

PERANCANGAN SISTEM KONTROL OVER/UNDER VOLTAGE RELAY BERBASIS MIKROKONTROLER PADA SALURAN TEGANGAN 220VAC

Billy Mahdianto Arsyad^{*)}, Aghus Sofwan, Agung Nugroho

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

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

Abstrak

Seluruh aktivitas manusia tak terlepas dari penggunaan energi listrik, sehingga apabila terdapat gangguan distribusi listrik akan berakibat terhambatnya aktivitas sehari-hari. Gangguan yang terjadi dapat berbagai macam antara lain adalah lonjakan atau penurunan tegangan listrik (over/under voltage) dan ketidakstabilan tegangan listrik. Untuk itu dibuatlah perancangan sistem kontrol over/under voltage relay ini menggunakan mikrokontroler. Untuk membaca nilai tegangan AC dari keluaran variable transformator atau listrik normal menggunakan sensor ZMPT101B yang menggunakan penundaan T/4OSG (Orthogonal Signal Generator). Pengaturan gain yang dilakukan pada sensor sebesar $VPP=0,72V$ dilakukan pada tegangan terukur $VAC=210V$, dimana nilai VPP adalah selisih V_{max} dan V_{min} . Gelombang tersebut berosilasi pada nilai minimum 1,32V dan nilai maksimum 2,040V dengan titik offset VDC sebesar 1,677V. Nilai offset ini tidak bernilai 1,65V dikarenakan menyesuaikan tegangan referensi mikrokontroler. Metode Kontrol yang digunakan adalah metode on/off pada relay. Alat dibagi menjadi 3 kondisi yaitu under voltage dimana tegangan dibawah 216V, normal voltage tegangan 216V-224V, dan over voltage tegangan diatas 224V. Hasil dari pembacaan sensor dan kondisi akan dikirimkan melalui internet ke database dengan menggunakan adalah ESP-01 yang memanfaatkan pada jaringan Wi-Fi.

Kata Kunci: *Over/Under Voltage Relay, Sensor ZMPT101B, Relay, Mikrokontroler STM32F103C8T6, Metode kontrol on-off, ESP-01*

Abstract

All human activities are inseparable from the use of electric energy, if there is a disruption of electricity distribution it will result in daily activities being hampered. The problems that occur can be various kinds, among others, are surges or decreases in electricity voltage (over/under voltage) and electrical voltage instability. For this reason, the design of this over/under voltage relay control system uses an STM32F103C8T6 microcontroller. To read the AC voltage values from variable transformer or normal electrical output, use the ZMPT101B sensor which uses the T/4OSG delay (Orthogonal Signal Generator). The gain settings made on the sensor with $VPP=0.72V$ are measured at $VAC=210V$, where the VPP value is the difference between V_{max} and V_{min} . The wave oscillates at a minimum value of 1.32V and a maximum value of 2.040V with a VDC offset point of 1.677V. This offset value is not worth 1.65V due to adjusting the reference voltage of the microcontroller. The control method used is the on/off method on the relay. The tool is divided into 3 conditions, namely under voltage where the under voltage is below 216V, the normal voltage is 216V-224V, and the over voltage is over 224V. The results of sensor readings and conditions will be sent via the internet to the database using ESP-01 which uses Wi-Fi networks.

Keywords: *Over/Under Voltage Relay, Sensor ZMPT101B, Relay, Microcontroller STM32F103C8T6, on-off control method, ESP-01*

1. Pendahuluan

Seluruh aktivitas manusia tak terlepas dari penggunaan energi listrik. Kebutuhan energi listrik untuk masyarakat diseluruh Indonesia akan terus meningkat, sehingga diperlukan suplai tegana listrik yang mencukupi. Tercatat, penjualan tenaga listrik PLN tahun 2017 sebesar 219.544,60 GWh. Dibandingkan dengan tahun 2016 penjualan tenaga listrik tersebut naik sebesar 3.540,28

GWh atau 1,6 % terdiri dari penjualan untuk sektor industri sebesar 71.744,13 GWh, sektor rumah tangga sebesar 93.583,52 GWh, sektor komersial atau usaha sebesar 41.601,08 GWh, sektor publik atau umum sebesar 3.503,47 GWh, dan sektor sosial dan kantor pemerintah sebesar 11.142,47 GWh[1]. Selain itu, masyarakat juga membutuhkan kestabilan dan kehandalan dari distribusi listrik itu sendiri. Sehingga apabila terdapat gangguan distribusi listrik akan berakibat terhambatnya aktivitas

sehari-hari. Maka dari itu, PT. PLN (persero) sebagai satu-satunya pendistribusi listrik kemasyarakat dituntut untuk dapat memberikan distribusi listrik yang stabil dan handal.

Adanya gangguan dalam suplai listrik dapat mempengaruhi bahkan merusak suatu sistem tenaga listrik. Gangguan yang terjadi dapat berbagai macam antara lain adalah lonjakan atau penurunan tegangan listrik (*over/under voltage*). Jika gangguan tegangan ini tersambung ke peralatan listrik atau elektronika dan melebihi batas toleransi tegangan nominalnya, maka hal itu dapat mengganggu kinerja peralatan-peralatan tersebut atau bahkan dapat merusaknya. Dan gangguan seperti itu tidak hanya merugikan konsumen tetapi juga merugikan produsen tenaga listrik. Dalam aturan distribusi tenaga listrik dijelaskan bahwa untuk *under voltage* yaitu -10% dari tegangan normal, sedangkan untuk *over voltage* yaitu +5% dari tegangan normal[2].

Maka dari itu dibutuhkan suatu sistem yang dapat mengidentifikasi gangguan tegangan tersebut secara real time sehingga dapat dipantau secara langsung di lapangan dan data pada database. Pada Penelitian ini dirancang menggunakan sebuah sensor tegangan yaitu ZMPT101B yang diprogram agar dapat mendeteksi tegangan 1 fasa[3]. Alat ini juga dapat menampilkan data tersebut secara real time dengan mengirimkan data itu ke server sehingga dapat dilakukan pemantauan jarak jauh menggunakan ESP-01[4]. Mikrokontroler yang digunakan adalah ARM seri STM32F103C8T6[5]. Pada mikrokontroler akan digunakan 3 indikator yang bisa menjadi acuan kondisi pada jaringan yang terpasang alat tersebut yaitu indikator *over voltage*, *under voltage* dan *normal voltage* dengan settingan yang diinginkan.

Dengan adanya alat ini diharapkan dapat membantu pekerjaan tim distribusi listrik di PLN untuk mengetahui nilai dan status tegangan sebagai suplai 220v secara real time dan remote melalui smartphone berbasis android.

2. Metode

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan Secara garis besar, sistem terdiri dari perancangan Penelitian ini memiliki 3 blok utama seperti pada Gambar 1, yaitu:

1. Unit Masukan

Bagian ini berupa unit masukan dari alat yang dirancang. Pada alat ini digunakan sensor tegangan dengan jenis modul. Fungsi sensor tegangan ini adalah untuk mendeteksi kondisi tegangan saluran yang diamankan apakah normal, apakah terjadi kenaikan atau penurunan tegangan yang melebihi toleransi yang diijinkan. Setelah dideteksi maka akan dikirim ke mikrokontroler untuk dilakukan proses data.

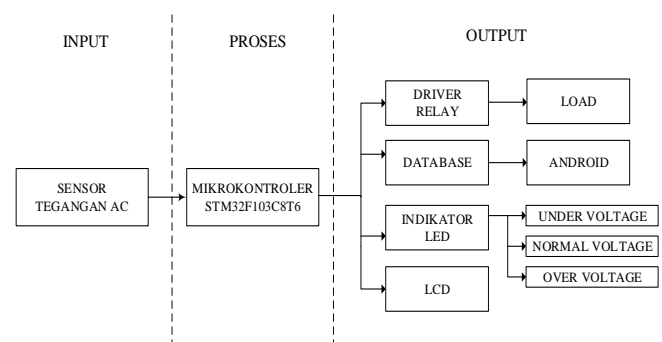
2. Unit Proses.

Pada unit ini berupa proses dalam bentuk pemrograman. Alat yang digunakan yaitu mikrokontroler ARM sebagai pengolah data dan pengontrol hasil data dari inputan. Dan kemudian hasil yang diproses akan dikirim lagi ke beberapa komponen untuk mengetahui output dari program tersebut. Hasil dari proses program tersebut akan mengendalikan relay sebagai proteksi tegangan apabila terjadi *under/over voltage*. Pada mikrokontroler ARM harus dibuat setting batasan tegangan *under voltage* dan *over voltage* dan delay dalam pengambilan data. Dalam aturan distribusi tenaga listrik dijelaskan bahwa untuk *under voltage* yaitu -10% dari tegangan normal, sedangkan untuk *over voltage* yaitu +5% dari tegangan normal. Akan tetapi batasan tegangan dalam satu gangguan yang dibuat dalam proyek ini yaitu: untuk gangguan *over voltage* +5V dan untuk gangguan *under voltage* sebesar 5V.

3. Unit keluaran :

- Relay akan bekerja ketika output dari mikrokontroler ARM adalah tegangan yang dianggap sebagai gangguan yaitu terjadinya drop tegangan atau lonjakan tegangan yang melebihi settingan pada program.
- Lampu indikator merah sebagai indikasi untuk gangguan *over voltage*.
- Lampu indikator hijau sebagai indikasi untuk tegangan normal.
- Lampu indikator kuning sebagai indikasi untuk gangguan *under voltage*.
- LCD sebagai tampilan dari pembacaan tegangan yang masuk.

Dalam pemrograman yang disetting pada mikrokontroler, alat ini dapat memberikan output seperti tampilan LCD, lampu indikator kondisi tegangan dan driver relay. Secara khusus program tersebut juga dapat mengirimkan data yang di proses ke database yang dapat dilihat menggunakan android. Pengiriman data dari mikrokontroler dibantu dengan modul mikroprosesor Wi-Fi yang disebut dengan modul ESP-01.



Gambar 1. Perancangan Sistem

2.1.1. 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 trimmer 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[6].

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

$$V_{peak} = \sqrt{2} V_{RMS} \tag{1}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}} \tag{2}$$

Data yang masuk ke mikrokontroler akan diolah menjadi data penampil tegangan rms AC keluaran variable transformator[7]. Gambar 2 menunjukkan konfigurasi pin sensor ZMPT101B.



Gambar 2. Konfigurasi pin sensor ZMPT101B

2.1.2. Perancangan STM32F103C8T6

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 [5].

Pada Tabel 1 menjelaskan mengenai konfigurasi input dan output yang dipakai pada penelitian ini. Pin PB1 digunakan untuk menerima data analog dari ZMPT101B sebagai pembacaan data tegangan AC dari keluaran variable transformator ataupun dari listrik PLN. Pin PB15 digunakan untuk memberikan sinyal digital untuk mengotor keadaan pada relay. Sistem pengontrolan menggunakan metode on-off sesuai dengan batasan yang dibuat. Pada Pin PB12 disambungkan dengan led kuning sebagai indikator *under voltage*, sedangkan pada Pin PB13 disambungkan dengan led hijau sebagai indikator *normal voltage*, serta Pin PB14 disambungkan dengan led merah sebagai indikator *over voltage*. Ketiga led ini diberi

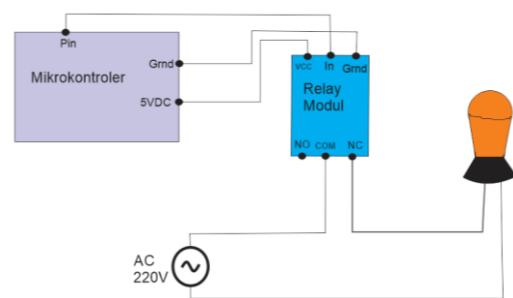
pengaturan dengan *active high* atau led akan menyala apabila diberi output tegangan dari mikrokontroler 3.3V (*high*). Pin PB10 dan PB11 digunakan sebagai komunikasi serial untuk mengirimkan data ke server database melalui Wi-Fi. Sedangkan pada pin PB6 dan PB7 sebagai komunikasi serial master slave untuk menampilkan data pada LCD.

Tabel 1. Penempatan pin-pin IO pada papan mikrokontroler

I/O	Sinyal	Jenis	Pin pada mikrokontroler
Input	Sensor ZMPT101B	Analog	PB1
Output	Modul Relay	Digital	PB15
Output	Led Over	Digital	PB14
Output	Led Normal	Digital	PB13
Output	Led Under	Digital	PB12
Output	Modul ESP-01	Serial UART	PB10 (Tx), PB11 (Rx)
Output	LDC I2C	Serial	PB6, PB7

2.1.3. Perancangan Driver Relay

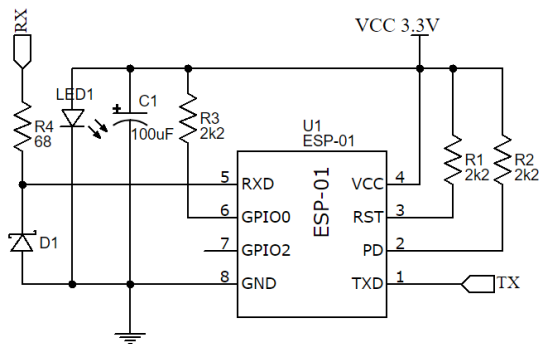
Relay memerlukan supply 5-7.4V dari buck converter. Kabel sinyal dihubungkan ke pin PB15 pada mikrokontroler untuk mengirimkan sinyal digital untuk mengaktifkan. Gambar 3 menunjukkan pemasangan relay menggunakan kondisi NC (Normaly Close). Pada saat NC ini, kondisi awal dari relay sebelum diaktifkan oleh mikrokontroler akan selalu tersambung atau tegangan mengalir sehingga dapat menyalakan lampu. Setelah relay diaktifkan, maka relay akan memutuskan tegangan dan lampu akan mati. Modul Relay ini akan aktif bila diberi digital output high atau tegangan 5V dari mikrokontroler dan sebaliknya.



Gambar 3. Konfigurasi relay

2.1.4. Perancangan Rangkaian ESP-01

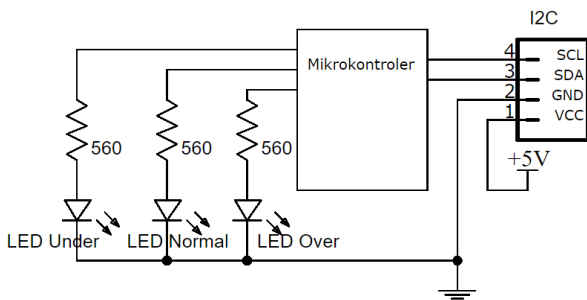
ESP-01 dalam alat ini digunakan sebagai alat komunikasi antara mikrokontroler dengan server database melalui jaringan Wi-Fi. Pada komponen ESP-01 memiliki kaki sebanyak delapan (8) buah sehingga dibutuhkan sebuah rangkaian sederhana untuk menghubungkan ESP-01 dengan mikrokontroler dan catu daya yang ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4. Rangkaian ESP-01

2.1.5. Perancangan Rangkaian Display dan LED Indikator

LCD berfungsi untuk menampilkan karakter dan nilai. Dalam perancangan ini menggunakan sebuah layar LCD 16x2 yang merupakan LCD dua baris dengan setiap barisnya terdiri dari 16 karakter. LCD ini dihubungkan dengan driver I2C untuk memudahkan komunikasi dari mikrokontroler[8]. Sedangkan lampu indikator menggunakan 3 buah LED yang berwarna kuning sebagai indikator under, LED hijau sebagai indikator normal, dan LED merah sebagai indikator over. Ketiga LED tersebut akan aktif apabila diberi digital output high dari mikrokontroler atau tegangan 3,3Volt. Berikut gambar perancangan LCD dan LED indikator ditunjukkan pada Gambar 5.



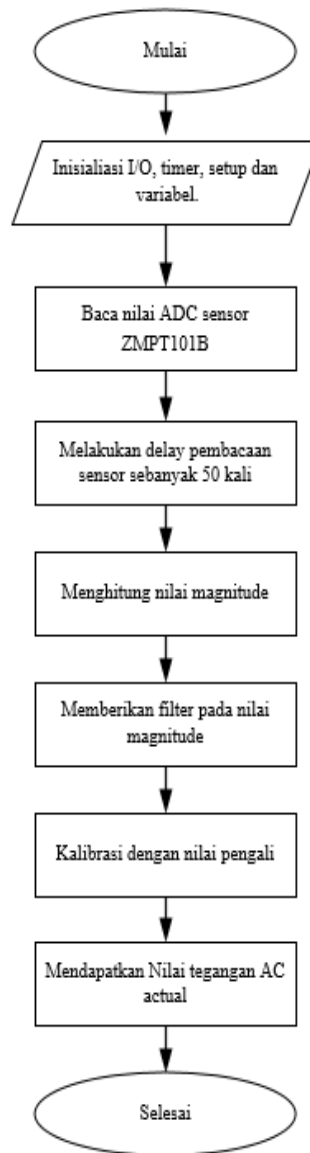
Gambar 5. Perancangan LCD

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. Algoritmanya adalah sebagai berikut :

- Mulai.
- Inisialisasi I/O dan variabel.
- Baca nilai ADC sensor ZMPT101B.
- Melakukan delay pembacaan sensor sebanyak 50 kali.
- Menghitung nilai magnitudo.
- Memberikan filter pada nilai magnitudo.
- Kalibrasi dengan nilai pengali.
- Mendapatkan Nilai tegangan AC actual
- Selesai



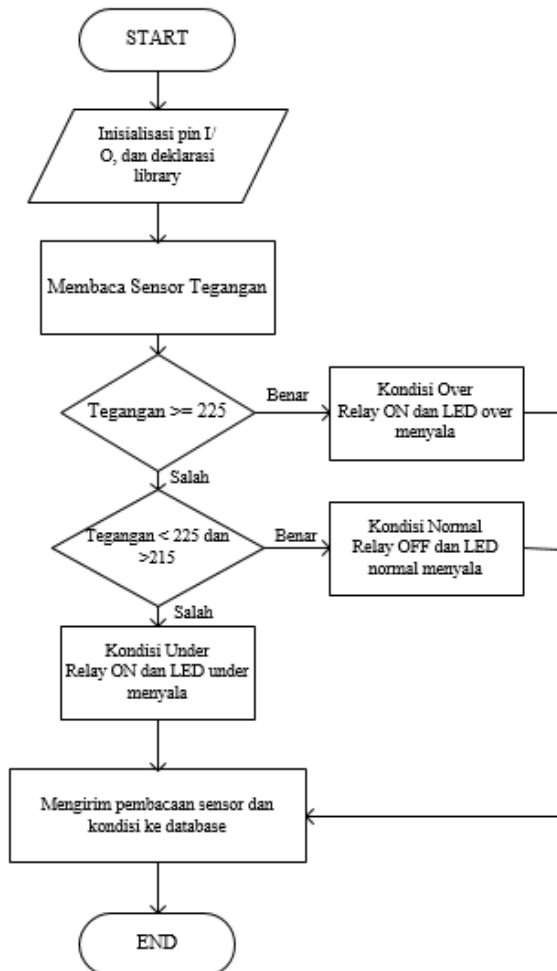
Gambar 6. Diagram alir pembacaan sensor ZMPT101B

2.2.2. Algoritma dan Diagram Alir Kondisi Tegangan

Pada bagian ini terdiri dari algoritma dan diagram alir penentuan kondisi tegangan ditunjukkan pada Gambar 7. Algoritmanya adalah sebagai berikut :

- Mulai.
- Memasukkan nilai batas *under* 215V dan *over* 225V.
- Membaca nilai tegangan dari sensor (kirim_voltage)
- Penentuan kondisi untuk relay :
 - Jika kirim_voltage \geq 225, maka relay on dan led *over* menyala
 - Jika kirim_voltage $>$ 215 dan kirim_voltage $<$ 225, maka relay off dan led normal menyala.
 - Jika kirim_voltage \leq 215, maka relay on dan led *under* menyala.

- e. Mengirimkan pembacaan sensor dan kondisi ke database
- f. Selesai



Gambar 7. Diagram alir penggerak servo

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

2.3.1. Pemrograman Pembacaan Sensor

- a. Pengukuran magnitudo tegangan ac berdasarkan T/4 delay OSG (Orthogonal Signal Generator)

Persamaan (3) menunjukkan bahwa besarnya sinusoidal sinyal yang tertunda oleh ¼ periode sama dengan cosinus nilai dari sudut saat ini. Amplitudo atau besarnya a sinyal dapat diungkap dengan menggunakan identitas trigonometri di persamaan (4)[3].

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

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

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

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 ESP-01 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[3].

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

Dengan :

$u(t)$: Data sebenarnya

$X(t)$: Data hasil filter

$X(t - 1)$: Data hasil filter sebelumnya

2.3.2. Pemrograman Kondisi

Pemrograman Kondisi merupakan logika untuk menentukan kondisi tegangan apabila memenuhi kriteria under, normal, dan over. Setelah kondisi ditentukan maka hasilnya akan ditampilkan pada LCD dan led indikator. Kondisi saat *under voltage* tegangan dibawah 216V dengan relay dan indikator *under* menyala. Untuk *normal voltage* tegangan 216V sampai 224V dengan relay mati dan indikator normal menyala. Sedangkan untuk *over voltage* tegangan diatas 224V dengan relay menyala dan indikator *over* menyala.

2.3.3. Pemrograman ESP-01

Aktivasi komunikasi wireless dilakukan untuk berkomunikasi antara alat dengan server yang ada pada jaringan internet. ESP-01 dihubungkan pada pin PB10 dan PB11 sebagai TX dan RX. Untuk itu dibutuhkan beberapa perintah yaitu program untuk mengkoneksikan jaringan dan program untuk mengirimkan data.

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 (V)	Vpp	Vmax	Vmin
0	0.08	1.72	1.64
10	0.1	1.74	1.64
20	0.12	1.74	1.62
30	0.18	1.78	1.6
40	0.18	1.78	1.6
50	0.2	1.78	1.58
60	0.24	1.8	1.56
70	0.28	1.84	1.56
80	0.32	1.84	1.52
90	0.36	1.86	1.5
100	0.38	1.88	1.5
110	0.4	1.88	1.48
120	0.44	1.9	1.46
130	0.48	1.92	1.44
140	0.5	1.94	1.44
150	0.54	1.94	1.4
160	0.56	1.96	1.4
170	0.6	1.98	1.38
180	0.64	2	1.36
190	0.66	2	1.34
200	0.7	2.04	1.34
210	0.72	2.04	1.32
220	0.76	2.06	1.3
230	0.78	2.08	1.3

3.2. Pengujian Pembacaan Data Sensor Tegangan ZMPT101B

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 0.391V atau 0.425%.

Tabel 3. Pengujian Sensor Tegangan ZMPT101B

No	Tegangan Multimeter (V)	Tegangan Sensor ZMPT101B (V)	Error (V)	Error (%)
1	10	10	0	0.00%
2	20	20	0	0.00%
3	30	29	1	3.33%
4	40	40	0	0.00%
5	50	50	0	0.00%
6	60	61	1	1.67%
7	70	70	0	0.00%
8	80	80	0	0.00%
9	90	91	1	1.11%
10	100	100	0	0.00%
11	110	110	0	0.00%
12	120	121	1	0.83%
13	130	130	0	0.00%
14	140	141	1	0.71%
15	150	150	0	0.00%
16	160	160	0	0.00%
17	170	172	2	1.18%
18	180	180	0	0.00%
19	190	190	0	0.00%
20	200	201	1	0.50%
21	210	210	0	0.00%
22	220	220	0	0.00%
23	230	229	1	0.43%
Error rata - rata			0.391	0.425

3.3. Pengujian Komunikasi ESP-01

Pengujian ESP-01 menggunakan Wi-Fi dilakukan pada alat ini dengan pengujian mengirim data menggunakan program Arduino IDE . Berikut tampilan pengiriman dan penerimaan data menggunakan ESP-01 menuju server.

```

SENT
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
V = 210.00
Under Voltage
CONNECTING
CONNECTED
AT+CIPSEND=57

READY TO SEND
GET /uovoltage/insert_tegangan.php?id_alat=1&v1=210&k=1

SENT
    
```

Gambar 8. Tampilan Pengiriman Data

Gambar 9. Penerimaan Data pada Database

Terlihat pada pengujian ESP-01 pengiriman dari serial monitor pada Arduino IDE menuju server pada Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan hasil yang sesuai dimana data berhasil diterima pada server.

3.4. Pengujian Kondisi

Pengujian kondisi dilakukan dengan menggunakan variable transformator untuk menyesuaikan tegangan

masukannya sesuai yang diinginkan. Kondisi tegangan terbagi menjadi 3, yaitu *under voltage*, *normal voltage*, dan *over voltage*. Pada Tabel 4. menunjukkan pengujian kondisi yang dilakukan menggunakan variable transformator dengan range tegangan 211V sampai dengan 230V. Hasil pengujian sudah sesuai dengan program yang telah dirancang.

Tabel 4. Pengujian kondisi menggunakan variable transformator

No.	Tegangan (Volt)	Relay	Led Under	Led Normal	Led Over
1	211	Menyala	Nyala	Mati	Mati
2	213	Menyala	Nyala	Mati	Mati
3	215	Menyala	Nyala	Mati	Mati
4	217	Mati	Mati	Menyala	Mati
5	219	Mati	Mati	Menyala	Mati
6	221	Mati	Mati	Menyala	Mati
7	223	Mati	Mati	Menyala	Mati
8	225	Menyala	Mati	Mati	Menyala
9	227	Menyala	Mati	Mati	Menyala
10	229	Menyala	Mati	Mati	Menyala

Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa tegangan terukur sebesar 213V dan telah masuk kedalam kondisi *under voltage*. Hasil tersebut telah ditampilkan pada LCD dan lampu indikator under menyala.



Gambar 10. Kondisi Under Voltage

Berdasarkan Gambar 11 terlihat bahwa tegangan terukur sebesar 221V dan telah masuk kedalam kondisi *normal voltage*. Hasil tersebut telah ditampilkan pada LCD dan lampu indikator normal menyala.



Gambar 11. Kondisi Normal Voltage

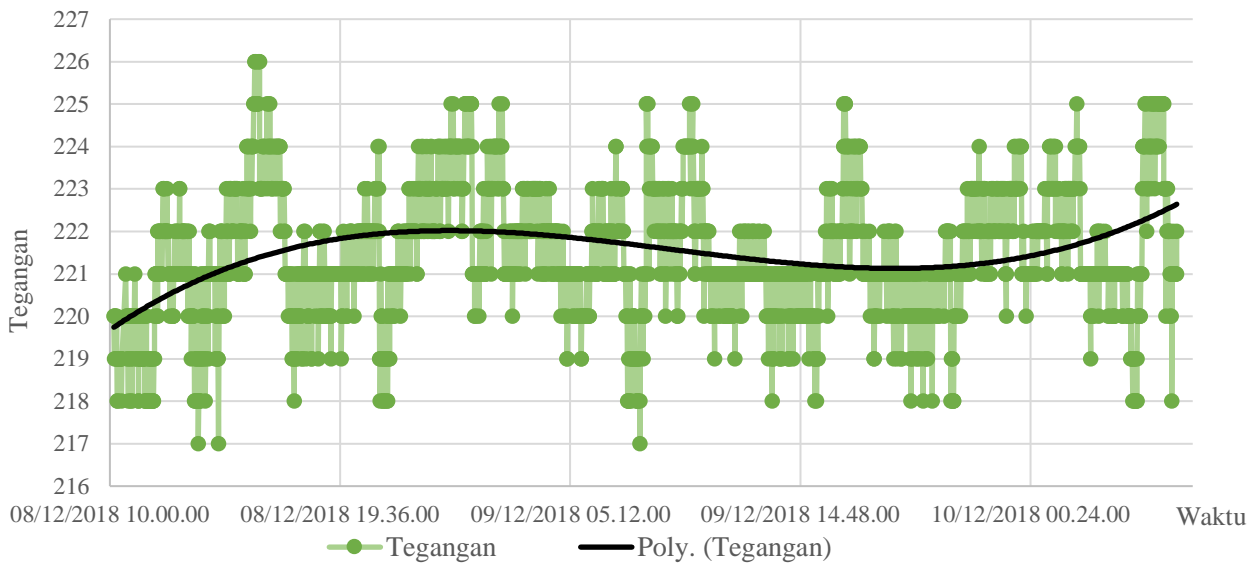
Berdasarkan Gambar 12 terlihat bahwa tegangan terukur sebesar 230V dan telah masuk kedalam kondisi *over voltage*. Hasil tersebut telah ditampilkan pada LCD dan lampu indikator over menyala.



Gambar 12. Kondisi Over Voltage

Selain pengujian dengan memberikan variasi tegangan, sudah dilakukan juga pengujian lapangan yang berlokasi di rumah dengan sumber tegangan dari PLN. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keandalan dari alat yang dirancang.

Pada Gambar 13 adalah hasil dari pengujian yang dilakukan secara nonstop 24 Jam. Dimulai pada tanggal 8 Desember 2018 Pukul 10.10 WIB sampai dengan tanggal 10 Desember 2018 Pukul 6.30 WIB. Database yang dicantumkan hanya sebagian karena jumlah data yang didapat sebanyak 2644. Dari hasil pengujian yang dilakukan, tegangan yang bersumber dari PLN pada rumah tersebut memiliki rata-rata stabil yaitu rata-rata tegangan 221 V-222 V. Walaupun beberapa waktu ada yang mencapai *over voltage*. Tetapi gangguan hanya terjadi beberapa detik dan kembali normal.



Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Lapangan

4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pembuatan, pengujian dan analisis sistem *over/under voltage relay* berbasis mikrokontroler, didapatkan kesimpulan bahwa hasil pengukuran dan pembacaan sensor tegangan ZMPT101B menghasilkan rata-rata error pembacaan tegangan sensor yaitu sebesar 0.391V atau 0.425%. Error terjadi akibat noise dari keluaran ZMPT101B dan kalibrasi tegangan kerja yang biasa digunakan dalam sistem. Hasil kalibrasi sensor ZMPT101B memiliki VPP = 0.72V yang dilakukan pada tegangan terukur AC 210V, dimana nilai VPP didapat dari selisih antara tegangan maksimum dan tegangan minimum gelombang keluaran sinus tersebut. Gelombang berosilasi pada tegangan minimum 1.32V dan tegangan maksimum 2.04V. Tegangan offset sebesar 1,677 VDC, nilai ini tidak bernilai 1,65V karena menyesuaikan tegangan referensi dari mikrokontroler.

Pada tegangan 216V sampai dengan 224V, alat akan bekerja pada kondisi *normal voltage*. Sedangkan dibawah 216V maka alat pada kondisi *under voltage* dimana relay dan indikator led *under* akan bekerja. Dan apabila tegangan diatas 224V maka alat dalam kondisi *over voltage* dimana relay dan indikator led *over* akan bekerja. Data hasil pembacaan sensor dan kondisi berhasil dikirimkan ke database melalui ESP-01.

Referensi

- [1]. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. "Statiska Ketenagalistrikan 2017". Edisi No.31 Tahun Anggaran 2018
- [2]. PT. PLN(Persero). Standar Perusahaan Listril Negara No. 1 : 1995
- [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]. Ai-Thinker, "ESP-01 WiFi Module", 2015
- [5]. STMicroelectronics, "RM0008 STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx Rev14," Power, no. October, 2011.
- [6]. 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," ARPN J.
- [7]. PANDIDATIC, "Voltage Transformator," vol. 3, pp. 2–5.
- [8]. Mantech Electronics, "I2C Interface for LCD", 2017