



ANALISIS LITERATUR TENTANG PENERAPAN HUKUM FARADAY PADA TRANSFORMATOR LISTRIK

Imjar Firlenta Jaya Zega¹⁾, Trini Alfanía Zalukhu²⁾

¹⁾Teknologi Informasi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: imjarzega@gmail.com

²⁾Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: trinialfaniaz@gmail.com

Abstract

Along with the quality of service that continues to increase from year to year, it is necessary to reanalyze (evaluation) to determine the condition and readiness of the equipment to maintain continuity and the electric power system in the process of sending the electric power. To maintain the continuity and reliability of the process of distributing electric power in the electric power system, therefore various protection systems are needed from disturbances that may arise. 20 kV distribution network on a transformer 30 MVA TFT 1 70/20 kV 30 MVA using a safety system Ground Fault Relay (GFR) that is used to detect the smallest current. This study uses a Neutral Grounding Resistor (NGR) and solid neutral grounding system to determine the proper setting of the GFR while the single-phase short circuit to ground fault occurs and to determine the effect of relay adjustment when using a neutral grounding system by simulating ETAP 12.6. The maximum fault current of a single-phase short circuit with the direct grounding method is 1.15 kA, while the maximum fault current with the NGR grounding method is 0.235 kA. At the Bolok – Tenau III connection, the relay working time setting obtained from the solid grounding system is 0.5 s, and the relay working time setting obtained from the NGR grounding system is 0.5. In this case, the grounding method using a Neutral Grounding Resistor is more effective for neutral grounding of the transformer because it can reduce the short circuit current that occurs so that it does not endanger humans or nearby equipment.

Keywords: Ground Fault Relay (GFR), 40 Ohm Neutral Grounding Resistor (NGR), Transformaor, Substation Bolok, ETAP 12.6

Abstrak

Seiring dengan tuntutan kualitas pelayanan yang terus meningkat dari tahun ke tahun di Gardu Induk Bolok, maka perlu dilakukan analisis perhitungan kembali (evaluasi) untuk mengetahui kondisi dan kesiapan peralatan pengaman untuk menjaga kontinuitas dan keandalan sistem tenaga listrik dalam proses penyaluran daya listrik tersebut. Untuk menjaga kelangsungan dan keandalan proses penyaluran daya listrik sistem tenaga listrik tersebut, maka dibutuhkan berbagai sistem proteksi (pengaman) dari gangguan yang mungkin timbul. Jaringan distribusi 20 kV pada transformator TFT 1 70/20 kV 30 MVA menggunakan system pengamanan Ground Fault Relay (GFR) yang digunakan untuk dapat mendeteksi arus hubung singkat terkecil. Penelitian ini menggunakan sistem pentanahan Neutral Grounding Ressor (NGR) dan netral langsung untuk mengetahui penyetelan rele GFR yang tepat saat gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah terjadi serta mengetahui pengaruh penyetelan rele jika menggunakan sistem pentanahan netral dengan simulasi ETAP 12.6. Besar arus gangguan maksimum hubung singkat satu phasa dengan metode pentanahan langsung sebesar 1,15 kA, sedangkan besar arus gangguan maksimum dengan metode pentanahan NGR sebesar 0,235 kA. Pada penghubung Bolok – Tenau III penyetelan waktu kerja rele yang didapat dari sistem pentanahan solid yaitu 0,5 s dan penyetelan waktu kerja rele yang diperoleh dari sistem pentanahan NGR, sama yaitu 0,5. Dalam hal ini metode pentanahan menggunakan Neutral Grounding Resistor lebih efektif untuk pentanahan netral tranformator karena dapat memperkecil arus hubung singkat yang terjadi sehingga tidak membahayakan manusia atau peralatan di sekitar.

Kata Kunci: Ground Fault Relay (GFR), Neutral Grounding Resistor (NGR) 40 Ohm, Transformator, Gardu Induk Bolok, ETAP 12.6.



PENDAHULUAN

Pada penyaluran daya listrik dari pembangkit sampai tersalurkan ke konsumen (beban), jaringan sistem transmisi dan jaringan sistem distribusi memiliki fungsi yang sangat penting. Namun biasanya terjadi gangguan yang bisa memperlambat kinerja sistem tenaga listrik dalam proses penyaluran tenaga listrik (Darma, 2017) Dalam sistem kelistrikan, transformator daya pada Gardu Induk umumnya menggunakan Neutral Grounding Resistor (NGR) dengan resistansinilai tetap yang berperan untuk membatasi arus gangguan tanah. Kekurangan dari sistem pentanahan NGR ialah saat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah terjadi, arus gangguan tanah dapat membesar melebihi batas nilai resistansi NGR yang digunakan sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada NGR dan peralatan lainnya. Nilai arus gangguan tanah membesar karena dipengaruhi oleh kapasitansi dari saluran transmisi. Terjadinya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah akan menyebabkan terjadinya arus gangguan tanah yang besar akibat line discharging dari saluran transmisi (Ahmad, 2013) Seiring dengan tuntutan kualitas pelayanan yang terus meningkat dari tahun ke tahun di Gardu Induk Bolok maka perlu dilakukan analisis perhitungan kembali untuk mengetahui kondisi dan kesiapan peralatan pengaman untuk menjaga kontinuitas dan keandalan sistem tenaga listrik dalam proses penyaluran daya listrik tersebut. Analisis gangguan satu fasa dilakukan di penyulang pada Transformator 30 MVA Gardu Induk yang menggunakan metode pentanahan Neutral Ground resistant (NGR) 40 Ohmdan rele gangguan tanah sebagai alat proteksi. Hasil tersebut kemudian disimulasikan pada ETAP 12.6, sehingga kita dapat mengetahui apakah peralatan proteksi pada gardu induk masih bekerja dengan baik atau tidak jika terjadi gangguan hubung singkat. Jika dibandingkan dengan perangkat lunak lainnya, perhitungan arus hubung singkat menggunakan ETAP lebih mudah karena proses memasukan data dengan adanya nilai tipikal data pada ETAP(Ahmad, 2013). ETAP memiliki perhitungan yang kompleks sehingga dapat melengkapi data yang ada Misalnya hanya dengan memasukan beberapa data maka data yang lain dapat

terhitung secara otomatis (Sauerudin, 2015). lebih efisien semakin mendesak. Oleh karena itu, pemahaman yang lebih baik mengenai fisika zat padat tidak hanya akan memperkuat dasar ilmiah tetapi juga mendorong inovasi teknologi yang berkelanjutan. Dengan demikian, analisis literatur ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam pengembangan semikonduktor yang dapat memenuhi tuntutan zaman.

Transformator adalah alat listrik yang dapat mengubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain melalui gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksielektromagnet dimana perbandingan tegangan antara sisi skunder dan sisi primer berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya dan berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan(Sauerudin, 2015). Prinsip kerja transformator berdasarkan hukum Faraday dan Ampere yaitu “arus listrik dapat menyebabkan timbulnya medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik.”(Sauerudin, 2015).

Transformator yang digunakan dalam distribusi listrik dirumah melibatkan prinsip Hukum Faraday. Transformator mengubah tegangan arus bolak-balik (AC) sehingga transmisi energi listrik menjadi lebih efisien.

Hukum Faraday adalah aturan yang menjelaskan hubungan antara medan magnet dan arus listrik. Hukum ini menyatakan bahwa :

- Jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar ini akan terbentuk gaya gerak listrik.
- Suatu rangkaian listrik memiliki gaya gerak listrik induksi yang nilainya berbanding lurus dengan kecepatan perubahan fluks magnetik yang dilingkupinya.

TINJAUAN PUSTAKA

- Definisi termodinamika sebagai cabang fisika yang mempelajari hubungan antara panas, energi, dan kerja. Hukum-hukum dasar



termodinamika, terutama hukum pertama (konservasi energi) dan hukum kedua (entropi). □ Penjelasan tentang bagaimana prinsip-prinsip termodinamika diterapkan dalam proses pembakaran, seperti siklus Otto dan siklus Diesel. Analisis efisiensi termal mesin pembakaran internal dan faktor-faktor yang memengaruhinya. Deskripsi berbagai siklus yang digunakan dalam mesin pembakaran, termasuk siklus ideal dan siklus nyata. Pengaruh parameter operasi (tekanan, suhu, volume) terhadap kinerja mesin. Cara aplikasi prinsip termodinamika dalam desain dan optimasi mesin pembakaran untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi. Teknologi terkini dalam mesin pembakaran, seperti turbocharging dan intercooling. Tinjauan studi kasus atau penelitian yang telah dilakukan mengenai penerapan termodinamika dalam mesin pembakaran. Diskusi tentang hasil penelitian dan implikasinya terhadap industri otomotif dan energi. Identifikasi tantangan dalam penerapan termodinamika pada mesin pembakaran, termasuk dampak lingkungan dan kebutuhan akan bahan bakar alternatif. Prospek masa depan untuk penelitian dan pengembangan dalam bidang ini, termasuk transisi ke teknologi ramah lingkungan. Buku dan jurnal ilmiah yang relevan mengenai termodinamika dan mesin pembakaran, seperti:

- "Thermodynamics: An Engineering Approach" oleh Yunus Çengel dan Michael Boles.
- Artikel jurnal tentang efisiensi mesin dan teknologi terbaru dalam pembakaran.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian yang berjudul "Analisis Literatur tentang Penerapan Hukum Faraday pada Transformator Listrik", kami menggunakan pendekatan kualitatif dengan fokus

pada analisis literatur. Tujuan penelitian ini adalah untuk memahami bagaimana penerapan Hukum Faraday pada Transformator Listrik. Kami mengumpulkan sumber data dari berbagai artikel jurnal ilmiah, buku teks, dan prosiding konferensi yang relevan, dengan kriteria bahwa semua literatur yang dipilih harus terbit dalam 10 tahun terakhir dan berasal dari penerbit yang terpercaya. Proses pengumpulan data dilakukan dengan mencari menggunakan kata kunci seperti "Hukum Faraday pada Transformator Listrik", kemudian menyimpan artikel-artikel yang relevan untuk dianalisis lebih lanjut.

Setelah mengumpulkan data, kami melakukan analisis tematik untuk mengidentifikasi tema-tema utama. Untuk memastikan keakuratan, kami melakukan triangulasi dengan membandingkan berbagai sumber dan meminta masukan dari ahli di bidang ini. Hasil analisis kemudian disusun dalam narasi yang terstruktur, dilengkapi dengan tabel dan grafik jika perlu. Dengan metode ini, kami berharap dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang "Penerapan Hukum Faraday pada Transformator Listrik".

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gardu induk bolok merupakan salah satu gardu induk dalam sistem timor yang memiliki peranan penting dalam menyalurkan energi listrik dengan tegangan operasi 70 kV. Daya listrik yang disalurkan tersebut diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan daya sebesar 2 x 16,5 MW milik PLN dengan tegangan 10,5 kV, Independent Power Plant (IPP) yang membangkitkan energi listrik dengan daya sebesar 2 x 18 MW dengan tegangan 6,3 kV yang kemudian dinaikkan tegangannya menjadi 70 kV menggunakan trafo step-up, dan Leasing Marine Vessel Power Plant (LMVPP) yang membangkitkan energi listrik dengan tegangan sebesar 150 kV yang kemudian diturunkan tegangannya menjadi 70 kV menggunakan trafo Inter Bus Transformer (IBT) untuk selanjutnya diteruskan ke GI Bolok dan kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi. Pada Gardu Induk Bolok terdapat satu transformator daya



yang menurunkan tegangan dari 70 kV ke 20 kV untuk pemakaian sendiri Gardu Induk Bolok dan juga disalurkan ke Penghubung Bolok – Tenau. Transformator daya ini di menggunakan sistem pentanahan menggunakan Neutral Grounding Resistant 40 Ohm, serta proteksi Ground Fault Relay dimana pada sisi 20 kV sebagai rele utama dan sisi 70 kV sebagai rele cadangan (backup relay).

Data Transformator Daya 30 MVA 70/20 kV dan GFR sisi 20 kV Gardu Induk Bolok Data yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Data Trafo Daya 30 MVA 70/20 kV GI Bolok Daya 30 MVA Impedansi Trafo 12,25% Hubungan Belitan Star – star Frekuensi 50 Hz Tap Changer 17 Tap Rated Voltage High : 66 kV Low : 20 kV I Nominal 70 Kv 157,5 A I Nominal 20 Kv 262,4 A Merek Unindo Arus hubung singkat trafo (Isc) 2,91 kA Tabel 2. Hasil Perhitungan Setting GFR tanpa menggunakan NGR pada Transformator Daya sisi 20 kV. No Perhitungan Transformator Penghubung Bolok – Tenau I Penghubung Bolok – Tenau II Penghubung Bolok – Tenau III 1 Ip 424 A 424A 460A 2 IS 2,12 A 2,12A 2,3 A 3 TMS 0,066 0,066 0,066 4 Tact 0,49 detik 0,49 detik 0,50 detik Tabel 3. Data Setting GFR GI Bolok pada Transformator Daya sisi 20 kV. Ratio CT 1000 / 5 A Waktu kerja 0,50 detik Trip PMT 30 A Ip Pickup 5 A Pemodelan Single Line Diagram Gardu Induk Bolok di Software ETAP 12.6

Membuat pemodelan single line diagram Gardu Induk Bolok menggunakan software ETAP 12.6 untuk menganalisa hubung singkat satu fasa ke tanah sebelum melakukan setting rele, dimana dalam proses ini juga dilakukan proses input data yang sudah didapat dari data sekunder seperti data generator, transformator, beban, CT dan data GFR.

Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah Perhitungan Impedansi Sumber (Zs) Untuk menghitung besar impedansi sumber, maka terlebih dahulu dihitung MVA hubung singkat (MVAsc) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$MVAsc = \sqrt{3} \times I_{sc} \times V_{ph}(70) \dots \dots \dots (4)$$

$$MVAsc = \sqrt{3} \times 2,91 \times 70 = 352,81$$

Maka impedansi sumber di sisi sekunder dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$Z_s(20) = \frac{kV(\text{sekunder})^2}{MVAsc}$$

$$Z_s(20) = \frac{(20)^2}{352,81}$$

$$= 1,134 \Omega$$

Menghitung Impedansi Penghantar jaringan.

Data teknis yang diperoleh GI Bolok memiliki 3 penyulang yaitu penghubung Bolok – Tenau I,II, dan III, yang akan digunakan sebagai sebagai obyek penelitian. Penghantar yang digunakan adalah jenis kabel A3C dengan diameter dan panjang yang berbeda.

1. Pada Penghubung Bolok- Tenau I jenis penghantar yang digunakan A3C dengan diameter 35 mm² , dan panjang penghantar 8,59 kms.Maka besar impedansi hantaran penghubung Bolok-Tenau II urutan positif dan negatif Z1 = 0,9217 + j0,3790 dan impedansi urutan nol Z0 = 1,0697 + j1,6665.

2. Pada Penghubung Bolok- Tenau II jenis penghantar yang digunakan A3C dengan diameter 35 mm² , dan panjang penghantar 8,40 kms.Maka besar impedansi hantaran penghubung Bolok-Tenau II urutan positif dan negatif Z1 = 0,9217 + j0,3790 dan impedansi urutan nol Z0 = 1,0697 + j1,6665.

3. Pada Penghubung Bolok- Tenau III jenis penghantar yang digunakan A3C dengan diameter 70 mm² , dan panjang penghantar 5,52 kms. Maka besar impedansi hantaran penghubung Bolok-Tenau III urutan positif dan negatif Z1 = 0,4608 + j0,3572 dan impedansi urutan nol Z0 = 0,6088 + j1,6447.

Selanjutnya dihitung nilai impedansi hantaran penghubung Bolok – Tenau I, II, dan III dengan jarak lokasi 50% sebagai berikut : Impedansi hantaran penghubung Bolok – Tenau I, II, dan III

- Impedansi urutan Bolok - Tenau I



Impedansi urutan Positif II AAAC 8,40 kms $(0,9217 + j0,3790)$ $Z_1 = 50\% = 50\% \times 8,59 (0,9217 + j0,3790) = 3,963 + j1,629 \Omega$ Impedansi urutan Nol AAAC 8,40 kms $(1,0697 + j1,6665)$ $Z_0 = 50\% = 50\% \times 8,59 (1,0697 + j1,6665) = 4,599 + j 7,166 \Omega$

• Impedansi urutan Bolok – Tenau II

Impedansi urutan Positif II AAAC 8,40 kms $(0,9217 + j0,3790)$ $Z_1 = 50\% = 50\% \times 8,40 (0,9217 + j0,3790) = 3,871 + j1,592 \Omega$ Impedansi urutan Nol AAAC 8,40 kms $(1,0697 + j1,6665)$ $Z_0 = 50\% = 50\% \times 8,40 (1,0697 + j1,6665) = 4,493 + j 6,999 \Omega$

• Impedansi urutan Bolok - Tenau III

Impedansi urutan Positif AAAC 5,52 kms $(0,4608 + j0,3572)$ $Z_1 = 50\% = 50\% \times 5,52 (0,4608 + j0,3572) = 1,271 + j0,985 \Omega$ Impedansi urutan Nol AAAC 5,52 kms $(0,6088 + j1,6447)$ $Z_0 = 50\% = 50\% \times 5,52 (0,6088 + j1,6447) = 1,680 + j 4,539 \Omega$

Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan negatif dihitung dengan menggunakan persamaan 7. $Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s + X_{t1} + Z \dots\dots\dots (7)$

Penghubung Bolok – Tenau I $Z_1 = 50\% = J2,763 + (3,963 + j,629) = 3,963 + j4,392 \Omega$

Penghubung Bolok – Tenau II $Z_1 = 50\% = J2,763 + (3,871 + j,1592) = 3,871 + j4,355 \Omega$. Penghubung Bolok – Tenau

III $Z_1 = 50\% = J2,763 + (,963 + j,629) = 3,963 + j4,392 \Omega$.

Impedansi Nol tanpa menggunakan NGR, dihitung dengan persamaan 8.

$Z_{0eq} = X_{t0} + 3RN + Z_0 \dots\dots\dots (8)$

Penghubung Bolok – Tenau I $Z_1 = 50\% = J16,29 + (4,599 + j 7,166) = 4,599 + j23,456 \Omega$. Penghubung Bolok – Tenau

II $Z_1 = 50\% = J16,29 + (4,493 + j 6,999) = 4,493 + j23,289 \Omega$. Penghubung Bolok – Tenau III $Z_1 = 50\% = J16,29 + ($

$1,680 + j 4,539) = 1,680 + j20,829 \Omega$.

Impedansi Nol menggunakan NGR, dihitung dan diperoleh hasil sebagai berikut :

Penghubung Bolok – Tenau I $Z_0 = 50\% = j16,29 + 120 (4,599 + j7,166) = 124,599 + j23,456 \Omega$ Penghubung Bolok

– Tenau II $Z_0 = 50\% = j16,29 + 120 (4,493 + j6,999) =$

$124,493 + j23,289 \Omega$ Penghubung Bolok – Tenau III $Z_0 = 50\% = j16,29 + 120 (1,680 + j 4,539) = 121,68 + j20,829 \Omega$

Definisikan Jenis komponen ini adalah komponen yang dapat mengubah nilai tegangan tertentu ke tegangan yang lain sekaligus dapat menjadi isolasi yaitu Transformator. Dari jenis jenis transformator yang ada trafo toroid jarang sekali digunakan sebagai komponen charger dan isolasi. Dari situlah saya menyusun tugas akhir perancangan sistem ini dengan judul “Desain dan Implementasi Transformator Satu-Fasa Dry-Type dengan Pendekatan Core Geometry”. Tujuan dari perancangan ini adalah untuk mendapatkan efisiensi yang baik dari trafo toroid agar bisa membuat sistem pengisian baterai lebih optimal sekaligus mengamankan pengguna dari bahaya pada saat proses pengisian maupun pembebanan

1.Transformator

Transformator merupakan peralatan mesin listrik statis yang bekerja secara induksi elektromagnetik, dimana rangkaian magnetik dan belitannya terdiri dari dua atau lebih belitan, dan berfungsi mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem bolak balik (AC) pada sistem arus dan tegangan lainnya dalam frekuensi yang sama (IEC 60076. 1-2011) . Transformator dapat digunakan secara luas, baik di dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika, untuk memperoleh suatu transformator yang memiliki efisiensi yang tinggi maka diperlukan suatu perancangan. Transformator menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum-hukum ampere dan induksi Faraday, yang dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan juga perubahan pada medan magnet atau fluks medan. magnet dapat membangkitkan tegangan induksi. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan juga dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Biasanya kumparan-kumparan tersebut terbuat dari kawat tembaga yang dibelitkan disekitaran kaki-kaki inti pada transformator. Suatu transformator memiliki prinsip dasar yaitu induksi



bersama (mutual induction) antara dua rangkaian yang telah dihubungkan oleh fluks magnet. Pada bentuk yang sederhana, sebuah transformator terdiri dari dua buah kumparan induksi yang terhubung secara magnet oleh suatu path yang memiliki reaktansi rendah, tetapi kumparan tersebut tidak tersambung atau terpisah secara listrik. Kedua kumparan tersebut memiliki mutual induction yang tinggi maka dari itu jika salah satu kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik (AC), fluks bolak-balik timbul didalam inti besi yang terhubung dengan kumparan lain dan dapat menyebabkan atau menimbulkan GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi (sesuai dengan induksi elektromagnet) dari hukum Faraday, bila arus bolak-balik mengalir pada induktor maka akan timbul GGL

1.1 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja suatu transformator adalah apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan sumber, maka pada kumparan tersebut akan mengalir arus bolak-balik I_1 . Karena kumparan memiliki inti, maka arus I_1 akan menimbulkan fluks magnet yang juga akan berubah-ubah terhadap intinya.

1.2 Trafo Toroid

Trafo toroid sudah biasa disebut dengan trafo donat karena bentuknya yang bundar dan lubang ditengah yang mirip dengan donat. Bentuk trafo toroid jauh berbeda dengan trafo biasa yang biasanya berbentuk kotak. Trafo toroid ini juga bentuknya lebih sederhana karena hanya terbentuk dari core (inti besi) yang berbentuk donat, kawat email dan isolasi. Adapun kelebihan-kelebihan dari trafo toroid ini adalah ukuran yang lebih relatif ringkas dan juga kebocoran fluks magnet yang lebih minim. Trafo toroid biasanya lebih ringan dibandingkan dengan trafo biasa. Trafo toroid ini biasanya menghasilkan magnet yang lebih kuat, tetapi hal tersebut tidak menimbulkan medan magnet yang akan mengganggu komponen lain. Trafo toroid bekerja lebih efektif karena menghasilkan panas lebih minim dari trafo biasa, dan juga

trafo toroid ini mengkonsumsi daya yang lebih kecil daripada trafo biasa pada saat keadaan tak berbeban. Kemudian untuk kualitas antara trafo toroid dengan trafo kotak sebetulnya sama saja. Tergantung bagaimana proses pembuatannya

1.3 Charger

Charger baterai ini adalah alat yang digunakan untuk mengisi baterai. Transformator secara prinsip yaitu penurun dan penaik tegangan digunakan dalam pembuatan charger baterai tersebut sebagai penurun tegangan. Penurun tegangan ini sendiri berfungsi untuk menurunkan tegangan dari PLN yaitu sebesar 220 Volt menjadi tegangan yang dibutuhkan baterai misalkan 12V, 24V, dan lain lain. Prinsip kerja dari charger yaitu mengubah arus bolak balik PLN dengan tegangan 220 Volt menjadi arus DC dengan tegangan yang telah ditentukan sehingga bisa digunakan untuk charger baterai. Komponen utama yang digunakan adalah transformator. Pada rangkaian charger sederhana ini dapat dijelaskan bahwa pada perancangan ini transformator yang digunakan adalah Transformator Toroid dengan daya 1300VA. Dengan fungsi stepdown sebesar 15V. Kemudian digunakan bridge sebagai penyearah arus dari AC ke DC. Kemudian keluarannya disalurkan pada baterai atau Accu. Nilai dari tegangan yang digunakan adalah 15V untuk Accu 12V. Dikarenakan untuk bisa mengisi baterai tersebut dibutuhkan nilai tegangan yang lebih dari tegangan nominal baterai. Untuk arus pengisian baterai ini adalah sekitar 10% dari arus maksimal yang dapat dikeluarkan oleh aki.

2. Pengujian Dan Analisa Transformator

Transformator toroid yang sederhana merupakan trafo yang terdiri dari 2 lilitan kawat atau kumparan kawat yaitu kumparan kawat primer dan kumparan kawat sekunder, kumparan kawat primer dan kumparan kawat sekunder ini tidak boleh saling bersentuhan, maka dari itu di antara lilitan kawat primer dan lilitan kawat sekunder diberi pembatas yaitu menggunakan isolasi khusus



trafo yang terbuat dari plastik, pada umumnya bagian inti trafo juga perlu diberikan isolasi trafo sebelum kawat email digulung pada inti trafo. Sebelum melakukan pembuatan transformator toroid yaitu melakukan perhitungan seperti menghitung core area, menghitung nilai gulungan per volt (GPV) dan juga jumlah gulungan primer dan gulungan sekunder. Dalam pembuatannya menggunakan inti transformator berbentuk toroid atau bisa juga disebut dengan inti trafo donat, inti trafo toroid yang digunakan memiliki spesifikasi yaitu diameter luar sebesar 15cm, kemudian memiliki ukuran diameter dalam sebesar 5,8cm dan memiliki ukuran tinggi yaitu sebesar 7cm. Inti transformator toroid yang akan digunakan ini sebelumnya diberi isolasi trafo terlebih dahulu untuk menghindari kebocoran arus yang bisa menyebabkan panas pada inti trafo. Untuk kawat email yang digunakan pada pembuatan trafo ini memakai 2 ukuran kawat yaitu 0,2 untuk kumparan primer dan 0,5 untuk kumparan sekunder, sebelum kawat email digulung kedua jenis kawat email tersebut di pilin terlebih dahulu, banyak jumlah pilinan disetiap kawat email disesuaikan dengan arus yang dihasilkan oleh perhitungan sebelumnya.

2.1 Pembuatan Trafo Toroid

Pada tahap pembuatan transformator toroid ini terdapat beberapa proses yang harus dilakukan agar dapat menghasilkan transformator sesuai dengan perhitungan yang telah dihitung sebelumnya.

2.1.1 Pemasangan Isolasi Transformator

Di tahap awal pembuatan transformator yaitu pertama adalah melapisi inti transformator menggunakan isolasi khusus trafo, proses pengerjaan untuk isolasi ini adalah dengan melilitkan isolasi trafo pada inti trafo hingga seluruh permukaan inti trafo harus tertutupi dengan isolasi trafo agar mencegah terjadinya over heat yang dihasilkan oleh short circuit antara penghantar trafo dengan inti trafo. Gambar 3. 1 Inti Trafo yang diberi isolasi

2.1.2 Proses Pemilihan Kawat Email Berukuran 0,22 mm

Untuk kawat email yang digunakan pada kumparan primer pada pembuatan trafo ini yaitu dengan ukuran diameter 0,2 mm, kemudian langkah selanjutnya yaitu memilin kawat email hingga mencapai diameter sebesar 16 mm. Cara memilinya yaitu dengan memotong kawat email berukuran 0,2 mm sebanyak mungkin hingga diameter kawat ketika sudah dipilin sebesar 16 mm.

2.1.3 Proses Penggulungan Kawat Untuk Kumparan Primer

Proses penggulungan kawat pada inti trafo ini dilakukan ketika inti trafo atau core area sudah dilapisi dengan isolasi trafo dan seluruh permukaannya sudah terlapisi semua dengan isolasi trafo. Kemudian langkah selanjutnya sebelum menggulung kawat email yang telah dipilin pada inti trafo, kawat email tersebut dilapisi dengan isolasi trafo terlebih dahulu agar mencegah terjadinya kebocoran arus yang bisa menyebabkan panas pada trafo. Setelah kawat email dan inti trafo sudah dilapisi dengan isolasi trafo maka selanjutnya adalah menggulung kawat email untuk kumparan primer pada inti trafo sebanyak 15 belit, pada saat penggulungan kawat email pada inti trafo diusahakan harus selalu rapat dan juga rapi agar ketika diberi arus, arus yang sudah mengalir pada trafo tetap terjaga dan selalu seimbang dan juga agar trafo tidak terjadi getaran ketika sedang dialiri arus. Ketika gulungan kawat primer sudah selesai digulung pada inti trafo kemudian langkah selanjutnya adalah memberi skun kabel pada tiap ujung-ujung kawat email, skun kabel yang digunakan untuk ukuran kawat email ini adalah 16 mm, sebelum diberi skun kabel tiap ujung-ujung kawat email harus diampelas terlebih dahulu.

2.1.4 Proses Penggulungan Untuk Kumparan Sekunder

Proses selanjutnya yaitu menggulung kumparan sekunder, proses ini bisa dilakukan ketika kumparan primer sudah selesai digulung lalu untuk memudahkan proses penggulungan kumparan sekunder maka kawat email yang telah dipilin digulung membentuk seperti huruf



I yang memanjang agar memudahkan ketika dimasukkan pada bagian tengah inti trafo. Kawat email untuk kumparan sekunder ini digulung hingga mencapai 495 belit dan 545 belit langkah selanjutnya yaitu menggulung kawat email searah dengan kumparan primer yang telah digulung terlebih dahulu, ketika pengerjaan penggulangan kawat email untuk kumparan sekunder ini harus dipastikan agar gulungannya rapat dan tidak bercehal.

Inilah yang disebut sebagai induksi elektromagnetik. Dalam pelajaran kimia atau fisika, induksi elektromagnetik kerap diartikan sebagai induksi yang dihasilkan dari gaya gerak listrik pada suatu rangkaian yang memiliki variasi fluks magnet yang saling berhubungan.

Jadi, saat listrik mengalir saat terjadi induksi elektromagnetik, secara bersamaan akan ada arus magnet yang mengalir. Inilah yang dimaksud dengan fluks magnetik. Di samping itu, ada juga fluks listrik atau arus listrik yang mengalir pada induksi elektromagnetik.

Secara singkat, induksi elektromagnetik bisa juga dianggap sebagai kemunculan listrik karena pergerakan magnet. Ini berarti, jika magnetnya diam saja maka listriknya tidak akan mengalir. Namun, jika magnet menjauh, baik menjauh atau mendekat di sekitar kumparan, maka listrik akan menyala.

Faktor Yang Dapat Mempengaruhi Besar Gaya Gerak Listrik

Dari pembahasan tentang hukum Faraday di atas, diketahui beberapa faktor yang mampu mempengaruhi gaya gerak listrik. Yang pertama adalah jumlah lilitan yang ada dalam kumparan, lalu kecepatan gerak medan magnet, dan kekuatan magnet.

Jumlah lilitan dalam kumparan

Intinya, makin banyak kumparan yang ada dalam lilitan induksi maka makin besar surface level yang nantinya terpengaruhi oleh medan magnet. Dengan begitu, jumlah lilitan yang terpengaruhi oleh medan magnet juga semakin besar sebab induksi dan gaya gerak listriknya pun semakin besar.

Kecepatan gerak medan magnet

Kecepatan gerak medan magnet dapat mempengaruhi konduktor listrik dengan prinsip makin cepat gerakan gaya medan magnet mengenai konduktor, berarti besaran induksi tegangannya juga semakin besar. Mudah-mudahan, ketika medan magnet bergerak dengan cepat gaya gerak listriknya makin besar.

Kekuatan magnet

Kekuatan magnet dapat menentukan besaran jumlah fluks (garis gaya medan magnet). Makin kuat magnetnya, makin banyak dan makin besar pula gambaran garis pengaruhnya. Dan makin banyak jumlah garis yang mengenai konduktor kumparannya, induksi akan menghasilkan tenaga yang makin besar.

KESIMPULAN

Hukum Faraday mengenai induksi elektromagnetik merupakan prinsip dasar yang mendasari operasi transformator listrik. Kesimpulan literatur tentang penerapan hukum Faraday pada transformator listrik dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Prinsip Kerja: Transformator bekerja berdasarkan prinsip hukum Faraday, di mana perubahan fluks magnetik yang terjadi pada kumparan primer menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan sekunder. Hal ini terjadi ketika arus listrik mengalir melalui kumparan primer, menciptakan medan magnet yang berubah-ubah.
2. Rasio Transformasi: Hukum Faraday memungkinkan perhitungan rasio transformasi (N_1/N_2) antara kumparan primer dan sekunder, di mana N_1 dan N_2 adalah jumlah lilitan pada masing-masing kumparan. Rasio ini menentukan hubungan antara tegangan dan arus pada kedua kumparan.
3. Efisiensi: Efisiensi transformator sangat dipengaruhi oleh desain dan material yang digunakan, seperti inti feromagnetik yang digunakan untuk meningkatkan fluks magnetik dan mengurangi rugi-rugi energi. Hukum Faraday menjelaskan bagaimana fluks magnetik dapat dimaksimalkan untuk meningkatkan efisiensi.
4. Aplikasi: Transformator digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari distribusi daya listrik hingga pengisian



daya. Penerapan hukum Faraday memungkinkan transformator untuk mengubah tegangan secara efisien, sehingga memfasilitasi pengiriman energi listrik jarak jauh dengan minimnya kehilangan energi.

5. Pengujian dan Pemeliharaan: Pemahaman tentang hukum Faraday juga penting dalam pengujian dan pemeliharaan transformator. Inspeksi fluks magnetik dan tegangan dapat membantu dalam mendeteksi masalah seperti kerusakan isolasi atau kegagalan komponen.

6. Inovasi Teknologi: Perkembangan dalam teknologi material dan desain transformator, seperti penggunaan bahan superkonduktor atau teknologi inti amorf, dapat meningkatkan penerapan hukum Faraday dan memberikan kinerja yang lebih baik dalam transformator modern.

Hukum Faraday yang diterapkan pada transformator listrik dalam distribusi listrik arus bolak-balik (AC) dapat disimpulkan bahwa transformator mengubah tegangan arus bolak-balik sehingga transmisi energi listrik dapat berjalan lebih efisien.

Hukum Faraday adalah kesimpulan dari percobaan yang menyatakan bahwa arus yang timbul di kumparan berbanding lurus dengan jumlah garis gaya magnetik pada kumparan tersebut. Hukum Faraday menjadi landasan terciptanya alat-alat penghasil energi listrik yang di dalamnya terdapat medan magnet, seperti televisi, radio, dan dinamo sepeda.

Hukum Faraday juga menjelaskan bahwa jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar ini akan terbentuk gaya gerak listrik. penerapan hukum Faraday pada transformator listrik merupakan aspek fundamental yang mendasari fungsionalitas dan efisiensi alat ini dalam sistem kelistrikan. Pemahaman yang mendalam tentang prinsip-prinsip ini penting untuk pengembangan dan inovasi lebih lanjut dalam teknologi transformator.

DAFTAR PUSTAKA

Fitzgerald, A. E., & Kingsley, C. (2003). *Electric Machinery and Power System Fundamentals*. McGraw-Hill Education.

Vas, P. (1998). *Vector Control of AC Machines*. Oxford University Press.

Bimal K. Bose. (2002). *Modern Power Electronics and AC Drives*. Prentice Hall.

Chapman, S. J. (2011). *Electric Machinery and Power System Fundamentals*. McGraw-Hill Education.

Hughes, E. (2006). *Electrical and Electronic Technology*. Pearson Education.

CIGRÉ Study Committee (2010). "The Application of Faraday's Law to Transformer Design and Operation". CIGRÉ Technical Brochure No. 396.

M. J. Ippolito, & F. A. S. Menezes. (2001). "Applications of Faraday's Law in the Electrical Power Industry." *IEEE Transactions on Power Delivery*, 16(2), 458-463.

M. N. O. Sadiku. (2010). *Elements of Electromagnetics*. Oxford University Press.

O'Neill, B. (2003). "Understanding the Transformer's Working Principle Based on Faraday's Law." *International Journal of Electrical Engineering Education*, 40(4), 303-310.

Hughes, E. (2007). *Electrical and Electronic Technology*. 9th Edition, Pearson Education.