pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v23i2.xxxxx

RANCANG BANGUN ALAT MONITORING *BREAKER* MOTOR 3 FASA BERDASARKAN KONFIGURASI *BREAKER* PLTGU UBP PRIOK DENGAN PENGUKURAN KESEREMPAKAN SERTA TEGANGAN SECARA *REAL-TIME* BERBASIS MODUL OPTOCOUPLER AC SERTA SENSOR ZMPT101B DAN *INTERNET OF THINGS*

Melissa Rahmawati Yusuf[1)], Eko Ariyanto[2)]
[)]Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
*E-mail : melissayusuf46@students.undip.ac.id

ABSTRACT

This monitoring system was designed to automatically detect breaker status based on 24V DC voltage, utilizing a 25V DC sensor. The system is capable of transmitting real-time data with an average response time of 9 seconds. The ZMPT101B voltage sensor used in the setup demonstrated low error rates, with 0.97% for phase R, 0.91% for phase S, and 0.58% for phase T. Additionally, an AC optocoupler module was employed to detect 220V AC, enabling accurate synchronization measurement. Results indicate that synchronization during the "on" condition is highly accurate, although a slight delay was observed during the "off" condition due to residual current in the signal amplification transistor (S8050) located within the module. Testing at the Priok UBP Combined-Cycle Power Plant confirmed that the system meets the company's configuration standards, with an obtained the best value of 2 ms with average time of Δt *3.2 ms, suggesting that the breakers operate within optimal parameters. Overall, the system performs effectively and aligns with the company's operational requirements.*

Keywords: *ZMPT101B Sensor, AC Optocoupler Module, Breaker Synchronization*

1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam melakukan pengoperasian perusahaan industri dibutuhkan pemanfaatan motor listrik sebagai mesin penggerak pada bagian-bagian yang dibutuhkan, seperti penggunaan pompa, kipas, *conveyor belt*, dan lain sebagainya. Motor listrik 3 fasa memanfaatkan perbedaan fasa sumber untuk menimbulkan gaya putar pada bagian rotornya yang kemudian putaran dimanfaatkan berdasarkan kebutuhan pabrik, dapat disimpulkan bahwa motor listrik 3 fasa merupakan alat yang mampu mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada pemanfaatannya dibutuhkan MCC (*Motor Control Center*) sebagai lokasi terpusat dalam melakukan pengendalian, pemutusan, dan pengamanan pada motor listrik yang digunakan. Hal ini ditujukan untuk menjaga keandalan dan keamanan pengoperasian motor listrik.

Pada penggunaan *breaker* tetap memiliki kemungkinan untuk terjadinya *troubleshooting* yang kemudian dapat menggangu dalam proses keberjalanan penggunaan motor yang dibutuhkan. Pada Perusahaan PT. PLN Indonesia Power PLTGU UBP Priok Blok 1-2 diberlakukan bentuk pemeliharaan kepada breaker dengan inspeksi yang dilakukan oleh pihak PLTGU UBP Priok bersama pihak penyedia alat perusahaan. Terdapat inovasi AJIKER dengan operasi secara manual pada perusahaan untuk mempercepat *recovery* gangguan dan pengujian pada breaker 0,4 kV dengan sistem *plug and play* yang mampu mendeteksi lokasi putusnya fuse di fasa R, S atau T ketika terjadi kerusakan pada breaker[1].

Dalam hal ini penyusun merealisasikan pengembangan ide sebagai inovasi alat monitoring breaker secara otomatis yang diperuntukan untuk memonitoring kondisi tegangan pada output breaker dengan memanfaatkan modul optocoupler AC serta sensor tegangan ZMPT101B dan melakukan perhitungan data deviasi (Δt) serta *Internet of Things* untuk mengirimkan hasil data ke *spreadsheet* secara *real-time* dengan mikrokontroler ESP32 untuk memberikan kemudahan bagi proses pemeliharaan.

Pada dasarnya belum terdapat ketentuan yang secara resmi ditampilkan dalam mengatur batasan pada besaran nilai keserempakan breaker 3 fasa pada kategori 0,4kV yang masuk kedalam bagian tegangan rendah, serta bentuk penyelesaian dalam kerusakan yang dialami pun menggunakan fuse yang akan putus dan diganti yang baru ketika

terjadi kerusakan. Namun, berdasarkan standar industri dan analisis terkait karakteristik gelombang listrik pada sistem AC, deviasi Δt waktu sebesar 10 ms dipilih sebagai batasan yang dapat diterima untuk memastikan keserempakan operasi breaker pada motor 3 fasa.

Pada sistem dengan frekuensi 50 Hz, satu siklus gelombang AC berlangsung selama 20 ms, dan deviasi waktu 10 ms setara dengan setengah dari satu siklus gelombang penuh. Pemilihan angka ini bertujuan untuk meminimalkan ketidakseimbangan antar fasa yang dapat terjadi jika breaker tidak beroperasi dengan serempak. Ketidakseimbangan ini dapat mengakibatkan arus yang tidak stabil, berpotensi merusak motor atau menyebabkan gangguan operasional yang signifikan. Oleh karena itu, alat monitoring yang akan dikembangkan bertujuan untuk mendeteksi serta mengukur tegangan menggunakan sensor ZMPT101B dan mengukur deviasi Δt waktu memanfaatkan modul optocoupler AC ini yang dapat dilakukan secara *real-time*, sehingga mampu memberikan informasi yang penting bagi proses pemeliharaan yang secara otomatis tersimpan pada *spreadsheet*.

Dengan adanya monitoring tegangan dan keserempakan dalam pengujian breaker yang terdata, dapat menambahkan pengawasan dan kesiapan terhadap kebutuhan breaker agar menjadi prediksi untuk meminimalisasi adanya gangguan atau kerusakan ketika mengoperasikan breaker, serta mengetahui letak pemutusan pada fasa R, S atau T.

Hal ini ditujukan guna memaksimalkan pengawasan kinerja breaker khususnya dengan kapasitas rendah.

Berdasarkan uraian tersebut, untuk tugas akhir penyusun mengambil judul "RANCANG BANGUN ALAT MONITORING *BREAKER* MOTOR 3 FASA BERDASARKAN KONFIGURASI *BREAKER* PLTGU UBP PRIOK DENGAN PENGUKURAN KESEREMPAKAN SERTA TEGANGAN SECARA *REAL-TIME* BERBASIS MODUL OPTOCOUPLER AC SERTA SENSOR ZMPT101B DAN *INTERNET OF THINGS*"

1.2 TUJUAN TUGAS AKHIR

Rancangan Tugas Akhir ini disusun dengan memiliki tujuan yaitu:

a. Memanfaatkan ilmu pendidikan pada industri, khususnya bidang kelistrikan
b. Meningkatkan kemampuan dan intelektualitas mahasiswa terhadap pemanfaatan tenaga listrik
c. Membuat alat yang dapat mengetahui nilai pembacaan tegangan dengan ZMPT101B, perhitungan keserempakan *breaker* dengan *timer* ESP32 yang memanfaatkan *trigger* AC 220V dengan modul optocoupler serta hasil pembacaan yang tersimpan pada *database spreadsheet* secara *online* dan *real-time*
d. Dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi monitoring industri kelistrikan, khususnya pada pemeliharaan *breaker*
e. Memenuhi persyaratan mata kuliah Tugas Akhir sebesar 4 SKS untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini pembahasan masalah meliputi:

a. Catu Daya dengan *input* 220V AC dan *output* 5V DC sebagai sumber daya mikrokontroler
b. Sensor tegangan 25V DC sebagai pembaca tegangan *input breaker* berkapasitas 24V DC
c. Sensor tegangan ZMPT101B sebagai pembaca tegangan *output breaker* berkapasitas 220V AC
d. Modul AC 220V Optocoupler sebagai deteksi tegangan 220V AC
e. ESP32 sebagai mikrokontroler IoT (*Internet of Things*) dalam pengiriman data hasil sensor tegangan
f. *Relay* 220V AC 4 *Channel* sebagai pengendali lampu indikator untuk menunjukkan kondisi alat
g. Lampu Indikator sebagai pemberi informasi terkait kondisi alat serta masing fasa R,S dan T terhadap *output breaker*
h. LCD sebagai penampilan informasi berbentuk teks terhadap hasil tegangan yang dibaca oleh sensor serta hasil perhitungan deviasi Δt waktu
i. *Switch* sebagai pemutus dan penghubung antara *supply* dan alat
j. Arduino IDE sebagai program pemrograman untuk mikrokontroler
k. *Spreadsheet* sebagai media tampilan dan penyimpanan *database* terhadap hasil pengukuran
l. *Google Apps Script* sebagai program pemrograman pada *spreadsheet*
m. *Wi-Fi Manager* sebagai media pengkoneksi alat terhadap *Wi-Fi*

n. Tugas akhir ini berfokus pada pengukuran keserempakan *breaker* motor 3 fasa dengan modul optocoupler AC 220V, hasil pembacaan pada ZMPT101B, hasil monitoring kondisi *breaker* ketika dilakukan pengujian serta pengiriman data pada *spreadsheet* secara *real-time*.

2. DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Tugas Akhir ini, terdapat referensi yang menjadi sumber bahan dalam pengembangan alat yaitu Karya Inovasi AJIKER (Alat Uji Breaker) yang dibuat oleh PT. PLN Indonesia Power PLTGU Priok[1] bertujuan untuk mempercepat proses pemulihan gangguan dalam *troubleshooting* serta pengujian breaker pada MCC 400V Modul GT/HRSG/ST Blok 1&2. Alat ini digunakan untuk menguji breaker selama inspeksi sebagai bagian dari pemeliharaan, serta mendeteksi gangguan pada fasa R, S, dan T dengan hasil berupa indikasi LED untuk setiap fasa.

Selain itu, dalam skripsi Rancang Bangun Alat Tes Individual Circuit Breaker (CB) 3 Phasa di PLTU Unit Pelaksana Pembangkitan (UPK) Belawan[2], dirancang alat pengujian untuk mengetahui kesiapan breaker 380V pada PLTU 4 UPK Belawan. Alat ini juga menampilkan hasil pengujian melalui LED untuk masing-masing fasa, dengan pengoperasian manual sesuai dengan rangkaian yang digunakan di perusahaan.

Kedua referensi ini memiliki keterkaitan dalam hal pengujian breaker tiga fasa dengan bentuk output berupa LED, yang bertujuan untuk mendeteksi dan mendiagnosis gangguan listrik pada sistem tenaga.

2.2 *BREAKER* MOTOR 3 FASA PLTGU UBP PRIOK



GAMBAR 2 - 1 Breaker Motor 3 Fasa PLTGU UBP Priok Blok 1-2 Area GT

Breaker merupakan komponen penting dalam sistem listrik yang digunakan untuk melindungi motor 3 fasa dari berbagai kondisi abnormal seperti arus berlebih, arus pendek, dan ketidakseimbangan fasa. Motor 3 fasa sering digunakan dalam industri karena efisiensinya yang tinggi. Namun, motor ini juga rentan terhadap gangguan listrik yang dapat merusak komponen internalnya jika tidak dilindungi dengan benar.

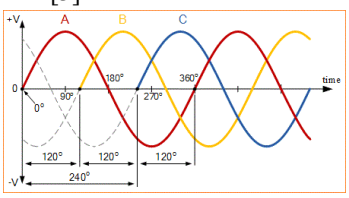
Breaker yang digunakan untuk melindungi motor 3 fasa harus dirancang untuk mendeteksi dan memutus aliran listrik secara cepat ketika terjadi gangguan atau arus berlebih, terutama selama kondisi *start-up* motor di mana arus lonjakan (*inrush current*) dapat mencapai beberapa kali arus nominal. Kondisi ini, jika tidak dikontrol, dapat menyebabkan panas berlebih dan merusak isolasi pada gulungan motor, serta mengurangi umur motor secara signifikan.

2.3 HUBUNGAN KESEREMPAKAN DENGAN GELOMBANG 3 FASA

Dalam sistem tenaga listrik, gelombang tiga fasa adalah salah satu bentuk distribusi energi listrik yang paling banyak digunakan. Gelombang tiga fasa terdiri dari tiga gelombang sinusoidal yang memiliki amplitudo yang sama, namun dipisahkan oleh sudut fase sebesar 120 derajat satu sama lain. Keserempakan dalam konteks gelombang tiga fasa mengacu pada interaksi simultan antara ketiga fasa tersebut untuk menghasilkan aliran daya yang stabil dan efisien.

Ketika gelombang tiga fasa ini seimbang dalam hal amplitudo dan sudut fase, sistem mampu menyediakan daya yang konsisten, yang sangat penting untuk menjaga kestabilan operasi perangkat listrik, khususnya motor listrik tiga fasa yang digunakan di sektor industri.

Dalam aplikasi motor listrik tiga fasa, Sistem daya tiga fase seimbang atau simetris ketika tegangan dan arus tiga fase memiliki amplitudo yang sama. Sistem yang tidak seimbang berarti tegangan fasa tidak sama. Ketidakseimbangan ini mengukur perbedaan antara fase tegangan dalam sistem tiga fase. Masalah daya listrik ini biasa terjadi di pembangkit listrik industri atau pabrik yang menjalankan mesin besar dengan motor yang kuat. Mengalami ketidakseimbangan tegangan dapat berdampak pada berbagai aspek operasi Anda, termasuk efisiensi motor, biaya, dan kerusakan[3].



GAMBAR 2 - 2 Gelombang 3 Fasa[4]

2.4 HUBUNGAN KESEREMPAKAN *BREAKER* 3 FASA

Breaker sebagai perangkat yang berfungsi melindungi sistem kelistrikan dari kondisi abnormal seperti kelebihan beban atau korsleting. Waktu operasi breaker sangat krusial untuk menjaga stabilitas sistem kelistrikan. Deviasi waktu dengan batas maksimal 10 ms mengacu pada perbedaan waktu dalam operasi breaker yang masih dianggap dalam batas toleransi. Namun, deviasi Δt ini dapat berdampak signifikan terhadap sinkronisasi dalam sistem tiga fasa. Jika salah satu breaker pada sistem tiga fasa beroperasi dengan deviasi waktu melebihi batas 10 ms, hal ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan aliran daya antar fasa. Ketidakseimbangan tersebut dapat mengganggu sinkronisasi gelombang tiga fasa. Ketidakseimbangan tegangan dapat merusak motor, suhu motor yang lebih tinggi ini menurunkan insulasi di sekitarnya, memperpendek usia motor dan menyebabkan motor terbakar. Efek lain dari arus dan tegangan yang tidak seimbang termasuk peningkatan denyut, tekanan mekanis, getaran, dan kerugian[3].

Deviasi waktu (Δt) inilah yang menunjukkan serempak atau tidaknya PMT ketika bekerja, di mana semakin kecil selisih waktu kerja PMT di tiap fasanya, maka dapat dikatakan PMT tersebut semakin serempak[5].

2.5 SENSOR TEGANGAN 0-25V

Sensor tegangan DC merupakan sebuah sensor tegangan yang dapat mengukur tegangan dari 0 –25V DC. Sensor ini bekerja dengan daya masukan Vcc 5 Volt. Cara kerja sensor ini yaitu mengukur arus pada rangkaian pararel melalui block terminal. Kemudian pin pada sensor ini dibuhungkan dengan Arduino. Pada referensi [6] melakukan pengujian kepada sensor tegangan dengan hasil pengolahan data menunjukkan bahwa sensor tegangan DC A dan sensor tegangan DC B memiliki kesalahan relatif sebesar 0,19% dan 0,20%. Penggunaan sensor tegangan DC sebagai alat ukur tegangan sangat akurat, karena sensor tegangan DC memiliki kesalahan relatif pengukuran yaitu 0,19% dan 20%[6].



GAMBAR 2 - 3 Sensor Tegangan 0 - 25 VDC

2.6 SENSOR ZMPT101B

ZMPT101B merupakan sensor tegangan yang terdapat trafo step down. Sensor ini dapat digunakan sebagai penurun tegangan 220V dari PLN menjadi tegangan yang bisa dibaca oleh mikrokontroler yakni 0 – 5V. Beberapa hal yang dapat dilakukan dengan menggunakan sensor tegangan ZMPT101B diantaranya yaitu sebagai sensor untuk mendeteksi arus lebih, sebagai *ground fault detection*, pengukuran besaran listrik serta sebagai perangkat untuk analog *to* digital *converter*[7].



GAMBAR 2 - 4 Sensor ZMPT101B

2.7 MODUL OPTOCOUPLER AC

Modul optocoupler atau isolator optik yang terlihat pada gambar 2-23 merupakan komponen penting dalam sistem elektronik yang membutuhkan isolasi antara dua sirkuit dengan perbedaan tegangan. Optocoupler bekerja dengan memanfaatkan cahaya untuk mentransfer

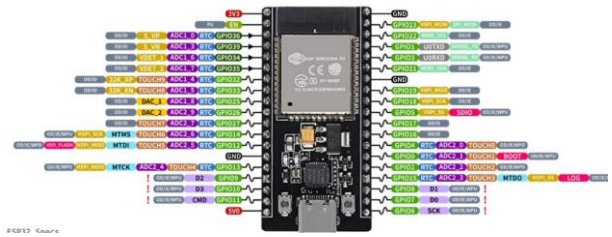
sinyal listrik antara dua bagian sirkuit tanpa adanya kontak langsung, yang bertujuan untuk melindungi sirkuit dari lonjakan tegangan yang dapat merusak komponen-komponen sensitif, seperti mikrokontroler atau perangkat digital lainnya.



GAMBAR 2 - 5 Modul Isolasi AC Optocoupler

2.8 ESP32

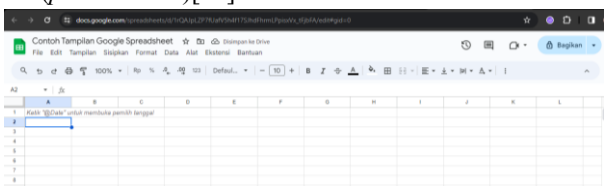
ESP 32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh *Espressif System* merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi *Internet of Things*. Mikrokontroler ESP32 memiliki keunggulan dari mikrokontroler yang lain seperti, NodeMCU ESP8266 dan Arduino Uno. Hal ini dapat dilihat mulai dari *pin out* nya yang lebih banyak, pin analog lebih banyak, memori yang lebih besar, terdapat *bluetooth* 4.0 *low energy* serta tersedia WiFi yang memungkinkan untuk mengaplikasikan *Internet of Things* dengan mikokontroler ESP32[8].



GAMBAR 2 - 6 ESP32 *Type* C[9]

2.9 MODUL OPTOCOUPLER AC

Google docs merupakan aplikasi yang memungkinkan pengguna dapat menulis, mengedit dan menyimpan secara daring. Secara garis besar fitur yang ditawarkan oleh *google docs* adalah pengolahan kata (*word processor*), pengolahan lembar kerja atau aplikasi semacam MS Office Excel (*Spreadsheet*) dan presentasi (*presentation*)[10].



GAMBAR 2 - 7 Tampilan Google *Spreadsheet*

3. PERANCANGAN ALAT

3.1 PERANCANGAN PERANGKAT KERAS (*HARDWARE*)

1. Desain 3D Alat



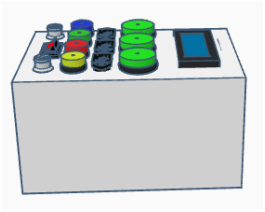
GAMBAR 3 - 1 Rancangan 3D Tampak Atas



GAMBAR 3 - 2 Rancangan 3D Tampak Samping



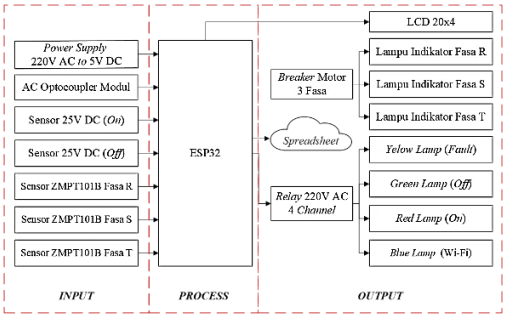
GAMBAR 3 - 3 Rancangan 3D Tampak Sudut Kiri



GAMBAR 3 - 4 Rancangan 3D Tampak Sudut Kanan

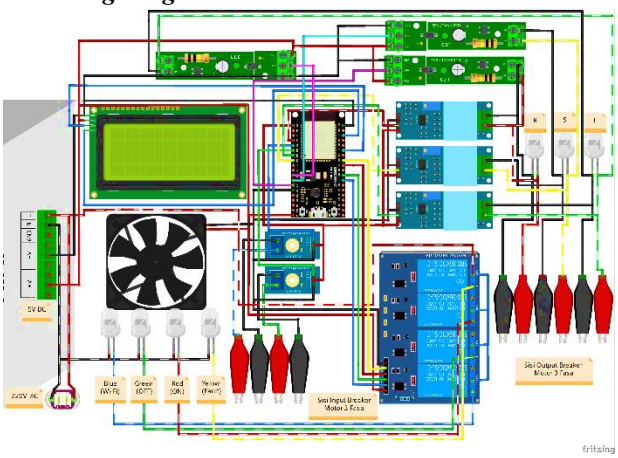
Pada gambar 3-1 sampai 3-4 ditampilkan rancangan bentuk *hardware* alat yang akan penyusun buat, dengan memanfaatkan website tinkercad dalam melakukan rancangan 3D alat.

2. Blok Diagram



GAMBAR 3 – 5 Block Diagram Alat

3. *Wiring Diagram*



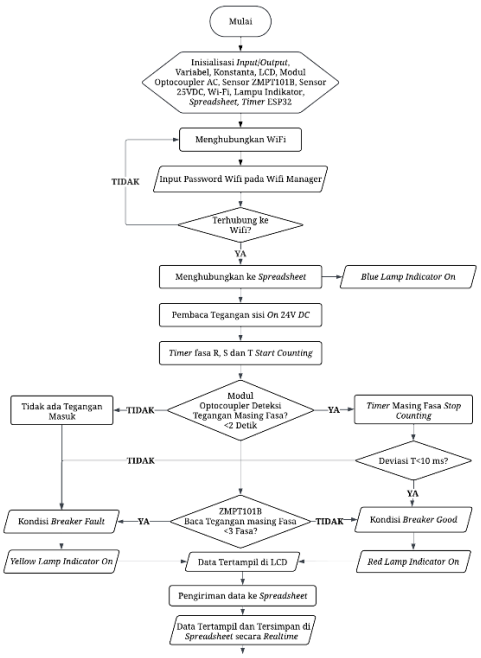
GAMBAR 3 - 6 *Wiring Diagram*

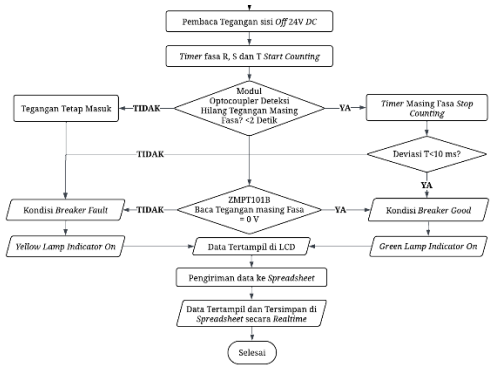
Pada gambar 3-6 ditampilkan *wiring diagram* rangkaian pengkabelan yang akan dibuat, penjelasan fungsi dan pin ESP32 sebagai berikut:

1. Sensor 25V DC untuk sisi ON (Trigger Close) terhubung pada pin 34, Vin, dan GND, dan berfungsi untuk mendeteksi tegangan sisi ON pada breaker, memulai perhitungan waktu dalam milidetik.
2. Sensor 25V DC untuk sisi OFF (Trigger Open) di pin 35, Vin, dan GND, digunakan untuk mendeteksi tegangan sisi OFF pada breaker, juga memulai perhitungan waktu.

3. Modul Optocoupler AC pada pin 12, Vin, dan GND berfungsi untuk mendeteksi tegangan 220V pada fasa R secara real-time, sementara modul pada pin 14, Vin, dan GND digunakan untuk fasa S, dan modul pada pin 27, Vin, dan GND untuk fasa T.
4. Sensor ZMPT101B pada pin 39, Vin, dan GND digunakan untuk membaca tegangan pada fasa R output breaker, sensor pada pin 33, Vin, dan GND untuk fasa S, dan sensor pada pin 32, Vin, dan GND untuk fasa T.
5. Lampu kuning yang terhubung pada pin 19, Vin, dan GND, menunjukkan kondisi fault pada breaker, sementara lampu hijau di pin 18, Vin, dan GND menandakan kondisi OFF, dan lampu merah pada pin 17, Vin, dan GND menunjukkan kondisi ON. Lampu biru yang terhubung pada pin 16, Vin, dan GND, menandakan kondisi Wi-Fi aktif.
6. LCD terhubung pada pin 21 (SDA) dan 22 (SCL), berfungsi untuk menampilkan informasi dari sistem.

3.2 PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK (*SOFTWARE*)





GAMBAR 3 - 7 *Flowchart* Alat

Pada pembuatan alat tugas akhir memiliki cara kerja sistem yang ditampilkan pada *flowchart* dengan menampilkan tahapan inisialisasi program secara keseluruhan perangkat dalam menjalankan fungsionalnya. *Flowchart* digunakan untuk dapat memahami seluruh bagian proses yang terjadi dan dilakukan oleh alat monitoring yang dibuat pada tugas akhir ini.

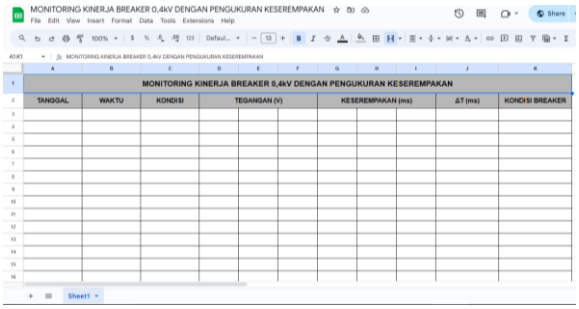
Pada *Flowchart* dijelaskan ketika kondisi *ON* dan *OFF* dalam hal ini dapat dijelaskan proses dimulai dengan pembacaan tegangan pada sensor 25V DC apabila sudah terdeteksi dapat dilanjutkan dengan deteksi 220V AC dengan modul optocoupler AC serta pembacaan sensor ZMPT101B pada fasa R, S dan T yang dimana masing fasa akan melakukan cuplikan waktu pembukaan dan penutupan *breaker* untuk masing – masing fasa.

Selanjutnya setelah masing waktu per fasa telah ditemukan, dilanjut dengan mencari selisih antara waktu maksimal dan waktu minimal pada masing fasa yaitu mencari Δt yang dimana, apabila didapatkan hasil ($\Delta t \geq 10$ ms) atau pada kondisi terdapat tegangan yang tidak terdeteksi maka kondisi BT (*Breaker* Test) akan "*FAULT* dan BC (*Breaker Condition*) tertampil "*ATTENTION*" namun apabila selisi kurang dari 10 milidetik maka kondisi *breaker* akan tertampil "*GOOD*". Seluruh perhitungan waktu, besaran pembacaan tegangan *output* tiga fasa dan seluruh pembacaan kondisi akan ditampilkan pada *spreadsheet*.

Pada penggunaan *spreadsheet* membutuhkan jaringan internet, dalam hal ini mikrokontroler ESP32 mendukung adanya penggunaan Wi-Fi, penyusun dengan ini memanfaatkan kelebihan tersebut dengan menggunakan Wi-Fi *manager* sebagai sistem yang digunakan pada perantara penghubungan Wi-Fi. Sehingga, pengguna alat dapat menggunakan alat yang terkoneksi untuk mengirim data ke *spreadsheet* tanpa harus melakukan *input* program

secara terus menerus ketika ingin melakukan pergantian jaringan koneksi Wi-Fi.

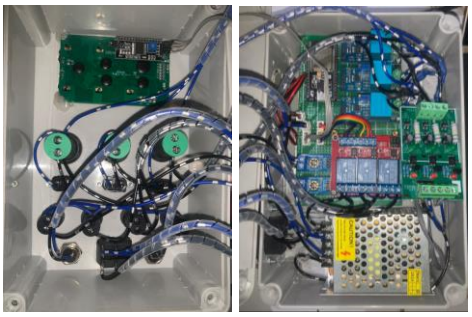
Pada kondisi "*ON*" akan memberikan *trigger* pada lampu merah untuk menyala, pada kondisi "*OFF*" akan memberikan *trigger* pada lampu hijau untuk menyala dan pada kondisi "*FAULT*" akan memberikan *trigger* pada lampu kuning untuk menyala, dan pada kondisi ESP32 terhubung dengan Wi-Fi akan memberikan *trigger* pada lampu biru untuk menyala. Sehingga, kondisi juga dapat terpantau selain pada *spreadsheet* juga dapat dilihat pada alat monitoring yang penyusun buat.



GAMBAR 3 - 8 Tampilan *Spreadsheet*

4. PEMBUATAN ALAT

Pada pembuatan alat dilakukan dengan memulai pembuatan rangkaian sesuai dengan *wiring diagram* yang telah dibuat, serta diikuti dengan melakukan desain box panel yang sesuai sehingga komponen dapat disesuaikan dengan rancangan desain 3D alat. Yang selanjutnya disesuaikan dengan pengkabelan pada posisi box panel yang dibuat.



GAMBAR 4 - 1 Hasil Perakitan Alat



GAMBAR 4 - 2 Hasil Tampilan Alat

5. PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1 PENGUJIAN TAMPILAN *OUTPUT*

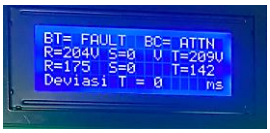
Penyusun mempersiapkan simulasi *breaker* dengan Arduino UNO yang dapat diberikan *setting* waktu jeda dalam pengoperasian sehingga mampu menjadi perbandingan pengukuran nilai keserempakan deviasi waktu pada alat monitoring. Dengan simulasi *breaker* yang dibuat sedemikian rupa untuk menyerupai konfigurasi *breaker* perusahaan PLTGU UBP Priok Blok 1-2 area GT dengan membutuhkan *supply* 24V DC yang kemudian di deteksi oleh sensor 25V DC dan mengirim sinyal ke Arduino UNO yang kemudian memberikan perintah pada *relay* 220V AC untuk mengeluarkan tegangan setelah waktu jeda yang diatur pada Arduino UNO yang pada akhirnya akan dideteksi oleh alat tugas akhir yang penyusun buat.TABEL 5 - 1 Hasil Pengujian Tampilan dengan Simulasi *Breaker*

5.2 PENGUJIAN WAKTU *REAL-TIME* PENGIRIMAN DATA

Dalam melakukan alat uji, diharapkan untuk dapat dilakukan secara *realtime*, penyusun melakukan pengujian untuk mengetahui kecepatan pengiriman data selama menggunakan alat monitoring. Penyusun menggunakan tampilan *stopwatch* dalam detik untuk memperhatikan waktu pengiriman data ke tampilan LCD dan *Spreadsheet* untuk memperhatikan keakuratan *realtime* penggunaan alat.



GAMBAR 5 - 1 Pengujian Durasi Pengiriman Data dan Tampilan Alat

Cond	*Output Pilot Lamp*	*Output* LCD
On		
Off / Standby		
Fault		
Spread-sheet		

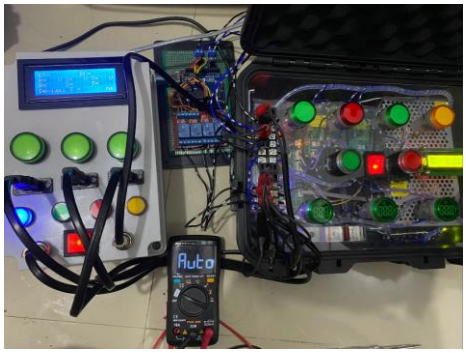
TABEL 5 - 2 Hasil Pengukuran Waktu Pengiriman Data

No	Deteksi Sensor *On-Off*	*Output* LCD (Menit)	*Output Spreadsheet* (Menit)	Durasi (Menit)
1	00.00	00.06	00.04	00.10
2	00.00	00.06	00.04	00.10
3	00.00	00.05	00.03	00.08
4	00.00	00.06	00.03	00.09
5	00.00	00.05	00.04	00.09
6	00.00	00.07	00.01	00.08
7	00.00	00.06	00,02	00.08
8	00.00	00.07	00.01	00.08
9	00.00	00.06	00.03	00.09
10	00.00	00.05	00.04	00.09

Pada tabel 5-2 didapatkan hasil pengujian tercepat dengan durasi 8 detik dan durasi terlama 10 detik. Dalam 10x percobaan didapatkan hasil rata-rata durasi penggunaan data 8,8 detik atau dibulatkan menjadi 9 detik. Sehingga, dapat disimpulkan penggunaan alat tergolong *realtime* dengan cepat dan tanggap.

5.3 PENGUJIAN PEMBACAAN TEGANGAN ZMPT101B

Pada pengujian menggunakan sensor ZMPT101B, penyusun melakukan serangkaian pengujian untuk mengetahui nilai error pembacaan sensor tegangan ZMPT101B yang akan dilakukan perbandingan dengan menggunakan multimeter.



GAMBAR 5 - 2 Pengujian Pembacaan ZMPT101B Tegangan pada Alat

TABEL 5 - 3 Pengujian Pembacaan ZMPT101B dan *Volt Meter Pilot Lamp*

MultiMeter (Volt)			ZMPT101B (Volt)			Error ZMPT101B (%)		
R	S	T	R	S	T			
206	207	208	203	204	206	1.45	1.45	0.96
207	208	210	204	205	208	1.45	1.44	0.95
210	211	212	206	207	212	1.9	1.9	0
207	208	208	204	205	206	1.45	1.44	0.96
206	207	205	204	205	206	0.97	0.97	0.49
205	206	206	203	205	207	0.97	0.48	0.48
204	205	205	204	204	206	0	0.48	0.48
205	206	206	204	204	205	0.48	0.97	0.48
207	207	209	206	207	208	0.48	0	0.48
208	208	207	207	208	206	0.48	0	0.48

Pada tabel 5-3 pengujian pembacaan tegangan yang dilakukan terhadap ZMPT101B pada masing fasa R S dan T dalan hal ini ditemukan rata – rata nilai error yaitu pada sensor ZMPT101B sisi R memiliki nilai error 0.97%, pada sisi S memiliki nilai error 0.91% dan pada sisi T memiliki nilai error 0.58%

5.4 PENGUJIAN PEMBACAAN KESEREMPAKAN

Pada pengukuran pembacaan keserempakan dalam hal ini penyusun telah melakukan pembacaan waktu pembukaan *(open)* dan penutupan *(close)* pada simulasi *breaker* dengan menggunakan dua komponen yaitu ZMPT101B (yang secara langsung digunakan untuk memberhentikan *timer* dan pembacaan nilai tegangan) namun hasil yang didapat sangat tidak menentu atau memiliki pola yang tidak mendekati nilai penentuan jeda yang telah ditentukan, selanjutnya penyusun menggunakan *relay* LY2N sebanyak 3 buah yang dapat bekerja dengan *coil* 220V dan sumber 3,3V (Sesuai tegangan kerja ESP32) untuk masing fasa yang difungsikan secara sama sebagai pendeteksi 220V namun hasil yang didapat juga tidak menentu atau tidak menghasilkan pola. Hasil pengujian tercatat pada *spreadsheet* dan tertampil pada gambar.

KONDISI	R	S	T	DEVIASI R	DEVIASI S	DEVIASI T	Δ WAKTU	KONDISI
ON	210	214	214	1685	1685	3011	1326	ATTN
OFF	0	0	0	1565	1565	3131	1566	ATTN
ON	211	213	215	1806	1806	3010	1204	ATTN
OFF	0	0	0	1685	1685	3010	1325	ATTN
ON	211	213	213	1684	1684	3009	1325	ATTN
ON	211	213	214	1685	1685	3010	1325	ATTN
ON	210	213	212	2488	2488	3090	602	ATTN
OFF	0	0	0	883	963	3052	2169	ATTN
ON	193	209	208	1806	1806	3011	1205	ATTN

GAMBAR 5 – 3 Pengujian Deteksi 220V dengan ZMPT101B

KONDISI	R	S	T	DEVIASI R	DEVIASI S	DEVIASI T	Δ WAKTU	KONDISI
OFF	0	0	0	123	143	3	140	ATTN
ON	216	214	0	1	1	1	0	GOOD
OFF	0	0	0	59	59	1	58	ATTN
ON	215	215	0	8	9	9	1	GOOD
OFF	0	0	0	50	66	6	60	ATTN
ON	212	212	0	1	1	1	0	GOOD
OFF	0	0	0	58	77	1	76	ATTN
ON	212	212	0	3	3	3	0	GOOD

GAMBAR 5 – 4 Pengujian Deteksi 220V dengan Relay LY2N

Pada gambar ditampilkan dengan melakukan pengujian simulasi breaker yang telah diatur jedanya pada arduino IDE, baik ZMPT101B maupun relay LY2N tidak memberikan hasil deteksi yang sesuai atau mendekati dengan nilai jeda yang telah di setting. Hal ini dikarenakan deteksi 220V yang diharuskan secara cepat dan tanggap dalam satuan milidetik. Dalam hal ini penyusun ingin melakukan pemastian terkait sistematis kerja timer pada alat dengan membuat rangkaian voltage divider dari 5V tegangan Arduino UNO (pada simulasi breaker) dengan keluaran 3,3V yang langsung masuk pada pin GPIO ESP32. Hasil ditampilkan pada gambar 5-7 menunjukkan data yang sangat akurat 100% sesuai dengan penentuan jeda pada Arduino UNO.

R	S	T	DEVIASI R	DEVIASI S	DEVIASI T	Δ WAKTU	KONDI
210	212	215	91	291	291	200	ATTN
0	0	0	57	157	257	200	ATTN
211	210	215	1	1	1	0	GOOD
0	0	0	1	1	1	0	GOOD
210	212	213	69	89	89	20	ATTN
210	211	214	92	102	102	10	GOOD
0	0	0	5	10	15	10	GOOD
209	210	211	35	45	45	10	GOOD
0	0	0	96	101	106	10	GOOD
212	209	213	53	63	63	10	GOOD
0	0	0	1	1	1	0	GOOD
209	209	214	8	18	18	10	GOOD
208	211	213	98	98	98	0	GOOD
0	0	0	38	38	38	0	GOOD
208	209	213	1	1	1	0	GOOD
207	209	214	1	1	1	0	GOOD

GAMBAR 5 - 5 Pengujian Perhitungan *Timer* ESP32

Dapat disimpulkan bahwa, *timer* pada perhitungan masing fasa memiliki nilai mulai yang sama sehingga pendeteksian deviasi Δt dapat ditangkap secara akurat. Selanjutnya penyusun dengan ini menggunakan modul optocoupler ac sebagai modul yang melakukan deteksi terhadap keberadaan 220V AC yang mampu secara cepat (dalam satuan milidetik) memberikan *output* deteksinya sehingga kondisi dapat secara *realtime* dan memiliki akurasi yang baik.

R	S	T	DEVIASI R	DEVIASI S	DEVIASI T	Δ WAKTU	KONDISI
215	213	218	92	91	90	2	GOOD
0	0	0	497	489	515	26	GOOD
217	214	216	151	146	145	6	GOOD
0	0	0	380	364	354	26	GOOD
214	214	217	72	70	69	3	GOOD
0	0	0	394	389	415	26	GOOD
212	214	217	102	101	100	2	GOOD
0	0	0	397	392	422	30	GOOD
206	206	212	127	127	126	1	GOOD
205	206	209	119	118	117	2	GOOD
203	205	206	36	35	34	2	GOOD
204	205	207	88	86	85	3	GOOD
202	205	207	43	40	39	4	GOOD
204	204	206	56	55	55	1	GOOD
0	0	0	386	380	405	25	GOOD

GAMBAR 5 - 6 Uji Deviasi dengan Modul Optocoupler AC

Pada hasil pembacaan setelah dilakukan analisis, dengan nilai jeda 0 yang ditentukan pada Arduino UNO, muncul deviasi Δt dengan nilai 1-4 ms dengan nilai terbaik 1 ms dan rata-rata nilai 2 ms, nilai 2 ms ini dapat dihasilkan dari deviasi kerja *relay* mekanik 220V yang digunakan pada simulasi *breaker*.

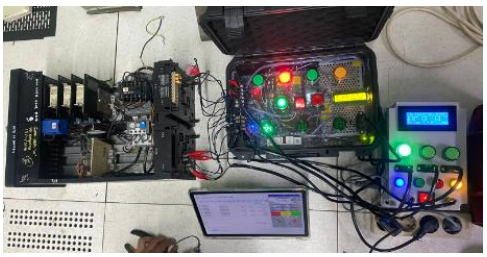
5.5 PENGIMPLEMENTASIAN DENGAN *BREAKER* MOTOR 3 FASA PLTGU UBP BLOK 1-2 AREA GT

Pengujian dan pengukuran yang dilakukan dengan mengimplementasikan alat pada *breaker* yang berada di perusahaan untuk mengetahui kinerja alat serta kesesuaian kondisi alat uji dan *breaker* yang diuji.



GAMBAR 5 - 7 Persiapan Pengujian Alat dengan *Breaker* PLTGU UBP Priok Blok 1-2 GT

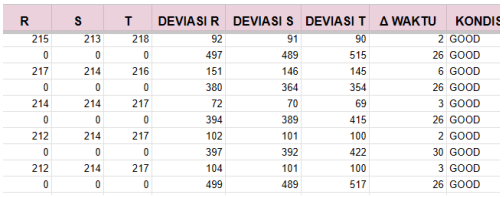
Langkah awal yang dilakukan pada pengujian ini yaitu dengan melakukan persiapan pengujian yang didampingi oleh pihak pegawai perusahaan guna menjaga keamanan serta pengawasan dalam melakukan pengujian alat uji tugas akhir. Persiapan ini meliputi dengan menghubungkan capit buaya pada sisi 24V DC dan 220V AC pada *breaker* serta penyesuaian *spreadsheet*.



GAMBAR 5 - 8 Pengujian Alat dengan *Breaker* PLTGU UBP Priok

Setelah seluruh rangkaian telah dipasang, penyusun dalam hal ini dapat melaksanakan serangkaian uji *breaker* dengan alat uji yang penyusun buat.

TABEL 5 - 4 Hasil Pengujian dengan *Breaker* PLTGU UBP Priok

No	Dokumentasi Pengujian *Breaker*
On	
Off/ Standby	
Spreadsheet	

R	S	T	DEVIASI R	DEVIASI S	DEVIASI T	Δ WAKTU	KONDIS
215	213	218	92	91	90	2	GOOD
0	0	0	497	489	515	26	GOOD
217	214	216	151	146	145	6	GOOD
0	0	0	380	364	354	26	GOOD
214	214	217	72	70	69	3	GOOD
0	0	0	394	389	415	26	GOOD
212	214	217	102	101	100	2	GOOD
0	0	0	397	392	422	30	GOOD
212	214	217	104	101	100	3	GOOD
0	0	0	499	489	517	26	GOOD

Pada tabel 5-4 dapat ditampilkan pada kondisi *ON* ditampilkan lampu indikator merah, yang dimana sesuai dengan lampu indikator *breaker* pada dokumentasi pengujian serta pada kondisi *OFF* ditampilkan lampu indikator hijau sesuai dengan indikator *breaker*. Hasil pengujian deviasi Δt pada kondisi *on* tertampil dengan baik dengan data rata-rata 3,2 ms . Seluruh hasil pembacaan juga tertampil dengan baik pada aplikasi LCD serta *Spreadsheet*.

6. PENUTUP

6.1 KESIMPULAN

Pada alat monitoring breaker motor 3 fasa yang telah penyusun buat, dengan memanfaatkan alat uji tugas akhir milik M. Choirrizal Alvinandella yang memberikan supply 24V DC dan 220V AC pada breaker dan simulasi breaker, didapatkan hasil bahwasanya:

1. Alat monitoring memanfaatkan pemrograman Arduino IDE pada mikrokontroler ESP32 yang memiliki fasilitas jaringan Wi-Fi, hal ini dapat memberikan kemudahan bagi penggunaan alat dan memenuhi kebutuhan koneksi jaringan antara mikrokontroler dan penyimpanan pada spreadsheet melalui google apps script. Mikrokontroler ESP32 membutuhkan sumber VIN sebesar 5 Volt yang didapatkan melalui catu daya 5V DC dengan sumber 220V AC tegangan PLN.
2. Alat monitoring dapat secara otomatis membaca kondisi breaker berdasarkan tegangan 24V DC yang diberikan, dalam hal ini sensor 25V DC akan mendeteksi dan mengetahui kondisi breaker pada sisi on atau off.
3. Alat monitoring dengan sensor tegangan ZMPT101B yang digunakan memiliki nilai error dari hasil multimeter pada masing-masing fasa senilai fasa R 0,97%, ZMPT101B pada fasa S 0,91% dan ZMPT101B pada fasa T senilai 0,58% dalam hal ini pembacaan sudah cukup baik, perbedaan antara sensor dapat disebabkan oleh kalibrasi atau komponen sensor ZMPT101B tersebut.
4. Alat monitoring dapat secara realtime melakukan pembacaan dan pengiriman data dengan rata-rata waktu yang dibutuhkan selama 9 detik secara total terhadap munculnya tampilan di LCD serta

pengiriman dan penyimpanan data pada spreadsheet.

5. Alat monitoring dalam melakukan pengukuran keserempakan dalam hal ini menggunakan modul optocoupler AC di mana nilai pada kondisi on memiliki nilai dengan cukup akurat. Namun, pada kondisi off memiliki waktu jeda yang membuat nilai keserempakan tidak maksimal, hal ini dikarenakan terdapat transistor tipe S8050 yang menjadi penguat sinyal dan memiliki arus sisa sehingga ketika 220V AC pada kondisi mati, modul tidak secara realtime membaca melainkan terdapat proses menunggu transistor kembali ke kondisi awal yaitu dari kolektor kembali ke emitor. Hal ini menyebabkan pembacaan pada kondisi off kurang maksimal. Namun, pembacaan on yang sudah cukup akurat tetap dapat digunakan sebagai bentuk penyesuaian nilai keserempakan.
6. Pada pengujian sebelumnya menggunakan sensor ZMPT101B sebagai pendeteksi 220V terjadi kondisi pembacaan yang secara acak, dalam hal ini hasil analisis penyusun disimpulkan karena adanya trafo pada sensor dan pengiriman analog to digital yang membutuhkan waktu, sehingga mengganggu pembacaan hasil pengukuran keserempakan. Hal yang sama terjadi pada relay LY2N yang bergerak secara mekanis mengakibatkan nilai yang tidak stabil dalam pembacaan keserempakan. Menjadikan modul optocoupler AC sebagai alternatif terbaik dalam melakukan deteksi tegangan senilai 220V AC, yang mampu dibaca pada tegangan 3,3V DC sesuai tegangan kerja ESP32.
7. Pada pelaksanaan pengujian di perusahaan PLTGU UBP Priok didapatkan hasil bahwa alat telah sesuai dengan konfigurasi perusahaan dan dapat dioperasikan dengan baik, serta hasil pembacaan pengukuran pada breaker didapatkan nilai terbaik 2 ms dengan rata-rata 3,2 ms yang memberikan hasil bahwasanya breaker pada perusahaan masih dalam kondisi yang baik dalam melakukan operasinya.
8. Seluruh tampilan alat telah disesuaikan dengan konfigurasi breaker menggunakan pilotlamp yang diberikan perintah menggunakan relay yang terhubung pada mikrokontroler, dalam hal ini lampu merah sebagai petunjuk kondisi on, lampu hijau sebagai petunjuk kondisi off atau standby, lampu kuning sebagai petunjuk kondisi fault dan lampu biru sebagai petunjuk kondisi Wi-Fi. Untuk kondisi masing-masing fasa menggunakan tiga buah pilot lamp berwarna hijau untuk R,S dan T serta seluruh hasil pembacaan dan kondisi akan ditampilkan pada LCD 20x4 pada alat.

Secara keseluruhan didapatkan bahwa alat telah dengan cukup baik memberikan hasil yang sesuai serta operasionalnya yang telah disesuaikan dengan konfigurasi perusahaan PLTGU UBP Priok Blok 1-2 area GT.

6.2 SARAN

Pada alat monitoring breaker motor 3 fasa yang telah penyusun buat, dalam hal ini terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi alat:

1. Menggunakan komponen deteksi 220V yang disesuaikan dapat secara realtime baik pada kondisi ON dari 0V ke 220V ataupun kondisi OFF dari 220V ke 0V. Sehingga, dapat memaksimalkan pembacaan keserempakan deviasi Δt waktu.
2. Dalam melakukan kombinasi sensor ZMPT101B dengan mikrokontroler ESP32 memiliki tantangan tersendiri dalam kalibrasi sensor, dikarenakan resolusi pembacaan ESP32 mudah dipengaruhi oleh noise digital sekitar yang tidak stabil, yang timbul akibat konfigurasi mikrokontroler yang lebih kompleks seperti adanya fitur Wi-Fi dan Bluetooth. Dalam hal ini penyusun menyarankan untuk memanfaatkan arduino UNO sebagai mikrokontroler dalam komunikasi antar sensor yang digunakan yang selanjutnya memanfaatkan ESP32 untuk pengimplementasian *Internet of Things*.

REFERENSI

[1] D. A. Jujun Tugistan, F. Dheny Cipta, and H. Mohammad Rizal, “AJIKER (ALAT UJI BREAKER): TOOLS UNTUK MEMPERCEPAT RECOVERY GANGGUAN DALAM TROUBLESHOOTING DAN PENGUJIAN BREAKER MCC 400V MODUL GT/HRSG/ST.” 2022.

[2] M. Basten Raja Sipahutar, “Rancang Bangun Alat Tes Individual Circuit Breaker (CB) 3

Phasa di PLTU UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN (UPK) BELAWAN." Medan, 2021.

[3] ALL-TESTPPRO, "DAMPAK KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN." [Online]. Available: https://alltestpro.com/id/dampak-ketidakseimbangan-tegangan/

[4] Basic Electronics Tutorials, "Rectification of a Three Phase Supply using Diodes." Accessed: Jul. 15, 2024. [Online]. Available: https://www.electronics-tutorials.ws/power/three-phase-rectification.html

[5] A. G. Firdaus and R. Hidayat, "Analisis Pengujian Kelayakan PMT 150 kV Bay Mandirancan I Berdasarkan Parameter Breaker Analyzer di Gardu Induk Sunyaragi," *Elektron J. Ilm.*, vol. 13, no. 17–24, 2021, doi: https://doi.org/10.30630/eji.0.0.217.

[6] S. Budi, Wisnu, and Dkk, "KARAKTERISASI SENSORARUS DAN TEGANGAN UNTUK APLIKASI MAXIMUM POWER POINT TRACKER PADA SISTEM PENYIMPANAN ENERGI LISTRIK PANEL SURYA," *Pros. Semin. Nas. Fis.*, vol. IX, 2020.

[7] A. Putra, Deni, and R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time," *J. Vocat. Tek. Elektron. dan Inform.*, vol. 8, no. 2, 2020.

[8] Muliadi and dkk, "PENGEMBANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN ESP32," *J. Media Elektr.*, vol. 17, no. 2, 2020.

[9] "ESP32 DEVKITC V4." [Online]. Available: https://www.espressif.com

[10] W. Wasana, Fredi, and S. Delliana, "PEMANFAATAN GOOGLE FORM DAN GOOGLE SPREEDSHEETDI LEARNING RESOURCE CENTER (LRC) INSTITUT TEKNOLOGI DAN BISNIS KALBIS," *J. Perpust. dan Inf. Undip Ed. Mei 2021*, 2021.