

PERANCANGAN OTOMASI VARIABLE TRANSFORMATOR UNTUK MENGATUR TEGANGAN KELUARAN BERBASIS MIKROKONTROLER

Basten Bastory Rochim^{*)}, Abdul Syakur, dan Budi Setiyono

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: bastorybasten@gmail.com

Abstrak

Sistem otomasi di zaman sekarang berkembang dengan sangat pesat hingga hampir semua aspek pekerjaan menggunakan otomasi dalam menyelesaikan pekerjaan. Untuk itu dibuatlah perancangan kontrol tegangan variable transformator ini menggunakan otomasi menggunakan mikrokontroler STM32F103C8T6 dan aktuatornya berupa servo continuous DF15RSMG. Variable transformator ini akan digunakan sebagai masukan tegangan untuk trafo sign sehingga akan menghasilkan tegangan tinggi. Sampai saat ini variable transformator yang digunakan masih dengan menggunakan metode manual yaitu menggunakan tangan untuk memutar knopnya dan membaca tegangan aslinya menggunakan multimeter. Untuk membaca nilai tegangan AC dari keluaran variable transformator menggunakan sensor ZMPT101B menggunakan penundaan T/4 OSG (Orthogonal Signal Generator) . Metode Kontrol yang digunakan adalah metode on/off dan PI (Proporsional Integral). Pada pengujian respon sistem dengan referensi tetap menggunakan kontroler PI dengan nilai Kp 1,0 dan Ki 0,05 dihasilkan Td sebesar 6 detik, Tr sebesar 14 detik, Tp sebesar 14 detik, Ts sebesar 15 detik, dan Mp yang dihasilkan adalah 0,08%. Pengujian menggunakan kontroler ini lebih baik responnya jika dibandingkan dengan pengujian menggunakan kontroler lainnya. Pada pengujian respon dengan pemberian gangguan semua kontroler yang diuji dapat merespon dengan baik.

Kata Kunci: Variable transformator, Sensor ZMPT101B, Servo DF15RSMG Mikrokontroler STM32F103C8T6, Metode kontrol PI, Metode kontrol on-off.

Abstract

Automation systems today are growing so rapidly that almost all aspects of work use automation in completing work. For this purpose a variable voltage transformer control design is made using automation using the STM32F103C8T6 microcontroller and the actuator is a continuous DF15RSMG servo. This transformer variable will be used as the input voltage for the sign transformer so that it will produce high voltage. Until now the transformer variable used is still using the manual method, which is using the hand to rotate the knob and read the original voltage using a multimeter. To read the AC voltage value from the output variable transformer using the ZMPT101B sensor. Control methods used are on / off and PI (Proportional Integral) methods. In testing the system response with a reference to using the PI controller with a value of Kp 1.0 and Ki 0.05 generated Td of 6 seconds, Tr of 14 seconds, Tp of 14 seconds, Ts of 15 seconds, and the Mp produced is 0.08 %. Testing using this controller is better in response when compared to testing using other controllers. In testing the response by giving interference to all the tested controllers can respond well.

Keywords: Variable transformator, Sensor ZMPT101B, Servo DF15RSMG Mikrokontroler STM32F103C8T6, PI control method, on-off control method.

1. Pendahuluan

Sistem otomasi di zaman sekarang berkembang dengan sangat pesat hingga hampir semua aspek pekerjaan menggunakan otomasi dalam menyelesaikan pekerjaan. Menggunakan otomasi berarti dapat mempermudah, memberikan keamanan dan kesan canggih pada pekerjaan dengan begitu maka pekerja dapat melakukan pekerjaannya tanpa harus mempersulit dirinya sendiri. Salah satu pekerjaan yang dapat dilakukan dengan otomasi tersebut adalah mengatur nilai setpoint dan monitor

terhadap nilai tegangan AC pada penelitian ini. Variable transformator merupakan sebuah trafo yang dapat diatur tegangan keluarannya dengan rentang 0 – 250 V AC. Variable transformator ini akan digunakan sebagai masukan tegangan untuk trafo sign sehingga akan menghasilkan tegangan tinggi. Sampai saat ini variable transformator yang digunakan masih dengan menggunakan metode manual yaitu menggunakan tangan untuk memutar knopnya dan membaca tegangan aslinya menggunakan multimeter. Untuk itu dibuatlah perancangan kontrol tegangan variable transformator ini

menggunakan otomasi menggunakan mikrokontroler STM32F103C8T6 dan aktuatornya berupa servo continuous DF15RSMG. STM32F103C8T6 dipilih karena spesifikasi melebihi mikrokontroler lain dengan frekuensi kerjanya hingga 72MHz, flash memory 64KB dan ADC 12 bit[1]. Servo continuous dipilih karena variable transformator memerlukan sudut putar lebih dari 270 derajat. Modul sensor tegangan ZMPT101B adalah sensor tegangan yang terbuat dari transformator tegangan ZMPT101B. Sensor ini mudah untuk digunakan dan dilengkapi dengan multi turn trim potentiometer untuk menyesuaikan output ADC. Untuk dapat menemukan hasil yang lebih antara tegangan input dan output ADC menggunakan analisis regresi. Output ADC disesuaikan dengan trimpot ke nilai yang sesuai terhadap masukan referensi[2]. PLL (Phase locked loop) bisa digunakan untuk memonitor besaran tegangan jaringan. Dalam penundaan $T / 4$ delay OSG berdasarkan PLL, kuadratur input sinyal cukup dihasilkan dengan menunda sinyal input dengan jumlah $\frac{1}{4}$ periode. Saat ini berbagai sinyal berubah ke bentuk dc dengan rata-rata transformasi park dimana fase informasi yang diumpangkan ke blok transformasi park diturunkan dari output sistem umpan balik PLL [3]. Perancangan kontrol menggunakan metode PI dan on-off sebagai pembandingnya dengan feedback dari sensor ZMPT101B berupa tegangan AC. Dalam aplikasinya di lapangan, Kontrol Proporsional Integral biasanya digunakan untuk pengontrolan proses yang memiliki dinamika relative cepat. Berdasarkan sebuah survey dinyatakan bahwa hampir 80% kontroler PID yang terinstal di industri menggunakan kontrol PI dalam operasinya[4]. Filter eksponensial adalah filter yang sederhana namun cukup kuat untuk memberikan hasil yang baik. Filter eksponensial memiliki parameter yaitu nilai α . Nilai α dapat dipilih dalam rentang 0 hingga 1. Jika nilai α semakin besar besar hasil pemfilteran kurang halus, tetapi respons filter adalah lebih cepat. Semakin kecil α memberikan hasil penyaringan yang halus, tetapi respons filter lebih lambat. Filter eksponensial adalah dipilih karena hasil yang halus diinginkan. Dengan menggunakan filter eksponensial dengan 9.995×10^{-4} untuk nilai α dan metode perhitungan fix point, waktu eksekusi lebih efisien dan lebih cepat[5]. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem otomasi variable transformator sebagai masukan tegangan untuk trafo sign sehingga mendapatkan hasil pembacaan yang akurat, presisi dan sesuai dengan setpoint yang diinginkan.

2. Metode

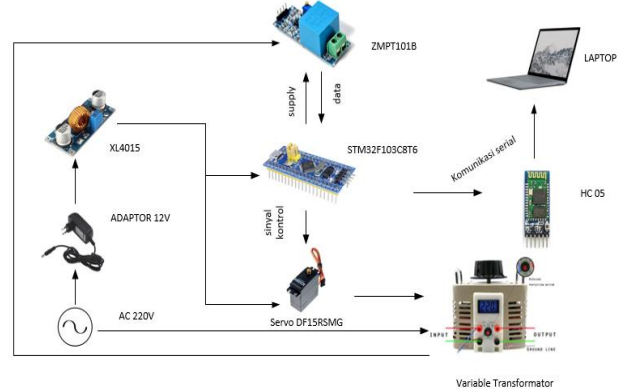
2.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dari otomatisasi variable transformator berbasis mikrokontroler meliputi perancangan komponen elektronik dan mekanik penggerak servo. Spesifikasi perancangan otomatisasi variable transformator berbasis mikrokontroler ini terdiri dari:

1. Variable transformator sebagai plant utama untuk memberikan variasi tegangan input ke sistem.
2. Servo DF15RSMG sebagai aktuator untuk menggerakkan knop variable transformator untuk mendapatkan tegangan AC yang sesuai dengan setpoint.
3. Catu daya sebagai sumber daya bagi semua komponen yang digunakan.
4. Mikrokontroler STM32F103C8T6 digunakan sebagai unit kontroler untuk mengaplikasikan kendali close loop, Kontrol PI, mengirim data setpoint dan data sensor ke laptop untuk dimonitor.
5. Sensor ZMPT101B adalah sensor tegangan AC sebagai pembaca nilai tegangan dan umpan balik untuk sistem.
6. Modul bluetooth HC-05[6] sebagai modul yang digunakan untuk melakukan komunikasi serial ke laptop.
7. Laptop sebagai penampil tanggapan sistem (proses monitoring).

2.1.1. Perancangan Komponen Elektronik

Pada gambar 1 menjelaskan mengenai perancangan komponen elektronik pada penelitian ini, modul XL4015 sebesar 5-7V akan memberikan supply ke mikrokontroler dan motor servo agar dapat bekerja. Supply pada ZMPT101B diberikan oleh mikrokontroler sebesar 3,3V dan ZMPT101B mengirimkan data analog ke mikrokontroler. Mikrokontroler akan mengolah data tersebut dengan kontroler PI untuk mengirimkan sinyal kontrol kepada servo untuk mendapatkan setpoint yang diinginkan. Servo akan menggerakkan knop variable transformator untuk mengubah nilai tegangan dan akan berhenti ketika samapia setpoint. Data berupa nilai tegangan actual dari variable tranformator akan ditampilkan pada laptop menggunakan komunikasi serial dengan modul bluetooth HC 05. Mikrokontroler yang digunakan adalah STM32F103C8T6 dari ST® Electronics dengan basis ARM® Cortex-M3 dalam platform BluePill. STM32F103C8T6 adalah mikrokontroler 32-bit Reduce Instruction Set Computing (RISC) buatan STMicroelectronics yang memiliki arsitektur dan berbasis prosesor ARM® Cortex-M3 [1].



Gambar 1. Perancangan Komponen Elektronik

a. Perancangan Mikrokontroler STM32F103C8T6

Pada Tabel 1 menjelaskan mengenai konfigurasi input dan output yang dipakai pada penelitian ini. Pin PA0 digunakan untuk menerima data analog dari ZMPT101B sebagai pembacaan data tegangan AC dari keluaran variable transformer. Pin PA1 digunakan untuk memberikan sinyal PWM untuk mengatur kecepatan servo. Kontrolnya menggunakan kontrol PI karena memiliki kontrol yang baik dan mudah digunakan untuk servo. Pin PA9 dan PA10 digunakan sebagai komunikasi serial ke laptop sehingga grafik setpoint dan tegangan AC dapat dilihat di layar monitor. Dengan begini mikrokontroler memiliki fungsi sebagai pembacaan data sensor, pengendalian servo dan komunikasi data.

Tabel 1. Penempatan pin-pin IO pada papan mikrokontroler

I/O	Sinyal	Jenis	Pin pada mikrokontroler
Input	Sensor ZMPT101B	Analog	PA0
Output	Sinyal PWM Servo	Analog	PA1
Output	Modul Bluetooth HC-05	Serial UART	PA9 (Tx), PA10 (Rx)

b. Perancangan Sensor ZMPT101B

Modul sensor tegangan ZMPT101B adalah sensor tegangan yang terbuat dari transformator tegangan ZMPT101B. Sensor ini memiliki akurasi tinggi, konsistensi yang baik untuk voltase dan tenaga pengukuran dan bisa mengukur sampai 250V AC. Sensor ini mudah untuk digunakan dan dilengkapi dengan multi turn trim potensiometer untuk menyesuaikan output ADC. Untuk dapat menemukan hasil yang lebih antara tegangan input dan output ADC menggunakan analisis regresi. Output ADC disesuaikan dengan trimpot ke nilai yang sesuai terhadap masukan referensi[2].

Perhitungan untuk menghasilkan nilai tegangan dari hasil pembacaan tegangan AC dapat menggunakan rumus :

$$V_{peak} = \sqrt{2} V_{RMS} \quad (1)$$

$$V_{RMS} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

Data yang masuk ke mikrokontroler akan diolah menjadi data penampil tegangan rms AC keluaran variable transformer. Gambar 2 menunjukkan konfigurasi pin sensor ZMPT101B.



Gambar 2. Konfigurasi pin sensor ZMPT101B

c. Perancangan Servo DF15RSMG

Servo DF15RSMG memerlukan supply 5-7.4V dari buck converter. Kabel sinyal dihubungkan ke pin A1 pada

mikrokontroler untuk mengirimkan sinyal pwm sebagai pengatur putaran servo. Gambar 3. menunjukkan konfigurasi pin servo DF15RSMG[7].



Gambar 3. Konfigurasi pin servo DF15RSMG

d. Variable Transformer

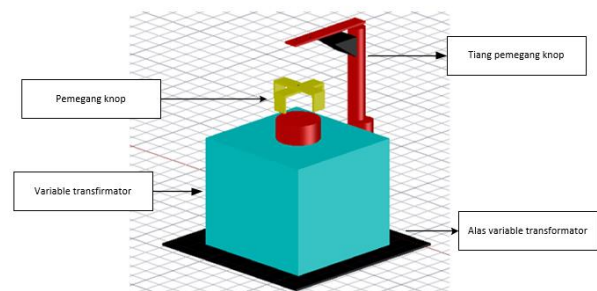
Variable Transformer yang digunakan pada penelitian ini menggunakan spesifikasi sebagai berikut[8] :

- Type : TDGC2-2
- Capacity : 2KVA
- Output Current : 8A
- Output Voltage : 0-250V
- Input Voltage : 220V
- Voltage Setting : Manual Control



Gambar 4. Variable transformer

2.1.2. Mekanik Pemutar Variable Transformer



Gambar 5. Desain pemutar variable tranformator

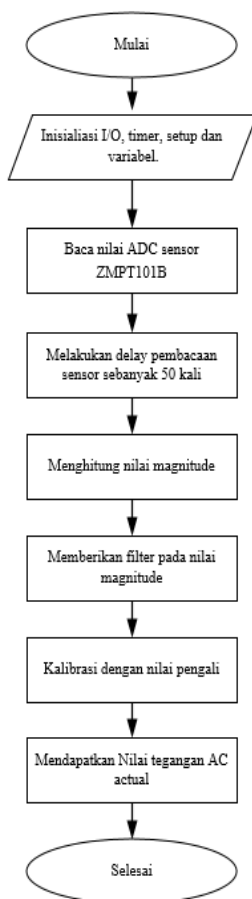
Mekanik pemutar variable transformer digunakan sebagai penopang variable transformer supaya dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Terdiri dari tiang pemegang knob, pemegang knob dan alas variable transformer berbahan besi. Tiang pemegang knob yang berdiameter 2 cm berfungsi sebagai penopang yang dapat

diatur ketinggiannya sesuai dengan ketinggian dari variable transformator sehingga dapat lebih mudah untuk penggunaannya. Maksimal tinggi yang dapat ditampung dari mekanisme ini adalah 28 cm. Pemegang knop memiliki peran yang penting untuk pemutaran variable transformator, pemegang knop dapat diatur kekuatan pencengkramannya agar servo dapat menggerakkan variable transformator dengan baik. Untuk mengatur pencengkramannya dapat dilakukan dengan cara memutar baut pada sisi pemegang knop. Kemudian bagian alas hanya sebagai wadah agar tiang dapat berdiri dengan baik. Ukuran alas variabel transformator memiliki luas 22 x 22 cm. Pemegang knop memiliki diameter 7 cm. Pada Gambar 5. menunjukkan desain pemutar variable transformator.

2.2. Algoritma dan Diagram Alir Sistem

2.2.1. Algoritma dan Diagram Alir Pembacaan Sensor

Pada bagian ini terdiri dari algoritma dan diagram alir pembacaan sensor ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir pembacaan sensor ZMPT101B

Algoritmanya adalah sebagai berikut :

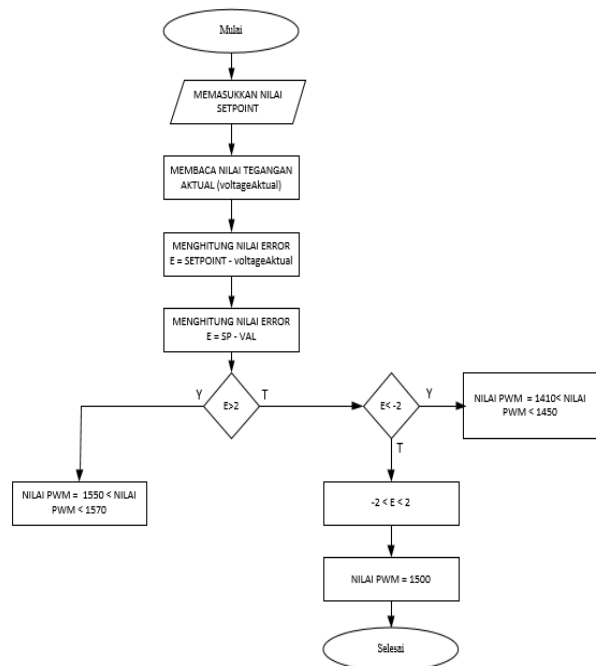
- Mulai.
- Inisialisasi I/O dan variabel.

- Baca nilai ADC sensor ZMPT101B.
- Melakukan delay pembacaan sensor sebanyak 50 kali.
- Menghitung nilai magnitude.
- Memberikan filter pada nilai magnitude.
- Kalibrasi dengan nilai pengali.
- Mendapatkan Nilai tegangan AC actual
- Selesai

2.2.2. Algoritma dan Diagram Alir Penggerakkan Servo

Pada bagian ini terdiri dari algoritma dan diagram alir penggerakkan servo ditunjukkan pada Gambar 7. Algoritmanya adalah sebagai berikut :

- Mulai.
- Memasukkan nilai setpoint.
- Membaca nilai tegangan actual (voltageAktual).
- Menghitung nilai error ($e = \text{setpoint} - \text{voltageAktual}$).
- Penentuan penggerakkan servo jika menggunakan kontrol PI
 - Jika $e > 2$, maka nilai pwm = $1550 < \text{nilai pwm} < 1570$
 - Jika $e < -2$, maka nilai pwm = $1410 < \text{nilai pwm} < 1450$
 - Jika $-2 < e < 2$, maka nilai pwm = 1500
- Untuk kontrol on-off nilai PWM nya pasti 1550 dan 1440.
- Selesai.



Gambar 7. Diagram alir penggerakkan servo

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

2.3.1. Pemrograman Pembacaan Sensor

- Pengukuran magnitude tegangan ac berdasarkan $T/4$ delay OSG (Orthogonal Signal Generator) Persamaan (3) menunjukkan bahwa besarnya sinusoidal sinyal yang tertunda oleh $1/4$ periode sama dengan cosinus

nilai dari sudut saat ini. Amplitudo atau besarnya a sinyal dapat diungkap dengan menggunakan identitas trigonometri di persamaan (4)[4].

$$\sin\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) = \cos(\theta) \quad (3)$$

$$A(t) = \sqrt{(A_m \sin(\theta))^2 + (A_m \cos(\theta))^2} \quad (4)$$

$$A(t) = A_m \quad (5)$$

Pengambilan sampel frekuensi yang digunakan dalam kasus ini adalah 10 kHz, untuk pengambilan sampel sinyal tegangan, yang berarti gelombang sinus 50 Hz periodik akan diambil sampelnya 200 sampling data setiap periode. Memperoleh ¼ penundaan periode berarti sinyal harus ditunda 50 sampel jika sinyal tersebut diasumsikan sekitar 50 Hz frekuensi. Komunikasi data menggunakan komunikasi serial oleh modul Bluetooth HC-05 untuk mengirimkan data pada interface.

b. Eksponensial Filter

Filter eksponensial adalah filter yang sederhana namun cukup kuat untuk memberikan hasil yang baik, Persamaan (6) mewakili persamaan filter eksponensial. Filter eksponensial memiliki parameter yaitu nilai α . Nilai α dapat dipilih dalam rentang 0 hingga 1. Jika nilai α semakin besar hasil pemfilteran kurang halus, tetapi respons filter adalah lebih cepat. Semakin kecil α memberikan hasil penyaringan yang halus, tetapi respons filter lebih lambat. Filter eksponensial adalah dipilih karena hasil yang halus diinginkan. Dengan menggunakan filter eksponensial dengan 9.995×10^{-4} untuk nilai α dan metode perhitungan fix point, waktu eksekusi lebih efisien dan lebih cepat[4].

$$X(t) = \alpha u(t) + (1 - \alpha) X(t - 1) \quad (6)$$

2.3.2. Pemrograman Penggerakkan Servo

Pemrograman penggerakkan servo berisi logika untuk memutar servo berputar searah jarum jam, berlawanan arah jarum jam dan berhenti. digunakan merupakan hasil dari perhitungan kontroler PI. Apabila error lebih dari 1.2V, maka servo akan berputar searah jarum jam sedangkan apabila error kurang dari -1.2V akan berputar berlawanan dengan arah jarum jam. Servo akan berhenti berputar bila error memiliki range antara $-1.2 < e < 1.2$. Nilai pwm yang memiliki nilai 1440 akan mengendalikan servo untuk berputar berlawanan arah jarum jam. Sedangkan nilai pwm yang memiliki nilai lebih dari 1550 akan mengendalikan servo untuk berputar searah jarum jam.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Kalibrasi Sensor Tegangan ZMPT101B

Pengaturan trimpot dilakukan sebagai kalibrasi awal agar gelombang keluaran pengkondisi sinyal sesuai dengan kriteria input mikrokontroler STM32F103C8T6. Hasil Kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2. dapat dilihat bahwa masing-masing tegangan memiliki Vpp yang berbeda untuk keperluan pembacaan tegangan sensor

ZMPT101B. Hasil tersebut sudah sesuai dengan keperluan mikrokontroler.

Tabel 2. Kalibrasi sensor ZMPT101B

Tegangan	Vpp	Vmax	Vmin
50	0,2	1,76	1,56
60	0,24	1,8	1,56
70	0,28	1,84	1,52
80	0,32	1,84	1,52
90	0,36	1,88	1,52
100	0,4	1,88	1,48
110	0,44	1,88	1,44
120	0,48	1,92	1,44
130	0,52	1,96	1,44
140	0,56	1,96	1,4
150	0,56	1,96	1,4
160	0,6	2	1,4
170	0,64	2	1,36
180	0,68	2,04	1,36
190	0,72	2,04	1,32
200	0,76	2,08	1,32
210	0,8	2,08	1,28
220	0,8	2,08	1,28

3.2. Pengujian Pembacaan Data Sensor Tegangan ZMPT101B

Tabel 3. Pengujian Sensor Tegangan ZMPT101B

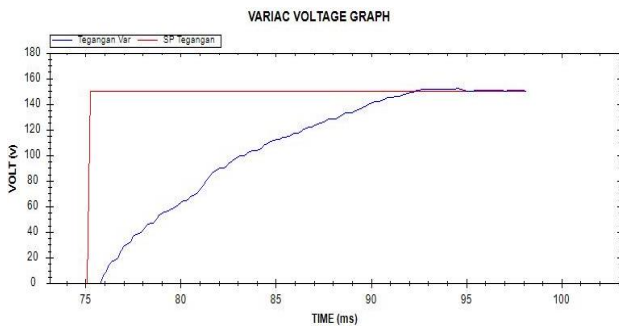
No	Tegangan Multimeter (V)	Tegangan Sensor ZMPT101B (V)	Error (V)	Error (%)
1	50	51.45	1.45	2.900
2	55	56.37	1.37	2.491
3	60	60.85	0.85	1.417
4	65	65.77	0.77	1.185
5	70	70.24	0.24	0.343
6	75	75.61	0.61	0.813
7	80	80.53	0.53	0.663
12	105	105.14	0.14	0.133
13	110	110.06	0.06	0.055
14	115	115.43	0.43	0.374
15	120	120.35	0.35	0.292
16	125	125.27	0.27	0.216
17	130	130.19	0.19	0.146
18	135	135.11	0.11	0.081
19	140	140.48	0.48	0.343
20	145	145.4	0.4	0.276
21	150	150.77	0.77	0.513
22	155	155.25	0.25	0.161
23	160	160.17	0.17	0.106
24	165	165.54	0.54	0.327
25	170	170.46	0.46	0.271
26	175	175.38	0.38	0.217
27	180	180.3	0.3	0.167
28	185	185.22	0.22	0.119
29	190	190.14	0.14	0.074
30	195	195.51	0.51	0.262
31	200	200.88	0.88	0.440
32	205	205.36	0.36	0.176
33	210	210.28	0.28	0.133
34	215	215.65	0.65	0.302
35	220	220.57	0.57	0.259
36	225	225.04	0.04	0.018
37	230	229.52	0.48	0.209
Error rata - rata			0.448	0.458

Pengujian sensor tegangan ZMPT101B dilakukan dengan membandingkan tegangan AC yang terbaca oleh sensor melalui mikrokontroler dengan tegangan AC yang terbaca oleh multimeter digital. Hasil pengukuran dan pembacaan sensor tegangan masing-masing dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 4.4 Rata-rata error pembacaan tegangan sensor yaitu sebesar 0.448V atau 0.458%.

3.3. Pengujian Respon Sistem Kontroler On-Off

3.3.1. Pengujian Respon Sistem dengan Referensi Tetap

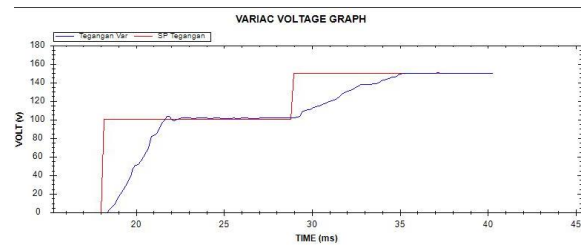
Pengujian respon sistem dengan referensi tetap dilakukan dengan mengirimkan setpoint tegangan sebesar 150V melalui interface. Respon yang dihasilkan sistem dengan referensi tetap ditunjukkan pada Gambar 8. Dapat dilihat bahwa kontrol on-off mampu mencapai dan mempertahankan keluaran sesuai dengan setpoint 150V dengan tanggapan respon transien untuk waktu tunda (T_d) sebesar 7 detik, waktu naik (T_r) sebesar 19 detik, waktu puncak (T_p) sebesar 19 detik, waktu penetapan (T_s) sebesar 20 detik, dan maximum overshoot (M_p) yang dihasilkan dapat diperoleh melalui perhitungan adalah 0,81 % (1,22V). Dari hasil pengujian respon sistem dengan referensi tetap dapat disimpulkan bahwa kontrol on-off mampu bekerja dengan baik dalam merespon error yang terjadi sehingga respon sistem yang dihasilkan dapat mencapai setpoint tegangan 150 V.



Gambar 8. Pengujian Referensi Tetap Kontroler On-Off

3.3.2. Pengujian Respon Sistem dengan Referensi Naik

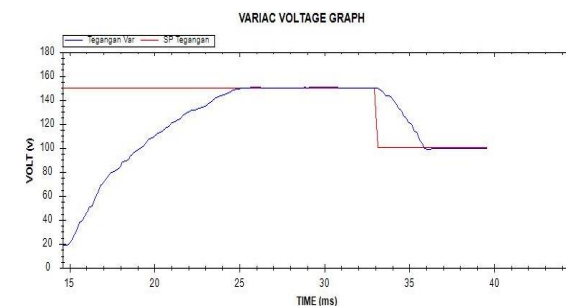
Pengujian respon sistem dengan referensi naik dilakukan dengan mengubah setpoint tegangan dari 100V naik menjadi 150V. Hasil pengujian respon sistem dengan referensi naik ditunjukkan pada Gambar 9. Dapat dilihat bahwa kontrol on-off mampu mencapai dan mempertahankan tegangan sesuai dengan kenaikan setpoint tegangan menjadi 150V dengan tanggapan respon transien untuk T_d sebesar 3 detik, T_r sebesar 7 detik, T_p sebesar 7 detik, T_s sebesar 8 detik, dan M_p yang dihasilkan adalah 0,08% (0,12 V). Dari hasil pengujian respon sistem dengan referensi naik dapat disimpulkan bahwa kontroler on-off mampu bekerja dengan baik dalam mencapai kenaikan setpoint tegangan menjadi 150V.



Gambar 9. Pengujian Referensi Naik Kontrol On-Off

3.3.3. Pengujian Respon Sistem dengan Referensi Turun

Pengujian respon sistem dengan referensi turun dilakukan dengan mengubah setpoint dari 150V turun menjadi 100V. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan kontroler on-off dalam menanggapi penurunan setpoint tegangan. Hasil pengujian respon sistem dengan referensi turun ditunjukkan pada Gambar 10. Dapat dilihat bahwa kontroler on-off mampu mencapai dan mempertahankan referensi tegangan sesuai dengan penurunan referensi menjadi 100V dengan tanggapan respon transien untuk T_d sebesar 3 detik, T_r sebesar 5 detik, T_p sebesar 5 detik, T_s sebesar 6 detik, dan M_p yang dihasilkan adalah 0,13% (0.13 V). Dari hasil pengujian respon sistem dengan referensi turun dapat disimpulkan bahwa kontroler on-off mampu bekerja dengan baik dalam mencapai penurunan setpoint tegangan menjadi 100V.



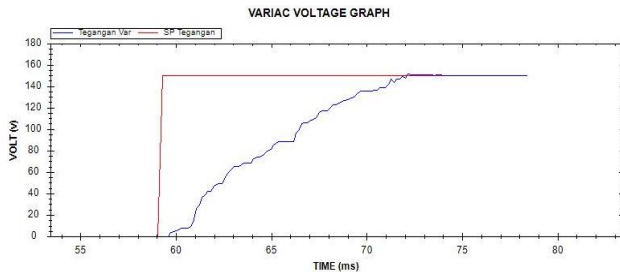
Gambar 10. Pengujian Referensi Turun Kontroler On-Off

3.4. Pengujian Respon Sistem Kontroler PI

3.4.1. Pengujian Respon Sistem dengan Referensi Tetap ($K_p = 1,0$ dan $K_i = 0,005$)

Pengujian respon sistem dengan referensi tetap dilakukan dengan mengirimkan setpoint tegangan sebesar 150V melalui interface. Respon yang dihasilkan sistem dengan referensi tetap ditunjukkan pada Gambar 11. Dapat dilihat bahwa kontrol PI mampu mencapai dan mempertahankan keluaran sesuai dengan setpoint 150V dengan tanggapan respon transien untuk waktu tunda (T_d) sebesar 6 detik, waktu naik (T_r) sebesar 14 detik, waktu puncak (T_p) sebesar 14 detik, waktu penetapan (T_s) sebesar 15 detik, dan maximum overshoot (M_p) yang dihasilkan dapat diperoleh melalui perhitungan adalah 0,08 % (0,12 V). Dari hasil pengujian respon sistem dengan referensi tetap

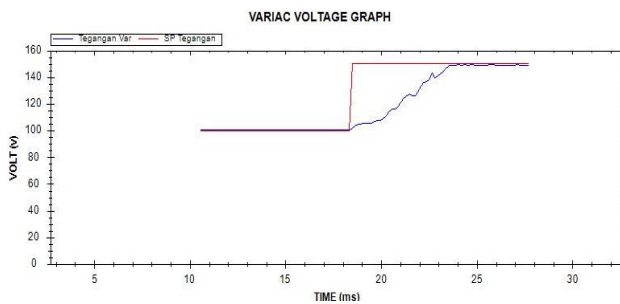
dapat disimpulkan bahwa kontroler PI mampu bekerja dengan baik dalam merespon error yang terjadi sehingga respon sistem yang dihasilkan dapat mencapai setpoint tegangan 150 V.



Gambar 11. Pengujian Referensi Tetap $K_p=1$ dan $K_i=0,005$

3.4.2. Pengujian Respon Sistem dengan Referensi Naik ($K_p = 1,0$ dan $K_i = 0,005$)

Pengujian respon sistem dengan referensi naik dilakukan dengan mengubah setpoint tegangan dari 100V naik menjadi 150V. Hasil pengujian respon sistem dengan referensi naik ditunjukkan pada Gambar 12.

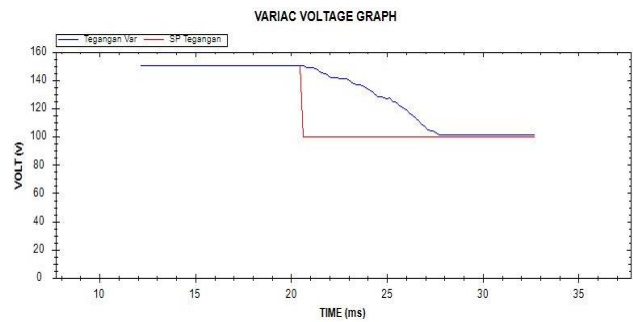


Gambar 12. Pengujian Referensi Naik $K_p = 1$ dan $K_i = 0,005$

Berdasarkan hasil respon sistem pada referensi naik pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa kontrol PI mampu mencapai dan mempertahankan tegangan sesuai dengan kenaikan setpoint tegangan menjadi 150V dengan tanggapan respon transien untuk T_d sebesar 3 detik, T_r sebesar 6 detik, T_p sebesar 6 detik, T_s sebesar 7 detik, dan M_p yang dihasilkan adalah 0,68% (1,02 V). Dari hasil pengujian respon sistem dengan referensi naik dapat disimpulkan bahwa kontroler PI mampu bekerja dengan baik dalam mencapai kenaikan setpoint tegangan menjadi 150V.

3.4.3. Pengujian Respon Sistem dengan Referensi Turun ($K_p = 1,0$ dan $K_i = 0,005$)

Pengujian respon sistem dengan referensi turun dilakukan dengan mengubah setpoint dari 150V turun menjadi 100V. Hasil pengujian respon sistem dengan referensi turun ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengujian Referensi Turun $K_p= 1$ dan $K_i=0.005$

Dapat dilihat bahwa kontroler PI mampu mencapai dan mempertahankan referensi tegangan sesuai dengan penurunan referensi menjadi 100V dengan tanggapan respon transien untuk T_d sebesar 5 detik, T_r sebesar 8 detik, T_p sebesar 8 detik, T_s sebesar 9 detik, dan M_p yang dihasilkan adalah 0,73% (1.11 V). Dari hasil pengujian respon sistem dengan referensi turun dapat disimpulkan bahwa kontroler PI mampu bekerja dengan baik dalam mencapai penurunan setpoint tegangan menjadi 100V.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang dilakukan dalam perancangan otomasi variable transformator untuk mengatur tegangan keluaran berbasis mikrokontroler, didapatkan kesimpulan bahwa hasil pengukuran dan pembacaan sensor tegangan ZMPT101B menghasilkan rata-rata error pembacaan tegangan sensor yaitu sebesar 0.448V atau 0.458%. Error terjadi akibat noise dari keluaran ZMPT101B dan kalibrasi tegangan kerja yang biasa digunakan dalam sistem. Pada pengujian respon sistem dengan referensi tetap menggunakan kontroler PI dengan nilai K_p 1,0 dan K_i 0,05 dihasilkan T_d sebesar 6 detik, T_r sebesar 14 detik, T_p sebesar 14 detik, T_s sebesar 15 detik, dan M_p yang dihasilkan adalah 0,08%. Pengujian menggunakan kontroler ini lebih baik responnya jika dibandingkan dengan pengujian menggunakan kontroler lainnya. Pada pengujian respon sistem dengan referensi naik menggunakan kontroler PI dengan nilai K_p 1,0 dan K_i 0,05 dihasilkan T_d sebesar 3 detik, T_r sebesar 6 detik, T_p sebesar 6 detik, T_s sebesar 7 detik, dan M_p yang dihasilkan adalah 0,68%. Pengujian menggunakan kontroler ini lebih baik responnya jika dibandingkan dengan pengujian menggunakan kontroler lainnya. Pada pengujian respon dengan pemberian gangguan semua kontroler yang diuji dapat merespon dengan baik. Perancangan dan implementasi sistem otomasi variable transformator sebagai masukan trafo sign telah mendapatkan hasil yang cukup akurat dan sesuai dengan setpoint yang diinginkan.

Referensi

- [1]. STMicroelectronics, "RM0008 STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx Rev14," *Power*, no. October, 2011.
- [2]. I. Abubakar, S. N. Khalid, M. W. Mustafa, H. Shareef, and M. Mustapha, "Calibration of ZMPT101B voltage sensor module using polynomial regression for accurate load monitoring," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 4, pp. 1076–1084, 2017.
- [3]. I. Setiawan, T. Andromeda, M. Facta, and S. Handoko, "Implementation and Performance Analysis of a Single Phase Synchronization Technique based on T / 4 Delay PLL," vol. 8, no. 1, 2018.
- [4]. I. Setiawan, *Kontrol PID Untuk Proses Industri*. 2008.
- [5]. A. N. Luqman, "Automatic VAR / Power Factor Compensator using Fuzzy Logic based on Internet of Things," pp. 2–7.
- [6]. ITEad Studio, "Hc-05 Bluetooth Module," *Datasheet*, p. 1, 2010.
- [7]. DFROBOT, "DF15RSMG 360 Degree Motor (20kg)," pp. 4–5.
- [8]. PANDIDATIC, "Voltage Transformator," vol. 3, pp. 2–5.