

# Perancangan dan Implementasi Pengendali Stabilitas Tegangan Otomatis *Load Tap Changer* Transformator Satu Fasa

Sundara Sudibya Jaya<sup>1</sup>, Bambang Susanto<sup>2</sup>, Kartono Wijayanto<sup>3</sup>, Agus Risdiyanto<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : karwij@gmail.com, sundarasjaya@gmail.com

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI, Bandung 40135

E-mail : b3nks73@gmail.com, agus032@lipi.go.id

## ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang mempengaruhi baik dan buruknya kualitas listrik adalah tegangan turun (*drop voltage*) yang dapat menyebabkan beban terpasang kinerjanya menjadi tidak optimal. Masalah ini masih sering terjadi dan beberapa penyebabnya antara lain adalah adanya rugi-rugi transformator, beban lebih (*over load*), peningkatan beban induktif yang menurunkan faktor daya, dan rugi-rugi saluran penghantar di jaringan yang berakibat turunnya tegangan khususnya pada ujung saluran. Makalah ini membahas perancangan *Automatic Load Tap Changer* (ALTC), yaitu alat untuk menjaga stabilitas tegangan ke beban satu fasa melalui pengaturan tegangan keluaran dari tap transformator dengan nilai toleransi yang ditetapkan. Sensor tegangan dipasang pada bagian beban sehingga apabila tegangan input jala-jala ke transformator mengalami penurunan atau kenaikan, sensor tegangan akan memberitahukan kepada mikrokontroler dan program akan memerintahkan Triac sebagai tap changer untuk bekerja menjaga kestabilan tegangan keluaran transformator secara otomatis dengan memindahkan tap-nya. Perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram ALTC ini adalah Arduino ATmega. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat yang dibuat dapat difungsikan untuk menstabilkan tegangan ke beban dengan regulasi tegangan paling kecil 0,90 % dan paling besar 2,27 % dimana masih dalam batas yang diijinkan sesuai standar PLN yaitu tidak lebih dari 5% dari tegangan nominal.

## Kata Kunci

Stabilitas tegangan, ALTC, tap changer, transformator, Arduino ATmega

## 1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan yang fundamental dalam mendukung kelangsungan hidup manusia. Seiring perkembangan zaman, kebutuhan energi listrik ini akan semakin meningkat dengan bertambahnya populasi manusia dan berbagai aktivitasnya. Hal ini harus disertai dengan peningkatan pelayanan ketersediaan energi listrik mulai dari peningkatan kapasitas sumber, kontinuitas, peningkatan infrastruktur kelistrikan, serta peningkatan kualitas energi listrik yang dihasilkan agar tidak terjadi krisis energi di masa yang akan datang.

Salah satu permasalahan yang masih sering dialami dalam penyaluran dan pemanfaatan energi listrik adalah tegangan turun (*drop voltage*). Tegangan turun merupakan tegangan yang hilang pada saluran penghantar [1]. Dalam beberapa kasus tegangan turun di bawah standar masih sering ditemukan pada distribusi jaringan tegangan rendah (JTR) 380/220V terutama yang berlokasi di ujung saluran dan dialami oleh konsumen sambungan rumah (SR) pada titik akhir [2]. Akibat tegangan turun yang melebihi toleransi ini menyebabkan banyak peralatan elektronik dari pelanggan yang tidak bisa bekerja secara maksimal bahkan dapat mengalami kerusakan. Normalnya tegangan turun yang

dijinkan sesuai standar PLN adalah 5% dari tegangan nominal 220 V [3]. Lebih lengkapnya menurut SLPN No. 72 tahun 1987 tegangan turun yang diijinkan pada JTM dan JTR adalah 2% dari tegangan kerja (sistem spindle dan gugus) dan 5% dari tegangan kerja (sistem radial dan simpul) [4].

Dari beberapa studi kasus, penyebab dari timbulnya turun tegangan antara lain adalah adanya rugi-rugi (*losses*) pada transformator dan jaringan saluran penghantar, peningkatan beban yang tidak diiringi dengan peningkatan kapasitas ukuran penghantar, serta peningkatan beban induksi yang menyebabkan turunnya faktor daya. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut beberapa metode telah dilakukan, diantaranya adalah dengan merekonfigurasi jaringan, penggantian kapasitas ukuran saluran penghantar, perbaikan faktor daya dengan kapasitor bank, dan perbaikan sambungan [5]. Namun demikian turun tegangan karena adanya *losses* di penghantar akan selalu terjadi karena adanya fluktuasi beban dan impedansi pada penghantar, terlebih untuk jaringan transmisi yang sangat jauh [6]. Oleh karena itu pada transformator daya di gardu-gardu induk (GI) biasanya menggunakan *On Load Tap Changer* (OLTC) untuk menjaga stabilitas tegangannya ketika sedang berbeban [7-8]. Umumnya tap changer digunakan untuk menstabilkan tegangan pada distribusi

tegangan tinggi dan menengah yang dipasang pada transformator 150/20kV [9].

Makalah ini membahas perancangan *Automatic Load Tap Changer* (ALTC) untuk menstabilkan tegangan rendah yang dapat dipasang disisi beban/konsumen khususnya untuk beban-beban satu fasa. Hal ini dilatarbelakangi oleh masih adanya pelanggan/konsumen energi listrik yang mengalami turun tegangan melebihi standar normal. Selain itu tegangan turun juga sering dialami oleh pembangkit-pembangkit listrik skala kecil secara mandiri di daerah-daerah terpencil berbasis energi baru terbarukan (EBT) seperti mikrohidro, solar panel, energi angin, dan biogas, sehingga dapat merusak beban-beban yang disuplainya. Metode yang digunakan dalam perancangan ALTC ini menggunakan kontrol pemrograman Arduino Mega untuk memerintahkan Triac sebagai saklar elektronik yang mengatur tap-tap tegangan keluaran transformator berdasarkan sensor tegangan inputnya. ALTC dirancang untuk menstabilkan tegangan keluaran transformator dengan nilai toleransi batas atas dan bawah  $\pm 5\%$  dari tegangan nominal 220 V.

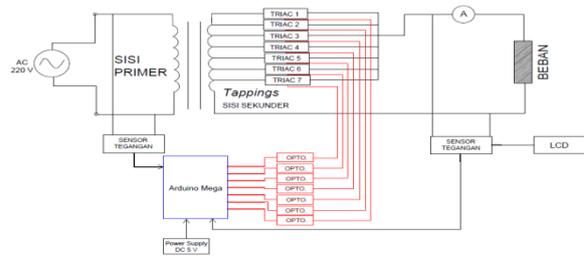
## 2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan merealisasikan *Automatic Load Tap Changer* (ALTC) transformator satu fasa 375 VA.
2. Menjaga kestabilan tegangan keluaran transformator satu fasa 375 VA agar mendapatkan nilai tegangan yang stabil 220 Volt dengan regulasi tegangan  $\pm 5\%$ .

## 3. DASAR TEORI

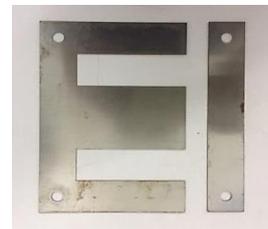
*Automatic Load Tap Changer* (ALTC) adalah alat yang dapat berfungsi mengubah tap secara otomatis saat keadaan beban sedang difungsikan. Artinya, alat ini dapat melakukan perubahan tap pada transformator ke posisi yang diinginkan agar tegangan pada beban tetap stabil pada nilai yang diinginkan [10]. Pada perancangan ini terdapat sembilan tap pada transformator yang dibuat sehingga tap dapat berpindah ke posisi yang lilitannya lebih banyak untuk menaikkan tegangan atau berpindah ke posisi tap yang lilitannya lebih sedikit untuk menurunkan tegangan sesuai dengan keperluan untuk menstabilkan tegangan pada saat transformator dibebani atau diberi tegangan masukan yang variabel. Secara keseluruhan skema sistem ALTC yang dirancang dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Sistem ALTC

### 3.1 Transformator

Transformator adalah alat yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik arus bolak balik dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain melalui suatu gandingan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [11]. ALTC yang dirancang menggunakan transformator 1 fasa berkapasitas 375 VA, 220 V(200 V- 240 V), 50 Hz, efisiensi  $\pm 97\%$ . Konstruksinya adalah tipe cangkang yang dibentuk dari lapisan inti dan kumparannya berada di pusat inti. Konstruksi inti dari tipe cangkang umumnya berbentuk huruf E dan I seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Inti Transformator Tipe E dan I

Pada perancangan transformator, ditetapkan terlebih dahulu parameter dari kapasitas transformator yang akan dibuat diantaranya adalah daya primer ( $P_1$ ), daya sekunder ( $P_2$ ), tegangan primer ( $V_1$ ), tegangan sekunder ( $V_2$ ), sebagai kriteria rancangan. Daya primer transformator ( $P_1$ ), dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \quad (1)$$

dengan  $\eta$ : efisiensi transformator akibat adanya rugi-rugi pada saat transformator bekerja. Untuk arus primer ( $I_1$ ) dan arus sekunder ( $I_2$ ) dapat diketahui berdasarkan persamaan berikut:

$$I_1 = \frac{P_1}{V_1} \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{P_2}{V_2} \quad (3)$$

Kemudian untuk menentukan ukuran penampang kawat yang digunakan sebagai lilitan transformator dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\phi = 0,7 \times \sqrt{I} \quad (4)$$

dengan  $\phi$ : nilai arus yang mengalir melewati lilitan kawat. Untuk mengetahui ukuran inti transformator digunakan persamaan berikut:

$$Ap = b \times h \quad (5)$$

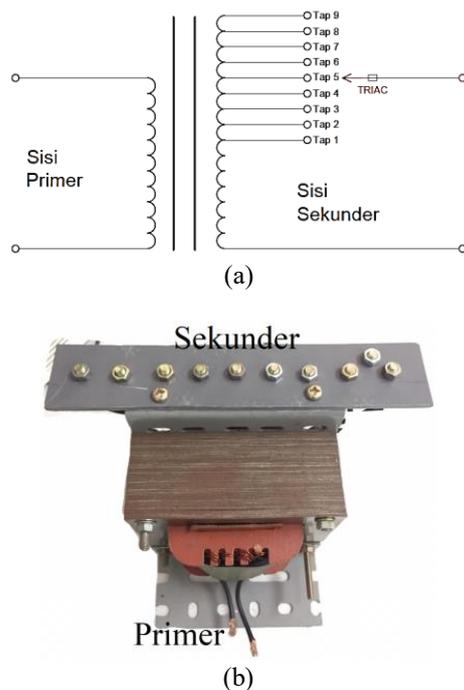
dengan  $Ap$ : area inti yang diberi lilitan koil ( $\text{cm}^2$ ),  $b$ : sisi penampang memanjang inti transformator (cm), dan  $h$ : sisi penampang melintang inti transformator (cm). Selanjutnya untuk menentukan jumlah lilitan di sisi primer dan sisi sekunder, maka harus mengetahui jumlah lilitan per volt ( $N/E$ ) terlebih dahulu. Untuk persamaan tegangan induksi ( $E$ ) adalah:

$$E = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot B_{\max} \cdot A \cdot 10^{-8} \quad (6)$$

sehingga,

$$\frac{N}{E} = \frac{1}{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot A \cdot 10^{-8}} \quad (7)$$

dengan  $E$ : tegangan induksi yang dibangkitkan (volt),  $f$ : frekuensi (Hz),  $N$ : jumlah lilitan,  $b$  maks:  $\pm 8000$  (weber),  $A$ : luas penampang inti ( $\text{cm}^2$ ). Konfigurasi transformator yang terdiri dari sembilan tap beserta hasil konstruksi fisik rancangan transformator dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tap Transformator, (a) Konfigurasi dan (b) Konstruksi

Berdasarkan perhitungan untuk setiap tap menggunakan persamaan (1) sampai (7) jumlah lilitan per volt ( $N/V$ ) apabila dimasukkan ke dalam nilai tegangan nominal 220 V dengan toleransi batas atas dan bawah  $\pm 5\%$ , maka didapat perbandingannya seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

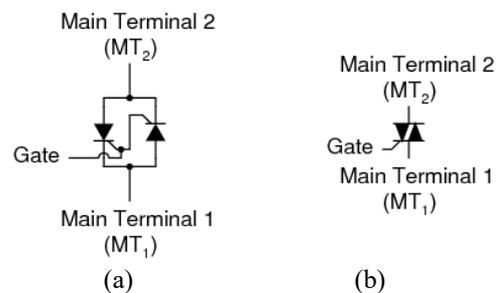
Tabel 1. Perbandingan Jumlah Lilitan dengan Tegangan.

Jumlah Lilitan (N)	Tegangan (V)
496	200
508	205
521	210
533	215
<b>546</b>	<b>220</b>
558	225
570	230
583	235
595	245

Berdasarkan Tabel 1 diatas, maka transformator yang dirancang merupakan transformator jenis *step-up* dan *step-down* berkapasitas 375 VA. Dimana ketika tegangan primer bernilai dibawah 5 % dari tegangan nominal, sistem akan berfungsi menaikkan tegangan (*step-up*) menuju ke range normal. Sebaliknya ketika tegangan primer bernilai diatas 5 % dari tegangan nominal, sistem akan menurunkan tegangan (*step-down*) menuju ke range normal sesuai standar yang diijinkan.

### 3.2 Triac

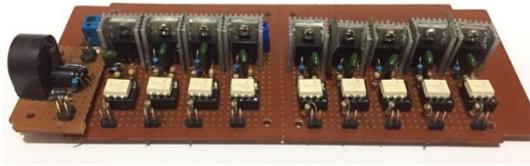
Triac merupakan komponen semikonduktor yang berfungsi sebagai saklar daya elektronik dengan kecepatan tinggi [12]. Hal ini karena struktur Triac pada dasarnya adalah gabungan dari dua buah SCR yang dirangkai secara bolak-balik dengan terminal gate yang disatukan Triac memiliki karakter bidirectional sehingga dapat mengalirkan arus dalam dua arah (AC) dari anoda ke katoda maupun sebaliknya. Struktur dan simbol Triac seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Triac, (a) Struktur dan (b) Simbol

Kelebihan dari Triac diantaranya adalah dapat mengalirkan arus listrik dalam dua arah, digunakan untuk mengendalikan tegangan listrik AC, dan sebagai interface antara sistem kendali digital dengan beban pada tegangan kerja AC. Jenis Triac yang digunakan pada perancangan ALTC di sini

adalah BTA16 yang berperan sebagai saklar (*switching*) tap changer dalam memilih rasio belitan transformator untuk menjaga tegangan keluarannya masih dalam standar regulasi yang ditentukan. Setiap tap dipasang satu Triac sehingga jumlah Triac yang digunakan sama dengan jumlah *tap changer* yaitu ada sembilan buah. Hasil rancangan rangkaian *switching tap changer* melalui Triac dan rangkaian driver-nya adalah seperti pada Gambar 6.

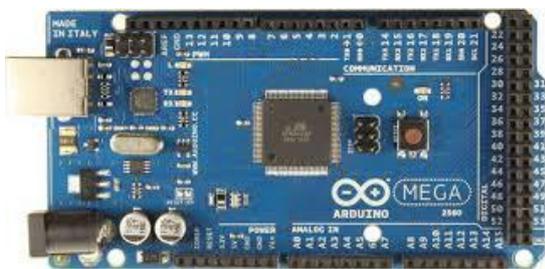


Gambar 6. Rangkaian *Switching* Triac pada *Tap Changer*

Agar Triac dapat bekerja maka diperlukan rangkaian pemacu (*driver*) yaitu optocoupler berupa IC MOC3021 untuk mentrigger saklar elektronik Triac dengan memberikan sinyal ke terminal gate-nya.

### 3.3 Mikrokontroler

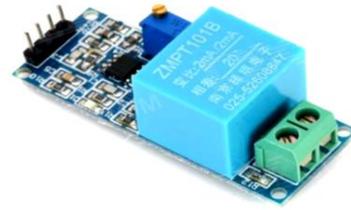
Jenis mikrokontroler digunakan sebagai pengendali sistem adalah Arduino Atmega 2560. Arduino bekerja pada tegangan 5V dan bertugas sebagai otak yang mengendalikan proses input dan output [13]. Inputan berasal dari hasil pembacaan sensor arus dan tegangan. Hasil pembacaan dari sensor kemudian diprogram berupa perintah-perintah yang outputnya berupa sinyal untuk mengaktifkan saklar *tap changer* yaitu rangkaian *switching* Triac sesuai posisi tap tegangan yang diinginkan. Tampilan board Arduino Atmega 2560 adalah seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Board Arduino Mega

### 3.4 Sensor Tegangan

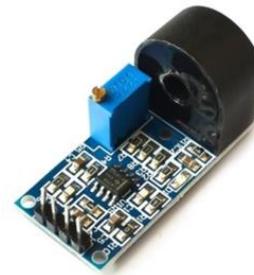
Sensor ini digunakan untuk melakukan monitoring terhadap parameter tegangan. Sensor berupa *potential transformer* yang digunakan untuk mengukur perubahan nilai tegangan pada sisi primer dan di sisi sekunder yang terhubung ke beban. Sensor tegangan yang digunakan dalam perancangan ALTC adalah jenis ZMPT101B seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Sensor Tegangan ZMPT101B

### 3.5 Sensor Arus

Sensor arus pada rancangan sistem ALTC terpasang di sisi sekunder keluaran transformator. Sensor arus pada sistem ini berfungsi untuk memonitor nilai arus yang berada pada sisi sekunder transformator atau pada sisi beban. Sensor arus yang digunakan adalah jenis ZMCT103C seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Sensor Arus ZMCT103C

## 4. METODE PENELITIAN

Dalam proses pelaksanaannya, metode penelitian dijabarkan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut:

### 4.1 Studi Literatur dan Diskusi

Pada tahap ini penulis mencari, menelaah, menggali, serta mengkaji referensi – referensi yang berkaitan dan relevan yang berhubungan dengan *automatic load tap changer transformator* yang akan dibangun. Referensi-referensi tersebut didapat baik dari jurnal ilmiah, buku, maupun karya ilmiah sejenis sebelumnya yang telah diuji.

### 4.2 Merancang Transformator dan ALTC

Tahap perancangan ini adalah tahap menentukan kinerja sistem dari alat yang akan penulis buat. Output tahap ini adalah berupa gambar dan perhitungan yang akan menjadi patokan untuk melaksanakan pembuatan alat.

### 4.3 Pengadaan Komponen

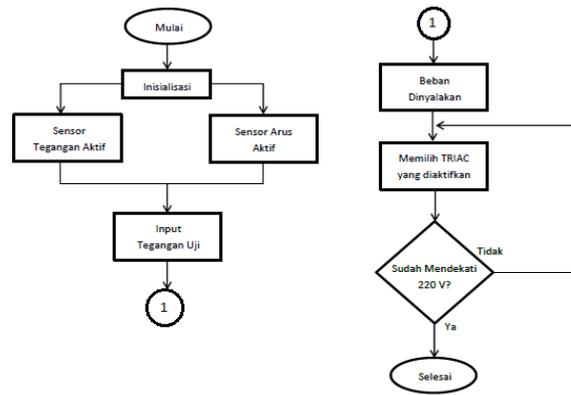
Penulis membagi menjadi dua kelompok untuk merancang pengadaan komponen, yaitu komponen untuk pembuatan transformator dan komponen untuk pembuatan alat *automatic load tap changer*. Pengadaan komponen dilakukan berdasarkan kebutuhan yang diperlukan selama pembuatan proyek ini.

#### 4.4 Membangun Transformator dan ALTC

Pada tahap membangun proyek, penulis membuat dua kelompok utama untuk dibuat, yaitu pembuatan transformator dan membuat *automatic load tap changer*. Dalam membangun transformator penulis menggunakan cara manual dari tahap perancangan, pelaksanaan, hingga transformator dapat digunakan.

#### 4.5 Pengujian dan Analisa

Tahap ini dilaksanakan ketika transformator dan ALTC sudah selesai dibangun, tahap ini berfungsi untuk mengetahui apakah kinerja dari alat telah sesuai dengan rancangan atau tidak.



Gambar 11. Flowchart Sistem ALTC

### 5. PENGUJIAN SISTEM

Pengujian ini dimulai dari menghubungkan semua terminal yang ada pada sistem *Automatic Load Tap Changer* seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengujian Sistem ALTC

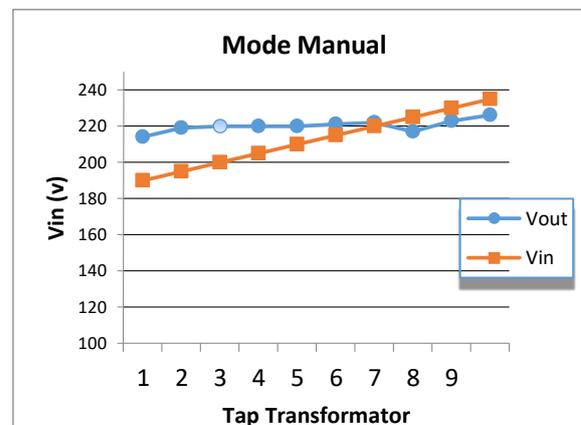
Setelah semua terminal terhubung, selanjutnya input ALTC dihubungkan dengan sumber PLN 220 V AC, 50 Hz dan output ALTC terhubung ke beban. Pengujian sistem dilakukan dengan dua metode. Metode pertama adalah dengan variasi pembebanan dan tegangan sumber tetap. Beban yang digunakan berupa beberapa lampu pijar dengan daya (watt) yang bervariasi dari arus terkecil 0,45 A sampai dengan beban penuh sebesar 1,7 A untuk menguji sistem dalam menstabilkan tegangan dengan nilai referensi 220 V. Metode kedua adalah dengan variasi tegangan sumber dan beban tetap. Pengujian ini menggunakan variac yang dapat mengatur tegangan sumber PLN dengan nilai range tegangan yang telah ditetapkan yaitu 200 – 240 V AC. Secara umum sistem kerja ALTC yang dirancang adalah berdasarkan diagram *flowchart* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.

### 6. HASIL DAN ANALISA

Pengujian alat ALTC transformator merupakan tahapan akhir dari penelitian ini. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui alat ALTC transformator yang telah dirancang dan dibangun telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan atau belum. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh dua data hasil pengujian yaitu data pengujian mode manual dan mode automatic. Berikut ini merupakan data hasil pengujian yang ditulis pada poin 5.1 dan 5.2 sebagai berikut.

#### 6.1 Hasil Pengujian Mode Manual

Pada pengujian ini penulis menggunakan beban satu buah lampu pijar 100 Watt dengan tegangan input yang variabel dari 190 volt sampai 235 volt dengan rentang perpindahan tegangan 5 volt. Pada pengujian mode manual penulis mengaktifkan satu persatu tap menggunakan laptop yang terhubung pada ALTC melalui perangkat lunak Arduino IDE sampai menemukan tap yang paling mendekati tegangan nominal 220 volt. Berikut pada Gambar 12 merupakan grafik hasil pengujian mode manual:



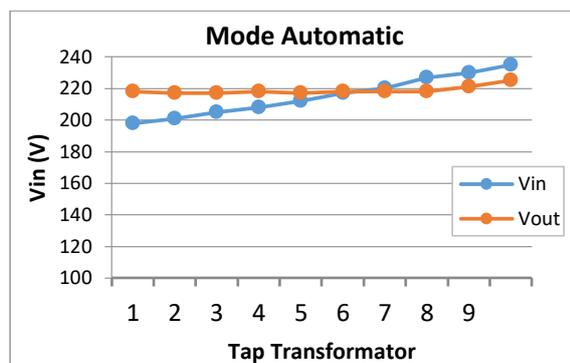
Gambar 12. Grafik Pengujian Mode Manual

Pada pengujian mode manual menunjukkan jika tegangan input semakin kecil di bawah tegangan nominal maka tap yang harus dipilih untuk mendekati tegangan nominal semakin tinggi, dapat dilihat pada Gambar 12 pada saat tegangan input 190 volt maka tap yang paling mendekati tegangan nominal adalah tap 9. Berbanding terbalik, jika tegangan input semakin besar menjauhi tegangan nominal maka tap yang paling mendekati tegangan nominal semakin rendah. Hal itu dikarenakan semakin tinggi tap pada transformator maka tegangan keluarannya semakin besar, dan semakin rendah tap pada transformator maka tegangan keluarannya akan semakin kecil. Dapat dilihat pada pada saat tegangan input sebesar 235 volt, maka tegangan yang paling mendekati tegangan nominal berada pada tap 1. Hasil pengujian mode manual menunjukkan regulasi tegangan paling kecil yaitu 0,09 % dan paling besar 2,27 %.

Persentase rugi tegangan pada saat tidak memakai ALTC, ketika  $V_{in}=190$  Volt adalah sebagai berikut:  
 $\Delta V = 220 - 190 = 30$  Volt, sehingga besar nilai persentase (%) rugi tegangan adalah:  $\Delta V (\%) = 30/220 \text{ volt} \times 100\% = 13,63 \%$ . Sedangkan persentase rugi tegangan pada saat memakai ALTC, ketika  $V_{in} = 214$  Volt adalah sebagai berikut :  
 $\Delta V = 220 - 214 = 6$  Volt, sehingga besar nilai persentase (%) rugi tegangan adalah:  $\Delta V (\%) = 6/220 \text{ volt} \times 100\% = 2,72 \%$ .

## 6.2 Hasil Pengujian Mode Automatic

Pada pengujian ini penulis menggunakan beban satu buah lampu pijar 100 Watt dengan tegangan input yang variabel dari 198 volt sampai 235 volt. Pada pengujian mode automatic penulis dilakukan dengan merubah tegangan input secara variabel dengan memperhatikan display LCD pada ALTC untuk mengetahui TRIAC yang aktif dalam menstabilkan tegangan. Berikut ini adalah grafik yang dihasilkan dari pengujian mode automatic seperti ditunjukkan pada Gambar 13:



Gambar 13. Grafik Pengujian Mode Automatic

Pada pengujian mode automatic tidak memerlukan laptop untuk mengatur tap yang harus diaktifkan untuk menyesuaikan tegangan output mendekati tegangan nominal, karena pada mode automatic ALTC dapat memilih secara otomatis tap yang harus aktif untuk menjaga tegangan keluaran agar terus mendekati tegangan nominal 220 volt. Pada Gambar 13 menunjukkan jika tegangan input semakin kecil di bawah tegangan nominal maka tap yang ALTC pilih untuk mendekati tegangan nominal semakin tinggi. Berbanding terbalik, jika tegangan input semakin besar menjauhi tegangan nominal maka tap yang dipilih untuk mendekati tegangan nominal semakin rendah. Hasil regulasi tegangan pengujian mode automatic pada rentang tegangan 198 volt sampai 235 volt menunjukkan regulasi tegangan paling kecil yaitu 0,90 % dan paling besar 2,27 %.

## 7. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Transformator 375 VA yang memiliki sembilan tap dapat mengeluarkan tegangan output yang berbeda dari setiap tap nya sesuai dengan rasio tap keluarannya.
2. *Automatic Load Tap Changer* dapat menjaga kestabilan tegangan dengan *range* di bawah 5% sampai tegangan input mencapai nilai 190 Volt dengan tegangan nominal 220 Volt.
3. Mode Manual pada *Automatic Load Tap Changer* dapat berfungsi untuk memilih tegangan keluaran berdasarkan tap yang dipilih untuk diaktifkan.
4. Mode Automatic pada *Automatic Load Tap Changer* dapat bekerja secara otomatis untuk memilih tap yang diaktifkan untuk menjaga kestabilan tegangan hingga terus mendekati nilai tegangan nominal 220 Volt.
5. Semakin besar rentang batas atas dan batas bawah tap pada transformator maka ALTC dapat menstabilkan tegangan dengan cakupan lebih luas.
6. Rentang antar tap pada transformator dapat mempengaruhi tegangan keluaran sehingga mempengaruhi regulasi tegangan yang dihasilkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis tujukan kepada semua pihak sehingga makalah ini dapat terbit. Ucapan terima kasih ditujukan kepada:

1. Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung.
2. Kelompok penelitian Elektronika Daya, P2 Telimek LIPI.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. L. Latuperissa, H. M. Muskita, C. A. Leihitu, "Analisis Kerugian Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 Volt Gardu Distribusi Politeknik Negeri Ambon," *Jurnal Simetrik*, vol. 9, no. 1, pp. 46-51, Juni 2018.
- [2] A. Nugroho, and E. Setiawan, "Analisa Perbaikan Losses dan Jatuh Tegangan Pada Jaringan Sambungan Rumah Tidak Standar Dengan Simulasi Software ETAP 7.5.0," *Jurnal Transmisi*, vol. 17, no. 3, pp. 141-146, 2015.
- [3] M. Suartika, and I. W. A. Wijaya, "Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Untuk Memperbaiki Drop Tegangan Di Daerah Banjar Tulangnyuh Klungkung" *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 175-181, Juli-Desember 2010.
- [4] Kelompok Pembakuan Bidang Distribusi, "Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 72:1987," Departemen Pertambangan dan Energi, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1987.
- [5] F. I. Handayani, Yuningtyastuti, A. Nugroho, "Analisis Jatuh Tegangan dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Software ETAP 12.6.0," *Jurnal Transient*, vol. 5, no. 1, pp. 56-62, Maret 2016.
- [6] T. Bini, Tadjuddin, A. N. Maajidah, A. T. Putra, "Analisis Jatuh Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah PT. PLN (Persero) Rayon Takalar," *Jurnal Elekrika*, no. I, thn. 12, pp. 10-25, Januari 2015.
- [7] A. Rafianto, "Analisis Sistem On Load Tap Changer (OLTC) Pada Transformator 150/20 KV Untuk Menjaga Kestabilan Tegangan Pada GI Kaliwungu Jawa Tengah," *Jurnal Media Elekrika*, vol. 12, no. 1, pp. 12-28, Juni 2019.
- [8] R. Harahap, and J. A. Pakpahan, "Analisa Pengukuran Ratio Transformator Daya Yang Menggunakan On Load Tap Changer," *Buletin Utama Teknik*, vol. 13, no. 3, pp. 184-188, Mei 2018.
- [9] A. S. Sampeallo, W. F. Galla, D. M. K. Jala, "Analisis Pengaturan Posisi Tap On Load Tap Changer Pada Transformator Daya 30 MVA 70/20 KV Di GI Maulafa," *Jurnal Media Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 121-128, Oktober 2019.
- [10] A. A. Firdaus, "Optimasi On-Load Tap-Changing Menggunakan Quantum Differential Evolution Untuk Meminimalkan Kerugian Daya," *Jurnal Eltikom*, Vol. 2, No. 1, pp. 9-17, Juni 2018.
- [11] F. Silitonga, "Rancangan Perubah Sadapan (Tap Changer) Transformator Distribusi," *Jurnal PRIMA*, vol. 3, no. 5, pp. 1-8, Juni 2006.
- [12] Y. N. Wijayanto, Sulistyaningsih, F. Oktafiani, "Sistem Perlindungan Menggunakan Optical Switching Pada Tegangan Tinggi," *Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2007.
- [13] D. D. Dessai, G. B. Gonsalves, M. R. Luis, dan M. S. Cardoso, "Dark Detector System for Paper Waste Detection," *International Journal for Scientific Research & Development*, Vol. 5, Issue 01, pp. 873-875, 2017.