

LAPORAN TUGAS AKHIR DIII

**ANALISIS UPRATING TRANSFORMATOR PADA GARDU DISTRIBUSI KD
0151 PADA PENYULANG NYITDAH**



POLITEKNIK NEGERI BALI

OLEH

I MADE ANDY DARMAWAN

2115313070

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI BALI

2024

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS UPRATING TRANSFORMATOR PADA GARDU DISTRIBUSI KD
0151 PADA PENYULANG NYITDAH**

Oleh:

I MADE DARMAWAN

2115313070

Tugas Akhir Ini Diajukan Untuk
Menyelesaikan Program Pendidikan Diploma III
Di Program Studi DIII Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektro – Politeknik Negeri Bali

Disetujui Oleh:

Penguji I



I Gusti Putu Arka, S.T., M.T.

NIP. 196601071991031003

Pembimbing I



Ir. I Made Sajayasa, M.T.

NIP. 196603201991031002

Penguji II



I.G.A. Made Sunaya, S.T., M.T.

NIP. 196406161990031003

Pembimbing II



Ir. A.A. Ngr. Md. Narottama, MT.

NIP. 196504081991031020

Disahkan Oleh:



Ir. Kadek Amertha Yasa, S.T., M.T.

NIP. 196809121995121001

FROM PERNYATAAN PLAGIARISME

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : I Made Darmawan

NIM : 2115313070

Program Studi : Teknik 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 Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: **“ANALISIS UPRATING TRANSFORMATOR PADA GARDU DISTRIBUSI KD 0151 PADA PENYULANG NYITDAH”**. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Politeknik Negeri Bali berhak menyimpan, mengalih media atau mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan 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, 24 Juli 2024

Yang menyatakan



I Made Andy Darmawan

2115313070

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

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : I Made Andy Darmawan

NIM : 2115313070

Program Studi : DIII Teknik Listrik

Jurusan : Teknik Elektro

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Bali Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royal-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul "ANALISIS UPRATING TRANSFORMATOR PADA GARDU DISTRIBUSI KD 0151 PADA PENYULANG NYITDAH" beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Politeknik Negeri Bali berhak menyimpan, mengalihmedia atau mengalihformatkan, mengolah 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

Penulis



I Made Andy Darmawan

NIM. 2115313070

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir sesuai yang diharapkan dan tepat pada waktu.

Tugas Akhir ini sebagai sarana pengembangan serta pengaplikasian materi yang diperoleh selama mengikuti perkuliahan di jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali. Adapun Tugas Akhir ini digunakan sebagai salah satu prasyarat akademik pada Program Studi Teknik Listrik Jurusan Elektro Politeknik Negeri Bali.

Dalam melaksanakan penulisan Tugas Akhir dan menyelesaikannya penulis banyak mendapat bimbingan, masukan, serta kerja sama dari banyak pihak. Oleh karena itu, selayaknya pada kesempatan ini penyampaikan banyak rasa terima kasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan perlindungan-Nya selama pelaksanaan Penyusunan Proposal Tugas Akhir.
2. Orang tua yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.
3. Bapak Ir. Kadek Amerta Yasa, S.T., M.T., selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali.
4. Bapak I Made Aryasa Wiryawan, S.T., M.T., selaku ketua Program Studi Teknik Listrik Jurusan Elektro Politeknik Negeri Bali.
5. Bapak Ir. I Made Sajayasa, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir.
6. Bapak Ir. A.A. Ngr. Md. Narottama, MT, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta arahan dalam penyusunan tugas akhir.
7. Seluruh rekan-rekan sepejuangan yang selalu membagi ilmu, pengalaman, dan semangat yang didapat saat penulisan Tugas Akhir.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan saran, ide serta dukungan hingga selesainya penulisan Tugas Akhir.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan waktunya sehingga membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna mengingat kurangnya pengetahuan dan pengalaman penulis sehingga membutuhkan saran dan kritik

yang membangun agar dapat menyempurnakan Tugas Akhir ini. Akhir kata dengan segala kerendahan hati penulis mempersembahkan Tugas Akhir ini kepada semua pihak, semoga bermanfaat bagi pembaca dan dapat dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

Jimbaran, 4 April 2024

Penulis



I Made Andy Darmawan

2115313070

I Made Andy Darmawan

Analisis Uprating Transformator Pada Gardu Distribusi Kd 0151 Pada Penyulang Nyitdah.

ABSTRAK

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. Transformator Pada Gardu Distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah yang berlokasi di jalan Pantai Kedungu dengan kapasitas 100 kVA merek B&D. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan sebelum Up-rating didapatkan nilai persentase pembebanan 98 % pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan 84 % Pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) sehingga persentase pembebanan transformator pada Gardu Distribusi KD 0151 mengalami overblash dan melebihi standar yang ditetapkan PT. PLN (Persero) Untuk mengantisipasi besarnya persentase pembebanan transformator tersebut maka dilakukan Up-rating transformator maka persentase pembebanan pada gardu Distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah menurun menjadi 57% saat Waktu Beban Puncak (WBP), 42% Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dengan kapasitas transformator 200 kVA merek B&D. Persentase pembebanan transformator pada gardu Distribusi KD 0151 setelah dilakukan Up-rating telah memenuhi standar yang ditetapkan PT. PLN (Persero).

Kata kunci: transformator, *overblash*, *uprating transformer*

I Made Andy Darmawan

Analysis of Up-rating Transformer at KD 0151 Distribution Substation in Nyitdah Substation.

ABSTRACT

Distribution transformers function to transform electrical energy from 20 KV medium voltage to 230/400 V low voltage. PT PLN (Persero) as a power system management company must work optimally to maintain the quality of distribution energy production must always be well maintained. Transformer at KD 0151 Distribution Substation Nyitdah repeater located on Pantai Kedungu road with a capacity of 100 kVA brand B&D. Based on calculations made before Up-rating, the percentage value of loading is 98% at Peak Load Time (WBP) and 84% at Outside Peak Load Time (LWBP) so that the percentage of transformer loading at KD 0151 Distribution Substation is overblown and exceeds the standards set by PT. PLN (Persero) To anticipate the large percentage of transformer loading, the transformer up-rating is carried out so that the percentage of loading at the KD 0151 Distribution Substation Nyitdah Substation decreases to 57% during Peak Load Time (WBP), 42% Outside Peak Load Time (LWBP) with a transformer capacity of 200 kVA B&D brand. The percentage of transformer loading at KD 0151 Distribution substation after Up-rating has met the standards set by PT PLN (Persero).

Keywords: transformer, overblash, uprating transformer

SSSSS

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
FORM PERNYATAAN PLAGIARISME	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI LAPORAN TUGAS AKHIR.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
I. PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Tujuan Penelitian	I-2
1.4 Manfaat Penelitian	I-3
1.5 Batasan Masalah	I-3
II. LANDASAN TEORI.....	II-4
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	II-4
2.2 Gardu Distribusi.....	II-5
2.3 Transformator.....	II-10
2.4 Gangguan-gangguan Pada Transformator Distribusi.....	II-13
2.5 Cara Mengatasi Gangguan Akibat <i>Overblush</i>	II-14
2.6 Prinsip Kerja Transformator	II-15
2.7 Transformator Distribusi.....	II-16
2.8 Pembebanan Transformator	II-16
2.8.1 Perhitungan Arus Beban Penuh Pada Transformator.....	II-17
2.8.2 Transformator <i>Overblush</i>	II-19
2.8.3 Transformator <i>Overload</i>	II-19
2.8.4 <i>Up-Rating</i> Transformator.....	II-19
2.8.5 Perhitungan Rating Transformator.....	II-20
2.8.6 Estimasi Pertumbuhan Beban Berdasarkan Konsumsi Energi Listrik.....	II-20
III. METODE PENELITIAN	III-21
3.1 Jenis Penelitian.....	III-21

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	III-21
3.3 Metodologi Pengumpulan Data.....	III-21
3.4 Metodologi Pengolahan Data	III-24
3.5 Analisis Data	III-24
3.6 Hasil yang Diharapkan.....	III-24
3.7 Diagram Air	III-25
3.8 Jadwal Kegiatan	III-26
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN	IV-27
4.1 Gambaran Umum Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah.....	IV-27
4.2 Data Teknis Objek	IV-28
4.2.1 Data Teknis Transformator.....	IV-28
4.2.2 Data Pembebanan Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sebelum Uprating Transformator.....	IV-29
4.2.3 Data Pembebanan Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sesudah Uprating Transformator.....	IV-31
4.3 Pembahasan.....	IV-32
4.3.1 Perhitungan Pembebanan Transformator Sebelum Uprating Transformator.....	IV-32
4.3.2 Perhitungan Kapasitas Transformator Uprating.....	IV-34
4.3.3 Perhitungan Pembebanan Transformator Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sesudah Uprating Transformator.....	IV-35
4.3.4 Perhitungan Estimasi Pertumbuhan Beban Berdasarkan Konsumsi Energi Listrik	IV-37
4.4 Analisis.....	IV-39
4.4.1 Analisis Persentase Pembebanan pada Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sebelum Uprating Transformator	IV-39
4.4.2 Analisis Kapasitas Uprating Transformator	IV-40
4.4.3 Analisis Persentase Pembebanan pada Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sesudah Uprating Transformator.....	IV-40
V. SIMPULAN DAN SARAN	V-42
5.1 Simpulan	V-42
5.2 Saran.....	V-42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Arus Nominal Berdasarkan Pola Pembebanan Transformator	II-17
Tabel 2.2	Kategori Pembeban Transformator Terhadap Kapasitas	II-19
Tabel 3.1	Contoh Tabel Pengukuran Arus	III-23
Tabel 3.2	Contoh Pengukuran Tegangan	III-23
Tabel 4.1	Data teknis transformator pada gardu distribusi KD 0151 sebelum diuprating	IV-28
Tabel 4.2	Data teknis transformator pada gardu distribusi KD 0151 setelah diuprating	IV-29
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Induk Sebelum Upgrading (LWBP)	IV-30
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Arus Jurusan Sebelum Dilakukannya Upgrading (LWBP)	IV-30
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Induk Sebelum Upgrading (WBP)	IV-30
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran Arus Jurusan Sebelum Upgrading (WBP)	IV-31
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Induk Sesudah Upgrading (LWBP)	IV-31
Tabel 4.8	Hasil Pengukuran Arus Jurusan Sesudah Upgrading (LWBP)	IV-31
Tabel 4.9	Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Induk Sesudah Upgrading (WBP)	IV-31
Tabel 4.10	Hasil Pengukuran Arus Sesudah Upgrading Transformator (WBP)	IV-32
Tabel 4.11	Rata-rata Data Hasil Perhitungan Arus, Tegangan Induk Sebelum Upgrading	IV-33
Tabel 4.12	Rata-Rata Data Hasil Perhitungan Arus Jurusan Sebelum Upgrading	IV-33
Tabel 4.13	Rata-rata Data Hasil Perhitungan Arus, Tegangan Induk Sesudah Upgrading	IV-36
Tabel 4.14	Rata-rata Data Hasil Perhitungan Arus Jurusan Setelah Upgrading	IV-36
Tabel 4.15	Konsumsi Energi Listrik di Nyitdah	IV-37
Tabel 4.16	Estimasi Persentase Pembebanan Gardu Distribusi 0151 5 Tahun ke Depan	IV-38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik ^[9]	II-4
Gambar 2.2	Gardu Distribusi ^[2]	II-6
Gambar 2.3	Gardu Cantol ^[2]	II-7
Gambar 2.4	Gardu Beton ^[2]	II-7
Gambar 2.5	Bagan Satu Garis Gardu Pelanggan Khusus ^[2]	II-9
Gambar 4.1	Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah	IV-27
Gambar 4.4	Grafik Pembebanan Gardu Distribusi KD 0151 Sebelum Uprating Transformator	IV-39
Gambar 4.5	Grafik Pembebanan Gardu Distribusi KD 0151 Sebelum Uprating Transformator	IV-40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi pengukuran.....	44
Lampiran 2. Surat Keterangan Pengambilan Data.....	45
Lampiran 3. Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No: 0017 E/DIR/2014.....	46

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring kemajuan ilmu Pengetahuan dan teknologi (IPTEK) serta kemajuan kehidupan masyarakat kebutuhan akan energi atau tenaga listrik akan terus meningkat. Listrik merupakan salah satu kebutuhan utama bagi masyarakat. Hampir di setiap sektor kegiatan masyarakat membutuhkan energi listrik untuk menjalankan kegiatan sehari-hari. Untuk itu baik secara kualitas, kuantitas, dan kontinuitas perusahaan listrik negara PT PLN (Persero) diharapkan mampu untuk menyediakan dan menyalurkan energi listrik kepada konsumen.

Salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke konsumen adalah sistem distribusi. Salah satu komponen sistem distribusi yang memegang peranan yang cukup penting dalam penyaluran daya adalah transformator distribusi. Transformator distribusi berperan penting dalam sistem pendistribusian tenaga listrik untuk mentransformasikan energi listrik dari tegangan menengah 20 kV ke tegangan rendah 400/230 V.

Permasalahan yang timbul pada sistem distribusi tenaga listrik, salah satunya adalah pembebanan transformator distribusi yang sudah melebihi 80% kapasitasnya atau dapat dikatakan transformator overblast. Kondisi pembebanan transformator yang cukup baik ketika beban idealnya 60%- 80% terhadap kapasitasnya (Sesuai dengan Syarat Edaran Diraksi PT PLN (Persero) Nomor: 00117.E/DIR/2014 tentang metode pemeliharaan transformator distribusi berbasis kaidah manajemen aset bahwa persentase pembebanan transformator yang dikategorikan baik yaitu di bawah 60%, dikategorikan cukup yaitu dari 60% sampai dengan di bawah 80%, dikategorikan kurang yaitu dari 80% sampai dengan di bawah 100% dan dikategorikan buruk yaitu lebih besar atau sama dengan 100% [3] Salah satu contoh pembebanan lebih yaitu pada transformator gardu distribusi KD 0151 yang berlokasi di jalan Pantai Kedungu, Kecamatan Kediri, Kabupaten Tabanan. Yang merupakan salah satu gardu distribusi dari penyulang Nyitdah yang kapasitas transformatornya 100 kVA, berdasarkan hasil pengukuran diketahui Arus Induk $IR=175A$ $IS=124A$ $IT=135A$ $IN=62A$ pada saat beban puncak (WBP), Arus Induk $IR=153A$ $IS=108A$ $IT=118A$ $IN=62A$ pada saat luar beban puncak (LWBP) Berdasarkan Pengolahan data hasil ukur yang dilakukan terhitung persentase pembebanan transformator pada beban puncak (WBP) sebesar 98% dan pada luar beban puncak

(LWBP) 84% dan telah di kategorikan overblast oleh PT PLN (Persero) ULP Tabanan, dalam hal ini menunjukkan kondisi transformator dalam keadaan kurang baik sesuai dengan Surat

Edaran Direksi PT PLN (Persero) Nomor: 0017.E/DIR/2014 bahwa persentase pembebanan transformator yang dikategorikan kurang yaitu dari 80% sampai dengan di bawah 100%. apabila transformator yang sudah overblast tetap dioperasikan dalam waktu yang lama, maka dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator tersebut.

Maka dari itu dilakukan salah satu upaya yaitu pergantian transformator oleh PT PLN (Persero) ULP Tabanan pada gardu KD 0151 dengan kapasitas transformator yang lebih besar yaitu 200 kVA agar tidak menimbulkan kerusakan pada transformator sebelumnya dan menyebabkan kerugian kepada PT PLN (Persero) maupun konsumen, untuk itu penulis melakukan analisis dengan judul "Analisis Uprating Transformator Pada Gardu Distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah PT PLN (Persero) ULP Tabanan". Untuk itu penelitian ini ke depannya diharapkan agar dapat transformator overblast tersebut bisa diminimalisasi dan dapat dijadikan salah satu bahan evaluasi oleh PT PLN (Persero) dalam menjaga keandalan proses pendistribusian tenaga listrik.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Beberapa persentase pembebanan pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah sebelum dilakukan Uprating Transformator?
2. Berapa kapasitas Transformator yang sesuai digunakan untuk Uprating pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah?
3. Berapa persentase pembebanan pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah sesudah dilakukan Uprating Transformator?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada analisis Uprating transformator pada gardu distribusi KD 0151 sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui besar persentase pembebanan pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah sebelum dilakukan Uprating transformator
2. Dapat mengetahui Kapasitas transformator yang sesuai digunakan untuk Uprating pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah

3. Dapat mengetahui besar persentase pembebanan pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah setelah di lakukan Uprating transformator.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penulis melaksanakan penelitian dari perumusan masalah yang ada di atas sebagai berikut.

1. Bagi Penulis

Suatu kesempatan bagi penulis untuk mengaplikasikan teori yang diperoleh di bangku kuliah dengan apa yang terjadi di lapangan sehingga dapat menambah wawasan untuk melangkah ke dunia industri. Selain itu, untuk melatih diri dan menambah pengalaman untuk beradaptasi dengan dunia kerja yang sesungguhnya.

2. Bagi Akademik

Tugas akhir ini diharapkan berguna bagi perkembangan ilmu teknik listrik sehingga dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa selanjutnya serta mempererat kerja sama antara akademik dengan perusahaan atau instansi.

1.5 Batasan Masalah

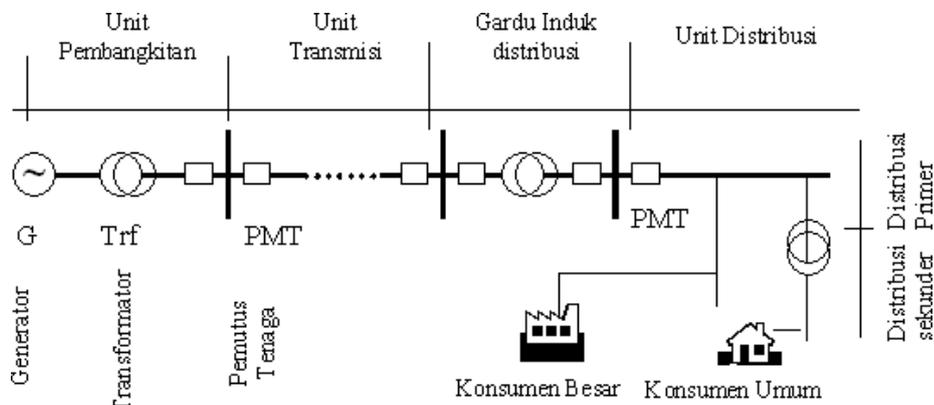
Berkaitan dengan perumusan masalah di atas untuk menghindari dari meluasnya pembahasan di luar permasalahan maka penulis membatasi permasalahan yang akan di bahas sebagai berikut:

1. Hanya membahas persentase pembebanan pada gardu distribusi KD 0151
2. Hanya membahas besar kapasitas transformator yang sesuai digunakan untuk Uprating pada Gardu distribusi KD 0151

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, sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik ke konsumen (beban), merupakan hal penting untuk dipelajari. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini. Prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, di salurkan ke jaringan.



Gambar 2.1 Gambar Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik[9]

Transmisi atau Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) langsung ke gardu Induk. 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 di kelompokkan atas 3 bagian utama yaitu sistem pembangkit, 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 energi listrik kepada konsumen. [1] Sistem distribusi menjadi dua sebagai berikut:

1. 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 dari dua sebagai berikut.

- a. Saluran Udara (*Overhead lines*) Tegangan Menengah (SUTM)
- b. Saluran Kabel Tanah (*Underground lines*) Tegangan Menengah (SKTM)

2. Jaringan distribusi sekunder

Jaringan distribusi sekunder yaitu jaringan distribusi dari gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 400 V /230 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 Sumbangan 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 untuk mendistribusikan tenaga listrik pada 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 Hubungan Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubungan Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). Konstruksi Gardu distribusi di rancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat [2].

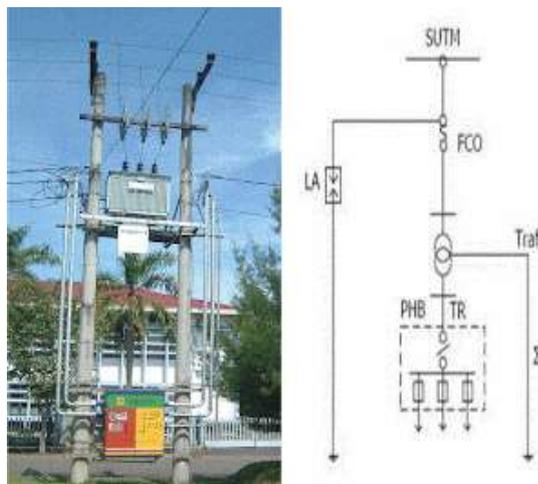
Dalam gardu distribusi ini biasanya digunakan transformator distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi menjadi tegangan terpakai pada jaringan distribusi tegangan rendah (step down transformator). Misalkan tegangan 20 kV menjadi tegangan

380 volt atau 220 volt. Sedangkan transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan listrik (*step up transformer*) 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 sebagai berikut:

1. Gardu Portal

Gardu portal yaitu pada umumnya konfigurasi gardu tiang yang dicatu dari SUTM adalah T section dengan peralatan pengaman, Fuse Cut-Out (FCO) sebagai pengaman hubungan singkat transformator dengan elemen pelebur (pengaman lebur link type expulsion) dan lightning Arrester (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.

Untuk gardu tiang pada sistem jaringan lingkungan terbuka (*open-loop*), seperti pada sistem distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah T section, transformator distribusi dapat di catu dari arah berbeda yaitu posisi *incoming-outgoing* atau dapat sebaliknya. Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada gardu portal, maka digunakan konfigurasi switching/proteksi yang sudah terangkai sebagai Ring Main Unit (RUM). Peralatan *incoming-outgoing* berupa Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau *Circuit Breaker* (CB) yang bekerja secara manual atau digerakkan dengan *remote control*. Gardu Portal 50 kVA–100kVA, PHB-TR gardu ini dirancang untuk 2 jurusan jaringan Tegangan Rendah dan Gardu Portal 160–400kVA, PHB-TR gardu ini dirancang untuk 4 jurusan tegangan rendah [2].



Gambar 2.2 Gardu Distribusi^[2]

2. Gardu Cantol

Pada gardu distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 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 perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (*lightning Arrester*) di pasang terpisah dengan penghantar pembumiannya yang di hubung 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 [2].



Gambar 2.3 Gardu Cantol^[2]

3. Gardu Beton

Gardu Beton ialah Gardu yang seluruh komponen utama pada gardu beton yaitu transformator dan peralatan *switching* dan proteksinya, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton



Gambar 2.4 Gardu Beton^[2]

(*masonry wall building*). Konstruksi ini dimaksudkan untuk persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan. Instalasi rak PHB-TR dari gardu beton terdiri sebanyak-banyaknya yaitu 8 jurusan

4. Gardu Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* yang terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksinya, yaitu gardu kios kompak, gardu kios modular dan gardu kios bertingkat. Gardu ini di bangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton [2].

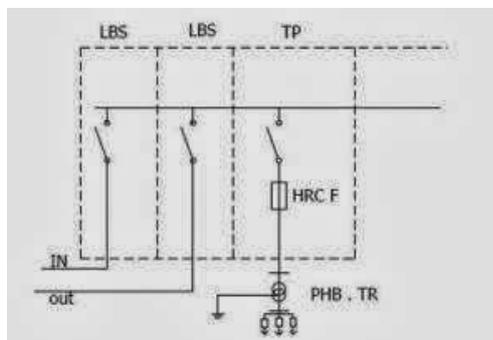
Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan tegangan rendah. Khusus untuk kios kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnyanya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.



Gambar 6.1 Gardu Kios^[2]

5. Gardu Pelanggan Umum

Umumnya konfigurasi peralatan gardu pelanggan umum adalah π section, sama halnya seperti dengan gardu tiang yang dicatu dari SKTM Karena keterbatasan lokasi

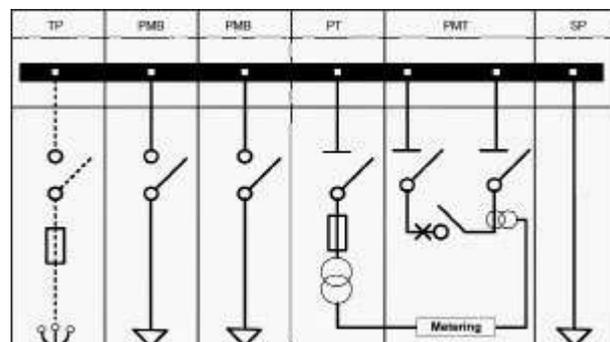


Gambar 6.2 Bagan Satu Garis Konfigurasi π Section Gardu Pelanggan Umum^[2]

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 digerakkan secara otomatis (*ACOS: Automatic Change Over Switch*) atau secara *remote control*.

6. 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 di luar area kepemilikan dan tanggungan jawab PT PLN (Persero). Pada umumnya, gardu pelanggan khusus ini dapat juga dilengkapi dengan transformator untuk melayani pelanggan umum [2].



Gambar 2.5 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, yang dapat mentransformasikan energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya, perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya dengan nilai frekuensi yang sama besar. Terdapat pula ketentuan tipe vektor group yang di gunakan oleh PLN, yaitu Yzn5, Dyn5, Ynyn0 [5]. Adapun jenis-jenis transformator sebagai berikut:

1. Transformator step-up

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

2. Transformator step-down

Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit dari pada 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 sebagai berikut:

1. Bagian Utama

a. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik yang memulainya kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi untuk mengurangi panas.

b. Kumparan Transformator

Kumparan Transformator yaitu beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi dengan baik dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

c. Minyak Transformator

Minyak transformator yaitu salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan perbandingan pada transformator. Sebagai bagian dari bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus. Sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu merendam panas yang ditimbulkan sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan mampu melindungi transformator dari gangguan.

d. Bushing

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

e. Tangki dan Konservator

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

2. Peralatan Bantu

a. Pendingin

Pendingin pada transformator yaitu berfungsi untuk menjaga agar transformator bekerja pada suhu rendah. Suhu pada transformator yang sedang beroperasi dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada transformator itu sendiri serta suhu lingkungannya. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi di dalam transformator. Oleh karena itu pendingin yang efektif sangat diperlukan. Media yang dipakai pada sistem pendinginan dapat berupa udara atau gas, minyak, air, dll. Sistem Pendingin transformator dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1) 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.

2) 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.

3) OFAF (*Oil Force Air Force*)

Sistem pendingin ini, sirkulasi minyak digerakkan dengan menggunakan kekuatan pompa, sedangkan sirkulasi udara menggunakan kipas angin.

b. *Tap Changer*

Tap Changer merupakan alat perubahan perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sisi sekunder yang stabil (diinginkan) dari tegangan / 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.

c. Alat Pernafasan

Karena adanya pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar mengakibatkan perubahan pada temperatur minyak isolasi transformator. Kualitas isolasi minyak transformator akan menurun bila di dalam kandungan minyak tersebut terdapat banyak kandungan gas dan air. Gas dan air tersebut berasal dari kelembapan dan kontaminasi oksigen dari udara luar.

Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernafasan transformator. Untuk mencegah terjadinya kontaminasi pada minyak transformator terhadap udara luar, maka transformator daya di lengkapi dengan alat pernafasan berupa tabung yang berisi zat kristal (*silica gel*) yang terpasang di bagian luar transformator.

f. NGR (*Natural Grounding Resistance*)

NGR adalah sebuah tahanan di pasang antara titik netral trafo dengan pentanahan. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah.

g. Indikator-indikator

Indikator yang terdapat pada transformator sebagai berikut:

- a. Indikator suhu minyak
- b. Indikator suhu winding
- c. Indikator kedudukan tapi
- d. Indikator permukaan minyak

2.4 Gangguan-gangguan Pada Transformator Distribusi

Pada transformator distribusi ada beberapa gangguan yang pernah terjadi sebagai berikut:

1. Tegangan Lebih Akibat Petir

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

2. *Over blush*

Over blush terjadi karena beban yang terpasang pada transformator melebihi kapasitas maksimum yang dapat dipikul transformator sehingga arus beban melebihi arus beban penuh (*full load*) dari transformator. *Over blush* 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.

3. *Loss Contact Pada Terminal Bushing*

Gangguan ini terjadi pada *bushing* transformator yang disebabkan terdapat kelonggaran pada hubungan kawat phasa (kabel Schoen) dengan terminal *bushing*. Hal ini mengakibatkan tidak stabilnya aliran listrik yang diterima oleh transformator distribusi

dan dapat juga menimbulkan panas yang dapat menyebabkan kerusakan belitan transformator.

4. Isolator Bocor/*Bushing* Pecah

Gangguan akibat isolator bocor/*bushing* pecah dapat disebabkan oleh:

- a. Flash Over, dapat terjadi apabila muncul tegangan lebih pada jaringan distribusi, seperti pada saat sambaran petir/surja hubung. Bila besar surja tegangan yang timbul menyamai atau melebihi ketahanan implus isolator, maka kemungkinan akan terjadi flash over pada *bushing*. Pada sistem 20 KV, ketahanan implus isolator adalah 160 KV flash over menyebabkan loncatan busur api antara konduktor dengan bodi transformator sehingga mengakibatkan hubungan singkat fasa ke tanah.
- b. *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 atau embun.

5. Kegagalan Isolasi Minyak Transformator/*Packing*

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

- a. *Packing* bocor sehingga air masuk dan volume minyak transformator berkurang
- b. Karena umur minyak transformator sudah tua [10]

2.5 Cara Mengatasi Gangguan Akibat *Overblash*

1. Transformator sisipan

Sisip transformator merupakan pemasangan transformator baru dekat dengan transformator *overload*. Tujuannya adalah membagi beban transformator yang ada ke transformator yang baru. Hal ini adalah tindakan yang paling umum dilakukan untuk mengatasi transformator *overblash*. Kendala yang mungkin terjadi adalah perijinan penggunaan lahan untuk melakukan sisipan transformator baru.

2. Menaikkan kapasitas transformator

Menaikkan kapasitas transformator dalam artian transformator yang lama akan diganti dengan transformator 160 kVA sudah *overblash* dan diganti dengan transformator 200 kVA hal yang perlu ditinjau adalah konstruksi sipil tempat transformator lama apa memungkinkan, sesuai, dan memadai dengan transformator baru.

3. Manuver beban transformator

Manuver beban transformator adalah pengurangan beban transformator dilakukan dengan memanfaatkan JTR transformator lainnya. Apabila transformator lain dalam kondisi *underload*, maka beban dapat dimanuver sebagian ke transformator *underload* tersebut. Otomatis beban transformator *overblast* akan berkurang. Manuver dilakukan dengan melakukan koneksi atau sambungan melalui JTR. Kegiatan manuver beban ini perlu meninjau tegangan pelanggan.

2.6 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja dari transformator adalah daya listrik dari kumparan primer ke kumparan sekunder dengan perantara flux magnet (garis gaya magnet) yang dibangkitkan oleh aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer. Untuk dapat membangkitkan tegangan listrik pada kumparan sekunder, flux magnet yang dibangkitkan oleh kumparan primer harus berubah-ubah. Untuk memenuhi hal ini, aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer haruslah aliran listrik bolak-balik. Saat kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik AC pada kumparan primer, maka timbul gaya gerak magnet bersama yang bolak-balik juga.

Pada sekitaran kumparan primer timbul flux magnet bersama yang juga bolak-balik karena adanya gerak magnet tersebut. Adanya flux magnet bersama ini, pada ujung-ujung kumparan sekunder timbul gaya gerak listrik induksi sekunder yang mungkin sama, lebih tinggi, atau lebih rendah dari gaya gerak listrik primer. Hal ini tergantung pada perbandingan transformasi kumparan transformator tersebut. Jika kumparan sekunder di hubungkan ke beban, maka pada kumparan sekunder timbul arus listrik bolak-balik sekunder akibat adanya gaya gerak listrik induksi sekunder. Hal ini mengakibatkan timbulnya gaya gerak magnet pada kumparan sekunder dan akibatnya pada beban timbul tegangan sekunder [11].

2.7 Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah 20KV 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:

1. Jumlah fasa

Berdasarkan fasanya transformator dibagi atas dua macam sebagai berikut:

- a. Transformator 3 fasa
- b. Transformator 1 fasa

2. Tegangan nominal

Tegangan nominal adalah tegangan kerja yang mendasari perencanaan dan pembuatan instalasi serta peralatan listrik. Berdasarkan tegangan nominalnya, transformator distribusi dapat digolongkan ke dalam beberapa bagian sebagai berikut:

- a. Tegangan primer transformator distribusi harus disesuaikan dengan tegangan nominal pada sistem jaringan distribusi primer yang berlaku. Adapun tegangan jaringan distribusi primer yang berlaku adalah 6 kV, 12 kV, dan 20 kV.
- b. Tegangan sekunder adalah tegangan nominal pada sisi transformator distribusi yang disesuaikan dengan tegangan distribusi sekunder yang berlaku di Indonesia, yaitu 400/230 Volt.
- c. Daya nominal, berdasarkan daya nominal transformator dapat dikelompokkan menjadi 25kVA, 50kVA, 75kVA, 100kVA, 125kVA, 160kVA, 200kVA, 250kVA, 315kVA, 400kVA, 500kVA, 630kVA, 800kVA, 1000kVA, 1250kVA, dan 1600kVA [4]

2.8 Pembebanan Transformator

Transformator *over blast* apabila beban transformator melebihi 80% dari kapasitas transformator (*nameplate*) atau arus nominal (I_n). Berikut merupakan ketentuan pembebanan transformator dilihat dari arus primer (I_p) dan sisi sekunder (I_s)

Tabel 2.1 Arus Nominal Berdasarkan Pola Pembebanan Transformator

No.	Daya (kVA) / fasa	Ip (A)	Is (A)	80% x Is (A)
1	25/1	1.25	54.1	43.28
2	50/1	2.5	108.23	86.58
3	64/1	3.2	138.53	110.82
4	25/3	0.72	36.08	28.86
5	50/3	1.44	72.17	57.74
6	100/3	2.89	144.34	115.47
7	160/3	4.62	230.94	184.75
8	200/3	5.77	288.67	230.94
9	250/3	7.22	360.84	288.67
10	315/3	9.09	454.66	363.73
11	400/3	11.54	577.35	461.88

Untuk mengetahui arus sisi primer (Ip) transformater, dapat menggunakan persamaan:

$$I_p = \frac{s}{\sqrt{3} \cdot v} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

s = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer (20 kV)

Untuk mengetahui arus sisi sekunder (Is) transformator dapat menggunakan persamaan:

$$I_s = \frac{s}{\sqrt{3} \cdot v} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

s = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder (0,4 kV)

2.8.1 Perhitungan Arus Beban Penuh Pada Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tingi (primer) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I (VA) \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer transformator (kV)

I = Arus (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan persamaan:

$$IFL = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

IFL = Arus beban penuh (A)

S = Daya transformator (VA)

V = Tegangan sisisekunder transformator (V)

Dalam menghitung persentase pembebanan suatu transformator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\%Pembebanan\ transformator = \frac{VL \times IL \times \sqrt{3}}{Daya\ transformator\ (VA)} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

VL= Tegangan fasa-fasa (V)

IL = Arus rata-rata (A)

Besarnya pembebanan transformator sangat berpengaruh terhadap life time transformator. Pada kondisi tertentu, transformator dapat dioperasikan 100% ataupun maksimum 110% pembebanannya tetapi tidak bisa terus menerus karena berpengaruh terhadap suhu transformator dan dapat mengurangi life time transformator itu sendiri. Agar transformator tidak mengalami kerusakan akibat kenaikan suhu, perlu dipertimbangkan batas beban normal yang akan disuplainya. Kondisi ideal pembebanan transformator ada pada angka 80% sesuai dengan standar.

Tabel 2.2 Kategori Pembebanan Transformator Terhadap Kapasitas

Karakteristik	Kategori			
	Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Pembebanan Transformator (% terhadap kapasitas)	<60%	60%-80%	80%-100%	≥100%

2.8.2 Transformator *Overblush*

Beban transformator yang telah melebihi kapasitas yang sudah ditentukan dan akibatnya akan menimbulkan panas yang berlebih. Jika terjadi terus menerus dalam jangka waktu yang lama maka menyebabkan kerusakan terhadap transformator itu sendiri.

2.8.3 Transformator *Overload*

Transformator distribusi dapat beroperasi secara terus menerus pada beban nominalnya. Apabila beban yang dilayani lebih besar dari 100%, maka akan terjadi pembebanan lebih. Hal ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebih. Kondisi ini sangat membahayakan sekitar dan lingkungan.

2.8.4 *Up-Rating* Transformator

Untuk Mengatasi beban berlebih pada transformator yaitu salah satunya dengan cara meningkatkan kapasitas dari transformator atau sering disebut dengan Up-rating transformator. Dengan melakukan Up-rating transformator maka dapat memenuhi kebutuhan daya listrik yang setiap tahunnya mengalami kenaikan sesuai dengan kondisi daerah tersebut. Syarat dalam melakukan Up-rating transformator adalah bila kapasitas beban melebihi kapasitas daya dari transformator, atau mengalami pembebanan sebesar 80%. Pemilihan kapasitas transformator distribusi didasarkan pada beban yang akan dilayani. Diusahakan presentasi pembebanan transformator distribusi berada pada range 40%-80% [12].

2.8.5 Perhitungan Rating Transformator

Pemilihan kapasitas kVA transformator distribusi didasarkan pada beban yang akan dilayani. Diusahakan persentase pembebanan transformator distribusi mendekati 80%. Bila beban transformator terlalu besar, maka dilakukan uprating transformator, penyisipan transformator, mutasi transformator atau rekonfigurasi. Rating transformator dapat dihitung dengan rumus [7] sebagai berikut:

$$\text{Rating transformator} = \frac{\text{kVA Beban}}{0,8} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.8.6 Estimasi Pertumbuhan Beban Berdasarkan Konsumsi Energi Listrik

Perhitungan persentase peningkatan penggunaan energi listrik dapat dihitung dengan rumus [8]:

$$\%KEL = \frac{KEL_N \times KEL_P}{KEL_P} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

%KEL= Persentase Konsumsi Energi Listrik (%)

KEL_N= Konsumsi Energi Listrik Akhir

KEL_P= Konsumsi Energi Listrik Awal

III. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian “Analisis Uprating Transformator Pada Gardu Distribusi KD 0151 Pada Penyulang Nyitdah”. Penulis menggunakan jenis penelitian kuantitatif. Kuantitatif adalah melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran data yang dilakukan dalam penelitian ini yang hasil dari pengukuran itu diselesaikan dengan bentuk matematis. Pada penelitian kali ini ditunjukkan untuk mengetahui seberapa besar persentase pembebanan sebelum dan sesudah uprating pada gardu distribusi KD 0151.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini bertempat di Jalan Pantai Kedungu, kecamatan Kediri, kabupaten Tabanan tepatnya Gardu Distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah dan untuk waktu penelitian dilakukan pada tanggal 16 Oktober 2023.

3.3 Metodologi Pengumpulan Data

Untuk menyelesaikan pembahasan dan analisis pada tugas akhir ini, Adapun beberapa metode pengumpulan data yang penulis gunakan sebagai berikut:

1. Metode Observasi

Metode ini dilakukan oleh penulis untuk mendapatkan data di PT PLN (Persero) ULP Tabanan agar mengetahui gambaran secara umum dilapangan yang akan diteliti dan ingin memahami masalah yang telah dirumuskan sebelumnya. Metode ini dilakukan dengan mengukur arus dan tegangan menggunakan Tang Ampere merek Kyoritsu pada Gardu Distribusi KD 0151 yang berada di Jalan Pantai Kedungu Kecamatan Kediri, Kabupaten Tabanan dan. Dalam Pelaksanaannya pengukuran ini diawasi oleh pegawai PLN ULP Tabanan dalam bidang teknik. Pengukuran dilakukan pada saat siang hari pada Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan malam hari pada Waktu Beban Puncak (WBP), sebelum Uprating Transformator pada tanggal 13/15 Oktober 2023 selama 3 hari dan setelah pemasangan Transformator Gardu KD 1051 pada tanggal 16 Oktober 2023.

2. Metode Wawancara

Penulis memperoleh data dengan wawancara atau tanya jawab dengan pegawai PLN ULP Tabanan dalam bidang teknik yang mengetahui tentang permasalahan yang dibahas oleh penulis. Metode ini dilakukan dengan cara tanya jawab dan diskusi kepada I Gede Astadi Sastrawan selaku supervisor dalam bidang teknik di kantor PT PLN (Persero) ULP Tabanan tentang transformator overblash dan pertumbuhan beban pada Gardu KD Distribusi 0151 serta upaya yang dilakukan oleh Pihak PLN ULP Tabanan untuk mengatasi permasalahan pembebanan transformator yang melebihi standar PLN.

3. Metode Studi Literatur

Metode yang dilakukan penulis yaitu dengan cara mencari di media elektronik yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas dan mempelajari referensi-referensi yang memuat teori-teori tentang permasalahan yang akan dibahas salah satunya: Surat Edaran Direksi PT 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 Engineering Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, SPLN D3.002-1 Spesifikasi Transformator Distribusi PT PLN (Persero) 2007.

4. Metode Pengukuran

Penulis melakukan pengambilan data dengan cara melakukan pengukuran arus induk. arus jurusan dan tegangan induk pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) sebelum dilakukannya Uprating transformator dan sesudah dilakukannya Uprating transformator secara manual dengan menggunakan tang ampere merek kyoritsu pada Gardu Distribusi KD 0151 berada di Jalan Pantai Kedungu Kecamatan Kediri, Kabupaten Tabanan yang didampingi oleh pegawai PLN ULP Tabanan.

Pengambilan data ini dilakukan saat Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Beban Puncak (LWBP). Dengan tata cara mengukur sebagai berikut:

1. Pengukuran Arus

- a. Langkah Pertama menggunakan alat pelindung diri berupa helm safety, sarung tangan, sepatu *safety* dan rompi.
- b. Langkah Kedua Posisikan *selector switch* pada tang ampere pada pengukuran arus 400 A

- c. Langkah selanjutnya melakukan pengukuran pada LV board dengan cara mengaitkan tang ampere pada kabel *out going* dari saklar utama untuk pengukuran arus induk dan kabel *out going* dari NH fuse untuk pengukuran arus jurusan.
- d. Selanjutnya mencatat hasil pengukuran seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Contoh Tabel Pengukuran Arus

Tgl	Jam	Arus (A)															
		Induk				Jurusan A1				Jurusan A2				Jurusan C			
		IR	IS	IT	IN	IR	IS	IT	IN	IR	IS	IT	IN	IR	IS	IT	IN

2. Pengukuran Tegangan Sumber

- a. Langkah pertama menggunakan alat pelindung diri berupa helm *safety*, sarung tangan, sepatu *safety* dan rompi.
- b. Langkah kedua posisikan *selector switch* pada tang ampere pada pengukuran tegangan AC (Arus bolak-balik).
- c. Langkah selanjutnya masukkan kabel probe merah pada terminal positif dan kabel probe hitam pada terminal COM yang berada pada tang ampere
- d. Selanjutnya mengukur dengan cara menghubungkan Probe pertama pada salah satu fasa dan probe kedua pada fasa lainnya yang akan diukur
- e. Mencatat hasil pengukuran seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.2 Contoh Pengukuran Tegangan

Tgl	Jam	Tegangan Induk (Volt)					
		Fasa-fasa			Fasa-netral		
		RS	RT	ST	R-N	S-N	T-N

Pengukuran tersebut dilakukan pada LV (*Low Voltage*) board pada bagian keluaran dari saklar utama untuk sumber dan juga keluaran dari NH fuse untuk setiap jurusan.

Berikut merupakan gambar dari LV board pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah.

3.4 Metodologi Pengolahan Data

Pada penelitian ini, penulis menggunakan beberapa rumus untuk mengolah atau menganalisis data pada transformator Gardu Distribusi KD 0151.

1. Menghitung % pembebanan dari hasil pengukuran arus dan tegangan di sisi sekunder transformator, dapat dihitung dengan menggunakan rumus [6]:

$$\% \text{Pembebanan transformator} = \frac{V_L \times I_L \times \sqrt{3}}{\text{Daya transformator (VA)}} \times 100\% \dots\dots\dots (7.1)$$

Keterangan:

V_L = Tegangan fasa-fasa (V)

I_L = Arus rata-rata (A)

2. Menghitung besarnya kapasitas transformator distribusi yang dibutuhkan pada gardu distribusi KD 0151 menggunakan rumus kapasitas transformator [7].

$$\text{Rating transformator} = \frac{kVA \text{ Beban}}{0,8} \dots\dots\dots (7.2)$$

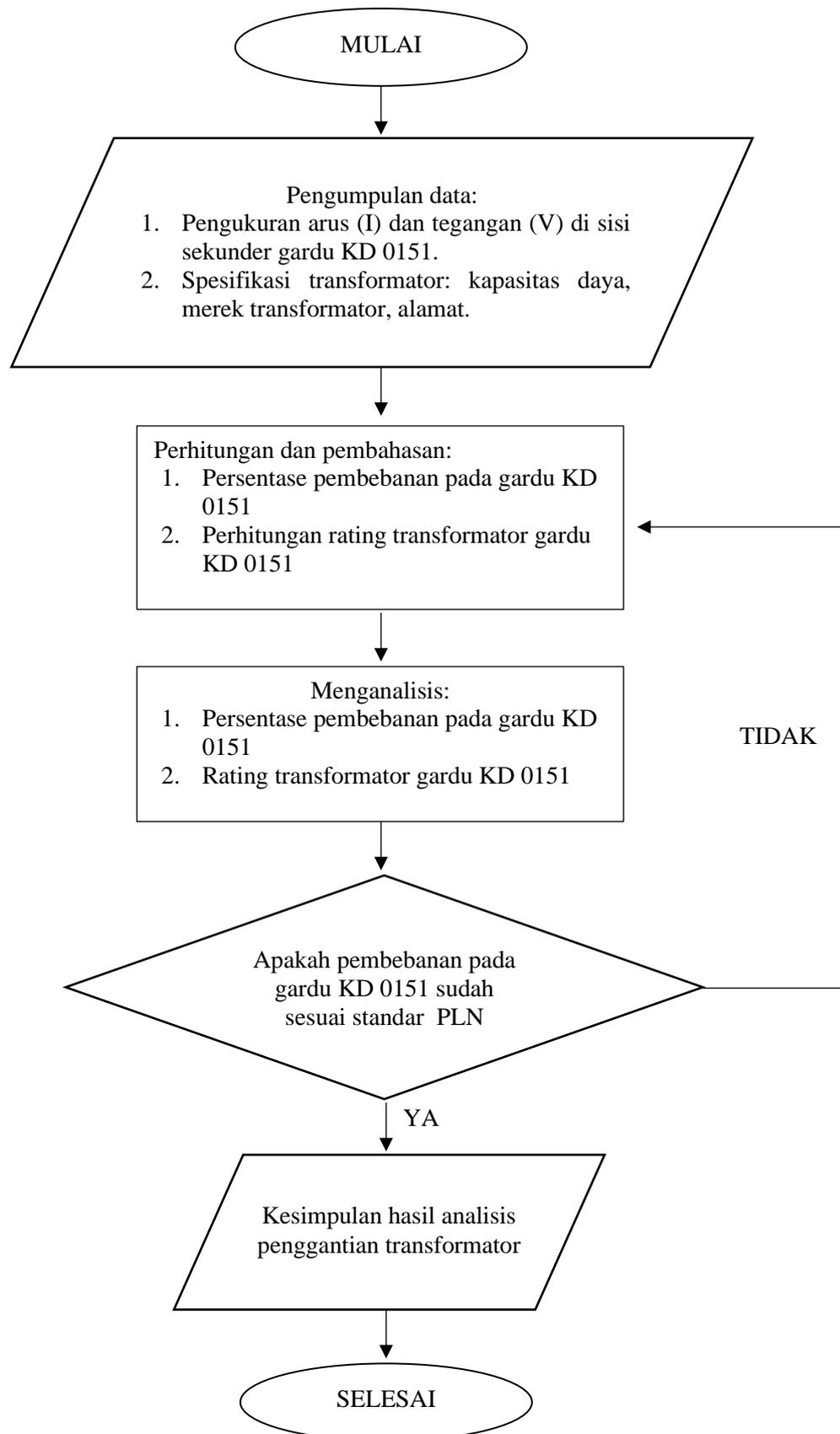
3.5 Analisis Data

Setelah mendapatkan data hasil pengolahan, tahap berikutnya adalah melakukan analisis pada data tersebut. Pada penelitian ini, analisis data yang dihasilkan pada pengolahan data untuk mengetahui gambaran atau kondisi suatu transformator overload, berapa persentase pembebanan transformator sebelum dan sesudah dilakukan uprating, dan berapa kapasitas transformator yang sesuai digunakan untuk uprating.

3.6 Hasil yang Diharapkan

Dari analisis yang telah dilakukan, penulis mengharapkan dapat menentukan persentase pembebanan yang ditanggung oleh transformator sebelum dan sesudah serta dapat menentukan kapasitas transformator dan dapat mengatasi permasalahan overblast yang terjadi pada gardu distribusi KD 0151 sehingga dapat mengurangi kerugian atau kerusakan transformator yang dialami PT PLN (Persero) ULP Tabanan.

3.7 Diagram Air



3.8 Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengajuan Proposal Kegiatan	■	■																		
2	Penulisan Proposal Tugas Akhir	■	■	■	■																
3	Pengambilan Data Tugas Akhir	■	■	■	■																
4	Ujian Proposal Tugas Akhir				■																
5	Analisis Data Tugas Akhir					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
6	Penyusunan Tugas Akhir dan Pelaksanaan Bimbingan					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
7	Penyelesaian Tugas Akhir													■	■	■	■	■			
8	Ujian Tugas Akhir																		■		

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah

Dari berbagai jenis transformator yang pada berbagai penyulang di PT PLN (Persero) ULP Tabanan, dimana penulis mengambil salah satu transformator yang telah dikategorikan *overblast* sebagai obyek penelitian. Transformator tersebut berada pada penyulang Nyitdah. Gardu Distribusi KD 0151 merupakan gardu distribusi yang terletak di Jalan Pantai Kedungu, Kecamatan Kediri, Kabupaten Tabanan. PT PLN (Persero) ULP (Unit Pelayanan Pelanggan) Tabanan Gardu distribusi KD 0151 merupakan salah satu gardu distribusi dari penyulang Nyitdah dan disuplai dari GIS (*Gas Insulated Switchgear*) Tanah Lot. Dimana gardu distribusi KD 0151 memiliki konstruksi gardu dua tiang atau disebut gardu portal, gardu tersebut menyuplai 2 jurusan A1 dan jurusan C. Untuk jurusan A1 mengarah ke utara dan untuk jurusan C mengarah ke selatan. Transformator pada gardu ini bermerek B&D dengan kapasitas transformator yaitu 100 kVA. Dimana tegangan *in coming* sebesar 20 kV dan tegangan *out going* sebesar 400/230 volt. Adapun gambar gardu distribusi KD 0151 pada penyulang Nyitdah adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah

Dalam penggantian transformator di gardu distribusi KD 0151 ini disebabkan karena transformator tersebut mengalami *overblast* atau beban lebih yang mengalir sudah melebihi batas yang diizinkan oleh PT PLN (persero) yaitu sebesar 80% dari arus normal transformator. Jika hal ini dibiarkan maka sangat memungkinkan transformator tersebut mengalami panas yang tinggi dan menyebabkan kerusakan pada transformator karena hal

tersebut maka perlu dilakukan antisipasi agar tidak terjadinya kerusakan yang lebih parah pada transformator sehingga menyebabkan kerugian bagi PT PLN (persero) maupun konsumen. Sehingga pihak PT PLN (persero) ULP Tabanan memilih untuk mengganti Transformator (menaikkan kapasitas daya transformator) tersebut.

4.2 Data Teknis Objek

Agar dapat membahas dan menganalisis suatu objek, data dari objek tersebut, seperti yang dibahas pada tugas akhir ini adalah transformator. Untuk itu diperlukan data seperti data teknis transformator dan data pembebanan yang ditanggung oleh transformator pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah.

4.2.1 Data Teknis Transformator

Tabel 4.1 Data teknis transformator pada gardu distribusi KD 0151 sebelum diuprating

No.	Uraian	Spesifikasi
1	Merk	B&D
2	Standar	SPLN.D3.002-1 2007
3	Frekuensi	50 Hz
4	Jumlah Fase	3 fase
5	Nomor Series	21R264814
6	Daya Nominal	100 KVA
7	Vektor Hubungan	Yzn5
8	Tegangan Primer	20000 V
9	Tegangan Sekunder	400 V
10	Arus Primer	2.887 A
11	Arus Sekunder	144.338 A
12	Impedasi	4.00%
13	Rugi Tanpa Beban	210 Watt
14	Rugi Berbeban	1420 Watt
15	Bahan Belitan Primer – Sekunder	AL-AL
16	Jenis Minyak	Mineral
17	Pendingin	ONAN
18	Kenaikan Suhu Minyak Kumparan	50/55 K
19	Volume Minyak	144 Liter

20	Berat Total	600 Kg
----	-------------	--------

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

Tabel 4.2 Data teknis transformator pada gardu distribusi KD 0151 setelah diuprating

No.	Uraian	Spesifikasi
1	Merk	B&D
2	Standar	SPLN D3.002-1:2007
3	Frekuensi	50 Hz
4	Jumlah Fase	3 Fase
5	Nomor Series	1802372
6	Daya Nominal	200 KVA
7	Vektor Hubungan	Dyn5
8	Tegangan Primer	20000 V
9	Tegangan Sekunder	400 V
10	Arus Primer	5.774 A
11	Arus Sekunder	288.675 A
12	Impedasi	4.00 %
13	Rugi Tanpa Beban	355 Watt
14	Rugi Berbeban	2350 Watt
15	Bahan Belitan Primer – Sekunder	AL-AL
16	Jenis Minyak	Mineral
17	Pendingin	ONAN
18	Kenaikan Suhu Minyak Kumparan	50/55 K
19	Volume Minyak	287 Liter
20	Berat Total	1220 Kg

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

4.2.2 Data Pembebanan Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sebelum Uprating Transformator

Untuk mendapatkan data permasalahan yang terjadi di obyek penelitian penulis melakukan observasi ke lapangan. Berikut merupakan data pembebanan pada gardu KD 0151 sebelum dilakukannya uprating transformator yang ditunjukkan pada tabel 4.3, 4.4, 4.5, 4.6.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Induk Sebelum Uprating (LWBP)

Tgl	Jam	Arus Induk (Ampere)				Tegangan Induk (Volt)					
						Fasa-fasa			Fasa-netral		
		IR	IS	IT	IN	RS	RT	ST	R-N	S-N	T-N
13/10/23	08:00	153	108	118	62	380	385	387	226	230	235
14/10/23	08:10	152	110	120	60	384	382	383	228	232	230
15/10/23	08:20	155	109	120	62	385	387	384	229	234	236

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Arus Jurusan Sebelum Dilakukannya UPrating (LWBP)

Tgl	Jam	Arus (A)							
		Jurusan A1				Jurusan C			
		IR	IS	IT	IN	IR	IS	IT	IN
13/10/23	08:00	72	60	70	25	50	60	70	25
14/10/23	08:10	75	64	73	25	52	62	72	26
15/10/23	08:20	78	69	75	27	54	64	74	27

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Induk Sebelum Uprating (WBP)

Tgl	Jam	Arus Induk (Ampere)				Tegangan Induk (Volt)					
						Fasa-fasa			Fasa-netral		
		IR	IS	IT	IN	RS	RT	ST	R-N	S-N	T-N
13/10/23	19:00	175	124	135	62	381	385	390	228	232	237
14/10/23	19:10	178	126	139	65	385	387	393	229	234	238
15/10/23	19:20	178	127	141	68	385	389	395	230	236	238

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Arus Jurusan Sebelum Uprating (WBP)

Tgl	Jam	Arus (A)							
		Jurusan A1				Jurusan C			
		IR	IS	IT	IN	IR	IS	IT	IN
13/10/23	19:00	87	64	82	26	52	57	72	27
14/10/23	19:10	81	65	84	24	54	60	74	29
15/10/23	19:20	86	69	85	27	57	63	76	28

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

4.2.3 Data Pembebanan Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sesudah Uprating Transformator

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Induk Sesudah Uprating (LWBP)

Tgl	Jam	Arus Induk (Ampere)				Tegangan Induk (Volt)					
						Fasa-fasa			Fasa-netral		
		IR	IS	IT	IN	RS	RT	ST	R-N	S-N	T-N
01/01/24	08:00	118	123	121	68	390	380	384	229	220	219
02/01/24	08:10	120	125	126	66	390	382	385	227	223	227
03/01/24	08:20	127	127	128	69	395	385	386	229	221	225
04/01/24	08:30	125	125	124	68	392	383	385	225	227	226
05/01/24	08:40	126	129	127	66	391	387	387	228	229	227

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Arus Jurusan Sesudah Uprating (LWBP)

Tgl	Jam	Arus (A)							
		Jurusan A1				Jurusan C			
		IR	IS	IT	IN	IR	IS	IT	IN
01/01/24	08:00	59	75	69	32	24	60	54	26
02/01/24	08:10	60	76	70	30	25	61	56	27
03/01/24	08:20	63	78	72	33	27	63	57	29
04/01/24	08:30	68	72	71	30	28	64	53	27
05/01/24	08:40	68	75	70	35	27	65	59	27

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Induk Sesudah Uprating (WBP)

Tgl	Jam	Arus Induk (Ampere)				Tegangan Induk (Volt)					
						Fasa-fasa			Fasa-netral		
		IR	IS	IT	IN	RS	RT	ST	R-N	S-N	T-N
01/01/24	19:00	167	156	170	72	396	398	397	230	229	227
02/01/24	19:10	169	152	172	71	394	390	395	232	234	225
03/01/24	19:20	175	155	170	72	397	398	398	239	230	228
04/01/24	19:30	178	158	175	70	396	394	397	235	231	228
05/01/24	19:40	179	158	178	71	398	392	398	230	232	229

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Arus Sesudah Uprating Transformator (WBP)

Tgl	Jam	Arus (A)							
		Jurusan A1				Jurusan C			
		IR	IS	IT	IN	IR	IS	IT	IN
01/01/24	19:00	80	72	72	23	40	57	71	20
02/01/24	19:10	82	69	75	20	39	55	73	20
03/01/24	19:20	84	73	72	25	42	56	72	25
04/01/24	19:30	78	75	76	20	42	52	70	25
05/01/24	19:40	81	75	78	25	45	57	74	25

Sumber: PT PLN (Persero) ULP Tabanan

4.3 Pembahasan

4.3.1 Perhitungan Pembenananan Transformator Sebelum Uprating Transformator

Berdasarkan data hasil pengukuran arus induk, arus jurusan dan tegangan induk di transformator Gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah penulis akan menghitung pembebanan transformator sesuai dengan data dari PT PLN (persero) ULP Tabanan pada tabel 4.5 dan 4.6 pada waktu beban puncak (WBP) untuk menghitung arus rata-rata dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Nilai Rata - Rata} = \frac{\text{Data}_1 + \text{Data}_2 + \dots + \text{Data}_n}{\text{Jumlah data}}$$

Sebagai contoh dapat dihitung nilai rata-rata arus yang terukur pada fasa R di tabel 4.5.

$$\begin{aligned} \text{Nilai Rata - Rata Arus} &= \frac{175 + 178 + 178}{3} \\ &= 177 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan nilai rata-rata perhitungan dapat di lihat di tabel **4.11**

Tabel 4.11 Rata-rata Data Hasil Perhitungan Arus, Tegangan Induk Sebelum Uprating

Waktu	Arus Induk (Ampere)				Tegangan Induk (Volt)					
					Fasa-fasa			Fasa-netral		
	IR	IS	IT	IN	RS	RT	ST	R-N	S-N	T-N
LWBP	153	109	135	61	383	385	390	228	232	237
WBP	177	126	138	65	384	387	393	229	234	238

Tabel 4.12 Rata-Rata Data Hasil Perhitungan Arus Jurusan Sebelum Uprating

Waktu	Arus (A)							
	Jurusan A1				Jurusan C			
	IR	IS	IT	IN	IR	IS	IT	IN
LWBP	74	64	73	26	52	62	72	26
WBP	85	66	84	26	54	60	74	28

$$\begin{aligned} \text{IRata - Rata} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ &= \frac{177 + 126 + 138}{3} \\ &= 147 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Dari hasil pengukuran pada tabel **4.5** diketahui tegangan fasa-fasa maka dapat dihitung tegangan rata-rata fasa-fasa sebagai berikut :

$$V \text{ Rata - Rata} = \frac{V_{RS} + V_{RT} + V_{ST}}{3}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{384 + 387 + 393}{3} \\
&= 388 \text{ Volt}
\end{aligned}$$

Dengan demikian persentase pembebanan transformator sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\% \text{Pembebanan transformator} &= \frac{V \times I \times \sqrt{3}}{\text{Daya transformator}} \times 100\% \\
&= \frac{388 \text{ V} \times 147 \text{ I} \times \sqrt{3}}{100000} \times 100\% \\
&= \frac{98789}{100000} \times 100\% \\
&= 98 \%
\end{aligned}$$

Dengan demikian besar persentase pembebanan transformator di Gardu Distribusi KD 0151 pada yaitu sebesar 98%.

4.3.2 Perhitungan Kapasitas Transformator Uprating

Pemilihan kapasitas transformator (kVA) pada gardu Distribusi didasarkan pada beban yang akan dilayani. Diusahakan persentase pembebanan transformator distribusi mendekati 80%. Jika beban transformator terlalu besar maka dilakukan uprating transformator pada transformator Gardu Distribusi KD 0151 penyulang Nyitdah. Dari hasil pengukuran di atas, besar persentase pembebanan transformator menggunakan dasar data pengukuran Waktu Beban Puncak (WBP) sebesar 98%, sehingga dapat d hitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
&= \frac{98}{100} \times 100000 \text{ VA} \\
&= 98000 \text{ VA}
\end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dihitung kapasitas transformator yang dibutuhkan untuk menopang kekurangan daya pada Gardu Distribusi KD 0151 menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Rating transformator} &= \frac{kVA \text{ Beban}}{0,8} \\
 &= \frac{98000 \text{ kVA}}{0,8} \\
 &= 122.500 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Dalam hal persentase pembebanan yang di gunakan sesuai dengan ketentuan adalah maksimal 80% atau 0,8.

Berdasarkan perhitungan di atas, kapasitas uprating transformator yang diperlukan adalah sebesar 122,500 kVA. Karena kapasitas transformator yang lebih besar nilai kapasitas transformator yang dibutuhkan adalah 160 kVA, tetapi PT PLN (persero) ULP Tabanan stok transformator daya 160 kVA masih kosong, hanya ada transformator daya 200 kVA, dan PT PLN (persero) ULP Tabanan ada rencana untuk menambah jurusan di gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah, maka dari itu PT PLN (persero) ULP Tabanan memasang transformator 200 kVA di Gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah supaya kedepannya tidak ada mengadakan uprating lagi dan menghemat biaya oprasional.

4.3.3 Perhitungan Pembebanan Transformator Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sesudah Uprating Transformator

Berdasarkan dari data hasil pengukuran arus induk, arus jurusan dan tegangan induk di transformator Gardu Distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah pada tabel **4.7** dan **4.9** pada waktu Beban Puncak (WBP), maka dapat dicari rata-rata nilai dari data-data tersebut sebagai berikut:

$$\text{Nilai Rata - Rata} = \frac{Data_1 + Data_2 + \dots Data_n}{\text{Jumlah data}}$$

Sebagai contoh dapat dihitung nilai rata-rata yang terukur pada fasa R di tabel **4.9** sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata - Rata Arus} &= \frac{167 + 169 + 175 + 178 + 179}{5} \\
 &= 174 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Rata-rata Data Hasil Perhitungan Arus, Tegangan Induk Sesudah Uprating

Waktu	Arus Induk (Ampere)				Tegangan Induk (Volt)					
					Fasa-fasa			Fasa-netral		
	IR	IS	IT	IN	RS	RT	ST	R-N	S-N	T-N
LWBP	123	125	125	67	392	383	385	228	224	224
WBP	174	156	173	71	396	394	397	233	231	227

Tabel 4.14 Rata-rata Data Hasil Perhitungan Arus Jurusan Setelah Uprating

Waktu	Arus (A)							
	Jurusan A1				Jurusan C			
	IR	IS	IT	IN	IR	IS	IT	IN
LWBP	64	75	70	32	26	63	56	27
WBP	81	73	75	23	42	55	72	23

Untuk menghitung arus rata-rata pada waktu beban puncak (WBP) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 IR_{\text{Rata - Rata}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\
 &= \frac{174 + 156 + 173}{3} \\
 &= 168 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengukuran pada tabel 4.9 tegangan fasa-fasa maka dapat dihitung tegangan rata-rata fasa-fasa sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Rata - Rata}} &= \frac{V_{RS} + V_{RT} + V_{ST}}{3} \\
 &= \frac{396 + 394 + 397}{3} \\
 &= 396 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase pembebanan transformator sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \% \text{Pembebanan transformator} &= \frac{V \times I \times \sqrt{3}}{\text{Daya transformator}} \times 100\% \\
 &= \frac{396 \times 168 \times \sqrt{3}}{200000} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= \frac{115229}{200000} \times 100\%$$

$$= 57 \%$$

Maka persentase pembebanan transformator pada Gardu Distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah setelah dilakukannya uprating transformator yaitu 57 % dari nominal transformator 200kVA.

4.3.4 Perhitungan Estimasi Pertumbuhan Beban Berdasarkan Konsumsi Energi Listrik

Data penjualan energi listrik diwilayah Tabanan dalam kurun lima tahun terakhir dapat ditunjukkan pada tabel 4.15

Tabel 4.15 Konsumsi Energi Listrik di Tabanan

No.	Tahun	kWh Jual (kWh)
1	2019	307.289.156
2	2020	322.336.712
3	2021	337.724.213
4	2022	361.022.975
5	2023	402.001.987

Untuk menentukan persentase peningkatan penggunaan energi listrik di rumuskan dengan persamaan 2.9 :

Persentase konsumsi energi listrik di Tabanan tahun 2019-2020

$$\%KEL = \frac{KEL_N - KEL_P}{KEL_P} \times 100\%$$

$$\%KEL = \frac{322.336.712 - 307.289.156}{307.289.156} \times 100\%$$

$$\%KEL = 4,8 \%$$

Persentase konsumsi energi listrik di Tabanan Tahun 2020-2021

$$\%KEL = \frac{KEL_N - KEL_P}{KEL_P} \times 100\%$$

$$\%KEL = \frac{337.724.213 - 322.336.712}{322.336.712} \times 100\%$$

$$\%KEL = 4,7\%$$

Persentase konsumsi energi listrik di Tabanan Tahun 2021-2022

$$\%KEL = \frac{KEL_N - KEL_P}{KEL_P} \times 100\%$$

$$\%KEL = \frac{361.022.975 - 337.724.213}{337.724.213} \times 100\%$$

$$\%KEL = 6,8\%$$

Persentase konsumsi energi listrik di Tabanan Tahun 2022-2023

$$\%KEL = \frac{KEL_N - KEL_P}{KEL_P} \times 100\%$$

$$\%KEL = \frac{402.001.987 - 361.022.975}{361.022.975} \times 100\%$$

$$\%KEL = 11,3\%$$

Sehingga dapat dihitung persentase konsumsi energi listrik per tahun :

$$\begin{aligned} \text{Rata - Rata } \% \text{ KEL } \text{Pertahun} &= \frac{4,8\% + 4,7\% + 6,8\% + 11,3\%}{4} \\ &= 6,9\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka rata-rata pertumbuhan beban per tahun berdasarkan dari persentase konsumsi energi listrik pertahun dari 5 tahun terakhir di wilayah kerja PT PLN (persero) ULP Tabanan adalah sebesar 6,9% Sehingga estimasi persentase pembebanan pada transformator gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah hingga persentase pembebanan dalam kurun waktu 5 tahun kedepan dapat dilihat pada tabel **4.16** berikut :

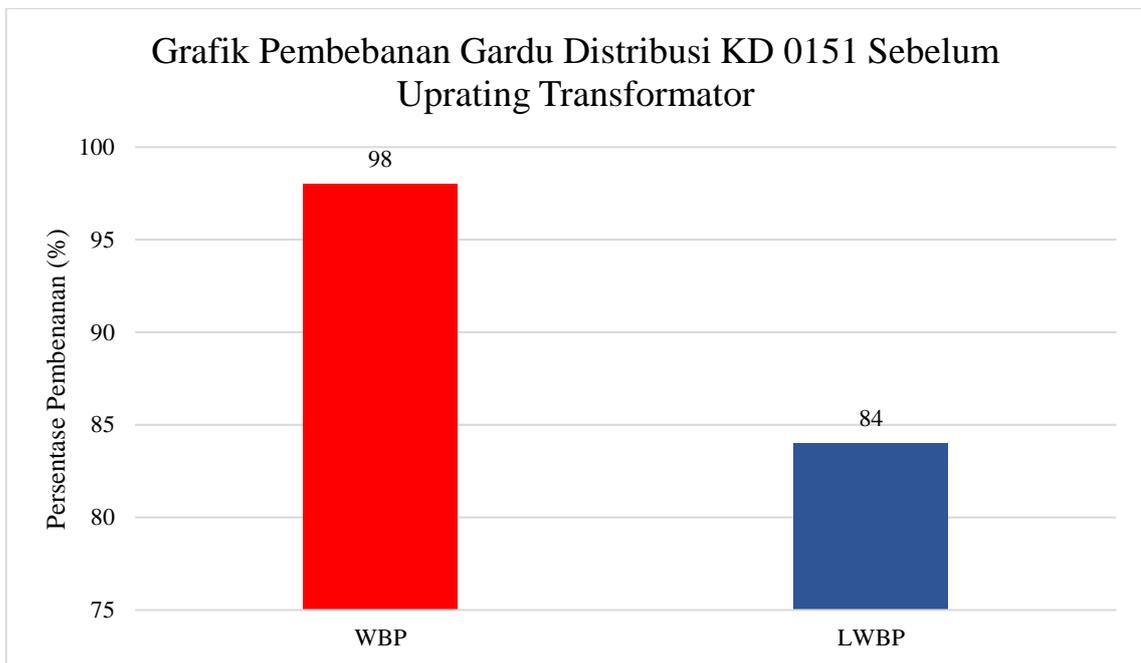
Tabel 4.16 Estimasi Persentase Pembebanan Gardu Distribusi 0151 5 Tahun ke Depan

Tahun	% Pembebanan
2024	57%
2025	60,9%
2026	65,1%
2027	69,5%
2028	74,2%

4.4 Analisis

4.4.1 Analisis Persentase Pembebanan pada Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sebelum Uprating Transformator

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran persentase pembebanan transformator di gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah selama tiga hari dari tanggal 13 s/d 15 Oktober 2023 sebelum dilakukan uprating transformator dengan kapasitas 100 kVA, terlihat adanya kenaikan beban sebesar 84% pada waktu di luar beban puncak (LWBP) dan sebesar 98% pada waktu beban puncak (WBP), seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 di bawah ini:



Gambar 4.4 Grafik Pembebanan Gardu Distribusi KD 0151 Sebelum Uprating Transformator

Sesuai dengan Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 tentang Metode pemeliharaan transformator distribusi berbasis kaidah manajemen asset hal 8, yaitu kondisi pembebanan transformator idealnya 60% - 80% terhadap kapasitasnya atau arus nominal (In) transformator tersebut dalam kondisi ini transformator dapat dikatakan dalam kondisi kurang.

Jika transformator mengalami persentase pembebanan diatas 80% atau dikategorikan over blast maka ada beberapa dampak yang terjadi pada transformator seperti:

1. Penurunan kualitas mutu pelayanan, khususnya pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR).

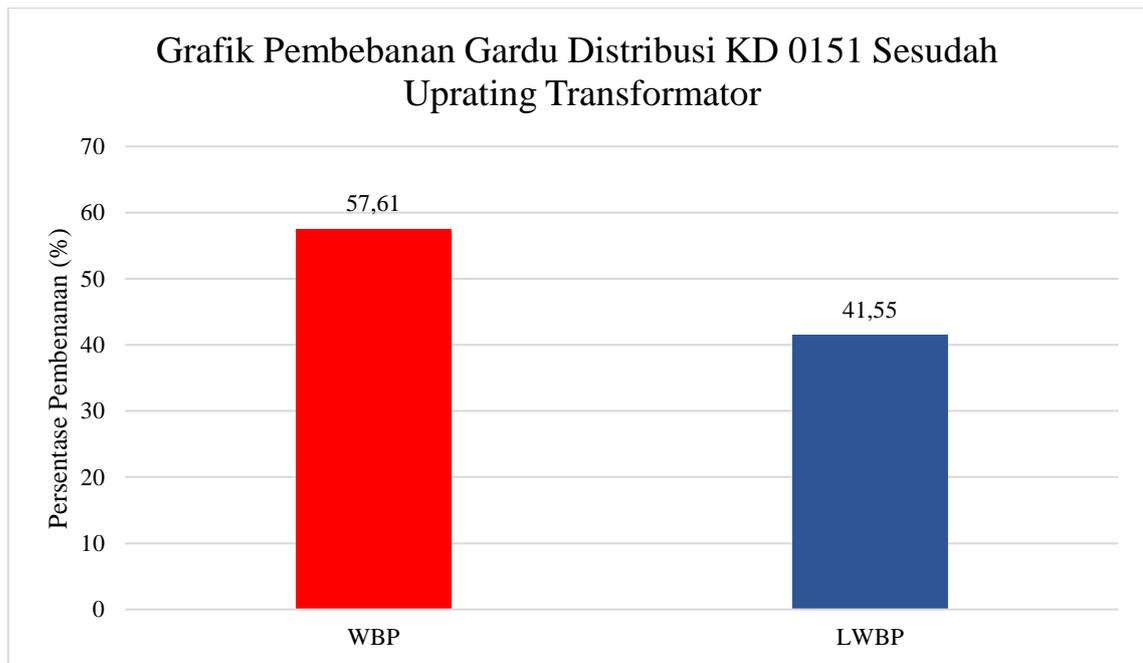
2. Mengurangi umur pemakaian (lifetime) transformator.
3. Transformator lebih mudah panas, yang menyebabkan kenaikan suhu lilitan dan berpotensi merusak isolasi lilitan transformator. Karena persentase pembebanan transformator pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Buduk telah melewati batas yang ditentukan oleh PT. PLN (Persero), maka dilakukan metode uprating transformator (meningkatkan kapasitas daya transformator dengan daya yang lebih besar) untuk mengatasi masalah overblast transformator.

4.4.2 Analisis Kapasitas Uprating Transformator

Berdasarkan perhitungan dalam tugas akhir ini, diketahui bahwa kapasitas transformator yang dibutuhkan untuk mengganti transformator yang mengalami overblast adalah 122,5 kVA. Kapasitas uprating transformator yang diperlukan adalah sebesar 122,5 kVA. Karena kapasitas transformator yang lebih besar nilai kapasitas transformator yang dibutuhkan adalah 160 kVA, tetapi PT PLN (persero) ULP Tabanan stok transformator daya 160 kVA masih kosong, hanya ada transformator daya 200 kVA, dan PT PLN (persero) ULP Tabanan ada rencana untuk menambah jurusan di gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah, maka dari itu PT PLN (persero) ULP Tabanan memasang transformator 200 kVA di Gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah supaya kedepannya tidak ada mengadakan uprating lagi dan menghemat biaya oprasional.

4.4.3 Analisis Persentase Pembebanan pada Gardu Distribusi KD 0151 pada Penyulang Nyitdah Sesudah Uprating Transformator

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran yang dilakukan, persentase pembebanan transformator pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah selama lima hari dari tanggal 1 s/d 5 Januari 2024 setelah uprating transformator dengan kapasitas 200 kVA mengalami penurunan. Persentase pembebanan turun sebesar 41,55% pada luar waktu beban puncak (LWBP) dan sebesar 57,6% pada waktu beban puncak (WBP), seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Pembebanan Gardu Distribusi KD 0151 Sesudah Uprating Transformator

Berdasarkan Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 tentang metode pemeliharaan transformator distribusi berbasis manajemen aset, halaman 8, kondisi pembebanan transformator idealnya berada dalam rentang 60% - 80% dari kapasitas atau arus nominal (In) transformator. Dalam kondisi ini, transformator dianggap dalam keadaan cukup baik.

Dengan demikian karena persentase pembebanan transformator pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah setelah dilakukannya Uprating Transformator (menaikkan kapasitas daya transformator dengan daya yang lebih besar) telah sesuai standart yang berlaku, maka pekerjaan Uprating Transformator untuk mengatasi transformator over blast dapat diatasi.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari analisis Uprating transformator pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah di jalan Pantai kedungu, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebelum transformator pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah dilakukannya Uprating Transformator, persentase pembebanannya yaitu sebesar 98%.
2. Dari hasil Perhitungan Kapasitas transformator untuk Uprating pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah digunakan transformator dengan Kapasitas 200 kVA.
3. Setelah transformator pada gardu distribusi KD 0151 Penyulang Nyitdah dilakukannya Uprating Transformator, persentase pembebanannya yaitu sebesar 57,61%.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang ingin penulis sampaikan dalam permasalahan Uprating transformator sebagai berikut.

1. Pengukuran sebelum uprating transformator sebaiknya lebih dari lima kali pengukuran agar data yang didapatkan lebih akurat.
2. Transformator yang sudah mengalami overblast 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 D3.002-1 Spesifikasi Transformator Distribusi, Jakarta: PT PLN (Persero), 2007
- [5] PT PLN (Persero), Buku I 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 Untuk Mengatasi Overload Pada Transformator DB0244 Di Penyulang Sebelanga, EJournal Spektrum Vol.5, No 2 Desember 2018.
- [9] Aldi, Rinaldi. 2013. Sistem Disribusi Tenaga Listrik
- [10] Ricky, Rezandi. 2020. Mutasi Transformator Untuk Mencegah Terjadinya Gangguan Beban Lebih Di PT. PLN (Persero) ULP Tambun, Jakarta: Institut Teknologi - PLN
- [11] Mira Sukma Dewi, Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Gardu Distribusi DT0093 di Penyulang Lumintang PT. PLN (Persero) ULP Denpasar. Bukit Jimbaran, 2019.
- [12] Yunita Sri Purnami, Analisa Pembebanan Transformator Gardu Distribusi DS0375 Penyulang Batur Sari Gardu Induk Sanur. Bukit Jimbaran, 2020.