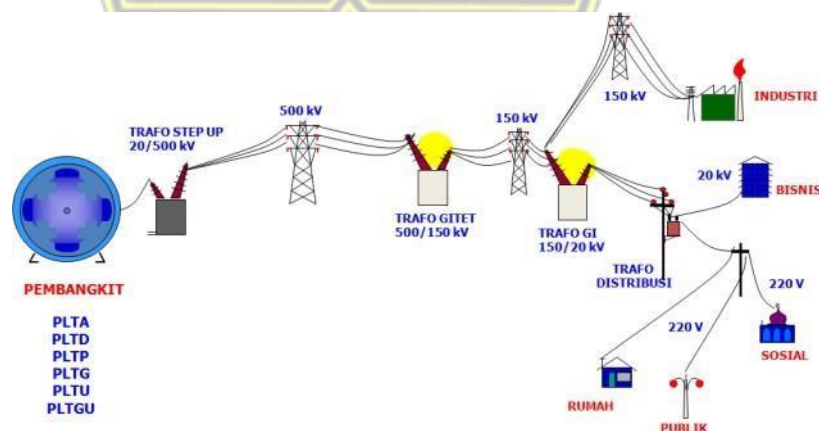
2.2.2. Sistem Tenaga Listrik

Menurut (Suripto, 2017) ada beberapa kategori sistem tenaga listrik sebagai berikut:

2.2.2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik

Skema sisten tenaga listrik adalah sebagai satu kesatuan yang sudah terdiri dari beberapa komponen yang digabungkan untuk memudahkan aliran informasi untuk mencapai suatu tujuan. Sebuah sistem yang sudah terdiri dari beberapa komponen penyusun yang dihubungkan sedemikian rupa dapat bekerja sesuai dengan fungsinya masing – masing untuk mencapai tujuan tertentu, jika dalam sistem tenaga listrik, maka yang akan dikatakan mengalir dalam sistem tersebut adalah tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa hal komponen, diantaranya adalah jaringan unit pembangkitan, sistem saluran transmisi, sistem gardu induk, dan jaringan distribusi yang sudah berhubungan sedemikian rupa guna melayani kebutuhan tenaga listrik untuk pelanggan sesuai dengan peruntukan dan kebutuhannya masing – masing, Adapun gambar dan garis besar sistem tenaga listrik dapat Digambarkan pada gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik

Menurut (Amin & Mustaqim, 2022) tenaga listrik ialah bentuk energi sekunder yang sudah dibuat sedemikian rupa untuk dibangkitkan, lalu ditransmisikan dan kemudian ditransmisikan kepada pelanggan atau konsumen untuk dimanfaatkan dalam segala keperluannya masing – masing. Sistem tenaga listrik merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang terdiri dari sistem pembangkitan, sistem penransmisian, dan sistem distribusi jaringan yang sudah terintegrasi dan berfungsi untuk memenuhi kebutuhan listrik kepada semua orang.

Sistem pembangkit tenaga listrik sendiri adalah rangkaian instalasi dari peralatan seperti generator yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dimana energi potensial tersebut mampu menggerakkan turbin kemudian putaran turbin tersebut merupakan energi mekanik yang digunakan untuk memutar generator listrik, generator listrik mampu mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik.

Sistem transmisi tenaga listrik sendiri ialah penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lain atau dari pembangkit ke gardu induk. Sebelum listrik tersebut ditransmisikan, untuk menyalurkan tegangan listrik perlu dilakukan penaikan tegangan yang disuplai dari generator pembangkit menjadi 70 kV, 150 kV, atau 500 kV hal ini dikarenakan tegangan yang keluar dari generator hanya berkisar 6.6 kV sampai 24 kV. Adapun tujuan menaikkan tegangan ini berfungsi mengurangi rugi daya pada saluran transmisi dan untuk mengimbangi jarak penyaluran energi listrik yang ada pada saluran transmisi. Energi listrik yang dipindahkan atau transmisikan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau melalui Saluran Udara Tegangan Esktra Tinggi (SUTET).

Sistem distribusi adalah proses penyaluran energi listrik dimana dari gardu induk ke konsumen atau pelanggan, terdapat dua sistem distribusi yang ada yaitu distribusi sekunder dan distribusi primer. Distribusi primer adalah penyaluran yang dimulai dari gardu induk 150 kV atau 70 kV ke 20 kV atau ke gardu distribusi dimana sisi primer trafo distribusi adalah 20 kV atau tegangan menengah. Dimana tegangan tinggi yang sudah diturunkan menjadi tegangan menengah 20 kV melalui trafo *step down* 150/20 atau 70/20 kV. Adapun distribusi sekunder adalah penyalurannya dimulai dari gardu distribusi 20 kV ke konsumen tegangan rendah

dengan *range* tegangan 380/220 Volt. Distribusi sekunder disalurkan oleh penyulang – penyulang dapat berupa saluran bawah tanah atau saluran udara. Penyulang distribusi terletak di gardu distribusi Adapun fungsi gardu distribusi tersebut adalah menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi tegangan sekunder sebesar 220/380 Volt.

Konsumen tenaga listrik disambung dari Jaringan Tegangan Rendah (JTR) melalui Saluran Rumah (SR). Dari SR, energi listrik masuk ke Alat Pembatas dan Pengukur (APP) terlebih dahulu sebelum memasuki instalasi rumah milik konsumen. APP berfungsi membatasi daya dan mengukur pemakaian energi listrik oleh konsumen.

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan langsung energi listrik ke pelanggan. Sistem distribusi pun terdiri dari sistem distribusi tegangan menengah dan sistem distribusi tegangan rendah. Distribusi tenaga listrik bisa diartikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang bisa menghubungkan antara pusat pembangkit tenaga listrik, transmisi tenaga listrik serta gardu induk dengan konsumen.

Sistem distribusi tenaga listrik bisa menjadi sarana yang baik untuk menyalurkan energi listrik ke pelanggan. Dalam proses penyaluran tersebut, harus diperhatikan pola pembebanan, kebutuhan dimasa mendatang, tantangan dimasa depan, kendala dan tentunya fungsi dari segi ekonomisnya.

2.2.2.2 Fungsi Komponen Sistem Tenaga Listrik

Berikut fungsi dari masing-masing komponen sistem tenaga listrik

1. Unit Pembangkit

Unit pembangkitan merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Adapun komponen tersebut adalah generator pembangkit yang digerakkan oleh turbin. Adapun fungsi dari unit pembangkitan adalah membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah energi primer menjadi energi listrik. Adapun contoh energi primer yang dirubah bisa berasal dari air, batu bara, panas bumi, minyak bumi, dan lain sebagainya.

2. Saluran transmisi

Saluran transmisi merupakan komponen yang sama pentingnya, saluran transmisi sendiri terdiri dari konduktor yang menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit menuju gardu induk atau pusat beban atau bahkan antar gardu induk. Saluran transmisi sendiri berfungsi untuk menyalurkan daya listrik atau energi listrik dari pusat pembangkitan ke gardu induk atau gardu induk menuju ke gardu induk lainnya.

3. Gardu Induk

Gardu induk merupakan salah satu komponen sistem tenaga listrik yang dimana didalamnya terdapat berbagai macam peralatan penghubung-pemutus atau *switching* tenaga listrik serta terdapat trafo *step down* yang terletak diantara saluran distribusi dan transmisi. Gardu induk ini memiliki peran mengatur tegangan sistem serta mengatur aliran tenaga listrik ke pelanggan atau tegangan 20 kV sesuai dengan kebutuhan masing – masing.

Jaringan distribusi merupakan komponen sistem tenaga listrik yang terdiri dari penghantar yang dibentang mulai dari gardu induk sampai dengan lokasi pelanggan. Jaringan distribusi berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu induk pusat beban ke lokasi konsumen/pelanggan energi listrik.

Sistem tenaga listrik mempunyai tujuan utama yaitu memenuhi kebutuhan energi listrik yang aman dan nyaman bagi konsumen/pelanggan sesuai kebutuhan, baik level tegangan, besar daya maupun jumlah energinya.

2.2.2.3 Level Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik

Menurut (Suripto, 2017) Pada sistem tenaga listrik, tegangan yang diperlukan pada setiap komponen pastinya berbeda – beda dan tidaklah sama, hal ini dikarenakan setiap komponen disesuaikan dengan fungsi dan kepentingannya masing – masing. Maka dari itu, setiap komponen tenaga listrik memiliki level tegangan kerja yang berbeda – beda, hal ini memiliki tujuan agar dalam proses penyaluran tenaga listrik bisa menjadi lebih ekonomis.

a. Tegangan Unit Pembangkit

Pada sistem yang digunakan di pembangkitan, level tegangan yang ada biasanya disesuaikan dengan kapasitas dan spesifikasi generator pembangkit yang

digunakan. adapun kisaran tegangan yang digunakan oleh generator pembangkit adalah 4.5 kV sampai dengan 20 kV, namun jika ada pembangkit dengan kapasitas yang lebih besar, biasanya menggunakan tegangan yang lebih tinggi. Hal ini bertujuan agar arus yang mengalir tidak terlalu besar, hal ini disebabkan karena besarnya arus yang mengalir akan berbanding terbalik dengan tegangannya. Semakin tinggi tegangan, maka semakin kecil pula arus yang mengalir. Apabila arus yang mengalir pada generator semakin kecil, maka luas penampang penghantar yang digunakan juga akan semakin kecil, sehingga ukuran generator dapat lebih kecil dan biaya yang dikeluarkan menjadi lebih kecil. Begitu juga dengan arus yang mengalir lebih kecil, maka rugi daya yang ada pada lilitan juga menjadi lebih kecil sehingga nilai yang dikeluarkan jauh lebih ekonomis.

Level tegangan pada pembangkit biasanya tidak terlalu tinggi, karena dengan semakin tingginya level tegangan yang ada pada generator, maka jumlah lilitan yang digunakan juga harus semakin banyak. Maka dengan semakin banyak jumlah lilitan yang ada pada generator pastinya akan membuat ukuran generator jauh lebih besar dan semakin berat, sehingga menjadi kurang efisien. Dengan adanya ukuran diameter generator yang besar dan berat hal ini tentunya akan menambah proses pengangkutan dan pemasangan generator menjadi lebih sulit dan tidak efisien. Adapun sebaliknya, dengan kapasitas generator yang relatif lebih kecil atau rendah biasanya menggunakan level tegangan yang jauh lebih rendah agar lebih ekonomis. Jika ada unit pembangkit akan dihungan dengan saluran transmisi yang memiliki level tegangan yang lebih tinggi, maka dibutuhkan juga peralatan *step up* tegangan yang berupa transformator *step up*.

b. Tegangan Saluran Transmisi

Sisten tegangan pada saluran transmisi sendiri menggunakan level tegangan yang lebih tinggi dari pada sistem yang ada pada di pembangkit. Hal ini dikarenakan fungsi saluran transmisi sendiri adalah menyalurkan energi atau daya listrik dari pusat pembangkit ke gardu induk. Sehingga hal yang sangat penting dan yang sangat perlu diperhatikan adalah sistem mampu menyalurkan daya dengan efisiensi yang tinggi dengan rugi rugi daya yang kecil. Maka dari itu, upaya yang dilakukan adalah menaikkan level tegangan agar arus yang mengalir pada saluran transmisi

menjadi lebih kecil. Ketika arus yang mengalir lebih kecil, maka rugi daya pada jaringan transmisi akan menjadi lebih sedikit. Sehingga proses penyaluran tenaga listrik akan menjadi jauh lebih efisien. Demikian juga dengan semakin kecil arus yang mengalir pada saluran transmisi, maka *drop* tegangan yang terjadi pada saluran akan jauh lebih kecil, sehingga tegangan yang ada pada ujung jaringan tidak mengalami *drop* tegangan yang terlalu rendah.

Meskipun demikian, semakin tinggi tegangan pada saluran transmisi, maka diperlukan juga peralatan dengan isolasi yang lebih tinggi dimana hal ini bisa menjadi harga yang dibeli jauh lebih mahal. Dan demi menjamin keselamatan dan keamanan lingkungan, maka diperlukan tower penyangga yang jauh lebih tinggi juga. Adapun tegangan yang ada pada saluran transmisi umumnya berkisar antara 70 kV sampai dengan 1000 kV. Saluran dengan tegangan diatas 500 kV akan lebih ekonomis bila digunakan untuk menyalurkan daya yang cukup besar dan jarak yang cukup jauh. Sedangkan untuk jarak yang dekat dan daya yang tidak terlalu besar maka biasanya digunakan tegangan yang lebih rendah agar biaya yang digunakan untuk proses pembangunan jauh lebih rendah.

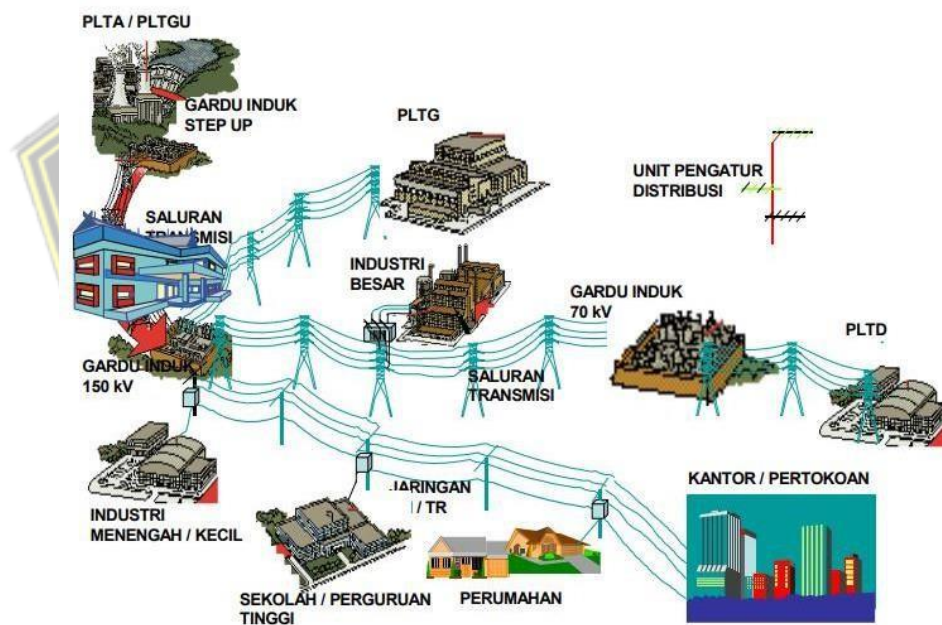
c. Tegangan Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi menggunakan level tegangan jauh lebih rendah dari saluran transmisi yang ada. Hal ini dikarenakan daya yang disalurkan akan jauh lebih kecil dan sistem jaringan distribusi biasanya sudah terletak di dekat pemukiman pelanggan, hal ini tentunya harus mempertimbangkan faktor keselamatan yang ada. Jaringan distribusi merupakan komponen sistem tenaga listrik yang menyalurkan sistem tenaga listrik langsung ke konsumen. Sehingga level tegangan yang dihasilkan menyesuaikan dengan kebutuhan pelanggan atau pengguna itu sendiri. Level tegangan jaringan distribusi yang sering digunakan ada dua macam, yaitu tegangan 220/380 Volt dan Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV. Dengan demikian diperlukan trafo distribusi yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari JTM 20 kV ke JTR 220/380 V. Adapun Jaringan Tegangan Menengah (JTM) biasanya digunakan untuk menghubungkan antara gardu induk ke beban yang memerlukan daya yang relatif besar, seperti rumah sakit, mall atau kampus yang biasanya memiliki daya di level tegangan menengah 20 kV. Sedangkan beban

rumah tangga, biasanya menggunakan daya yang relatif jauh lebih kecil dan dengan tegangan yang lebih rendah, yaitu 220/380 Volt.

2.2.2.4 Sistem Tenaga Listrik Terpisah dan Interkoneksi

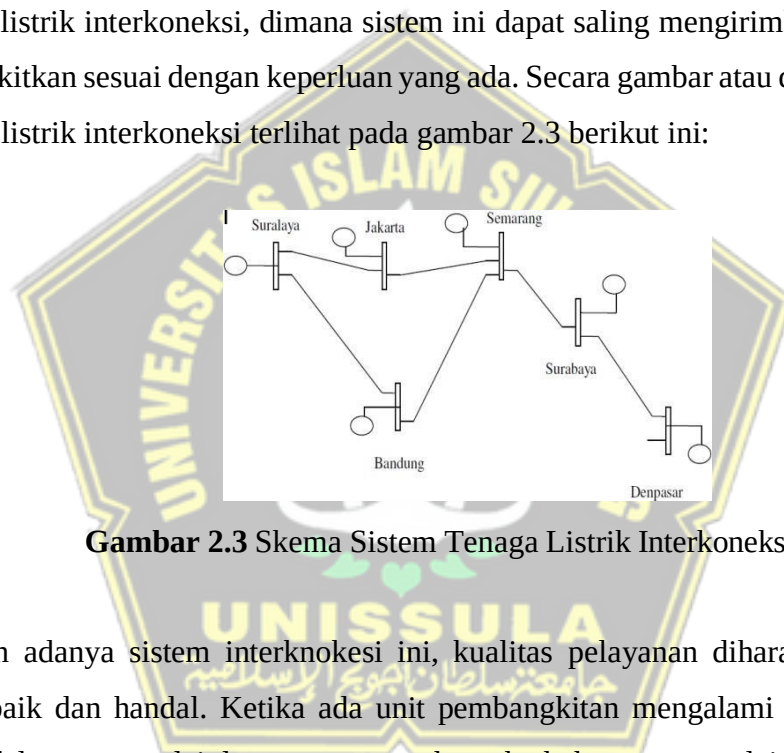
Menurut (Suripto, 2017) sistem tenaga listrik adalah sistem tenaga yang mempunyai satu buah unit pembangkitan, saluran transmisi, gardu induk, dan beberapa jaringan distribusi yang melayani beberapa pelanggan atau beban. Sistem tenaga listrik tidak berhubungan dengan sistem tenaga listrik yang lain atau disebut dengan *isolated*. Secara skematis, sistem tenaga listrik *isolated* seperti gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Gambar Ruang Lingkup Sistem Tenaga Listrik

Skema sistem tenaga listrik interkoneksi memiliki beberapa kelebihan yaitu biaya investasi yang relative lebih murah dan sistem pengelolaannya lebih sederhana, hal ini dikarenakan tidak diperlukannya saluran transmisi yang berperan sebagai penghubung dengan sistem yang lain dimana terkadang sistem tersebut memiliki jarak yang lebih jauh. Sistem tenaga listrik interkoneksi biasanya digunakan pada sistem tenaga listrik yang memiliki kapasitas daya yang cenderung kecil dengan jarang antar sistem yang cukup jauh. Kekurangan dari sistem ini

adalah kontinuitas pelayanan penyaluran tenaga listrik yang kurang baik, hal ini disebabkan jika dalam sistem pembangkitan terjadi gangguan atau saluran utama terjadi gangguan maka pelayanan ke pelanggan atau beban akan terganggu bahkan sampai tidak bisa disuplai sama sekali. Dengan demikian, ketika suatu sistem kekurangan daya, maka sistem interkoneksi tidak bisa membantu sistem yang lain. Pada kondisi *real* dilapangan, satu sistem interkoneksi biasanya terdiri lebih dari satu pembangkit yang saling terhubung untuk melayani kelistrikan atau beban yang ada pada lokasi yang berbeda – beda. Sistem tenaga inilah yang biasa sering disebut sistem listrik interkoneksi, dimana sistem ini dapat saling mengirimkan daya yang dibangkitkan sesuai dengan keperluan yang ada. Secara gambar atau diagram sistem tenaga listrik interkoneksi terlihat pada gambar 2.3 berikut ini:



Gambar 2.3 Skema Sistem Tenaga Listrik Interkoneksi

Dengan adanya sistem interkoneksi ini, kualitas pelayanan diharapkan menjadi lebih baik dan handal. Ketika ada unit pembangkitan mengalami gangguan dan gagal dalam mensuplai daya secara penuh, maka kekurangan suplai beban tersebut akan disuplai dari unit pembangkitan yang lain melalui saluran transmisi dimana saluran tersebut dipasang antar unit pengatur beban atau antar pembangkit. Meskipun biaya operasional dan investasi pembangunan yang ditimbulkan lebih besar serta pemeliharaan yang lebih rumit. Dengan demikian, dengan adanya sistem interkoneksi hanya layak digunakan pada sistem tenaga listrik dengan daya yang relative besar serta memiliki tingkat kehandalan pelayanan yang tinggi. Dengan adanya model pengembangan sistem interkoneksi yang ada bisa membuat pengaturan daya oleh pusat pengatur beban lebih ekonomis.

2.2.2.5 Sistem Kelistrikan di Indonesia

Menurut (Suripto, 2017) sistem kelistrikan yang ada di Indonesia dikelola oleh satu perusahaan, yaitu PT PLN(Persero), proses pelayanan ini meliputi dari unit pembangkitan sampai dengan proses penyaluran distribusi ke pelanggan yang ada. Adapun unit pembangkitan menggunakan beberapa bahan atau jenis energi primer diantaranya adalah : batu bara, BBM, gas alam, panas bumi, air/*hydro*, dan bahkan sumber energi baru terbarukan. Semua sumber atau bahan pembangkitan ini diolah sedemikian rupa dan secara terpadu demi bisa mendapatkan operasi sistem tenaga listrik yang optimal dengan mempertimbangkan kenyamanan lingkungan.

2.2.3. Gardu Distribusi Tenaga Listrik

Menurut (Hayusman, 2022) gardu distribusi tenaga listrik adalah suatu bangunan gardu distribusi listrik yang terdiri dari intaasi Transformator Distribusi, Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik pelanggan, baik untuk pelanggan tegangan menengah 20 kV atau pelanggan tegangan rendah 220/380 V.

Gardu distribusi dibedakan beberapa jenis yaitu sebagai berikut:

1. Jenis pemasangan

a. Gardu pasangan luar :

Gardu Portal dan Gardu Cantol

b. Gardu pasangan dalam :

Gardu Beton dan Gardu Kios

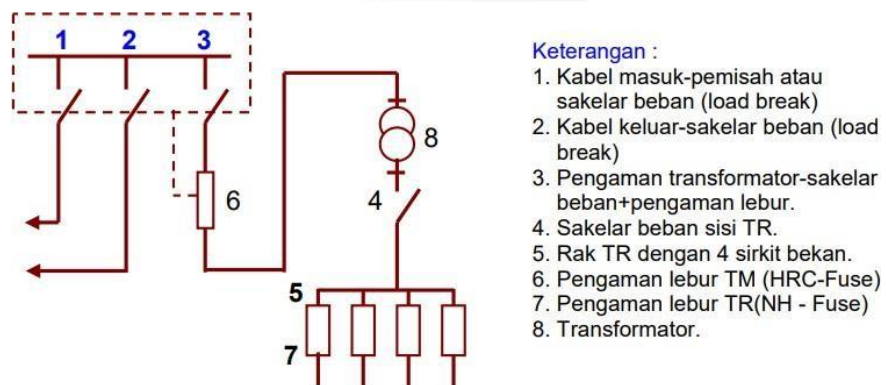
2. Jenis konstruksi

a. Gardu Beton.

Menurut (Wrahatnolo & Wrahatnolo, 2008) gardu konstruksi beton adalah gardu distribusi dimana adanya bangunan pelindung yang terbuat dari bahan beton. Gardu beton ini dikategorikan gardu jenis pasangan dalam, hal ini dikarenakan semua peralatan penghubung/ pemutus, pemisah, maupun transformator terletak di dalam bangunan. peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan trafo distribusi terletak di dalam bangunan beton. Proses pembangunan semua peralatan didesain dan diinstalasi sesuai dengan ukuran gardu. Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 adalah gambar sebuah gardu distribusi konstruksi beton beserta dengan *single line* gardu beton



Gambar 2.4 Gardu Distribusi (Gardu Beton)



Gambar 2.5 *Single Line* Gardu Beton

b. Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol

Menurut (Wrahatnolo & Wrahatnolo, 2008) gardu tiang adalah gardu distribusi dimana bangunan penyangganya terbuat dari tiang distribusi. Dimana letak trafo ini berada pada diatas tiang. Dikarenakan trafo tersebut diletakkan diatas tiang, gardu tiang hanya bisa melayani daya listrik dengan ukuran dan kapasitas terbatas. Dengan adanya berat trafo yang relatif berat dan dengan kekuatan tiang yang terbatas, maka terdapat kapasitas maksimum trafo pada gardu tiang yaitu berkisar 50 kVA sampai dengan maksimum 160 kVA. Adapun trafo gardu tiang ada 2 macam, yaitu trafo 1x3 fasa dan trafo 3x1 fasa mengikuti konfigurasi jaringan yang ada.

a) Gardu Tiang Tipe Portal

Gardu portal adalah gardu listrik distribusi dengan tipe pasangan luar atau *outdoor* dimana memakai tiang ukuran 2x500 daN, minimal diatas 3 meter untuk kedudukan trafonya. Gambar 2.6 gardu tiang tipe portal dan PHBTR yang dipasang pada jaringan 20 kV diperlihatkan sebuah gardu distribusi tipe portal lengkap dengan perlengkapan proteksinya dan panel papan hubung bagi tegangan rendah yang berada di bagian bawah tiang.



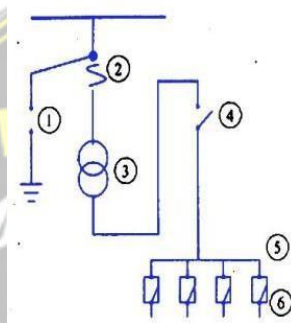
Gambar 2.6 Gardu Tang Tipe Portal dan Midel Panel

Adapun perlengkapan peralatan terdiri atas :

- Gardu Tiang Tipe Cantol

- *Lightning Arrester*
- *Cut Out*
- *Fuse Cut Out*
- Transformer kapasitas 250, 315, 400 VA
- Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah maksimal 4 jurusan
- Isolator tumpu atau tarik

Berikut gambar 2.7 *Single Line* gardu tiang tipe portal beserta keterangannya.



Gambar 2.7 Bangun Garis Gardu Tiang Tipe Portal

Keterangan Gambar 2.7 *Single Line* gardu Tiang Tipe Portal

1. *Fuse Cut Out*
2. *Lightning Arrester*
3. Trafo Distribusi
4. Sakelar PHBTR
5. Papan Hubung Bagi Tegangan Rendah
6. Sirkui Pengaman Lebur / NH Fuse

PHB TR bisa dipasang minimal 1,2 meter diatas permukaan tanah atau 1,5 meter untuk daerah yang rawan banjir. Pada beberapa lokasi gardu portal juga dipasang trafo arus untuk dilakukan pengukuran tegangan rendah pada pelanggan- pelanggan yang ada.

b) Gardu Tiang Tipe Cantol

- Bangunan Fisik Gardu Tipe Cantol

Gardu cantol adalah tipe gardu dengan transmormator yang ditempatkan diatas tiang listrik dengan besarnya kekuatan tiang minimal 500 daN.

- 1 set *fuse cut out*
- 1 set *lightning arrester*
- 1 PHBTR dengan 2 jurusan atau menggunakan CSP Transformator
- Sambungan Gardu Tiang Tipe Cantol

Gardu cantol dengan *Completely Self Protected* (CSP) untuk pelayanan 1 fasa.

Untuk pelayanan sistem 3 fasa memakai 1 buah trafo 3 fasa.

Instalasi yang ada pada gardu cantol adalah sebagai berikut:

- Instalasi *switch gear* tegangan menengah
- Instalasi *switch gear* tegangan rendah
- Instalasi trafo
- Instalasi pembumian
- Bangunan fisik gardu
- Instalasi kabel kontrol dan tenaga

Berikut gambar 2.8 gardu tiang tipe cantol menggunakan trafo yang terpasang pada jaringan 20 kV



Gambar 2.8 Gambar Gardu Tiang Tipe Cantol

c. Gardu Kios.

Menurut (Wrahatnolo & Wrahatnolo, 2008) gardu *metal clad* (gardu besi) Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari besi. Gardu besi termasuk gardu jenis pasangan dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan trafo distribusi terletak di dalam bangunan besi. Semua peralatan tersebut sudah di instalasi di dalam bangunan besi, sehingga dalam pembangunannya pelaksana pekerjaan tinggal menyiapkan pondasinya saja. Gambar 2.9 memperlihatkan sebuah gardu distribusi berupa gardu besi berbentuk kios.



Gambar 2.9 Gardu Kios

3. Jenis penggunaanya

- a. Gardu Pelanggan Umum
- b. Gardu Pelanggan Khusus

2.2.4. Kubikel 20 kV (PHB-TM)

Menurut (Hayusman, 2022) Kubikel sendiri adalah seperangkat peralatan kelistrikan yang biasanya dipasang pada penghubung, pengontrol, gardu induk, dan bisa sebagai proteksi yang ada pada sistem distribusi tegangan menengah atau 20 kV. Cara mengoperasikan kubikel sendiri ialah mengubah posisi keluar atau masuk alat kontak hubung bisa berupa PMT ataupun LBS yang ada di gardu induk, gardu distribusi, dan gardu hubung yang lainnya. Adapun fungsi dari kubikel itu sendiri adalah sebagai berikut:

- Sumber cadangan untuk acara tertentu atau pelanggan tertentu
- Mempermudah proses segmentasi dalam rangka pengusutan gangguan pada jaringan 20 kV
- Bisa digunakan untuk pengaturan beban, proses pengoperasian jaringan baru, dan pekerjaan pemeliharaan
- Mempermudah segmentasi dalam hal pengamanan jaringan bencana alam atau huru hara
- Untuk proses pengoperasian kubikel 20 kV bisa menggunakan cara proses *remote* jarak jauh atau pengoperasian secara *manual*

Berikut adalah gambar kubikel TM 20 kV yang ada pada gardu beton yang terpasang pada kubikel beton



Gambar 2.10 Kubikel TM

A. Bagian – bagian Kubikel

Menurut (Hayusman, 2022) Kubikel sendiri bisa terbagi menjadi 3 bagian, yaitu kubikel *Incoming*, *Metering*, dan *Outgoing*. Setiap kubikel dilengkapi dengan sistem pentanahan atau yang disebut *grounding*.

1. Sisi masukan (*Incoming*)

Kubikel ini berfungsi sebagai masuk atau sisi sumber dari suplai gardu tersebut, dimana kubikel ini memiliki indikator tegangan tiga fasanya dan menyala jika terdapat tegangan. Dan sebaliknya, apabila tidak ada tegangan yang masuk, maka indikator tegangan akan mati atau tidak menyala.

2. Metering

Kubikel *metering* adalah suatu bagian dari kubikel yang memiliki kemampuan untuk membaca pengukuran pada listrik, biasanya kubikel ini diletakkan pada sisi arah pelanggan. Dan kubikel ini dilengkapi dengan fungsi proteksi, dimana kubikel ini bisa *trip* ketika membaca arus gangguan. Adapun kubikel *metering* bisa membaca arus yang ada dan tegangan yang ada, fitur yang dimiliki kubikel ini cukup lengkap sampai dengan bisa dilakukan kendali jarak jauh atau *remote*

3. Sisi Keluaran (*Outgoing*)

Kubikel *outgoing* atau keluaran berfungsi sebagai tempat keluarnya tegangan menengah setelah melalui kubikel *incoming* dan *metering*. Didalam kubikel *outgoing* terdapat kontak *Disconnecting Switch (DS)*. Dan kubikel ini memiliki beberapa kompartemen bagian atas memiliki 10 kontak *grounding*. Untuk sistem pengoperasian kubikel bekerja secara *interlock* dimana dibagian bawah terdapat tuas yang akan menekan pegas yang ada didalamnya ataupun bisa dilakukan secara otomatis atau yang sering disebut dengan *motorize*

2.2.5. Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR)

Menurut (Amin & Mustaqim, 2022) sPanel Papan Hubung Bagi Tegangan Rendah atau PHBTR berfungsi sebagai penghubung dan pembagi tenaga listrik dari sisi tegangan rendah trafo ke rel pembagi dan kemudian diteruskan ke jaringan tegangan rendah 220/380 Volt melalui kabel *opstyg* yang memiliki alat proteksi NH Fuse pada jurusan masing – masing. Untuk menekan angka susut pada jaringan saat ini banyak unit di sisi PLN mengambil keputusan untuk melepas atau tidak menggunakan rangkaian pengukuran atau rangkaian kontrol yang ada, hal ini bertujuan agar tidak banyak energi listrik yang mengalir ke alat ukur dan terbuang secara tidak efektif. sedangkan untuk mengetahui besarnya beban maupun tegangan, dilakukan pengukuran pada saat diperlukan saja dan bisa menggunakan

peralatan ukur *portable* seperti AVO atau Tang Ampere saja. Berikut gambar 2.11 PHBTR yang ada pada gardu beton atau gardu pasangan dalam baik dengan model terbaru maupun model lama



Gambar 2.11 PHBTR

2.2.6. Transformator

Menurut (Amin & Mustaqim, 2022) transformator atau trafo ialah alat listrik yang mampu memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau beberapa rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain melalui kumparan magnet yang bergandengan dan menggunakan prinsip induksi-elektromagnetik. Trafo sendiri sangat banyak digunakan secara luas, bisa dalam hal elektronika ataupun kelistrikan. Penggunaan trafo sendiri dalam sistem tenaga listrik membuat lebih ekonomis untuk setiap keperluan seperti kebutuhan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Adapun dalam bidang elektronika, trafo digunakan untuk sebagai berikut:

- a. Berfungsi memisahkan satu rangkaian dari rangkaian lain
- b. Berfungsi untuk menghambat arus searah melakukan atau mengalirkan arus bolak balik
- c. Berfungsi menggabungkan impedansi antara sumber dan beban

Berdasarkan frekuensi, transformator dapat dikelompokkan menjadi:

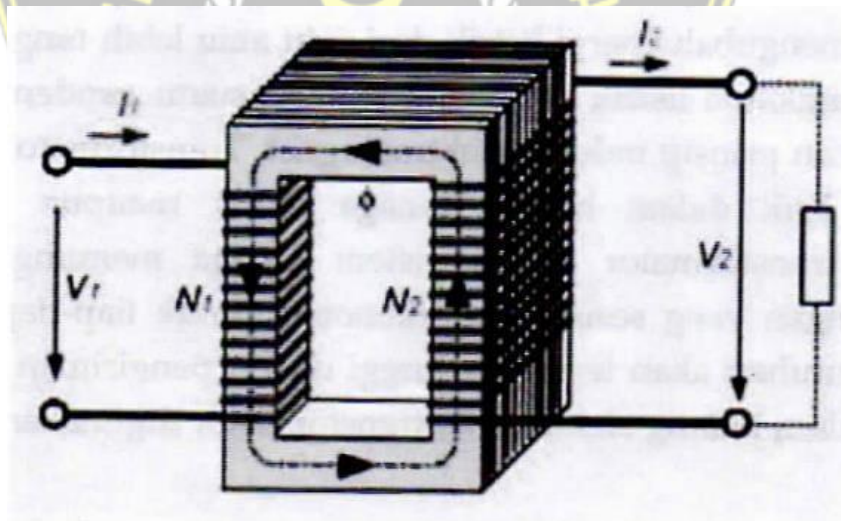
- a. Frekuensi daya, 50 sampai 60 Hz
- b. Frekuensi pendengaran, 50 Hz sampai 20 kHz
- c. Frekuensi radio, diatas 30 kHz

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

- a. Transformator daya
- b. Transformator distribusi
- c. Transformator pengukuran adalah trafo yang terdiri atas transformator tegangan dan arus

2.2.6.1. Konstruksi Transformator

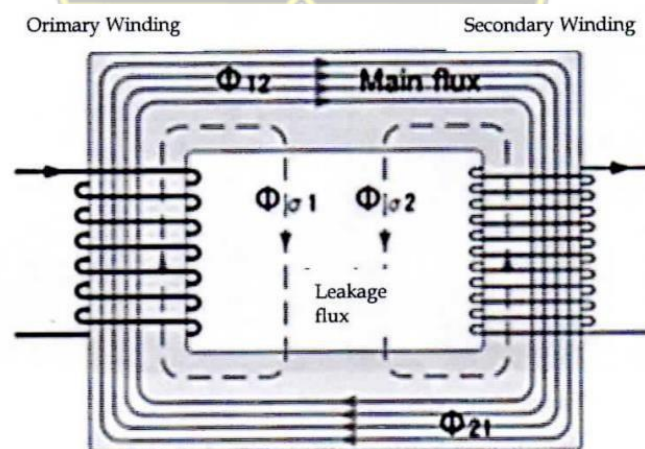
Konstruksi transformator dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Untuk tegangan masukan (V_1) berbentuk sinusoida yang dihubungkan pada belitan primer (N_1). Arus yang masuk atau (I_1) dapat mengakibatkan aliran fluks (ϕ) yang terdapat pada belitan (N_1) maupun belitan sekunder (N_2). Fluks pada belitan sekunder (N_2) menyebabkan arus keluar atau I_2 dan tegangan keluaran (V_2). Berikut gambar 2.12 konstruksi belitan yang ada pada transformator untuk menghasilkan tenaga listrik.



Gambar 2.12 Konstruksi Transformator

2.2.6.2. Cara Kerja Transformator

Cara kerja transformator bisa dijelaskan berdasarkan induksi elektromagnetik, dimana antara sisi primer dan sekunder terdapat penghubung magnetik. Dimana kedua magnet ini bisa berupa inti besi dimana bisa terjadi fluks. Medan magnet yang ada berperan sangat penting sebagai rangkaian dalam proses konversi energi. Lewat medan magnet, bentuk energi mekanik dapat diubah menjadi energi listrik, alat konversi ini biasanya disebut dengan generator atau untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik disebut dengan motor. Pada transformator, medan magnet berfungsi untuk memindahkan dan bisa mengubah energi listrik dari sirkuit primer ke sekunder dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Medan magnet juga mampu untuk menginduksi tegangan yang ada pada konduktor dan dari sisi mekanik, medan magnet bisa untuk menghasilkan kopel dan gaya. Adapun kelebihan dari medan magnet ini bisa sebagai proses konversi energi yang disebabkan karena bahan – bahan magnetic dimana hal ini sangat memungkinkan didapatkannya kerapatan energi yang cukup tinggi. Dengan adanya kerapatan energi yang cukup tinggi ini akan menghasilkan kapasitas tenaga per unit volume mesin yang tinggi juga. Sangat jelas disini bahwa medan magnet merupakan bagian penting dalam proses konversi energi listrik. Dengan adanya induktansi atau yang sering disebut dengan tegangan pada kumparan didefinisikan sebagai perubahan arus terhadap waktu yang bisa melewati kumparan tersebut. Berikut gambar 2.13 bentuk lilitan primer dan sekunder transformator



Gambar 2.13 Bentuk Lilitan Primer dan Sekunder Transformator

2.2.6.3. Ciri Khas Trafo Daya Pada Sistem Tenaga Listrik

Menurut (Suripto, 2017) ciri khas yang penting dalam trafo daya adalah tentang efisiensi dan regulasi. Efisiensi trafo sendiri berkaitan dengan perbandingan antara output daya trafo dengan input daya trafo. Sedangkan regulasi tegangan trafo adalah berkaitan dengan beda tegangan antara sekunder trafo pada saat berbeban penuh dengan tegangan saat tanpa adanya beban. Untuk memersingkat pembahasan, bisa diartikan bahwa trafo daya adalah trafo ideal dengan daya sistem tenaga listrik yang bekerja tanpa menimbulkan rugi daya dan turun tegangan. Trafo ideal dianggap bekerja tanpa adanya rugi daya, artinya daya output trafo sama dengan daya inputnya. Dengan tidak adanya turun tegangan pada kumparan primer tidak berkurang karena adanya tambahan beban. Pada trafo daya ada beberapa yang berlaku adalah sebagai berikut:

1. Daya output (P_{out}) sama dengan daya inputnya (P_{in}) atau $P_{out} = P_{in}$ (2.1)
2. Perbandingan antara tegangan sekunder (V_s) dengan tegangan primer (V_p) sama dengan perbandingan antara jumlah lilitan primer (N_p) dengan jumlah lilitan sekunder (N_s) atau $\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$ (2.2)
3. Perbandingan antara arus sekunder (I_s) dengan arus primer (I_p) sama dengan perbandingan antara tegangan primer (V_p) dengan tegangan sekunder (V_s) $\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s}$ (2.3) atau $\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$ (2.4) karena $P_{out} = P_{in}$ (2.1)

Trafo yang beroperasi secara ideal sebenarnya tidak ada. Hal ini disebabkan karena sebuah penghantar dialiri arus listrik, maka pada penghantar tersebut bisa terjadi turun tegangan atau drop tegangan (V_{drop}) dimana hasil kali impedansi (Z) dan arus (I) atau $V_{drop} = I \times Z$ (2.5). Impedansi trafo adalah gabungan antara nilai resistansi penghantar tembaga (R) dan nilai reaktansi lilitan (X) atau $Z = R + jX$ (2.6). Impedansi lilitan ini terdapat pada lilitan primer atau sekunder.

Impedansi lilitan inilah yang bisa menyebabkan adanya regulasi tegangan. Selain bisa terjadi drop tegangan, pada masing – masing belitan primer dan sekunder juga bisa menyebabkan terjadinya rugi daya atau *losses* sebesar hasil kali antara nilai hambatan dan kuadrat arusnya (I^2) yang disebut rugi tembaga atau Inilah yang menyebabkan adanya efisiensi trafo.

$$P = I^2 \times R \quad (2.7)$$

Pada saat trafo belum diberi beban, tidak ada arus yang mengalir pada lilitan sekunder, maka drop tegangan hanya terjadi pada belitan primer. Dan nilainya pun hanya kecil karena arus yang mengalir juga kecil. Ketika pada saat dibebani penuh, drop tegangan terjadi pada kedua lilitan dan nilainya cukup besar karena arus yang mengalir pada masing – masing lilitan juga cukup besar. Saat trafo berbeban penuh dengan saat trafo tanpa beban dibandingkan dengan tegangan saat trafo berbeban penuh dan terdapat perbedaan tegangan pada lilitan sekunder ini disebut dengan regulasi tegangan, regulasi tegangan sendiri dinyatakan dalam persentase.

$$\text{Regulasi tegangan} = \frac{V_o \text{ Tanpa Beban} - V_o \text{ Beban Penuh}}{V_o \text{ Beban Penuh}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Saat trafo beroperasi, daya output trafo selalu lebih kecil nilainya dari pada nilai outputnya. Hal ini terjadi karena dalam trafo terjadi rugi daya yang sebagian besarnya berubah menjadi panas, bila trafo beroperasi lebih lama, maka suhu yang dihasilkan akan naik lebih panas. Efisiensi adalah perbandingan antara daya output trafo dengan daya input trafo. Efisiensi ini dinyatakan dengan persentase. Semakin tinggi efisiensi trafo, maka kualitas trafo tersebut dinyatakan baik.

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Daya Output Trafo}}{\text{Daya Input Trafo}} \times 100\% \quad (2.9)$$

Rugi-rugi trafo terdiri dari rugi – rugi tembaga dan rugi – rugi inti besi. Besarnya rugi – rugi inti besi sendiri bisa dipengaruhi oleh tinggi rendahnya tegangan trafo sehingga pengoperasian nilai rugi – rugi masi relatif tetap. Sedangkan rugi – rugi tembaga dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada trafo, sehingga lebih besar juga beban trafo maka rugi – rugi trafo tembaganya semakin besar. Untuk medan magnet yang timbul pada belitan primer tidak sepenuhnya mengalir ke belitan sekunder artinya ada medan magnet yang bocor atau hilang. Tentunya hal ini akan menambah rugi daya trafo.

3.1.1.1. Komponen Transformator

Menurut (Amin & Mustaqim, 2022) transformator terdiri dari dua bagian, yaitu peralatan utama dan peralatan bantu. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut:

a. Bagian Utama

Peralatan utama transformator terdiri dari:

1) Inti Besi

Inti besi terbuat dari lempengan-lempengan *ferromagnetic* tipis yang berfungsi untuk mempermudah jalannya laju fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik melalui kumparan listrik. Inti besi juga diberikan isolasi yang bertujuan untuk mengurangi panas atau sebagai rugi – rugi besi yang ditimbulkan oleh *eddy current*.

2) Kumparan Transformator

Kumparan transformator terdiri dari beberapa kawat tembaga yang sudah diberi lapisan bahan isolasi, bahan isolasi sendiri bisa berupa karton, pertinax, dll. Hal ini bertujuan untuk memberikan isolasi terhadap inti besi maupun kumparan – kumparan yang lain. Untuk trafo dengan kapasitas yang besar, lilitan tersebut dimasukkan dilapisi dengan minyak trafo yang berperan sebagai pendingin trafo juga. Dengan semakin banyak jumlah lilitan maka akan mementtukan juga besarnya tegangan dan arus pada sisi sekunder. Adajuga trafo yang memiliki kumparan tersier yang berfungsi untuk memperoleh tegangan tersier untuk alat ataupun kebutuhan yang lain, Adapun cara penghubungan kumparan tersier tersebut menggunakan hubung delta. Kumparan tersier sendiri digunakan untuk

penyambungan peralatan bantu seperti kondesator *synchrone*, kapasitor, *shunt*, *reactor shunt*. Berikut gambar 2.14 kumparan trafo 20 kV.



Gambar 2.14 Kumparan Trafo

3) Minyak Transformator

Minyak trafo atau minyak transformator memiliki fungsi sebagai media isolasi sekaligus media pendingin pada trafo itu sendiri. Minyak trafo memiliki sifat media pemindah panas atau disebut disirkulasi dan mempunyai daya tegangan tembus yang tinggi. Pada trafo daya, khususnya yang memiliki kapasitas besar, kumparan dan inti besi terendam di dalam minyak trafo.

Adapun syarat suatu minyak atau cairan yang bisa dijadikan minyak trafo adalah sebagai berikut ini:

a) Berat jenis yang kecil

Hal ini berfungsi agar partikel – partikel *inert* didalam minyak mampu mengendap lebih cepat.

b) Memiliki ketahanan isolasi yang tinggi ($>10\text{kV/mm}$)

c) Memiliki kemampuan titik nyala yang tinggi

Hal ini bertujuan agar tidak mudah menguap sehingga tidak membahayakan lingkungan dan petugas

d) Memiliki Viskositas yang rendah

Hal ini bertujuan agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik

e) Tidak memiliki kemampuan merusak bahan isolasi yang sifatnya padat

f) Memiliki sifat kimia yang stabil

4) *Bushing*

Bushing adalah sebuah konduktor yang memiliki kemampuan menghubungkan kumparan transformator dengan jaringan luar. *Bushing* sendiri biasanya diselubungi dengan isolator dan berfungsi sebagai penghantar tersebut dengan tangki trafo. *Bushing* juga memiliki fungsi sebagai pengaman dari arus hubung singkat antara penghantar yang bertengangan dengan *body* trafo. Berikut gambar

2.15 *bushing* trafo 20 kV



Gambar 2.15 *Bushing* Transformator

5) Tangki Konservator

Tangki konservator pada umumnya adalah bagian – bagian dari trafo yang terendam minyak trafo dan ditempatkan di dalam rangka baja. Rangka trafo – trafo distribusi 20 kV biasanya dilengkapi dengan sirip – sirip pendingin yang memiliki fungsi memperluas dinding rangka, sehingga ketika trafo mengalami panas penyaluran panas semakin lebih baik dan efektif untuk menampung pemuai trafo. Biasanya rangka dilengkapi dengan konservator

b. Peralatan Bantu

1) Pendingin

Pendingin yang terdapat pada inti besi serta kumparan akan panas ketika kondisi berbeban sehingga akan menimbulkan rugi – rugi tembaga dan rugi – rugi besi. Jika panas tersebut mampu menghasilkan kenaikan suhu yang signifikan, maka trafo perlu dilengkapi dengan sistem pendingin yang berupa: udara/gas, minyak, atau air.

2) Tap Changer

Tap changer adalah sebuah peralatan yang memiliki fungsi untuk merubah kedudukan sadapan agar mendapatkan tegangan *output* yang lebih stabil walaupun beban berubah – ubah atau tidak stabil. *Tap changer* biasanya diletakkan dengan posisi tegangan primer dari trafo. *Tap changer* dapat dioperasikan dengan dua cara, yaitu dalam keadaan berbeban (*on-load tap changer*) atau dalam keadaan yang tidak berbeban (*off load tap changer*).

3) Alat Pernapasan (*Dehydration Breathe*)

Alat pernapasan yang ada pada trafo dapat berupa saringan *silica gel* yang mampu menyerap air dengan baik. Dengan adanya pengaruh dinamika beban trafo yang naik turun, ataupun suhu udara *external*, maka suhu minyak didalam trafo pun akan berubah – ubah mengikuti keadaan yang ada. Jika suhu minyak dalam trafo naik atau tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara yang ada di atas permukaan minyak bisa keluar dari dalam tinggi melalui Menara PRV. Dan hal ini berlaku sebaliknya, jika suhu minyak dalam trafo turun, maka minyak akan menyusut sehingga udara dari luar akan masuk kedalam tangki. Inilah yang dinamakan proses pernapasan trafo. Permukaan atas pada minyak trafo akan selalu bersinggungan dengan udara luar yang bisa menurunkan nilai tegangan tembus dari minyak trafo itu sendiri. Maka dari itu, biasanya pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan tabung berisi dengan kristal zat *hygroskopis*.

4) Indikator – indicator

Indikator indikator ini cukup penting digunakan untuk pengawasan trafo ketika dalam keadaan beroperasi. Adapun indikator yang ada pada transformator tersebut adalah sebagai berikut:

a) Indikator suhu minyak trafo

- b) Indikator level minyak trafo
- c) Indikator sistem pendingin/*cooling system* trafo
- d) Indikator *tap changer*
- c. Peralatan Proteksi

Peralatan proteksi pada trafo sangat penting sekali perannya dalam menjaga trafo agar memiliki usia pakai yang panjang. Adapun fungsinya adalah sebagai pengaman trafo dari potensi gangguan yang bersifat elektrik, fisis, maupun kimiawi

- a) *Relay Bucholz*
- b) Pengaman Tekanan Lebih / *overpressure*
- c) Rele Beban Lebih / *overcurrent relay*
- d) *Lighting Arrester*

3.1.1.2. Transformator Daya

Menurut (Amin & Mustaqim, 2022) transformator daya adalah transformator yang berfungsi sebagai penyalur tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam proses operasi penyaluran tenaga listrik, transformator adalah sumber utama dari jaringan transmisi dan distribusi. Untuk itu sangat penting sekali trafo ini dapat beroperasi secara optimal dan baik.

Berdasarkan tegangan operasi yang ada, trafo daya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150 /70 kV atau juga yang biasanya disebut dengan *interbus transformer (IBT)*. Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV biasanya disebut dengan transformator distribusi. Titik netral trafo ditanahkan sesuai dengan standar yang ada agar menjadi pengaman trafo saat terjadi arus hubung singkat. Adapun pembagian transformator daya menjadi beberapa jenis sebagai berikut ini:

- 1) Transformator Mesin
- 2) Transformator Gardu Induk
- 3) Transformator Distribusi

3.1.1.3. Transformator Ukur

Menurut (Amin & Mustaqim, 2022) transformator ukur memiliki desain yang dikhususkan untuk pengukuran dalam sistem daya yang ada. Transformator ini banyak sekali digunakan dalam sistem daya dan memiliki banyak keuntungan, diantaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Mampu memberikan isolasi *electric* yang baik bagi sistem daya
- 2) Memiliki ketahanan yang baik ketika ada beban dengan berbagai tingkatan
- 3) Memiliki tingkat kehandalan yang tinggi

Adapun keuntungan lain dari transformator ukur adalah lebih sederhana dalam hal desain dan harga lebih murah.

Adapun transformator pengukuran terdiri dari berikut ini:

- 1) Transformator tegangan atau *Voltage Transformator* (VY) atau *Potential Transformator* (PT)
- 2) Transformator arus atau *Current Transformator* (CT)

3.1.1.4. Transformator Arus

Menurut (Amin & Mustaqim, 2022) Ada 2 jenis transformator yang dapat digunakan untuk menurunkan tegangan AC dan salah satu jenisnya adalah trafo CT. Perbedaan trafo CT dan trafo biasa adalah adanya titik netral atau tengah yang memiliki sifat sebagai pentanahan lilitan sekunder trafo CT.

3.1.1.5. Jenis – jenis Transformator

Menurut (Amin & Mustaqim, 2022) jenis – jenis transformator adalah sebagai berikut:

a. *Step Up*

Transformator *step up* adalah sebuah trafo yang memiliki lilitan sekunder yang jauh lebih banyak dari pada lilitan primer, hal ini berfungsi sebagai penaik tegangan. Trafo ini biasanya terdapat di unit pembangkit tenaga listrik yang bekerja menaikkan tegangan yang dihasilkan dari generator menjadi tegangan tinggi dan kemudian disalurkan oleh saluran transmisi jarak jauh.

b. *Step Down*

Transformator *step down* memiliki jumlah lilitan primer yang jauh lebih banyak daripada lilitan sekunder yang ada. Trafo ini berfungsi sebagai penurun tegangan. Trafo ini juga cukup mudah ditemukan, terutama dalam peralatan adaptor AC/DC

c. Autotransformator

Autotransformator terdiri dari satu lilitan berlanjut secara listrik dengan sadapan tengah. Dalam trafo ini, Sebagian lilitan di sisi primer adalah lilitan sekunder juga. Arus dalam lilitan sekunder memiliki karakter berlawanan dengan arus primer, sehingga dengan daya yang sama dengan lilitan sekunder mampu dibuat dengan penghantar yang jauh lebih tipis dibanding dengan trafo biasa. Adapun keuntungan dari autotransformator adalah ukuran yang jauh lebih kecil, dan rugi – rugi yang jauh lebih rendah dengan trafo dua jenis lilitan. Trafo ini memiliki kelemahan yaitu tidak mampu memberikan isolasi secara listrik antar lilitannya serta trafo ini tidak bisa digunakan sebagai trafo penaik tegangan lebih dari beberapa kali lipat(biasanya tidak bisa lebih dari 1.5 kali). Berikut adalah gambar 2.16 transformator distribusi 20 kV yang dipasang di gardu distribusi 20 kV pasangan dalam.



Gambar 2.16 Transformator Distribusi 20 kV

Berikut gambar 2.17 nameplate trafo

Gambar 2.17 Gambar Nameplate Trafo UGB



Berikut tabel 3.1 Spesifikasi Transformator Distribusi Fase-Tiga Sesuai SPLN 50 Tahun 1997

Tabel 3.1 Spesifikasi Transformator Distribusi Fase-Tiga Sesuai SPLN 50 Tahun 1997

Spesifikasi Transformator Distribusi fase - tiga

Uraian	Satuan	Spesifikasi Transformator Distribusi jenis pasangan luar/dalam, pendinginan ONAN															
Daya pengenal	kVA	25	50	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Jumlah fase	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Frekuensi pengenal	Hz	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Tegangan primer pengenal	kV	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tegangan sekunder pengenal (beban nol)	V	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Kelompok vektor *)	-	Yzn5	Yzn5	Yzn5	Yzn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5
Tegangan uji impuls	kV	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Tegangan uji terapan	kV	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Kelas isolasi	kV	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Kelas suhu isolasi	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Kenaikan suhu maks. belitan	K	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Kenaikan suhu maks. minyak	K	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Suhu titik panas	°C	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Pensadapan primer	%	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10	± 5, ± 10
Impedansi	%	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,5	5	5,5	6	7	7
Rugi besi	W	75	150	300	400	480	600	770	930	1100	1300	1750	2300	2500	3000	3600	4000
Rugi belitan (rugi beban)	W	425	800	1600	2000	2500	3000	3900	4600	5500	6500	9100	12100	15000	18100	21000	25000
pada beban pengenal pada 75 °C																	
Rugi total pada 75 °C	%	2,00	1,90	1,90	1,50	1,49	1,44	1,48	1,38	1,32	1,24	1,36	1,44	1,40	1,32	1,23	1,16
Arus beban nol	%	2,4	2,3	2,3	2,3	2,2	2,1	2	1,9	1,9	1,8	2	2	2	2	2	2
Efisiensi pada 75 °C																	
Faktor daya 1 Beban 100 %	%	97,90	98,13	98,13	98,52	98,53	98,58	98,54	98,64	98,70	98,78	98,66	98,50	98,60	98,68	98,78	98,85
Beban 75 %	%	98,22	98,42	98,42	98,74	98,76	98,79	98,76	98,84	98,89	98,96	98,87	98,00	98,82	98,88	98,98	99,04
Beban 50 %	%	98,44	98,62	98,62	98,89	98,91	98,93	98,90	98,97	99,02	99,08	99,00	90,95	98,98	99,03	99,12	99,19
Beban 25 %	%	98,22	98,42	98,42	98,70	98,74	98,75	98,72	98,79	98,86	98,93	98,85	98,79	98,85	98,98	99,02	99,20
Faktor daya 0,8 Beban 100 %	%	97,39	97,68	97,68	98,16	98,17	98,23	98,18	98,30	98,30	98,48	98,33	98,23	98,26	98,36	98,48	98,57
Beban 75 %	%	97,79	98,04	98,04	98,44	98,45	98,50	98,46	98,56	98,62	98,71	98,59	98,51	98,54	98,62	98,73	98,81
Beban 50 %	%	98,06	98,28	98,28	98,61	98,62	98,67	98,63	98,72	98,78	98,85	98,76	98,69	98,73	98,79	98,90	98,98
Beban 25 %	%	97,79	98,04	98,04	98,38	98,39	98,45	98,42	98,50	98,58	98,66	98,57	98,50	98,57	98,63	98,79	98,90
Pengaturan pada beban penuh																	
Faktor daya 0,8	%	3,60	3,50	3,50	3,31	3,31	3,28	3,3	3,25	3,22	3,17	3,65	3,93	4,25	4,52	5,11	5,08
Faktor daya 1,0	%	1,86	1,67	1,67	1,32	1,32	1,27	1,31	1,22	1,17	1,11	1,37	1,33	1,34	1,3	1,29	1,24

*) Untuk pasangan fase-tiga, 4 kawat kelompok vektor yang digunakan adalah YNyn 0
 Untuk transformator pembangkit kelompok vektor yang digunakan adalah YNd5

3.1.2. Kualitas dan Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Menurut (Suripto, 2017) sistem tenaga listrik memiliki tujuan utama yaitu melayani setiap kebutuhan yang ada pada konsumen listrik. Konsumen pastinya ingin sekali tenaga listrik yang diterima dapat sesuai dengan kebutuhannya masing – masing. Untuk itu, sudah seharusnya pengelola tenaga listrik dapat mengupayakan penyaluran tenaga listrik sebaik mungkin, untuk itu diperlukannya peningkatan dan jaminan pelayanan listrik dengan standar yang baik serta diperlukannya aturan atau standar pelayanan agar pengelola tenaga listrik dapat mengetahui bahwa konsumen sudah diberikan layanan tenaga listrik sesuai dengan

standar pelayanan yang ada. Begitu juga sebaliknya, konsumen dapat mengetahui bahwa yang didapatkan sudah memenuhi standar atau belum. Apabila konsumen merasa belum menerima penyaluran tenaga listrik belum sesuai standar, maka konsumen dapat meminta agar dilakukan perbaikan kualitas pelayanan penyaluran tenaga listrik. Adapun standar pelayanan untuk diberikan kepada konsumen adalah tentang kualitas dan keandalan. Keandalan sendiri adalah standar pelayanan yang berkaitan dengan keberlangsungan pelayanan tenaga listrik kepada konsumen. Sedangkan kualitas sendiri adalah berkaitan dengan nilai tegangan yang stabil dan frekuensi yang sampai ke sisi konsumen. Dengan tingkat kehandalan dan kualitas tenaga listrik yang baik dan tinggi, maka konsumen dapat menggunakan energi listrik secara kontinyu, aman, dan nyaman. Namun, jika kehandalan dan kualitas penyaluran tenaga listrik kurang baik, akan menyebabkan gangguan pada produktivitas konsumen yang ada, khususnya bagi pelanggan industry. Bahkan dapat memperpendek umur peralatan yang ada.

3.3.2.1 Keandalan Distribusi Tenaga Listrik

Menurut (Suripto, 2017) jaringan distribusi adalah komponen yang paling dekat dengan pelanggan, bahkan berhubungan langsung dengan pelanggan. Kualitas jaringan distribusi sangat krusial perannya dalam menjaga kualitas tenaga listrik yang sampai ke pelanggan. Keandalan sistem distribusi sendiri merupakan standar pelayanan penyaluran tenaga listrik dimana komponen utamanya adalah seberapa sering pemadaman atau pemutusan aliran listrik terjadi ke sisi pelanggan.

Adapun proses pemadaman tenaga listrik ada dua macam, yaitu pemadaman direncanakan dan tidak direncanakan. Untuk pemadaman terencana adalah kegiatan yang sifatnya pemeliharaan rutin jaringan, konfigurasi jaringan, perluasan jaringan, ataupun pemadaman bergilir. Hal ini mengakibatkan kerugian disisi pelanggan dan dapat diminimalisir dengan cara memberikan pembangkit cadangan yang bisa diopeprasikan ketika terjadi pemadaman.

Pemadaman yang tidak direncanakan biasanya terjadi karena adanya gangguan sistem. Baik gangguan dari dalam sistem itu sendiri atau dari luar sistem itu sendiri. Gangguan dari dalam sistem biasanya terjadi karena adanya kerusakan

peralatan, akibat beban lebih. Hal ini dapat merugikan sisi konsumen dan jauh lebih besar kerugiannya karena biasanya memakan waktu yang lebih lama untuk proses perbaikan atau pemulihannya. Untuk mengatasi hal seperti ini diperlukannya alat pengaman yang lebih baik dan bisa bekerja secara otomatis untuk mengamankan gangguan atau meminimalisir dampak yang terjadi. Sehingga ketika terjadi gangguan bisa dilakukan lokalisasi sekecil mungkin pelanggan yang terdampak.

Adapun parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kehandalan adalah seberapa seringnya terjadi pemadaman atau frekuensi padam dan seberapa lama durasi padam yang ada dan terjadi. Parameter ini biasanya dijadikan indeks yang bisa dihitung secara rata-rata dalam jangka waktu satu tahun. Ada juga beberapa indeks yang bisa menentukan tingkat kehandalan suatu sistem distribusi diantaranya adalah SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, dan ASUI

3.1.3. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

Menurut (Suripto, 2017) SAIDI ini adalah seberapa lama durasi pemadaman rata-rata yang dialami tiap pelanggan dan jangka waktu setahun.

$$SAIDI = \frac{\text{Total Durasi Pemadaman}}{\text{Total Jumlah Pelanggan Yang Dilayani}} \quad (2.10)$$

3.1.4. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

Menurut (Suripto, 2017) SAIFI adalah frekuensi rata-rata pemadaman tiap pelanggan yang dihitung rata-rata selama satu tahun.

$$SAIFI = \frac{\text{Total Frekuensi Pemadaman}}{\text{Total Jumlah Pelanggan Yang Dilayani}} \quad (2.11)$$

Besaran nilai SAIFI sendiri dapat menggambarkan besarnya atau kali frekuensi padam sistem distribusi secara keseluruhan yang ditinjau dari sisi pelanggan.

3.1.5. ENS (*Energy Not Supply*)

ENS atau *Energy Not Supply* adalah besaran energi listrik yang tidak terpakai atau dimanfaatkan dan hal ini biasanya dikarenakan oleh gangguan atau pemeliharaan dengan durasi waktu tertentu. ENS ini juga dipengaruhi oleh 3 faktor, yaitu gangguan, pemeliharaan, serta bencana alam/ *force majeure*

Secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad (2.12)$$

$$ENS = P \times h \quad (2.13)$$

Keterangan :

P : Daya Nyata (Watt)

V : Tegangan (V)

I : Arus (Ampere)

H : Waktu (Jam)

3.1.6. Cara Minim Padam / Jaringan Distribusi NET

Menurut (Wrahatnolo & Wrahatnolo, 2008) adalah gabungan dari beberapa jaringan tipe *mesh*, dimana hal ini terdapat lebih dari satu sumber sehingga bisa berbentuk saluran interkoneksi. Jaringan ini kurang lebih berbentuk jarring – jarring, dimana merupakan kombinasi antara jaringan *radial* dan *loop*. Titik beban ini biasanya memiliki banyak opsi penyulang, sehingga ketika salah satu penyulang terganggu dapat segera menggunakan saluran yang lain. Untuk itu kontinuitas penyaluran jaringan dan daya listrik sangat terjamin.

Kekurangan dan Kelebihan Jaringan *net* ini adalah:

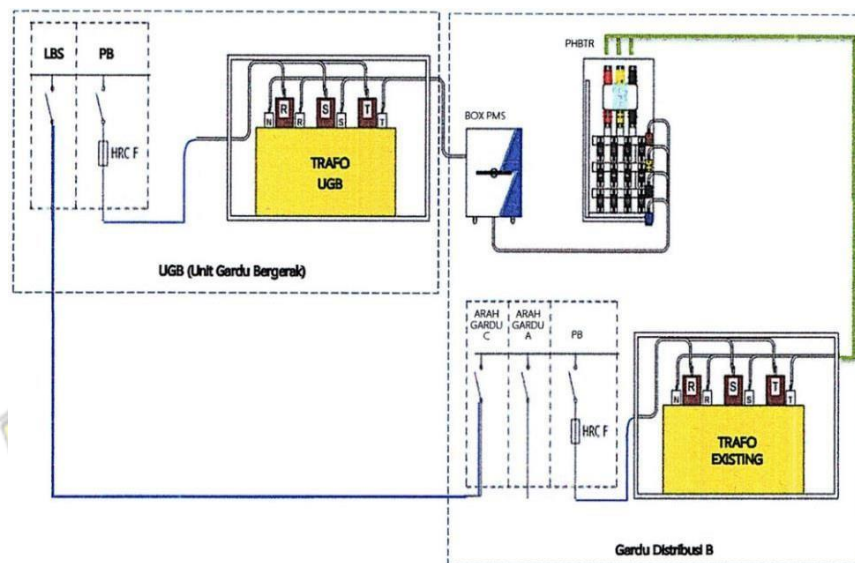
Kekurangan:

- 1) Memelukan biaya investasi yang tinggi
- 2) Memerlukan orang dengan ketrampilan khusus dalam pengoperasiannya
- 3) Memerlukan perencanaan dan koordiasi yang teliti serta rumit

Kelebihan

- 1) Kualitas tegangan yang baik, rugi daya yang dihasilkan menjadi kecil
- 2) Penyaluran yang secara terus menerus, sehingga kontinuitas ke pelanggan terjamin
- 3) Memiliki bentuk paling fleksibel dalam mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban

Dengan kekurangan dan kelebihan tersebut, bentuk ini hanya cocok untuk melayani daerah dengan beban yang memerlukan tingkat kehandalan tinggi dan kontinyuitas yang baik. Diantaranya adalah: pusat sarana komunikasi dan perhubungan, fasilitas militer, objek vital, rumah sakit, dan lain sebagainya. Berikut gambar 2.18 mengenai alur pemeliharaan minim padam yang dilakukan



Gambar 2.18 Alur Pemeliharaan Minim Padam

Untuk perhitungan kapasitas trafo pada gardu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad (2.14)$$

$$S = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \quad (2.15)$$

$$\text{Kerugian Energi} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \times t \quad (2.16)$$

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{\text{Daya Beban (kVA)} \times 1000}{\text{Rating Transformator (kVA)} \times 1000} \quad (2.17)$$

$$\text{Rugi Total} = \text{Rugi Tembaga} + \text{Rugi Besi} \quad (2.18)$$

3.1.7. UGB (Unit Gardu Bergerak) / Gardu Mobil

Menurut (Wrahatnolo & Wrahatnolo, 2008) Yaitu adalah suatu gardu distribusi 20 kV yang memiliki bangunan dan diletakkan diatas mobil dan hal ini sangat mungkin untuk bisa berpindah – pindah tempat sesuai dengan kebutuhan

dilapangan. Untuk itu, umumnya penggunaan UGB ini hanya bersifat sementara untuk pekerjaan darurat atau pemeliharaan minim padam atau juga untuk melayani kebutuhan daya yang sifatnya temporer.

Secara umum, ada dua jenis gardu mobil, yaitu gardu dengan mobil jenis pasangan luar, biasanya diletakkan diatas mobil trailer, sehingga memiliki bentuk fisik yang lebih besar dan kapasitas besar serta terdapat peralatan pemisah, pemutus, atau trafo distribusi yang tampak dari luar. Adapun jenis pasangan dalam ini biasanya diletakkan di dalam mobil box dimana semua peralatan terdapat didalam box yang ada.

Berikut gambar 2.19 adalah gardu *mobile* atau UGB yang digunakan untuk pemeliharaan minim padam yang ada



Gambar 2.19 Gardu *Mobile* (UGB)

BAB III

METODE PENELITIAN

SIMULASI LAPANGAN

3.1. Gambaran Umum Sistem

Pada penelitian kali ini, metode penelitian yang digunakan adalah simulasi langsung dilapangan. pembuatan pemeliharaan gardu dan kubikel 20 kV menggunakan cara minim padam. Dengan tujuan adanya penelitian yaitu dapat memudahkan pelaksanaan pekerjaan di lapangan serta meningkatkan kinerja yang ada, sehingga ketika pekerjaan dilaksanakan, pemeliharaan dapat menjadi lebih efektif karena pelanggan hanya sebentar merasakan padam. Pekerjaan Alat ini diaplikasikan pada saat pelaksanaan pemeliharaan trafo tenaga yang mana dapat menambah efektifitas pelaksanaan pengujian terutama dalam sisi waktu pelaksanaan dan membuat efektif pekerjaan. Metode penelitian yang di susun pada bab ini diantaranya adalah penjelasan kebutuhan peralatan sumber data penelitian, Langkah pekerjaan dan hasil penelitian.

3.2. Tahapan Penelitian

Pada sub bab ini dibahas mengenai tahapan alur penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan tahapan penelitian yang dilakukan :

1. Studi Literatur

Tahap studi literatur adalah tahap dimana dilakukannya pencarian informasi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan melalui sumber berupa buku, jurnal, karya tulis ilmiah dan juga skripsi tugas akhir atau penelitian yang sesuai dengan topik permasalahan pemeliharaan gardu dan kubikel 20 kV dengan menggunakan cara minim padam.

2. Penentuan Tujuan Penelitian

Penentuan tujuan penelitian dilakukan untuk mengetahui arah dalam pelaksanaan penelitian dan juga laporan hasil penelitian.

3. Persiapan Langkah – Langkah Pekerjaan

Persiapan pekerjaan dan Langkah – Langkah pekerjaan apa saja yang diperlukan, peralatan apa saja yang dibutuhkan, baik dari komponen digardu ataupun peralatan yang ada di UGB atau UTB.

4. Pelaksanaan Pekerjaan

Pada tahapan kali ini dilakukan dengan cara melaksanakan pekerjaan dan mempersiapkan peralatan apa saja. Dan ada alur flowchart yang akan dibuat agar pekerjaan bisa dikerjakan sesuai dengan SOP serta instruksi kerja yang ada.

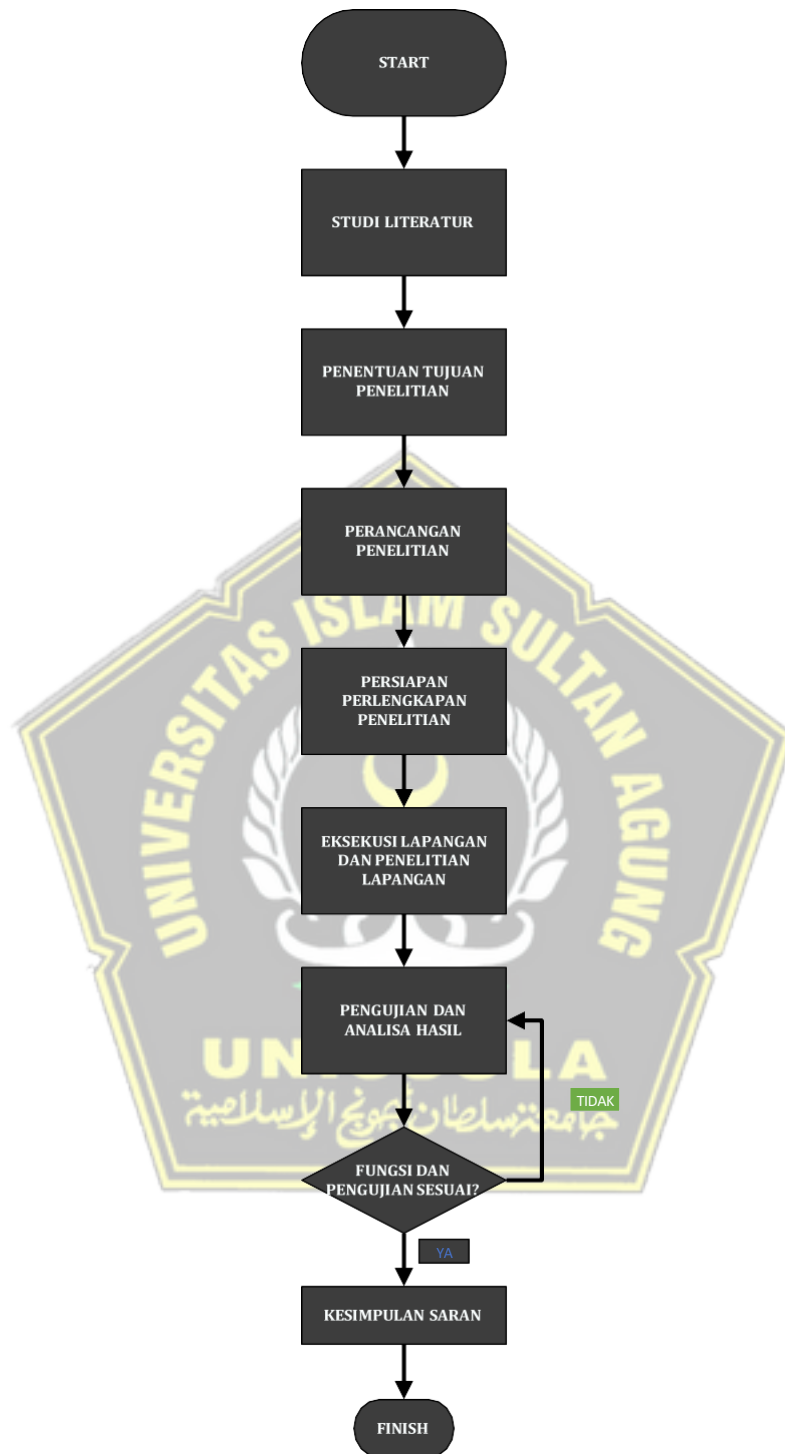
5. Pengujian Pekerjaan & Analisa Hasil

Pada tahapan kali ini, dilakukan proses uji coba pekerjaan dan pelaksanaan pekerjaan yang ada. Pengujian dilakukan untuk memastikan kesesuaian fungsi dan juga hasil yang didapat, serta dampak yang diberikan dari pekerjaan tersebut.

6. Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan akhir kali ini, dimana dilakukan penarikan kesimpulan dari proses dan analisa hasil penelitian, kemudian memberikan saran agar penelitian dapat lebih berkembang dan menjadi lebih baik lagi

Untuk mempermudah dalam memahami langkah – langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini, maka prosedur penelitian ini disajikan dalam bentuk flowchat pada gambar 3.1.

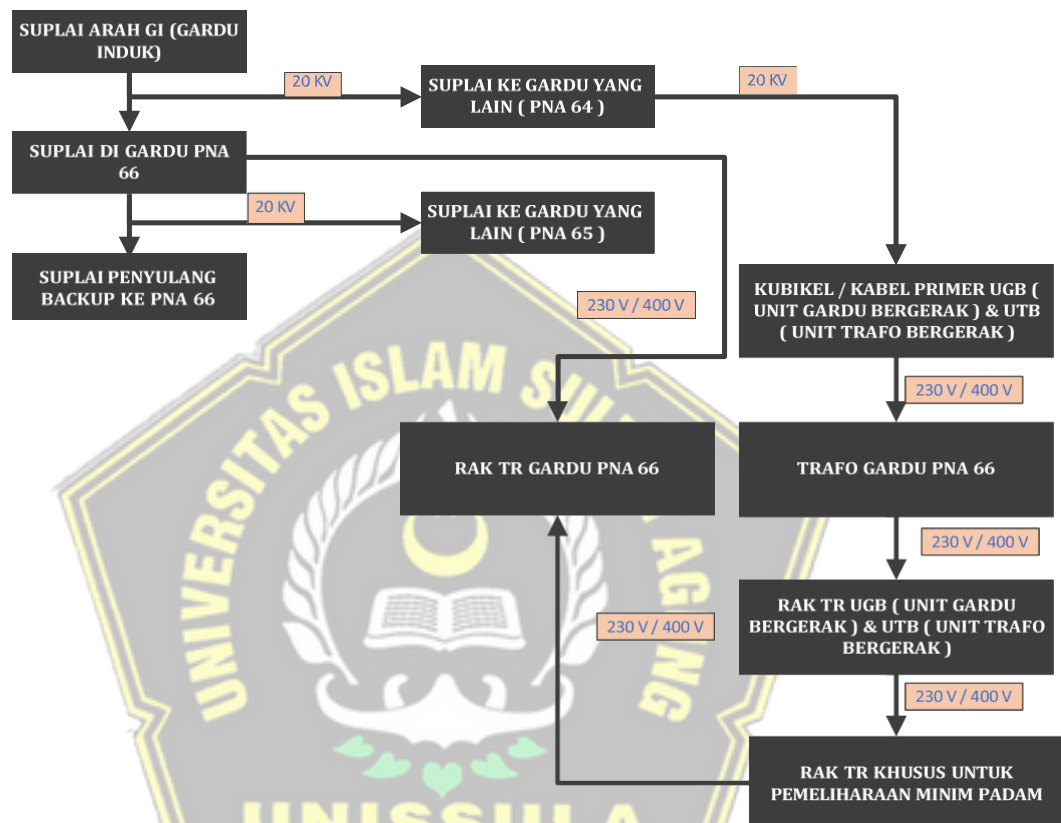


Gambar 3.1 *Flowchart Tahap Penelitian*

3.3. Perancangan Alat

3.3.1. Blok Diagram

Perancangan sistem ini menggunakan beberapa perangkat elektronika yang dirangkai sesuai dengan blok diagram pada gambar 3.2 berikut ini :



Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan Sistem Secara Keseluruhan

Berikut adalah penjelasan dari blok diagram perancangan sistem secara keseluruhan untuk pekerjaan minim padam:

1. Unit Gardu Bergerak (UGB) dan Unit Trafo Bergerak (UTB) berfungsi sebagai alat yang akan digunakan dalam proses pemindahan beban dari trafo gardu ke trafo UGB/UTB. Didalam UGB/UTB terdapat satu buah trafo 630 KVA, 2 buah kubikel yang terdiri dari kubikel LBS dan kubikel PB, 1 buah rak PHBTR ukuran 630 kVA, serta aksesoris kabel primer ukuran 1x35 mm dan kabel sekunder ukuran 1x240 mm dengan Panjang sesuai dengan kebutuhan. Perangkat ini merupakan

perangkat paling krusial untuk dilakukannya proses pemeliharaan gardu dan kubikel dengan cara minim padam.

2. Rak TR khusus pemeliharaan minim padam berfungsi sebagai ujung tegangan dari pada suplai di gardu PNA 66 dan UTB/UGB yang ada. hal ini dimaksudkan untuk pengecekan tegangan dan pengecekan putaran fasa secara bersamaan agar lebih mempersingkat waktu dan lebih efektif. Rak TR khusus pemeliharaan minim padam dilengkapi dengan MCCB dan beberapa plat busbar, sehingga proses pemeliharaan dapat dilakukan dengan efektif.

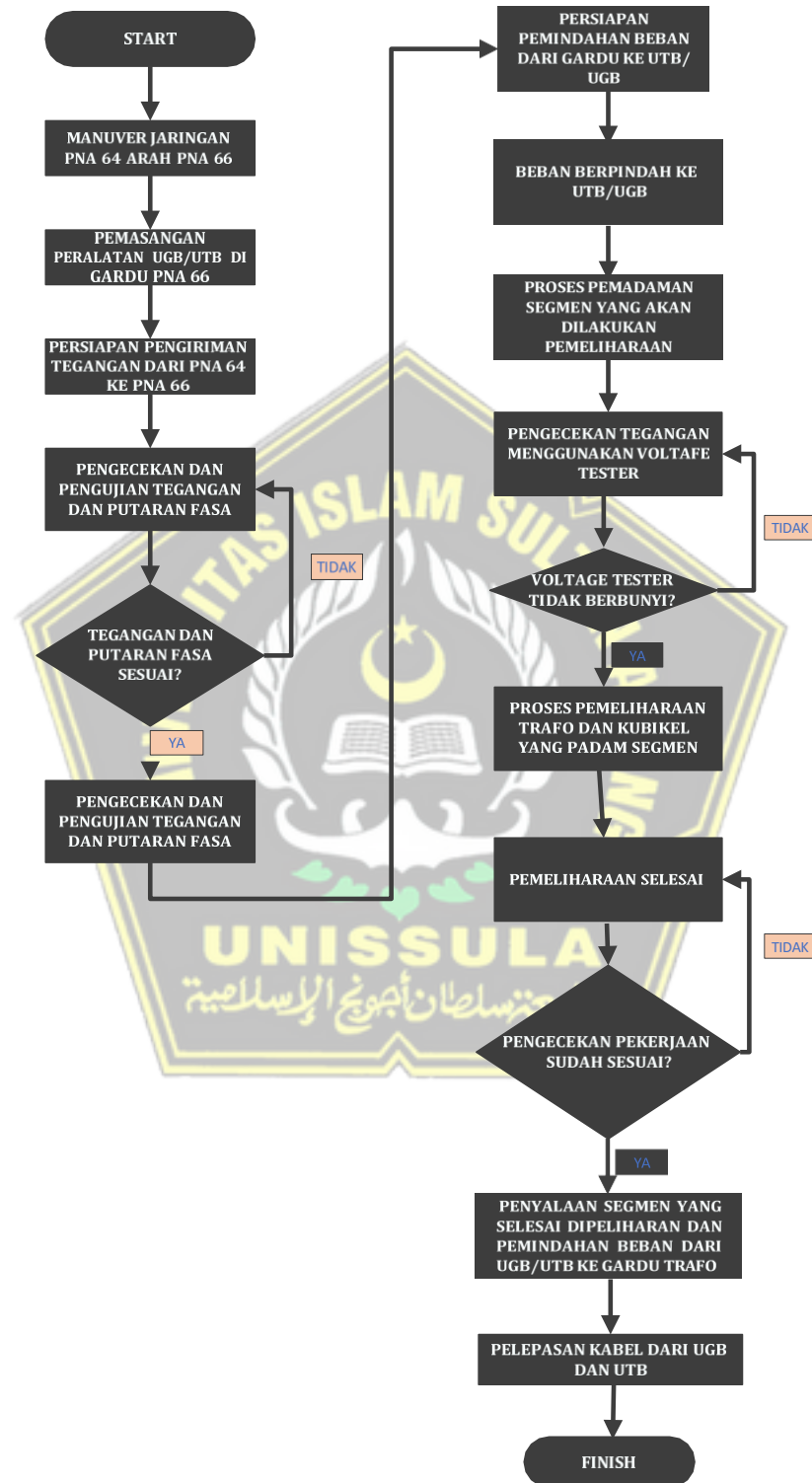
3. Rak TR di gardu PNA 66 terdiri dari beberapa NH Fuse jurusan ke pelanggan, Rak TR ini berfungsi menyalurkan tenaga listrik dengan tegangan 400/230 V ke pelanggan, nantinya akan disambungkan kabel sekunder dari UGB/UTB dengan modifikasi khusus di sisi kabel yang akan disambung di Rak TR gardu.

4. Kubikel Gardu PNA 66 berfungsi sebagai penyalur tegangan 20 kV, dimana nanti nya akan dipadamkan disalah satu segmen(segmen arah PNA 64) dan selanjutnya akan disambungkan kabel primer trafo dari UGB atau UTB.

3.3.2. Flowchart

Prosedur pengujian dan pengecekan tegangan pada pemeliharaan gardu dan kubikel menggunakan minim padam. Untuk memahami lebih lanjut alur dari masing – masing pengujian maka dapat dilihat melalui *flowchart* pada gambar 3.3.

1. Flowchart Pengujian Tegangan dan Pengecekan Putaran Fasa dari Gardu PNA 66 dan UGB/UTB



Gambar 3.3 Flowchart Uji Tegangan dan Putaran Fasa secara keseluruhan

Dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.3, dijelaskan awal proses persiapan pemeliharaan minim padam di gardu PNA 66. Ketika di gardu PNA 66 sudah dimanuver arah PNA 64. Petugas yantek akan melepas LBS di gardu PNA 64 arah PNA 66. Ketika di gardu PNA 66 arah PNA 64 sudah padam, petugas pemeliharaan melakukan pemasangan kabel UGB/UTB dengan menyambungkan kubikel LBS di UGB dan kabel dikopel dengan kabel yang ada di kubikel gardu PNA 66 arah PNA 64 yang sudah padam, serta ada petugas pemeliharaan yang memasang kabel tegangan rendah dari UGB/UTB ke PHBTR yang ada di gardu PNA 66, dan dipasang juga box PMS dari PHBTR UGB/UTB ke PHBTR gardu PNA 66. Ketika pemasangan sudah selesai, petugas yantek mengirim kembali tegangan dari gardu PNA 64 arah PNA 66. Lalu petugas pemeliharaan akan memasukkan kubikel LBS dan PB Trafo, sebelum memasukkan kubikel LBS dan PB Trafo petugas pemeliharaan sudah memastikan box PMS posisi terbuka. Ketika tegangan dikirim dari PB Trafo UGB. Maka di box PMS akan dilakukan pengecekan putaran fasa dan tegangan, untuk mengetahui putaran fasa dan tegangan dari trafo UGB sudah sesuai atau belum sesuai, ketika sudah sesuai maka maka kubikel PB yang ada di UGB akan di padamkan kembali. Kemudian, box PMS akan dibuat posisi masuk, kubikel PB yang ada di gardu PNA 66 akan di padamkan, lalu ketika sudah padam, saklar PHBTR gardu PNA 66 dilepas, dilanjut dengan saklar PHBTR UGB dimasukkan, dan kubikel PB UGB dimasukkan. Beban akan berpindah dari trafo gardu PNA 66 ke trafo UGB. Lalu petugas yantek akan melepas tegangan dari kubikel PNA 66 arah PNA 65 dan pekerjaan pemeliharaan dilakukan tanpa adanya padam pelanggan lebih lama. Pelanggan hanya merasakan padam cukup sesaat saja.

Ketika pekerjaan pemeliharaan sudah selesai, maka tegangan dari gardu PNA 65 dikirim kembali ke gardu PNA 66. Kubikel PB UGB di lepas, saklar PHBTR UGB dilepas, box PMS dilepas, dan saklar PHBTR gardu PNA 66 dimasukkan kembali setelah itu kubikel PB PNA 66 di masukkan kembali. Setelah itu beban berpindah kembali dari trafo UGB ke trafo gardu PNA 66. Setelah itu, petugas yantek memadamkan kembali kubikel LBS di PNA 64 arah PNA 66 dan perapihan

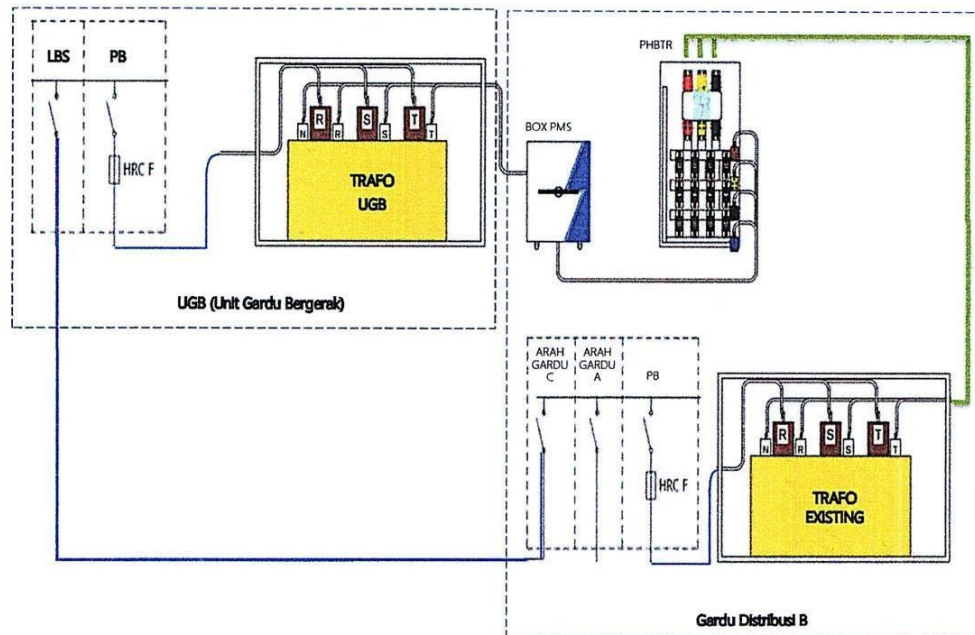
kabel UGB sudah bisa dilakukan kembali, setelah selesai perapihan kabel UGB, petugas yantek mengirim kembali tegangan dari gardu PNA 64 arah gardu PNA 66.

3.3.3. Perlengkapan Peralatan Yang Ada

1. Perlengkapan peralatan yang ada dalam pekerjaan pemeliharaan trafo dan kubikel menggunakan minim padam adalah:

Tabel 3.1 Daftar Perlengkapan Peralatan Yang Dibutuhkan

No	Nama Komponen	Jumlah
1	Helm Safety	5 Buah
2	Sarung Tangan 20 kV	1 Buah
3	Sarung Tangan Kerja	5 Buah
4	Sepatu Safety	5 Buah
5	UGB/UTB	1 Buah
6	Kabel Primer UGB/UTB	20 Meter
7	Kabel Sekunder UGB/UTB	100 Meter
8	Box PMS 2 Ujung Tegangan	1 Buah
9	Socket Kabel Sekunder UGB/UTB	4 Buah
10	Multimeter	1 Buah
11	Phasa Sequence	1 Buah



Gambar 3.4 *Wiring Diagram* Pemeliharaan Gardu dan Kubikel 20 kV Dengan Menggunakan Cara Minim Padam

Dapat dilihat gambar *wiring diagram* pada gambar 3.4, Perancangan Pemeliharaan Gardu dan Kubikel 20 kV dengan menggunakan minim padam bisa dilihat alurnya yaitu dari UGB (Unit Gardu Bergerak) akan mendapat *supply* 20 kV dengan cara kabel primer 20 kV akan di sambungkan ke kubikel gardu dengan arah gardu PNA 66 atau arah gardu C. Lalu akan dihunungkan juga rak TR dari UGB ke box PMS dan box PMS akan disambungkan ke rak PHBTR yang ada didalam gardu. Setelah itu, kabel yang ditumpuk tadi di arah gardu C akan dinyalakan dan bisa dilakukan proses perpindahan beban dari trafo gardu ke trafo UGB.

BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1. Data dan Analisa Pemeliharaan Minim Padam

Sebelum memulai pekerjaan, perlu dipastikan dahulu kapasitas trafo yang terpasang di UGB karena besar kapasitas trafo UGB harus lebih besar atau sama dengan kapasitas trafo yang ada di gardu. Dihitung kapasitas trafo dengan menggunakan rumus (2.14) sebagai berikut:

Kapasitas Trafo UGB 630 kVA

$$P = V.I.\sqrt{3}$$

$$630.000 = 400.I.1,73$$

$$I = \frac{630.000}{692}$$

$$I = 910 \text{ Ampere}$$

Berikut gambar 4.1 adalah laporan pengukuran beban dan tegangan trafo pada gardu PNA 66 yang didapat dari petugas inspeksi gardu yang ada dilapangan.

PT PLN (Persero)

Unit Induk Distribusi Banten

UP3 Cikokol

LAPORAN PENGUKURAN BEBAN TRAF0

Gardu

PNA66

Penyulang

DOA

GI

CILEDUG

Data Transformator

Merk

LUCKY LIGHT

Nomor

19.51.D040.110

Daya (kVA)

400

Elastimold

Nomor

2

Data Rak TR

Merk

SOCOME

Kapasitas

1250

Jumlah Jurusan

6

Keterangan

Jurusan yang Aktif

6

Petugas

BAYU DAN FAJAR

Jam-Tgl Pengukuran

09:30:00 09/12/2024

Waktu Pengukuran

SIANG

Pengukuran Teg. di Rak TR (Volt)					
R-N	S-N	T-N	R-S	R-T	S-T
233	234	233	406	402	406

Pengukuran Arus Total				% Daya Total	
R	S	T	R		
108	70	99	110		16

Gambar 4.1 Laporan Pengukuran Beban dan Tegangan Trafo Gardu PNA66

Dapat dilihat, dari hasil pengukuran beban gardu PNA 66 masih bisa ditampung di UGB yang ada, sehingga proses perpindahan beban dari trafo gardu PNA66 ke UGB bisa dilakukan tanpa ada masalah atau kendala di sisi trafo. Hal tersebut dinyatakan aman dan tidak ada masalah karena proses pemindahan beban dan putaran fasa sesuai serta kapasitas beban trafo masih dibawah kapasitas UGB dengan kapasitas 630 kVA. Dan beban hanya 16%

Data SAIDI SAIFI dan KWH Tidak Terjual Tahun 2023

2023			
BULAN	SAIDI	SAIFI	KWH TIDAK TERJUAL
	JAM/PELANGGAN	KALI/PELANGGAN	
JANUARI	0.02	0.01	14,092
FEBRUARI	0.02	0.02	11,973
MARET	0.02	0.01	20,398
APRIL	0.03	0.02	14,737
MEI	0.03	0.02	10,770
JUNI	0.01	0.01	15,912
JULI	0.04	0.03	13,100
AGUSTUS	0.01	0.03	14,678
SEPTEMBER	0.04	0.02	22,459
OKTOBER	0.05	0.03	18,687
NOVEMBER	0.07	0.02	17,976
DESEMBER	0.03	0.02	20,636
		TOTAL	195,418

Data SAIDI SAIFI dan KWH Tidak Terjual Tahun 2024

2024			
BULAN	SAIDI	SAIFI	KWH TIDAK TERJUAL
	JAM/PELANGGAN	KALI/PELANGGAN	
JANUARI	0.03	0.02	3,198
FEBRUARI	0.03	0.02	6,048
MARET	0.02	0.01	7,762
APRIL	0.01	0.01	2,719
MEI	0.03	0.03	5,125
JUNI	0.04	0.02	7,253
JULI	0.05	0.04	9,946
AGUSTUS	0.04	0.03	9,356
SEPTEMBER	0.03	0.03	12,924
OKTOBER	0.02	0.03	14,141
NOVEMBER	0.04	0.03	29,645
DESEMBER	0.05	0.02	5,961
		TOTAL	114,078

Pada tahun 2023 pemeliharaan minim padam belum banyak dilakukan, ketika memasuki tahun 2024 khususnya pada bulan Januari sampai dengan Mei, pemeliharaan minim padam rutin dilakukan setiap minggu.

Energy Not Sale (ENS)

Adapun perhitungan *energy not sale* dari bulan Oktober – Desember 2023 ketika menggunakan pemeliharaan PHBTM dengan cara padam total adalah sebagai berikut:

a. Oktober 2024

$$\text{Kerugian Materi} = \text{ENS} \times \text{Rupiah per KWh}$$

$$\begin{aligned}\text{Kerugian Materi} &= 18.687 \times 1444,70 \\ &= \text{Rp } 26.997.109\end{aligned}$$

b. November 2024

$$\text{Kerugian Materi} = \text{ENS} \times \text{Rupiah per KWh}$$

$$\begin{aligned}\text{Kerugian Materi} &= 17.976 \times 1444,70 \\ &= \text{Rp } 25.969.927\end{aligned}$$

c. Desember 2024

$$\text{Kerugian Materi} = \text{ENS} \times \text{Rupiah per KWh}$$

$$\begin{aligned}\text{Kerugian Materi} &= 20.636 \times 1444,70 \\ &= \text{Rp } 29.812.829\end{aligned}$$

Adapun perhitungan *energy not sale* dari bulan Januari – Maret 2024 ketika pemeliharaan PHBTM dengan cara minim padam adalah sebagai berikut:

a. Januari 2024

$$\text{Kerugian Materi} = \text{ENS} \times \text{Rupiah per KWh}$$

$$\begin{aligned}\text{Kerugian Materi} &= 3.198 \times 1444,70 \\ &= \text{Rp } 4.620.151\end{aligned}$$

b. Februari 2024

$$\text{Kerugian Materi} = \text{ENS} \times \text{Rupiah per KWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerugian Materi} &= 6.048 \times 1444,70 \\ &= \text{Rp } 8.737.546 \end{aligned}$$

c. Maret 2024

$$\text{Kerugian Materi} = \text{ENS} \times \text{Rupiah per KWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerugian Materi} &= 7.762 \times 1444,70 \\ &= \text{Rp } 11.213.761 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan perhitungan energi tak terjual pada pemeliharaan gardu distribusi maka perlu dilakukan perhitungan arus rata – rata trafo tiga fasa yaitu:

Gardu PNA 66

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{108+70+99}{3}$$

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{277}{3}$$

$$I = 92.33 \text{ A}$$

- a. Perhitungan Energi Tidak Terjual Menggunakan Minim Padam menggunakan persamaan rumus (2.16) adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Kerugian Energi} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \times t \\ &= \sqrt{3} \times 400 \times 92,33 \times 0,85 \times 0.00083 \\ &= 45.076 \text{ Wh} \end{aligned}$$

$$= 0.045 \text{ kWh}$$

$$\text{Kerugian Materi} = \text{ENS} \times \text{Rupiah per KWh}$$

$$\text{Kerugian Materi} = 0.045 \times 1444,70$$

$$= \text{Rp } 65.12$$

- b. Perhitungan Energi Tidak Terjual Menggunakan Padam Total menggunakan persamaan rumus (2.16) adalah sebagai berikut

- c. Perhitungan SAIDI Menggunakan Minim Padam menggunakan persamaan rumus (2.10) adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 SAIDI &= \frac{(lama\ padam) \times (pelanggan\ padam)}{Jumlah\ total\ pelanggan\ yang\ terlayani} \\
 &= \frac{0.00083 \times 284}{409.064} \\
 &= 0.0000078 \frac{jam}{pelanggan} \text{ atau } 5.78 \times 10^{-7} \text{ atau } 0.002 \\
 &\text{detik/pelanggan}
 \end{aligned}$$

- d. Perhitungan SAIDI Menggunakan Padam Total menggunakan persamaan rumus (2.10) adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 SAIDI &= \frac{(lama\ padam) \times (pelanggan\ padam)}{Jumlah\ total\ pelanggan\ yang\ terlayani} \\
 &= \frac{3 \times 284}{409.064} \\
 &= 0.0021 \text{ jam/pelanggan}
 \end{aligned}$$

- e. Perhitungan SAIFI Menggunakan Minim Padam menggunakan persamaan rumus (2.11) adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 SAIFI &= \frac{jumlah\ dari\ pelanggan\ padam}{Jumlah\ total\ pelanggan\ yang\ terlayani} \\
 &= \frac{284 \times 2 \text{ kali padam}}{409.064} \\
 &= 0.00139 \text{ kali/pelanggan}
 \end{aligned}$$

- f. Perhitungan SAIFI Menggunakan Cara Padam Total menggunakan persamaan rumus (2.11) adalah sebagai berikut

$$SAIFI = \frac{\text{jumlah dari pelanggan padam}}{\text{Jumlah total pelanggan yang terlayani}}$$

$$= \frac{284}{409.064}$$

$$= 0.00069 \text{ kali/pelanggan}$$

g. Rugi – Rugi Pada Transformator dapat

- Menghitung % pembebanan Trafo Menggunakan Trafo UTB 630 Kva menggunakan persamaan rumus (2.17) adalah sebagai berikut

$$\%Pembelian = \frac{\text{Daya Beban (kVA)} \times 1000}{\text{Rating Transformator (kVA)} \times 1000}$$

$$\%Pembelian = \frac{63.95 \text{ kVA} \times 1000}{630 \text{ kVA} \times 1000}$$

$$\%Pembelian = 0.1015 \times 100 \%$$

$$\%Pembelian = 10.15 \%$$

Untuk menghitung rugi tembaga dapat digunakan tabel 3.1

rugi tembaga sebesar 6500 Watt

$$\text{Rugi Tembaga} = 6500 \times 10.15\%$$

$$\text{Rugi Tembaga} = 659 \text{ watt}$$

$$\text{Rugi Tembaga} = 0.66 \text{ kW}$$

$$\text{Rugi Besi} = 1300 \text{ W} = 1.3 \text{ kW sesuai dengan standar SPLN 50 tahun 1997}$$

Untuk menghitung rugi total trafo UTB 630 kVA menggunakan persamaan rumus (2.18) adalah sebagai berikut

$$\text{Rugi Total} = \text{Rugi Tembaga} + \text{Rugi Besi}$$

$$\text{Rugi Total} = 0.66 + 1.3$$

$$\text{Rugi Total} = 1.96 \text{ kW}$$

- Menghitung %pembebanan Trafo Existing Gardu PNA66 menggunakan persamaan rumus (2.17) adalah sebagai berikut

$$\%Pembebanan = \frac{Daya\ Beban\ (kVA) \times 1000}{Rating\ Transformator\ (kVA) \times 1000}$$

$$\%Pembebanan = \frac{63.95\ kVA \times 1000}{400\ kVA \times 1000}$$

$$\%Pembebanan = 0.159 \times 100 \%$$

$$\%Pembebanan = 16 \%$$

- Menghitung rugi tembaga trafo existing gardu PNA66 menggunakan rumus

Untuk menghitung rugi tembaga dapat digunakan tabel 3.1

rugi tembaga sebesar 4600 Watt

$$Rugi\ Tembaga = 4600 \times 16\%$$

$$Rugi\ Tembaga = 736\ watt$$

$$Rugi\ Tembaga = 0.736\ kW$$

Rugi Besi = 930 W = 0.93 kW sesuai dengan standar SPLN 50 tahun 1997

Untuk menghitung rugi total trafo existing gardu PNA66 menggunakan persamaan rumus (2.18) adalah sebagai berikut

$$Rugi\ Total = Rugi\ Tembaga + Rugi\ Besi$$

$$Rugi\ Total = 0.736 + 0.93$$

$$Rugi\ Total = 1.666\ kW$$

4.2. Pengujian Tegangan Dan Pengujian Putaran Fasa

4.2.1. Pengujian Tegangan

Pengujian tegangan sangat penting dilakukan karena untuk memastikan tegangan yang timbul di box PMS antara tegangan dari UGB/UTB dan dari gardu

yang akan dilakukan pemeliharaan. Cara ini wajib dilakukan sebelum peralihan beban dari gardu ke UTB/UGB. Ketika tegangan sudah sesuai dan tegangan sama. Maka prosedur pemindahan beban dari gardu ke UTB atau UGB bisa dilakukan. Alat yang digunakan untuk pengujian tegangan adalah *Voltmeter*. Apabila tegangan antara gardu dan UTB/UGB sesuai maka bisa dilakukan peralihan beban. Berikut tabel 4.1 hasil pengujian tegangan, apabila tegangan sudah sesuai antara *phase*-netral dan *phase-phase* maka pekerjaan bisa dilanjutkan.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tegangan

No	Item Pengujian			Hasil Pengujian	Keterangan
1	Tegangan dari UGB	Fasa R	220 V	Sesuai	- Pengujian dan pengukuran tegangan sudah sesuai, yaitu tegangan tidak ada perbedaan yang jauh.
		Fasa S	221 V		
		Fasa T	220 V		
2	Tegangan dari Gardu	Fasa R	221 V	Sesuai	- Bisa dilakukan untuk pekerjaan pemeliharaan minim padam
		Fasa S	220 V		
		Fasa T	221 V		

4.2.2. Pengujian Putaran Fasa

Pengujian putaran fasa sangat penting dan sangat berfungsi untuk pekerjaan pemeliharaan gardu dan kubikel dengan cara minim padam. Dengan melakukan pengecekan putaran fasa pada PHBTR di gardu dengan membandingkan hasil putaran fasa di PHBTR yang ada di UGB/UTB. Ketika putaran fasa sudah sama keduanya, maka pekerjaan sudah bisa dilakukan. Untuk alat pengujian putaran fasa dinamakan *Phase Sequence*. Untuk putaran fasa ini ada 2 arah, yakni searah dan berlawanan dengan jarum jam, berikut tabel 4.2 hasil pengujian putaran fasa yang digunakan sebagai kelanjutan proses pemeliharaan minim padam. Apabila putaran

fasa sama searah atau berlawanan jarum jam baik trafo di UGB/trafo *mobile* dan di gardu, maka pekerjaan bisa dilanjutkan.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Putaran Fasa

No	Item Pengujian			Hasil Pengujian	Keterangan
1	Putaran Fasa Sisi Gardu	Fasa R	Searah Jarum Jam	Sesuai	- Pengujian dan pengukuran tegangan sudah sesuai. Bisa dilakukan untuk pekerjaan pemeliharaan minim padam
		Fasa S	Searah Jarum Jam		
		Fasa T	Searah Jarum Jam		
2	Putaran Fasa Sisi UGB/UTB	Fasa R	Searah Jarum Jam	Sesuai	- Untuk hasil pengujian dianggap sesuai apabila alat <i>Phase Sequence</i> menunjukkan putaran yang sama seperti putaran fasa trafo dari gardu
		Fasa S	Searah Jarum Jam		
		Fasa T	Searah Jarum Jam		

Pengecekan putaran fasa menjadi hal yang sangat penting, karena Ketika putaran fasa tidak sama antara satu dengan yang lain, maka harus disesuaikan terlebih dahulu putaran fasanya. Hal ini dimaksudkan agar Ketika ada pelanggan 3 fasa, putaran mesin tidak terbalik. Adapun putaran fasa ada 2 arah, yaitu searah dengan arah jarum jam dan berlawanan arah dengan arah jarum jam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data yang didapatkan pada proses penelitian Pemeliharaan Kubikel Dan Trafo Gardu Distribusi 20 KV Menggunakan Cara Pemeliharaan Minim Padam dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Saat dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara minim padam, SAIDI pada gardu PNA 66 adalah $0.0000078 \frac{\text{jam}}{\text{pelanggan}}$ atau 5.78×10^{-7} atau 0.002 detik/pelanggan, sedangkan ketika dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara padam total, SAIDI pada gardu PNA 66 adalah 0.0021 jam/pelanggan. Dan SAIDI pada bulan Januari – Maret 2024 di UP3 Cikokol ketika pemeliharaan PHBTM dengan cara minim padam dilakukan secara rutin berturut- turut adalah 0.03, 0.03, 0.02 jam/pelanggan. Dan SAIDI bulan Oktober – Desember 2024 ketika rutin dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara padam total secara berturut- turut adalah 0.05, 0.07, 0.03 jam/pelanggan.
2. Ketika dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara minim padam, SAIFI pada gardu PNA 66 adalah 0.00139 kali/pelanggan, sedangkan ketika dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara padam total, SAIFI pada gardu PNA 66 adalah 0.00069 kali/pelanggan . Dan SAIFI pada bulan Januari – Maret 2024 di UP3 Cikokol ketika rutin dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara minim padam secara berturut- turut adalah 0.02, 0.02, 0.01 kali/pelanggan. Dan SAIFI yang didapatkan pada bulan Oktober – Desember 2024 ketika rutin dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara padam total secara berturut- turut adalah 0.03, 0.02, 0.02 kali/pelanggan.
3. Saat dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara minim padam, energi tidak terjual pada gardu PNA 66 adalah sebesar Rp. 65.12, sedangkan saat dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara padam total, energi tidak terjual pada gardu PNA 66 adalah Rp. 236.178. Energi tidak terjual pada bulan Januari – Maret 2024 di UP3 Cikokol ketika rutin dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara minim padam secara berturut- turut adalah Rp 4.620.151, Rp 8.737.546, dan

Rp 11.213.761. Dan energi tidak terjual bulan Oktober – Desember 2024 ketika rutin dilakukan pemeliharaan PHBTM dengan cara padam total secara berturut-turut adalah Rp 26.997.109, Rp 25.969.927, dan Rp. 29.812.929.

5.2. Saran

1. Kedepannya, pemeliharaan minim padam perlu dikembangkan lagi dengan model Rak PHBTR model terbaru serta pemeliharaan minim padam dapat juga dilakukan untuk pembersihan rak PHBTR yang ada di gardu.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abd, Margiono. 2013 *Sistem Distribusi Tenaga Listrik di Indonesia*. Jakarta: Y
- [2] Amin, Muhammad dan Bima Mustaqim. 2022. *Distribusi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Teknosain.
- [3] Husodo BY dan Arditya Perdana Akbar. 2018. *Penerapan Metode Minim Padam untuk Pemeliharaan Gardu Distribusi 20 kV di PT PLN Area Bulungan (KL224)*.
- [4] Kadir, A. 2010. *Transformator*. Jakarta: UI Press.
- [5] Mahfudz Hayusman, Lauhil. 2022. *Pengoperasian dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Banjarmasin: Poliban Press.
- [6] Markoni. 2018. *Operasi Sistem & Pemeliharaan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Teknosain.
- [7] Pabla, AS dan Abdul Hadi. 2019. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [8] PT. PLN (Persero). 2012. *Katalog Peralatan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: PT. PLN (PERSERO).
- [9] PT. PLN (Persero). 2019. *Bahan Buku Yantek*. Jakarta: PT PLN (PERSERO).
- [10] IK PT. PLN (Persero) UID Banten. 2021. *Pemeliharaan Tanpa Padam Dengan Unit Gardu Bergerak*. Banten.
- [11] Sarimun, Wahyudi. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Garamond.
- [12] Suhadi dan Tri Wrahatonolo. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- [13] Suropto, Slamet. 2017. *Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: LP3M UMY
- [14] Stevenson, Jr, William, D. 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta. Jakarta: Erlangga



