

# **STUDI PROTEKSI TRANSFORMATOR DAYA TERHADAP GANGGUAN SATU FASA KE TANAH DENGAN MENGGUNAKAN RELAI ARUS LEBIH (APLIKASI GARDU INDUK DENAI)**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Untuk Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
Pada Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Medan Area*

**Oleh :**

**Martan Simamora**

**04 812 0024**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2009**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)25/9/23

## ABSTRAK

Salah satu problem yang timbul dalam pengoperasian transformator daya dalam sebuah Gardu Induk adalah terjadinya gangguan external transformator daya yang disebabkan karena terjadinya gangguan hubung singkat. Gangguan ini dapat menyebabkan kerugian bukan hanya pada peralatan transformator tetapi juga kerugian yang besar bagi para pemakai jasa tenaga listrik.

Untuk mengatasi gangguan ini, maka pada transformator daya ini dipasang peralatan pengaman, sehingga kerugian yang diakibatkan oleh gangguan dapat di atasi sampai ke tingkat yang kecil.

Pada tugas akhir ini, penulis mencoba membahas salah satu peralatan pengaman yang digunakan pada transformator daya, yaitu penggunaan relai arus lebih sebagai pengaman transformator.

Hasil perhitungan gangguan satu fasa ketanah menghasilkan arus gangguan hubung singkat sebesar 13.908 Ampere. Arus gangguan ini sudah melebihi arus nominal sekunder transformator daya sehingga relai arus lebih bekerja dan memutuskan Pemutus Tenaga (CB).



II.2.3. Pemutus Tenaga (PMT) .....	34
II.3. SPESIFIKASI PERALATAN .....	38
II.3.1. Spesifikasi Transformator Daya di Gardu Induk Denai .....	38
II.3.2. Spesifikasi Relai Arus Lebih Sisi 20 KV di Gardu Induk Denai .....	39
II.3.3. Spesifikasi Pemutus Tenaga Sisi 20 KV di Gardu Induk .....	39
<b>BAB.III. GANGGUAN PADA TRANSFORMATOR DAYA</b>	<b>41</b>
III.1. Faktor – Faktor Penyebab Gangguan External pada Transformator Daya .....	41
III.2. Gangguan Hubung Singkat di Luar Transformator .....	42
III.2.1. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah ( $I_{\phi - T}$ ) .....	50
<b>BAB.IV. ANALISA PERHITUNGAN</b>	<b>52</b>
IV.1. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah .....	52
<b>BAB.V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>58</b>
V.1. Kesimpulan .....	58
V.2. Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>60</b>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

Pada masa pembangunan sekarang ini tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting, karena tenaga listrik digunakan pada berbagai sektor seperti sektor perindustrian, perhubungan, pertambangan, perumahan, pendidikan dan dalam berbagai sektor lainnya.

Sejalan dengan penambahan penduduk dan peningkatan taraf kehidupan manusia menyebabkan peningkatan permintaan akan tenaga listrik yang cukup tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik ini dibangun pusat-pusat pembangkit tenaga listrik, penambahan saluran transmisi, pembangunan gardu induk dan juga penambahan jaringan distribusi.

Penyaluran daya listrik dari pembangkit kekonsumen adalah melalui saluran transmisi. Biasanya pembangkit yang dibangun cukup jauh dari konsumen, akibatnya akan menimbulkan rugi-rugi dan biaya yang besar. Untuk menghindari kerugian ini tegangan dari pembangkit dinaikkan melalui transformator yaitu suatu alat yang berguna untuk mentransfer daya listrik dengan menaikkan dan menurunkan tegangan pada jaringan transmisi.

Tegangan yang digunakan pada jala-jala transmisi sekitar 33-750 KV. Disinilah transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan dari jala-jala transmisi. Biasanya untuk kebutuhan rumah tangga sekitar 220/380 Volt dan untuk kebutuhan industri sekitar 0,4-6 KV (sesuai dengan beban yang dipakai).

Dengan demikian dapat kita lihat bahwa penggunaan transformator dalam penyaluran daya listrik sangatlah vital karena tanpa transformator akan sangat berbahaya bagi manusia untuk menggunakan energi listrik. Selain masalah diatas, dalam penyaluran daya listrik perlu juga diperhatikan gangguan-gangguan yang mungkin terjadi pada penyaluran daya listrik, misalnya putusnya penghantar, short circuit, rusaknya pembangkit, rusaknya transformator dan lain-lain. Untuk menangani masalah-masalah ini perlu dibuat suatu sistem pengaman yang dapat diandalkan dan aman.

Dalam pengoprasian transformator daya ini juga sering mengalami gangguan baik gangguan internal transformator maupun external transformator. Untuk mengatasi hal ini dibuat suatu sistem proteksi terhadap gangguan internal transformator ataupun external transformator.

## **I.2. Batasan Masalah**

Latar belakang diataslah yang menarik bagi penulis sehingga mengangkat proteksi transformator sebagai judul tugas akhir ini, dengan pembahasan utamanya adalah proteksi transformator daya dari gangguan external trafo.

Melihat begitu luasnya penggunaan relai sebagai pengaman transformator daya ini, penulis memutuskan untuk mengambil salah satu pemakaiannya yaitu relai arus lebih sebagai proteksi transformator daya dari gangguan external trafo.

Untuk menghindari kesimpang siuran pembahasan maka penulis membatasi pokok pembahasan.

Pembahasan ini mencakup :

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

2. Penggunaan relai arus lebih sebagai pengaman transformator daya terhadap gangguan hubung singkat satu fasa ketanah.
3. Analisa perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah yang terjadi disisi sekunder 20 KV.

### **I.3. Sistematika Pembahasan**

Agar lebih mudah untuk dipahami, penulis membuat sistematika pembahasan sebagai berikut :

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini pembahasan tentang latar belakang, batasan masalah dan sistematika pembahasan.

#### **BAB II TRANSFORMATOR DAYA DAN RELAI PENGAMAN**

Bab ini mengatakan penjelasan tentang jenis transformator, bagian utama dan peralatan bantu transformator, transformator tanpa beban, transformator berbeban.

Penjelasan tentang relai pengaman yaitu : relai arus lebih, komponen utama, prinsip kerja, fungsi relai, pemasangan terhadap transformator daya dan penyetelan relai arus lebih dan membahas tentang Pemutus Tenaga (PMT) yang dipasang di Gardu Induk Denai.

#### **BAB III GANGGUAN EXTERNAL TRANSFORMATOR DAYA**

Dalam bab ini membahas tentang gangguan external transformator daya yaitu gangguan hubung singkat diluar transformator dan gangguan akibat pembebanan lebih

## **BAB IV ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DAN BEBAN LEBIH TRAFODAYA**

Dalam bab ini membahas tentang perhitungan arus hubung singkat serta perhitungan beban lebih transformator daya.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini membuat kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil perhitungan.



## BAB II

### TRANSFORMATOR DAYA DAN RELAI PENGAMAN

#### II.1. TRANSFORMATOR DAYA

Transformator adalah merupakan suatu peralatan yang mengubah energi listrik bolak – balik dari suatu besaran tertentu kebesaran yang lain dengan frekwensi yang sama melalui suatu kerja dari gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi magnetik. Biasanya dalam transformator terdapat dua ataupun lebih, kumparan yang di hubungkan kesumber daya dinamakan kumparan primer, sedangkan kumparan yang terhubung kebeban dinamakan kumparan sekunder dan jika dapat kumparan primer dan sekunder ini tidak berhubungan secara langsung. Satu – satunya hubungan antar kedua kumparan adalah fluks magnet bersama yang terdapat didalam inti.

Pemakaian transformator pada sistem tenaga listrik adalah yang tidak bisa di hindarkan. Transformator ini digunakan untuk menaikkan tegangan dari generator ke transmisi dan kemudian diturunkan lagi ke distribusi. Salah satu tujuan dinaikan tegangan ke transmisi adalah untuk menurunkan rugi – rugi daya pada transmisi. Hal ini dapat di jelaskan sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (2.1)$$

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots (2.2)$$

Jika karena rugi – rugi daya adalah  $P_0 = I^2 \cdot R$ , maka jika arus I adalah kecil maka rugi – rugi daya ( $P_0$ ) akan kecil juga. Seperti disebutkan diatas, cara untuk menurunkan harga arus adalah dengan menaikkan tegangan. Untuk menaikkan tegangan ini hanya bisa dilakukan dengan menggunakan transformator.

Pada transformator daya tiga fasa dikenal hubungan dasar yang menghubungkan belitan transformator daya, yaitu hubungan Bintang (Y), dan hubungan delta ( $\Delta$ ).

### a. Hubungan Bintang

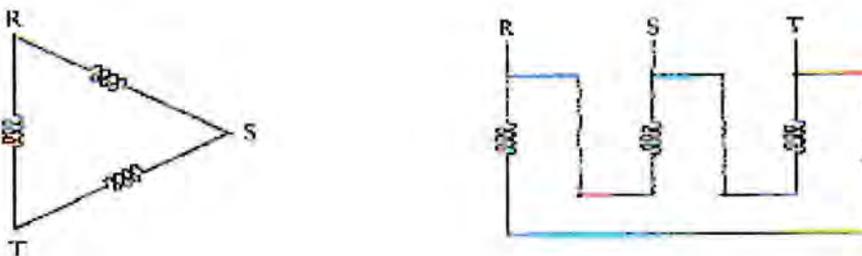
Pada hubungan bintang, ketiga ujung dari belitan trafo dihubungkan kepada titik bintang, seperti yang dilihat pada gambar :



Gambar : 2 . 1 . Simbol Dan Hubungan Bintang Transformator.

### b. Hubungan Delta

Hubungan segitiga adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya yaitu ujung akhir lilitan fasa (R) disambungkan dengan awal lilitan fasa (S), akhir lilitan fasa (S) disambungkan dengan awal lilitan fasa (T) dan akhir lilitan fasa (T) dengan awal lilitan fasa (R), seperti pada gambar :



UNIVERSITAS MEDAN AREA Simbol dan hubungan segitiga transformator.

## II. 1 . 1 . Pembagian Jenis Transformator

Berdasarkan bidang listrik transformator dapat dibagi menjadi :

### 1. Transformator Daya

Yaitu transformator yang digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Pada umumnya tegangan transformator daya ini titik netralnya ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pangaman.

### 2. Transformator Distribusi

Yaitu transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah setelah diturunkan pertama oleh transformator daya.

### 3. Transformator Pengukuran

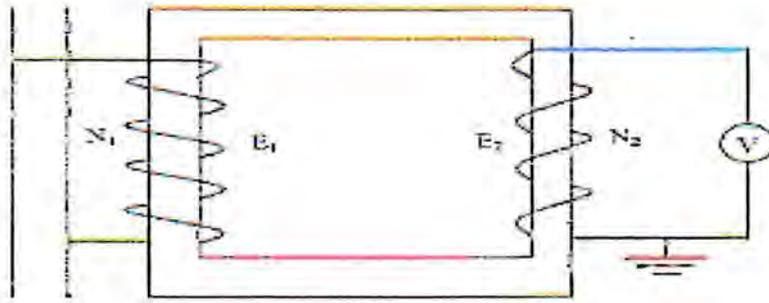
Yaitu transformator yang digunakan untuk mengukur arus dan tegangan dalam suatu rangkaian untuk pengukuran.

Transformator pengukuran ini terbagi dua yaitu :

#### 1. Transformator Tegangan

Transformator tegangan adalah trafo satu fasa yang mentransformasikan tegangan sistem ke suatu tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indikator, alat ukur, relai dan peralatan lain. Hal ini di lakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang dapat di timbulkan tegangan tinggi bagi operator. Tegangan perlengkapan seperti indikator, meter dan relai dirancang sama dengan tegangan terminal sekunder trafo tegangan.

## Prinsip Kerja Transformator Tegangan :



Gambar : 2 . 3 . Hubungan Transformator Tegangan.

Prinsip kerja trafo ini sama dengan trafo daya, tetapi dalam rancangannya mempunyai perbedaan, antara lain :

1. Kapasitasnya kecil (10 – 150 VA), karena bebannya hanya alat – alat ukur, relai, indikator yang konsumsi dayanya kecil.
2. Salah satu terminal tegangan tingginya selalu dibumikan.
3. Tegangan terminal sekunder trafo biasanya adalah 100 atau  $100\sqrt{3}$  V.

## 2. Transformator Arus

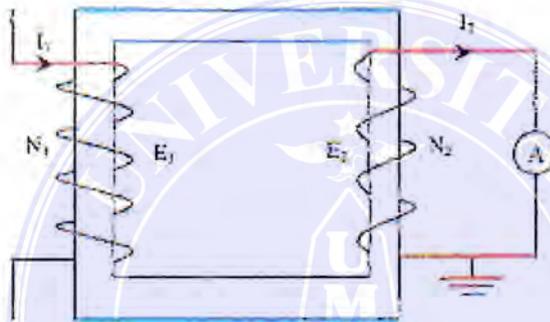
Transformator arus digunakan untuk pengukuran arus besarnya ratusan ampere dan arus, yang mengalir dalam jaringan tegangan rendah dan besarnya di bawah 5 A, maka pengukuran dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan satu ammeter pada jaringan tegangan tinggi, meskipun besarnya di bawah 5 A, maka pengukuran tidak dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan suatu ammeter karena isolasi ammeter tidak dirancang untuk memikul tegangan tinggi.

Disamping untuk pengukuran arus, transformator juga dibutuhkan untuk pengukuran daya energi, pengukuran jarak jauh dan relai proteksi. Kumparan primer

transformator arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumparan primer dihubungkan dengan meter atau relai proteksi.

Transformator arus bekerja sebagai transformator yang terhubung singkat. Kawasan kerja transformator arus yang digunakan untuk pengukuran biasanya 0,05 sampai 1,2 kali arus yang diukur. Transformator arus untuk tujuan proteksi biasanya harus mampu bekerja lebih dari 10 kali arus pengenalnya.

### Prinsip Kerja Transformator Arus :



Gambar :2.4. Hubungan Transformator Arus

Jika pada kumparan primer mengalir arus  $I_1$ , maka pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet sebesar  $N_1 I_1$ . Gaya gerak magnet ini memproduksi fluks pada inti. Fluks ini membangkitkan arus listrik pada kumparan sekunder. Jika terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir  $I_2$ . Arus ini menimbulkan arus gerak magnet  $N_2 I_2$ . Bila transformator tidak mempunyai rugi – rugi (transformator ideal) maka berlaku persamaan :

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$N_1$  = Jumlah belitan kumparan primer

$N_2$  = Jumlah belitan kumparan sekunder

$I_1$  = Arus pada kumparan primer

$I_2$  = Arus pada kumparan sekunder

Pada umumnya prinsip kerja transformator arus ini sama dengan prinsip kerja transformator daya, tetapi mempunyai beberapa perbedaan yaitu :

1. Jumlah belitan kumparan primer sangat sedikit, tidak lebih dari lima belitan.
2. Arus primer tidak dipengaruhi beban yang terhubung pada kumparan sekundernya, karena arus primer ditentukan oleh arus pada jaringan yang diukur.

3. Semua beban pada kumparan sekunder dihubungkan seri.

Terminal sekunder transformator arus tidak boleh terbuka, oleh karena itu terminal arus sekunder harus selalu dihubungkan dengan beban atau dihubung singkatkan jika beban belum dihubungkan.

## II.1.2. Bagian Utama Transformator Daya

### 1. Inti Besi

Inti besi adalah tempat meletakkan kumparan dan berfungsi sebagai jalan fluks untuk magnetik. Inti besi terdiri dari lempengan – lempengan baja tipis berisolasi, lempengan ini disatukan dengan susunan berlapis – lapis. Susunan yang demikian membentuk suatu batang yang padat dengan tiga kaki sebagai meletakkan kumparan. Tujuan utama pembuatan inti besi berlapis – lapis adalah untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus pusar (Eddy Current).

## 2. *Kumparan Transformator*

Beberapa lilitan kawat berisolasi akan membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pirtinex dan lain – lain. Umumnya pada transformator terdapat kumparan primer dan kumparan sekunder.

Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak – balik, maka kumparan tersebut akan timbul fluksi. Fluksi ini akan menginduksikan tegangan, dan bila rangkaian sekunder ditutup (bila rangkaian berbeban) maka menghasilkan arus pada kumparan ini. Jadi ini akan berfungsi sebagai transformator tegangan dan arus.

## 3. *Minyak Transformator*

Pada transformator kumparan – kumparan dan inti biasanya direndam dalam minyak transformator mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai bahan isolasi dan sebagai bahan pendingin transformator. Sebagai bahan isolasi, minyak akan mengisi ruang antara kumparan primer dan sekunder sehingga tidak akan timbul breakdown antar kumparan tersebut. Sebagai bahan pendingin, minyak dipilih karena dapat mensirkulasikan panas dengan baik dengan inti keluar kumparan.

Bila dibandingkan dengan pendingin udara, pendingin dengan minyak adalah lebih baik, karena minyak dapat dengan mudah masuk ke celah – celah kumparan dan inti transformator serta bagian – bagian lainnya.

## 4. *Bushing*

Hubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar umumnya dibuat melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang

sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangkai transformator.

Alat ini terbuat dari suatu konduktor yang ditempatkan dari isolator porselin, kemudian diisi dengan minyak transformator sebagai pendingin. Umumnya bushing dilengkapi dengan tanduk api (arching horn) yang berfungsi untuk melepas tegangan lebih yang timbul pada ujung – ujung bushing. Penggunaan bushing disesuaikan dengan kapasitas arus dengan tegangan kerja transformator.

### **5. Tangki dan Konservator**

Pada umumnya bagian – bagian dari transformator yang terendam minyak ditempatkan ditangki. Tangki tersebut terbuat dari besi yang kuat dan berfungsi sebagai pelindung dari bagian – bagian transformator yang penting, antara lain inti dan kumparan serta beberapa peralatan yang digunakan.

## **II . 1 . 3 . Peralatan Bantu Transformator**

### **1. Pendingin**

Pada inti besi kumparan – kumparan akan timbul panas akibat rugi – rugi besi dan rugi – rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan suhu yang berlebihan maka akan merusak isolasi transformator. Untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut, transformator perlu dilengkapi dengan alat atau sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar trafo.

Media yang dipakai sistem pendingin dapat berupa :

- Udara /gas
- Minyak
- Air

- Dan sebagainya

Sedangkan untuk pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara :

- Alamiah
- Tekanan/Paksaan

### 1. *Alat Pernapasan*

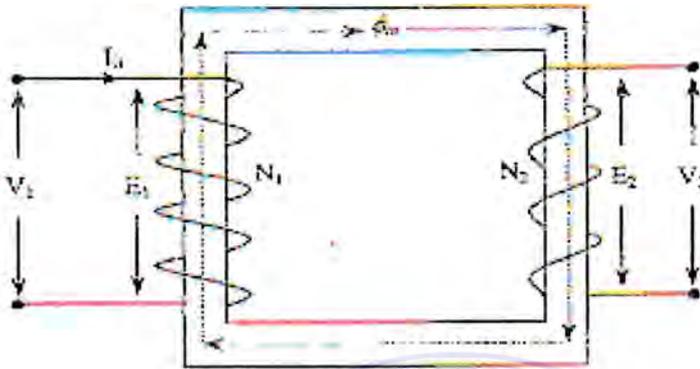
Karena naik turunnya tegangan transformator maupun suhu udara luar, maka suhu dari minyak pun akan berubah ubah, minyak akan memuai dan mendesak udara diatas permukaan minyak keluar dari tangki. Kedua proses ini disebut dengan pernapasan transformator. Akibat pernapasan transformator tersebut maka untuk permukaan minyak akan selalu bersinggungan dengan udara luar. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak trafo, maka mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernapasan berupa tabung berisi kristal zat hygroskopis.

### 3. *Indikator*

Untuk mengawasi transformator selama beroperasi, maka transformator di lengkapi dengan beberapa indikator, yaitu :

- Indikator suhu minyak
- Indikator permukaan minyak
- Indikator sistem minyak
- Dan sebagainya

**II . 1 . 4 . Transformator Tanpa Beban**



Gambar : 2 . 5 . Transformator Tanpa Beban

Suatu Transformator dikatakan tanpa beban apabila salah satu dari kumparan tersebut dihubungkan kesumber, sedangkan kumparan lainnya dalam keadaan terbuka. Bila kumparan primer transformator dihubungkan kesumber tegangan ( $V_1$ ) yang sinusoidal, maka akan mengalir arus primer ( $I_0$ ) dimana arus primer ( $I_0$ ) adalah arus bolak – balik. Bila diasumsikan arus primer ( $N_1$ ) relatif murni, maka arus primer ( $I_0$ ) akan tertinggal (lagging)  $90^\circ$  terhadap tegangan sumber  $V_1$ . Karena kumparan memiliki inti maka akan timbul fluks magnet yang berubah – ubah pada intinya.

Besarnya fluks tersebut adalah :

$$\phi = \phi_{max} \text{ Sin } \omega t \dots\dots\dots (2.5)$$

Akibat adanya fluks magnet yang berubah – ubah, maka pada kumparan primer akan terjadi gaya gerak listrik (ggl) induksi ( $e_1$ ). Medan magnet memiliki arah, kerapatan dan intensitas yang digambarkan sebagai garis – garis fluks.

Besarnya ggl induksi pada kumparan primer adalah :

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$e_1$  = Tegangan Induksi

$N_1$  = Kumparan Primer

$\frac{d\phi}{dt}$  = Perubahan fluksi magnet terhadap waktu

t = Waktu

Sehingga ggl induksi pada kumparan primer adalah :

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\phi}{dt} \\ &= -N_1 \frac{d(\phi_m \sin \omega t)}{dt} \\ &= -N_1 - \omega \phi_m \cos \omega t, \text{ jika } \cos \omega t = 1, \text{ maka:} \\ e_1 &= -N_1 \omega \phi_m \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

Untuk  $e_1 = \frac{e_1}{\sqrt{2}}$

maka harga efektifnya menjadi :

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{\omega d\phi}{\sqrt{2}} \\ &= -N_1 \frac{2\pi f \phi}{\sqrt{2}} \\ &= -N_1 \frac{2.3,14 f \phi_m}{\sqrt{2}} \\ &= -4,44 f \phi_m N_1 \dots\dots\dots (2.8) \end{aligned}$$

Fluks magnet yang menginduksikan ggl sisi primer juga akan dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama fluks menginduksikan ggl pada kumparan sekunder adalah :

$$e_2 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.9)$$

Sehingga ggl induksi pada kumparan primer adalah :

$$\begin{aligned} e_2 &= -N_2 \frac{d\phi}{dt} \\ &= -N_2 \frac{d(\phi_m \sin \omega t)}{dt} \dots\dots\dots (2.10) \end{aligned}$$

Maka didapatkan harga efektifnya :

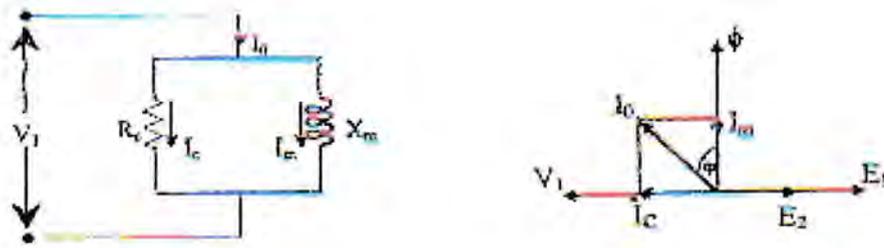
$$\begin{aligned} e_2 &= -N_2 \frac{\omega d\phi}{\sqrt{2}} \\ &= -N_2 \frac{2\pi f \phi_m}{\sqrt{2}} \\ &= -N_2 \frac{2.3,14 f \phi_m}{\sqrt{2}} \\ &= -4,44 f \phi_m N_2 \dots\dots\dots (2.11) \end{aligned}$$

Dengan menganggap rugi tegangan dari fluksi bocor adalah nol, maka akan berlaku rumus :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots\dots\dots (2.12)$$

a : merupakan perbandingan belitan transformator.

Arus primer ( $I_0$ ) yang mengalir pada saat kumparan sekunder tidak dibebani disebut arus penguat. Dalam kenyataannya arus primer ( $I_0$ ) bukanlah merupakan arus induktif murni karena pada unsur resistansi.



Gambar . 2. 6. (a). Rangkaian \$R\_c\$ dan \$X\_m\$. Gbr. 2. 6. (b). Vektor Diagram \$I\_0\$, \$I\_c\$ dan \$I\_m\$

Disamping adanya unsur resistansi dan induktansi belitan terdapat unsur resistansi dan induktansi beban nol dan merupakan hubungan antara tegangan beban nol (\$V\_0\$) dan arus beban nol (\$I\_0\$).

$$P_0 = V_0 \cdot I_0 \cos \Phi_0 \dots\dots\dots (2.13)$$

$$I_0 = \sqrt{(I_m)^2 + (I_c)^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

\$P\_0\$ = Daya yang hilang akibat rugi histeris.

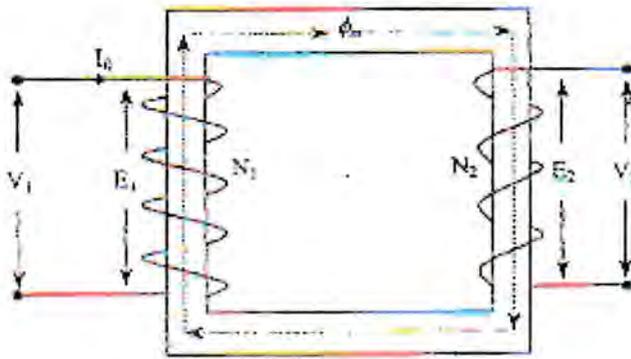
\$I\_0\$ = Arus beban nol sisi primer.

\$I\_m\$ = Arus magnet,  
 = \$I\_0 \sin \phi\_0\$

\$I\_c\$ = Arus rugi tembaga.

= \$I\_0 \cos \phi\_0\$

**II. 1. 5. Transformator Berbeban**



Gambar : 2. 7. Transformator Berbeban.

Jika kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ , maka  $I_2$  ini akan mengalir ke kumparan sekunder, dimana  $I_2 = V_2 / Z_L$ . Arus beban  $I_2$  ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) ( $N_2 \cdot I_2$ ) yang cenderung melemahkan fluks ( $\phi$ ) bersama pada inti sehingga  $E_1$  akan turun. Tetapi belitan primer ( $N_1 \cdot I_1$ ) akan mengimbangi sehingga fluks magnet yang ada pada inti akan konstan, hingga keseluruhan arus mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I'_2$$

$I'_2$  merupakan komponen arus primer yang mengimbangi fluks magnet akibat adanya arus sekunder pada saat berbeban. Bila rugi besi ( $I_c$ ) diabaikan maka  $I_0 = I_m$ , sehingga arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_m + I'_2 \dots \dots \dots (2. 15)$$

Untuk menjaga fluksi menjadi tetap tidak merubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_m$ , maka berlaku hubungan :

$$N_1 \cdot I_m = N_1 \cdot I_1 - N_2 \cdot I_2 \dots \dots \dots (2.16)$$

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)25/9/23

sehingga :

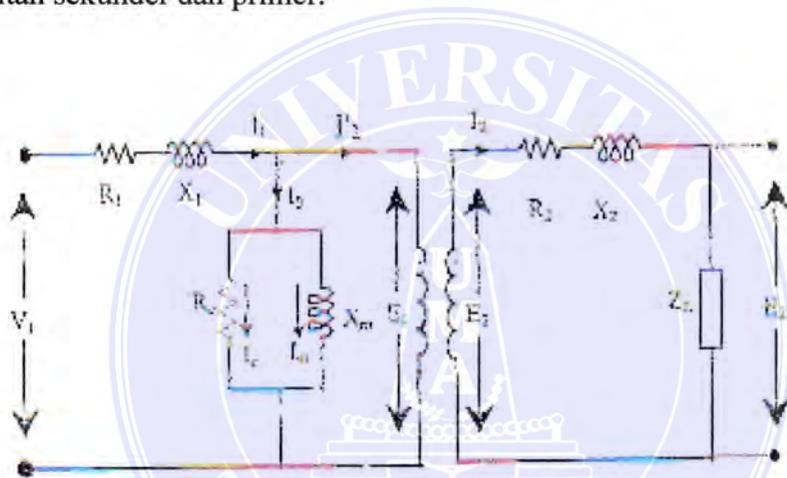
$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \dots\dots\dots (2.17)$$

Karena nilai  $I_m$  sangat kecil atau dapat di abaikan, maka :

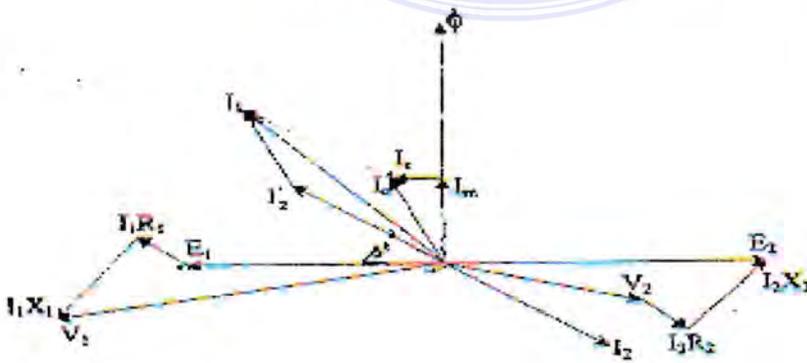
$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2$$

Atau :  $\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \dots\dots\dots (2.18)$

Dengan kata lain perbandingan arus primer dengan arus sekunder adalah sama dengan perbandingan belitan sekunder dan primer.



Gambar : 2.8. Rangkaian Ekivalen Transformator Berbeban



Gambar : 2.9. Diagram Vektor Transformator Berbeban

Dari model rangkaian diatas dapat pula diketahui hubungan penjumlahan vektor.yaitu :

$$V_1 = E_1 + I_1R_1 + I_1X_1 \dots\dots\dots (2.19)$$

$$E_2 = V_2 + I_2R_2 + I_2X_2 \dots\dots\dots (2.20)$$

dari  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$

atau  $E_1 = a E_2$

dan  $I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$

jadi

$$\begin{aligned} E_1 &= a E_2 \\ &= a (V_2 + I_2R_2 + I_2X_2) \\ &= a (I_2Z_L + I_2R_2 + I_2X_2) \dots\dots\dots (2.21) \end{aligned}$$

dari persamaan :

$$N_1 I_2 = N_2 I_1$$

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} \times I_1$$

$$= a I_1$$

maka :

$$E_1 = a (aI_1Z_L + a I_1R_2 + a I_1X_2)$$

$$E_1 = a^2 I_1Z_L + a^2 I_1R_2 + a^2 I_1X_2 \dots\dots\dots (2.22)$$

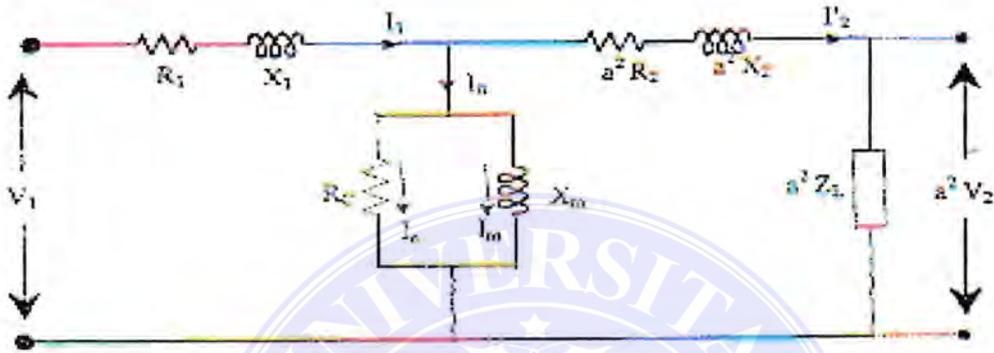
Sehingga didapat :

$$V_1 = E_1 + I_1R_1 + I_1X_1$$

$$V_1 = a^2 I_2 Z_L + a^2 I_2 R_2 + a^2 I_2 X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \dots\dots\dots (2.23)$$

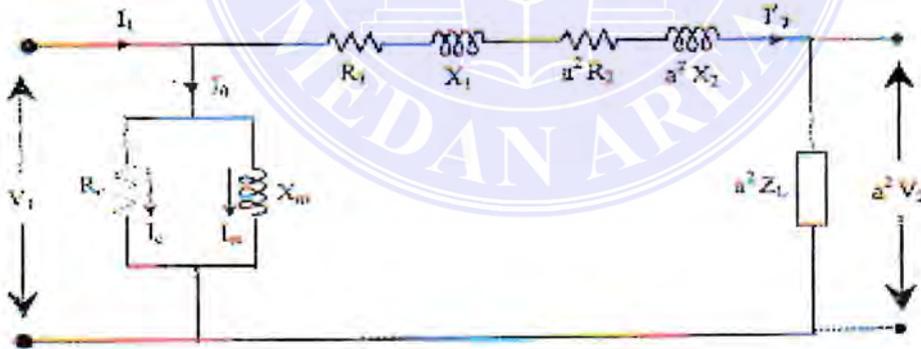
Persamaan terakhir mengandung pengertian bahwa apabila parameter rangkaian sekunder dinyatakan dalam harga rangkaian primer, harganya perlu dikalikan dengan faktor  $a^2$ .

Sekarang model rangkaian menjadi :



Gambar : 2. 10. Rangkaian Ekuivalen Transformator Berbeban.

Untuk memudahkan analisis perhitungan, model rangkaian diatas dapat diubah seperti gambar dibawah ini :



Gambar : 2.11. Rangkaian Ekuivalen Transformator Berbeban

## II.2. RELAI PENGAMAN

Pada saat terjadi gangguan atau ketidak normalan pada sistem tenaga listrik, misalnya adanya arus lebih, tegangan lebih, dan sebagainya, maka perlu diambil suatu

tindakan untuk mengatasi kondisi gangguan tersebut. Jika dibiarkan, gangguan itu akan meluas keseluruh sistem sehingga bisa merusak semua peralatan sistem tenaga listrik yang ada. Untuk mengatasi tersebut, mutlak diperlukan suatu sistem yang andal. Salah satu komponen yang penting untuk pengaman tenaga listrik adalah relai pengaman.

Relai pengaman adalah suatu piranti, baik elektronik maupun magnetik yang di rencanakan untuk mendeteksi suatu kondisi ketidak normalan pada peralatan listrik yang bisa membahayakan dan tidak diinginkan. Jika bahaya itu muncul maka relai pengaman akan secara otomatis memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga (circuit breaker) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal. Relai pengaman dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang perlu di amankan pengukur atau membandingkan besaran – besaran yang diterimanya, misalnya : arus, tegangan, daya, frekuensi, impedansi, dan sebagainya sesuai dengan besaran yang ditentukan. Alat tersebut kemudian akan mengambil keputusan seketika dengan perlambatan waktu membuka pemutus atau hanya memberikan tanda tanpa membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga dalam hal ini harus mempunyai kemampuan untuk memutus arus hubung singkat maksimum yang melewatinya dan harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat yang kemudian membuka kembali. Disamping itu relai juga berfungsi untuk menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Berdasarkan data dari relai maka memudahkan kita dalam menganalisis gangguannya.

### **Fungsi dari Relai Pengaman**

Pada prinsipnya relai pengaman yang dipasang pada sistem tenaga listrik mempunyai beberapa macam fungsi. Yaitu :

1. Merasakan, mengukur, dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya.
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap gangguan sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta dapat beroperasi normal, juga mencegah luasnya gangguan.

### II.2.1. Syarat – Syarat Relai Pengaman

Agar suatu sistem pengaman dapat bekerja dengan baik dan efektif, maka haruslah memenuhi beberapa persyaratan umum, yaitu sebagai berikut :

#### 1. Keandalan

Suatu relai pengaman harus mampu bekerja, andal dan tepat pada waktunya untuk setiap tingkat gangguan pada bagian yang diproteksinya. Relai pengaman hanya bekerja hanya bila terdapat gangguan, sehingga dapat relai pengaman ini akan tetap terjamin keandalannya, pada waktu–waktu tertentu harus diadakan pengujian–pengujian kembali sehingga pada saat dibutuhkan dapat bekerja sesuai dengan yang dikehendaki. Beberapa faktor yang penting yang mempengaruhi keandalan relai antara lain adalah kualitas yang baik, kesederhanaan konstruksi serta ketepatan rancangan.

#### 2. Kecepatan Kerja

Relai pengaman harus mampu memutuskan bagian yang mengalami gangguan dengan cepat, dengan tujuan :

- Mempercepat tercapainya kembali stabilitas sistem.
- Mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan .

- Mengurangi timbulnya gangguan baik pada sistem maupun gangguan pada konsumen.

Waktu total yang dibutuhkan untuk melepaskan bagian sistem yang terganggu secara keseluruhan adalah penjumlahan dari waktu yang dibutuhkan untuk pelepasan pemutus daya (CB).

Waktu kerja relai adalah waktu sejak terjadinya gangguan hingga saat dapat menutupnya kontak dari rangkaian pemutus hingga saat terbukanya pemutus daya (CB) adalah waktu sejak penutupan kontak pada rangkaian pemutus hingga saat terbukanya pemutus daya (CB).

Kecepatan relai pengaman dinyatakan dengan :

$$t_{\text{kerja}} = t_{\text{relai}} + t_{\text{pemutus}} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dalam prakteknya kecepatan relai dipengaruhi oleh sensitivitas, dimana :

$$K_s = \frac{I_s}{I_{op}} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

$I_s$  = Arus hubung singkat minimum (Ampere)

$I_{op}$  = Arus operasi minimum relai (Ampere)

$K_s$  = Harga sensitivitas.

### 3. Selektivitas

Selektivitas suatu relai pengaman adalah kemampuan untuk menentukan pada titik mana terjadi gangguan, sehingga dapat menentukan dengan tepat pemutus daya yang harus dibuka. Relai pengaman yang mutlak bekerja pada daerah pengamannya.

#### 4. *Ekonomis dan sederhana*

Untuk merencanakan relai pengaman haruslah seekonomis mungkin dan sederhana mungkin, karena semakin banyak peralatan pengaman yang digunakan akan menyebabkan semakin besar biayanya. Karena itu diperlukan optimasi yang tepat yaitu dengan memberikan pengaman yang secukupnya agar ekonomis, tetapi tidak mengabaikan faktor – faktor keandalan, selektivitas dan kepekaannya.

Disamping faktor diatas masih ada kriteria – kriteria yang harus diperhatikan dalam merencanakan sistem pengaman, yaitu :

- Gejala gangguan yang mungkin terjadi
- Data gangguan
- Standar operasi

#### II.2.2. Relai arus Lebih

Relai arus lebih adalah suatu alat untuk mendeteksi keadaan arus pada batas tertentu. Keadaan arus lebih pada sistem tenaga listrik dapat disebabkan gangguan hubung singkat atau disebabkan karena beban lebih. Pada gangguan hubung singkat, arus yang ditimbulkan lebih besar dari arus nominalnya sehingga akan menimbulkan kerusakan pada peralatan lainnya.

Relai arus lebih biasanya dihubungkan dengan pemutus daya, sehingga bila merasakan kondisi abnormal dari suatu sistem tenaga melalui transformator arus, maka akan cepat memberikan informasi kepada pemutus daya yang terganggu pada sistem tersebut.

## Klasifikasi Relai Arus Lebih

A. Berdasarkan konstruksinya, relai arus lebih dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Relai arus lebih elektromagnetik
2. Relai arus lebih statis

B. Berdasarkan karakteristik kerjanya, relai arus lebih dapat dibedakan :

1. Relai arus lebih sesaat
2. Relai arus lebih defenite
3. Relai arus lebih inverse
  - Inverse Time
  - Very Inverse Time
  - Extra Relai Inverse Time

Relai arus lebih dapat dikategorikan menjadi :

### **1. Relai Arus Lebih Sesaat**

Relai arus lebih sesaat adalah relai yang bekerjanya dalam waktu singkat atau dengan kata lain relai yang bekerja tanpa penundaan waktu. Relai ini tidak dilengkapi dengan setting waktu, tetapi bila ada setting waktunya biasanya dibawah 100 ms.

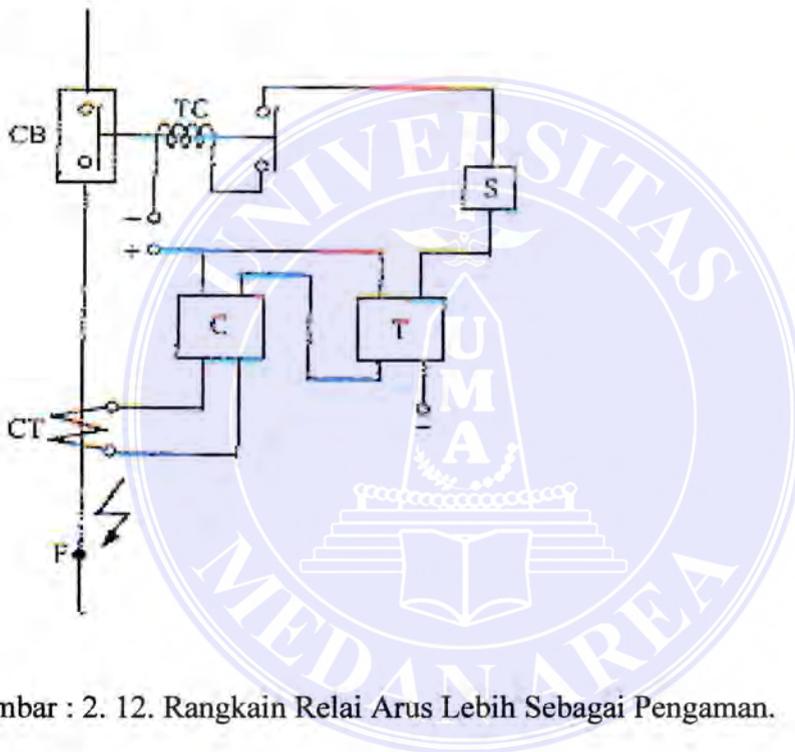
### **2. Relai Arus Lebih Defenite**

Relai arus lebih defenite adalah relai yang bekerja dengan waktu yang (sesuai setting) walaupun besar arus yang diproteksi berubah – ubah. Relai ini dilengkapi dengan setting arus.

### 3. Relai Arus Lebih Inverse

Relai arus lebih inverse adalah relai yang bekerja tergantung pada waktu dan besarnya arus gangguan, karena semakin besar arus gangguan yang dirasakan oleh relai maka semakin cepat relai tersebut bekerja. Relai ini juga mempunyai setting waktu dan arus.

#### I.2.1. Prinsip Kerja Relai Arus Lebih



Gambar : 2. 12. Rangkain Relai Arus Lebih Sebagai Pengaman.

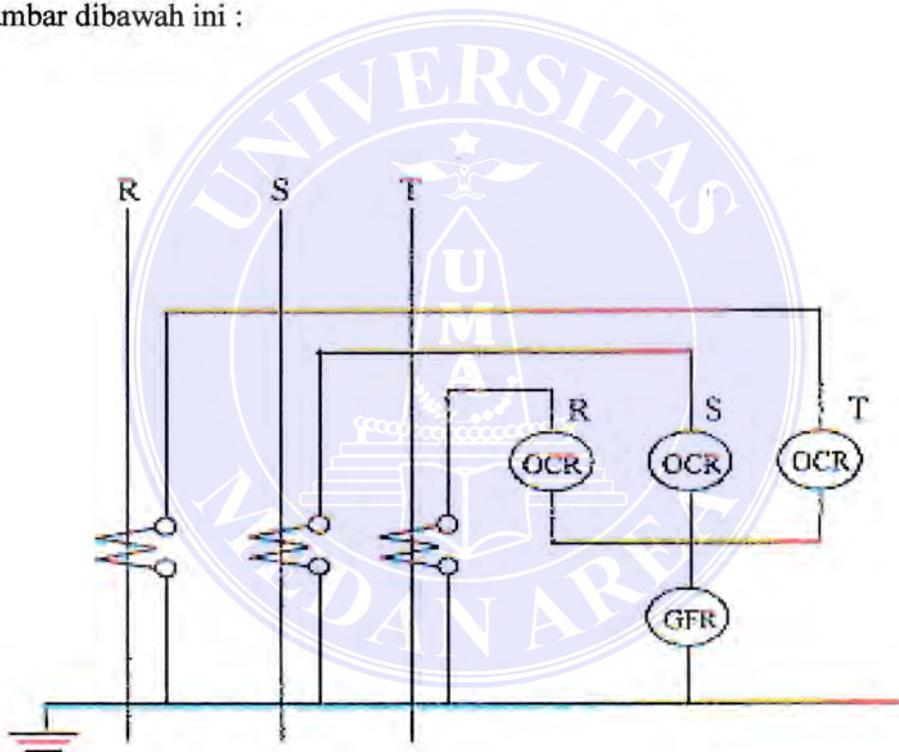
Keterangan Gambar :

- CT : Transformator Arus  
 C : Relai Arus Lebih  
 T : Relai Penunda Waktu  
 TC : Trip Coil  
 CB : Circuit Breaker

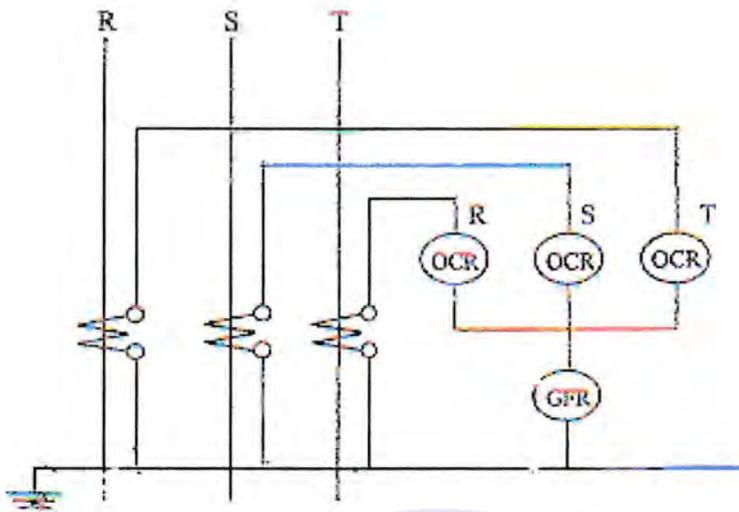
Misalkan hubung singkat terjadi dititik F, akibatnya arus relatif besar. Arus yang besar ini akan melalui sekunder CT dan arus direlai C juga akan besar. Jika arus tersebut melebihi setelan arus relai, maka relai akan bekerja menutup kontak didalam relai, sehingga arus DC dari baterai akan mengalir ke coil relai, sehingga relai bekerja untuk trip coil, sehingga CB akan terbuka.

### Contoh pemasangan Relai Arus Lebih

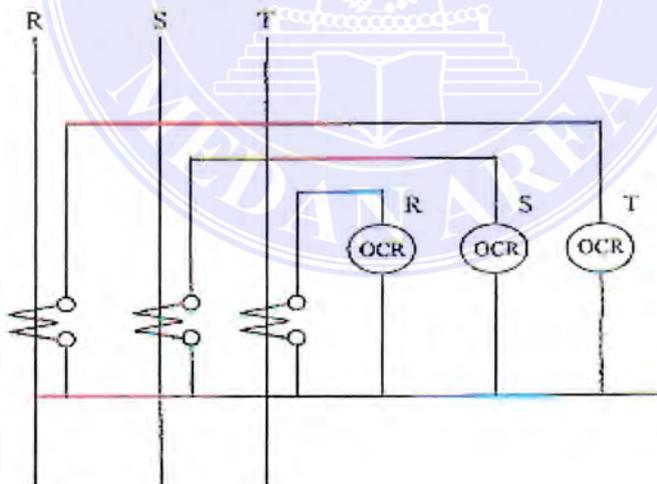
Pemasangan relai arus lebih hubung fasa dan hubung tanah umumnya dipakai seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar : 2.13. Relai Berfungsi Sebagai Pengaman antara fasa.

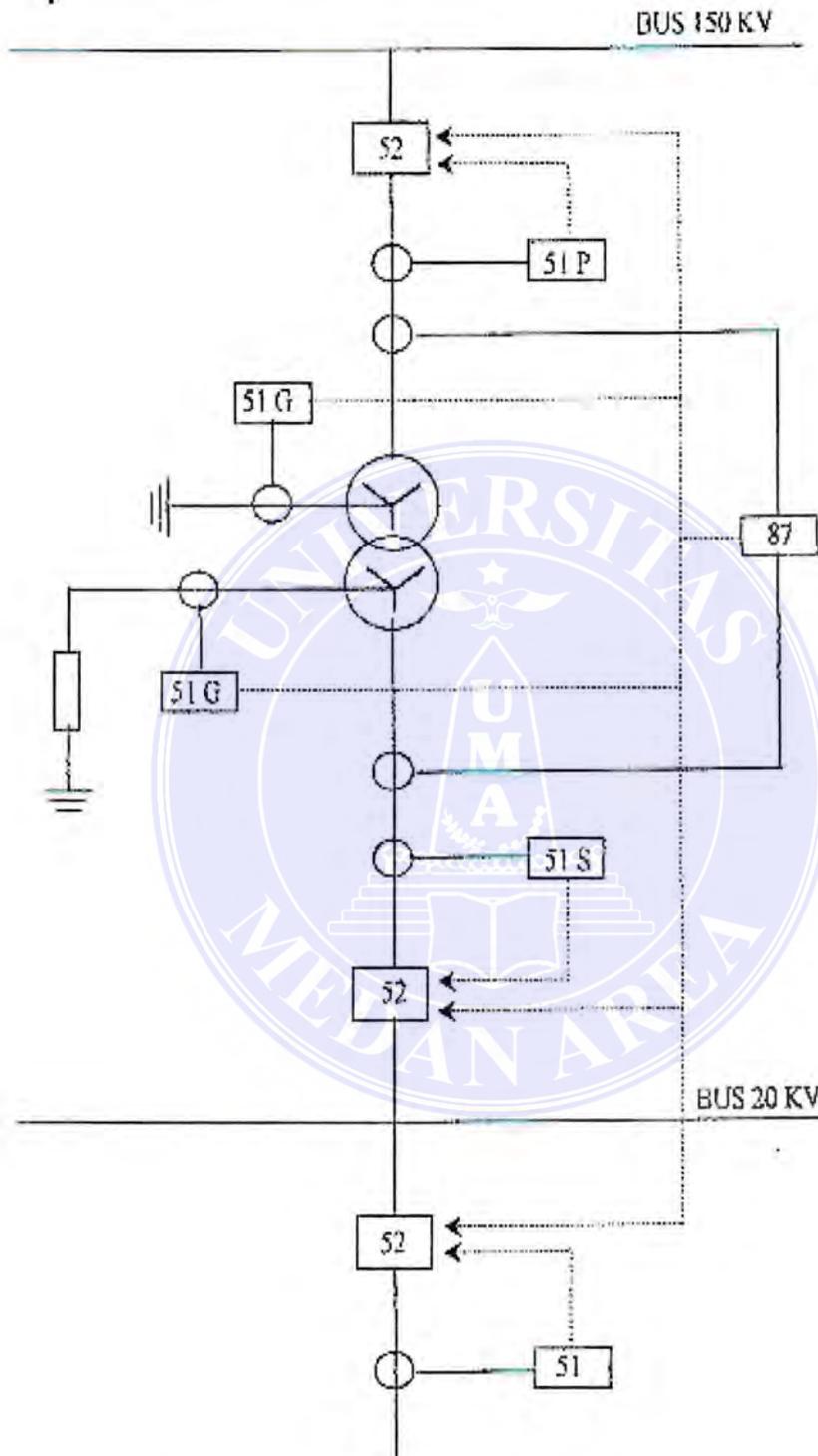


Gbr.2. 14. Relai berfungsi sebagai pengaman fasa dan hubung tanah pada sistem yang ditanahkan.



Gbr.2. 15. Relai berfungsi pengaman fasa dan hubung tanah Pada sistem yang tidak ditanahkan.

### II.2.2.2. Pemasang Relai Arus Lebih Pada Transformator Daya



Gambar: 2. 16. Pemasangan Relai Arus lebih Pada Transformator Daya.

Keterangan gambar :

- S2 : Pemutus Tenaga
- 51 P : Relai Arus Sisi Primer
- 51 G : Relai Arus Lebih Tanah Primer
- 87 : Relai Diffrensial
- 51 S : Relai Arus Lebih Sisi Sekunder
- 51 : Relai Arus Lebih

### II.2.2.3. Penyetelan Relai Arus Lebih

#### 1. Penyetelan Setting Arus ( $I_s$ )

Penyetelan setting arus ( $I_s$ ), range angka yang dimiliki pada switch adalah dari  $0,05 \times I_n$  s/d  $2,4 \times I_n$ . Untuk mendapatkan nilai penyetelan arus sekunder yang akan disetkan pada relai arus lebih diatas dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir di jaringan. Relai inverse biasanya diset sebesar  $1,05$  s/d  $1,1 \times I_{\text{beban}}$ , sedangkan relai definite  $1,2$  s/d  $1,3 \times I_{\text{beban}}$ . Sehingga setelan arusnya adalah sebagai berikut :

- Pada sisi primer

$$I_{\text{set}} (C) = 1,05 \times I_{\text{beban}} \dots\dots\dots (2.26)$$

- Pada sisi sekunder

$$I_{\text{set}} (I_{\text{sekunder}}) = I_{\text{Primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots\dots\dots (2.27)$$

#### 2. Setting Waktu Kerja relai

Waktu kerja relai dinotasikan dengan TMS (Time Multiplier Setting) merupakan waktu kerja yang disetkan dengan menggunakan rumus :

$$TMS = \frac{\left\{ t x \left[ \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right] - 1 \right\}}{0,14} \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana :

t = 0,3 detik (persyaratan yang harus dipenuhi bahwa penyetelan relai arus lebih jenis inverse tidak boleh lebih kecil dari 0,3 detik)

TMS disesuaikan dengan karakteristik waktunya yaitu standar Inverse dan penyetelan waktu minimum tidak lebih dari 0,3 detik.

$$T = \frac{0,14 x TMS}{\left[ \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^{0,02} - 1} \dots\dots\dots (2.29)$$

### II.2.3. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (PMT) atau lebih dikenal dengan istilah asingnya Circuit Breaker merupakan suatu piranti saklar mekanik yang secara otomatis akan membuka atau memutuskan rangkaian listrik apabila terjadi ketidak normalan pada suatu sistem tanpa adanya kerusakan.

Pemutus tenaga merupakan salah satu piranti pengaman yang terpenting, karena hampir semua sinyal keluaran dari relai – relai pengaman ditujukan pada Pemutus Tenaga. Pemutus Tenaga terdiri atas kontak – kontak yang dialiri arus listrik atau lebih dikenal dengan elektroda. Pada kondisi normal elektroda – elektroda tersebut dalam kondisi terhubung, sebaliknya pada kondisi abnormal maka elektroda – elektroda akan terpisah dan memutuskan hubungan listrik dari satu sisi kesisi lainnya. Pada saat pemutusan, pada pemutusan tenaga akan terjadi busur api yang sangat besar. Busur api yang sangat besar ini apabila dibiarkan saja akan mengakibatkan kerusakan, baik pada

pemutus tenaga sendiri maupun pada sistem secara keseluruhan. Masalah terpenting pada pemutus tenaga adalah bagaimana menghilangkan busur api dengan segera sebelum busur api mencapai satu harga yang membahayakan.

### **Syarat – Syarat Pemutus Tenaga :**

1. Kemampuan menutup dan dialiri

Mampu menutup dan dialiri arus beban penuh dalam waktu lama.

2. Bekerja secara otomatis

Membuka secara otomatis untuk memutuskan beban atau lebih.

3. Bekerja cepat

Harus dapat memutuskan rangkaian dengan cepat, jika terjadi hubung singkat.

4. Tahan pada tegangan rangkaian

Celah (gap) yang ada harus tahan terhadap tahanan rangkaian bila kontak membuka.

5. Dapat dialiri arus hubung singkat

Mampu dialiri hubung singkat sampai gangguan hilang

6. Tahan terhadap situasi dan kondisi

Mampu menahan busur kontak, gaya elektro magnetik atau kondisi panas yang tinggi akibat hubung singkat.

### **Jenis – Jenis Pemutus Tenaga**

A. Pemutus Tenaga dengan media pemadam minyak (OCB)

B. Pemutus Tenaga dengan media pemadam udara (ACB)

C. Pemutus Tenaga dengan media pemadaman gas (SF<sub>6</sub>)

## A. Pemutus Tenaga Dengan Media Pemadaman Minyak (OCB)

Ada dua jenis PMT dengan media minyak, yaitu :

1. PMT dengan banyak penggunaan minyak (Bulk Oil Circuit Breaker). PMT ini secara umum digunakan pada sistem tenaga sampai dengan **245 KV**. Minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama pemutusan kontak – kontak dan sebagai bahan isolasi antara bagian – bagian yang bertegangan dengan badan.
2. PMT dengan sedikit menggunakan minyak (Low Oil Content Circuit Breaker). Pada PMT dengan sedikit menggunakan minyak ini, minyak hanya digunakan sebagai peredam loncatan bunga api. Sedangkan bahan isolasi dari bagian – bagian yang bertegangan digunakan porselin atau material isolasi dari jenis organik. Pemutus ini dimasukkan dengan tabung yang terbuat dari bahan isolasi. Diantara bagian pemutus dan tabung diisi minyak yang berfungsi untuk memadamkan busur api pada waktu pemutusan.

## B. Pemutus Tenaga Dengan Media Pemadam Udara (ACB)

Ada dua jenis PMT dengan media udara, yaitu :

1. PMT udara Hembus (Air Blast Circuit Breaker). Pada PMT udara hembus, udara bertekanan tinggi dihembuskan kebusur api melalui nozzle pada kontak pemisah ionisasi media diantara kontak dipadamkan oleh hembusan udara. Setelah pemadaman busur api dengan tegangan tinggi, udara ini juga berfungsi mencegah tegangan pukul. Kontak PMT ditempatkan di dalam isolator dan juga katup hembusan udara.

## 2. PMT dengan Hampa Udara (Vakum Circuit Breaker).

Kontak – kontak pemutus dari PMT ini terdiri atas kontak tetap dan kontak bergerak yang ditempatkan dalam ruang hampa udara. Ruang hampa udara ini mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi sehingga merupakan media pemadam busur api yang baik.

### C. Pemutus Tenaga Dengan Media Pemadam Gas (SF<sub>6</sub>)

Media gas yang digunakan pada tipe PMT ini adalah gas SF<sub>6</sub>, (Sulfur Heksafluorid). Sifat – sifat gas SF<sub>6</sub> murni ialah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar.

Pada temperatur diatas 150<sup>0</sup> C gas SF<sub>6</sub>, mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan macam – macam bahan umumnya digunakan pada pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi 2,35 kali udara dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, setelah bunga api melalui titik nol.

## II.3. SPESIFIKASI PERALATAN

### II.3.1. Spesifikasi Transformator Daya di Gargu Induk Denai

Gardu Induk Denai memakai transformator dengan merk **PAUWELS**.

Data – data transformator tersebut adalah sebagai berikut :

- Nomor Seri : 02P0037
- Tahun : 2002
- Standar : IEC 60076
- Instalasi : Luar Bangunan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)25/9/23

- Fasa : 3
- Frekwensi : 50 HZ
- Impedansi : 12,4 %
- Daya Pengenal : 60 MVA
- Tegangan Pengenal
  - Tegangan Tinggi : 150 KV
  - Tegangan Menengah : 20 KV
- Arus Pengenal
  - Arus Pengenal : 203,1 A
  - Arus Sekunder : 1732,1 A
- Jenis Pendingin : ONAN/ONAF
- Minyak Isolasi : SHELL DIALA B
- Kenaikan Suhu Belitan
  - Minyak : 50<sup>0</sup> C
  - Belitan : 55<sup>0</sup> C
- Berat
  - Jumlah : 101.500 Kg
  - Minyak : 23.100 Kg
  - Penutup Tangki : 63.600 Kg



### II.3.2. Spesifikasi Relai Arus Lebih Sisi 20 KV di Gardu Induk Denai

Tabel 2. 1.Data Relai Arus Lebih Yang Terpasang Di Gardu Induk Denai Sisi 20 KV.

Lokasi	Relai		Ratio CT	I <sub>Nom</sub>	I <sub>Set</sub>	I <sub>Prim</sub>	T <sub>d</sub>	I <sub>Inst</sub>
	Merk	No. Seri						
<b>Transformator Daya (60 MVA) PAUWELS</b>								
Incoming 20 KV	SEPAM 1000	036070. J	2000/5	5	2,50	1900	0,3	
DA - 1	MCGG52H	236076. J	800/5	5	2,50	400	0,10	35,00
DA - 2	MCGG52H	037065. J	800/5	5	2,50	400	0,10	35,00
DA - 3	MCGG52H	036077. J	800/5	5	3,25	400	0,10	35,00
DA - 4	MCGG52H	569256. J	600/5	5	3,25	390	0,10	35,00
DA - 5	MCGG52H	569263. J	600/5	5	3,25	390	0,10	52,00
DA - 6	MCGG52H	712248. D	600/5	5	3,25	390	0,10	19,50
Kope l Bus	MCGG52H	036078. J	600/5	-	-	-	-	-

### II.3.3. Spesifikasi Pemutus Tenaga Sisi 20 KV di Gardu Induk Denai

Tabel 2. 2.Data Pemutus Tenaga Yang Terpasang di Gardu Induk Denai Sisi 20 KV.

Nama Sirkuit	Merk	Media	Penggerak	Buatan	CT	$I_{max}$ (A)
Incoming 20 KV	Arya Sada	Vacum	Mekanik	Indonesia	2000/5	1900
Kopel Bus	Arya Sada	Vacum	Mekanik	Indonesia	800/5	400
DA - 1	Arya Sada	Vacum	Mekanik	Indonesia	800/5	400
DA - 2	Arya Sada	Vacum	Mekanik	Indonesia	800/5	400
DA - 3	Arya Sada	Vacum	Mekanik	Indonesia	600/5	390
DA - 4	Arya Sada	Vacum	Mekanik	Indonesia	600/5	390
DA - 5	Arya Sada	Vacum	Mekanik	Indonesia	600/5	390
DA - 6	Arya Sada	Vacum	Mekanik	Indonesia	600/5	390

## BAB III

### GANGGUAN TRANSFORMATOR DAYA

Dalam perencanaan relai pengaman untuk transformator daya terlebih dahulu harus mengetahui jenis gangguan dan penyebab gangguan yang dialami oleh transformator daya tersebut dalam operasinya pada suatu sistim tenaga. Selain itu perlu diketahui komponen utama dan komponen bantu dari transformator tersebut. Berdasarkan data komponen-komponen ini maka akan dijelaskan gangguan dan faktor-faktor penyebab gangguan pada transformator daya dalam operasinya.

#### III.1. Faktor-faktor penyebab gangguan external pada Transformator Daya.

Faktor-faktor penyebab gangguan pada operasi transformator daya dapat dikelompokkan berdasarkan komponen, yaitu :

1. Kerusakan yang diawali dengan kerusakan isolasi belitan kumparan akibat suatu pemanasan lebih. Panas ini dapat disebabkan arus lebih akibat hubung singkat dan beban lebih, juga dapat terjadi akibat tegangan dan frekwensi yang berubah-ubah.
2. Kerusakan susunan teras baja atau besi.

Biasanya kerusakan terjadi diawali dengan kerusakan isolasi laminasi dari teras baja atau teras besi tersebut, sehingga terjadi hubung singkat antar plat-plat dari teras tersebut yang menimbulkan panas lokal yang dapat merusak susunan dan klem dan baut teras tersebut. Kerusakan susunan teras tersebut dapat terjadi suatu waktu bila isolasi laminasi tegangan tembus (break down), dan bila terjadi embun akibat kelembapan yang tinggi dan kegagalan inti teras baja atau inti besi dari transformator. Disamping kegagalan di atas maka gangguan mekanis merupakan

faktor penyebab kerusakan struktur dari pada teras tersebut, misalnya gangguan dari lingkungan.

### 3. Gangguan Pada Terminal Panel.

Gangguan pada terminal panel dapat terjadi akibat terjadinya hubung singkat. Hubung singkat ini terjadi disebabkan karena kegagalan isolator ataupun akibat kesalahan dari operator.

### 4. Gangguan pada bushing.

Gangguan pada bushing antara lain dapat terjadi disebabkan karena umur dan kontaminasi dengan lingkungan akibat kelembapan yang tinggi dan hubung singkat yang disebabkan faktor lingkungan misalnya dengan binatang.

## III.2. Gangguan Hubung Singkat di Luar Transformator

Gangguan hubung singkat diluar transformator (external short circuit) dapat mengakibatkan kerusakan belitan kumparan transformator yang diakibatkan oleh arus hubung singkat yang relatif lebih besar dari arus nominalnya. Dalam kondisi seperti ini, maka relai pengaman harus dapat memutuskan rangkaian dengan segera.

Dalam studi gangguan hubung singkat untuk keperluan sistem pengamannya, maka perhatian banyak ditujukan pada kasus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah ( $I_f$  1 $\phi$  - T ). Hal ini disebabkan karena pada kasus hubung singkat satu fasa ketanah merupakan kasus yang sering terjadi.

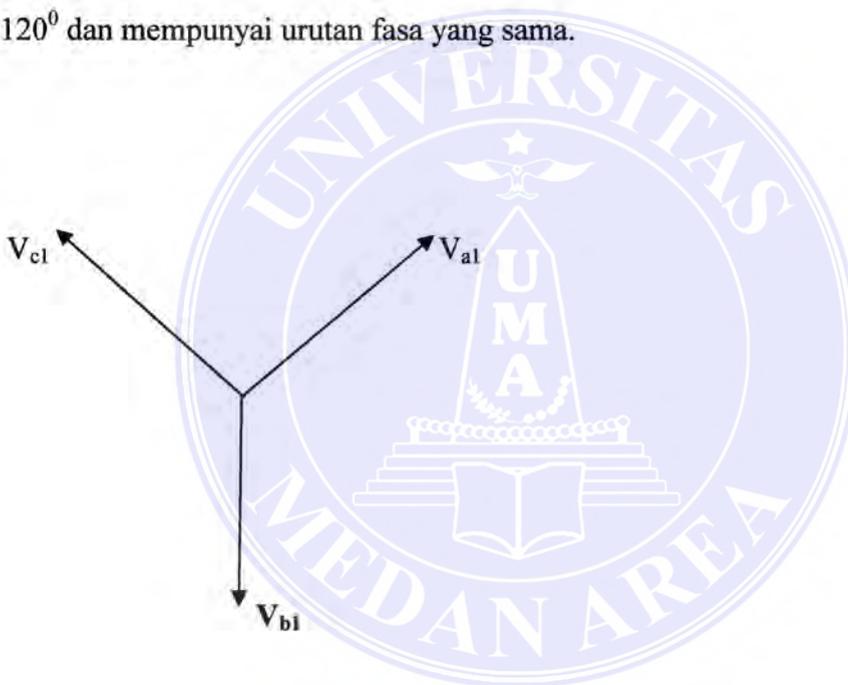
Untuk mendapatkan besarnya hubung singkat terlebih dahulu menganalisa kasus hubung singkat tersebut agar mempermudah dalam perhitungannya. Hasil perhitungan arus lebih akibat hubung singkat tersebut merupakan petunjuk dalam pemilihan pengaman gangguan serta setting relai pengamannya.

Untuk dapat menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, ada beberapa komponen yang perlu dibahas yaitu:

- Komponen Urutan Positif
- Komponen Urutan Negatif
- Komponen Urutan Nol

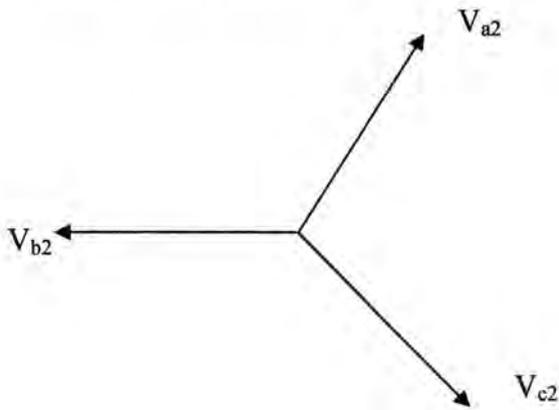
### 1. Komponen Urutan Positif ( $V_{a1}$ , $V_{b1}$ , $V_{c1}$ )

Komponen Urutan Positif terdiri dari tiga fasor yang sama, terpisah satu sama lain dalam fasa  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang sama.



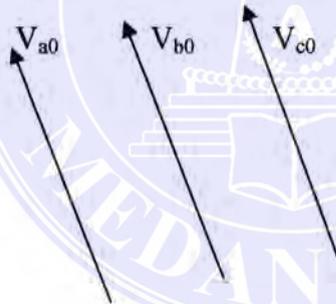
Gambar : 3.1. Komponen Urutan Positif.

**2. Komponen Urutan Negatif ( $V_{a2}, V_{b2}, V_{c2}$ )**



Gambar : 3.2. Komponen Urutan Negatif.

**3. Komponen Urutan Nol ( $V_{a0}, V_{b0}, V_{c0}$ )**



Gambar : 3.3. Komponen Urutan Nol.

Jika komponen tegangan sesuai dengan fasor aslinya :

$$V_a = V_{a1}, V_{a2}, V_{a0} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V_b = V_{b1}, V_{b2}, V_{b0} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$V_c = V_{c1}, V_{c2}, V_{c0} \dots\dots\dots (3.3)$$

## Komponen Simetris Fasor Tak Simetris

Untuk menentukan bagaimana menguraikan tiga fasor tak simetris menjadi komponen simetrisnya :

$$V_{b1} = a^2 V_{a1} \quad V_{c1} = a V_{a1}$$

$$V_{b2} = a V_{a2} \quad V_{c2} = a^2 V_{a2}$$

$$V_{b0} = V_{a0} \quad V_{c0} = V_{a0}$$

Substitusi persamaan diatas kepersamaan 3.1,3.2, dan 3.3 :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{b0} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$V_c = a V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.7)$$

Jika :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad A^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dari persamaan 3.7 dan 3.8 :

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.9)$$

Menguraikan tiga fasor tak simetris menjadi komponen simetrisnya dari persamaan 3.9, diperoleh :

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \dots\dots\dots (3.10)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2 V_c) \dots\dots\dots (3.11)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \dots\dots\dots (3.12)$$

Dengan cara yang sama diperoleh hubungan persamaan arus :

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots (3.13)$$

$$I_b = a^2I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots (3.14)$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \dots\dots\dots (3.16)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2 I_c) \dots\dots\dots (3.17)$$

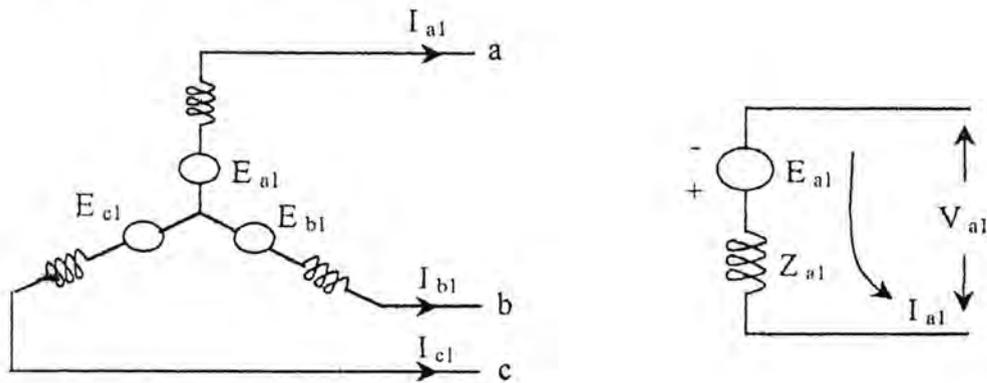
$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \dots\dots\dots (3.18)$$

### Impedansi Urutan

Rangkaian urutan merupakan ekivalen satu fasa yang terdiri dari impedansi-impedansi yang mengalirkan arus salah satu urutan saja,yaitu :

- A. Rangkaian Urutan Positif
- B. Rangkaian Urutan Negatif
- C. Rangkaian Urutan Nol

**A. Rangkaian Urutan Positif**

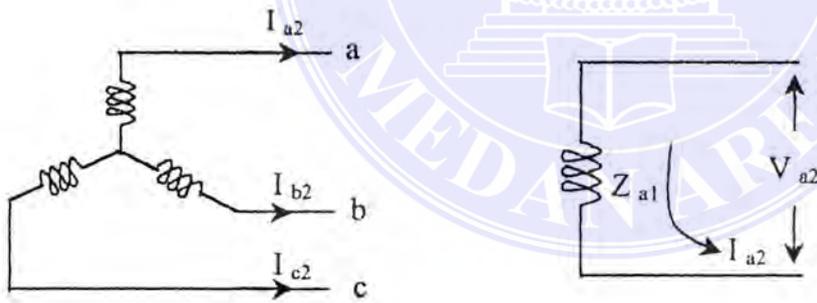


Gambar : 3.4. Rangkaian Urutan Positif

$$E_{a1} = V_{a1} + Z_{a1} \cdot I_{a1} \dots\dots\dots (3.19)$$

$$V_{a1} = E_{a1} - I_{a1} \cdot Z_{a1} \dots\dots\dots (3.20)$$

**B. Rangkaian Urutan Negatif**

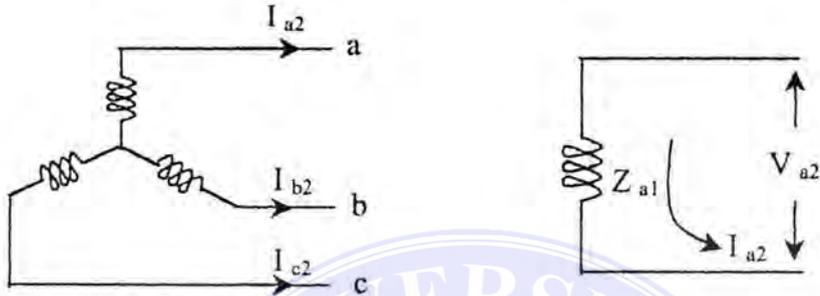


Gambar : 3.5. Rangkaian Urutan Negatif

Karena  $E_a = 0$ , maka :

$$V_{a2} = -I_{a2} \cdot Z_{a2} \dots\dots\dots (3.21)$$

**C. Rangkaian Urutan Nol**



Gambar :3.6. Rangkaian Urutan Nol

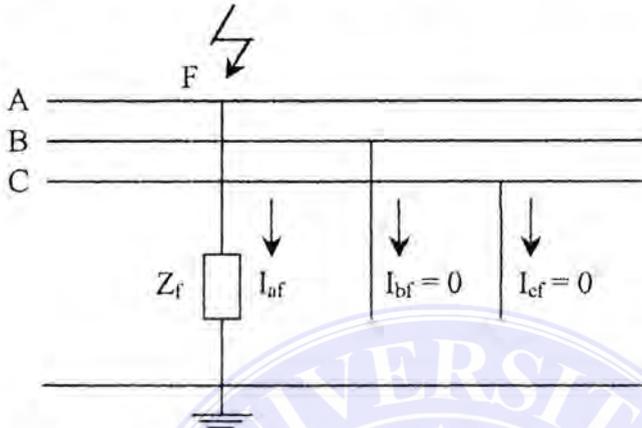
Komponen simetris drop tegangan urutan nol :

$$\begin{aligned} V_{a0} &= -3I_{a0} \cdot Z_n - I_{a0} \cdot Z_{g0} \dots\dots\dots (3.22) \\ &= I_{a0} (3Z_n + Z_{g0}) \end{aligned}$$

$$V_a = -I_{a0} \cdot Z_0 \dots\dots\dots (3.23)$$

### III.2.1. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketaanah (If 1 $\phi$ -T)

Umumnya gangguan satu fasa ketaanah pada saluran transmisi terjadi pada suatu penghantar jatuh ketaanah atau kontak atau kawat netral.



Gambar : 3.7. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketaanah (If  $\phi$ -T)

Substitusi persamaan untuk kondisi diatas persamaan 3.16, 3.17 dan 3.18 :

$$I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{I_a}{3}$$

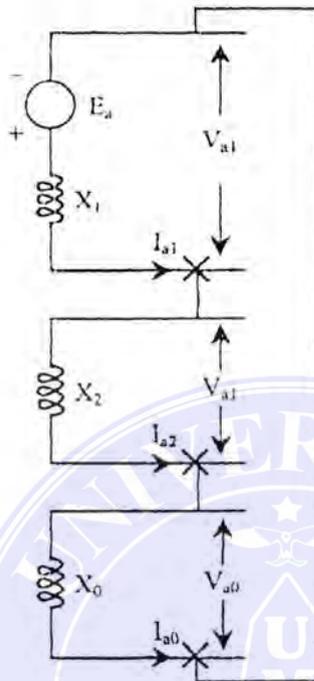
$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) = \frac{I_a}{3}$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) = \frac{I_a}{3}$$

Karena  $I_b$  dan  $I_c = 0$ , maka :

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{I_a}{3} \dots\dots\dots (3.24)$$

Dari persamaan (19) untuk menganalisa ( $I_{f1\phi-T}$ ), rangkaian urutan positif, urutan negatif dan urutan nol terhubung seri.



Gambar :3.8. Hubungan Antar Jaringan Urutan.

dari persamaan :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$0 = V_{a0} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_{a1} = -(V_{a2} + V_{a0})$$

Komponen Jatuh Tegangan :

$$V_{a1} = E_a - I_{a1} \cdot X_1 \quad \dots\dots\dots (3.25)$$

$$V_{a2} = -I_{a2} \cdot X_2$$

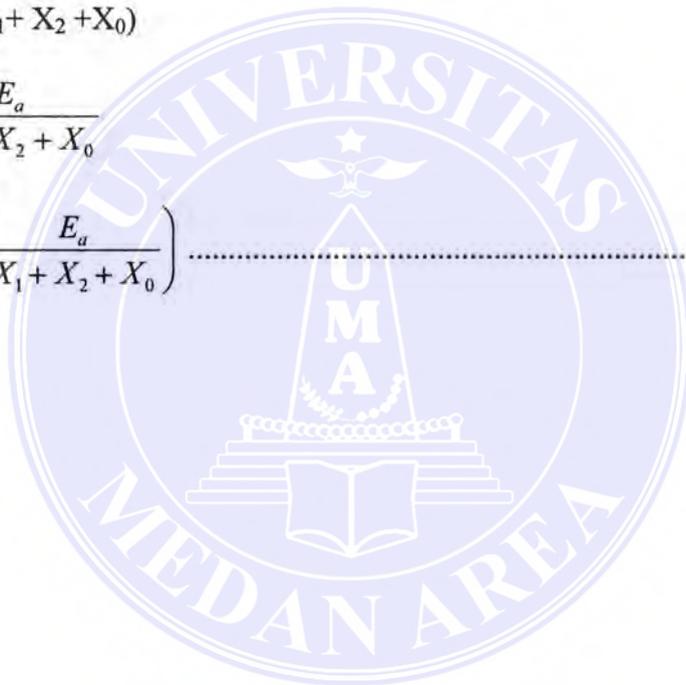
$$V_{a0} = -I_{a0} \cdot X_0$$

maka :

$$\begin{aligned}
 V_{a1} &= -(V_{a2} + V_{a0}) \\
 E_a - I_{a1} \cdot X_1 &= -I_{a2} \cdot X_2 + I_{a0} \cdot X_0 \\
 E_a &= I_{a1} \cdot X_1 + I_{a2} \cdot X_2 + I_{a0} \cdot X_0 \dots\dots\dots (3.26)
 \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned}
 I_{a1} &= I_{a2} = I_{a0} \\
 E_a &= I_{a1} \cdot X_1 + I_{a2} \cdot X_2 + I_{a0} \cdot X_0 \\
 E_a &= I_{a1} (X_1 + X_2 + X_0) \\
 I_{a1} &= \frac{E_a}{X_1 + X_2 + X_0} \\
 I_f 1\phi-T &= \left( \frac{E_a}{X_1 + X_2 + X_0} \right) \dots\dots\dots (3.27)
 \end{aligned}$$



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1. Kesimpulan

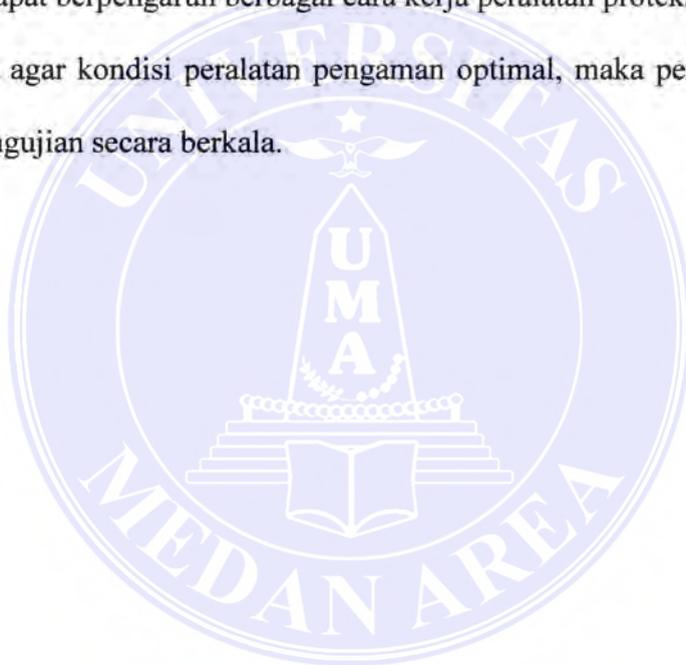
Dari pembahasan yang dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Relai arus lebih adalah suatu relai yang digunakan transformator daya yang bekerja berdasarkan adanya arus lebih yang terjadi akibat gangguan hubung singkat ataupun akibat beban lebih.
2. Dari analisa perhitungan berdasarkan data – data yang ada, bahwa trafo daya 60 MVA ; 150 / 20 KV ;  $I_{\text{Primer}} : 231 \text{ A}$ ,  $I_{\text{Sekunder}} : 1732,1 \text{ A}$ , jika terjadi gangguan satu fasa ketanah, maka mengakibatkan arus yang besar yang mencapai 13.908 A. Dengan ratio CT : 2000/5, waktu yang diperlukan relai arus lebih untuk memutuskan CB adalah sebesar 0,3 detik.
3. Waktu yang diperlukan arus lebih untuk memutuskan CB ini dipengaruhi oleh besarnya arus beban dan ratio CT yang terpasang.

## V.2.Saran

Untuk menjaga agar sistem kerja peralatan pengaman agar tetap optimal, maka perlu diperhatikan hal – hal sebagai berikut :

1. Pemeliharaan peralatan yang terpadu disesuaikan pada kondisi yang ada.
2. Pembebanan peralatan sebaiknya disesuaikan dengan perkembangan beban dan cuaca.
3. Pada ruangan peralatan proteksi sebaiknya udara dijaga agar tidak melebihi dari  $40^{\circ}$  C karena dapat berpengaruh berbagai cara kerja peralatan proteksi.
4. Untuk menjaga agar kondisi peralatan pengaman optimal, maka perlu dilakukan pengujian – pengujian secara berkala.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Kadir, A, Prof, Ir, **“Transformator”** PTELEX Media Kompotindo Kelompok Jramedi, Jakarta.
2. L. Tobing, Bonggas, **“Peralatan Tegangan Tinggi”** PT, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 2003.
3. Moore H. Arthur And Elonka M. Sthepen, **“Electrical System And Equement For Industry”** New York.
4. Service Manual MCGG Opercurren Relay For Fase And Earth Faulth.
5. Titarenko M And Noscov Dulenscy I, **Protective Relaying In Electric Power Systems”** Moscow.
6. Stevenson, JR William D, **“ Analisa Sistem Tenaga”** Edisi ke Empat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
7. Zuhail, **“Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya”** PT, Gramedia Pustaka, Jakarta.