

Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things (IoT)

Wendhi Yuniarto [✉], Irman, Suparno, Rusman, Muhammad Diponegoro, Edi

Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Kalimantan Barat 78124.

[✉]e-mail: wendhi_yuniarto@yahoo.co.id

Abstract

Monitoring dan kontrol sistem energi listrik pada beban 3 fasa di Laboratorium dan Bengkel Elektronika Politeknik Negeri Pontianak (POLNEP) masih dilakukan secara konvensional, ini menjadi suatu permasalahan pada pengaturan pembagian beban yang seimbang, efisiensi daya, perhitungan cost beban, serta perbaikan faktor daya pada Gedung Laboratorium dan Bengkel Elektronika POLNEP. Teknologi berbasis Internet of Think (IoT) saat ini memungkinkan untuk melakukan monitoring dan kontrol sistem energi listrik beban 3 fasa menggunakan ESP32 berbasis IoT secara realtime, serta dapat melakukan kontrol on/off system secara jarak jauh apabila diperlukan/terjadi keadaan emergency. Penelitian ini menggunakan metoda studi pustaka, metoda observasi, dan metoda eksperimental, serta penggunaan ESP32 dengan Protocol MQTT berbasis Platform IoT Thingsboard. Adapun sensor yang digunakan adalah sensor PZEM-004t untuk mengukur nilai tegangan, nilai arus, nilai faktor daya, serta nilai frekwensi dari jaringan listrik. Pada hasil implementasi didapat prosentase error perhitungan dan pengukuran daya pada beban 3 fasa sebesar; Fasa R = 0.04%, Fasa S = 0.96%, dan Fasa T = 0.42% (prosentase error dibawah 1%), dari hasil penelitian ini telah sesuai dengan target penelitian, yaitu untuk dapat melakukan monitoring (tegangan, arus, daya, dan faktor daya beban 3 fasa), serta kontrol (on/off system 3 fasa) secara realtime.

Article History

Submitted: 22/10/2022

Revised : 30/01/2023

Accepted : 31/01/2023

Published: 31/01/2023

Kata Kunci:

Monitoring dan Kontrol, 3 Fasa, IoT, ESP32.

Pendahuluan

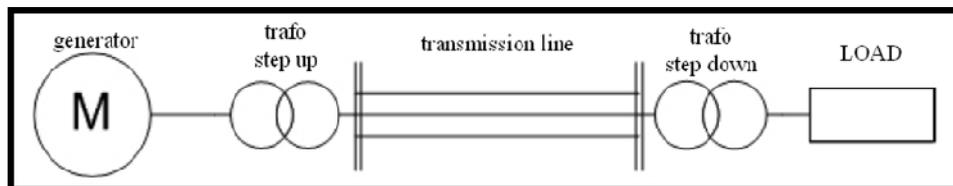
Politeknik Negeri Pontianak merupakan salah satu institusi Pendidikan Tinggi di Kalimantan Barat dengan luas $\pm 6,4$ ha [1]. Bangunan gedung Politeknik Negeri Pontianak (POLNEP) menggunakan sumber energi listrik yang disuplai oleh PT. PLN (Persero) sebagai suplai utama dan merupakan konsumen TM (tegangan menengah). Dilihat dari data beban kelistrikan, prosentase beban terpasang terhadap variasi beban menunjukkan bahwa sebagian besar atau 45,76% dari keseluruhan beban kelistrikan pada kompleks bangunan gedung Politeknik Negeri Pontianak adalah beban pada peralatan praktek (laboratorium dan bengkel) [2]. Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah [3]. Dengan semakin berkembangnya teknologi berbasis *Internet of Think* (IoT) saat ini, maka dimungkinkan untuk melakukan monitoring dan kontrol sistem energi listrik beban 3 fasa pada Laboratorium dan Bengkel Elektronika POLNEP secara *realtime*, serta dapat melakukan kontrol *on/off* system secara jarak jauh apabila diperlukan/terjadi keadaan *emergency*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memonitor data beban 3 fasa (seimbang atau tidak seimbang) menggunakan ESP32 berbasis IoT sebagai acuan untuk evaluasi penggunaan energi listrik di gedung laboratorium dan bengkel, dan juga sebagai acuan pengembangan penambahan daya listrik selanjutnya, serta untuk pengaturan beban yang seimbang. Kontrol *On/Off* sistem dapat dilakukan apabila terjadi ketidakseimbangan beban diluar batas toleransi. Adapun *manfaat* dari penelitian ini adalah sebagai tindakan preventif untuk mencegah terjadinya bahaya akibat ketidakseimbangan beban yang cukup besar, tercapainya efektivitas dan efisiensi penggunaan daya listrik, meminimalkan biaya dan tenaga petugas untuk pengukuran beberapa parameter, serta menjadi bahan evaluasi jika ada rencana pengembangan daya dan beban listrik selanjutnya. Adapun permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana melakukan monitoring dan kontrol Sistem Energi Listrik 3 Fasa menggunakan ESP32

berbasis *Internet of Think* (IoT). Berdasarkan dari penelitian sebelumnya yaitu penelitian dengan judul "Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT (*Internet Of Think*)" [4], hasil penelitian adalah perhitungan dan pemrosesan suatu data untuk mendapatkan nilai daya menggunakan mikrokontroler *ATmega 328*, selain itu menggunakan modul *ethernet shield* dan jaringan LAN untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data dari suatu jaringan LAN. Penelitian dengan judul "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Listrik 3 Fasa terhadap Kinerja Alat Ukur dan Hasil Pengukuran" [5], hasil penelitian adalah pengaruh ketidakseimbangan beban mempengaruhi nilai arus, tegangan dan daya yang berbeda pada setiap fasanya, sehingga akan berpengaruh terhadap rugi-rugi yang besar pada sumber daya (generator) maupun beban (output). Jika beban seimbang, maka arus, tegangan dan daya yang keluar hampir sama nilainya pada setiap fasanya. Penelitian dengan judul "Desain dan Implementasi *Smart Laboratory* Berbasis IoT menggunakan ESP32 dan Thingsboard untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan di Laboratorium Teknik Informatika POLNEP" [6], hasil penelitian adalah Teknologi IoT dengan ESP32 dan Thingsboard dapat digunakan sebagai *early warning system* untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan di Laboratorium Teknik Informatika POLNEP.

Dasar Teori

Jaringan listrik yang disalurkan oleh PLN ke konsumen, merupakan bagian dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Secara umum, sistem tenaga listrik terdiri dari komponen pembangkit (generator), komponen saluran transmisi dan komponen beban. Daya listrik dibangkitkan oleh generator yang digerakkan oleh *prime mover* (dapat berasal dari energi uap, diesel, air, panas bumi, angin, dan sebagainya). Untuk mengurangi kerugian daya pada saluran transmisi, tegangan listrik tersebut dinaikkan sampai tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dengan transformator *step-up*, baru kemudian dihubungkan dengan saluran transmisi. Pada sisi penerima, tegangan listrik ini diturunkan sampai 220 atau 380 Volt sesuai kebutuhan. Sistem daya listrik yang digunakan adalah sistem daya listrik arus bolak-balik tiga fasa. Berikut skema suatu sistem tenaga listrik mulai dari pembangkit hingga beban [7].



Gambar 1. Skema sistem tenaga listrik

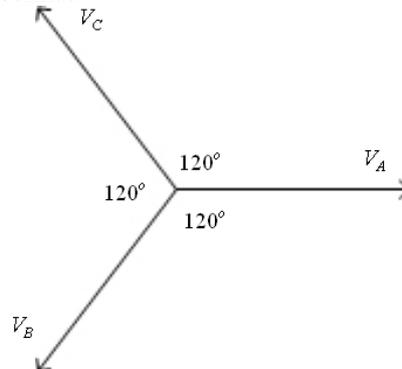
Keluaran (output) 3 fasa listrik bolak-balik (AC) dari generator memiliki perbedaan fasa sebesar 120° untuk tiap-tiap fasanya. Gambar 2 menunjukkan hubungan tegangan masing-masing fasa. Perbedaan fasa pada tiap fasa dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$V_a = V_m \times \angle 0^\circ$$

$$V_b = V_m \times \angle -120^\circ$$

$$V_c = V_m \times \angle -240^\circ$$

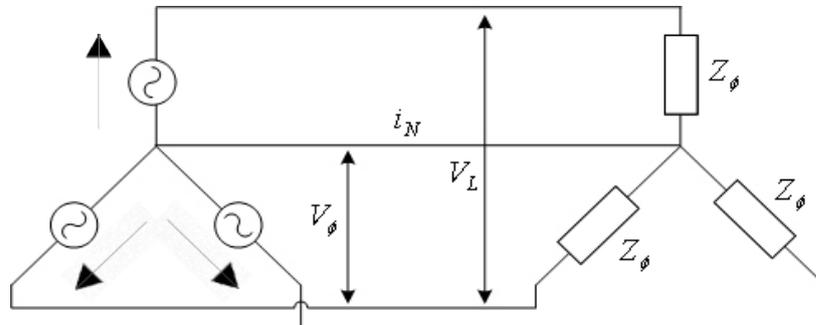
dan memiliki diagram fasor sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Fasor Listrik 3 fasa

Rangkaian Hubung memiliki titik hubung ketiga fasanya yang disebut titik Netral seperti pada gambar 3, dimana Arus Netral (I_N) merupakan penjumlahan arus ketiga fasanya dari jalur netral tersebut dilalui oleh ketiga fasa yang ada, sesuai persamaan berikut:

$$I_N = I_A + I_B + I_C = 0 \tag{1}$$



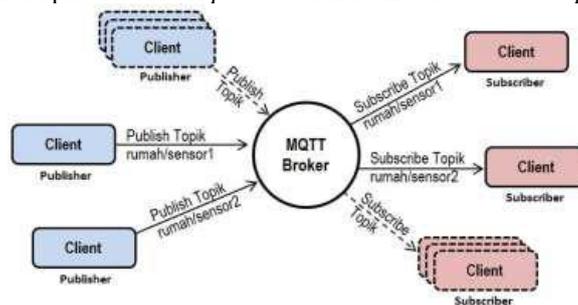
Gambar 3. Arus Netral (I_N) pada rangkaian hubung Y-Y

Persamaan (1) menunjukkan jika beban yang diaplikasikan dalam suatu tegangan tiga fasa seimbang, maka arus netralnya sama dengan nol karena simetris dan saling meniadakan. Arus netral muncul akibat pembebanan yang tidak seimbang.

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah [3].

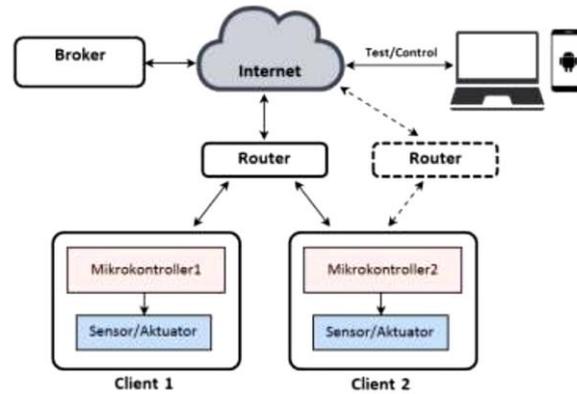
Sensor PZEM-004T, merupakan modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur : Tegangan, Arus, Daya, Frekuensi, Energi dan Faktor Daya. Dengan kelengkapan fungsi/fitur tersebut, modul PZEM-004T sangat cocok digunakan sebagai proyek atau eksperimen untuk mengukur daya pada jaringan listrik seperti rumah atau gedung. Modul PZEM-004T mempunyai model 10 Ampere dan 100 Ampere [8].

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), menggunakan model *publish/subscribe* yang memerlukan kontrol terpusat yang disebut dengan *Broker* seperti pada Gambar dibawah. *Client* yang berperan sebagai *publisher* akan mem-*publish* topik tertentu ke *Broker* misalnya topik “rumah/sensor1”. Kemudian ada *client* lainnya yang berperan sebagai *subscriber* yang akan men-*subscribe* topik tertentu pada *Broker*, sistem dapat memiliki banyak *subscriber* yang men-*subscribe* individual topik tertentu misalnya ada topik “rumah/sensor1” atau “rumah/sensor2” dimana Topik tersebut di *publish* oleh lebih dari satu *client publisher*.



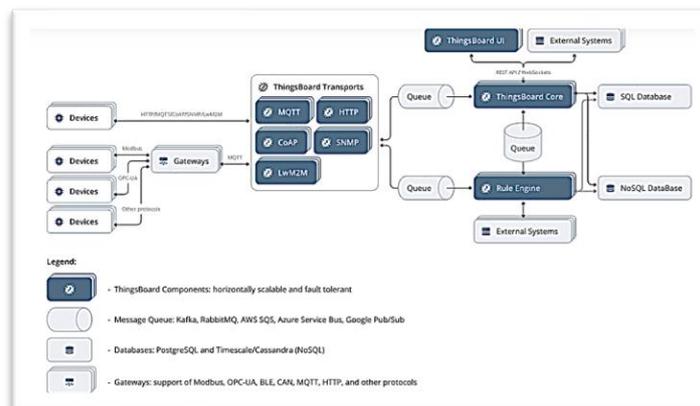
Gambar 4. Skema Komunikasi MQTT

Broker memiliki tugas untuk menampung sementara topik dari beberapa *publisher* dan meneruskan pesan tersebut ke banyak *Publisher* model *MQTT* tidak memiliki koneksi langsung ke *subscriber* begitu juga sebaliknya, mereka hanya dihubungkan oleh *Broker*. *Subscriber* dapat memilih topik yang tersedia pada *Broker*, layaknya memilih saluran (*channel*) televisi yang mana penerima siaran TV tidak berhubungan langsung dengan siaran acaranya. Topik yang di-*publish* oleh *client publisher* hanya akan diteruskan atau di-*broadcast* oleh *Broker* ke *client subscribarnya* atau dengan kata lain *publisher* topik dapat saja tidak mengetahui siapa saja *subscribarnya*. *Client* dapat juga sekaligus menjadi *publisher* dan *subscriber* pada topik yang sama ataupun berbeda *subscribarnya* [9].



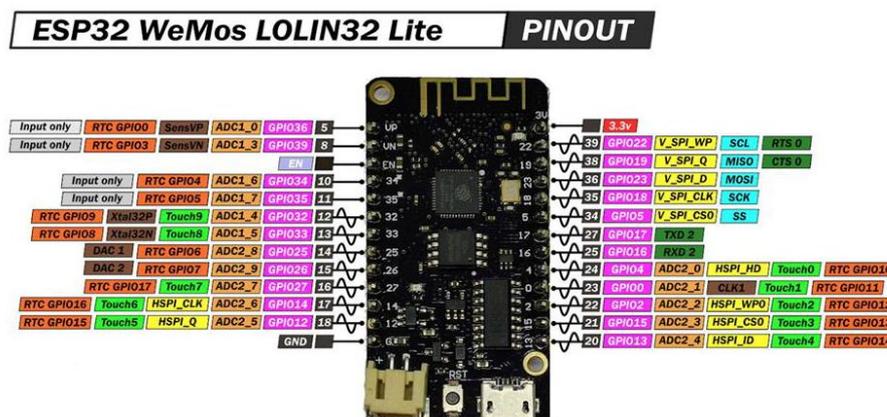
Gambar 5. Blok Diagram Sistem

ThingsBoard adalah platform IoT yang bersifat *Open Source* untuk pengumpulan data, pemrosesan, visualisasi, dan manajemen perangkat. **ThingsBoard** memungkinkan konektivitas perangkat melalui protokol IoT standar industri - *MQTT*, *CoAP*, dan *HTTP* dan mendukung penyebaran *cloud* dan lokal. **ThingsBoard** menggabungkan skalabilitas, toleransi kesalahan, dan kinerja sehingga tidak akan pernah terjadi kehilangan data. Penelitian ini direncanakan akan menggunakan **Thingsboard** dengan versi *Community Edition*. Adapun *Output* yang dapat diimplementasikan dengan **Thingsboard** diantaranya Monitoring Arus Listrik (Fasa R,S,T), Tegangan Listrik (Fasa R,S,T), Daya Listrik (Fasa R,S,T), dan Faktor Daya (Fasa R,S,T), sedangkan untuk kontrol system yaitu diharapkan dapat melakukan *On/Off system* pada saat ketidakseimbangan beban terlalu besar. *Interface* pada **ThingsBoard** dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Interface pada ThingsBoard

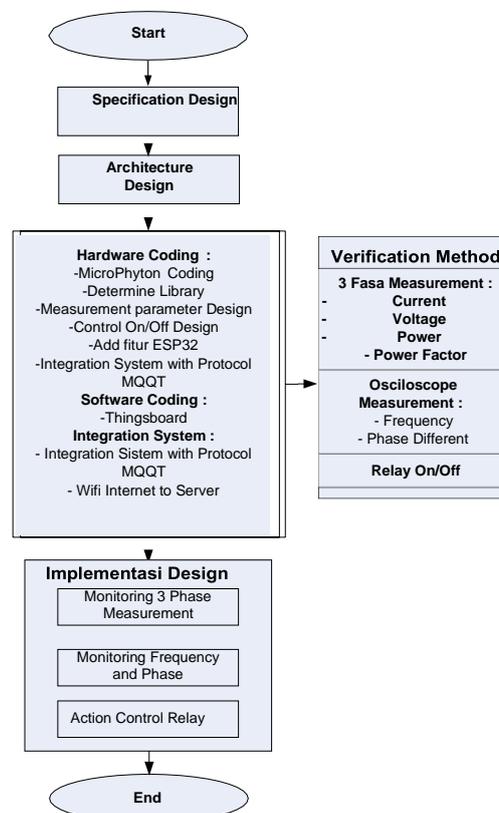
ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh *Espressif System* merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi Internet of Things. pada Gambar 7 merupakan pin out dari ESP32. Pin tersebut dapat dijadikan input atau output [9].



Gambar 7. ESP32 WeMos LOLIN32 Lite Pinout

Metode Penelitian

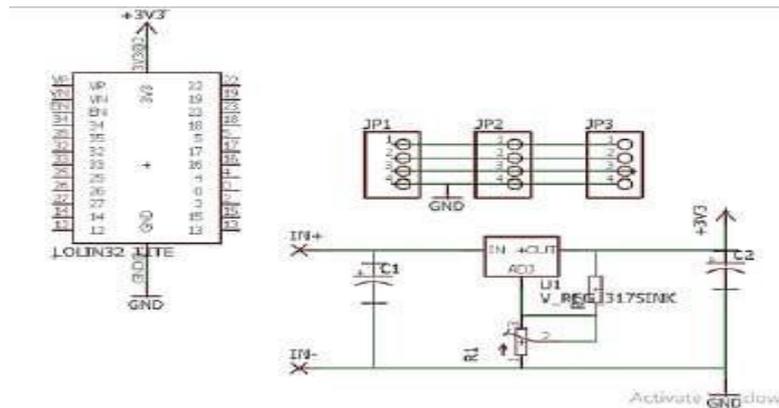
Penelitian ini menggunakan beberapa metoda antara lain: Metode Studi Pustaka, beberapa acuan dan literatur dari penelitian yang sejenis, serta literatur dari vendor peralatan yang digunakan menjadi referensi untuk penelitian ini. Metode Observasi, metoda ini melakukan pengamatan langsung di lapangan, melakukan survey kebutuhan data awal, penelusuran kebutuhan peralatan, serta kebutuhan user/pengguna. Metode Eksperimental, metode eksperimental dilakukan diantaranya untuk menentukan Hardware dan Software yang akan digunakan (Specification Design), rancangan Arsitektur system yang akan dibuat (Architecture Design), setelah itu pada bagian proses dilakukan dengan merancang Hardware dan Software (include program design), lalu membuat dan mengisi program pada hardware (ESP32), dan software (ThingsBoard), menentukan library yang digunakan sesuai dengan keperluan, proses ini beserta dengan verification method (melakukan verifikasi pengukuran setiap blok sistem agar sesuai dengan model perancangan). Setelah itu dilanjutkan dengan integrasi sistem dan pengujian alat. Setelah dilakukan perancangan dan perakitan, maka dilakukan tahapan implementasi dan pengujian fungsionalitas pada setiap blok/bagian sebelum sistem diintegrasikan, dan pada saat sistem sudah diintegrasikan, hal ini dilakukan untuk menguji kelayakan sistem serta melakukan perbandingan dengan parameter ukur standar yang telah ada sebelumnya. Diagram alir perancangan dapat ditunjukkan pada gambar 8 berikut ini.



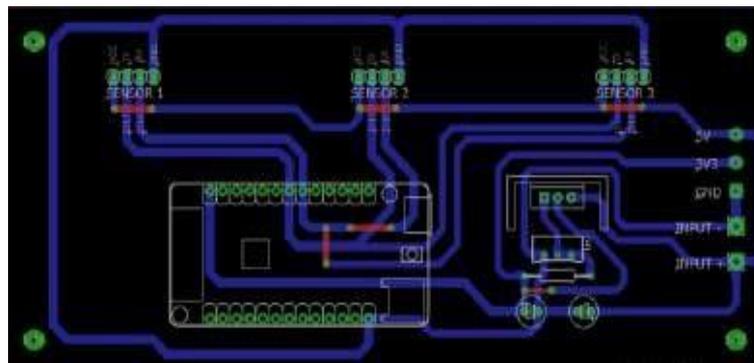
Gambar 8. Alur Desain Sistem

Hasil dan Pembahasan

Tahapan selanjutnya pada penelitian ini adalah dilakukan perancangan skematik system monitoring dan kontrol beban 3 fasa dengan menggunakan EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor), yang merupakan sebuah aplikasi untuk mendesain skematik Elektronika maupun PCB (Printed Circuit Board). seperti dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10.

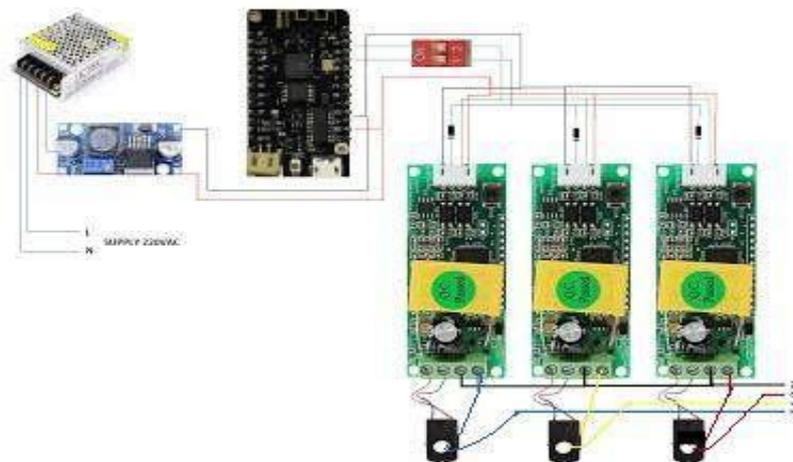


Gambar 9. Desain Skematik PCB system



Gambar 10. Desain path pada PCB

Hasil dari desain skematik system dan desain path PCB dengan *eagle soft* di cetak pada PCB, dan dilakukan proses *etching* atau yang dapat disebut juga proses sablon PCB, yaitu proses pembuatan jalur-jalur konduktor untuk menghubungkan antara komponen-komponen di PCB. Setelah selesai dilakukan proses *etching* PCB, maka dilanjutkan dengan membuat *pin hole* sehingga PCB siap digunakan. Setelah komponen dan semua peralatan system yang dibutuhkan telah siap, maka dilakukan proses ujicoba dengan membuat *wiring* yang sesuai dengan desain sebelumnya, seperti terlihat pada gambar 11 dan 12.



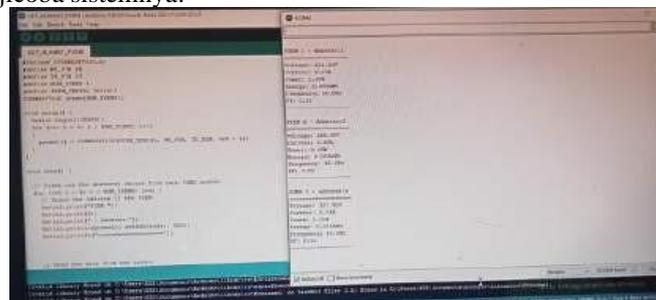
Gambar 11. Wiring Sistem Monitoring beban 3 Fasa

Untuk mengukur setiap fasa dari jala-jala PLN, maka jalur setiap fasa diambil F-N (Fasa – Netral), ini berarti tegangan setiap fasa yang seharusnya sebesar ± 380 V akan terukur ± 220 V, hal ini dikarenakan sensor *PZEM-004t* hanya dapat menerima input tegangan sebesar 220V.



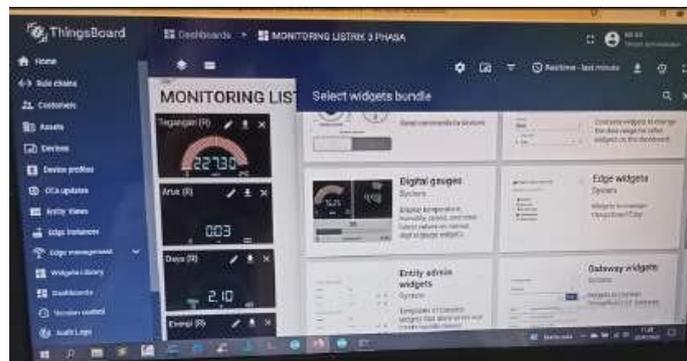
Gambar 12. Sistem Monitoring dan Kontrol 3 Fasa

Dengan menggunakan pemrograman *Arduino IDE*, maka dilakukan ujicoba untuk memastikan setiap blok system dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan kebutuhannya. Pada gambar 13 dapat dilihat program *Arduino IDE* dan hasil running pada ujicoba sistemnya.



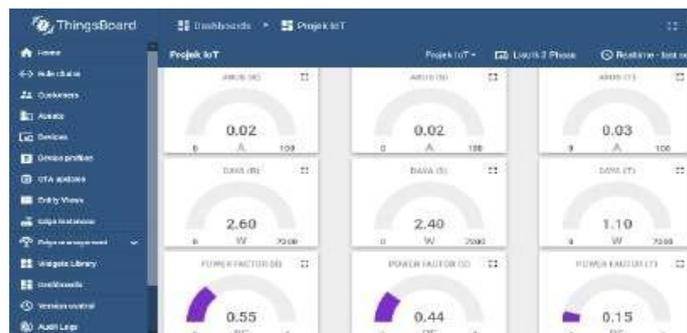
Gambar 13. Hasil Print COM Running Sistem

Setelah melakukan ujicoba sensor, maka proses selanjutnya adalah melakukan pembuatan *device* dan memilih *widget* yang sesuai dengan kebutuhan, seperti terlihat pada gambar 14.



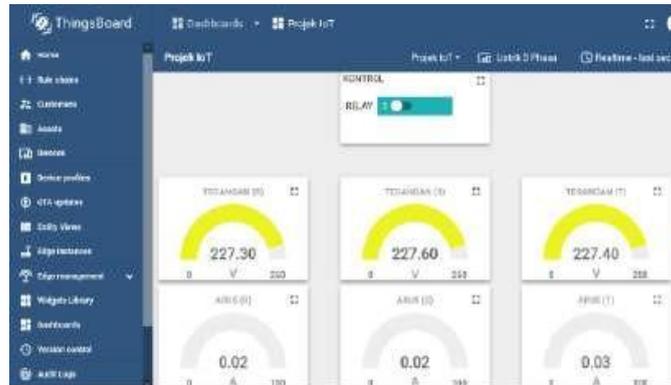
Gambar 14. Pemilihan widget system pada ThingsBoard

Untuk dapat membaca data dari sensor, *device* yang dibuat memerlukan *telemetry* terlebih dahulu, yaitu dengan menggunakan *curl* pada *command line*. Setelah selesai, maka proses selanjutnya menjalankan kode pada *Arduino IDE*



Gambar 15. Hasil pengukuran monitoring pada ThingsBoard

Pada gambar 8 terlihat hasil pembacaan data pada *dashboard* ujicoba terhadap beberapa variable pengukuran yang didapat yaitu, variable tegangan pada fasa R-S-T, nilai arus setiap fasa, nilai Daya setiap fasa, dan nilai Faktor Daya setiap Fasa



Gambar 16. Hasil Tes Kontrol Sistem terhubung dengan MCCB panel MDP

Pada Gambar 9 didapat hasil ujicoba sistem kontrol dengan menggunakan relay sebagai konversi dari sistem untuk simulasi pada *main system* Power Panel di Gedung Laboratorium dan Bengkel Elektronika

Tabel 1. Hasil Parameter Ukur Simulasi

PARAMETER UKUR	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
ARUS (A)		0.02	0.02	0.02
TEGANGAN (V)		227	227	227
DAYA (W)		2.60	2.40	1.10
POWER FACTOR		0.55	0.44	0.15

Tabel 2. Perhitungan Daya Hasil Simulasi

PARAMETER	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
HTUNG				
ARUS (A)		0.02	0.02	0.02
TEGANGAN (V)		227	227	227
DAYA (W)		2.50	1.44	0.68
POWER FACTOR		0.55	0.44	0.15

Data Tabel 1 dan Tabel 2 sebagai acuan untuk hasil % *error* seperti ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. % Error Pengukuran Daya

Fasa R	Fasa S	Fasa T
%Error	%Error	%Error
$= \frac{(2.60 - 2.50)}{2.50} \times 100\%$	$= \frac{(2.40 - 1.44)}{1.44} \times 100\%$	$= \frac{(1.10 - 0.68)}{0.68} \times 100\%$
= 0.04 %	= 0.96 %	= 0.42 %

Hasil implementasi untuk sistem monitoring arus, tegangan, daya dan faktor daya dapat terlihat pada tabel 3, dengan % *Error* (Fasa R = 0.04%, Fasa S = 0. 96%, dan Fasa T = 0.42%).

Pada kontrol system, sistem On/Off relay secara jarak jauh telah berhasil dilakukan, kontrol On/Off system sebagai melakukan pengamanan pada system apabila terjadi ketidakseimbangan beban, dimana system monitoring 3 fasa akan mendeteksi adanya ketidakseimbangan beban pada parameter Arus, Tegangan dan Daya listrik dengan acuan perbandingan nilai arus listrik di fasa R, S,T menggunakan toleransi 10%. Apabila terjadi ketidakseimbangan beban (arus listrik sudah mencapai lebih dari nilai toleransi keseimbangan beban sebesar 10%, maka system akan menghidupkan alarm dan memberikan notifikasi pada *widget alarm* di *ThingsBoard*, sehingga

operator dapat melakukan keputusan apakah akan mematikan Sistem (*Off System*), atau menyeimbangkan beban dengan menghidupkan peralatan lain difasa yang rendah nilai arusnya.

Kesimpulan

1. Hasil penelitian sistem monitoring dan kontrol energi listrik menggunakan beban 3 fasa menggunakan ESP32 berbasis IoT telah berhasil dilakukan sesuai dengan target penelitian yaitu untuk mendapat hasil monitoring (tegangan, arus, daya, dan faktor daya beban 3 fasa) dan melakukan kontrol (on/off system 3 fasa).
2. Hasil implementasi system didapat nilai % Error untuk Fasa R = 0.04%, Fasa S = 0.96%, dan Fasa T = 0.42%.
3. Simulasi test control relay jarak jauh untuk On/Off system telah berhasil dilakukan dengan Priority sensor arus sebagai acuan

Ucapan Terima Kasih

Diucapkan terimakasih yang tak terkira kepada para pihak yang telah mendukung kegiatan penelitian ini dari awal sampai akhir.

References

- [1] POLNEP, "Politeknik Dalam Angka," *POLNEP, Pontianak*, 2016.
- [2] W. Yuniarto, Yunita, and M. Syamsudin, "Akuisisi Data Audit Energi Gedung Berbasis Curent Sensor," *Politeknologi*, vol. 16, no. 2, pp. 177–182, 2017.
- [3] T. M, Y. I, and J. Sentosa Setiadji, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distrbusi," *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 68–73, 2006.
- [4] J. H and Handarly, "Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT (internet Of Think)," *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 205–208, 2018.
- [5] J. P and Tuhu, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Listrik 3 Fasa terhadap Kinerja Alat Ukur dan Hasil Pengukuran," *Univ. Muhammadiyah Surakarta*, 2020.
- [6] F. Wibowo, "Desain dan Implementasi Smart Laboratory Berbasis IoT menggunakan ESP32 dan Thingsboard untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan di Laboratorium Teknik Informatika POLNEP," *ELITE*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2021.
- [7] B. Maxtrada, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban antar Fasa-Fasa menggunakan Transformator dengan Fasa Netral terhadap Hasil Pengukuran," *Univ. Indones. Jakarta*, 2008.
- [8] InovatorGuru, "No Title," 2021. <https://manuals.plus/id/inovatorsguru/modul-komunikasi-ac-pzem-004t-v3-0-manual#axzz7tGhr3Bfr> (accessed Feb. 14, 2023).
- [9] I. B and P. Widja, "SISTEM IOT BERBASIS PROTOKOL MQTT DENGAN MIKROKONTROLER ESP8266 DAN ESP32," in *Prosiding SNATIF ke 5, Bali*, 2018.