

Desain Dan Implementasi Transformator Satu-Fasa *Dry-Type* Dengan Pendekatan *Core Geometry*

Masramdhani Saputra^{*a)}, Asfari Hariz Santoso^{a)}, Imron Ridzki^{a)}, Sigit Setya Wiwaha^{a)},
Erlinda Anindyasani^{a)}

(Artikel diterima: Januari 2023, direvisi: Februari 2023)

Abstrak: *Energy is one of the most important needs for humans to support daily life, especially for developing countries such as Indonesia. One of the energies needed in human life is electrical energy. For this reason, innovation was developed, namely a dry-type Single-Phase Transformer with a core geometry approach developed in the AL 1.01 building of the State Polytechnic of Malang. Calculations performed on the tool are to calculate the value of windings per volt (GPV) and the number of primary and secondary windings. Its manufacture uses a toroid-shaped transformer core. The core specification of the transformer is an outer diameter of 15cm, then an inner diameter of 5.8 cm, and a height of 7cm. The toroid transformer core that will be used is previously isolated from the transformer first to avoid leakage current which can cause heat in the transformer core. The density of the email wire from the transformer winding both from the primary and secondary windings will affect the performance of the transformer, the more tightly the email Wire is wrapped in the transformer core, the vibration generated from the transformer will be smaller, this will affect the voltage losses later in the transformer testing phase carried out using different beban, each load changes the efficiency of the transformer that has been made will also change, this is because each load tested has different factors.*

Keywords: *Toroid Transformer, current, voltage, Email Wire.*

1. Pendahuluan

Energi merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi manusia untuk menunjang kehidupan sehari-hari khususnya bagi negara berkembang seperti Indonesia. Salah satu energi yang tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan manusia yaitu energi listrik. Seiring berjalannya waktu perkembangan energi listrik di dunia juga turut mengalami banyak perkembangan.

Energi terbarukan sebagaimana disebutkan dalam UU No.30 tahun 2007 tentang energi, merupakan energi yang berasal dari sumber-sumber terbarukan antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Energi terbarukan memanfaatkan energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Hal ini karena energi yang didapatkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan, seperti sinar matahari, angin, air, *biofuel*, dan geothermal. Ini menegaskan bahwa sumber energi telah tersedia tidak merugikan lingkungan, dan menjadi alasan utama mengapa EBT sangat terkait dengan lingkungan dan ekologi. Indonesia memiliki potensi besar dalam mengembangkan energi terbarukan. Meskipun potensi energi ini sangat besar, pemanfaatannya di Indonesia masih terbatas.

Dari berbagai alat yang membutuhkan energi listrik terdapat sebuah elemen penting yaitu penyuply daya yang nantinya akan dikonversikan sesuai dengan kebutuhan peralatan yang akan digunakan. Dalam hal ini sumber energi listrik ada beberapa macam salah satunya yaitu baterai. Perkembangan baterai dari dulunya hanya dapat berfungsi dalam satu pemakaian saja sekarang baterai bisa diisi ulang kembali dengan proses charging. Pada proses pengisian tersebut dibutuhkan sebuah komponen yang baik agar baterai tersebut tahan lama, serta aman pada saat proses pengisian maupun dalam keadaan berbeban. Untuk ini saya

membahas mengenai salah satu komponen dari *charger* tersebut bisa bekerja dengan optimal sehingga pada saat proses *charging* tidak mempengaruhi kesehatan baterai dan mengamankan pengguna dari bahaya pada saat pengisian ataupun saat keadaan berbeban.

2. Kajian Teori

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 pengisi baterai lebih optimal sekaligus mengamankan pengguna dari bahaya pada saat proses pengisian maupun pembebanan.

2.1 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

* Korespondensi: masramdhani@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

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.

2.2 Prinsip Kerja Transformator

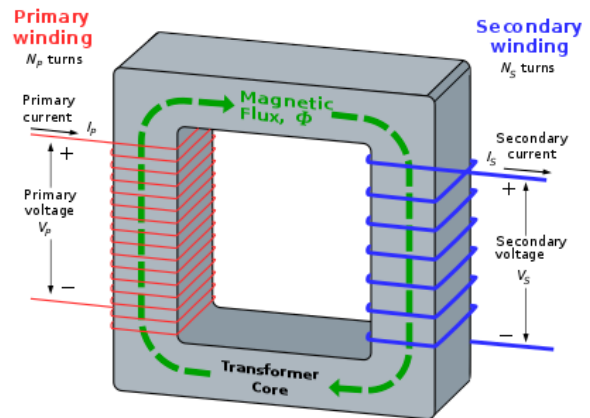
Prinsip kerja suatu transformator adalah apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan sumber, maka pada kumparan tersebut akan mengalir

arus bolak-balik I_1 . Karena kumparan memiliki inti, maka arus I_1 akan menimbulkan fluks magnet yang juga akan berubah-ubah terhadap intinya.

2.3 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

Diameter Luar	Diameter Dalam	Tinggi	Luas Inti
15cm	5,8cm	7cm	13,14cm ²



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Transformator

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 bebahan. Kemudian untuk kualitas antara trafo toroid dengan trafo kotak sebetulnya sama saja. Tergantung bagaimana proses pembuatannya.



Gambar 2. 2 Trafo Toroid

2.4 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.

3. 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.

Tabel 3.1. Spesifikasi 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.

3.1 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.

3.1.1 Pemasangan Isolasi Transformator

Di tahap awal pembuatan transformator yaitu pertama tama 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

3.1.2 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.



Gambar 3. 2 Kawat email berukuran 0,2 mm

3.1.3 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



Gambar 3. 3 roses penggulungan kawat email sisi primer

3.1.4 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 lalu 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.



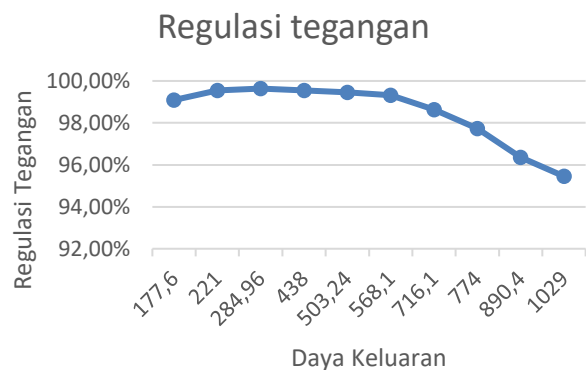
Gambar 3. 4 Kawat email yang telah dipilin dan digulung membentuk huruf I

3.2 Analisa Hasil Kerja Reulasi Tegangan

Pengaturan tegangan (regulasi tegangan) pada suatu transformator merupakan perubahan tegangan sekunder antara beban penuh dan beban nol pada suatu faktor-faktor kerja tertentu, dengan tegangan primer yang konstan. Pengaturan tegangan (regulasi tegangan) ini sendiri adalah perbandingan antara nilai tegangan standar dengan nilai tegangan aktual (tegangan *real*) yang terbaca dari sebuah sistem. Untuk menentukan nilai regulasi tegangan maka bisa dihitung menggunakan rumus seperti berikut :

$$Regulasi = 1 - \left(\frac{Vs - 220}{220} \right) \times 100\%$$

Berikut ini merupakan data hasil pengujian karakteristik dari transformator yang telah dirancang dan dibuat:



Gambar 3. 5 Grafik Regulasi Tegangan Terhadap Daya Output

Pada proses pengujian ini dilakukan percobaan dengan menggunakan daya keluaran (P_o) maksimal yaitu sebesar 1029 Watt dan hasil dari regulasi tegangan ketika daya keluaran maksimal adalah sebesar 95,45%. Kemudian ketika melakukan percobaan dengan menggunakan daya keluaran terkecil yaitu sebesar 177,6 Watt maka hasil dari regulasi tegangan ketika daya terkecil adalah sebesar 99,09%. Jika suatu transformator memiliki nilai regulasi tegangan semakin kecil pada suatu beban tertentu maka transformator tersebut bisa dikatakan baik. Jika tegangan sumber yang terukur semakin besar maka daya yang dihasilkan akan semakin kecil maka yang terjadi pada regulasi tegangan kualitasnya akan semakin buruk karena nilai regulasi tegangan semakin kecil akan semakin baik untuk sebuah transformator.

3.3 Analisa Percobaan Open Circuit dan Percobaan Short

Circuit

Percobaan *open circuit* ini atau bisa juga disebut dengan percobaan *no load*, percobaan ini dilakukan tanpa menggunakan beban apapun. Pada percobaan ini, sisi primer trafo diberi tegangan nominalnya.

Arus I_0 (Ampere)	Tegangan V_0 (Volt)	Daya P_0 (Watt)	Keterangan
1,14A	6V	279W	V_S = $6V, V_P$ = $220V$ $\cos \varphi = 0,7$

Tabel 3.2. Percobaan Open Circuit

Pada percobaan *short circuit* ini dilakukan dengan cara menghubungkan singkatkan bagian sekunder pada trafo tersebut.

Arus I_{SC} (Ampere)	Tegangan V_{SC} (Volt)	Daya P_{SC} (Watt)	Keterangan
0,75A	220V	165W	$V_S =$ $0V$ <i>short</i> <i>circuit</i>

Tabel 3.2 Percobaan Short Circuit

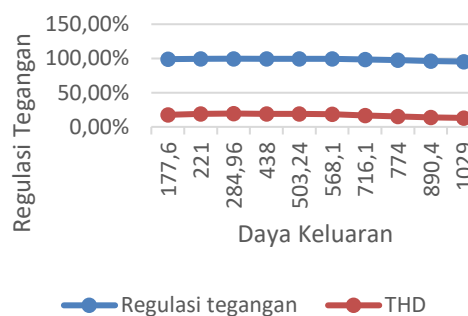
Berdasarkan data hasil percobaan *open circuit* dapat dilihat pada gambar 3.5 dimana nilai arus I_0 sebesar 1,14 ampere, lalu nilai tegangan nol (V_0) yang didapat adalah sebesar 6 volt, nilai daya (P_0) yang didapat sebesar 279 watt dan nilai $\cos \varphi$ adalah sebesar 0,7. Sedangkan nilai yang didapatkan pada percobaan *short circuit* dapat dilihat pada gambar 3.5, pada percobaan *short circuit* ini nilai arus pada saat terjadi *short circuit* (I_{SC}) adalah sebesar 0,75 ampere, lalu nilai tegangan saat terjadi short circuit (V_{SC}) yang didapat pada percobaan *short circuit* ini adalah sebesar 220 volt, kemudian nilai daya (P_{SC}) adalah sebesar 165 watt dan nilai V_S adalah sebesar 0 volt.

3.4 Analisa Derating Transformator Saat Diberi Beban Linier

THDF (Transformator Harmonic Derating Factor) merupakan sebuah nilai atau faktor pengali yang digunakan untuk menghitung besar kapasitas baru (kVA baru) pada sebuah transformator. Nilai *THDF* pada sebuah transformator dipengaruhi oleh adanya nilai *THD* (*Total Harmonic Distortion*) dalam sebuah transformator tersebut. Untuk pengertian beban non-linier merupakan beban yang komponen arusnya tidak proporsional terhadap komponen tegangannya, sehingga bentuk gelombang tegangan dan bentuk gelombang arusnya tidak sama. Untuk beban non-linier menyerap arus non sinusoidal begitu pula arus harmonik, walaupun diberi tegangan sinusoidal.

Berikut ini merupakan grafik dari *Total Harmonic Distortion* (*THD*) dan regulasi tegangan berdasarkan data yang telah diperoleh

THD terhadap Regulasi Tegangan



Gambar 3. 6 Grafik THD terhadap regulasi tegangan

Pada grafik diatas terlihat bahwa ketika regulasi tegangan nilainya semakin mendekati 100% maka *THD* (*Total Harmonic Distortion*) nilainya akan berbanding lurus yang artinya semakin besar nilai *THD* (*Total Harmonic Distortion*) maka semakin besar juga nilai regulasi tegangan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil pengujian dan analisis yang di lakukan didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Tahapan pengujian transformator dilakukan dengan berbagai beban. Karena ada faktor yang berbeda untuk setiap beban yang diuji, mengubah efisiensi beban transformator juga akan mengubahnya.
2. Kepadatan kawat *email* pada belitan transformator, baik gulungan primer maupun sekunder, mempengaruhi kinerja transformator. Semakin rapat kawat *email* melilit inti transformator, semakin sedikit getaran dan kerugian tegangan yang dihasilkan oleh transformator.

3. Semakin kecil nilai pengaturan tegangan (regulasi tegangan) pada suatu beban maka akan semakin baik pula kualitas dari transformator.
4. Nilai regulasi tegangan berbanding lurus dengan nilai THD (Total Harmonic Distortion)

4.1 Saran

Dari hasil analisis data percobaan yang dilakukan, terdapat beberapa saran penelitian untuk dapat dikembangkan, dan berikut beberapa saran yang diajukan:

1. Dapat menggunakan beban yang bervariasi baik digunakan untuk rangkaian *charger Accu*, atau untuk beban AC 220Volt menggunakan inverter
2. Dapat dikembangkan lagi untuk pengujian transformator yang telah dibuat dengan beban maksimal transformator
3. Dapat ditemukan efisiensi paling bagus yaitu mendekati 100% dengan menggunakan beban tertentu

- [11] Nuraini, E. 2017. *Desain Dan Konstruksi Transformator Terisolasi Untuk Anoda Pemfokus Dari Sumber Elektron Tiga Elektroda Untuk MBE Lateks 300kv/20mA*. Yogyakarta: Pusat Sains dan Teknologi Akselerator.
- [12] Taufik, D. S. 2014. *Analisis Efisiensi Trafo Frekuensi Tinggi Pada Sumber Tegangan Tinggi Cockcroft Walton MBE Lateks*. Yogyakarta: Pusat Sains dan Teknologi Akselerator
- [13] Widiastira, W. A. 2017. *Analisis Pengaruh Total Harmonic Distortion Terhadap Losses dan Efisiensi Transformator RSUD Kabupaten Klungkung*. Jimbaran: Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- [14] M. Saputra, saddani Djulihenanto, and I. Fadlika, "Implementasi Kendali Tegangan Lup Tertutup Buck Converter dengan ArduinoMega," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 1, pp. 11–15, 2021
- [15] R. Salsabila Sugiarto, U. Hanik, I. Budi Eko Prasetyo, and M. Rhezal Agung Ananto, "Studi Kinerja Relay Proteksi pada Transformator II 150/20 KV 50 MVA dengan Penyulang Lakarsantri di GIS Karangpilang PT. PLN (Persero) UPT Malang ULTG," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 2, pp. 57–65, Jun. 2021.

Daftar Pustaka

- [1] Pranata, A, Joni. 2019. Analisis Efisiensi Trafo Toroid 5A Untuk Sistem Pengisi Baterai Pada Diameter Kawat Email Yang Berbeda. Skripsi. Program Studi Sarjana Universitas Jember. Jember.
- [2] Aribowo, Didik. Desmira. 2016. *Implementasi Prototype Pembuatan Alat Pemanas Air Berbasis Mikrokontroler*. Serang: Jurnal PROSISKO
- [3] <https://ee.itk.ac.id/berita/detail/pengetahuan-teknik-elektro-mari-mengenal-alat-ukur-listrik>
- [4] <https://wikiid.icu/wiki/Transformer>
- [5] Zain, Muh. Ilham. Muhammad Ridwan. 2015. *Perhitungan Drop Tegangan pada Transformator Satu Fasa*. Skripsi. Makassar: Program Studi Teknik Listrik Universitas Muhammadiyah Makassar.
- [6] Manurung, Martin Immanuel. 2018. *Transformator Derating Disebabkan Harmonisa*. Skripsi. Medan: Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.
- [7] Al-Farishi, Ogi. 2021. *Perhitungan dan Analisis Derating Trafo Daya karena Pembebanan Non-Linier*. Skripsi. Surakarta: Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [8] Sutjipto, Rachmat. 2018. *Transformator*. Malang: POLINEMA PRESS, Politeknik Negeri Malang
- [9] Aribowo, D. 2016. *Implementasi Prototype Pembuatan Alat Pemanas Air Berbasis Mikrokontroler*. Serang: Jurnal PROSISKO.
- [10] Franager, A. 2016. *Perancangan Transformator Satu Fasa Dan Tiga Fasa Menggunakan Perangkat Lunak Komputer*. Pekanbaru: Jom FTEKNIK.