

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISIS PENGARUH RUGI-RUGI TOTAL AKIBAT PEMBEBANAN TERHADAP TEMPERATUR DAN EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT DOW AGROSCIENCES INDONESIA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Oleh:**

**TABAH RAMADHAN**  
**1507220032**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Tabah Ramadhan  
NPM : 1507220032  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : **Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Total Akibat Pembebanan Terhadap Temperatur Dan Efisiensi Transformator Distribusi Di PT Dow AgroSciences Indonesia.**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2021

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T

Dosen Pembimbing II / Peguji



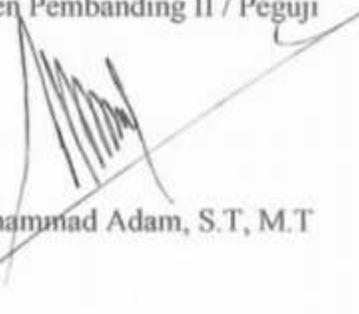
Elvy Sahnur, S.T, M.Pd

Dosen Pembanding I / Penguji



Partaonan Harahap, S.T, M.T

Dosen Pembanding II / Peguji



Muhammad Adam, S.T, M.T



Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T

## SURAT PERNYATAAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Tabah Ramadhan  
Tempat / Tanggal Lahir : Sitinjak / 05 Januari 1997  
NPM : 1507220032  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Total Akibat Pembebanan Terhadap Temperatur Dan Efisiensi Transformator Distribusi Di PT Dow AgroSciences Indonesia.”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2021

Saya yang menyatakan,



TABAH RAMADHAN

## ABSTRAK

*Besar temperatur belitan pada sisi primer dan sekunder dipengaruhi oleh beban nominal yang ada didalam transformator tersebut, karena dalam pengujian transformator beban yang diberikan adalah beban nominal. Sehingga dapat ditentukan nilai tahanan panas pada transformator dengan menggunakan grafik untuk mendapatkan nilai temperatur belitan pada transformator tersebut pada beban nominal. Dalam pengujian temperature rise, temperatur ruang dan temperatur pada radiator sangat penting untuk menentukan temperatur akhir pada transformator distribusi. Pada penelitian ini didapat nilai temperatur belitan pada sisi primer sebesar 28,08°C dan nilai temperatur belitan pada sisi sekunder adalah sebesar 30,39°C. Pada saat pengujian beban nol tidak terdapat rugi – rugi pada belitan, sehingga temperature pada belitan sama dengan nol. Sedangkan pada saat pengujian berbeban didapat rugi – rugi pada belitan sebesar 2270 watt, dan temperature rata- rata belitan di sisi primer sebesar 28,08°C dan disisi sekunder sebesar 30,39°C. Dari pengujian beban nol dan berbeban dapat di ambil kesimpulan bahwa beban adalah salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap temperature belitan rata – rata pada transformator. Besar efisiensi pada transformator tersebut adalah 97,96%, dihitung pada beban nominal yang ada pada transformator tersebut.*

**Kata kunci : Transformator, Temperature Belitan, Efisiensi.**

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum wr.wb*

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat dan salam kita sampaikan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar sarjana pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “***Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Total Akibat Pembebanan Terhadap Temperatur Dan Efisiensi Transformator Distribusi Di PT Dow AgroScience Indonesia***”

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Munawar Alfansury siregar, S.T, M.T, Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T, Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T, Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Ibu Elvy Sahnur, S.T, M.Pd, Selaku Pembimbing II Dalam Penyelesaian Tugas Akhir Ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Teman-teman Seperjuangan Fakultas Teknik, Khususnya TEKNIK ELEKTRO A-1 Pagi 2015 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alakum wr.wb*

Medan, Oktober 2021

Penulis



TABAH RAMADHAN

1507220032

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penulisan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Manfaat .....	3
1.6. Metode Penulisan.....	4
1.7. Sistematika Penulisan .....	5

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan .....	6
2.2. Landasan Teori .....	7
2.3. Bagian – Bagian Transformator.....	9
2.3.1. Kumparan Transformator .....	10
2.3.2. Inti Besi .....	11
2.3.3. Bushing.....	11

2.3.4. Tangki.....	15
2.3.5. Minyak Transformator.....	17
2.3.6. Tap Changer .....	18
2.3.7. Sistem Pendingin Transformator .....	20
2.3.8. Isolasi Belitan Transformator .....	22
2.3.9. Peralatan Proteksi.....	22
2.4. Hubungan Belitan Transformator .....	26
2.4.1. Hubungan Bintang.....	27
2.4.2. Hubungan Delta.....	27
2.4.3. Hubungan Zig – Zag .....	28
2.5. Rangkaian Transformator Dengan Beban .....	29
2.6. Rangkaian Transformator Tanpa Beban.....	30
2.7. Temperatur Transformator.....	33
2.8. Rugi – Rugi Transformator.....	34
2.8.1. Rugi Besi .....	34
2.8.2. Rugi Tembaga .....	35
2.9. Efisiensi Transformator .....	36

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Tempat Penelitian .....	38
3.2. Peralatan Penelitian .....	38
3.3. Pengujian Temperatur Rise Pada Transformator.....	42
3.4. Data Penelitian.....	44
3.5. Flowchart Penelitian .....	47

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Analisis Pengujian Beban Nol Dan Berbeban .....	48
4.2. Grafik Penelitian .....	49
4.3. Analisis Temperatur Belitan Transformator .....	50
4.4 Analisis Efisiensi Transformator.....	51

## **BAB 5 PENUTUP**

5.1. Kesimpulan .....	53
5.2. Saran .....	54

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	55
-----------------------------	----

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Macam – macam pendingin tranfo .....	21
Tabel 2.2 Standar temperature pada klas isolasi .....	22
Tabel 3.1 Data pengujian temperature rise .....	44
Tabel 3.2 Data Resistance .....	46

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Dua tipe inti transformator (a) tipe inti (b) tipe cangkang .....	8
Gambar 2.2 Elektromagnetik Pada Transformator .....	9
Gambar 2.3 Gambar Bagian – Bagian Utama Transformator.....	10
Gambar 2.4 Belitan Transformator .....	10
Gambar 2.5 Inti Besi .....	11
Gambar 2.6 Bushing .....	12
Gambar 2.7 Bagian – Bagian Bushing.....	13
Gambar 2.8 Kertas Isolasi Bushing.....	14
Gambar 2.9 Konservator .....	15
Gambar 2.10 Silica Gel .....	16
Gambar 2.11 Konstruksi Konservator Dengan Rubber Bag.....	16
Gambar 2.12 Dehydrating Breather .....	17
Gambar 2.13 Minyak Transformator .....	18
Gambar 2.14 Diverter Switch (1) Selektor Switch (2).....	19
Gambar 2.15 Kontak Switching Pada Diverter.....	20
Gambar 2.16 Radiator .....	21
Gambar 2.17 Conventional Transformers.....	24
Gambar 2.18 Completely Self-Protecting (csp) Transformers .....	25
Gambar 2.19 Completely Self-Protecting for Secondary Banking (cspb) Transformers .....	26
Gambar 2.20 Kumparan hubungan bintang .....	27
Gambar 2.21 Kumparan Hubungan Delta.....	28
Gambar 2.22 Kumparan Hubungan Zigzag .....	28

Gambar 2.23 Keadaan Transformator berbeban .....	29
Gambar 2.24 Keadaan Transformator Tanpa berbeban .....	31
Gambar 3.1 Induction voltage regulator .....	39
Gambar 3.2 Power Analyzer .....	39
Gambar 3.3 Thermometer .....	40
Gambar 3.4 Winding Resistance Meter .....	40
Gambar 3.5 Kabel Penghubung .....	41
Gambar 3.6 Plat Tembaga.....	41
Gambar 3.7 Rangkaian Pengujian.....	42

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1. Latar Belakang**

PT. Dow AgroSciences Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak di bidang formulasi bahan-bahan untuk memproduksi pestisida yang terbagi atas formulasi herbisida dan formulasi insektisida, Perusahaan tersebut berdiri pada tahun 1974, perusahaan tersebut terletak di Jl. Sisingamangaraja Km 9,5 Medan. PT Dow AgroSciences Indonesia merupakan salah satu perusahaan terbesar di dunia di bidang pertanian yang ikut berperan aktif didalam peningkatan produksi dibidang pertanian, perkebunan, kehutanan, dan lingkungan permukiman. Industri merupakan salah satu bidang yang mempengaruhi pertumbuhan suatu negara, baik dalam aspek perekonomian, pendidikan dan sebagainya.

Dalam prosesnya, suatu industri membutuhkan energi untuk menjalankan proses produksi. Salah satu energi yang banyak digunakan adalah energi listrik. Sehingga di butuhkan pendistribusian tenaga listrik yang optimal agar kebutuhan tersebut terpenuhi dan di butuhkan peralatan yang handal untuk melayani beban-beban yang berubah-ubah. Untuk memenuhi kebutuhan dan pendistribusian terdapat sebuah komponen penting yang harus ada dalam setiap pendistribusian yaitu transformator. Dalam pendistribusian energi listrik terdapat dua jenis transformator yaitu transformator step up untuk menaikkan tegangan dan transformator step down untuk menurunkan tegangan.

Oleh karena itu transformator adalah komponen yang sangat penting dan mengingat kerja keras dari suatu transformator maka diusahakan agar peralatan ini berusia panjang dan dapat lebih lama dipergunakan, maka transformator harus

dipelihara dengan menggunakan sistem pembebanan serta peralatan yang benar, baik dan tepat dan kinerjanya juga harus selalu diperhatikan agar penggunaannya tetap efisien. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kondisi transformator yaitu temperature dan pembebanan.

Untuk mengetahui bagaimana kinerja transformator sebelum dipasang biasanya dilakukan pengujian menggunakan beban nominal, supaya dapat mengetahui transformator dalam keadaan baik atau tidak, sehingga kinerja transformator saat digunakan dapat optimal.

Berdasarkan uraian di atas maka di perlukan analisis tentang pengaruh pembebanan terhadap temperatur transformator untuk menjaga kondisi dan kinerja transformator tetap optimal dan efisien pada saat digunakan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh beban nominal terhadap temperatur belitan transformator?
2. Bagaimana beban nominal pembebanan terhadap efisiensi transformator?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis pengaruh beban nominal terhadap temperatur belitan transformator.

2. Untuk menganalisis pengaruh beban nominal terhadap efisiensi transformator.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah ini meliputi sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya menganalisa pengaruh beban nominal saat pengujian terhadap temperatur belitan transformator.
2. Pembahasan hanya menganalisa pengaruh beban nominal saat pengujian terhadap efisiensi transformator.
3. Data yang digunakan merupakan data dari PT. Dow AgroSciences Indonesia.

#### **1.5 Manfaat Penulisan**

Dengan dilakukannya penelitian ini dapat memberi manfaat, terutama bagi penulis :

1. Mengetahui bagaimana pengaruh pembebanan terhadap temperatur belitan transformator.
2. Mengetahui bagaimana pengaruh pembebanan terhadap efisiensi dari transformator.
3. Mengetahui cara perhitungan nilai temperatur belitan dan efisiensi pada transformator pada beban nominal.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### 1. Studi Literatur/Pustaka

Pada tahapan ini dilakukan pedalaman materi untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan, selain itu juga dilakukan studi literature dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung penyelesaian pengolahan data penelitian, informasi, studi literatur juga sangat di perlukan untuk pelaksanaan penelitian.

### 2. Wawancara

Wawancara merupakan komunikasi verbal untuk mengumpulkan informasi dari seseorang. Dengan menggunakan tanya jawab secara langsung terhadap pejabat instansi terkait/ataupun karyawan untuk mendapatkan data penelitian yang diperlukan.

### 3. Riset

Riset/Pengambilan data dilakukan penulis guna untuk melengkapi berbagai macam data- data dari tulisan yang akan diselesaikan oleh penulis agar lebih akurat dan dapat dipertanggung jawabkan.

### 4. Bimbingan

Bimbingan merupakan komunikasi antara penulis terhadap dosen pembimbing guna untuk memperbaiki tulisan penulis bila ada kekurangan maupun kesalahan didalam penulisan.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman, maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan latar belakang penyusunan Tugas Akhir, latar belakang, rumusan masalah, dan batasan masalah, manfaat penulisan, metodologi penelitian serta sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan konsep teori yang menunjang kasus Tugas Akhir, memuat tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang akan diteliti yaitu komponen komponen utama pada trafo daya, temperatur trafo, dan efisiensi trafo.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini akan menerangkan mengenai lokasi dilaksanakannya penelitian, jenis penelitian, jadwal penelitian, serta jalannya penelitian.

### **BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai analisa data.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memuat tentang kesimpulan dari seluruh hasil penelitian pengaruh pembebanan terhadap temperatur dan efisiensi trafo daya dan juga saran-saran yang berhubungan dengan tugas akhir.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka Relevan**

Transformator merupakan peralatan penting dalam distribusi listrik ke gardu, sehingga penggunaan transformator sesuai dengan umur desainnya. Hilangnya umur pada transformator dipengaruhi oleh beberapa parameter penting, parameter tersebut adalah suhu hotspot, operasi pembebanan, dan suhu lingkungan. Metode ini mengumpulkan data, pengelolaan data dan analisis. Hasil penelitian menunjukkan hotspot dari ketiga transformator di gardu sakti masih dalam batas aman yang ditetapkan oleh International Standard Electrotechnical Commission (IEC). Hilangnya umur pada transformator di gardu sakti masing – masing berjumlah 0,00017% pada trafo 1, trafo 2 sebesar 0,0004% dan trafo 3 sebesar 0,00023%. ( Kurniawan, 2016 )

Besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan oleh transformator dipengaruhi oleh besar kecilnya pembebanan dan oleh rugi – rugi total yang berupa rugi inti dan rugi tembaga yang terdapat pada transformator. Efisiensi transformator merupakan perbandingan antara output (daya keluaran) dengan input (daya masukan). Rugi - rugi transformator ini menyebabkan perbedaan antara daya masukan dan daya keluaran. Semakin besar rugi – rugi yang dihasilkan pada transformator, maka akan semakin besar daya yang hilang pada transformator tersebut. Studi ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi transformator yang terdapat di gardu induk GIS Listrik yaitu transformator 1 dan transformator 2. Analisis efisiensi yang didapat pada transformator 1 saat beban tertinggi siang 99,42% dan saat beban tertinggi malam 99,44%, sedangkan saat beban terendah

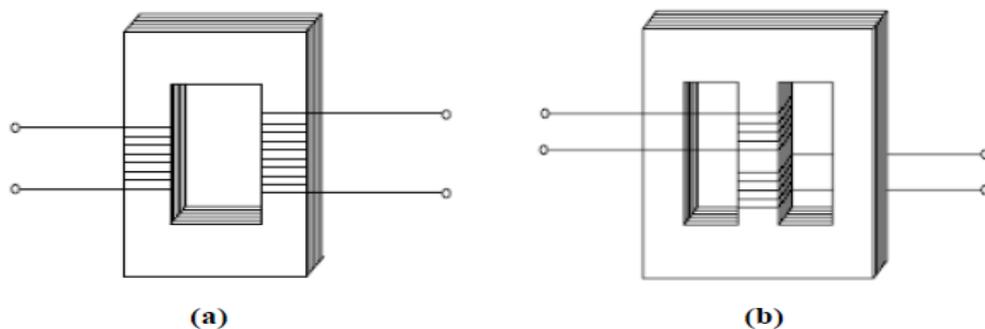
siang 99,43% dan saat beban terendah malam 99,42%. Adapun untuk transformator 2 saat beban tertinggi siang 99,41% dan saat beban tertinggi malam 99,41%, sedangkan saat beban terendah siang 99,37% dan saat terendah malam 99,41%. ( Yohanes, 2014 )

## **2.2. Landasan Teori**

Transformator merupakan suatu alat magnetoelektrik yang sederhana, andal, dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak – balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar “ kaki “ inti transformator. Secara umum dapat dibedakan dua jenis transformator menurut konstruksinya, yaitu tipe inti, dan tipe cangkang. Pada tipe inti terdapat dua kaki, dan masing – masing kaki dibelit oleh satu kumparan. Sedangkan tipe cangkang mempunyai tiga buah kaki, dan hanya kaki yang di tengah – tengah dibelit oleh kedua kumparan. Lihat gambar 2.1 kedua kumparan saling bergabung secara magnetik melalui inti. Kumparan – kumparan itu tidak bergabung secara elektrik. Bagian datar dari inti dinamakan pemikul.

Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal itu merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak – balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian energi sebesar  $I^2R$  wattdetik. Kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikan. Dengan demikian maka saluran – saluran transmisi

tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi. Tegangan transmisi yang tertinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV, atau kilovolt, yaitu sama dengan 500.000 volt. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi. Dan menaikkan tegangan listrik di pusat listrik dari tegangan generator yang biasanya berkisar antara 6 kV sampai 20 kV pada awal saluran transmisi, kemudian menurunkannya lagi pada ujung akhir saluran ke tegangan yang lebih rendah, yang dilakukan dengan transformator.



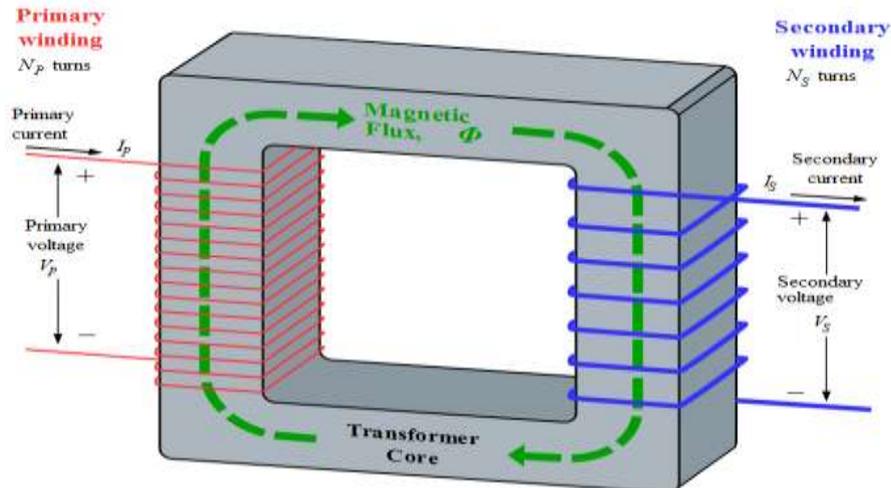
**Gambar 2.1** Dua tipe inti transformator (a) tipe inti (b) tipe cangkang

Transformator yang di pakai pada jaringan tenaga listrik merupakan transformator tenaga. Di samping itu ada jenis – jenis transformator lain yang banyak dipergunakan, dan yang pada umumnya merupakan transformator yang jauh lebih kecil. Misalnya transformator yang dipakai di rumah tangga untuk menyesuaikan tegangan dari lemari es dengan yang dari jaringan umum, atau transformator yang lebih kecil, yang dipakai pada lampu TL, atau lebih kecil lagi “ mini “ yang dipergunakan pada berbagai alat elektronik, seperti pesawat penerima radio, televisi, dan sebagainya.

### 2.3. Bagian – Bagian Transformator

Transformator merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC60076 -1 tahun 2011). Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum – hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.

Arus AC yang mengalir pada belitan primer membangkitkan flux magnet yang mengalir melalui inti besi yang terdapat diantara dua belitan, flux magnet tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial / tegangan induksi (Gambar 2.2).



**Gambar 2.2** Elektromagnetik Pada Transformator

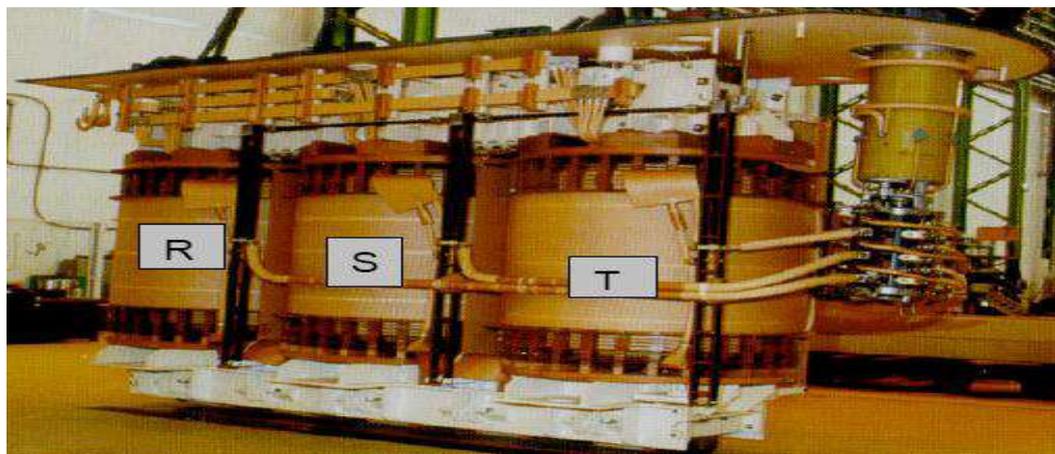
Bagian – bagian utama pada transformator adalah sebagai berikut :



*Gambar 2.3* Gambar Bagian – Bagian Utama Transformator

### 2.3.1. Kumparan Transformator

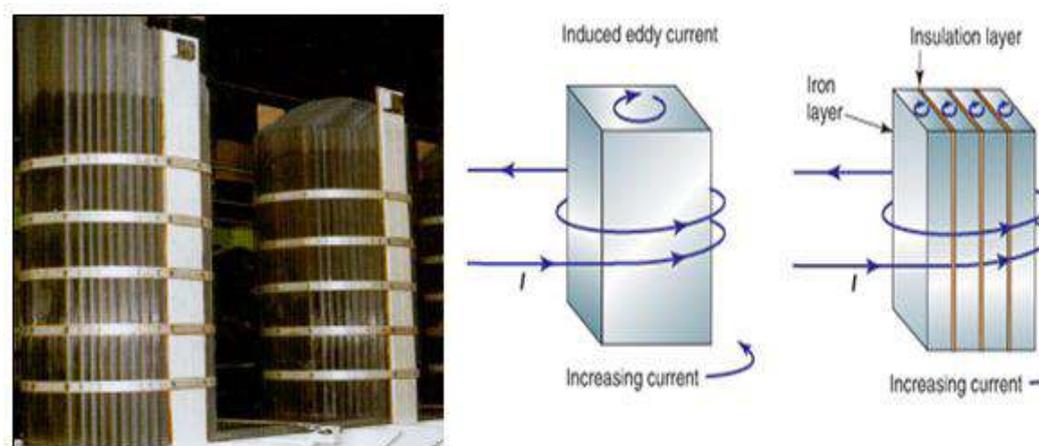
Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.



*Gambar 2.4* Belitan Transformator

### 2.3.2. Inti Besi

Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi dengan maksud untuk mengurangi eddy current yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi – rugi (losses).



*Gambar 2.5* Inti Besi

### 2.3.3. Bushing

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body main tank trafo.



**Gambar 2.6** Bushing

Secara garis besar bushing dapat di bagi dalam empat bagian utama yaitu :

1. Isolasi

Berdasarkan media isolasi bushing terbagi menjadi 2 (IEC 60137 tahun 2008) yaitu :

a. Bushing Kondenser

Bushing kondenser umumnya dipakai pada tegangan rating bushing 72,5 kV ke atas. Bushing kondenser terdapat tiga jenis media isolasi (IEC 60137 tahun 2008) yaitu:

- Resin Bonded Paper (RBP)

Bushing tipe RBP adalah teknologi bushing kondenser yang pertama dan sudah mulai ditinggalkan.

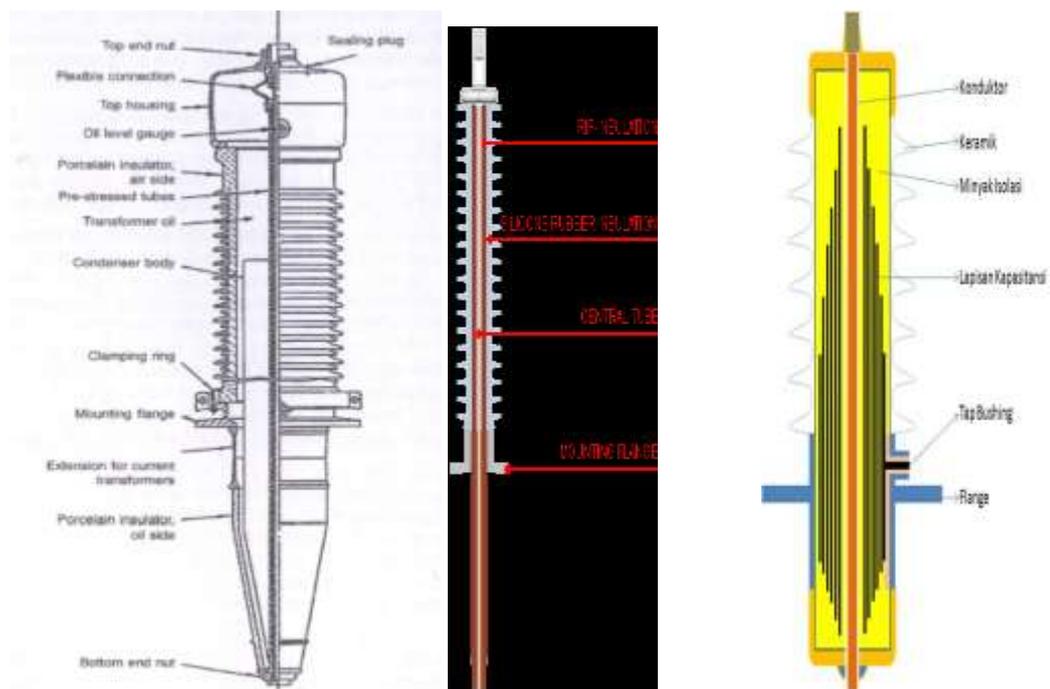
- Oil Impregnated Paper (OIP)

Pada tipe OIP isolasi yang digunakan adalah kertas dan minyak yang merendam kertas isolasi.

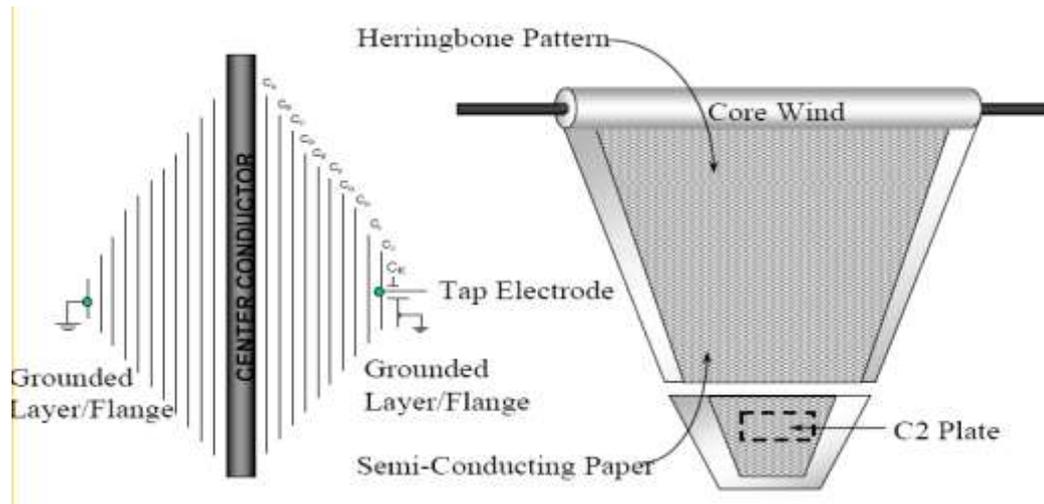
- Resin Impregnated Paper (RIP)

Pada tipe RIP isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.

Di dalam bushing kondenser terdapat banyak lapisan kapasitansi yang disusun secara seri sebagai pembagi tegangan. Pada bushing terdapat dua kapasitansi utama yang biasa disebut C1 dan C2. C1 adalah kapasitansi antara konduktor dengan tap bushing, dan C2 adalah kapasitansi dari tap bushing ke ground (flange bushing). Dalam kondisi operasi tap bushing dihubungkan ke ground, sehingga C2 tidak ada nilainya ketika bushing operasi.



**Gambar 2.7** Bagian – Bagian Bushing.  
konduktor, keramik, minyak, lapisan kapasitansi, tap bushing, flange.



**Gambar 2.8** Kertas Isolasi Bushing

b. Bushing Non-kondenser

Bushing non kondenser umumnya digunakan pada tegangan rating 72,5 kV ke bawah. Media isolasi utama bushing non-kondenser adalah isolasi padat seperti porcelain atau keramik.

2. Konduktor

Terdapat jenis – jenis konduktor pada bushing yaitu hollow conductor dimana terdapat besi pengikat atau penegang di tengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan flexible lead.

3. Klem Koneksi

Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara stud bushing dengan konduktor penghantar di luar bushing.

4. Asesoris

Asesoris bushing terdiri dari indikasi minyak, seal atau gasket dan tap pengujian. Seal atau gasket pada bushing terletak di bagian bawah mounting flange.

#### 2.3.4. Tangki

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu.



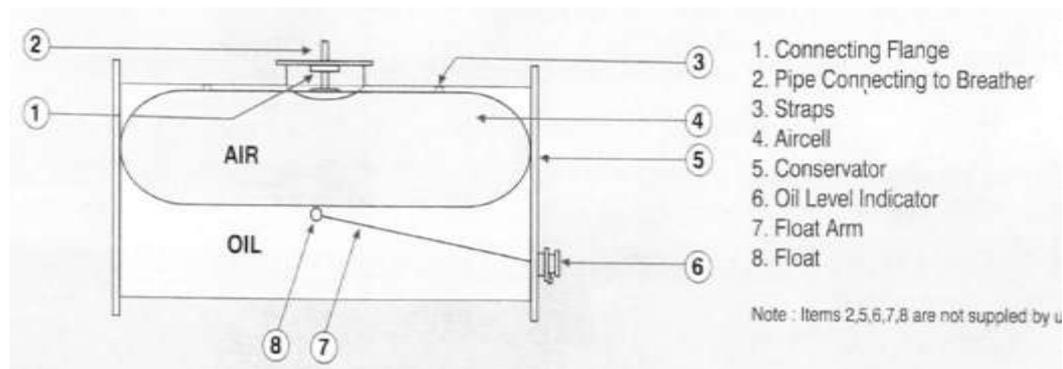
**Gambar 2.9** Konservator

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar (untuk tipe konservator tanpa rubber bag), maka udara yang akan masuk ke dalam konservator akan difilter melalui silicagel sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan.



**Gambar 2.10** Silica Gel

Untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan breather bag/ rubber bag, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator.



**Gambar 2.11** Konstruksi Konservator Dengan Rubber Bag.

Connecting flange (1), pipe connecting to breather (2), straps (3), aircell (4), conservator (5), oil level indikator (6), float arm (7), float (8).

Silicagel sendiri memiliki batasan kemampuan untuk menyerap kandungan uap air sehingga pada periode tertentu silicagel tersebut harus dipanaskan bahkan perlu dilakukan penggantian. *Dehydrating Breather* merupakan teknologi yang berfungsi untuk mempermudah pemeliharaan silicagel, dimana terdapat pemanasan otomatis ketika silicagel mencapai kejenuhan tertentu.



*Gambar 2.12* Dehydrating Breather

### **2.3.5. Minyak Transformator**

Minyak isolasi pada trafo 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, napthanik dan aromatik. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.



**Gambar 2.13** Minyak Transformator

### **2.3.6. Tap Changer**

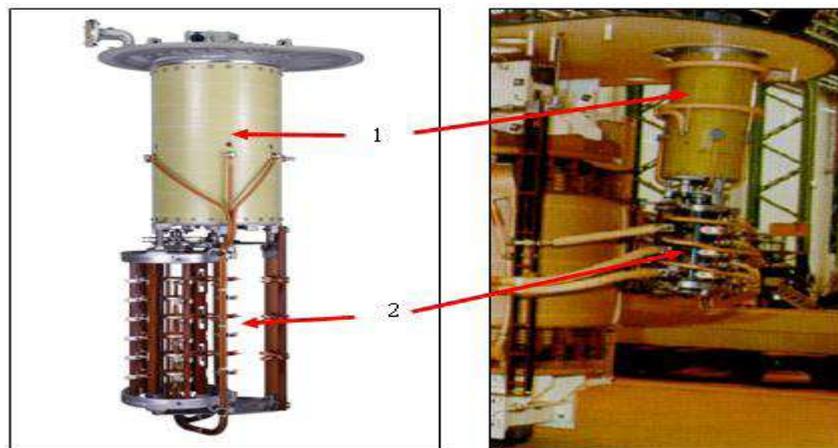
Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Trafo dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan sehingga dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/ sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/ primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut Tap changer. Proses perubahan ratio belitan ini dapat dilakukan pada saat trafo sedang berbeban (*On load tap changer*) atau saat trafo tidak berbeban (*Off Circuit tap changer/ De Energize Tap Charger*).

Tap changer terdiri dari:

- Selector Switch
- Diverter Switch
- Tahanan transisi

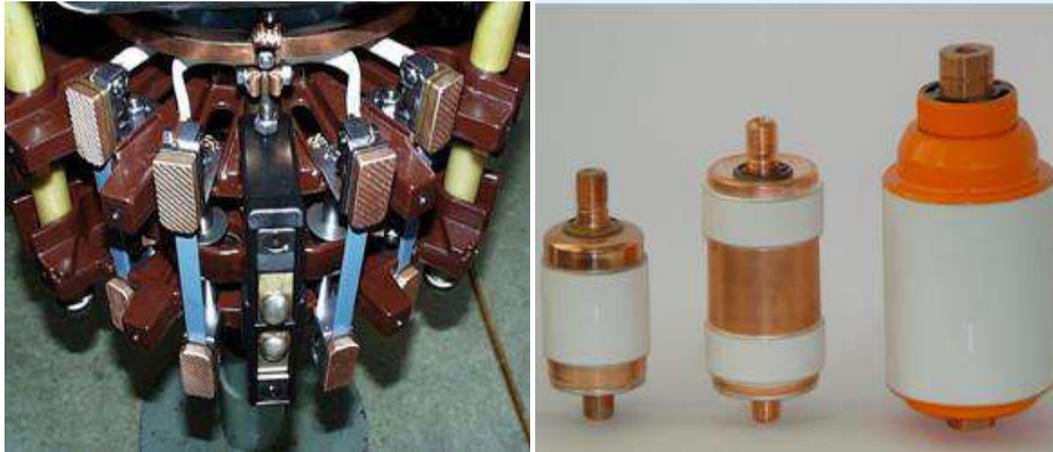
Dikarenakan aktifitas tap changer lebih dinamis dibanding dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan tap changer dipisah. Selector switch merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal terminal untuk menentukan posisi tap atau ratio belitan primer. Diverter switch merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi.

Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap.



**Gambar 2.14** Diverter Switch (1) Selektor Switch (2)

Media pendingin atau pemadam proses switching pada diverter switch yang dikenal sampai saat ini terdiri dari dua jenis, yaitu media minyak dan media vacuum. Jenis pemadaman dengan media minyak akan menghasilkan energi arcing yang membuat minyak terurai menjadi gas  $C_2H_2$  dan karbon sehingga perlu dilakukan penggantian minyak pada periode tertentu. Sedangkan dengan metoda pemadam vacuum proses pemadaman arcing pada waktu switching akan dilokalisir dan tidak merusak minyak.



(a)

(b)

**Gambar 2.15** Kontak Switching Pada Diverter Dengan Media Pemadaman Minyak (a) Kontak Switching Pada Diverter Dengan Media Pemadaman Vaccum (b).

### 2.3.7. Sistem Pendingin Transformator

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.

Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip – sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

**Tabel 2.1** Macam – macam pendingin pada trafo

NO	Macam Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Trafo		Luar Trafo	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	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			

**Gambar 2.16** Radiator

### 2.3.8. Isolasi Belitan Transformator

Isolasi belitan merupakan tempat terlemah, jika dibandingkan dengan bagian- bagian lainnya. Bahan isolasi akan berubah sifat karena kenaikan temperatur. Maka dengan itu bahan-bahan isolasi yang dipergunakan untuk mengisolasi belitan memenuhi persyaratan:

- Kekuatan mekanis yang baik
- Kekuatan dielektrik yang tinggi
- Tidak larut dalam minyak transformator

**Tabel 2.2** Standar Temperature Rise Pada Klas Isolasi

Klas Isolasi	Standar IEC (°C)
A	60
E	75
B	80
F	100
H	125

### 2.3.9. Peralatan Proteksi

Proteksi atau pengaman sebuah transformator terhadap akibat gangguan yang terjadi pada transformator itu sendiri atau pada bagian lain dari sistem tenaga listrik bersangkutan, secara umum dapat di golongan menjadi dua kelompok jenis pengaman, yaitu :

- Pengaman obyek, yaitu proteksi transformator maupun sistem terhadap gangguan yang terjadi di dalam transformator itu sendiri, dan
- Pengaman sistem, yaitu proteksi transformator terhadap gangguan yang terjadi dalam sistem listrik itu di luar transformator.

Gangguan – gangguan yang terjadi misalnya berupa :

- Terjadinya arus lebih karena arus hubung singkat atau beban lebih,
- Terjadinya hubungan tanah,
- Terjadinya gangguan di dalam transformator,
- Terjadinya gangguan disebabkan petir.

Sebuah transformator distribusi dengan daya yang relatif kecil biasanya mendapatkan pengamanan yang sederhana terhadap arus lebih atau arus hubung singkat dengan sekring saja. Proteksi yang lebih lengkap akan menjadi terlampaui mahal untuk daya terpasang yang tidak begitu besar ini. Sebaliknya transformator – transformator daya yang besar – besar pada umumnya dilengkapi dengan berbagai jenis pengamanan untuk melindungi terhadap gangguan – gangguan yang dapat terjadi pada transformator itu sendiri maupun bagian lain dari sistem tenaga listrik.

- Proteksi Transformator Distribusi

Berdasarkan peralatan proteksinya transformator distribusi yang terpasang di tiang dapat di kategorikan menjadi tiga :

- Conventional Transformers

Conventional transformers tidak memiliki peralatan proteksi terintegrasi terhadap petir, gangguan dan beban lebih sebagai bagian dari trafo itu. Oleh karena itu dibutuhkan fuse cut out untuk menghubungkan conventional transformers dengan jaringan

distribusi primer. lightning arrester juga perlu di tambahkan untuk trafo jenis ini.



*Gambar 2.17* Conventional Transformers

- Completely Self-Protecting (csp) Transformers

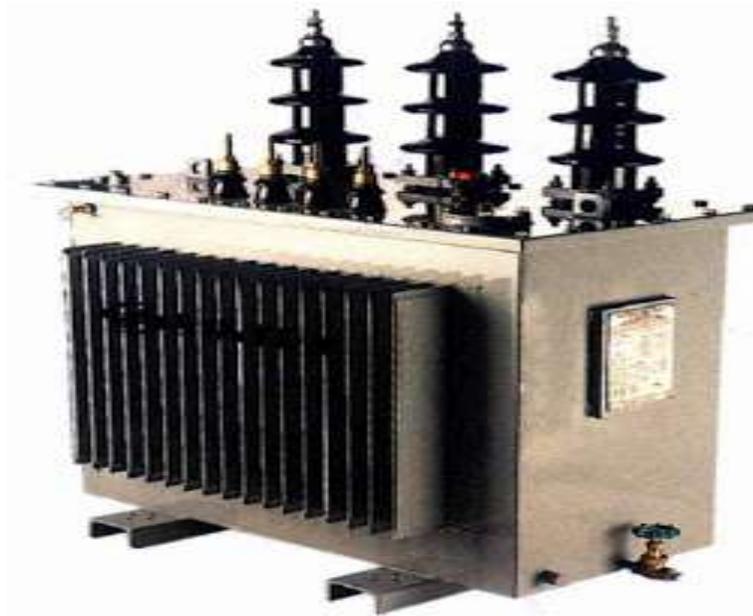
Completely self protecting (csp) transformers memiliki peralatan proteksi terintegrasi terhadap petir, beban lebih, dan hubung singkat. Lightning arrester terpasang langsung pada tangki trafo sebagai proteksi terhadap petir. Untuk proteksi terhadap beban lebih, digunakan fuse yang dipasang di dalam tangki ( fuse ini disebut dengan weak link). Proteksi trafo terhadap gangguan internal menggunakan hubungan proteksi internal yang terpasang antara belitan primer dengan bushing primer.



**Gambar 2.18** Completely Self-Protecting (csp) Transformers

- Completely Self-Protecting for Secondary Banking (cspb) Transformers

Completely self-protecting for secondary banking (cspb) transformers mirip dengan completely self protecting (csp) transformers, tetapi pada trafo jenis ini terdapat sebuah circuit breaker pada sisi sekunder, circuit breaker ini akan membuka sebelum weak link (fuse) melebur.



**Gambar 2.19** Completely Self-Protecting for Secondary Banking (cspb) Transformers

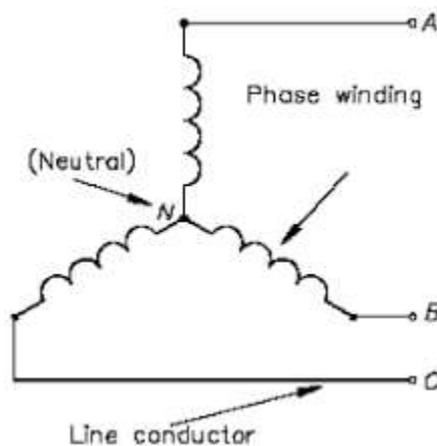
#### **2.4. Hubungan Belitan Transformator**

Didalam Pelaksanaannya, tiga buah lilitan fasa pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam – macam hubungan, seperti bintang dan segitiga (delta), dengan kombinasi Y-Y, Y- $\Delta$ ,  $\Delta$ -Y,  $\Delta$ - $\Delta$ , bahkan untuk kasus tertentu lilitan sekunder dapat di hubungkan secara berliku – liku (zig-zag), sehingga didapatkan kombinasi  $\Delta$ -Z dan Y-Z.

Hubungan zig – zag merupakan sambungan bintang “istimewa”, hubungan ini untuk mengantisipasi kejadian yang mungkin terjadi apabila dihubungkan secara bintang dengan beban setiap fasanya tidak seimbang.

### 2.4.1. Hubungan Bintang

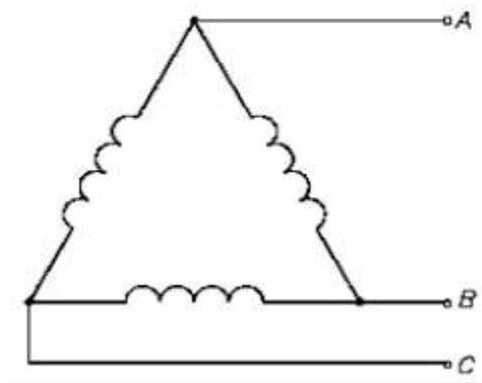
Pada hubungan bintang tiga ujung bersamaan dari ketiga kumparan dihubungkan pada apa yang dinamakan titik bintang. Simbol untuk sisi tegangan tingginya adalah Y (dengan huruf kapital), dan y untuk sisi tegangan rendahnya dengan huruf kecil.



**Gambar 2.20** Kumparan hubungan bintang

### 2.4.2. Hubungan Delta

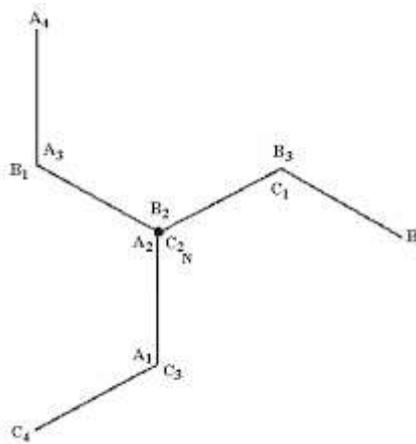
Dalam hubungan delta (segitiga) tiap ujung kumparan disambung pada ujung yang berlainan kumparan berikutnya, sehingga terbentuk semacam segitiga. Simbol untuk hubungan ini adalah D untuk sisi tegangan tinggi, dan d untuk sisi tegangan rendah transformator.



**Gambar 2.21** Kumparan Hubungan Delta

### 2.4.3. Hubungan Zig – zag

Hubungan ini adalah hubungan yang khusus. Simbol untuk hubungan ini adalah Z untuk sisi tegangan tinggi dan z untuk sisi tegangan rendah.



**Gambar 2.22** Kumparan Hubungan Zigzag

**2.5. Rangkaian Transformator Dengan Beban**

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ , maka  $I_2$  akan mengalir pada kumparan sekunder, dimana :

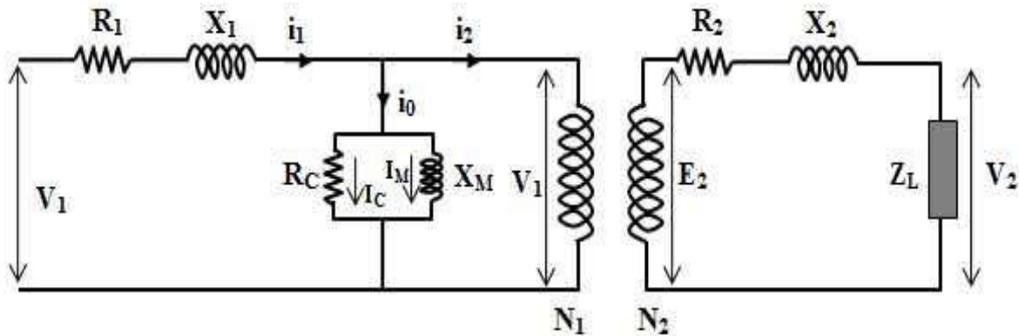
$$I_2 = \frac{V_2}{Z_L} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :  $I_2$ = arus sekunder (ampere)

$V_2$  = tegangan sekunder (volt)

$Z_L$ = beban (ohm)

dengan  $\Theta_2$ = faktor kerja beban.



**Gambar 2.23** Keadaan Transformator berbeban

Arus beban  $I_2$  ini menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2I_2$  yang cenderung menentang fluks bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan  $I_M$ . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus  $I'_2$ , yang menentang arus yang dibangkitkan oleh beban  $I_2$ , sehingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I'_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Bila komponen arus rugi inti ( $I_c$ ) diabaikan, maka  $I_0 = I_m$ , sehingga :

$$I_1 = I_m + I'_2$$

Dimana :  $I_1$  = arus pada sisi primer (ampere)

$I'_2$  = arus yang menghasilkan  $\phi'_2$  (ampere)

$I_0$  = arus penguat (ampere)

$I_m$  = arus pemagnetan (ampere)

$I_c$  = arus rugi-rugi tembaga (ampere).

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah, sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_m$  saja, berlaku hubungan :

$$N_1 I_m = N_1 I_1 - N_2 I_2$$

$$N_1 I_m = N_1 (I_m - I_2') - N_2 I_2$$

hingga  $N_1 I_2 = N_2 I_2$

Karena nilai  $I_m$  dianggap kecil, maka  $I_2' = I_1$ .

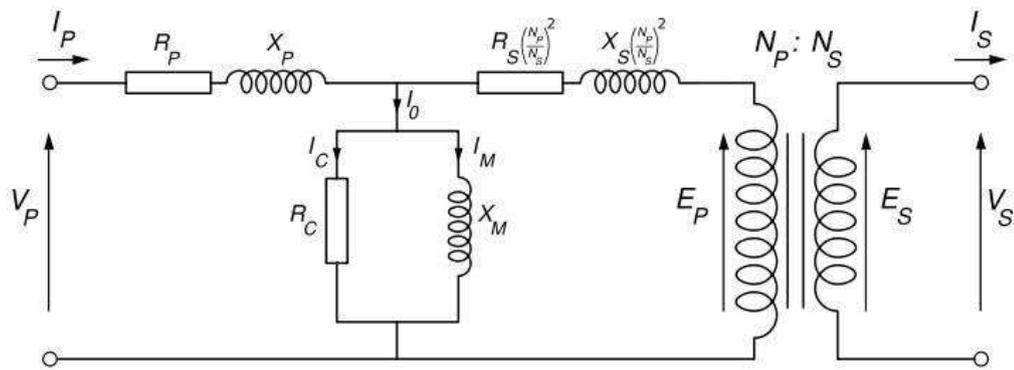
Jadi,  $N_1 I_1 = N_2 I_2$

atau :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{\alpha} \dots \dots \dots (2.3)$$

## 2.6. Rangkaian Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  sinusoidal, akan mengalirkan arus primer  $I_0$  yang juga sinusoidal dan dengan menganggap belitan  $N_1$  reaktif murni.  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$ . Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks ( $\Phi$ ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoid.



**Gambar 2.24** Keadaan Transformator Tanpa berbeban

Keterangan :

- $N_1$  = Jumlah lilitan sisi primer
- $N_2$  = Jumlah lilitan sisi skunder
- $V_1$  = Tegangan input
- $I_0$  = Arus sisi primer
- $E_1$  = Gaya gerak listrik sisi primer (efektif )
- $E_2$  = Gaya gerak listrik sisi skunder
- $\Phi$  = Fluks magnet

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t \text{ (weber) } \dots\dots\dots(2.4)$$

Fluks yang sinusoidal ini akan menghasilkan tegangan induksi  $e_1$  ( Hukum Faraday).

$$e_1 = - N_1 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$e_1 = - N_1 \frac{d(\Phi_{\max} \sin \omega t)}{dt}$$

$$N_1 \omega \Phi_{\max} \cos \omega t \text{ (volt) (tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi) \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :	$e_1$	= gaya gerak listrik (volt)
	$N_1$	= jumlah belitan di sisi primer (turn)
	$\omega$	= kecepatan sudut putar (rad/sec)
	$\Phi$	= fluks magnetik (weber)

Harga efektif :

$$e_1 = \frac{N_1 \omega \Phi_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$e_1 = \frac{N_1 2\pi f \Phi_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$e_1 = \frac{N_1 2 \times 3,14 f \Phi_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$e_1 = 4,44$$

$$N_1 \Phi_{max} \text{ (Volt)} \dots \dots \dots (2.7)$$

Pada rangkaian sekunder, fluks ( $\Phi$ ) bersama tadi menimbulkan :

$$e_2 = - N_2 \frac{d\Phi}{dt} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$e_2 = N_2 \omega \Phi_{max} \cos \omega t \text{ (volt)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Harga efektifnya :

$$e_2 = 4,44 N_2 \omega f \Phi_{max} \text{ (Volt)} \dots \dots \dots (2.10)$$

Bila rugi tahanan dan adanya fluks bocor diabaikan, maka akan terdapat

hubungan :

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

$e_1$	= ggl induksi disisi primer (Volt)
$e_2$	= ggl induksi disisi sekunder (Volt)
$V_1$	= tegangan terminal disisi primer (Volt)
$V_2$	= tegangan terminal disisi sekunder (Volt)
$N_1$	= Jumlah lilitan disisi primer (turn)
$N_2$	= Jumlah lilitan disisi sekunder (turn)
$a$	= Faktor transformasi

## 2.7. Temperatur Transformator

Standar suhu belitan transformator menurut standar IEC dijelaskan bahwa pada suhu titik-panas belitan sebesar 98°C (110°C Standar IEEE).

Penentuan suhu belitan pada umumnya ditentukan dengan melakukan pengukuran tahanan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

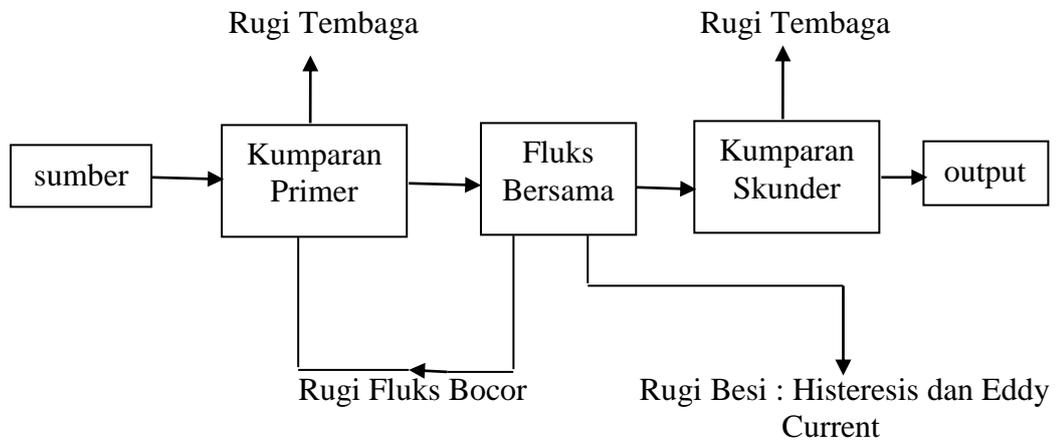
$$\theta = \frac{R_2}{R_1} (234,5 + t_1) - (234,5 + t_2) \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

$\theta$	: Suhu rata – rata belitan (°C)
$t_1$	: Suhu belitan dalam keadaan dingin (°C)
$t_2$	: Suhu minyak transformator (°C)
$R_1$	: Tahanan belitan daalam keadaan dingin (ohm)
$R_2$	: Tahanan belitan dalam keadaan panas (ohm)

## 2.8. Rugi – Rugi Transformator

Berikut merupakan blok diagram rugi – rugi pada transformator :



### 2.8.1. Rugi Besi ( $P_i$ )

Rugi besi terdiri atas, rugi histeresis dan rugi eddy current. Rugi histeresis, yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak – balik pada inti besi, yang di nyatakan sebagai berikut :

$$P_h = K_h f B_{maks}^{1.6} \text{ (watt) } \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

$K_h$  : Konstanta

$B_{maks}$  : fluks maksimum (weber)

$f$  : frekuensi (Hz)

Sedangkan rugi eddy current yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi. dirumuskan sebagai berikut :

$$P_e = K_e f^2 B_{maks}^2 \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

$K_e$  : Konstanta

$B_{maks}$  : fluks maksimum (weber)

$f$  : frekuensi (Hz)

Jadi, rugi besi (rugi inti) adalah :

$$P_i = P_h + P_e$$

### 2.8.2. Rugi Tembaga ( $P_{cu}$ )

Rugi tembaga adalah rugi yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada kawat tembaga, dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{cu} = I^2 R \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

$I$  : Arus (ampere)

$R$  : Resistansi (ohm)

Karena arus beban berubah – ubah, rugi tembaga juga tidak konstan bergantung pada beban.

## 2.9. Efisiensi Transformator

Untuk menentukan rugi – rugi daya saat transformator diberi beban maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{\text{loss}} = \left( \frac{S}{S_r} \right)^2 \times (P_t) \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

$P_{\text{loss}}$  : Rugi daya pada trafo (Watt)

$S$  : Beban Trafo (VA)

$S_r$  : Kapasitas Trafo (VA)

$P_t$  : Total rugi – rugi (rugi tembaga dan rugi inti) (Watt)

Penentuan rendemen dapat di lakukan dengan dua cara yaitu cara tidak langsung dan cara langsung.

- Cara tidak langsung

Rumus umum untuk rendemen ini berbunyi sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P}{P+P_r} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

$P$  : Daya yang dihasilkan oleh transformator (VA)

$P_r$  : Kerugian – kerugian transformator ( rugi tembaga dan rugi inti) (Watt)

- Cara langsung

Penentuan rendemen dengan cara langsung adalah dengan memberikan beban nominal pada transformator, kemudian mengukur beban padaq sisi primer, dan juga beban pada sisi skunder, lalu menentukan besar rendemen dengan mempergunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_k}{P_m} \times 100\% \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

$P_k$  : daya yang dikeluarkan pada sisi skunder (Watt)

$P_m$  : daya yang dimasukkan pada sisi primer (VA)

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat Penelitian**

Metode yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah metode pengumpulan data dan pengolahan data. Metode pengumpulan data dilakukan di PT. Dow AgroSciences Indonesia, Jl. Sisingamangaraja Km 9,5 Medan Sumatera - Indonesia, mulai dari tanggal 20 November 2020 sampai dengan 27 November 2020. data yang dikumpulkan adalah data transformator distribusi di PT. Dow AgroSciences Indonesia. Metode pengolahan data dilakukan secara perhitungan manual.

#### **3.2. Peralatan Percobaan**

Dalam melakukan pengujian / percobaan ini digunakan peralatan - peralatan yang tersedia di Departemen Quality Control PT. Dow AgroSciences Indonesia, Jl. Sisingamangaraja Km 9,5 Medan Sumatera. Peralatan-peralatan tersebut adalah :

- Transformator Iv<sub>r</sub> ( Induktion Voltage Regulator)

Alat ini berfungsi untuk mengatur tegangan pada test karakteristik transformator.



**Gambar 3.1** Induction voltage regulator

➤ Digital Power Analyzer

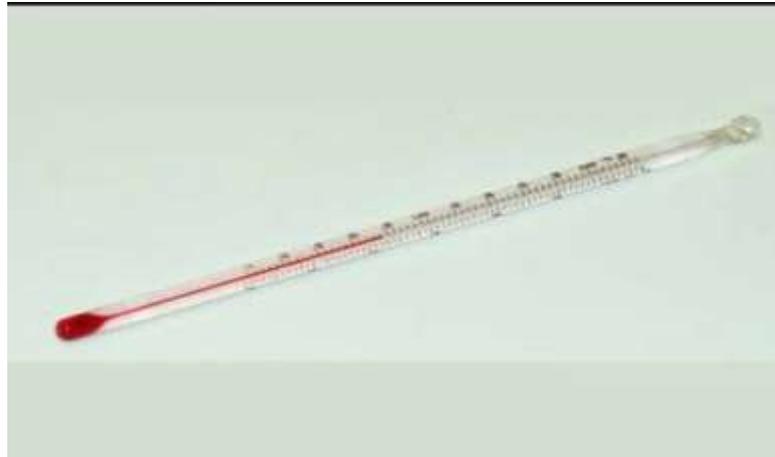
Alat ini berfungsi sebagai alat ukur tegangan, arus, daya, dan frekuensi test, dan dapat menampilkannya dalam bentuk digital.



**Gambar 3.2** Power Analyzer

➤ Termometer

Alat ini berfungsi untuk mengukur suhu.



*Gambar 3.3* Termometer

➤ Transformer Winding Resistance Meter

Alat ini digunakan untuk mengukur resistansi lilitan transformator, alat ini dapat mengukur resistansi secara akurat dengan range dari satu mikro ohm sampai ratusan ohm.



*Gambar 3.4* Winding Resistance Meter

➤ Kabel Penghubung

Sebagai penghubung antar peralatan dan transformator.



*Gambar 3.5* Kabel Penghubung

➤ Kopel Plat Tembaga

Sebagai penghubung antar terminal sekunder.



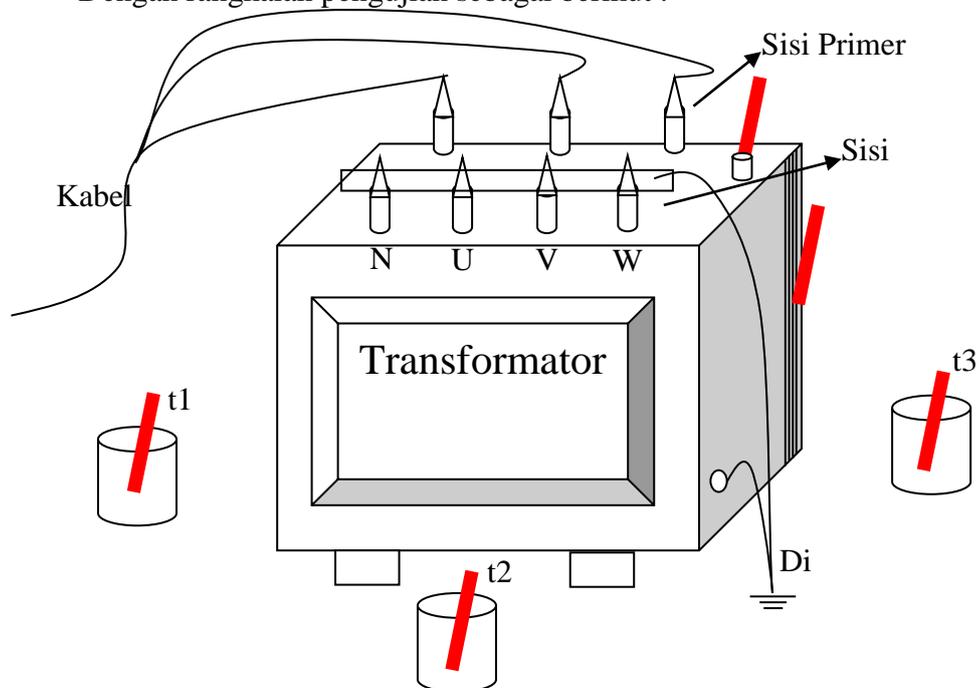
*Gambar 3.6* Plat Tembaga

### 3.3. Pengujian Temperature Rise

Objek pengujian yang digunakan dalam percobaan ini adalah transformator distribusi. Transformator yang diuji dalam percobaan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Trafo 3 phasa
- Kapasitas 250 kVA
- Rated tegangan 20.000 Volt / 400 Volt
- Frekuensi 50 Hz
- Arus Nominal : 7,22 Amp
- Belitan Teg.Tinggi (HV) = 20 kV  $\pm$  2 x 5% ; Teg.Rendah (LV) = 231 / 400V
- Hubungan : Dyn 5

Dengan rangkaian pengujian sebagai berikut :



**Gambar 3.7** Rangkaian Pengujian

Prosedur pengujian temperature rise adalah sebagai berikut :

1. Rangkaian dibuat seperti gambar.
2. Siapkan thermometer sebagai alat untuk mengukur temperatur minyak dan temperatur sirip radiator.
3. Pengujian beban nol, untuk mengetahui rugi – rugi inti.
4. Pengujian berbeban, untuk mengetahui rugi – rugi tembaga.
5. Ukur tahanan kumparan primer dan sekunder sebelum dibebani.
6. Sisi primer atau tegangan rendah dihubung singkat dengan kopel tembaga.
7. Tegangan pada sisi primer atau tegangan tinggi dihubungkan, secara perlahan – lahan tegangan dinaikan sampai arus hubung singkat mencapai nominal.
8. Suplay rangkaian sampai dengan total rugi – rugi.
9. Kondisi langkah 7 dipertahankan sampai suhu trafo jenuh (untuk mengetahui suhu trafo jenuh, kenaikan suhu minyak tidak berubah minimal 1°).
10. Setelah transformator jenuh, diturunkan sesuai arus nominalnya (sesuai dengan trafo yang diuji). Dan dipertahankan selama 1 jam.
11. Catat suhu minyak, suhu ruang, suhu dinding radiator.
12. Lakukan percobaan 1- 10 untuk mendapatkan hasil paling akurat. Dalam pengujian ini dilakukan selama  $\pm 10$  jam.
13. Mengukur tahanan primer dan sekunder dengan transformer winding resistance meter.
14. Catat tahanan primer dan sekunder dengan penurunan waktu setiap  $\frac{1}{2}$  menit atau 30 detik.

### 3.4. Data Percobaan

Data yang diambil dalam penyelesaian tugas akhir ini menggunakan data – data yang di peroleh dari PT. Dow AgroSciences Indonesia, adapun data – data pengujiannya adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Data Pengujian Temperature Rise

Kapasitas Transformator : 250 KVA											
Tegangan Primer / Skunder : 20 KV					231/400 Volt						
Arus Primer/Skunder : 7,22 A					360,8 A						
Hubungan Belitan : Dyn 5											
Cos $\phi$ : 0,9											
Rugi Inti : 432 W											
Rugi Tembaga : 2270 W											
Kenaikan Temperature : - Minyak : 50°C											
- Belitan : 55°C											
Sistem Pendingin : ONAN											
Waktu Penguji an (jam)	Temperature						Ave amb lent (°C)	Top oil rise (°C)	Arus (A)	Tega ngan (V)	K input (Watt)
	Top Oil (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	Radiator						
					Top (°C)	Bott Om (°C)					
19.00	30	29	29	29	29,1	28			8,5	890	
22.00	48,5	28	28	28	37	32,5			8,1	820	
23.00	51,5	28	28	28	38,5	33			8,1	820	
24.00	52	28	28	28	40	34			8,1	820	

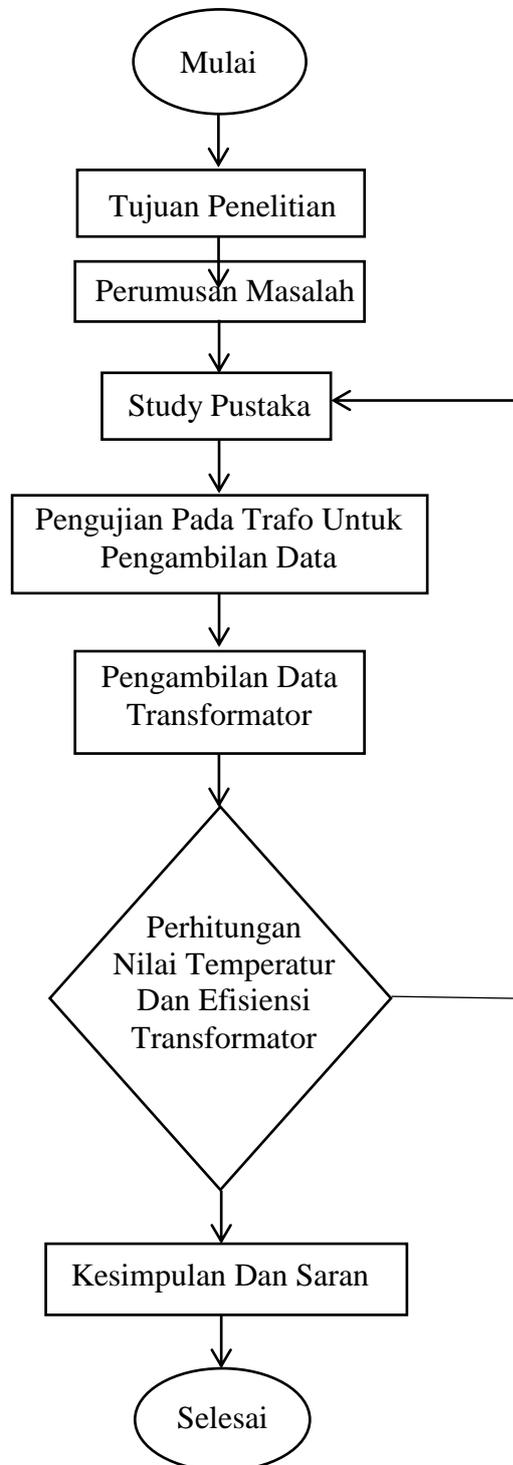
01.00	52,5	27,5	27,5	27,5	41	34,5					
02.00	53	27	27	27	42	35			8,1	820	
03.00	54	27	27	27	41,5	35					
04.00	55	27	27	27	42	35,5			8,1	820	
05.00	56	27	27	27	42	35					
06.00	55,5	26	26,5	26,5	42	35					
07.00	56	26	26	26,5	41	35,5			8,1	820	
08.00	56	27	27	27,5	41	34	27,2	28,8	8,1	820	
09.00	56	28	28	28	41	34	28	28	8,1	830	
10.00	57	29	29,5	29	42	35	29,2	27,8			
10.30	57,5	29,5	30	30	43	36	29,8	27,7			
Memasukan nilai arus nominal											
11.30	56,5	30,5	31	31	43	36			7,22	750	2280
Selesai											

**Tabel 3.2** Data Resistance

Primer		Skunder	
Tahanan (ohm)	Waktu	Tahanan (ohm)	Waktu
16,741	2 min	0,0037873	2 min
16,702	3 min	0,0037794	3 min
16,662	4 min	0,0037732	4 min
16,625	5 min	0,0037663	5 min
16,591	6 min	0,0037600	6 min
16,560	7 min	0,0037545	7 min
16,534	8 min	0,0037495	8 min
16,506	9 min	0,0037448	9 min
16,482	10 min	0,0037400	10 min
16,459	11 min	0,0037355	11 min
16,438	12 min	0,0037325	12 min
16,416	13 min	0,0037292	13 min
	14 min		14 min
	15 min		15 min
	16 min		16 min

### 3.4. Flowchart Penelitian

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis akan menganalisis pengaruh pembebanan transformator terhadap temperature belitan dan efisiensi pada transformator tersebut. Untuk mengetahui berapa besar temperature rata - rata pada belitan primer dan sekunder pada beban nominal. Serta untuk mengetahui besar efisiensi transformator tersebut pada beban nominal.

#### 4.1. Analisis Pengujian Beban Nol Dan Berbeban

Pada pengujian beban nol di masukan tegangan sebesar 400 volt sebagai tegangan masukan dalam pengujian beban nol tersebut, sehingga dapat terukur rugi beban nol dengan alat ukur yang bernama digital power analyzer sebesar 0,432 Kw atau 432 watt.

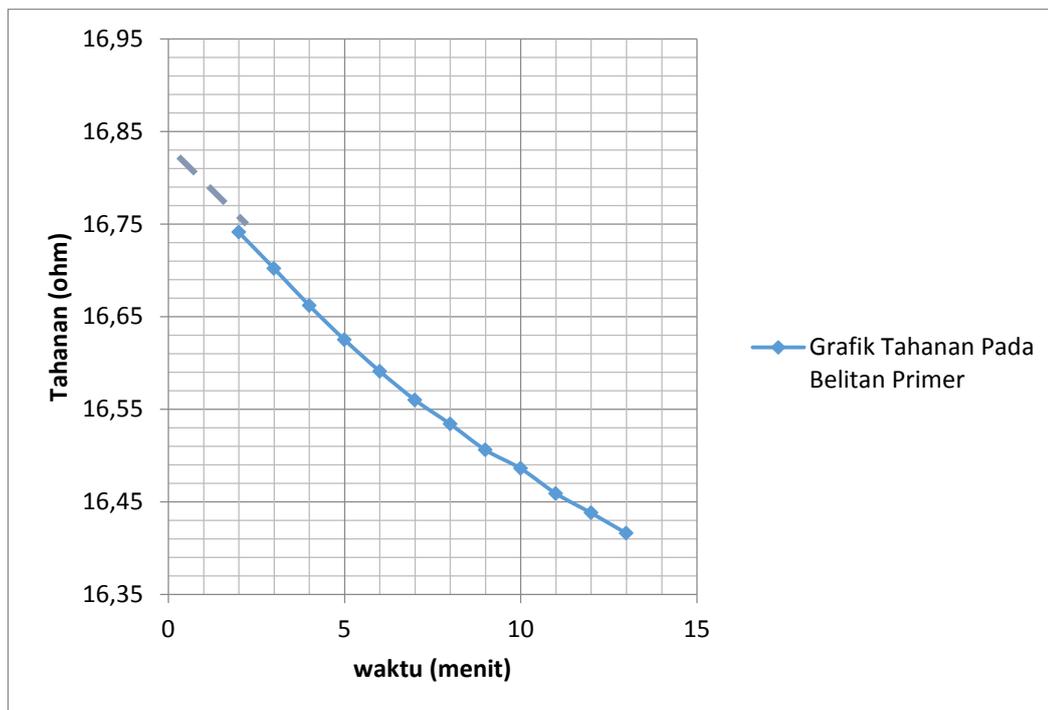
Pada pengujian berbeban yang di masukkan ke trafo sebagai input adalah arus yang besarnya sudah ditetapkan oleh PLN sebesar 7,22 A, sehingga dapat terukur rugi berbeban dengan alat ukur digital power analyzer sebesar 1940 watt pada suhu 30°C. Namun pada standart PLN rugi berbeban harus pada suhu 75°C, sehingga dapat di analisis besar rugi berbeban pada suhu 75°C sebagai berikut :

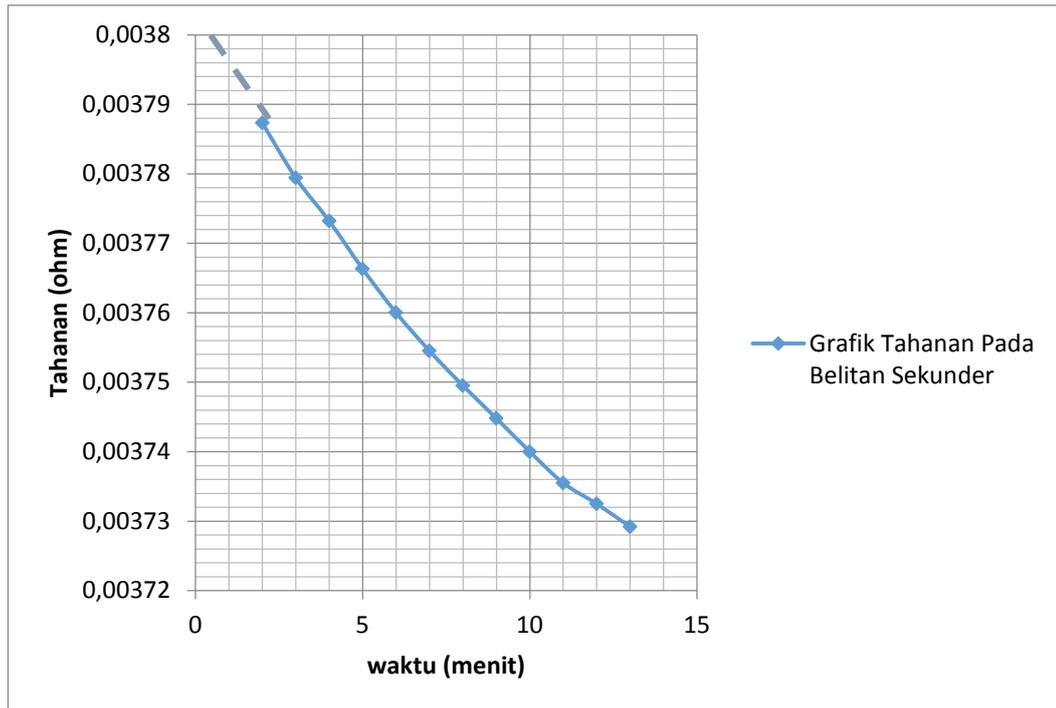
$$\begin{aligned} P_{cu2} &= \frac{234,5+t2}{234,5+t1} \times P_{cu1} \\ &= \frac{234,5+75}{234,5+30} \times 1940 \\ &= 2270 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dari pengujian dan analisis diatas di dapatlah total rugi – rugi pada trafo tersebut sebesar 2702 watt.

#### 4.2. Grafik Penelitian

Berdasarkan data tahanan pada tabel 3.2 maka dibuatlah grafik untuk mengetahui besar  $R_2$  ( tahanan panas) pada transformator tersebut, untuk menghitung temperature belitan pada sisi primer dan sekunder. Adapun grafiknya adalah sebagai berikut :





#### 4.3. Analisis Temperatur Belitan Transformator

Berdasarkan data pada tabel 3.1 dan grafik diatas, dari grafik diatas didapat nilai  $R_2$  pada sisi primer sebesar 16,82 ohm dan pada sisi sekunder sebesar 0,0038. Maka dapat dianalisis nilai temperature belitan pada transformator tersebut sebagai berikut :

- Temperatur belitan primer

$$\begin{aligned}
 \theta &= \frac{R_2}{R_1} (234,5 + t_1) - (234,5 + t_2) \\
 &= \frac{16,82}{15,134} (234,5 + 29,5) - (234,5 + 30,83) \\
 &= 28,08 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

- Temperatur belitan sekunder

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{R_2}{R_1} (234,5 + t_1) - (234,5 + t_2) \\ &= \frac{0,00384}{0,003428} (234,5 + 29,5) - (234,5 + 30,83) \\ &= 30,39 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Pada sebuah transformator minyak, suhu belitan dalam keadaan dingin dianggap sama dengan suhu minyak lapisan atas dalam keadaan dingin. Transformator harus sekurang – kurangnya 8 jam didiamkan/tidak bekerja. Suhu minyak di ukur dengan menggunakan sebuah thermometer. Pengukuran tahanan panas ( $R_2$ ) harus dilakukan dengan cepat sekali setelah pembebanan tertentu, agar suhunya tidak sempat turun. Oleh karena pengukuran – pengukuran ini memerlukan banyak waktu, maka nilai tahanan panas hanya dapat diperoleh dengan melakukan eksplorasi menggunakan grafik yang akan digambarkan pada grafik penelitian.

#### 4.4. Analisis Efisiensi Transformator

Berdasarkan data pada tabel 3.1, maka dapat dianalisis nilai efisiensi pada transformator tersebut sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P_{\text{out}} &= V \times I \times \text{Cos } \phi \\ &= 400 \times 360,8 \times 0,9 \\ &= 129888 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rugi total} &= \text{Rugi inti} + \text{Rugi tembaga} \\ &= 432 + 2270 \\ &= 2702 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P}{P+P_r} \times 100\% \\ &= \frac{129888}{129888+2702} \times 100\% \\ &= 97,96\%\end{aligned}$$

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perhitungan pada bab IV (empat) maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Besar temperatur belitan pada sisi primer dan sekunder dipengaruhi oleh beban nominal yang ada didalam transformator tersebut, karena dalam pengujian transformator beban yang diberikan adalah beban nominal. Sehingga dapat ditentukan nilai tahanan panas pada transformator dengan menggunakan grafik untuk mendapatkan nilai temperatur belitan pada transformator tersebut pada beban nominal.
2. Pada transformator tersebut dengan beban nominal didapatkan besar nilai temperature belitan pada sisi primer sebesar  $28,08^{\circ}\text{c}$  dan nilai temperatur belitan pada sisi sekunder adalah sebesar  $30,39^{\circ}\text{c}$ .
3. Pada saat pengujian beban nol tidak terdapat rugi – rugi pada belitan, sehingga temperature pada belitan sama dengan nol. Sedangkan pada saat pengujian berbeban didapat rugi – rugi pada belitan sebesar 2270 watt, dan temperature rata- rata belitan di sisi primer sebesar  $28,08^{\circ}\text{c}$  dan disisi sekunder sebesar  $30,39^{\circ}\text{c}$ . Dari pengujian beban nol dan berbeban dapat di ambil kesimpulan bahwa beban adalah salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap temperature belitan rata – rata pada transformator.
4. Besar efisiensi pada transformator tersebut adalah 97,96%, dihitung pada beban nominal yang ada pada transformator tersebut.

**SARAN**

1. Sebaiknya transformator diperhatikan pemeliharaannya untuk tetap menjaga kondisi temperature tetap bagus dan kenaikan nya tidak terlalu tinggi.
2. Sebaiknya transformator dioperasikan dengan beban yang sesuai standar dan tidak mengoperasikan transformator dalam beban tinggi dalam waktu yang lama, untuk menjaga kondisi transformator tetap dalam kondisi yang baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Harahap, Partaonan. 2019. “*Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jatuh Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6.0*”. Jilid 2. Medan.
- Anugrah, Y. dan E. Warman. 2014. *Studi penggunaan sistem pendingin udara tekan untuk meningkatkan efisiensi transformator pada beban lebih*. volume 9 no.1 : 7 - 12.
- Kadir, A. 2010. *Transformator*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia(UI-Press).
- Kurniawan dan Firdaus. 2016. *Studi analisa pengaruh pembebanan dan temperature terhadap susut umur transformator daya pada gardu induk garuda sakti*. volume 3 no.2 : 1 – 6.
- Adam, Muhammad. 2019. “*Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jatuh Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6.0*”. Jilid 1. Medan.
- P.T. PLN (Persero). 2014. *Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga*. Jakarta : P.T PLN (Persero).
- Short, T. 2004. *Electric power distribution handbook*. New york.
- SPLN D3.002 – 1. 2007. Spesifikasi transformator distribusi bagian 1: Transformator tiga fasa. Jakarta
- Wijaya, M. 2001. *Dasar – dasar mesin listrik*. Jakarta : Djambatan.
- Zuhal. 1988. *Dasar teknik tenaga listrik dan elektronika daya*. Jakarta : Gramedia pustaka umum.



Dow AgroSciences

**PT Dow AgroSciences Indonesia**  
Jalan Sisingamangaraja Km. 9,5 Medan 20148, Indonesia  
Phone +62 61 7867060 Fax + 62 61 7864202

dowagro.com

Medan, 19 November 2020

No. : 45/Admin/2020  
Hal : **Izin Pengambilan Data**

Kepada Yth,  
**Bapak/Ibu Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara**  
Di  
Tempat

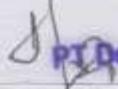
Dengan Hormat,  
Membalas surat Bapak/Ibu Nomor : **1374./II.3-AU/UMSU-07/F/2020** perihal Permohonan Izin Pengambilan Data untuk Mahasiswa atas nama:

NO	NAMA MAHASISWA	NPM	KOMPETENSI KEAHLIAN
1	TABAH RAMADHAN	1507220032	Teknik Elektro

Maka dengan ini kami beritahukan bahwa mahasiswa tersebut diatas **diperbolehkan mengambil data** diperusahaan kami,.

Demikian kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Hormat Kami,

  
**PT Dow AgroSciences Indonesia**

Ricky Rahardja  
Plant manager



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan, Sumatera Utara, 20238, Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : TABAH RAMADHAN  
NPM : 1507220032  
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH RUGI-RUGI TOTAL  
AKIBAT PEMBEBANAN TERHADAP TEMPERATUR DAN EFISIENSI  
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT DOW AGROSCIENCES  
INDONESIA

No	Keterangan	Tanggal	Paraf
1.	Perbaiki latar belakang, Permaianan lnti	3-11-2020	
2.	lanjut Bab II Tambah Citei	28-11-2020	
3.	Perbaiki gambar di bab II dan citei di tinggan pustaka.	10-12-2020	
4.	Lanjut Bab III	22-12-2020	
5.	Perbaiki Flowchart. Metode Penelitian tidak terperinci	9-1-2021	
6.	Lanjut Bab IV	19-1-2021	
7.	masukkan data dari PT Dow Agrosiences. lanjut Bab V dan Abstrak, deftu pustaka	30-1-2021	
8.	Ace unK diseinertkan.	20-2-2021	

Pembimbing I

(Faisal Irsan Pasaribu ST, MT)



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan, Sumatera Utara, 20238, Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : TABAH RAMADHAN  
NPM : 1507220032  
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH RUGI-RUGI TOTAL  
AKIBAT PEMBEBANAN TERHADAP TEMPERATUR DAN EFISIENSI  
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT DOW AGROSCIENCES  
INDONESIA

No	Keterangan	Tanggal	Paraf
1.	Perbaiki permasalahan	2/1/21	
2.	tambahkan teori pembebanan	8/1/21	
3.	Gambar diperjelas.	15/1/21	
4.	Flowchart diperbaiki.	27/1/21	
5.	Analisa data ditambah.	6/2/21	
6.	Cari Regresi tlg trgo dr jurnal	12/2/21	
7.	Revisi kesimpulan.	20/2/21	
8.	Acc Seminar		

Pembimbing II

(Elvi Sahnur ST, MPd)