

KEJENUHAN TRANSFORMATOR ARUS

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana**

Oleh :

**MUHAMMAD FAZHAR WAHID
NIM. 05.812.0019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2010**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/9/23

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)14/9/23



ABSTRAK

Salah satu problem yang timbul dalam pengoperasian transformator arus pada sebuah gardu induk adalah terjadinya gangguan atau kesalahan pada sistem tenaga listrik. Gangguan ini dapat menyebabkan kerugian bukan hanya pada peralatan transformator, tetapi juga kerugian yang besar bagi para pemakai jasa tenaga listrik.

Pada tugas akhir ini, penulis mencoba mengangkat fenomena kejenuhan pada transformator arus yang notabene berpengaruh pada efisiensi kinerja sistem tenaga listrik pada Gardu Induk PLTG Glugur Medan. Pembahasan dikemukakan terbatas pada hasil pengujian lengkung kemagnetan dan pengujian injeksi primer dan sekunder.

DAFTAR ISI

halaman

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Metode Penulisan	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II : TEORI TRANSFORMATOR	5
2.1. Tinjauan Umum	5
2.2. Induksi Elektromagnetik	6
2.3. Persamaan Gaya Gerak Listrik Transformator	7
2.4. Transformator Berbeban	13
BAB III : TRANSFORMATOR ARUS DAN PENGGUNAANNYA	16
3.1. Umum	16

UNIVERSITAS MEDAN AREA

3.2. Penggolongan Ketelitian

Document Accepted 14/9/23

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

3.3. Pemakaian Trafo Arus untuk Pengukuran dan Pengamanan.	21
3.4. Beban Transformator Arus dan Kejenuhan	23
3.5. Arti Kejenuhan pada Penggunaan Relai Pengaman	23
3.6. Hal-hal Guna Menghindari Kejenuhan	24
BAB IV : PENGUJIAN TRANSFORMATOR ARUS	25
4.1. Tujuan Pengujian	25
4.2. Pengujian Lengkung Kemagnetan.....	25
4.2.1. Data-data Transformator Arus	26
4.2.2. Rangkaian Pengujian	27
4.2.3. Prosedur Pengujian	27
4.2.4. Data Hasil Pengujian	28
4.2.5. Kesimpulan Pengujian	30
4.3. Pengujian Perbandingan Arus Primer dan Arus Sekunder	31
4.3.1. Rangkaian Pengujian	31
4.3.2. Prosedur Pengujian	32
4.3.3. Data Hasil Pengujian	32
4.3.4. Karakteristik	33
4.3.5. Kesimpulan Pengujian	33
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1. Kesimpulan	35
5.2. Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) Glugur merupakan salah satu pembangkitan sistem kelistrikan bertenaga gas yang dimiliki oleh PT PLN (Persero) Pembangkitan Sumatera Bagian Utara. PLTG Glugur ini dibangun untuk meningkatkan keandalan dan keamanan pasokan listrik bagi masyarakat di wilayah Sumatera Utara. PLTG yang pernah mendapat ISO 14001:2004 ini memiliki tiga unit mesin pembangkit.



Gambar 1.1. Halaman Depan PLTG Glugur Medan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/9/23

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

Transformator merupakan instrumen listrik utama yang digunakan di suatu pembangkit listrik. Karena transformator merupakan perangkat listrik yang digunakan untuk mengubah tegangan atau arus listrik bolak-balik dengan *magnitude* tertentu menjadi tegangan atau arus listrik dengan *magnitude* yang lebih besar atau lebih kecil. Karena daya yang ditransmisikan pada sistem sebanding dengan tegangan dikalikan arus, akibatnya arus akan berubah menjadi besar atau kecil tergantung pada perubahan tegangan yang diinginkan.

Pada sistem tenaga listrik, bagaimanapun baiknya perencanaan atau rancangan dari sistem tersebut, terjadinya gangguan dan kesalahan tidak dapat dihindarkan. Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan adalah dengan melakukan perawatan dan pengujian yang baik secara berkala. Jadi, masalah pengujian terhadap transformator sangat erat hubungannya dengan masalah stabilitas, kontinuitas, maupun keandalan sistem.

1.2. Tujuan

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan dan kesalahan pada suatu sistem tenaga listrik.
2. Meminimalisir dampak jika terjadi gangguan dan kesalahan
3. Mengetahui sekaligus memilih trafo arus yang ideal diinginkan pada suatu sel gardu induk.

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan tugas akhir ini tidak meluas maka penulis perlu

UNIVERSITAS MEDAN AREA
 membuat batasan-batasan masalah, yaitu:

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/9/23

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)14/9/23

1. Pengujian yang dilakukan adalah dengan menggunakan injeksi primer dan sekunder.
2. Pembahasan hanya pada masalah kejenuhan transformator arus dilihat dari hasil pengujian dan pengujian dilakukan pada bagian instalasi tenaga listrik.
3. Trafo arus yang diuji adalah pada sel Gardu Induk di Glugur pada sisi 20 KV.

1.4. Metode Penulisan

Metode penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Survey Lapangan

Survey lapangan telah dilakukan pada Gardu Induk PLTG Glugur Medan guna mendapatkan spesifikasi *CT* / trafo arus.

2. Studi Literatur

Berupa studi kepustakaan dan kajian dari buku-buku yang mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

3. Diskusi

Berupa tanya jawab dengan dosen pembimbing dan teman-teman mahasiswa yang lain mengenai pengujian yang dibahas.

1.5. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir sistematika penulisannya meliputi beberapa bab yang masing-masing babnya terdiri atas sejumlah sub bab.

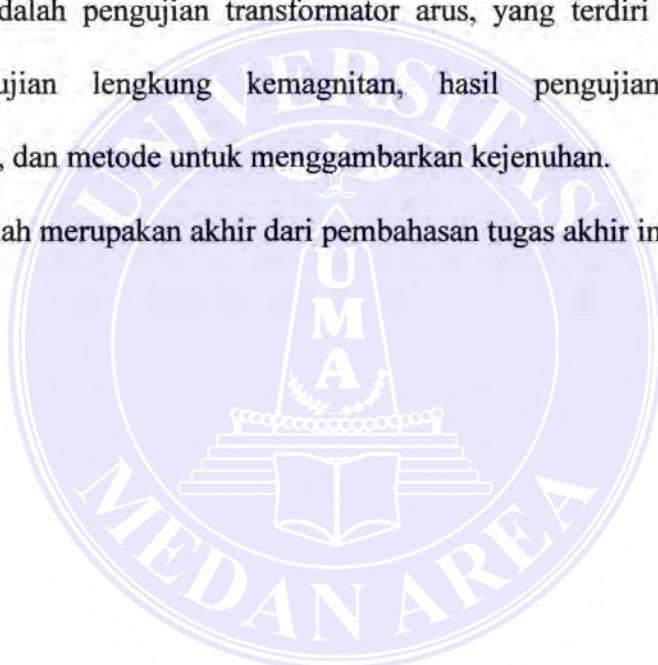
Bab I, merupakan pendahuluan yang berisikan latar belakang, tujuan, batasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II, adalah teori transformator, yang terdiri dari: umum, induksi dan pengamanan, beban tranformator arus dan kejenuhan, arti dari kejenuhan pada penggunaan relai pengaman serta hal-hal guna menghindari kejenuhan.

Bab III, adalah transformator arus dan penggunaannya, yang terdiri dari: umum, penggolongan penelitian, pemakaian trafo arus untuk pengukuran dan pengamanan, beban transformator arus dan kejenuhan, arti dari kejenuhan pada penggunaan relai pengaman, dan hal-hal untuk menghindari kejenuhan.

Bab IV, adalah pengujian transformator arus, yang terdiri dari: tujuan pengujian, pengujian lengkung kemagnitan, hasil pengujian, data-data transformator arus, dan metode untuk menggambarkan kejenuhan.

Bab V adalah merupakan akhir dari pembahasan tugas akhir ini.



BAB II

TEORI TRANSFORMATOR

2.1. Tinjauan Umum

Transformator adalah alat listrik yang statis yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik pada satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui gandengan magnet. Transformator dapat menaikkan dan menurunkan tegangan di dalam suatu rangkaian tetapi dengan melalui pengurangan atau penambahan arus listrik. Kerja transformator berdasarkan induksi elektromagnet di antara rangkaian primer (pertama) dan rangkaian sekunder (kedua) yang dihubungkan dengan sebuah fluksi magnet.

Pada bentuknya yang sederhana transformator terdiri dari dua kumparan induktif yang terpisah secara listrik, tetapi secara magnet berhubungan melalui jalur yang memiliki tahanan magnet yang kecil.

Kedua kumparan tersebut mempunyai induksi bersama. Kalau satu kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka akan terjadi suatu fluksi yang berubah-ubah di dalam inti besi yang berlapis. Pada umumnya dihubungkan dengan kumparan yang lain dan menghasilkan induksi bersama gaya gerak listrik.

Jadi, transformator adalah suatu alat yang:

- Mentransmisikan daya listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian yang lain.
- Mengubah variabel listrik tanpa perubahan frekuensi melalui proses induksi

magnet
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

• Kedua rangkaian listriknya saling mempengaruhi di dalam induksi bersama.

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

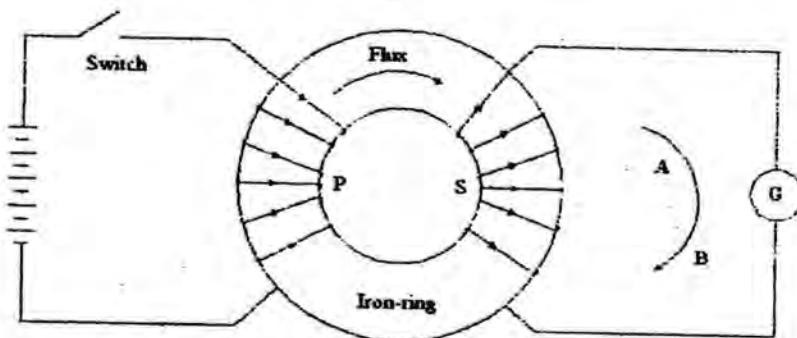
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

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

Transformator digunakan baik dalam bidang tenaga listrik maupun di bidang elektronika. Dalam penggunaan bidang tenaga listrik dipilih tegangan yang sesuai serta ekonomis tergantung kebutuhan, misalnya untuk tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang elektronika digunakan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban, memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain, dan menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antar rangkaian.

2.2. Induksi Elektromagnetik

Michael Faraday telah melakukan percobaan untuk membuktikan bahwa adanya kemungkinan untuk menghasilkan arus listrik dari medan magnet. Terlihat pada gambar 2.1. alat Faraday yang terdiri dari cincin dari besi lunak yang dibelit dua kumparan kawat tembaga terisolasi, P dan S. Dengan menutup dan membuka kontak yang menghubungkan baterai dengan kumparan P, galvanometer G yang dihubungkan dengan kumparan S akan memperlihatkan perubahan arah yaitu ke arah yang lain waktu menutup, dan sebaliknya waktu membuka. Selama arus melalui kumparan P tetap konstan, tidak ada arus yang diinduksikan pada kumparan S.



Gambar 2.1. Percobaan Faraday

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/9/23

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

Pada bentuknya yang sederhana, transformator terdiri dari sebuah inti dengan mempunyai dua kumparan yang diisolasikan baik terhadap intinya maupun satu terhadap yang lainnya.

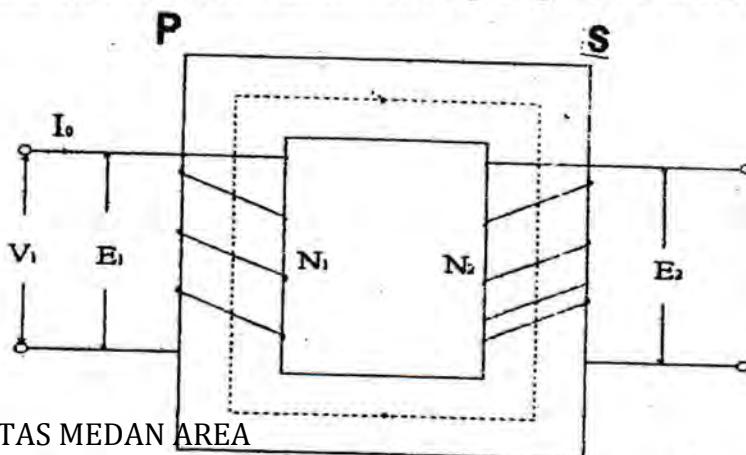
Salah satu dari kumparan dapat berfungsi sebagai primer (pertama) yang dihubungkan dengan sumber dan sekunder (kedua) yang dihubungkan dengan penerima atau yang menyalurkan energi terhadap beban.

Arus bolak-balik yang melalui kumparan pertama menimbulkan fluksi magnetik bolak-balik yang menghubungkannya dengan kumparan kedua dan menginduksikan gaya gerak listrik pada sekunder. Gaya gerak listrik induksi pada kumparan kedua menjadi bolak-balik karena medan magnet sebelumnya juga bolak-balik, pada frekwensi yang sama dengan arus dari kumparan pertama. Medan magnet bolak-balik tersebut memotong kedua kumparan sehingga pada kumparan pertama juga terdapat gaya gerak listrik induksi.

Besar induksi gaya gerak listrik masing-masing kumparan tergantung dari frekuensi, jumlah lilitan tiap kumparan, dan fluksi magnetik dalam inti.

2.3. Persamaan Gaya Gerak Listrik Sebuah Transformator

Dimisalkan konstruksi transformator seperti gambar 2.2. di bawah ini:



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Gambar 2.2. Konstruksi Transformator Tanpa Beban

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

Terdapat fluksi yang berhubungan dengan S, dampak tersebut adalah sama seperti garis-garis gaya masuk ke dalam inti besi dari luar yang jumlahnya sama seperti pergerakan relatif dari kawat keluar melalui garis-garis gaya. Hukum tangan kanan menyatakan bahwa gaya gerak listrik dan arus yang berhubungan dengannya akan diinduksikan pada kawat-kawat dalam arah seperti anak panah.

Saat kontak dibuka, arus pada kumparan P pun berkurang, fluksi magnetik jatuh; yang sama dengan pergerakan keluar dari garis-garis gaya melalui kawat. Dengan demikian arus dan gaya gerak listrik dalam kumparan S berubah arah.

Perlu dicatat jika arus pada P bertambah, arus induksi pada S menghasilkan fluksi yang berlawanan arah dengan arah jarum jam dalam inti besi guna melawan fluksi induksi tersebut. Ini sesuai dengan hukum Lenz yang menyatakan bahwa arus yang diinduksikan selalu melawan aksi yang menghasilkannya.

Dengan jatuhnya medan magnet yang terjadi waktu kontak tersebut, secara otomatis mengubah arah arus dalam kumparan S guna mempertahankan fluksi pada arah semula.

Pembentukan gaya gerak listrik dan arus pada kumparan S kelihatan sebagai perubahan fluksi magnetik yang berhubungan dengannya, karena eksitasi yang dihasilkan oleh perubahan arus dalam kumparan P. Oleh karena itu, daya yang dikirimkan dari primer (pertama) ke sekunder (kedua) melalui pertolongan fluksi magnetik yang menghubungkan keduanya. Agar pengiriman daya kontinu kumparan pertama harus diberi catu gaya gerak listrik dan arus bolak-balik secara berkala. Sehingga frekuensi bolak-balik dari kumparan kedua akan sama dengan

UNIVERSITAS MEDAN AREA
kumparan pertama.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/9/23

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)14/9/23

Percobaan Faraday merupakan perintis adanya pemakaian transformator bolak-balik, yang kadang dinamakan juga dengan transformator statis karena tidak ada alat-alat yang bergerak.

Pada gambar 2.2, N_1 adalah jumlah lilitan kumparan pertama dan N_2 adalah jumlah lilitan kumparan kedua. Sisi sekunder (kedua) dalam keadaan tanpa beban atau terbuka sehingga tidak ada arus yang mengalir pada sisi ini. Dalam kondisi ini transformator menjadi kumparan reaktansi saja. Arus I_0 yang terjadi pada sisi pertama karena tegangan V_1 dinyatakan dengan impedansi pada kumparan pertama.

Jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 bolak-balik dengan frekwensi f Hz, akan mengalir arus I_0 dan menimbulkan fluksi pada inti sebanding dengan gaya gerak listrik yang menahaskannya. Dengan kata lain intinya tidak jenuh dan permeabilitas dari bahan magnetik rangkaian konstan. Semua fluksi yang dibangkitkan oleh arus primer tinggal pada inti dan karenanya menghubungkan semua lilitan pada kedua kumparan.

Seandainya tahanan primer nol, maka arus primer akan naik tanpa batas dan perlu diingat bahwa jika arus menaik dari harga nol, mula-mula fluksi Φ akan naik berbanding lurus. Karena bolak-balik, akan menginduksikan gaya gerak listrik pada primer yang melawan kenaikan arus sesuai dengan hukum Lenz dan oleh sebab itu berlawanan dengan V_1 .

Tadi dimisalkan bahwa tahanan primer adalah nol sehingga tegangan jatuh pada primer adalah nol. Akibatnya pada kumparan primer terjadi dua buah gaya listrik yang sama besar tapi berlawanan arah. Gaya gerak listrik tersebut bolak-

balik sebab tegangan catu bolak-balik secara harmonis terhadap waktu. Ini sebaliknya membutuhkan fluksi yang harmonis.

Fluksi pada setiap t harga sesaatnya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Phi_t = \Phi_{maks} \sin \omega t \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

Φ_t = fluksi magnet pada saat t (weber)

Φ_{maks} = fluksi magnet maksimum (weber)

ω = frekuensi sudut (Hz)

t = waktu (detik)

Nilai sesaat dari gaya gerak listrik induksi pada N_1 adalah:

$$\begin{aligned} E_1 &= -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \\ &= -N_1 \frac{d(\Phi_{maks} \sin \omega t)}{dt} \\ &= -N_1 \omega \Phi_{maks} \cos \omega t \\ E_1 &= -2\pi f N_1 \Phi_{maks} \cos \omega t \dots\dots\dots (2.2) \end{aligned}$$

di mana tegangan induksi E_1 tertinggal 90^0 dari fluksi yang sinusoidal.

Harga maksimum gaya gerak listrik:

$$E_{1m} = 2\pi f N_1 \Phi_{maks} \dots\dots\dots (2.3)$$

Sedangkan harga efektifnya:

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi f \Phi_{maks}}{\sqrt{2}}$$

Pada rangkaian sekunder, fluksi bersama tadi menimbulkan:

$$E_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$= -2\pi f N_2 \Phi_{maks} \cos \omega t \dots\dots\dots (2.4)$$

$$E_2 = V_2 = 4,44f N_2 \Phi_{maks} \dots\dots\dots (2.5)$$

Perbandingan transformasi, dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluksi bocor:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4,44 f N_1 \Phi_{maks}}{4,44 f N_2 \Phi_{maks}}$$

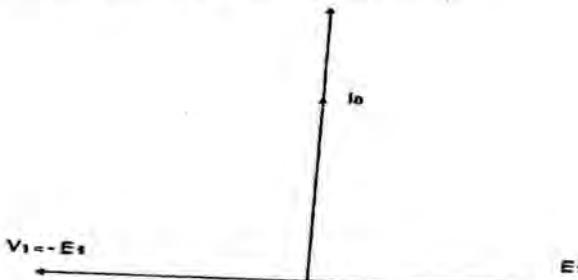
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Pada transformator ideal tanpa beban, $V_1 = E_1$ dan $V_2 = E_2$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan a adalah perbandingan transformasi. Jika N_2 lebih besar dari N_1 dinamakan transformator *step-up* yang karakteristiknya menaikkan nilai tegangan primer. Dan jika N_2 lebih kecil dari N_1 merupakan transformator *step-down* yang mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan yang bernilai lebih rendah.

Dari persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 dapat dilihat bahwa E_1 tertinggal 90° dari Φ . Perhatikan gambar 2.3 di bawah ini:



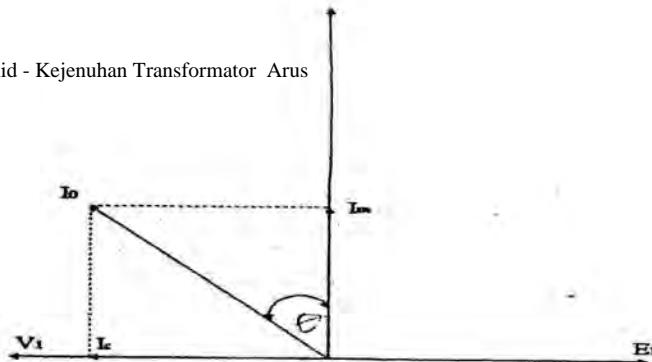
Tegangan induksi E_1 mempunyai besaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber V_1 .

Arus I_0 selalu berbanding lurus dengan fluksi yang dihasilkannya dan seharusnya sefasa dengan Φ_{maks} . Daya yang diberikan dari sumber $V_1 I_0 \cos 90^\circ$ adalah nol.

Asumsinya bahwa tidak ada rugi-rugi tahanan dan rugi-rugi besi dalam inti, sehingga transformator ideal pada keadaan tanpa beban adalah reaktansi murni dengan $X_0 = V_1 / I_0$.

Dimisalkan bahwa hubungan antara fluksi dan gaya gerak magnet adalah linier dan tidak terlalu buruk selama kerapatan fluksi pada inti kecil. Namun, jika kurva magnetisasi sudah mencapai pembelokan, permasalahan di atas tidak benar lagi. Pada keadaan ini jika fluksi bolak-balik seperti pada persamaan 2.1, tidak setiap saat arusnya berbanding dengan fluksinya (tidak sinusoidal). Akibatnya, arus yang bergambar tidak seperti gambar 2.3, tetapi masih dapat menggambarkan arus non-sinusoidal yang ekuivalen dan mempunyai harga efektif seperti arus yang terganggu tadi.

Dari gambar 2.3 dianggap bahwa tidak ada rugi-rugi histeresis dan arus Eddy dalam inti, tetapi rugi-rugi tersebut selalu ada dan untuk mengatasinya kumparan primer harus mencatu daya yang cukup. Ini berarti I_0 tidak tertinggal 90° dari V_1 , melainkan mendahului Φ_m dengan sudut α seperti gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4. Diagram Fasor Transformator Tanpa Beban

Pada gambar 2.4 dilihat bahwa I_0 mempunyai dua komponen:

- Komponen arus rugi besi I_c sefasa dengan V_1 merupakan daya yang hilang akibat adanya rugi-rugi histeresis dan arus Eddy.
- Komponen arus pemagnetan I_m yang menghasilkan fluksi Φ dan tegak lurus dengan V_1 . Karena sifat besi yang tidak linier (lihat gambar 2.5), maka I_m dan Φ tidak sinusoidal. Ini disebabkan oleh pengaruh gelombang selaras tertentu yang dikandung inti besi. Dari gambar terlihat ketiga gelombang selaras berpengaruh paling besar terhadap bentuk gelombang arus pemagnetan I_m .

2.4. Transformator Berbeban

Transformator ketika kumparan sekunder dalam keadaan berbeban (Z), maka akan terdapat arus sekunder I_2 pada kumparan sekunder, di mana:

$$I_2 = \frac{V_2}{Z}$$

Arus beban I_2 akan membangkitkan gaya gerak magnet sendiri $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluksi bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_m .

Pada kumparan primer akan mengalir arus I_2' dan dikenal dengan komponen beban arus primer yang berlawanan dengan I_2 .

Kenaikan gaya gerak magnet $N_1 I_2'$ membangkitkan Φ_2' (fluksi sendiri) yang berlawanan dengan Φ_2 yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , tetapi

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

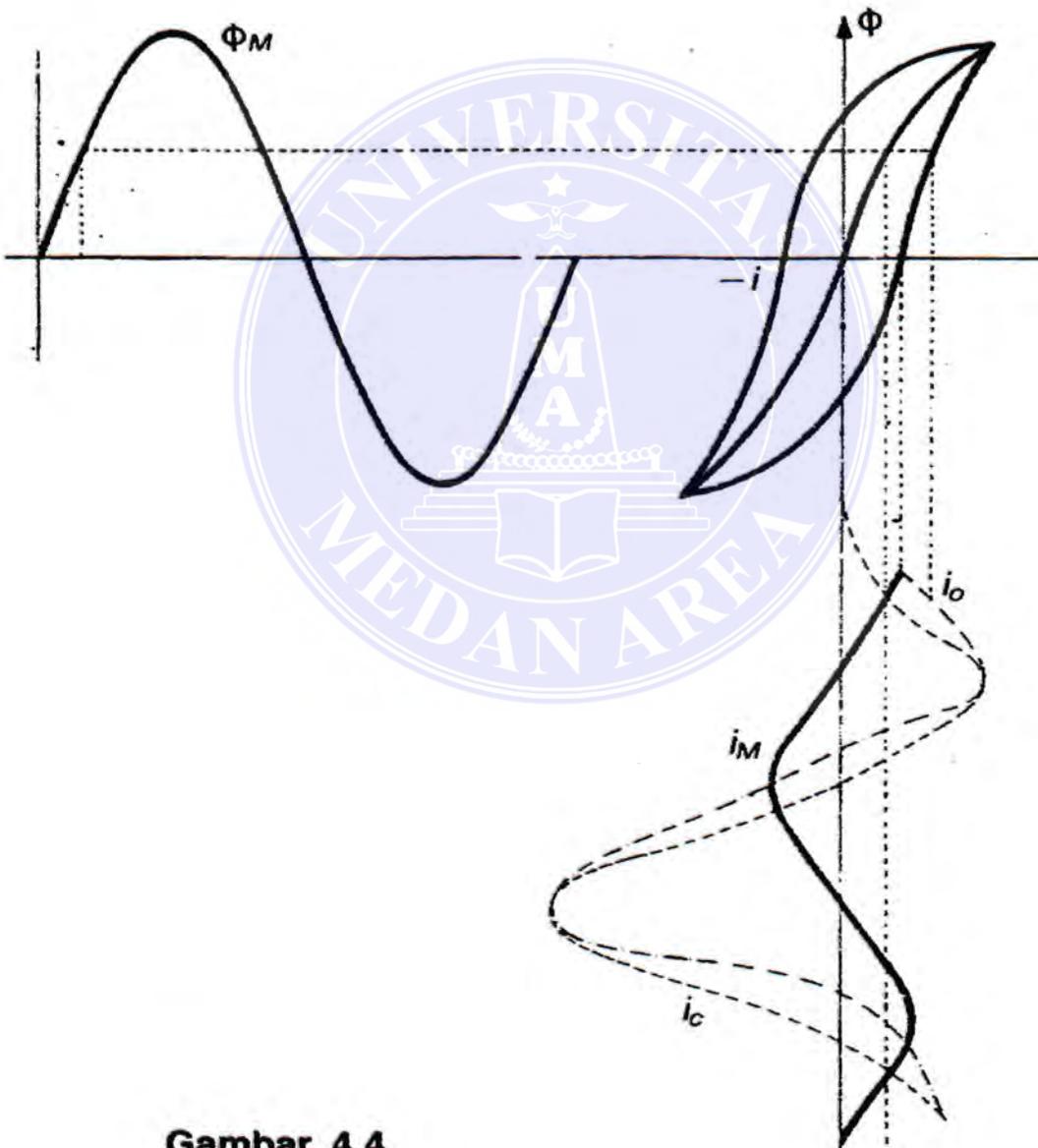
mempunyai besar yang sama. Akibatnya secara keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer:

$$I_1 = I_0 + I_2$$

Jika dianggap bahwa rugi besi diabaikan, maka $I_0 = I_m$

$$I_1 = I_m + I_2'$$

Lihat gambar 2.5 dibawah ini:



Gambar 4.4

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Gambar 2.5. Hubungan Kurva B-H dengan Kurva Fluksi

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

Document Accepted 14/9/23

Access From (repository.uma.ac.id)14/9/23

Untuk menjaga fluksi tetap tidak sebesar gaya gerak magnet yang dihasilkan oleh arus I_m saja, maka berlaku hubungan sebagai berikut:

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

$$N_1 I_1 = N_1 (I_m + I_2') - N_2 I_2$$

$$N_1 I_2' = N_2 I_2$$

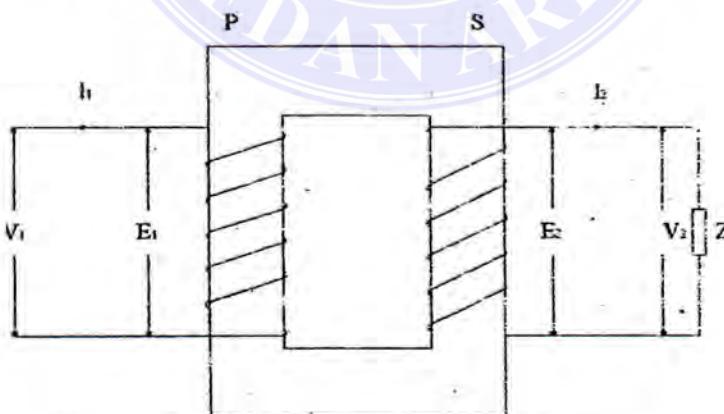
Harga I_m dianggap kecil maka $I_2' = I_1$, sehingga:

$$N_2 I_2 = N_1 I_1$$

atau:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = a \dots\dots\dots (2.7)$$

Persamaan 2.7. menunjukkan pada kondisi beban penuh perbandingan arus primer dan arus sekunder adalah konstan. Hubungan yang penting ini dibuat sebagai dasar dari transformator arus yang mana transformator ini digunakan untuk mengukur arus dalam rangkaian di mana hubungan langsung dari *Amperemeter* tidak dapat digunakan



Gambar 2.6. Konstruksi Transformator Berbeban

BAB III

TRANSFORMATOR ARUS DAN PENGGUNAANNYA

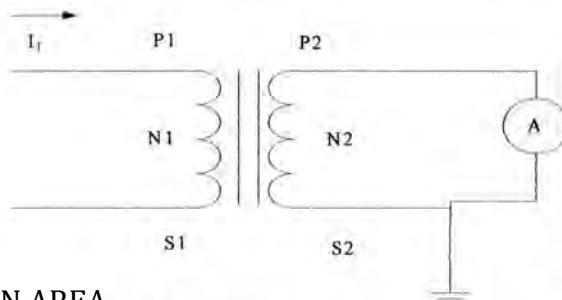
3. 1. Umum

Transformator arus merupakan transformator peralatan (instrumen) yang mampu mereproduksi dari sisi primer ke dalam arus di sisi sekunder pada tegangan yang tinggi tanpa mengalami kejenuhan.

Penggunaan transformator arus biasanya untuk pengukuran pengamanan peralatan listrik. Transformator arus digunakan untuk memperkecil kecil arus dan mengukur arus beban pada sistem tenaga listrik yang terlalu besar untuk diukur secara langsung. Dengan transformator ini maka arus beban yang besar dapat diukur hanya dengan menggunakan alat ukur (*ammeter*) yang tidak terlalu besar batas ukurnya. Selain daripada itu juga memisahkan secara listrik rangkaian sekunder dengan alat ukur dari sisi primer dengan tegangan tinggi.

Prinsip kerja transformator arus sama seperti transformator yang lainnya, tetapi transformator arus adalah "*constant current, series operated device*". Sedangkan untuk transformator lainnya "*constant voltage, shunt operated device*".

Penyajian dalam bentuk skema untuk transformator ini diperlihatkan pada gambar 3.1.:



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 14/9/23

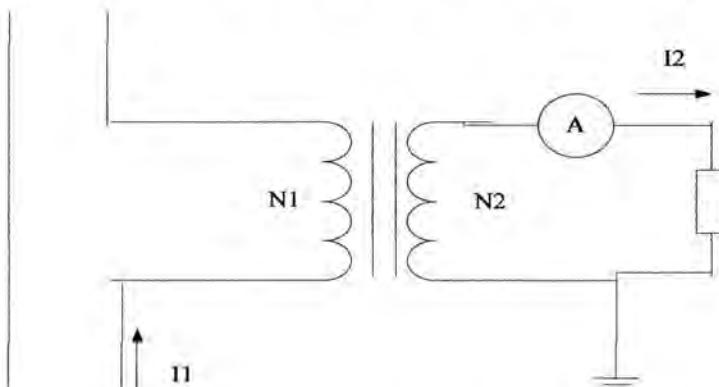
Gulungan primer biasanya terdiri dari suatu lilitan tunggal dan digambarkan oleh suatu garis lurus yang ditandai P_1 dan P_2 dan untuk sekunder ditandai dengan S_1 dan S_2 yang merupakan gulungan berlilitan banyak. Titik-titik yang ditempatkan pada terminal P_1 dan S_1 dari gulungan transformator arus mempunyai arti yang sama seperti pada transformator lainnya. Jika arus primer memasuki terminal P_1 arus yang meninggalkan terminal S_1 pada gulungan sekunder adalah sefasa dengan arus primer (jika arus magnetisasi diabaikan).

Transformator arus mempunyai batas arus nominal pada sisi sekunder 1 Ampere atau 5 Ampere. Daya nominal tergantung dari jenis transformator tersebut dan biasanya antara 5 sampai dengan 120 VA.

Jika arus beban I_1 akan dihitung, maka perbandingan transformator N_2N_1 dan pembacaan *amperemeter* (I_2) diketahui maka transformator dianggap ideal jika arus beban:

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \times I_2 \dots\dots\dots (3.1)$$

Pada transformator arus, untuk menjaga agar fluksi tetap tidak berubah, maka rangkaian sekunder tidak boleh dalam keadaan terbuka dan selalu hampir merupakan rangkaian hubung singkat. Lihat gambar di bawah ini.



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Gambar 3.2. Rangkaian Transformator Arus

Document Accepted 14/9/23

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)14/9/23

Jika hal ini terjadi (terlepas), gaya gerak magnetik N_2I_2 akan sama dengan nol (karena $I_2 = \text{nol}$), sedang untuk gaya gerak magnetik N_1I_1 tetap ada, tetapi merupakan arus magnetisasi yang akan menghasilkan fluksi terlalu besar sehingga fluksi normal akan terganggu.

Akibatnya:

- Terjadi perubahan magnetis inti
- Inti transformator menjadi terlalu panas
- Inti transformator menjadi jenuh
- Tegangan induksi yang besar pada sisi sekunder sangat membahayakan isolasi

Untuk melakukan penggantian alat ukur, maka terminal-terminal pada sisi sekunder harus dihubungsingkatkan dengan konduktor dan dibuka setelah dilakukan penggantian. Untuk alat-alat pengaman, pada sisi sekunder tidak boleh dilakukan pemasangan jika alat pengaman tersebut dapat membuka rangkaianya jika bekerja. Meter-meter yang tetap, *Wattmeter*, relai sesaat dan sebagainya harus dihubungkan secara tepat dalam sambungan ke fasa.

Sisi sekunder trafo arus biasanya dibumikan dengan maksud rangkaian dimatikan jika tegangan tinggi "masuk" ke sisi sekunder ini.

Kerja dari sebuah transformator arus dikatakan ideal jika rangkaian sekunder mempunyai impedansi yang rendah pada saat digunakan sebagai pengukuran atau dalam keadaan hubung singkat.

Untuk digunakan dengan relai pengaman, biasanya rangkaian tersebut memiliki harga reaktif yang cukup besar. Ini menyebabkan transformator arus tersebut memiliki muatan/beban Volt Ampere pada arus nominal. Misal,

UNIVERSITAS MEDAN AREA

transformator arus yang mempunyai kapasitas 15 Volt Ampere maka bebannya

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

adalah 15 Ohm pada arus nominal 1 A atau pada arus nominal 5 A bebannya adalah 0,6 Ohm (beban atau $S = V.I = I^2 Z$)

Beban dari transformator arus terbatas dan jika terlalu besar maka perbandingan arusnya akan tidak tepat. Perbandingan arusnya juga tidak tepat jika inti dari transformator arus pada keadaan hubung singkat di dalam sistem distribusi atau transmisi menjadi jenuh. Pada keadaan tersebut di atas, arus magnetisasi yang besar tidak dapat diabaikan lagi.

Transformator arus mempunyai kesalahan perbandingan yang pada beberapa jenis dapat dihitung dan untuk jenis lain yang tidak dapat dihitung sehingga ditentukan dengan pengujian. Kesalahan ini dapat cukup tinggi jika beban impedansinya terlalu besar. Dengan pemilihan transformator arus yang tepat terhadap muatannya kesalahan tersebut dapat ditolerir.

Adanya penempatan beban atau muatan impedansi besar menyebabkan kesalahan harga perbandingan dan kesalahan sudut. I_2 adalah $I_1 - I_0$, yang merupakan arus yang mengalir melalui beban, Z_b . Dan I_0 tergantung dari gaya medan listrik pada sisi sekunder.

Besar gaya gerak listrik E_2 , diperoleh dari persamaan dibawah ini:

$$E_2 = I_2 (Z_2 + Z_p) \dots\dots\dots (3.2)$$

Dan pada Z_0 impedansi penguatan.

dimana :

Z_2 = impedansi belitan sekunder dan hanya diperoleh sebagai komponen tahanan

$$R_2$$

Z_b = impedansi beban

UNIVERSITAS MEDAN AREA
 I_1 adalah arus primer yang tidak sefasa dengan sisi sekunder I_2

I_q = komponen I_0 dengan sudut 90° dengan I_2 dan merupakan kesalahan sudut atau merupakan perbedaan fasa antara I_1 dan I_2 (θ)

3.2. Penggolongan Ketelitian

Penggolongan dari transformator arus adalah merupakan penggolongan ketelitian. Penggolongan ketelitian yang ditentukan adalah merupakan batas yang diizinkan berupa persentase kesalahan gabungan paling tinggi saat pembatasan ketelitian arus primer.

Standar faktor batas ketelitian adalah:

5 - 10 - 15- 20 -30

Standar golongan ketelitian adalah:

5 P dan 10 P

Untuk golongan 5 P dan 10 P kesalahan arus, penentuan fasa dan kesalahan gabungan (saat frekuensi terukur) tidak boleh melebihi harga yang diberikan dalam tabel 3.1, Ketika beban sekunder adalah 100% dari beban terukur. Walaupun beban transformator arus hanya beberapa VA saat arus terukur, keluaran (*output*) yang dikehendaki bisa lebih besar jika faktor batas yang tepat adalah besar.

Batas untuk kesalahan dengan maksud percobaan, ketika kesalahan arus tertentu dan penempatan fasa, beban harus memiliki faktor daya 0,8 *lagging*, kecuali ketika beban kurang dari 5 VA faktor daya yang diizinkan adalah 1,0.

Pada transformator arus diinginkan kesalahan yang sekecil mungkin. Yang dimaksud kesalahan di sini adalah kesalahan perbandingan dan kesalahan sudut.

Batas kesalahan dinyatakan dengan persentase seperti yang diberikan menurut

$$\text{Kesalahan arus} = \frac{k_n I_2 - I_1}{I_1} \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana:

k_n = harga perbandingan transformasi

I_1 = arus primer

I_2 = arus sekunder jika I_1 dialirkan di bawah kondisi dari pengukuran

Tabel 3.1. Batas Kesalahan bagi Ketelitian Golongan 5 P dan 10 P

Golongan	Kesalahan arus pada arus primer yang diukur (persen)	Pergeseran fasa pada arus yang diukur (menit)	Kesalahan gabungan pada arus primer yang diukur dengan pembatasan kesalahan (persen)
5 P	± 11	± 60	5
10 P	± 3		10

3.3. Pemakaian Transformator Arus untuk Pengukuran dan Pengamanan

Transformator arus biasa digunakan juga untuk kerja ganda berupa pengukuran dan pengamanan. Dan inilah menjadi dasar pada pemilihan golongan yang dapat dilihat dari tabel 3.2. dan tabel 3.3.

Penggunaan beban adalah total seluruhnya daripada peralatan dan beban relai. Perubahan yang terjadi mungkin dibutuhkan untuk mencapai kerja pengukuran.

Pengukuran yang seimbang dapat disajikan dalam bentuk dari keseimbangan batas beban dan golongannya, sebagai contoh 15 VA golongan 0,5.

Pengamanan yang seimbang disajikan dalam bentuk batas beban yang disesuaikan golongan dan ketelitian faktor batas. Contoh 10 VA golongan 10 P

Pada pemakaian rangkap ini, jika terjadi kelebihan arus yang tinggi akan mengakibatkan kejenuhan pada kelebihan arus yang drastis sehingga ketepatan untuk menggambarkan pengukuran di peralatan yang disebabkan kelebihan arus tersebut tidak diperoleh.

Transformator arus untuk pemakaian rangkap sering mengalami kesulitan, sebab yang diutamakan untuk maksud pengukuran dan pengamanan adalah faktor batas ketelitian yang tinggi dari tiap tujuan dari masing-masing peralatan. Jadi, penggunaan untuk maksud rangkap dapat ditentukan oleh pengadaaan hasil dari maksud rangkap tersebut. Yakni, faktor perencanaannya dan kapasitas peralatan pada keadaan arus hubung singkat.

Transformator arus untuk maksud rangkap tersebut akan menghasilkan bentuk pengukuran dan batas keamanan. Jadi, jika digunakan yang kemungkinan bersamaan, perbandingan beban untuk pengukuran dan pengamanan yang dihubungkan seluruhnya, tidak boleh lebih rendah dari perbandingan dua beban.

Tabel 3.2. Batas Kesalahan bagi Ketelitian Golongan 0,1 sampai 1

Golongan	\pm Persentase kesalahan arus terhadap persentase nilai arus yang ditunjukkan			\pm Pergeseran fasa terhadap persentase arus yang ditunjukkan		
	$10 \leq x < 20$	$20 \leq x < 100$	$100 \leq x \leq 120$	$10 \leq x < 20$	$20 \leq x < 100$	$100 \leq x \leq 120$
0,1	0,25	0,2	0,1	10	8	5
0,2	0,5	0,35	0,2	20	15	10
0,5	1	0,75	0,5	60	45	30
1	2	1,5	1	120	90	60

3. 4. Beban Transformator Arus dan Kejenuhan

Transformator arus bukanlah penghantar ideal dan kejenuhan dapat mempengaruhi pada pengoperasian yang tepat dari sistem peralatan pencegah (*protective relay*).

Transformator arus dibentuk pada kondisi sistem yang bergerak, kondisi tidak linier biasanya tidak dapat ditentukan dengan tepat.

Kejenuhan umumnya terdiri dari akibat arus bolak-balik, yang secara matematis sulit dianalisa. Kejenuhan arus searah adalah bentuk khusus meningkat dari arus yang tidak simetris pada inti transformator arus permanen.

3. 5. Arti Kejenuhan pada Penggunaan Relai Pengaman

Setiap peralatan pengaman selalu disesuaikan pada pendekatan harga transformator arus yang diinginkan. Yang perlu diperhatikan pada pemakaiannya adalah bahwa peralatan pengaman akan menerima kurang dari pada arus masuk yang ideal dan akan membuat keputusan atau tidak berfungsi sama sekali.

Beberapa kesalahan pengoperasian memiliki adalah hal yang kadang terjadi dan penting untuk diketahui secara dini pembentukan kejenuhan pada waktu peralatan akan digunakan.

Untuk menaikkan arus pada 5 Ampere yang dihubungkan ke transformator arus 2000/5 (pembatasan sensitivitas = $2000/5 \times 5 = 2000$ Ampere pada arus primer) dan karena kejenuhan kombinasinya rnendapatkan 2500 Ampere dari kesalahan arus yang dioperasikan.

Perlu diketahui bahwa peralatan yang mempunyai kejenuhan yang besar

akan sama dengan peralatan yang lebih kecil dari pada yang mempunyai

kejenuhan lebih rendah jika pembagian arus yang sama rata banyaknya pada peralatan.

Normalnya, tingkat kejenuhan transformator arus praktis tidak terlalu besar jika dihitung seperti yang menyebabkan jenis dari kerja yang tidak tepat, jika tidak dimulai dengan pemakaian relai yang terbatas.

3.6. Hal-Hal Guna Menghindari Kejenuhan

Kita mengetahui bahwa semua peralatan yang menggunakan transformator arus baik peralatan pengukuran maupun relai-relai pengaman tidak dapat bekerja secara baik jika terjadi kejenuhan.

Untuk menghindari kejenuhan, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah:

- Pemakaian rasio / perbandingan yang lebih besar dan dipilih dengan tepat pada dasar dari kemampuan arus.
- Pembebanan pada sekunder tetap rendah dengan tujuan menghindari arus beban lebih peka ketika hubungan bolak-balik.
- Penggunaan dua atau lebih rangkaian dalam hubungan seri untuk menghantar di tiap tegangan sekunder sepatutnya dipertimbangkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Masalah kejenuhan pada transformator arus merupakan suatu hal yang urgen sebab dalam pemakaiannya pada relai pengaman dan dilihat dari grafik kurva $V = f(I)$, bahwa kejenuhan pada transformator arus sangat menguntungkan sebab pada saat inilah relai dapat mulai bereaksi. Tetapi jika hal ini tidak tercapai maka akan diperoleh grafik yang akan linier terus, dan relai tidak akan trik. Sehingga pemutus tenaga pun tidak akan bekerja. Sebaliknya jika kejenuhan terlalu besar sesuai dengan batas kesalahan yang diizinkan maka relai akan trip terus dan pemutus tenaga akan terbuka terus.

Karena pembacaan alat ukur diutamakan hanya pada batas-batas nominal maka kejenuhan akan tidak menguntungkan. Sedangkan keuntungannya adalah membuat alat ukur menjadi lebih tahan lama.

Yang perlu diperhatikan saat penggunaan transformator arus:

- Rangkaian sekunder harus ditanamkan untuk menjaga bahaya tegangan tinggi. Pentanahan dilakukan pada satu titik saja guna menjaga kesalahan ukur.
- Tidak boleh digunakan sekering, sebab arus hubung singkat tidak boleh menimbulkan kerusakan.
- Rangkaian sekunder tidak boleh terbuka atau terlepas dan jika tidak terpakai

harus dihubungkan langsung atau dengan tahanan.

Pengujian terhadap peralatan mutlak perlu dilakukan agar menjaga setiap peralatan dari kegagalan dan kerusakan yang akan mengakibatkan sistem tenaga listrik tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Sebab setiap peralatan yang digunakan baik transformator maupun peralatan lainnya dituntut keandalannya, kestabilannya dan kontinuitas kerjanya.

5.2. Saran

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

- a. Pemeliharaan peralatan yang terpadu disesuaikan dengan kondisi yang ada.
- b. Melakukan pengujian-pengujian secara berkala.

Selanjutnya penulis mengharapkan pengujian ini dijadikan rujukan untuk pengujian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Edminister, Joseph A. *Rangkaian Listrik*. 1988. Erlangga.
2. Marapung, Muslimin, Ir. *Teknik Tenaga Listrik*, 1998. Armico: Bandung.
3. Petruzella, Frank D. *Elektronik Industri*. 2001. Yogyakarta: Penerbit Andi.
4. Zuhail. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. 1995. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
5. GEC Alsthom, *Protective Relays*, 1987. GEC Alsthom Measurements Limited.
6. PLN, *Relai Proteksi Sistem Penyaluran*.

e-references support :

elektroindonesia.com/elektro