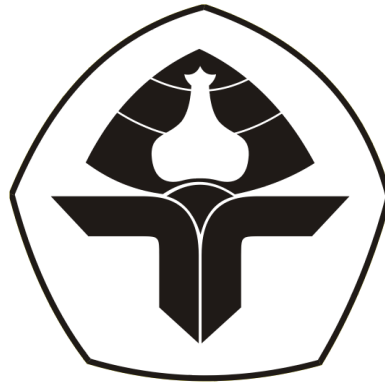


LAPORAN TUGAS AKHIR DIII
ANALISIS DOWNRATING TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 250 KVA
MENJADI 100 KVA DS 0142 PADA PENYULANG REAGEN



Oleh :

PAULINA AIDA BONITA GUTERRES

1915313093

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI BALI

2022

**ANALISIS DOWNRATING TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 250 KVA
MENJADI 100 KVA DS 0142 PADA PENYULANG REAGEN**



LAPORAN TUGAS AKHIR DIII

Diajukan Untuk Menyelesaikan Program Pendidikan Diploma III

Oleh :

PAULINA AIDA BONITA GUTERRES

1915313093

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI BALI

2022

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS *DOWNRATING* TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 250 KVA
MENJADI 100 KVA DS 0142 PADA PENYULANG REAGEN**

Oleh:

Paulina Aida Bonita Guterres

1915313093

Tugas Akhir ini Diajukan untuk
Menyelesaikan Program Pendidikan Diploma III

di

Program Studi DIII Teknik Listrik

Jurusan Teknik Elektro – Politeknik Negeri Bali

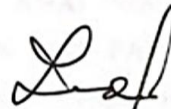
Disetujui Oleh:

Pembimbing I:



Ir. I Made Sajayasa, M.T.
NIP. 196504081991031002

Pembimbing II:



I Gd. Wahyu Antara K., ST.M.Erg
NIP. 196109221990031001

Disahkan Oleh

Jurusan Teknik Elektro



Ketua

Ir. I Wayan Raka Ardana, M.T.
NIP. 196705021993031005

**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI LAPORAN TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Paulina Aida Bonita Guterres

NIM : 1915313093

Program Studi : D III Tenik Listrik

Jurusan : Teknik Elektro

Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Bali Hak **Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royal-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: **ANALISIS DOWNRATING DISTRIBUSI 250 KVA MENJADI 100 KVA DS 0142 PADA PENYULANG REAGEN** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Politeknik Negeri Bali berhak menyimpan, mengalihmedia atau mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bukit Jimbaran, 9 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan



Paulina Aida Bonita Guterres

NIM. 1915313093

FORM PERNYATAAN PLAGIARISME

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Paulina Aida Bonita Guterres

NIM : 1915313093

Program Studi : Teknik Listrik

Jurusan : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir berjudul **ANALISIS DOWNRATING TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 250 KVA MENJADI 100 KVA DS 0142 PENYULANG REAGEN** adalah betul – betul karya sendiri dan bukan menjiplak atau hasil karya orang lain. Hal – hal yang bukan karya saya, dalam Tugas Akhir tersebut diberi tanda citasi dan ditujukan dalam daftar Pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan Tugas Akhir dan gelar yang saya peroleh dari Tugas Akhir tersebut.

Bukit Jimbaran, 9 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan



Paulina Aida Bonita Guterres

NIM. 1915313093

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Karena atas berkat dan rahmat-Nya saya selaku penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis *Downrating* Transformator Distribusi 250 KVA Menjadi 100 KVA DS 0142 Pada Penyulang Reagen" dengan tepat pada waktunya.

Penyusunan Proyek Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan program Pendidikan Diploma III pada program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali.

Dalam Penyusunan tugas akhir ini penulis banyak memperoleh bimbingan, dukungan, dan masukan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak I Nyoman Abdi, S.E., M.Ecom. Selaku Direktur Politeknik Negeri Bali.
2. Bapak Ir. I Wayan Raka Ardana, MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak I Gusti Putu Mastawan Eka Putra, S.T., M.T. Selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro
4. Bapak I Made Aryasa Wiryawan, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik.
5. Bapak Ir. I Made Sajayasa, M.T. Selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan yang sangat bermanfaat dalam Penyusunan Tugas Akhir.
6. Bapak I Gd. Wahyu Antara K., ST.M.Erg Selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan yang sangat bermanfaat dalam Penyusunan Tugas akhir.
7. Pemimpin , Staf, dan Karyawan PT PLn (Persero) ULP Sanur yang telah membantu penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir
8. Seluruh rekan – rekan di PT PLN (Persero) ULP Sanur
9. Orang Tua dan Keluarga Tercinta yang telah memberikan motivasi dan dukungannya dalam penulisan Tugas Akhir Ini.

10. Rekan – rekan mahasiswa Politeknik Negeri Bali Program Studi DIII Teknik Listrik khususnya mahasiswa semester VI, dan semua pihak yang telah membantu dan memberikan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dari tugas akhir ini, baik dari materi maupun Teknik penyajiannya, mengingat kurangnya pengetahuan dan pengalaman penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa Politeknik Negeri Bali khususnya, pembaca -pada umumnya.

Bukit Jimbaran, 9 Agustus 2022

Penulis

Paulina Aida Bonita Guterres

ABSTRAK

Paulina Aida Bonita Guterres

“ANALISIS *DOWNRATING* TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 250 KVA MENJADI 100 KVA DS 0142 PADA PENYULANG REAGEN”

Transformator distribusi berfungsi untuk mentransformasikan energi listrik dari tegangan menengah 20 kV ke tegangan rendah 230/400 V. PT PLN (Persero) sebagai perusahaan pengelola sistem tenaga listrik harus bekerja optimal untuk mempertahankan kualitas produksi energi distribusi harus selalu terjaga dengan baik. Dalam tugas akhir ini penulis menganalisa penggantian transformator pada gardu distribusi DS 0142 Penyulang Reagen yang bertempat di jalan Bypass Pesanggaran. Dengan data pendukung seperti data pengukuran beban sebelum diganti, setelah diganti dan data name plate transformator. Penulis menyimpulkan hasil analisa yang diperoleh dari presentase pembebanan sebelum transformator diganti yaitu sebesar 10,33%, transformator yang digunakan untuk mengganti yaitu transformator dengan kapasitas 100 kVA, Presentase pembebanan setelah transformator diganti yaitu sebesar 41,58%

Kata Kunci : Transformator, Presentase Pembebanan, *Downrating*

ABSTRACT

Distribution transformer serves to transform electrical energy from medium voltage 20 kV to low voltage 230/400 V. PT. PLN (Persero) as the company that manages the electric power system must work optimally to maintain the quality of production and distribution of energy must always be well maintained. In this final project, the author analyzes the replacement of transformers at the distribution substation DS 0142 Reagent Feeder which is located on Jalan Pesanggaran Bypass. With supporting data such as load measurement data before being replaced, after being replaced and transformer name plate data. The author concludes that the analysis results obtained from the percentage of loading before the transformer is replaced is 10.33%, the transformer used to replace is a transformer with a capacity of 100 kVA, the percentage of loading after the transformer is replaced is 41.58%

Keywords : Transformer, Loading Percentage, Downrating

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
FORM PERNYATAAN PLAGIARISME.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah.....	I-2
1.4 Tujuan	I-3
1.5 Manfaat Tugas Akhir	I-3
1.6 Sistematika Penulisan.....	I-4
BAB II LANDASAN TEORI.....	II-1
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	II-1
2.2 Gardu Distribusi	II-2
2.3 Transformator.....	II-8
2.3.1 Bagian – bagian Transformator	II-9
2.4 Prinsip Kerja Transformator	II-12
2.5 Gangguan – gangguan pada Transformator Distribusi	II-13
2.6 Cara Mengatasi Gangguan Akibat Underload	II-15
2.7 Transformator Distribusi.....	II-15
2.8 Saluran Kabel Udara Tegangan Redah	II-16
2.8.1 Kabel NFA2X-T	II-16
2.8.2 Kabel NFA2X	II-17
2.9 <i>Downrating</i> Transformator	II-17
2.10 Pembebanan Transformator.....	II-17
2.11 Perhitungan Arus Beban Rata – Rata Pada Transformator	II-18

2.12	Perhitungan Rugi-rugi Daya (<i>Losses</i>) Terhadap Arus Netral Akibat Ketidakseimbangan Beban	II-18
2.13	Perhitungan Efisiensi Transformator.....	II-19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		III-1
3.1	Jenis Penelitian.....	III-1
3.2	Lokasi Penelitian.....	III-1
3.3	Diagram Alir Penelitian/Pengolahan Data.....	III-1
3.4	Pengambilan Data	III-2
3.4.1	Metode Observasi	III-2
3.4.2	Metode Wawancara	III-2
3.4.3	Metode Dokumentasi.....	III-2
3.4.4	Metode Studi Literatur.....	III-2
3.5	Metodologi Pengolahan Data.....	III-3
3.6	Hasil Yang Diharapkan	III-5
BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISI.....		IV-1
4.1	Gambaran Umum Gardu Distribusi DS 0142	IV-1
4.2	Data Teknis Objek.....	IV-2
4.2.1	Data Teknis Transformator.....	IV-2
4.2.2	Data Pembebanan Gardu DS 0142 sebelum <i>Downrating</i>	IV-3
4.2.3	Data Pembebanan Gardu DS 0142 sesudah <i>Downrating</i>	IV-4
4.3	Perhitungan	IV-5
4.3.1	Perhitungan Pembebanan Transformator Pada Gardu DS 0142 Sebelum <i>Downrating</i> Transformator.....	IV-5
4.3.2	Perhitungan Pembebanan Transformator Pada Gardu DS 0142 Sesudah <i>Downrating</i> Transformator.....	IV-6
4.3.3	Perhitungan Rugi-rugi Daya (<i>Losses</i>) Terhadap Arus Netral.....	IV-8
4.3.4	Perhitungan Efisiensi Trafo Sebelum <i>Downrating</i>	IV-9
4.3.5	Perhitungan Efisiensi Trafo Sesudah <i>Downrating</i>	IV-12
4.4	Analisa Presentase Pembebanan Trafo	IV-14
4.5	Analisa Perhitungan Rugi – rugi Daya (<i>Losses</i>) Terhadap Arus Netral	IV-15
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		V-1
5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar Diagram Garis Sitem Tenaga Litrik ^[9]	II-1
Gambar 2.2	Gardu Portal dan Bagan Satu Garis ^[2]	II-3
Gambar 2.3	Gardu Tipe Cantol ^[2]	II-4
Gambar 2.4	Monogram Konstruksi Gardu Cantol Fasa-3 ^[5]	II-5
Gambar 2.5	Bagan satu garis Konfigurasi π section Gardu Pelanggan Umum ^[2]	II-7
Gambar 2.6	Bagan satu garis Gardu Pelanggan Khusus ^[2]	II-8
Gambar 2.7	Bentuk Dasar Transformator ^[7]	II-12
Gambar 4.1	Gardu Distribusi DS 0142 Penyulang Reagen	IV-1
Gambar 4.2	Grafik Presentase Pembebanan Trafo DS 0142	IV-8
Gambar 4.3	Grafik Rugi rugi Daya Trafo DS 0142	IV-9

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen Utama Gardu Cantol 3 Fasa ^[5]	II-6
Tabel 2.2 Karakteristik Kabel NFA2X-T [11]	II-16
Tabel 4.1 Data Teknis Transformator pada Gardu Distribusi DS 0142 Sebelum di <i>Downrating</i>	IV-2
Tabel 4.2 Data Teknis Transformator pada Gardu Distribusi DS 0142 Sesudah di <i>Downrating</i>	IV-2
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Arus Sebelum <i>Downrating</i> (LWBP)	IV-3
Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran Arus Lama Waktu Beban Puncak (LWBP) pada Gardu Distribusi DS 0142 sebelum <i>Downrating</i>	IV-4
Tabel 4.5 Hasil pengukuran Arus Sesudah <i>Downrating</i>	IV-4
Tabel 4.6 Data Hasil Pengukuran Arus Lama Waktu Beban Puncak (LWBP) pada Gardu Distribusi DS 0142 sesudah <i>Downrating</i>	IV-4
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Presentase Pembebanan Transformator DS 0142	IV-5
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Presentase Pembebanan Transformator DS 0142	IV-7
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Rugi -rugi Daya Transformator DS 0142	IV-9

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Name Plate Transformator Sebelum <i>Downrating</i> Transformator	L-1
Lampiran 2. Name Plate Transformator Sesudah <i>Downrating</i> Transformator.....	L-2
Lampiran 3. Transformator Gardu Distribusi DS 0142 Penyulang Reagen	L-3
Lampiran 4. Data Pengukuran Beban Gardu Distribusi DS 0142 Sebelum <i>Downrating</i> Transformator	L-4
Lampiran 5. Data Pengukuran Beban Gardu Distribusi DS 0142 Sesudah <i>Downrating</i> Transformator	L-4
Lampiran 6. <i>Single-Line Diagram</i> Penyulang Reagen	L-5
Lampiran 7. <i>Single-Line Diagram</i> Gardu Distribusi	L-6
Lampiran 8. Kegiatan CBD Sebelum Proses <i>Downrating</i> Transformator Gardu Distribusi DS 0142 Penyulang Reagen.....	L-7
Lampiran 9. Proses Pergantian Kapasitas Trafo dari 250 KVA Menjadi 100 KVA ..	L-8

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang utama bagi masyarakat, seiring dengan berkembangnya teknologi serta meningkatnya jumlah pelanggan energi listrik saat ini, karena hampir semua aktifitas masyarakat berhubungan dengan listrik. Maka dibutuhkan sistem distribusi tenaga listrik dengan keandalan yang tinggi. Dalam pendistribusian energi listrik oleh PT PLN (Persero) menggunakan gardu distribusi. Pada gardu distribusi tersebut terdapat transformator yang berfungsi sebagai penurun tegangan dari tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 231/400 V yang akan didistribusikan ke pelanggan.

Sistem distribusi mempunyai peranan penting karena berhubungan langsung dengan pemakaian energi listrik Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Dalam sistem transmisi, transformator digunakan untuk menurunkan tegangan penyaluran 150 kV ke tegangan distribusi 20 kV. Metode *Downrating* merupakan penurunan kapasitas daya transformator. Penelitian lain menyatakan bahwa umur transformator harus dilakukan pemeliharaan agar dapat bertahan sesuai dengan kondisi umur transformator. Umur transformator dapat berkurang akibat pengaruh pembebanan, pembebanan yang tinggi menyebabkan kerusakan pada isolasinya (Samzurizal, 2020).

Kebutuhan sistem ketenagalistrikan semenjak adanya wabah *Covid* pada tahun 2019 mengalami penurunan jumlah pelanggan sehingga mempengaruhi penurunan jumlah energi listrik yang disalurkan. Semakin berkurangnya jumlah konsumen listrik maka semakin kecil energi listrik yang disalurkan oleh GI. Apabila beban listrik yang terdapat pada GI lebih kecil dari kapasitasnya, maka GI akan mengalami penurunan transformator distribusi yang sudah rendah kapasitas atau dapat dikatakan transformator akan mengalami *looses*. Idealnya transformator dibebani sebesar besarnya 80% dan sekurang kurangnya 40% dari nominal kapasitas trafo. Pembebanan trafo sangat berpengaruh terhadap kinerja trafo itu sendiri, jika transformator beroperasi dengan pembebanan dibawah 40% atau kurang dalam jangka panjang akan menyebabkan penurunan kinerja contohnya *Loosis* atau rugi – rugi daya yang besar

Tujuan dilakukan penelitian adalah untuk mengetahui presentase pembebanan pada transformator DS 0142. Untuk mengatasi hal ini maka perlu dilakukan pengembangan maupun perencanaan pada gardu induk dan transmisi berdasarkan pertumbuhan beban yang terjadi selama lima atau sepuluh tahun kedepan.

Untuk permasalahan *downrating* ini terjadi karena adanya wabah *covid 19* yang menyebabkan banyak perusahaan tutup sehingga banyak pelanggan yang berhenti bekerja dan harus menghemat pemakaian listrik. Sehingga dilakukan analisis dengan beban beban trafo yang ada dan disesuaikan dengan beban pelanggan maka yang mampu yaitu digunakan trafo 100KVA sesuai dengan bebannya. Trafo distribusi terdapat 3 metode yang dapat dipilih untuk menangani permasalahan tersebut yakni menggunakan metode *uprating* (peningkatan kapasitas trafo) atau *downrating* (penurunan kapasitas trafo), metode sisip trafo dan metode pecah beban.

Maka dari itu dilakukan salah satu upaya yaitu pergantian transformator oleh PT PLN (Persero) ULP Sanur pada Gardu Distribusi DS 0142 Dengan kapasitas transformator yang lebih kecil yaitu 100 KVA agar tidak menimbulkan *looses* atau rugi rugi tegangan dan *underload* pada transformator sebelumnya dan menyebabkan kerugian bagi pihak PT PLN (Persero) maupun konsumen untuk itu penulis melakukan analisis dengan judul “ Analisis *Downrating* Transformator Distribusi 250 KVA Menjadi 100 KVA DS 0142 Pada Penyulang Reagen”. Untuk itu penelitian ini diharapkan agar dapat dijadikan salah satu bahan evaluasi oleh PT PLN (Persero) dalam menjaga keandalan dalam proses pendistribusian tenaga listrik.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang permasalahan, maka perumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa pembebanan sebelum dan sesudah *downrating* trafo distribusi DS 0142 pada penyulang reagen?
2. Berapa arus rata-rata sebelum dan sesudah *downrating* trafo distribusi DS 0142 penyulang reagen?

1.3 Batasan Masalah

Berkaitan dengan Perumusan masalah diatas untuk menghindari dari meluasnya pembahasan di luar permasalahan maka penulis membatasi permasalahan yang akan di bahas sebagai berikut:

1. Hanya menghitung Presentase Pembebanan sebelum dan sesudah *downrating* trafo distribusi DS 0142 Pada Penyulang Reagen
2. Hanya menghitung Arus Rata – Rata sebelum dan sesudah *downrating* trafo distribusi DS 0142 Penyulang Reagen

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada analisa penggantian transformator pada gardu distribusi DS 0142 ini adalah

1. Untuk mengetahui hasil perhitungan pembebanan sebelum dan sesudah *downrating* trafo distribusi DS 0142 pada penyulang reagen
2. Untuk Mengetahui hasil perhitungan arus rata–rata sebelum dan sesudah *downrating* trafo distribusi DS 0142 penyulang reagen

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Penulis mengharapkan, dalam penulisan tugas akhir ini dapat memberikan banyak manfaat untuk banyak pihak antara lain, yaitu :

1. Bagi Penulis

Dapat menganalisa presentase pembebanan transformator distribusi pada gardu distribusi dan menentukan arus rata - rata transformator yang sesuai dengan pembebanan pada gardu distribusi tersebut melalui perhitungan secara teoritis berdasarkan data – data yang di peroleh dari PT PLN (Persero) ULP Sanur dan dari hasil pengukuran di lapangan.

2. Bagi Pembaca

Dapat memahami permasalahan Downrating dan pembebanan transformator distribusi pada gardu distribusi dan upaya yang dilakukan oleh PT PLN (Persero) ULP Sanur untuk mengatasi *underload* dengan metode *Downrating* transformator.

3. Bagi perusahaan

Dapat digunakan sebagai bahan informasi dan masukan serta bahan pertimbangan dalam mengatasi permasalahan transformator pada gardu distribusi yang mengalami *underload*.

4. Bagi Politeknik Negeri Bali

Dapat dijadikan sebagai bahan bacaan tambahan di perpustakaan yang nantinya tentu bisa dijadikan referensi ataupun acuan dalam penelitian dan pembelajaran mengenai bagaimana *Downrating* atau pergantian transformator pada gardu distribusi.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang, permasalahan, dan Batasan masalah, tujuan dan manfaat dari tugas akhir ini.

BAB II : LANDASAN TEORI

Menguraikan tentang bagian yang berisi teori – teori dan penjelasan yang ada hubungannya dengan judul tugas akhir yang digunakan sebagai penunjang dalam pembahasan.

BAB III : METODOLOGI

Menguraikan tentang jenis penelitian, lokasi penelitian, pengolahan data, pengambilan data, metodologi pengolahan data dan sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis.

BAB IV : ANALISA DAN PEMBAHASAN

Menguraikan tentang bagian yang memuat pembahasan dari masalah yang ada. Pada bab ini, seluruh permasalahan yang ada akan dianalisa dan diselesaikan permasalahan tersebut diantaranya mengenai Presentase pembebanan transformator sebelum dan sesudah di *Downrating* serta kapasitas transformator yang cocok digunakan pada transformator tersebut.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

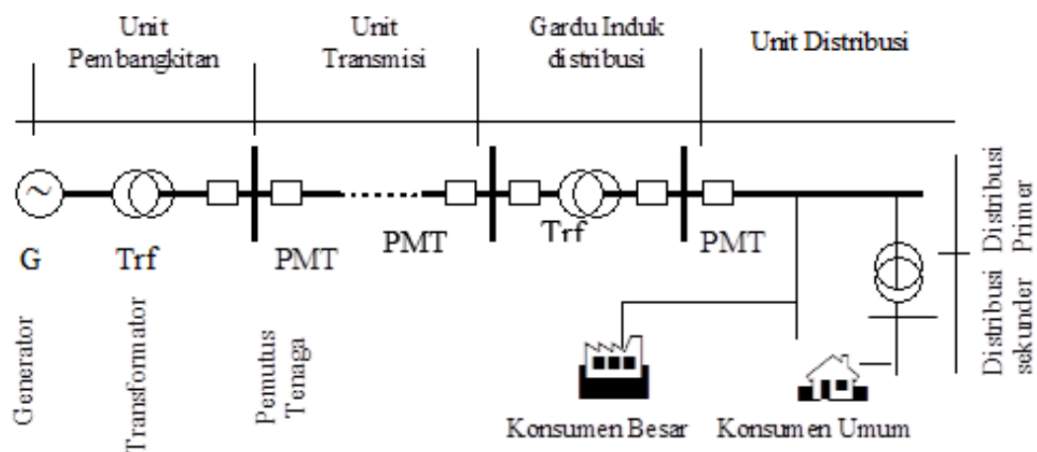
Menguraikan tentang bagian yang memuat kesimpulan yang dapat ditarik dari pembahasan sebelumnya dan juga saran – saran dari permasalahan yang dikemukakan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya paling besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen. Sistem Distribusi juga merupakan bagian dari sistem tenaga listrik dimana sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik ke konsumen (beban), merupakan hal yang penting untuk di pelajari. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini. Prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energy listrik, di salurkan ke jaringan transmisi atau Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) langsung ke gardu induk.



Gambar 2.1 Gambar Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik ^[9]

Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke Jaringan Distribusi Primer atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder atau Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR), dan selanjutnya tenaga listrik dialirkan ke konsumen (beban). Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan suatu saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar melalui jaringan distribusi.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan atas tiga bagian utama yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Ketiga bagian utama tersebut menjadi bagian penting dan harus saling mendukung untuk mencapai tujuan utama sistem tenaga listrik yaitu penyaluran energy listrik kepada konsumen [1]. Sistem distribusi dibagi menjadi dua yaitu :

a. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer yang berasal dari jaringan transmisi yang diturunkan tegangannya di Gardu Induk (GI) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan nominal 20 kV yang biasa disebut JTM (Jaringan Tegangan Menengah) lalu disalurkan ke lokasi pelanggan listrik kemudian diturunkan tegangannya di trafo pada gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan.

Konstruksi jaringan distribusi primer dibagi dua yaitu :

- 1) Saluran Udara (*Overhead Lines*) Tegangan Menengah (SUTM)
- 2) Saluran Kabel Tanah (*Underground Lines*) Tegangan Menengah (SKTM)

b. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder yaitu jaringan distribusi dari gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 230 V/400 V. Jaringan gardu distribusi dikenal dengan JTR (Jaringan Tegangan Rendah), lalu dari JTR disalurkan ke pelanggan – pelanggan, saluran yang masuk dari JTR ke pelanggan disebut Sambungan Rumah (SR) pelanggan tegangan ini banyaknya menggunakan listrik satu fasa dan ada juga beberapa yang memakai listrik tiga fasa.

2.2 Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi PLN yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau pelanggan, baik itu pelanggan tegangan menengah maupun pelanggan tegangan rendah. Pengertian gardu distribusi adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok keutuhan tenaga listrik bagi pelanggan baik dengan tegangan menengah (20kV) maupun tegangan rendah (220/380V). Konstruksi gardu distribusi dirancang berdasarkan

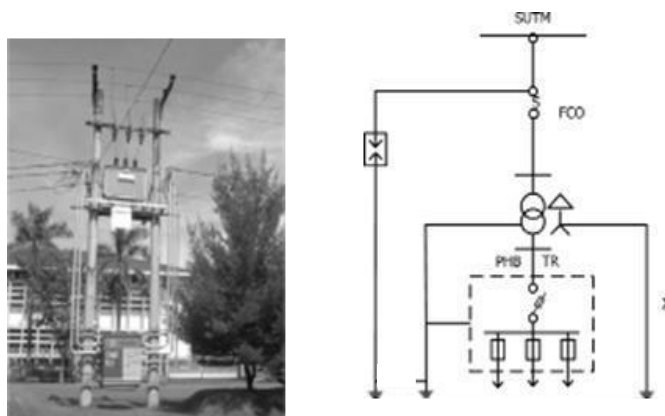
optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan pemda setempat[2].

Dalam Gardu Distribusi ini biasanya digunakan transformator distribusi yang berfungsi untuk menerunkan tengangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi menjadi tegangan terpakai pada jaringan distribusi tegangan rendah (*Step Down Transformator*), misalkan tegangan 20 KV menjadi tegangan 380 volt atau 220 volt.

Sedangkan transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan listrik (*step up transformator*), hanya digunakan pada pusat pembangkit tenaga listrik agar tegangan yang didistribusikan pada suatu jaringan panjang (*long time*) tidak mengalami penurunan tegangan. Macam – macam gardu secara garis besar gardu distribusi dibedakan yaitu :

A. Gardu Portal

Umumnya konfigurasi gardu tiang yang dicatu dari SUTM adalah T section dengan pengaman yang bertujuan untuk mengamankan kestabilan kontinuitas pendistribusian tenaga listrik serta mengamankan peralatan dan lingkungan disekitarnya. Peralatan yang dimaksud adalah *fuse cut out* (FCO) sebagai pengaman pemutus hubung singkat (*short circuit*) dan beban lebih (*over laod*) transformator dengan elemen pelebur (pengaman lebur link type expulsion) dan *lightning arrester* (LA) sebagai sarana pencegahan naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir. Pemasangan lightning arrester (LA) dapat dipasang sebelum ataupun sesudah FCO sesuai dengan kebutuhan. Elektroda pembumian dipasang pada masing-masing lightning arrester (LA) dan pembumian titik netral transformator sisi tegangan rendah. Kedua elektroda pembumian tersebut dihubungkan dengan penghantar yang berfungsi sebagai ikatan penyama potensial yang digelar di bawah tanah.[2]



Gambar 2.2 Gardu Portal dan Bagan Satu Garis [2]

B. Gardu Cantol

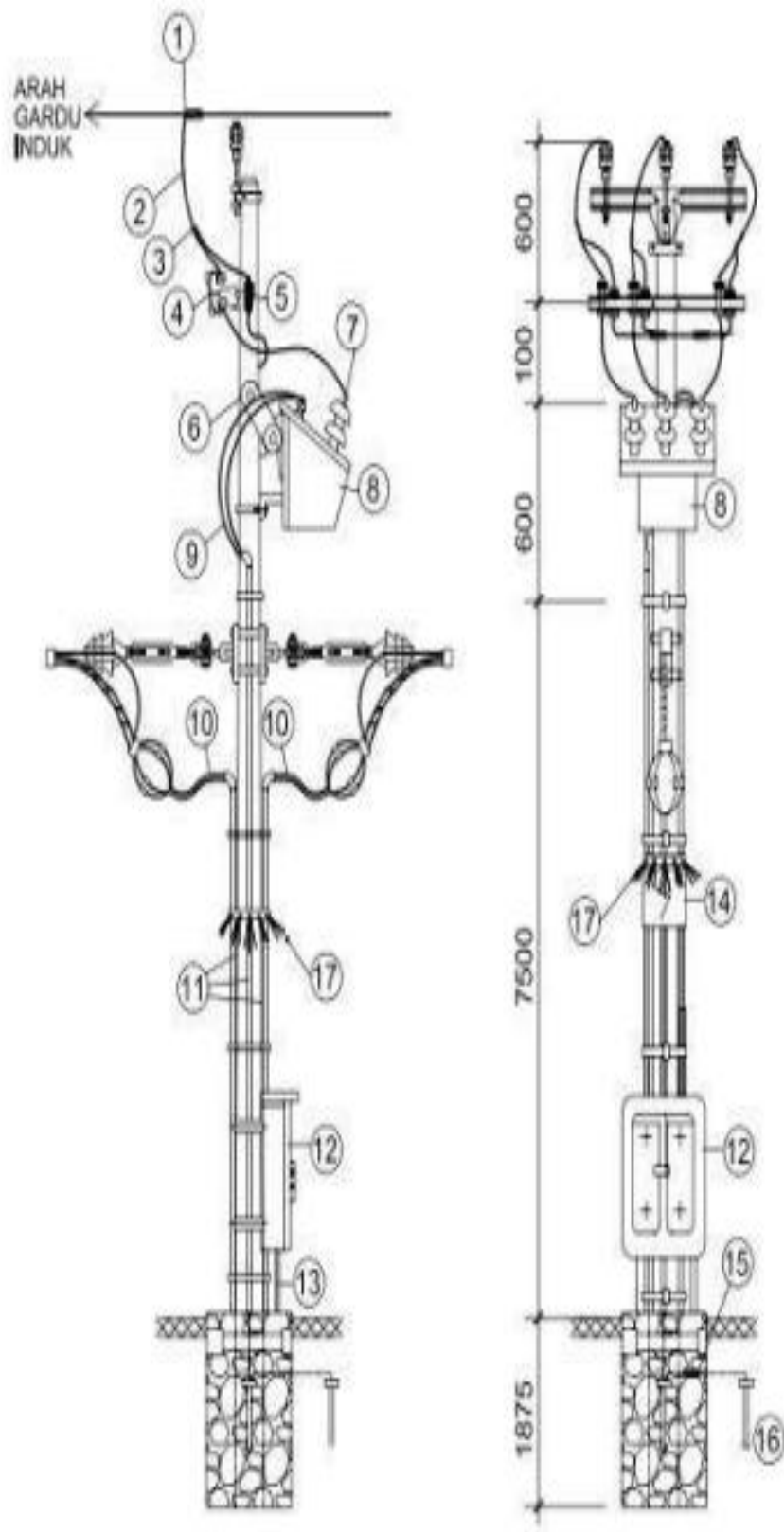
Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang dipasang adalah transformator dengan daya mulai dari 25 kVA, 50 kVA, 100 kVA dan 160 kVA fase 3 atau fase 1.

Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator[2].



Gambar 2.3 Gardu Tipe Cantol [2]

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (Lightning Arrester) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubung langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.



Gambar 2.4 Monogram Konstruksi Gardu Cantol Fasa-3 ^[5]

Tabel 2.1 Komponen Utama Gardu Cantol 3 Fasa [5]

No	Nama Material	Satuan	Jumlah
1	<i>Parallel Groove/ Live Line Connector</i>	Bh	3
2	<i>Jumper A3C 35 mm²</i>	M	-
3	<i>Bimetal AL-CU mm²</i>	Bh	3
4	<i>Fused Cut Out</i>	Bh	3
5	<i>Lighting Arrester</i>	Bh	3
6	Transformator Anchor	Bh	1
7	Terminal Lug	Bh	3
8	Transformator	Bh	-
9	LV, <i>Cable Jumper (NYY)</i>	M	-
10	Kabel Penyulang TR + Binetal AL-CU <i>joint</i>		
11	Pipa Saluran Ø 4 inchi	M	-
12	PHB TR 2 Jurusan	Bh	1
13	Pipa Saluran Ø 4 Inchi	M	-
14	Pelat Tanda Bahaya		1
15	<i>Grounding Terminal Joint</i>	Bh	1
16	Elektroda Bumi	Bh	2
17	Ranjau Panjang	Bh	1

➤ Gardu Cantol Sistem 3 Kawat

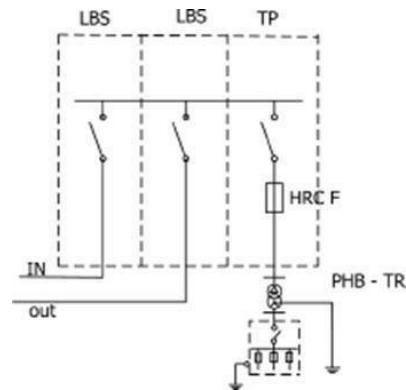
Lazimnya untuk transformator fase ganda atau fase tiga sistem 3 kawat, tabung transformator berbentuk kotak dan dilengkapi dengan sirip radiator. Seluruh peralatan Lightning Arester (LA) dan rak TR harus ditambahkan dan dipasang pada tiang [5].

➤ Gardu Cantol Sistem 4 Kawat

Perbedaan konstruksi gardu cantol sistem 4 kawat dengan sistem 3 kawat adalah pada konstruksi transformatornya dimana peralatan proteksi TM dan TR sudah dalam transformator, sehingga konstruksi keseluruhan dapat disederhanakan [5].

C. Gardu Pelanggan Umum

Umumnya konfigurasi peralatan Gardu Pelanggan Umum adalah π section, sama halnya seperti dengan Gardu Tiang yang dicatu dari SKTM



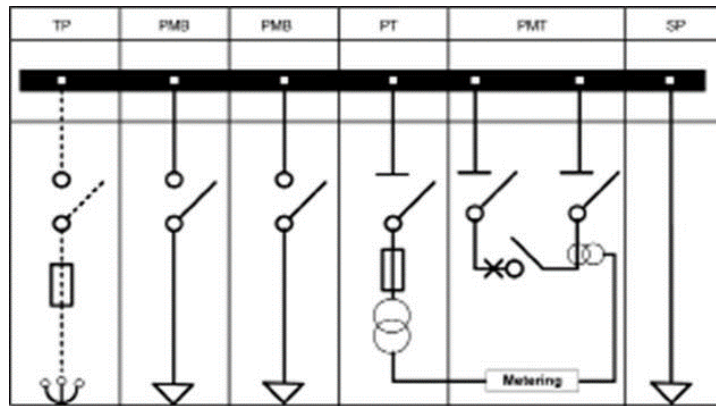
Gambar 2.5 Bagan satu garis Konfigurasi π section Gardu Pelanggan Umum ^[2]

Karena keterbatasan lokasi dan pertimbangan keandalan yang dibutuhkan, dapat saja konfigurasi gardu berupa T section dengan catu daya disuplai PHB-TM gardu terdekat yang sering disebut dengan Gardu Antena.

Untuk tingkat keandalan yang dituntut lebih dari Gardu Pelanggan Umum biasa, maka gardu dipasok oleh SKTM lebih dari satu penyulang sehingga jumlah saklar hubung lebih dari satu dan dapat digerakan secara Otomatis (ACOS : Automatic Change Over Switch) atau secara remote control[2].

D. Gardu Pelanggan Khusus

Gardu ini dirancang dan dibangun untuk sambungan tenaga listrik bagi pelanggan berdaya besar. Selain komponen utama peralatan hubung dan proteksi, gardu ini dilengkapi dengan alat-alat ukur yang dipersyaratkan. Untuk pelanggan dengan daya lebih dari 197 kVA, komponen utama gardu distribusi adalah peralatan PHB-TM, proteksi dan pengukuran Tegangan Menengah. Transformator penurun tegangan berada di sisi pelanggan atau diluar area kepemilikan dan tanggung jawab PT PLN (Persero). Pada umumnya, Gardu Pelanggan Khusus ini dapat juga dilengkapi dengan transformator untuk melayani pelanggan umum [2].



Gambar 2.6 Bagan satu garis Gardu Pelanggan Khusus ^[2]

Keterangan :

TP = Pengaman Transformator

PMB = Pemutus Beban - LBS

PT = Transformator Tegangan

PMT = Pembatas Beban Pelanggan

SP = Sambungan Pelanggan

2.3 Transformator

Transformator merupakan peralatan mesin listrik statis yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik mentransformasikan tegangan dan arus bolak-balik diantara dua belitan, atau lebih pada frekuensi yang sama besar dan biasanya pada nilai arus dan tegangan yang berbeda. Penggunaan yang sangat sederhana dan handal itu merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak balik sangat banyak digunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian energi sebesar $I^2 R$ Watt. Kerugian ini banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan. Dengan demikian maka saluran saluran transmisi tenaga senantiasa mempergunakan tegangan tinggi. Tegangan transmisi di Indonesia saat ini adalah 500 kV. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi ada saluran. Dengan menaikkan energi listrik di pusat listrik dari tegangan generator yang biasanya 6 sampai 20 kV pada awal saluran transmisi, kemudian menurunkannya lagi

diujung akhir saluran itu ke tegangan yang lebih rendah, dilakukan dengan transformator [5].

Adapun jenis – jenis Transformator yaitu :

1. Transformator *Step-Up*

Transformator *Step-Up* adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak dari lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaikan tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.

2. Transformator *Step-Down*

Transformator *Step-Down* memiliki lilitan sekunder lebih sedikit dari lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.

2.3.1 Bagian – bagian Transformator

Untuk Bagian Bagian Transformator dibagi menjadi bagian utama dan bagian peralatan bantu, yaitu :

A. Bagian Utama

A. Inti Besi

Berfungsi untuk mempermudah jalan *fluksi*, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.

1. Kumparan Transformator

Kumparan Transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

2. Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat

sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

3. Bushing

Hubungan antara kumparan transformator dengan jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Bushing sekaligus berfungsi sebagai penyekat atau isolator antara konduktor tersebut dengan jangka transformator. Pada bushing dilengkapi fasilitas untuk pengujian kondisi bushing yang sering disebut *center tap*

4. Tangki dan Konservator

Untuk menampung pemuatan minyak transformator, maka tangki dilengkapi konservator. Konservator sebuah tabung yang mempunyai Sebagian ruang kosong untuk menampung volume pemuatan minyak transformator.

B. Peralatan Bantu

1. Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi (didalam transformator). Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator. Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa Udara/gas, Minyak, Air, Dan lain sebagainya. Sedangkan pengalirkan (sirkulasi) dapat dengan cara: Alamiah (natural) dan Tekanan/paksaan (*forced*)

Pada cara alamiah (natural), pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat perpindahan panas dari media tersebut ke udara luar diperlukan bidang perpindahan panas yang lebih luas antara media (minyak, udara dan gas), dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (radiator). Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara natural/alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara, dan air. Cara ini tersebut pendingin paksa (*forced*) [9].

Sistem pendinginan transformator dapat dikelompokkan sebagai berikut :

A) Onan (Oil Natural Air Natural) Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak dan sirkulasi udara secara alamiah. Sirkulasi minyak yang terjadi disebabkan oleh perbedaan berat jenis antara minyak yang dingin dengan minyak yang panas.

B) Onaf (Oil Natural Air Force) Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak secara alami sedangkan sirkulasi udaranya secara buatan, yaitu dengan menggunakan hembusan kipas angin yang digerakkan oleh motor listrik. Pada umumnya operasi transformator dimulai dengan ONAN atau dengan ONAF tetapi hanya sebagian kipas angin yang berputar. Apabila suhu transformator sudah semakin meningkat, maka kipas angin yang lainnya akan berputar secara bertahap.

C) Ofaf (Oil Force Air Force) Pada sistem ini, sirkulasi minyak digerakkan dengan menggunakan kekuatan pompa, sedangkan sirkulasi udara menggunakan kipas angin[8].

2. Tap Changer

Tap Changer merupakan alat pengubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sisi sekunder yang stabil (diinginkan) dari tegangan jaringan / sisi primer yang berubah-ubah. Prinsip kerja komponen ini adalah dengan mengubah jumlah kumparan primer yang memiliki input tegangan berubah-ubah untuk mendapatkan nilai tegangan output yang konstan.

Proses perubahan ratio belitan dapat dilakukan pada saat transformator dalam keadaan berbeban (*On Load Tap Charger*) dan dapat dioperasikan secara manual maupun otomatis atau saat transformator dalam keadaan tidak berbeban (*Off Load Tap Charger*) dan hanya dapat dioperasikan secara manual.

Tap Changer terdiri dari :

1) Selector Switch

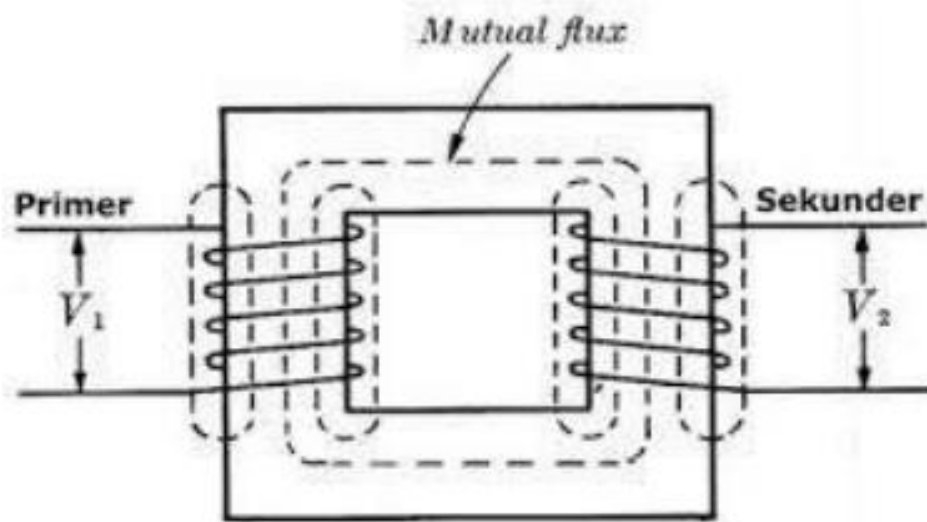
Selector Switch merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal untuk menentukan posisi tap dan ratio belitan primer.

2) Diverter Switch

Diverter Switch merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi. Tahanan Transisi Tahanan Transisi merupakan tahanan sementara yang akan melewati arus primer pada saat perubahan tap [9].

2.4 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri dari dua gulungan kawat yang terpisah satu sama lain yang dibelitkan pada inti yang sama.



Gambar 2.7 Bentuk Dasar Transformator^[7]

Daya listrik dipisahkan dari kumparan primer ke kumparan sekunder, fluks magnet dengan perantara garis gaya magnet atau fluks magnet yang dibangkitkan oleh aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer. Untuk dapat membangkitkan tegangan listrik pada kumparan sekunder, fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan primer harus berubah-ubah. Untuk memenuhi hal tersebut, aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer haruslah aliran bolak balik (AC).

Saat kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik AC, pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet bersama yang bolak-balik juga. Dengan adanya gaya gerak magnet ini, disekitar kumparan primer timbul fluks magnet bersama yang juga bolak balik.. adanya fluks magnet bersama ini, pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul gaya gerak listrik sekunder yang mungkin sama, lebih tinggi atau lebih rendah dari gaya gerak listrik primer. Hal ini tergantung pada perbandingan transformasi kumparan transformator.

Jika kumparan sekunder dihubungkan ke beban, maka kumparan sekunder timbul arus listrik bolak-balik akibat adanya gaya gerak induksi sekunder. Hal ini mengakibatkan timbul gaya gerak magnet pada kumparan sekunder dan akibatnya pada beban timbul tegangan sekunder [7].

2.5 Gangguan – gangguan pada Transformator Distribusi

Pada transformator distribusi ada beberapa gangguan yang pernah terjadi yaitu:

a. Tegangan Lebih Akibat Petir

Gangguan ini terjadi akibat sambaran petir yang mengenai kawat fasa, sehingga menimbulkan gelombang berjalan yang merambat melalui kawat fasa tersebut dan menimbulkan gangguan pada transformator. Hal ini dapat terjadi karena arrester yang terpasang tidak berfungsi dengan baik, akibat kerusakan peralatan/ pentanahan yang tidak ada. Pada kondisi normal, arrester akan mengalirkan arus bertegangan lebih yang muncul akibat sambaran petir ke tanah. Tetapi apabila terjadi kerusakan pada arrester, arus petir tersebut tidak akan dialirkan ke tanah oleh arrester sehingga mengalir ke transformator. Jika tegangan lebih tersebut lebih besar dari kemampuan isolasi transformator, maka tegangan lebih tersebut akan merusak lilitan transformator dan mengakibatkan hubung singkat antar lilitan.

b. *Over blast* dan Beban Tidak Seimbang

Over blast terjadi karena beban yang terpasang pada transformator melebihi kapasitas maksimum yang dapat dipikul transformator dimana arus beban melebihi arus beban penuh (full load) dari transformator. *Over blast* akan menyebabkan transformator menjadi panas dan kawat tidak sanggup lagi menahan beban, sehingga timbul panas yang menyebabkan naiknya suhu lilitan tersebut. Kenaikan ini menyebabkan rusaknya isolasi lilitan pada kumparan transformator.

c. *Loss Contact* Pada Terminal Bushing

Gangguan ini terjadi pada bushing transformator yang disebabkan terdapat kelonggaran pada hubungan kawat fasa (kabel schoen) dengan terminal bushing. Hal mengakibatkan tidak stabilnya aliran listrik yang diterima oleh transformator distribusi dan dapat juga menimbulkan panas yang dapat menyebabkan kerusakan belitan transformator

d. Isolator Bocor/ Bushing Pecah

Gangguan akibat isolator bocor/bushing pecah dapat disebabkan oleh:

- 1) *Flash Over*, dapat terjadi apabila muncul tegangan lebih pada jaringan distribusi seperti pada saat terjadi sambaran petir/surja hubung. Bila besar surja tegangan yang timbul menyamai atau melebihi ketahanan impuls isolator, maka kemungkinan akan terjadi *flash over* pada bushing. Pada sistem 20 KV, ketahanan impuls isolator adalah 160 kV. *Flash over* menyebabkan loncatan busur api antara konduktor dengan bodi transformator sehingga mengakibatkan hubungan singkat fasa ke tanah.
- 2) Bushing Kotor, kotoran pada permukaan bushing dapat menyebabkan terbentuknya lapisan penghantar di permukaan bushing. Kotoran ini dapat mengakibatkan jalannya arus melalui permukaan bushing sehingga mencapai body transformator. Umumnya kotoran ini tidak menjadi penghantar sampai endapan kotoran tersebut basah karena hujan/embun.

e. Kegagalan Isolasi Minyak Transformator/ Packing Bocor

Kegagalan isolasi minyak transformator dapat terjadi akibat penurunan kualitas minyak transformator sehingga kekuatan dielektrisnya menurun. Hal ini disebabkan oleh:

- 1) Pacing bocor, sehingga air masuk dan volume minyak transformator berkurang.
- 2) Karena umur minyak transformator sudah tua [8].

f. *Underload* atau penurunan Tegangan

Underload terjadi karena beban yang terpasang pada transformator lebih besar dari kapasitas pada pemakaian di pelanggan. *Underload* akan menyebabkan *losees* atau rugi – rugi tegangan dan memungkinkan terjadinya kebocoran trafo.

2.6 Cara Mengatasi Gangguan Akibat Underload

- Menurunkan Kapasitas Transformator

Menurunkan kapasitas transformator dalam artian transformator yang lama 250 KVA akan diganti dengan transformator 100 KVA. Dikarenakan jumlah pemakaian sangat kecil dengan kapasitas trafo yang sangat besar

2.7 Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah 20 KV menjadi tegangan rendah 220 / 380 V. Transformator yang umum digunakan adalah transformator step down 20/0,4 KV. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam Transformator Distribusi, Yaitu :

1. Jumlah Fasa

Berdasarkan jumlah fasanya transformator dibagi menjadi dua (2) macam, yaitu :

- Transformator 3 Fasa
- Transformator 1 Fasa

2. Tegangan nominal

Tegangan nominal yaitu tegangan kerja yang mendasari perencanaan dan pembuatan instalasi serta peralatan listrik. Berdasarkan tegangan nominalnya, transformator distribusi dapat digolongkan kedalam beberapa bagian yaitu :

1. Tegangan Primer Transformator distribusi harus disesuaikan dengan tegangan nominal pada system jaringan distribusi primer yang berlaku adalah 6 kV, 12 kV, dan 20 kV.
2. Tegangan Sekunder yaitu tegangan nominal pada sisi transformator distribusi yang disesuaikan dengan tegangan distribusi sekunder yang berlaku di Indonesia yaitu 230/400 Volt.
3. Daya nominal berdasarkan daya nominalnya transformator dapat dikelompokan sebagai berikut, yaitu : 12 kVA, 50 kVA, 75 kVA, 125 kVA, 160 kVA, 200 kVA, 250 kVA, 315 kVA, 400 kVA, 500 kVA, 630 kVA, 800 kVA, 1000 kVA, 1250 kVA, dan 1600 kVA [4].

2.8 Saluran Kabel Udara Tegangan Redah

Kabel yang digunakan adalah kabel berjenis LVTC (Low Voltage Twisted Cable). Jenis kabel ini direntangkan di antara tiang penyangga. Standar ini menetapkan spesifikasi kabel pilin udara bertegangan pengenal 0,6/1 (1,2) kV untuk penggunaan pada jaringan listrik tegangan rendah di lingkungan PLN terdiri dari:

1. Kabel pilin untuk saluran kabel udara tegangan rendah (NFA2X-T)
2. Kabel pilin untuk saluran sambungan pelayanan (NFA2X) [11]

2.8.1 Kabel NFA2X-T

Kabel pilin udara untuk saluran kabel udara tegangan rendah (SKUTR) yang pemasangannya direntangkan antar tiang dengan menggunakan klem tarik pada tiang awal dan akhir, serta klem gantung pada inti netral kabel pada tiang lainnya.

Huruf Kode Komponen :

NFA : Kabel pilin udara dengan aluminium sebagai bahan konduktor

2X : Insulasi XLPE

-T : Inti netral sebagai penggantung [11]

Tabel 2.2 Karakteristik Kabel NFA2X-T [11]

Ukuran Kabel	Langkah Pilin (cm)		Resistans DC pada 20 ⁰ C (Ω/km)		KHA pada suhu udara sekitar 35 ⁰ C (A)	Beban Putus (kN)	Berat Kabel (kg/km)
	Min	Max	Inti Fase	Inti Netral			
2x35+35	36	73	0,868	0,836	125	12,6	479
2x50+50	41	82	0,641	0,585	154	17,42	643
2x70+70	50	100	0,443	0,418	196	24,03	898
3x35+35	41	82	0,868	0,836	125	12,6	622
3x50+50	46	91	0,641	0,585	154	17,42	1018
3x70+50	56	112	0,441	0,418	196	24,03	1165
3x95+95	63	125	0,32	0,308	242	35,2	1497
3x120+95	72	144	0,253	0,308	296	35,2	1845

2.8.2 Kabel NFA2X

Kabel pilin udara untuk saluran sambungan pelayanan (SSP) ke rumah.bangunan pelanggan, yang pemasangannya direntangkan antara tiang SKUTR dan rumah/bangunan pelanggan dengan menggunakan klem tarik. [11]

Huruf Kode Komponen :

NFA : Kabel pilin udara dengan alumunium sebagai bahan konduktor

2X : Insulasi XLPE [11]

2.9 Downrating Transformator

Untuk Mengatasi kekurangan beban pada transformator yang bebannya besar salah satunya dengan cara menurunkan kapasitas dari transformator atau sering disebut dengan *Downrating* transformator. Dengan dilakukannya *Downrating* Transformator maka dapat memenuhi kebutuhan daya listrik. Syarat dalam melakukan *Downrating* transformator adalah bila kapasitas beban kurang dari 40%. Pemilihan kapasitas transformator distribusi didasarkan pada beban yang akan dilayani. Diusahakan presentase transformator distribusi berada pada range 40% - 80% Sesuai dengan SPLN NO.50 Tahun 2014 tentang Spesifikasi Trafo. [12].

2.10Pembebanan Transformator

Dimana Transformator *Underload* apabila beban transformator dibawah 40% dari kapasitas transformator (*nameplate*) atau arus nominal (*In*).

Untuk mengetahui pembebanan sebelum dan sesudah dilakukannya *downrating* maka dapat menggunakan persamaan [13]:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} X V} [13] \quad (2.1)$$

Dimana :

I_{FL} = Arus Beban Puncak (A)

S = Daya Transformator (VA)

V = Tegangan Fasa-fasa (Terdapat pada *name plate* transformator) (V)

2.11 Perhitungan Arus Beban Rata – Rata Pada Transformator

Untuk mengetahui arus rata – rata pembebanan sebelum dan sesudah dilakukan *downrating* maka digunakan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} [13] \quad (2.2)$$

Dimana :

I_R : Arus fasa R (Ampere)

I_S : Arus fasa S (Ampere)

I_T : Arus fasa T (Ampere)

Besarnya pembebanan transformator sangat berpengaruh terhadap life time serta efisiensi transformator. Pada kondisi tertentu, transformator dapat dioperasikan 40% ataupun dibawah 40% Hal seperti ini tidak bisa terus menerus karena susut yang besar, dan juga terdapat kerusakan pada tm Bushing primer pada transformator yang membuat minyak isolasi merembes pada badan transformator. Agar transformator tidak mengalami kerusakan perlu dipertimbangkan batas beban normal yang akan disuplainya. Kondisi ideal minimim transformator ada pada angka 40% sesuai dengan standar.

2.12 Perhitungan Rugi-rugi Daya (*Losses*) Terhadap Arus Netral

Besarnya rugi-rugi daya penghantar netral akibat beban tidak seimbang dapat dihitung dengan menggunakan perumusan sebagai berikut[15]

$$PN = I_N^2 \times R_N \text{ (Watt) [15]} \quad (2.3)$$

Dimana :

PN : Rugi netral penghantar transformator (watt/km)

I_N : Arus Netral transformator (A)

R_N : Tahanan Netral penghantar transformator (ohm/km) Perhitungan Efisiensi Transformator

2.13 Perhitungan Efisiensi Trafo

Untuk mengetahui Efisiensi Transformator hal yang pertama dilakukan adalah menghitung nilai reaktansi transformator distribusi sisi sekunder dengan persamaan [14]:

$$x_{Trafo} = \frac{Vl - l^2}{S3phasa} \times Impedansi P.U [14] \quad (2.4)$$

Dimana :

x_{Trafo} = Reaktansi Transformator sisi sekunder (Ω)

$Vl - l^2$ = Tegangan fasa-fasa sisi sekunder transformator (V)

Impedansi P.U= Impedansi Transformator Per unit (%)

S(3 fasa) = Daya/Reting trafo yang digunakan

Menghitung Impedansi netral trafo (Z_n) dengan persamaan

$$Z_n = V/I_n \quad [14] \quad (2.5)$$

Dimana :

Z_n = Impedansi Netral Trafo (Ω)

V = Tegangan 1 Fasa

I_n = Arus Netral dari pengukuran

Setelah ketemu Z_n , maka hitung R_n dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Rumus } Z_n = R_n + jX_{\text{trafo}}$$

$$\text{Atau } (Z_n)^2 = (R_n)^2 + (X_{\text{trafo}})^2$$

Jadi menghitung resistansi penghantar netral trafo dengan persamaan

$$(R_n)^2 = (R_n)^2 + (X_{\text{trafo}})^2 \quad [14] \quad (2.6)$$

Setelah ketemu (R_n) maka hitung rugi rugi daya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sum \text{rugi} = P_i + P_{\text{cu}} + P_N \quad [14] \quad (2.7)$$

Dimana :

$\sum \text{rugi}$ = Rugi-rugi daya (kW)

P_i =Rugi Inti Besi (kW)

P_{cu} = Rugi Tembaga (kW)

P_N = Rugi Penghantar netral (kW)

Untuk P_N masukan rumus (2.3)

Setelah itu dapat dihitung efisiensi dengan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$P_{\text{out}} = (a + b + c)\sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos}\phi \quad [14] \quad (2.8)$$

Dimana :

V = Rata-rata tegangan 3 Fasa dari hasil pengukuran

I = Rata-rata arus dari hasil pengukuran

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + rugi\ daya} \times 100\% [14] \quad (2.9)$$

Dimana :

η = Efisiensi

P_{out} = Daya Keluar

P_{in} = Daya Masuk

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

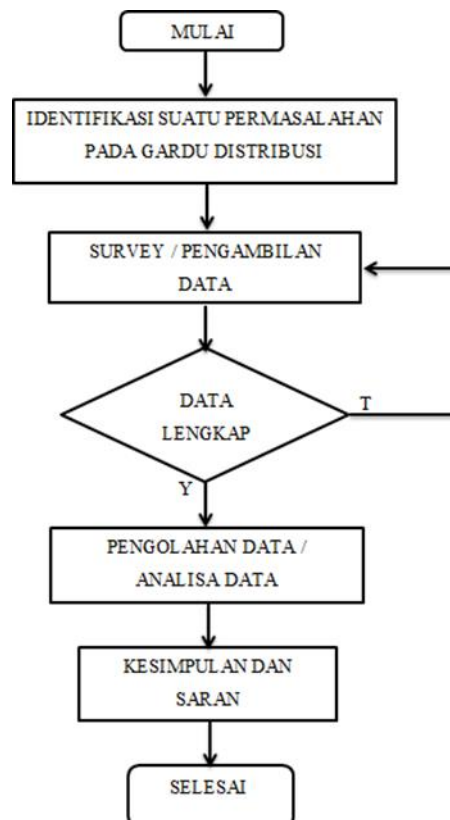
3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan suatu jenis penelitian yang spesifikasinya sistematis, terencana dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan *desain* penelitiannya. Penelitian kuantitatif juga banyak menuntut penggunaan data empiris, mulai dari pengumpulan data sampai hasil penelitian.

3.2 Lokasi Penelitian

Transformator pada Gardu Distribusi DS 0142 terletak di Jl. Bypass Pesanggaran pada Penyulang Reagen PT PLN (PERSERO) ULP Sanur. Penelitian Dilaksanakan selama 6 hari yaitu pada Tanggal 11 Oktober 2021 sampai tanggal 17 Oktober 2021.

3.3 Diagram Alir Penelitian/Pengolahan Data



3.4 Pengambilan Data

Untuk menyelesaikan pembahasan pada analisa tugas akhir ini, adapun beberapa metode pengumpulan data yang digunakan seperti :

3.4.1 Metode Observasi

Metode ini dilakukan oleh penulis untuk mendapatkan data dari PT PLN (Persero) ULP Sanur agar mengetahui gambaran secara umum dilapangan yang akan diteliti dan ingin memahami masalah yang telah dirumuskan sebelumnya. Metode ini dilakukan dengan mengukur arus menggunakan Tang Ampere yang berada dijalan Bypass Pesanggaran pada Gardu Distribusi DS 0142. Dalam pelaksanaannya pengukuran ini diawasi oleh pegawai PLN ULP Sanur dalam bidang Teknik. Pengukuran dilakukan pada saat siang hari pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), sebelum *Downrating* Transformator pada tanggal 11 Oktober 2021 sampai tanggal 17 Oktober 2021 Pekerjaan berjalan 6 hari. Dimulai pada jam 09.00 dan 20.00

3.4.2 Metode Wawancara

Penulis memperoleh data dengan wawancara atau tanya jawab dengan pegawai PLN ULP Sanur dalam bidang Teknik yang mengetahui tentang permasalahan yang dibahas oleh penulis. Metode Ini dilakukan dengan cara tanya jawab dan diskusi kepada Bapak Alit Yoga Waisnawa Selagu Pegawai dalam Bidang Teknik di kantor PLN ULP Sanur tentang transformator *Underload* serta upaya yang dilakukan oleh pihak PLN ULP Sanur untuk mengatasi permasalahan pembebanan transformator yang kurang dari standar PLN.

3.4.3 Metode Dokumentasi

Metode dokumentasi dilakukan dengan cara mendokumentasikan kegiatan Dilapangan serta mendapatkan data dari mencatat dokumen-dokumen yang ada dalam perusahaan seperti data pengukuran arus dan tegangan transformator dan mengetahui spesifikasi transformator pada Gardu DS 0142.

3.4.4 Metode Studi Literatur

Metode yang dilakukan penulis yaitu dengan cara mencari literatur Ilmiah di media elektronik yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas dan dipelajari referensi – referensi yang memuat teori – teori tentang permasalahan yang akan dibahas salah satunya : Surat PLN (PERSERO) No.0017.E/DIR/2014 tentang standar pembebanan transformator, PLN Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu

Hubung Tenaga Listrik, PLN Buku 1 Kriteria Desain Enjinereng Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, SPLN D3.002-1 Spesifikasi Transformator Distribusi PT PLN (PERSERO) 2007.

3.5 Metodologi Pengolahan Data

Pada penelitian ini, penulis menggunakan rumus untuk mengolah atau menganalisa data pada transformator Gardu Distribusi DS 0142

- Menghitung arus rata-rata pembebanan pada transformator, dapat dihitung dengan menggunakan rumus.

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} [13] \quad (3.1)$$

Dimana :

I_R : Arus fasa R (Ampere)

I_S : Arus fasa S (Ampere)

I_T : Arus fasa T (Ampere)

- Menghitung Pembebanan sebelum dan sesudah *Downrating* dapat menggunakan rumus

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} [13] \quad (3.2)$$

Dimana :

I_{FL} = Arus Beban Puncak (A)

S = Daya Transformator (VA)

V = Tegangan Fasa-fasa (Terdapat pada *name plate* transformator) (V)

- Perhitungan Rugi-rugi Daya (*Losses*) terhadap arus netral akibat ketidakseimbangan beban :

$$PN = I_N^2 \times R_N \text{ (Watt)} [15] \quad (3.3)$$

Dimana :

PN : Rugi netral penghantar transformator (watt/km)

I_N : Arus Netral transformator (A)

R_N : Tahanan Netral penghantar transformator (ohm/km)

➤ Perhitungan Efisiensi Transformator

menghitung nilai reaktansi transformator distribusi sisi sekunder dengan persamaan:

$$x_{Trafo} = \frac{Vl-l^2}{S_{3phasa}} \times \text{Impedansi P.U} \quad [14] \quad (3.4)$$

Dimana :

x_{Trafo} = Reaktansi Transformator sisi sekunder (Ω)

$Vl - l^2$ = Tegangan phasa-phaasa sisi sekunder transformator (V)

Impedansi P.U = Impedansi Transformator Per unit (%)

S(3 fasa) = Daya/Reting trafo yang digunakan

Menghitung Impedansi netral trafo (Z_n) dengan persamaan

$$Z_n = V/I_n \quad [14] \quad (3.5)$$

Dimana :

Z_n = Impedansi Netral Trafo (Ω)

V = Tegangan 1 Fasa

I_n = Arus Netral dari pengukuran

Setelah ketemu Z_n , maka hitung R_n dengan menggunakan persamaan:

Rumus Z_n = $R_n + jX_{trafo}$

Atau $(Z_n)^2 = (R_n)^2 + (X_{trafo})^2$

Jadi menghitung resistansi penghantar netral trafo dengan persamaan

$$(R_n)^2 = (R_n)^2 + (X_{trafo})^2 \quad [14] \quad (3.6)$$

Setelah ketemu (R_n) maka hitung rugi rugi daya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sum \text{rugi} = P_i + P_{cu} + P_N \quad [14] \quad (3.7.)$$

Dimana :

$\sum \text{rugi}$ = Rugi-rugi daya (kW)

P_i =Rugi Inti Besi (kW)

P_{cu} = Rugi Tembaga (kW)

P_N = Rugi Penghantar netral (kW)

Untuk P_N masukan rumus (2.3)

Setelah itu dapat dihitung efisiensi dengan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$P_{out} = (a + b + c)\sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi [14] \quad (3.8)$$

Dimana :

V = Rata-rata tegangan 3 Phasa dari hasil pengukuran

I = Rata-rata arus dari hasil pengukuran

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100\% [14] \quad (3.9)$$

Dimana :

η = Efisiensi

P_{out} = Daya Keluar

P_{in} = Daya Masuk

3.6 Hasil Yang Diharapkan

Dari analisis yang telah dilakukan, penulis mengharapkan dapat menentukan presentase pembebanan yang ditanggung oleh transformator sebelum dan sesudah dan dapat mengukur arus rata rata pada Gardu Distribusi DS 0142 Sehingga dapat mengurangi kerugian atau kerusakan yang dialami PL PLN (Persero) ULP Sanur.

BAB IV

PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1 Gambaran Umum Gardu Distribusi DS 0142

Dari berbagai jenis transformator yang ada pada berbagai penyulang di PT PLN (Persero) ULP Sanur, dimana penulis mengambil salah satu transformator yang telah dikategorikan *underload* sebagai obyek penelitian. Transformator tersebut berada pada penyulang reagen. Gardi Distribusi DS 0142 merupakan Gardu distribusi yang terletak di jalan Bypass Pesanggaran yang merupakan daerah kerja dan PT PLN (Persero) ULP (Unit Layanan Pelanggan) Sanur Gardu Distribusi DS 0142 merupakan salah satu gardu distribusi dari penyulang reagen dan disuplai dari gardu induk sanur. Dimana gardu distribusi DS 0142 memiliki konstruksi gardu dua tiang atau disebut gardu portal, gardu tersebut menyuplai satu jurusan . transformator pada gardu ini sebelumnya bermerek starlite dengan kapasitas transformator pada gardu ini 250 KVA dimana tegangan incoming

Adapun gambar gardu distribusi DS 0142 Penyulang reagen adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Gardu Distribusi DS 0142 Penyulang Reagen

Dalam penggantian transformator di gardu distribusi DS 0142 ini disebabkan karena transformator tersebut mengalami *underload* atau beban dibawah dari yang diizinkan oleh PT PLN (Persero) yaitu 40% dari arus nominal transformator. Jika hal ini dibiarkan maka

akan memungkinkan transformator tersebut mengalami kerugian atau *losees* yang tinggi dan bisa menyebabkan kerusakan pada transformator karena hal tersebut maka perlu dilakukan antisipasi agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah pada transformator sehingga menyebabkan kerugian bagi PT PLN (Persero) maupun konsumen. Sehingga pihak PT PLN (Persero) ULP Sanur memilih untuk mengganti transformator pada gardu distribusi DS 0142 dengan metode *Downrating* Transformator (Menurunkan kapasitas daya transformator) tersebut.

4.2 Data Teknis Objek

Agar dapat membahas dan menganalisa suatu objek, data dari objek tersebut, seperti yang dibahas pada Tugas Akhir ini yaitu transformator. Untuk itu diperlukan data seperti data teknis transformator dan data pembebanan yang ditanggung oleh transformator pada gardu distribusi DS 0142 Penyulang Reagen.

4.2.1 Data Teknis Transformator

Tabel 4.1 Data Teknis Transformator pada Gardu Distribusi DS 0142 Sebelum di *Downrating*

No	Uraian	Spesifikasi
1	Merk	Starlite
2	Jumlah Fasa	3
3	Frekuensi Pengenal	50 Hz
4	Arus Pegenal Primer	7,22 A
5	Arus Pengenal Sekunder	360,8 A
6	Tahun Pembuatan	MEI 2007
7	Daya	250 KVA
8	Berat/Isi Minyak	300 KG
9	Berat Total Trafo	1210 KG
10	Vektor	DELTA BINTANG
11	Bahan Belitan Primer Sekunder	CU-CU
12	Nomor Seri	0704291002

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Sanur

Tabel 4.2 Data Teknis Transformator pada Gardu Distribusi DS 0142 Sesudah di *Downrating*

No	Uraian	Spesifikasi
1	Merk	B&D
2	Jumlah Fasa	3
3	Frekuensi Pengenal	50 Hz
4	Arus Pegenal Primer	2,887 A
5	Arus Pengenal Sekunder	144,338 A
6	Tahun Pembuatan	2021
7	Daya	100 KVA
8	Berat/Isi Minyak	144 L
9	Berat Total Trafo	600 KG
10	Vektor	Yzn5
11	Bahan Belitan Primer Sekunder	AL - AL
12	Nomor Seri	21R264250

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Sanur

4.2.2 Data Pembebanan Gardu DS 0142 sebelum *Downrating* Transformator

Untuk mendapatkan data permasalahan yang terjadi di objek penelitian penulis observasi ke lapangan. Berikut merupakan data pembebanan padagardu DS 0142 Sebelum dilakukannya *Downrating* transformator yang ditunjukkan pada table 4.3

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Arus Sebelum *Downrating* (LWBP)

TEGANGAN				
ANTAR PHASA		PHASA - NETRAL		
R - S : 385		R - N : 226		
R - T : 396		S - N : 231		
S - T : 388		T - N : 228		
BEBAN TRAFO				
R : 49 A	A : 49 A	B :	C :	D :
S : 40 A	A : 40 A	B :	C :	D :
T : 23 A	A : 23 A	B :	C :	D :
N : 21 A	A : 21 A	B :	C :	D :

Sumber : PT PLN (Persero) ULP Sanur

Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran Arus Waktu Beban Puncak (WBP) pada Gardu Distribusi

DS 0142 sebelum *Downrating*

TAHAP	Arus Induk (A)			
	IR	IS	IT	IN
1	39	40	20	19
2	45	43	25	22
3	45	43	25	21
4	49	42	25	22
5	49	40	22	20
6	49	40	23	21

Sumber : PT PLN (Persero) ULP Sanur

4.2.3 Data Pembebanan Gardu DS 0142 sesudah *Downrating* Transformator

Sesudah dilakukannya *Downrating* Transformator, penulis melakukan pengukuran dan mencari data untuk mengetahui besar beban transformator setelah dilakukannya *downrating* transformator. Berikut merupakan data pembebanan setelah *Downrating* Transformator yang dapat ditunjukkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil pengukuran Arus Sesudah *Downrating*

TEGANGAN				
ANTAR PHASA		PHASA - NETRAL		
R - S : 400		R - N : 233		
R - T : 409		S - N : 231		
S - T : 406		T - N : 236		
BEBAN TRAFU				
R: 62 A	A : 62 A	B : -	C : -	D : -
S : 58 A	A : 58 A	B : -	C : -	D : -
T : 60 A	A : 60 A	B : -	C : -	D : -
N : 21 A	A : 21 A	B : -	C : -	D : -

Sumber : PT PLN (Persero) ULP Sanur

Tabel 4.6 Data Hasil Pengukuran Arus Waktu Beban Puncak (WBP) pada Gardu Distribusi

DS 0142 sesudah *Downrating*

TAHAP	Arus Induk (A)			
	IR	IS	IT	IN
1	60	57	58	20
2	60	57	58	20
3	61	56	59	19
4	61	57	59	19
5	61	58	60	20
6	62	58	60	21

Sumber : PT PLN (Persero) ULP Sanur

4.3 Perhitungan dan Analisa

Data – data diatas selanjutnya dibahas dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya dengan tahapan yang telah disusun. Berikut merupakan perhitungan dari data di atas.

4.3.1 Perhitungan Pembebanan Transformator Pada Gardu DS 0142 Sebelum *Downrating* Transformator

Berdasarkan data hasil pengukuran arus rata-rata transformator Gardu Distribusi DS 0142 Penyulang Reagen Penulis akan mengkitung pembebanan transformator sesuai dengan data dari PT PLN (Persero) ULP Sanur pada Tabel 4.3 pada Waktu Beban Puncak (WBP) Untuk menghitung pembebanan dapat menggunakan persamaan, yaitu:

$$\begin{aligned} I_{FL} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \\ &= \frac{250.000}{\sqrt{3} \times 400} \\ &= \frac{250.000}{692,82} \\ &= 360,8 \text{ A} \end{aligned}$$

Dimana : I_{FL} = Arus Beban Puncak (A)

S = Daya Transformator (VA)

V = Tegangan Fasa-fasa (Terdapat pada *name plate* transformator) (V)

Untuk menghitung arus rata – rata dapat menggunakan persamaan, yaitu :

$$\begin{aligned} IRata - Rata &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ &= \frac{49 + 40 + 23}{3} \\ &= 37,3 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Dimana : I_R : Arus fasa R

I_S : Arus fasa S

I_T : Arus fasa

Dengan demikian presentase pembebanan transformator yaitu :

$$\begin{aligned} \% \text{Pembelian Transformator} &= \frac{I_{Rata - Rata}}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{37,3}{360,8} \times 100\% \\ &= 10,33 \% \end{aligned}$$

Dengan demikian besar presentase pembebanan transformator di Gardu Distribusi DS 0142 yaitu sebesar 10,33 %.

Jadi untuk pembebanan pada Waktu Beban Puncak (WBP) adalah sebesar 10,33%. Dengan mempergunakan langkah – Langkah perhitungan yang sama seperti perhitungan diatas, maka diperoleh hasil perhitungan presentase dari tahap pertama hingga tahap keenam seperti yang diperlihatkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Presentase Pembebanan Transformator DS 0142

Tahap	Presentase Pembebanan
1	9,14%
2	10,43%
3	10,43%
4	10,71%
5	10,25%
6	10,33%

Sumber: Data Pribadi

4.3.2 Perhitungan Pembebanan Transformator Pada Gardu DS 0142 Sesudah *Downrating* Transformator

Berdasarkan data hasil pengukuran arus rata – rata pada transformator Gardu Distribusi DS 0142 Penyulang Reagen Penulis akan menghitung pembebanan transformator sesuai dengan data dari PT PLN (Persero) ULP Sanur pada Tabel 4.4 pada Waktu Beban Puncak (WBP) Untuk menghitung pembebanan dapat menggunakan persamaan, yaitu :

$$\begin{aligned} I_{FL} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \\ &= \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 400} \\ &= \frac{100.000}{692,82} = 144,3A \end{aligned}$$

Dimana : I_{FL} = Arus Beban Puncak (A)

S = Daya Transformator (VA)

V = Tegangan Fasa-fasa (Terdapat pada *name plate* transformator) (V)

Untuk menghitung arus rata – rata dapat menggunakan persamaan, yaitu :

$$\begin{aligned} IRata - Rata &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ &= \frac{62 + 58 + 60}{3} \\ &= 60 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Dimana : I_R : Arus fasa R

I_S : Arus fasa S

I_T : Arus fasa T

Dengan demikian presentase pembebanan transformator yaitu :

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan Transformator} &= \frac{IRata - Rata}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{60}{144,3} \times 100\% \\ &= 41,58 \% \end{aligned}$$

Maka presentase pembebanan transformator pada Gardu Distribusi DS 0142 Penyulang Reagen setelah dilakukannya *Downrating* Transformator yaitu 41,58 dari daya nominal transformator 100 KVA.

Jadi untuk pembebanan pada Lama Waktu Beban Puncak (LWBP) adalah sebesar 41,58%. Dengan mempergunakan langkah – Langkah perhitungan yang sama seperti perhitungan diatas, maka diperoleh hasil perhitungan presentase dari tahap pertama hingga tahap keenam seperti yang diperlihatkan pada tabel berikut ini :

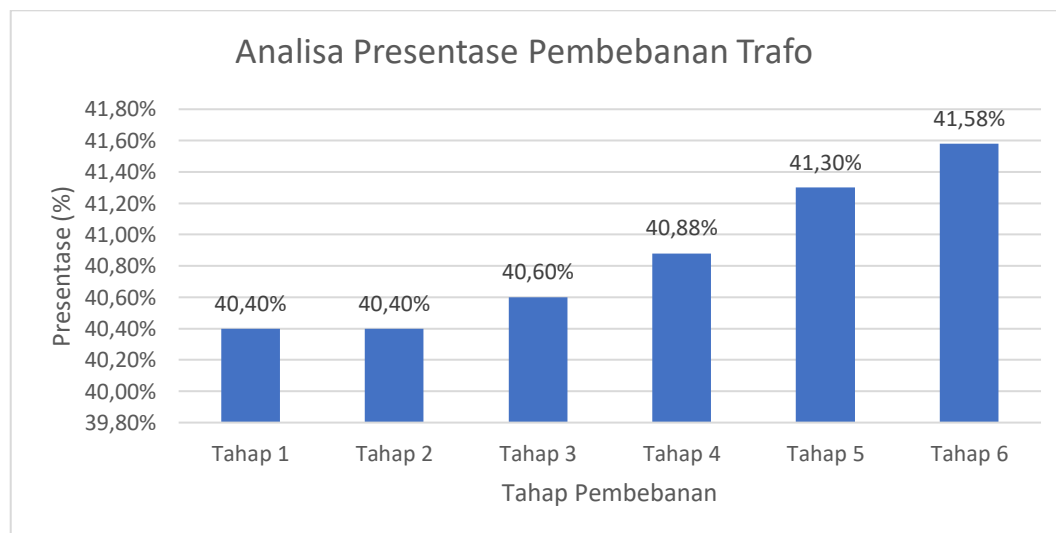
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Presentase Pembebanan Transformator DS 0142

Tahap	Presentase Pembebanan
1	40,40%
2	40,40%
3	40,60%
4	40,88%
5	41,30%
6	41,58%

Sumber: Data Pribadi

4.3.3 Analisa Presentase Pembebanan Trafo

Presentase pembebanan yang terjadi pada Transformator Distribusi DS 0142 Pada 11 Oktober 2021 sampai tanggal 17 Oktober 2021 dari pukul 09.00 dan 20.00 dalam kategori cukup menurut surat edaran direksi PT PLN (Persero) Nomor : 0017.E/DIR/2014 tentang metode pemeliharaan trafo distribusi berbasis kaidah manajemen asset.



Gambar 4.2 Grafik Presentase Pembebanan Trafo DS 0142

4.3.4 Perhitungan Rugi-rugi Daya (*Losses*) Terhadap Arus Netral

Perhitungan rugi-rugi daya (*Losses*) terhadap arus netral akibat ketidakseimbangan beban pada penghantar netral menggunakan jenis NFA2X-T dengan luas penampang $3 \times 70 + 50 \text{ mm}^2$. Panjang penghantar 780 meter dengan nilai $\Theta = 0,85$ dengan $RN = 0,418 \Omega/\text{km}$ yang sesuai dengan tabel 2.2 tentang karakteristik kabel NFA2X-T. Pada Gardu DS 0142 penyulang reagen yang digunakan untuk menghitung rugi rugi daya (*losses*) terhadap arus netral akibat ketidakseimbangan beban pada penghantar netral di Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Menggunakan persamaan (2.9)

Perhitungan rugi -rugi daya terhadap arus netral pada tanggal 11 Oktober 2021 dan 17 Oktober 2021 pada tahap ke-6 adalah:

$$I_N = 21 \text{ A}$$

$$R_N = \Omega \times \frac{\text{Panjang Penghantar}}{1000}$$

$$R_N = 0,418 \times \frac{780}{1000}$$

$$R_N = 0,326\Omega$$

Penyelesaian

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 21^2 \times 0,326$$

$$P_N = 143,76 \text{ watt}$$

$$P_N = 1,44 \text{ KW}$$

Jadi, besar perhitungan rugi – rugi daya terhadap arus netral akibat ketidakseimbangan beban pada transformator DS 0142 pada tanggal 11 Oktober 2021 pada tahap ke - 6 adalah 1,44 kW. Dengan menggunakan Langkah – Langkah seperti perhitungan rugi-rugi daya terhadap arus netral selama Lama Waktu Beban Puncak (LWBP) pada tabel berikut:

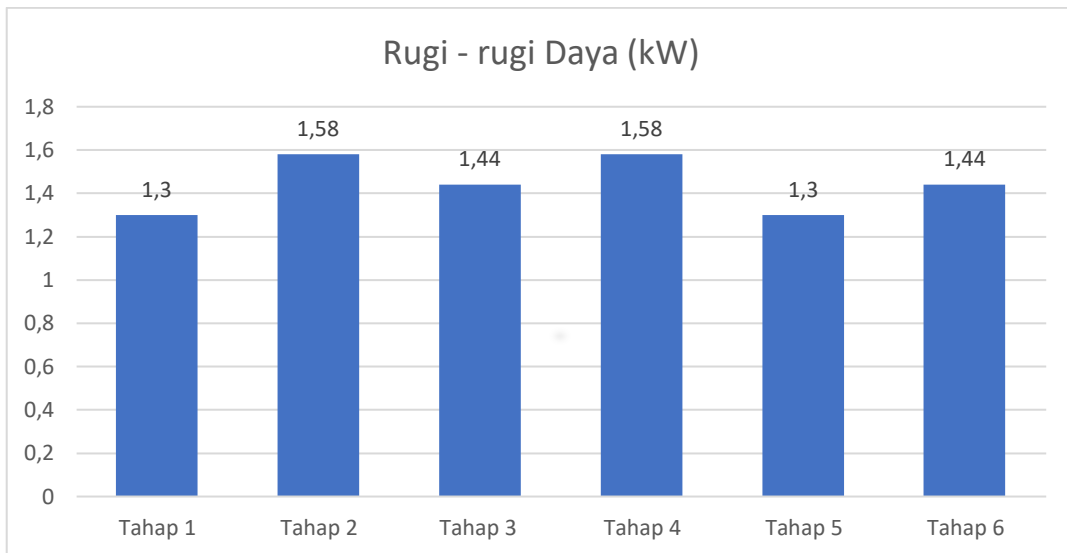
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Rugi -rugi Daya Transformator DS 0142

Tahap	Rugi -rugi Daya (kW)
1	1,30
2	1,58
3	1,44
4	1,58
5	1,30
6	1,44

4.3.5 Analisa Perhitungan Rugi – rugi Daya (*Losses*) Terhadap Arus Netral

Pada Grafik dibawah dapat dilihat bahwa gardu distribusi DS 0142 Mengalami kerugian terbesar pada tahap ke -2 dan ke- 4 dengan nilai kerugian sebesar 1,58 kW. Sedangkan mengalami kerugian terendah pada tahap ke-1 dan tahap ke-5 yaitu sebesar 1,30 kW. Rugi – rugi daya yang terjadi pada penghantar netral pada gardu distribusi DS 0142 disebabkan dengan adanya arus yang mengalir pada penghantar netral. Apabila hal ini terus terjadi maka akan mengakibatkan kerugian secara finansial maupun secara produksi listrik itu

sendiri. Jadi dapat dikatakan bahwa semakin besar arus yang mengalir di penghantar netral akan menyebabkan rugi-rugi daya semakin besar juga.



Gambar 4.3 Grafik Rugi rugi Daya Trafo DS 0142

4.3.6 Perhitungan Efisiensi Trafo Sebelum *Downrating*

Menghitung nilai reaktansi transformator distribusi sisi sekunder dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 x_{Trafo} &= \frac{Vl - l^2}{S3phasa} \times \text{Impedansi P. U} \\
 &= \frac{389.661^2}{250000} \times 4\% \\
 &= \frac{151.834}{250000} \times 4\% \\
 &= 0,024 \Omega
 \end{aligned}$$

Dimana :

x_{Trafo} = Reaktansi Transformator sisi sekunder (Ω)

$Vl - l^2$ = Tegangan phasa-phasa sisi sekunder transformator (V)

Impedansi P.U= Impedansi Transformator Per unit (%)

S(3 fasa) = Daya/Reting trafo yang digunakan

Menghitung Impedansi netral trafo (Z_n) dengan persamaan

$$Z_n = V / I_n$$

$$Z_n = 228,33 / 21$$

$$Z_n = 10,87 \Omega$$

Dimana :

Z_n = Impedansi Netral Trafo (Ω)

V = Tegangan 1 Fasa

I_n = Arus Netral dari pengukuran

Setelah ketemu Z_n , maka hitung R_n dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Rumus } Z_n = R_n + jX_{\text{trafo}}$$

$$\text{Atau } (Z_n)^2 = (R_n)^2 + (X_{\text{trafo}})^2$$

Jadi menghitung resistansi penghantar netral trafo dengan persamaan

$$\begin{aligned} (R_n)^2 &= (Z_n)^2 - (X_{\text{trafo}})^2 \\ &= (10,87)^2 - (0,024)^2 \\ R_n &= \sqrt{(10,87)^2 - (0,024)^2} \\ &= \sqrt{118,156 - 0,000570} \\ &= \sqrt{118,155} \\ &= 10,86 \Omega \end{aligned}$$

Setelah ketemu (R_n) maka hitung rugi rugi daya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sum \text{rugi} &= P_i + P_{\text{cu}} + P_N \\ &= 0,355 + 2,35 + 6,10 \\ &= 8,80 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\sum \text{rugi} = \text{Rugi-rugi daya (kW)}$$

$$P_i = \text{Rugi Inti Besi (kW)}$$

$$P_{\text{cu}} = \text{Rugi Tembaga (kW)}$$

P_N = Rugi Penghantar netral (kW)

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 21^2 \times 0,326$$

$$P_N = 143,76 \text{ watt}$$

$$P_N = 1,44 \text{ KW}$$

Setelah itu dapat dihitung efisiensi dengan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{out} &= (a + b + c)\sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \\ &= (1,31 + 1,07 + 0,61) \times 1,73 \times 389,66 \times 37,3 \times 0,85 \\ &= (1,31 + 1,07 + 0,61) \times 1,73 \times 389,66 \times 37,3 \times 0,85 \\ &= (2,99) \times 1,73 \times 389,66 \times 37,3 \times 0,85 \\ &= 63,904 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dimana :

V = Rata-rata tegangan 3 Phasa dari hasil pengukuran

I = Rata-rata arus dari hasil pengukuran

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100\% \\ &= \frac{63,904}{63,904 + 8805} \times 100\% \\ &= \frac{63,904}{72,709} \times 100\% \\ &= 87,89 \% \end{aligned}$$

Dimana :

η = Efisiensi

P_{out} = Daya Keluar

Jadi Efisiensi pada Trafo DS 0142 sebelum *Downrating* sebagai berikut:

$$\eta \text{ Sebelum} = 87,89\%$$

4.3.7 Perhitungan Efisiensi Trafo Sesudah *Downrating*

Menghitung nilai reaktansi transformator distribusi sisi sekunder dengan persamaan

$$x_{Trafo} = \frac{Vl - l^2}{S3\text{phasa}} \times \text{Impedansi } P. U$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{405^2}{250000} \times 4\% \\
&= \frac{151.834}{100000} \times 4\% \\
&= 0,065 \Omega
\end{aligned}$$

Dimana :

x_{Trafo} = Reaktansi Transformator sisi sekunder (Ω)

$Vl - l^2$ = Tegangan phasa-phasis sisi sekunder transformator (V)

Impedansi P.U= Impedansi Transformator Per unit (%)

S(3 fasa) = Daya/Reting trafo yang digunakan

Menghitung Impedansi netral trafo (Z_n) dengan persamaan

$$Z_n = V/I_n$$

$$Z_n = 233,33 / 21$$

$$Z_n = 11,11 \Omega$$

Dimana :

Z_n = Impedansi Netral Trafo (Ω)

V = Tegangan 1 Fasa

I_n = Arus Netral dari pengukuran

Setelah ketemu Z_n , maka hitung R_n dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Rumus } Z_n = R_n + jX_{trafo}$$

$$\text{Atau } (Z_n)^2 = (R_n)^2 + (X_{trafo})^2$$

Jadi menghitung resistansi penghantar netral trafo dengan persamaan

$$(R_n)^2 = (Z_n)^2 - (X_{trafo})^2$$

$$= (11,11)^2 - (0,065)^2$$

$$R_n = \sqrt{(11,11)^2 - (0,065)^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{123,432 - 0,004225} \\
&= \sqrt{123,427} \\
&= 11,10 \Omega
\end{aligned}$$

Setelah ketemu (R_n) maka hitung rugi rugi daya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\sum \text{rugi} &= P_i + P_{cu} + P_N \\
&= 0,21 + 1,42 + 6,10 \\
&= 7,73 \text{ kW}
\end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
\sum \text{rugi} &= \text{Rugi-rugi daya (kW)} \\
P_i &= \text{Rugi Inti Besi (kW)} \\
P_{cu} &= \text{Rugi Tembaga (kW)} \\
P_N &= \text{Rugi Penghantar netral (kW)}
\end{aligned}$$

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 21^2 \times 0,326$$

$$P_N = 143,76 \text{ watt}$$

$$P_N = 1,44 \text{ KW}$$

Setelah itu dapat dihitung efisiensi dengan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
P_{out} &= (a + b + c)\sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos}\varphi \\
&= (1,03 + 0,966 + 1) \times 1,73 \times 405 \times 60 \times 0,85 \\
&= (2,99) \times 1,73 \times 405 \times 60 \times 0,85 \\
&= 106,842 \text{ kW}
\end{aligned}$$

Dimana :

V = Rata-rata tegangan 3 Phasa dari hasil pengukuran

I = Rata-rata arus dari hasil pengukuran

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} &= \frac{106,842}{106,842 + 7,73} \times 100\% \\ &= \frac{106,842}{114,572} \times 100\% \\ &= 93,25\% \end{aligned}$$

Dimana :

η = Efisiensi

Pout = Daya Keluar

Jadi Efisiensi pada Trafo DS 0142 sesudah *Downrating* sebagai berikut:

η Sebelum = 93,25%

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari Analisa *Downrating* Transformator pada gardu distribusi DS 0142 Penyulang Reagen di Jalan Bypass Pesanggaran, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Presentase Pembebanan Transformator DS 0142 Penyulang Reagen Sebelum *Downrating* yaitu sebesar 10,33%
2. Presentase Pembebanan Transformator DS 0142 Penyulang Reagen Sesudah *Downrating* yaitu sebesar 41,58 %
3. Arus Rata-rata sebelum *Downrating* yaitu sebesar 37,3 Ampere dan sesudah yaitu sebesar 60 Ampere yang menyebabkan perbedaan arus tersebut adalah dikarenakan adanya perbedaan hasil pada saat pengukuran sebelum dan sesudah *Downrating*.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang ingin penulis sampaikan dalam permasalahan *Downrating* transformator, yaitu :

1. Berdasarkan hasil pengukuran di atas, maka penulis menyarankan untuk menjadikan transformator dengan kapasitas 100 KVA Sebagai pilihan dalam menentukan kapasitas transformator pengganti yang ideal.
2. Untuk hasil yang lebih akurat, sebaiknya yang menjadi pertimbangan tidak cukup dari historis yang terpakai saja. Perlu dipertimbangkan juga factor-faktor lainnya seperti factor pertumbuhan ekonomi, factor karakteristik masyarakat, dan lain-lain.
3. Transformator yang sudah mengalami *underload* sebaiknya segera diantisipasi, untuk menghindari kerusakan yang lebih parah pada transformator tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Damam, Drs, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik* . Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, 2010
- [2] PT PLN (Persero), *Buku 4 Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*, Jakarta: PT PLN (Persero), 2010
- [3] Edaran Direksi PT PLN (Persero) No: 0017.E/DIR/2014. Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset. Jakarta, 2014
- [4] Kelompok Bidang Distribusi. SPLN D.3002-1 *Spesifikasi Transformator Distribusi*, Jakarta: PT PLN (Persero), 2007
- [5] PT PLN (Persero), Buku 1 Kriteria Disain Enjinereng Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, Jakarta: PT PLN (Persero), 2010
- [6] Frank D. Petruzella, *Elektronik Industri*, Yogyakarta : Andi 2001.
- [7] Syafriyudin, *Perhitungan Lama Waktu Pakai Transformator*. Jurnal Teknologi, Volume 4 Nomor 1, Juni 2011, 88-95
- [8] Wahyudi Widiatmika, *Analisis Penambahan Transformator Sisipan Unntuk Mengatasi Underload Pada Transformator DB0244 Di Penyulang Sebelanga*, EJournal Spektrum Vol.5, No 2 Desember 2018.
- [9] Aldi, Rinaldi. 2013. Sistem Distribusi Tenaga Listrik
- [12] Yunita Sri Purnami, *Analisa Pembebanan Transformator Gardu Distribusi DS0374 Penyulang Batur Sari Gardu Induk Sanur*, Bukit Jimbaran,2020
- [13] Kongah, Dendi, *Analisis Pembebanan Transformator Gardu*, Sulawesi Tengah, 2014
- [14] Budiyasa, I Gede Artha Wijaya, I Wayan, Indra Partha, Tjok Gede. “Rugi-rugi Daya Terhadap Arus Netral Pada Efektifitas Penggunaan Daya Terpasang” Maret 2021

[15] Siregar, Rizky Syahputra. "Perhitungan arus netral dan rugi - rugi"2017