

PENGESAHAN

STUDI ANALISIS EFISIENSI TRANSFORMATOR DAYA 3 KAPASITAS 60 MVA PADA GARDU INDUK MABAR

TUGAS AKHIR

Oleh :

KAVIN COSNER PURBA

NPM : 20330043

Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal : 27 Agustus 2024

Periode Semester GENAP T.A 2023/2024

Disahkan dan disetujui oleh :

Pembimbing I,



Ir. Jonner Manihuruk, S.T., MT., ASEAN ENG

NIDN : 0116046001

Pembimbing II,



Ir. Lestina Siagian, M.Si

NIDN : 0120125901

Diketahui Oleh :

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ir. Lestina Siagian, M.Si

NIDN : 0120125901



Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Pinbong Pangaribuan, M.T.

NIDN : 0121026402

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gardu induk merupakan suatu infrastruktur penting dalam kelistrikan yang bertugas mengubah tegangan listrik dari tingkat transmisi ke tingkat distribusi. Salah satu komponen gardu induk yang terpenting adalah transformator daya, yang bertugas mengubah tegangan tinggi dari jaringan transmisi menjadi tegangan yang lebih rendah untuk disalurkan ke pelanggan.

Efisiensi transformator daya menunjukkan seberapa efektif alat tersebut dalam mengubah energi listrik. Efisiensi yang tinggi berarti transformator kehilangan sedikit energi dalam bentuk panas, sehingga meningkatkan keandalan, mengurangi biaya operasi, dan meminimalisir dampak lingkungan.

Efisiensi transformator daya dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. **Beban :** Efisiensi transformator umumnya bervariasi dengan beban. Pada beban rendah, efisiensi lebih rendah, dan mencapai nilai optimal pada beban tertentu.
2. **Suhu:** Kenaikan suhu dapat menurunkan efisiensi transformator.
3. **Jenis dan desain transformator:** Teknologi dan desain transformator yang lebih modern umumnya memiliki efisiensi yang lebih tinggi.
4. **Usia transformator:** Seiring waktu, efisiensi transformator dapat menurun akibat degradasi material dan isolasi.

Efisiensi transformator daya yang rendah dapat mengakibatkan:

1. **Peningkatan rugi-rugi energi:** Hal ini menyebabkan pemborosan energi dan biaya operasi yang lebih tinggi.
2. **Penurunan keandalan:** Transformator dengan efisiensi rendah lebih rentan terhadap panas berlebih dan kerusakan.
3. **Dampak lingkungan:** Peningkatan rugi-rugi energi menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih tinggi.

Hafid, Abd *dkk.* 2019 menyatakan bahwa transformator daya adalah peralatan tenaga listrik untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi, ketegangan menengah atau sebaliknya. Hutagaol, Abednego, 2019

menambahkan bahwa transformator memiliki dua buah kumparan tersebut yang bersifat induktif yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder, dua buah kumparan tersebut terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetik melalui jalur yang memiliki reluktansi rendah. Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnet menghasilkan gandingan magnet antara rangkaian primer dan sekunder berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama. Menurut Arvian Widya Mukti. 2017, dalam transformator yang memiliki efektifitas ideal apabila kapasitas daya yang terdapat pada transformator sama dengan daya yang terserap oleh beban, oleh karena itu perlu dianalisis lebih lanjut mengenai faktor – faktor yang mempengaruhi perubahan efisiensi dan treatment atau tindakan untuk kinerja transformator tersebut menjadi baik dan optimal.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat diambil dari latar belakang diatas adalah :

1. Bagaimana pengaruh beban terhadap nilai efisiensi trafo daya pada Gardu Induk Mabar 150kV

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pembebanan terhadap efisiensi trafo daya pada Gardu Induk Mabar 150kV

1.4. Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Menambah pengetahuan di bidang teknik elektro tentang pengaruh pembebanan terhadap efisiensi transformator daya yang digunakan di Gardu Induk Mabar 150kV.
2. Dapat menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan efisiensi trafo daya.

1.5. Batasan Masalah

Mengingat luas dan kompleksnya pembahasan yang dapat dilakukan. Batasan masalah ini diperlukan agar penelitian fokus dengan tujuan serta fokus kepada judul penelitian dan masalah diatas :

1. Data yang digunakan dalam penulisan ini merupakan data sekunder yang di dapat dari Gardu Induk Mabar
2. Tidak meneliti factor lain yang mempengaruhi efisiensi

1.6 Sistematika prnulisan

Penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab antara lain :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini mencakup tentang pokok pembahasan teori atau materi yang mendasari dalam pengerjaan penulisan ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini mencakup tentang metodologi penelitian yang diterapkan dalam tugas akhir ini, berupa penetapan tempat dan waktu penelitian, metode pengumpulan data, tahapan penelitian, dan diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas penjelasan mengenai data hasil dari penelitian dan pembahasan terhadap penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini berisi tentang kesimpulan dan saran terhadap hasil dari dilakukannya penelitian.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Gardu Induk.

Gardu Induk merupakan bagian dari sistem atau satu kesatuan penyaluran (transmisi) tenaga listrik. Gardu Induk (GI) merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari saluran transmisi dan distribusi listrik. Dimana pada suatu tempat dipusatkan suatu sistem tenaga yang berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Pada sistem tenaga listrik Jawa Bali tahun 2010 jumlah gardu induk sebanyak 435 dengan 24 gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 kV, 310 GI 150 kV dan 101 GI 70kV. Gardu Induk merupakan bagian yang memainkan peran penting dalam **menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik** kepada pelanggan dengan aman dan efisien. Gardu induk merupakan komponen vital dalam sistem tenaga listrik modern. dari sistem tenaga listrik, dimana terdapat saluran transmisi dan jaringan distribusi yang secara bersamaan dihubungkan melalui rel-rel daya atau trafo-trafo tenaga. Gardu induk juga berfungsi sebagai penerima suplai dari tegangan tinggi ke sistem tegangan distribusi untuk disalurkan ke daerah beban atau konsumen listrik.

Gardu induk mempunyai beberapa fungsi, diantaranya sebagai berikut:

1. Menurunkan dan menaikkan level tegangan daya listrik ke level tegangan yang lain tanpa mengubah frekuensinya.
2. Tempat untuk pengukuran, pengawasan, operasi, seerta pengamanan sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan beberapa gardu distribusi yang telah melalui proses penurunan tegangan oleh transformator daya dan disalurkan melewati penyulang-penyulang atau *feeder* yang ada pada gardu induk.
4. Sebagai sarana telekomunikasi, dimana gardu induk terhubung dengan gardu induk lainnya yang berdekatan, atau biasa disebut sistem interkoneksi antar gardu induk untuk saling memberikan tegangan dan menerima tegangan. Gardu induk juga diklasifikasikan menjadi berbagai macam, diantaranya

menurut pemasangan peralatan, menurut level tegangan, menurut isolasi busbar yang digunakan, dan menurut sistem busbar yang digunakan.

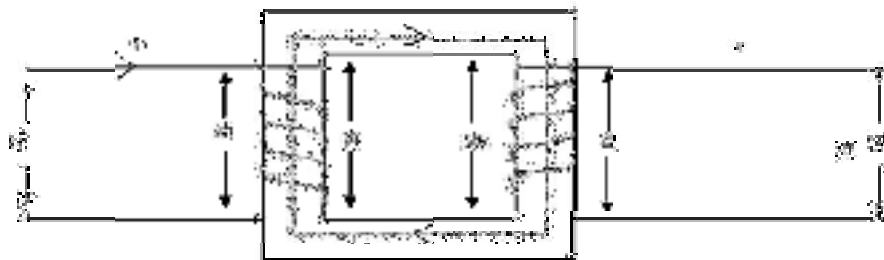
2.2 Transformator

Transformator adalah alat listrik yang mampu mengubah energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lain melalui prinsip induksi elektromagnetik dengan bantuan gandingan magnet. Penggunaannya sangat luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika.

Transformator satu fasa memiliki satu sisi input (primer) dan satu sisi output (sekunder). Sisi input disebut primer, sedangkan sisi output disebut sekunder. Sementara itu, transformator tiga fasa memiliki tiga sisi input dan tiga sisi output. Transformator tiga fasa dapat terdiri dari tiga transformator satu fasa atau dibuat secara langsung sebagai transformator tiga fasa satu inti. Dalam konteks tenaga listrik, transformator digunakan dalam tiga jenis aplikasi utama:

1. Transformator pembangkit atau daya.
2. Transformator distribusi.
3. Transformator pengukuran.

Prinsip kerja transformator berdasarkan induksi elektromagnet membutuhkan adanya gandingan magnet antara primer dan sekunder melalui sebuah inti besi yang bersama-sama membentuk fluks magnetik. Secara umum, transformator memiliki dua kumparan sisi, yaitu sisi primer (N_1) dan sisi sekunder (N_2). Jika tegangan pada sisi primer lebih tinggi daripada sisi sekunder, transformator disebut sebagai transformator penurun tegangan. Sebaliknya, jika tegangan pada sisi sekunder lebih tinggi daripada sisi primer, transformator disebut sebagai transformator penaik tegangan.



Gambar 2.1 Transformator

Keterangan gambar 2.1

N_1 = Besar lilitan sisi primer

N_2 = Besar lilitan sisi sekunder

V_1 = Tegangan input (volt)

V_2 = Tegangan output (volt)

E_1 = GGL efektif sisi primer (volt)

E_2 = GGL efektif sisi sekunder (volt)

ϕ = Fluksi magnet

2.2.1 Transformator Daya

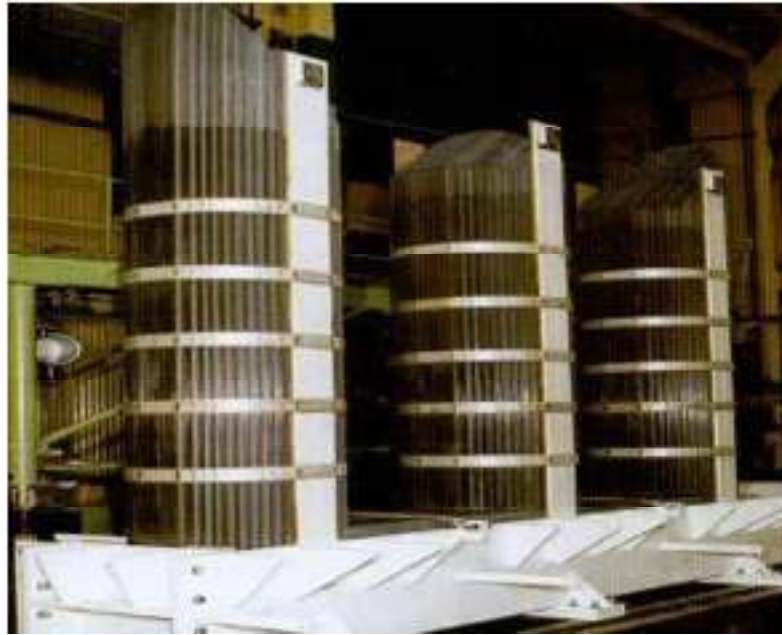


Gambar 2.5 Transformator daya.

Berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik, dengan cara merubah besaran tegangannya sedangkan frekuensinya tetap. Transformator daya juga berfungsi sebagai pengatur tegangan. Trafo daya dilengkapi dengan trafo pentanahan yang berfungsi sebagai titik netral dari trafo daya.

Bagian – bagian utama transformator daya

a. Inti Besi Transformator



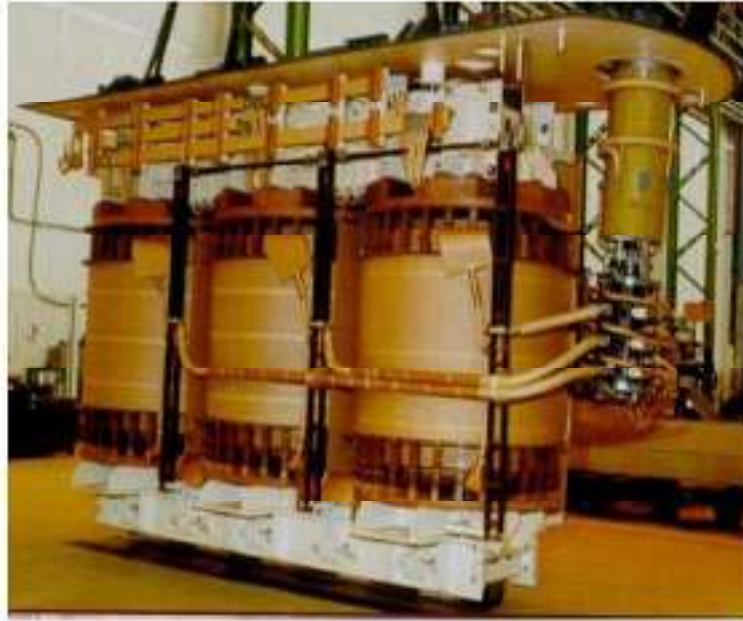
Gambar 2.6 Inti Besi

Inti besi pada transformator berfungsi sebagai tempat mengalirnya fluks dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Inti besi ini mempermudah aliran fluks yang dihasilkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti tersebut dibuat dari lempengan besi tipis berisolasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh rugi-rugi inti besi (eddy current losses).

b. Kumparan Transformator

Kumparan transformator terdiri dari beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak, dan lain-lain. Ketika salah satu kumparan diberi tegangan, kumparan tersebut akan membangkitkan fluks pada inti

serta menginduksi kumparan lainnya sehingga pada kumparan sisi lain akan timbul tegangan.



Gambar 2.7 Kumparan Transformator

d. Bushing



Gambar 2.8 Bushing

Hubungan antara kumparan trafo dan jaringan luar dilakukan melalui sebuah bushing, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang juga berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo. Bushing dilengkapi dengan fasilitas untuk pengujian kondisi bushing yang sering disebut center tap. Secara umum, bushing terdiri dari empat bagian utama: isolasi, konduktor, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi pada bushing terdiri dari dua jenis yaitu oil impregnated paper dan resin impregnated paper. Pada tipe oil impregnated paper, isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi, sedangkan pada tipe resin impregnated paper, isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.

e. Tangki Konservator



Gambar 2.9 Tangki Konservator

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan suhu. Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaihan dan penyusutan minyak, volume udara didalam konservator pun akan

bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara didalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, maka udara yang akan masuk kedalam konservator akan difilter melalui silicagel. Untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan brether bag/rubber bag, yaitu sejenis balon karet yang dipasang didalam tangki konservator.

f. Minyak & Kertas Isolasi

Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu parafinik, naphthanik dan aromatik. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda. Sedangkan kertas isolasi berfungsi sebagai pemberi jarak dan memiliki kemampuan mekanis.

g. Pendingin

Pada transformator, sebuah instalasi tenaga listrik yang dialiri arus, akan terjadi panas yang sebanding dengan suhu arus dan udara di sekitarnya. Jika suhu luar cukup tinggi dan beban transformator juga tinggi, maka transformator akan beroperasi pada suhu yang lebih tinggi. Untuk mengatasi hal ini, transformator harus dilengkapi dengan sistem pendingin yang memanfaatkan sifat alami cairan pendingin dan mensirkulasikan secara teknis—baik dengan sistem radiator, sirip tipis berisi minyak, atau dengan hembusan angin kipas. Sistem ini dapat berfungsi secara otomatis dengan mengatur suhu dan sirkulasi air di sekitar pipa minyak yang terpisah.

Minyak isolasi transformator tidak hanya berfungsi sebagai media isolasi, tetapi juga berfungsi sebagai pendingin. Saat minyak bergerak, Panas dari belitan akan dibawa oleh minyak melalui jalur sirkulasinya dan didinginkan pada sirip radiator. Adanya kipas dan pompa sirkulasi untuk meningkatkan efisiensi proses pendinginan.



Gambar 2.10 Radiator

No.	Macam Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi Alamiyah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiyah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Tabel 2.1 Macam – macam Pendingin pada Transformator

h. Tap changer



Gambar 2.11 Tap Changer GI Mabar

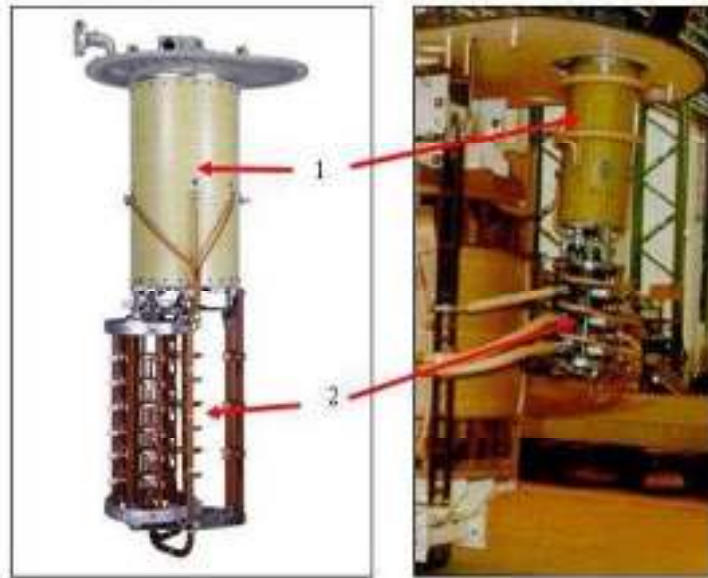
Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan adalah salah satu indikator kualitas tegangan. Transformator harus memiliki nilai tegangan output yang stabil meskipun tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah jumlah belitan pada sisi primer, rasio antara belitan primer dan sekunder dapat diubah, sehingga tegangan output/sekunder dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem, berapa pun tegangan input/primernya. Penyesuaian rasio belitan ini disebut Tap Changer.

Perubahan rasio belitan dapat dilakukan saat transformator sedang beroperasi (on-load tap changer) atau saat transformator tidak beroperasi (off-circuit tap changer / de-energize tap charger).

Tap Changer terdiri dari komponen-komponen berikut:

- Selector Switch : Rangkaian mekanis yang mencakup terminal-terminal untuk menentukan posisi rasio kumparan primer.
- Diverter Switch : Rangkaian mekanis yang dirancang untuk membuat atau melepaskan kontak dengan cepat.
- Tahanan Transisi : Tahanan sementara yang akan dilewati arus primer saat perubahan tap terjadi.

Karena operasi tap changer lebih dinamis dibandingkan dengan belitan utama dan inti, kompartemen antara belitan utama dan tap changer dipisahkan. On-load tap changer (OLTC) pada transformator dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.12 OLTC pada Transformator

Keterangan:

1. Kompartemen Diverter Switch
2. Selektor Switch



a.

b.

Gambar 2.13 Kontak Switching pada Diverter Switch

- a. Media pemadaman arcing menggunakan minyak
- b. Media pemadaman arcing menggunakan kondisi vacuum

Media pendingin pada diverter switch terbagi menjadi dua jenis, yaitu media minyak dan media vakum. Jenis pemadaman menggunakan media minyak menghasilkan energi arcing yang mengurai minyak menjadi gas C_2H_2 dan karbon, sehingga memerlukan penggantian minyak secara berkala. Sebaliknya, metode pemadaman dengan media vakum melokalisasi proses pemadaman arcing saat switching, sehingga tidak merusak minyak. Kontak switching pada Diverter Switch dapat dilihat pada Gambar 2.11.

- i. Alat pernapasan



Gambar 2.14 Minyak Isolasi

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator juga akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, udara yang akan masuk ke dalam konservator difilter melalui silica gel.

j. Peralatan proteksi trafo

Dalam hal ini kita akan membahas mengenai peralatan proteksi internal trafo yaitu peralatan proteksi yang terpasang langsung di trafo. Peralatan proteksi internal trafo antara lain:

- Rele Bucholz

Gangguan internal yang terjadi di trafo mengakibatkan suhu yang sangat tinggi pada trafo. Hal ini dapat memicu timbulnya tekanan aliran minyak yang besar dan pembentukan gelembung gas yang mudah terbakar. Tekanan minyak ataupun gelembung gas ini bakal dideteksi oleh rele Bucholz.



Gambar 2.15 Rele Bucholz

- Rele Jansen

Indikasi gangguan yang dideteksi oleh Rele Jansen sejenis Rele Bucholz, Rele Jansen digunakan untuk memproteksi OLTC (On Load Tap Changer).



Gambar 2.16 Rele Jansen

- Rele Tekanan Lebih (Sudden Pressure)

Pada saat tekanan di dalam trafo akibat gangguan meningkat, rele sudden pressure ini dirancang sebagai titik terlemah. Dengan itu , tekanan akan disalurkan melalui sudden pressure sehingga tidak merusak bagian lain maintank.



Gambar 2.17 Rele Sudden Pressure

- Rele Thermal



Gambar 2.18 Rele Thermal

Kualitas tegangan jaringan, kehilangan pada trafo itu sendiri, dan suhu lingkungan semua mempengaruhi suhu transformator yang sedang beroperasi. Suhu operasi yang tinggi akan merusak isolasi kertas transformator. Dimana Rele termal terdiri dari thermocouple, pipa kapiler, dan meter penunjukan untuk mengukur suhu operasi dan menjadi penanda ketidaknormalan suhu pada transformator.

k. Neutral Grounding Resistant (NGR)

Tahanan penahan netral, juga dikenal sebagai resistor penahan netral, dirancang secara seri antara titik netral sisi sekunder transformator daya dan tanah. Beberapa fungsi utama NGR adalah bagian penting dari sistem pentanahan transformator daya. Fungsi utama NGR

1. Mengurangi arus gangguan satu fasa ke tanah

Saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah, NGR akan membatasi arus yang mengalir dari titik netral ke tanah, melindungi transformator daya, generator, dan peralatan lain dari kerusakan yang disebabkan oleh arus gangguan yang besar.

2. Mengurangi tegangan lebih sesaat

Ketika gangguan satu fasa ke tanah terjadi, NGR membantu mengurangi tegangan lebih sesaat yang terjadi pada sistem. Tegangan lebih sesaat ini dapat merusak peralatan listrik dan mengganggu operasi sistem.

3. Meningkatkan koordinasi proteksi

NGR membantu meningkatkan koordinasi antara sistem proteksi relai yang berbeda, penting untuk memastikan bahwa sistem proteksi bekerja dengan benar dan efektif dalam mendeteksi dan membersihkan gangguan.

4. Meminimalkan bahaya sengatan listrik

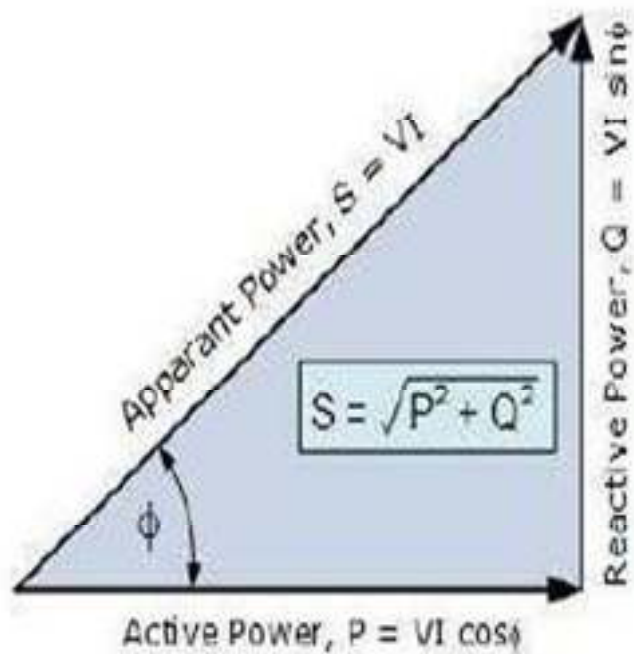
NGR mengurangi bahaya sengatan listrik yang dapat terjadi akibat gangguan ke tanah dengan membatasi arus gangguan yang teralir ke tanah, sehingga mengurangi potensi sengatan listrik yang berbahaya bagi manusia.



Gambar 2.19 Neutral Grounding Resistant (NGR)

2.2.2 Daya Listrik

Sistem listrik satu fasa hanya menggunakan satu jenis daya, yaitu daya nyata yang diukur dalam watt. Sebaliknya, pada sistem listrik tiga fasa menggunakan tiga jenis daya: daya nyata, daya semu, dan daya reaktif. Segitiga siku-siku menggambarkan hubungan antara ketiga daya ini, dengan sisi miring menunjukkan daya semu dan sisi siku menunjukkan daya nyata. Segitiga ini digambarkan pada Gambar 2.24



Gambar 2.24 Segitiga daya

a) Daya Nyata

Daya sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban listrik disebut daya aktif (P). Watt (W) adalah unit daya aktif yang diukur [10]. Persamaan (2.1) menunjukkan rumus daya nyata.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \dots \dots \dots (2.1)$$

b) Daya Reaktif

Adalah daya yang mengurangi nilai $\cos \phi$ (faktor daya) atau mengurangi daya. Faktor daya adalah rasio antara daya nyata (watt) dan daya semu (VA). Persamaan daya reaktif adalah pada persamaan 2.2.

$$Q = V \times I \sin \phi \dots\dots\dots(2.2)$$

Faktor daya selalu dibawah dari atau sama dengan satu. Faktor daya yang rendah menyebabkan kerugian daya yang lebih besar karena arus beban yang tinggi.

c) Daya semu

Daya semu ialah daya yang dihitung dalam sistem listrik sebelum penerapan besar beban listrik. Daya semu, yang juga dikenal sebagai daya total (S), dalam bahasa Inggris disebut *apparent power*, merupakan hasil dari perkalian antara tegangan efektif (V) dan juga arus efektif (I). Rumus untuk daya semu ditunjukkan pada persamaan (2.3).

$$S = V \times I$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ atau}$$

$$\sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

P = Daya Nyata (watt)

Q= Daya Reaktif (var)

S= Daya Semu (va)

V= Tegangan (volt)

I= Arus (ampere)

ϕ = Beda Sudut

2.2.3 Transformator Tiga Fasa

Dalam sistem yang membutuhkan tegangan tiga fasa, transformator tiga fasa biasanya digunakan. Ada tiga lilitan pada sisi primer dan sekunder, mirip dengan tiga transformator satu fasa, yang dihubungkan dalam konfigurasi bintang (Y) atau segitiga (Δ). Jika diperlukan, sisi sekunder juga dapat dihubungkan secara

zig-zag (Z).

Transformator tiga fasa terdiri dari tiga jenis berbeda. Yang pertama adalah 3 x 1 fasa, yang terdiri dari tiga transformator satu fasa yang identik; yang kedua adalah 1 x 3 fasa, yang merupakan transformator tunggal dengan konstruksi tiga fasa.

Transformator 3 x 1 fasa memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Kumputan primer serta kumputan sekunder dapat memiliki berbagai vektor grup dan konfigurasi jam sesuai kebutuhan.
- Ketiga transformator dapat dioperasikan paralel untuk menyuplai beban satu fasa.
- Lebih berat serta lebih mahal dibandingkan dengan transformator 1 x 3 fasa jika daya ketiganya sama.
- Tegangan primer dan sekunder harus seimbang.

Namun, transformator 1 x 3 fasa memiliki karakteristik berikut:

- Didesain secara permanen dari pabrik
- Dapat digunakan untuk menyuplai beban satu fasa dengan daya maksimal 1/3 dari tiga fasa
- Karena menggunakan material yang lebih kecil, lebih ringan dan lebih murah
- Dapat digunakan untuk menyuplai beban satu fasa dengan daya maksimal 1/3 dari tiga fasa.

2.2.4 Hubungan Belitan Transformator Tiga Fasa

Tiga cara berbeda dapat digunakan untuk menghubungkan sisi primer atau sekunder transformator tiga fasa:

- a. Hubungan bintang
- b. Hubungan delta at
- c. Hubungan zig-zag.

2.3 Rugi – rugi Transformator

Rugi-rugi transformator adalah fenomena yang tidak diinginkan di mana sebagian energi listrik hilang selama proses transformasi tegangan dan arus. Kerugian ini menyebabkan transformator menjadi kurang efisien dan menghasilkan panas.

Rugi - Rugi trafo terdiri dari rugi besi dan tembaga, untuk mengurangi rugi tembaga, gunakan kawat tembaga dengan penampang yang besar untuk mengalirkan arus listrik yang dibutuhkan. Persamaan daya untuk trafo tanpa beban seperti 2.4.

$$P = VI \cos \varphi \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana $\cos \varphi =$ Faktor kerja
dari persamaan diatas maka didapat

$$S = \sqrt{3}VI$$

maka

$$\cos \varphi = \frac{p(w)}{s(va)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Tujuan utama dari perancangan Listrik adalah meminimalkan kerugian energi listrik selama proses transmisi dan distribusi, yang mana walaupun dalam persentasi adalah kecil. Akan tetapi untuk transformator dengan kapasitas yang lebih besar maka rugi – rugi yang terjadi juga semakin besar.

2.3.1 Rugi – rugi tembaga (Pcu)

Rugi – rugi tembaga adalah fenomena dalam sistem kelistrikan di mana sebagian energi listrik yang mengalir melalui kabel tembaga berubah menjadi panas dan hilang. Fenomena ini terjadi karena hambatan intrinsik kabel tembaga terhadap aliran arus listrik.

Rugi jenis ini adalah Kerugian yang terjadi di dalam belitan transformator akibat resistansi kawat Saat arus mengalir melalui belitan, dapat ditulis sebagai berikut :

Karena arus beban tidak tetap atau berubah - ubah maka besar rugi tembaga tidak konstan , bergantung kepada beban. Rugi tembaga setiap perubahan arus beban dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{t2} \left(\frac{s2}{s1} \right)^2 \dots \dots \dots (2.6)^1$$

Dimana :

Pt2 = Rugi tembaga pada saat pembebanan tertentu

Pt1 = rugi tembaga beban penuh.

S2 = Beban yang dioperasikan

S1 = nilai pengenalan

2.3.2 Rugi – rugi Besi (Pi)

Tidak sama dengan rugi – rugi tembaga ,Rugi-rugi inti (rugi besi) dalam keadaan normal selalu konstan tidak terpengaruh dengan besarnya perubahan beban .Nilai rugi-rugi besi biasanya ada tertera pada papan nama masing-masing transformator daya. Rugi besi sebuah transformator terdiri dari rugi hysteresis dan rugi arus pusar (Eddy Current), dengan rumus

$$P_i = P_h = P_e \dots \dots \dots (2.7)^2$$

Dimana Pi adalah rugi daya inti transformator dari percobaan tanpa beban. Ph adalah rugi hysteresis yang disebabkan oleh gesekan molekul logam inti karena perubahan arah fluks magnet. Rumus berikut dapat digunakan untuk menulis besar rugi hysteresis:

$$P_h = K_h \cdot B_m^x \cdot f \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan :

Kh = Konstanta hysteresis yang bergantung pada bahan dan volume inti

Bm = rapat fluksi maksimum (Tesla),

X = faktor stenmetz yang bergantung pada jenis bahan

f = adalah frekuensi kerja.

Sementara rugi arus pusar Pe disebabkan oleh aliran arus induksi di dalam logam inti, rumusnya adalah:

$$P_e = K_e^2 \cdot f \cdot B_{maks}^2$$

¹ MUTIAR, "PERHITUNGAN EFISIENSI TRANSFORMATOR 60 MVA DI PT. PLN (PERSERO)

² Afrizal Tomi), Muliadi), Syukri3," *Analisis Efisiensi Transformator Daya di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Ulee Kareng*", Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology, Volume 3 Nomor 1(Juni, 2023)

2.4 Efisiensi Transformator

Nilai dari Efisiensi transformator adalah hasil perbandingan dari daya masukan (yang terdiri dari daya keluaran ditambah total rugi) dengan daya keluaran. Transformator dianggap ideal jika daya masukan dan daya keluarannya sama besar. Namun, dalam kenyataannya, transformator mengalami rugi-rugi yang menyebabkan efisiensinya menurun. Dimana rugi – rugi ini meliputi rugi inti (Pi) dan rugi tembaga (Pcu) . Untuk mengetahui kinerja sebuah transformator, efisiensinya diukur baik pada saat beban tertinggi siang, beban tertinggi malam, maupun pada saat beban terendah.

Efisiensi sebuah transformator dapat terpengaruh oleh rugi besi dan juga rugi tembaga. Nilai Efisiensi (η), dituliskan pada persamaan (2.5).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

Pout = Daya keluaran

Pin = Daya masukan

Untuk efisiensi transformator, dapat ditulis dengan persamaan (2.6) hingga (2.7) .Adapun rugi-rugi transformator terdiri dari beban nol yang merupakan rugi besi (Pi) dan rugi tembaga (Pcu) pada Pout.

$$\eta = \frac{P_{in} - (\text{rugi tembaga} = \text{rugi inti})}{P_{in}} 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{in} - \Sigma \text{rugi}}{P_{in}} 100\%$$

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{P_{in}} 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Sigma \text{rugi}} 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

keterangan :

Pin = Daya Masukan

Pout = Daya Keluar

Σ rugi = Pcu + Pi

Transformator itu sendiri memiliki efisiensi yang sangat tinggi sehingga

pengukuran efisiensi tidak pernah dilakukan secara langsung dengan mengukur

daya input dan output. Bahkan jika pengukuran dilakukan dengan wattmeter dengan akurasi 1%, efisiensi lebih dari seratus persen masih dapat dicapai dengan efisiensi 99 persen. Oleh karena itu, pengukuran efisiensi transformator tidak pernah dilakukan di lapangan, tetapi selalu dilakukan di laboratorium atau dengan besar rugi – rugi transformator. Dimana daya masukan adalah daya keluaran ditambah dengan rugi – rugi .

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode yang dipakai dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah metode pengumpulan data dan pengolahan data (menggunakan metode kuantitatif) . Pada Tugas Akhir kali ini iyalah menghitung efisiensi 1 unit transformator daya 60 MVA yang ada di Gardu Induk 150/20 kV Mabar yaitu transformator daya 3, menggunakan metode kuantitatif. Dimana metode kuantitatif adalah metode yang datanya berupa angka angka, pengolahannya berupa perhitungan, dan perhitungannya disajikan dalam bentuk tabel atau grafik. Pada tugas akhir ini penulis menggunakan cara memperoleh data dengan mengumpulkan data pembebanan trafo yang ditampilkan pada Power Meter transformator daya. Untuk pengolahan data dilakukan dengan perhitungan manual.

3.2. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di GARDU INDUK MABAR 150 kV , Jl. Kemuning No.52, Tj. Mulia, Kec. Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara 20242 dalam jangka waktu 10 hari pada tanggal 21 sampai 31 mei. Data yang dikumpulkan adalah data transformator daya di GARDU MABAR PT. PLN(PERSERO).

3.3 Diagram Single Line

Diagram Single Line (diagram satu garis) merupakan suatu diagram listrik di gardu induk yang berisi penjelasan secara umum tentang posisi dan juga jenis peralatan pada gardu induk. Untuk lebih jelasnya Gambar dari diagram single line Gardu Induk Mabar akan dicantumkan di Lampiran.

3.4 Peralatan yang Digunakan

Untuk mempermudah dalam menyusun laporan dan melakukan perhitungan penelitian menggunakan Satu buah Laptop Acer Processor 12th Gen Intel(R) Core(TM) i3-1215U (8 CPUs), ~1.2GHz , RAM 8 gb , Windows 11. Untuk *software* menggunakan *Microsoft* yaitu *Microsoft word* dan *Microsoft excel*. Dan juga 1 buah

hp Galaxy A23 model SM-A235F/DSN RAM 6 gb + 6 gb dan Power meter Transformator Daya.



Gambar 3.1 Power Meter Transformator Daya

Berikut adalah fungsi dari masing-masing tombol:

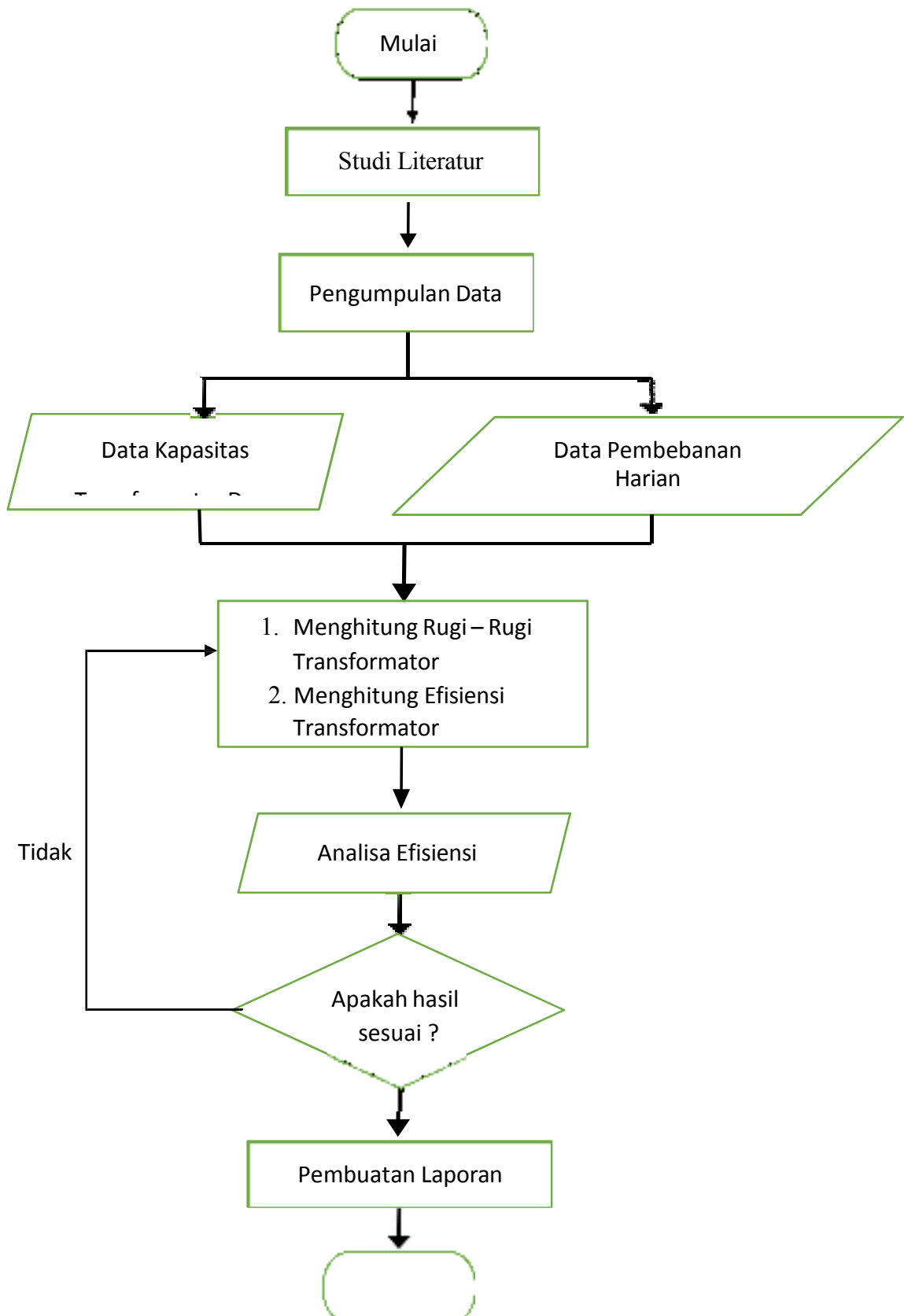
Bs (Basic setting) : Tombol ini digunakan untuk mengakses pengaturan dasar pada perangkat, seperti pengaturan waktu dan tanggal.

Up : Tombol ini digunakan untuk menaikkan nilai pada layar.

Dn : Tombol ini digunakan untuk menurunkan nilai pada layar.

St : Tombol ini digunakan untuk menampilkan status perangkat

3.5 Diagram Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir Penelitian

3.6 Data Penelitian

Data yang perlu digunakan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini adalah data yang didapatkan dari GARDU INDUK MABAR. Setelah Data diperoleh, selanjutnya akan di susun didalam tabel, seperti tabel dibawah

Tgl	DATA			
	TEG	DAYA		ARUS
	kV	MW	MVAR	A
1				
2				
3				
4				
5				
7				

Tabel 3.1 Tabel Untuk data yang diperoleh

3.6.1 Transformator Daya di Gardu Induk Mabar

Transformator daya yang dipergunakan pada Gardu Induk Mabar untuk menyalurkan daya dari tegangan 150 kV ketegangan 20 kV,

a. Transformator Daya

Merk : UNINDO
Type : ORF 60/275
Serial Number : 9144054
Year of Manufactured : 1992

Standart	: IEC 76/1976
Rated Power	: 60 MVA
Cooling	: ONAN?ONAF
Frequency	: 50 Hz
phases	: 3 (Three)
Isulation Level	: L1-650 AC 275/LI-125AC 50/LI-AC38LI AC 38/LI-AC50/
Tap Changer	: MR-MS III 300-60+MA9 ONLOAD
Vacum PROOF	: 100%
Type Oil	: IEC 296
Mass	: Total 93 Oil 23

Untanki