

PENERAPAN SISTEM SCADA AUDIT ENERGI LISTRIK BERBASIS RASPBERRY-PI CODESYS DENGAN KOMUNIKASI MODBUS TCP DI WORKSHOP ELEKTRO POLITEKNIK ENJINERING INDORAMA.

Yuda Muhammad Hamdani¹, Sarosa Castrena Abadi², Dani Usman³

^{1,3}Politeknik Enjinereng Indorama

² Politeknik Manufaktur Bandung

Email: ¹yuda.muhammad@pei.ac.id, ²sarosa@ae.polman-bandung.ac.id, ³dani.usman@pei.ac.id

Abstrak

Abstrak-- Pandemi Covid-19 berdampak pada seluruh sektor kehidupan masyarakat termasuk sektor industri. Upaya yang dapat dilakukan industri untuk bertahan di masa pandemik adalah dengan konservasi dan efisiensi energi untuk menekan biaya energi dan mengurangi emisi karbon dioksida (CO₂). Penelitian ini membahas prototipe system *monitoring* penggunaan listrik di suatu gedung dalam upaya pemanfaatan energi yang efektif dan efisien sehingga diharapkan dapat dijadikan referensi sistem audit energi baik di lingkungan masyarakat maupun di lingkungan Politeknik Enjinereng Indorama. Sistem ini terdiri dari Nodemcu ESP8266 sebagai RTU mengirimkan data pengukuran sensor PZEM 004t ke MTU Raspberry pi menggunakan protokol komunikasi Modbus TCP, kemudian data yang diterima oleh MTU di tampilkan ke *display* HMI Codesys. Berdasarkan hasil pengujian dihasilkan kesimpulan bahwa sistem berhasil memonitor penggunaan energi listrik gedung baik melalui *handphone* maupun PC secara *realtime*. Hasil *monitoring* selama 30 hari diperoleh data penggunaan energi terbesar yaitu pada *line* 1 sebesar 83235.31 KWh, pada *line* 2 sebesar 79122.49 KWh dan pada *line* 3 sebesar 26289.15 dengan tingkat akurasi untuk masing-masing *line*1, 2 dan 3 yaitu 4.46%, 4.87% dan 9.89%.

Kata Kunci: Audit Energi; PZEM04T; Raspberry Pi Codesys; Modbus TCP

Abstract

The Covid-19 pandemic has impacted all sectors of people's lives including the industrial sector. Efforts that industry can make to survive the pandemic are with conservation and energy efficiency to reduce energy costs and reduce CO₂ emissions. This research discusses the prototype of the electricity monitoring system in a building in an effort to use energy effectively and efficiently so that it is expected to be used as a reference for energy audit systems both in the community and in the Indorama Engineering Polytechnic environment. The system consists of Nodemcu ESP8266 as the RTU sends PZEM 004t sensor measurement data to the Raspberry pi MTU using the Modbus TCP communication protocol, then the data received by the MTU is displayed to the HMI Codesys display. Based on the test results, it was concluded that the system successfully monitored the use of electrical energy of the building both through smartphones and PCs in real time. The results of monitoring for 30 days obtained the largest energy use data, namely on line 1 of 83235.31 KWh, on line 2 of 79122.49 KWh and on line 3 of 26289.15 with accuracy rates for line1, 2 and 3 respectively, namely 4.46%, 4.87% and 9.89%.

Keywords: Energy Audit; PZEM04T; Raspberry Pi Codesys; Modbus TCP.

I. PENDAHULUAN

Pandemi Covid-19 memberikan dampak bagi hampir semua sektor kehidupan masyarakat termasuk sektor industri, penurunan angka *Prompt Manufacturing Index* (PMI) Bank Indonesia di industri merupakan indikasi bahwa industri tersebut tidak berkembang. Menurut Direktur Konservasi Energi Haryanto upaya yang dapat dilakukan

industri agar tetap bertahan di masa pandemik saat ini adalah dengan konservasi dan efisiensi energi, karena ketika suatu industri telah menerapkan suatu sistem efisiensi energi maka industri akan mampu untuk menekan biaya energi dan mengurangi emisi karbon dioksida (CO₂) (Humas EBTKE., 2020:1).

Manajemen energi merupakan kegiatan terpadu yang berfungsi untuk mengendalikan konsumsi energi agar tercapai pemanfaatan energi yang efektif

dan efisien. Salah satu bagian dari proses manajemen energi adalah audit energi (Widiastuti dkk., 2017:101).

Audit energi merupakan suatu proses evaluasi pemanfaatan energi, identifikasi peluang penghematan energi, rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi (Widiastuti dkk., 2017:101). Pelaksanaan audit energi di lapangan utamanya adalah pengumpulan data, diantaranya pengumpulan data primer kelistrikan seperti beban operasi, ketidakseimbangan arus dan tegangan, faktor daya, tingkat harmonik) arus dan tegangan melalui pengukuran langsung dengan alat ukur khusus yang dapat mengukur data tersebut sekaligus (Hudan dkk., 2019).

Politeknik Enjinering Indorama yang merupakan Lembaga yang dikelola oleh Yayasan Indorama yang termasuk dalam jajaran manajemen PT Indo-Rama Synthetics Tbk, merasa berkewajiban untuk berupaya membantu dalam upaya pemanfaatan energi yang efektif dan efisien melalui penerapan suatu sistem yang dapat memonitor penggunaan energi secara otomatis dan berkelanjutan di Politeknik Enjinering Indorama. Berdasarkan masalah tersebut penulis bermaksud untuk melakukan penelitian yang berjudul Penerapan Sistem SCADA Audit Energi Listrik Berbasis Raspberry-Pi Codesys dengan komunikasi Modbus TCP di Workshop Elektro Politeknik Enjinering Indorama.

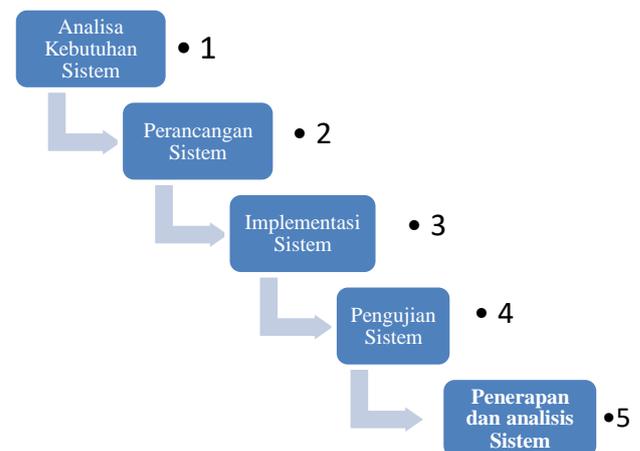
Pada penelitian ini teknologi SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) diterapkan pada sistem audit energi listrik. SCADA merupakan teknologi yang tepat untuk digunakan saat melakukan *monitoring*, kontrol, serta pengumpulan data untuk disajikan sesuai kebutuhan karena SCADA memiliki empat fungsi utama yaitu komunikasi antar sistem, pengontrolan sistem, penyajian data, dan akuisisi data. (Arisandy, P dkk., 2018:1; Abadi S.C. dkk., 2021: 042076).

Pada sistem ini Nodemcu ESP 8266 (Supriyadi, E. dkk., 2020:14) yang bertindak sebagai RTU (*Remote Transfer Unit*) akan mengirimkan hasil pengolahan data pengukuran sensor PZEM 004t (Andriana, A dkk., 2019:29) ke MTU (*Master Transfer Unit*) Raspberry pi menggunakan protokol komunikasi Modbus TCP, kemudian data yang diterima oleh MTU dari RTU akan di tampilkan ke display HMI (*Human Machine Interface*) Webvisu dari Codesys sehingga data pengukuran sensor dapat di monitor secara *real time* di lingkungan workshop Elektro Politeknik Enjinering Indorama baik melalui komputer maupun *handphone*.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat *prototype system* yang dapat mendukung upaya pemanfaatan energi yang efektif dan efisien melalui *system monitoring* penggunaan listrik di Workshop Elektro Politeknik Enjinering Indorama sehingga diharapkan dapat dijadikan referensi sistem audit energi (Widiastuti dkk., 2017:101) baik di lingkungan masyarakat maupun di lingkungan Politeknik Enjinering Indorama dalam rangka tujuan pemanfaatan energi yang efektif dan efisien sehingga dapat membantu menekan biaya energi di lingkungan Politeknik Enjinering Indorama

II. METODE

Pada penelitian ini metode yang di gunakan adalah metode penelitian eksperimental pola *waterfall* (Ramady, G. D. dkk., 2019: E53). Metode ini sesuai untuk diterapkan pada penelitian ini karena sistem yang di bangun akan terus menerus di kembangkan, dimana tahapan dari metode ini adalah dari analisa kebutuhan untuk menunjang penelitian ini, kemudian mendesain sistem, selanjutnya implementasi sistem, kemudian pengujian sistem, kemudian tahap terakhir adalah analisis sistem. seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Metodologi Waterfall

- Tahap Analisa Kebutuhan dilakukan perumusan akan maksud dan tujuan serta kemungkinan kendala yang muncul dari pengembangan sistem yang akan dibangun, termasuk didalamnya dilakukan pengumpulan data berupa studi literature.
- Tahap Perancangan Sistem dilakukan rencana desain dan perancangan terhadap sistem yang akan dibuat berdasarkan hasil dari tahap sebelumnya yaitu tahap inisiasi/analisa kebutuhan.

- Tahap Implementasi Sistem dilakukan integrasi sistem baik secara perangkat keras maupun perangkat lunak.
- Tahap Pengujian Sistem dilakukan pengujian apakah sistem tersebut telah berfungsi dengan baik sesuai dengan tujuan penelitian.
- Tahap Analisis Sistem, pada tahap ini sistem yang telah diuji pada tahapan sebelumnya mulai dianalisis untuk kemudian selanjutnya akan dijadikan kesimpulan penelitian.

Analisa Kebutuhan Sistem

Terkait dengan penelitian yang akan dilakukan, proses studi literatur dilakukan dengan membaca referensi - referensi dari penelitian terdahulu yang berhubungan dengan konsep sistem SCADA Audit Energi, Raspberry pi, Nodemcu, Modbus TCP dan Codesys. Proses tersebut sangat penting untuk dilakukan untuk menghindari terjadinya penjiplakan atau duplikasi dari penelitian terdahulu dan juga sebagai bahan untuk kontribusi penelitian bagi penulis agar penelitian tentang tema ini terus berkembang. Berikut beberapa ulasan dari penelitian 10 tahun terakhir yang relevan dengan penelitian yang akan dibuat:

- Penelitian terkait audit energi yang berjudul Audit Energi pada Gedung Departemen Teknik Arsitektur dan Perencanaan FT UGM, penelitian ini membahas mengenai tingkat pemakaian energi, mengidentifikasi peluang efisiensi energi, serta analisis elektrikal dan ekonomi pada peluang efisiensi energi sistem pencahayaan dan sistem tata udara di Departemen Teknik Arsitektur dan Perencanaan (DTAP) UGM. Pada penelitian ini proses pengambilan data menggunakan Building Energy Management System (BEMS) yang terdiri atas IoT Smart Node dan IoT Smart Gateway. Hasil dari penelitian ini menyebutkan bahwa Intensitas Konsumsi Energi di Departemen Teknik Arsitektur dan Perencanaan (DTAP) UGM selama 3 bulan dari September sampai november sangat efisien. Kemudian beban puncak tertinggi terjadi pada tanggal 10 maret pukul 13.35 sebesar 165,95 kW. Tingkat pencahayaan di Departemen Teknik Arsitektur dan Perencanaan (DTAP) UGM terukur di bawah nilai standar acuan SNI, disarankan untuk mengganti sistem pencahayaan menggunakan lampu LED karena diperkirakan memiliki potensi penghematan energi sebesar 4.132,63 kWh atau setara dengan Rp 3.037.390,40 per bulan (Widiastuti dkk., 2017:101-105).
- Penelitian terkait penerapan Raspberry Pi pada sistem SCADA yang berjudul Rancang Bangun Sistem SCADA Berbasis Raspberry Pi. Penelitian ini membahas sistem SCADA untuk mengakuisisi data proses produksi pada plant conveyor, pada penelitian ini Raspberry pi mengakuisi data dari 3 buah slave dengan metode komunikasi serial RS232 dan RS485. Hasil penelitian menyebutkan proses pengujian pada sistem hardware dan software berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Metode request dan response menggunakan protokol RS485 dan RS232 dapat dieksekusi sesuai dengan alamat slave yang dituju. Untuk melakukan komunikasi dengan seluruh slave menggunakan komunikasi RS485, waktu sampling yang digunakan sebesar 333 ms per slave dengan tingkat error data saat melakukan komunikasi sebesar 22,66 % yang disebabkan oleh noise (Arisandy, P dkk., 2018:1-5).
- Penelitian terkait Modul PZEM-004t dengan judul Sistem KWH Meter Digital Menggunakan Modul PZEM-004t. Penelitian ini membahas mengenai sistem monitoring pemakaian energi listrik meliputi arus, tegangan, daya aktif dan akumulasi energi yang terintegrasi dengan aplikasi android sehingga user dapat memonitor secara realtime semua proses akuisi data pemakaian energi listrik di suatu rumah. Hasil penelitian menyebutkan bahwa sistem memiliki tingkat error untuk tegangan sebesar 0.29 %), untuk arus tingkat error sebesar 4.63 %, Tingkat error untuk daya aktif (watt) 4.92 %, 1.36 % untuk $\cos \phi$ dan 3.3 % untuk perhitungan total energy dalam durasi 1 jam (watt-hour) (Andriana, A dkk., 2019:29-34).
- Penelitian terkait protocol Modbus TCP dengan judul Sistem Pembacaan Data Power Meter Dengan Komunikasi Modbus Secara Terpusat. Penelitian ini membahas mengenai sistem power meter yang digunakan untuk memantau konsumsi energi listrik di suatu ruangan dimana power meter disebar di beberapa titik dan data akuisisi dikirim ke Raspberry pi. Proses komunikasi antar device menggunakan Komunikasi Modbus TCP/IP dan Modbus RTU. Hasil penelitian menyebutkan bahwa semua komponen pada sistem berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian yaitu perangkat gateway dapat mengirimkan data power meter menuju server, kemudian data dapat di monitor melalui halaman web dengan ditambahkan sistem notifikasi melalui aplikasi Line. Sistem mampu menampilkan data power meter melalui halaman web dengan waktu delay 864.09 ms sampai

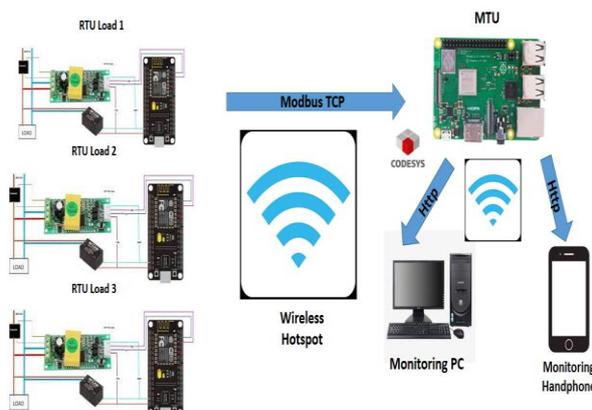
943.35 ms dari nilai riil pada power meter (Teng J. dkk., 2019:393-398).

- Penelitian terkait Raspberry Pi Codesys yang berjudul *Automation of 11 kv Substation using Raspberry pi*. Penelitian ini membahas mengenai penerapan raspberry pi sebagai pengganti PLC untuk sistem SCADA gardu induk 11 KV dengan menggunakan pemrograman ladder dan tampilan Human Machine Interface menggunakan Webvisu dari codesys. Hasil penelitian menyebutkan bahwa sistem SCADA pada gardu induk 11 KV menggunakan Raspberry pi sangat ekonomis, handal dan user friendly dibandingkan dengan sistem konvensional yang membutuhkan biaya yang relatif mahal (John A. dkk., 2017:1-5).

Berdasarkan hasil studi literatur dari beberapa penelitian terdahulu yang telah dijelaskan di atas, yang membedakan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu belum ada penelitian yang mengintegrasikan Raspberry pi sebagai MTU dan Web Server, Nodemcu ESP 8266 sebagai RTU, Sensor PZEM 004t untuk pengukuran konsumsi daya listrik, Komunikasi Modbus TCP/IP dan HMI Codesys pada sistem SCADA Audit Energi listrik. Semoga penelitian ini menjadi referensi untuk penelitian di masa mendatang.

Perancangan Arsitektur Sistem

Arsitektur Sistem pada sistem ini ditunjukkan melalui diagram blok sistem yang disusun dengan tujuan agar fungsi dan cara kerja dari sistem yang dirancang mudah dipahami. Setiap blok memiliki fungsinya masing-masing, sehingga ketika beberapa blok komponen diintegrasikan akan diperoleh hasil suatu sistem kerja yang bekerja secara bertahap dengan fungsi yang lebih kompleks. Berikut blok diagram dari sistem dapat dilihat pada gambar 2.



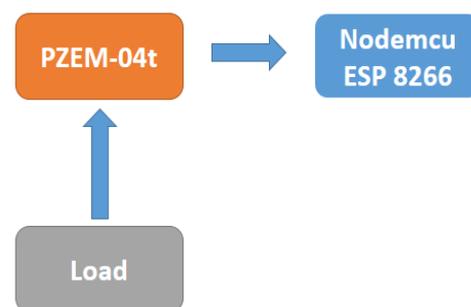
Gambar 2. Blok Diagram Arsitektur Sistem

Pada penelitian ini perangkat yang dirancang secara umum memiliki 3 bagian utama, yaitu:

- Modul RTU (*Remote Transfer Unit*) (John, A.dkk., 2017:4) sebagai perangkat yang mengirimkan data tegangan, arus, daya aktif, energi aktif, cos phi dan frekuensi dari sensor ke MTU.
- Modul MTU (*Master Transfer Unit*) sebagai perangkat yang mengumpulkan data dari RTU untuk selanjutnya di tampilkan ke display HMI.
- *Webvisualization* Codesys merupakan aplikasi HMI (*Human Machine Interface*) yang digunakan untuk tampilan grafis data *monitoring* audit energi di workshop elektro Politeknik Enjining Indorama sehingga user dapat melakukan proses *monitoring* dengan mengaksesnya baik melalui komputer ataupun *handphone*.

Perancangan Perangkat Keras Sistem

Pada penelitian ini perancangan untuk perangkat keras RTU terdiri dari modul PZEM-04t yang berfungsi sebagai sensor untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif, energi aktif, cos phi dan frekuensi. Kemudian komponen selanjutnya yaitu Nodemcu ESP 8266 sebagai *controller* yang mengolah data pembacaan sensor dan mengirim data tersebut ke MTU. Berikut blok diagram arsitektur perangkat keras dari modul RTU ditunjukkan oleh gambar 3



Gambar 3. Blok Diagram Arsitektur Perangkat Keras RTU

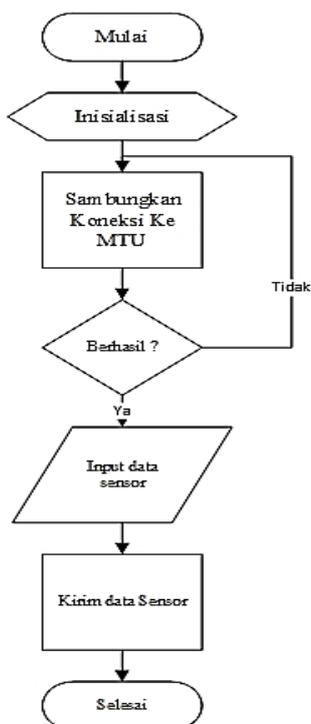
Selanjutnya perancangan untuk perangkat keras MTU (*Master Transfer Unit*) pada sistem ini menggunakan Raspberry pi 3 model B+ yang merupakan *single-board computer* (SBC) yang memiliki ukuran seperti kartu ATM dan mendukung LINUX sebagai sistem operasi utamanya. Raspberry pi ini digunakan untuk menerima data dari RTU untuk selanjutnya ditampilkan ke HMI (*Human Machine Interface*).



Gambar 4. Raspberry Pi 3 Model B+

Perancangan Perangkat Lunak Sistem

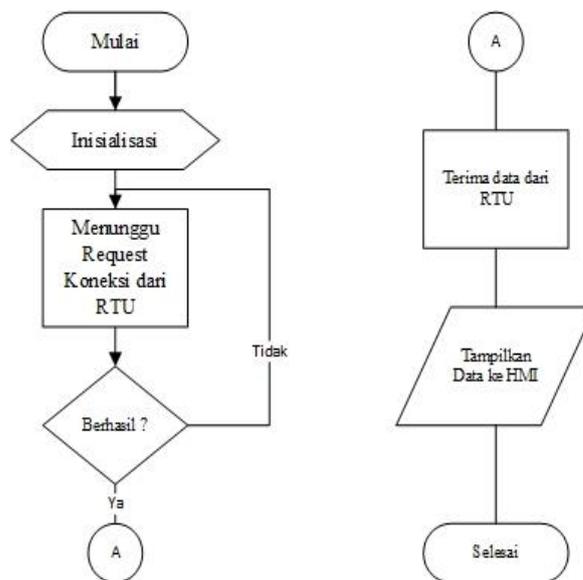
Pada penelitian ini perancangan untuk perangkat lunak dimulai dari perancangan program RTU. Alur program RTU dimulai dengan inisialisasi nilai awal variabel, kemudian dilanjutkan dengan proses menyambungkan jaringan komunikasi antara RTU dengan MTU menggunakan protocol Modbus TCP/IP. Selanjutnya jika proses koneksi berhasil sensor akan membaca nilai tegangan, arus, daya aktif, energi aktif, cos phi dan frekuensi kemudian data tersebut diolah dan dikirim ke MTU dengan menggunakan *function Holding Registers* yang terdapat pada protocol komunikasi Modbus TCP/IP (Teng, J. dkk., 2019:2). Berikut diagram alir dari program RTU dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Program RTU

Tahap selanjutnya adalah perancangan perangkat lunak untuk MTU raspberry pi yaitu dengan melakukan proses konfigurasi Modbus TCP di

aplikasi codesys versi 3.5.15.10. Alur kerja dari MTU ditunjukkan oleh gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Program MTU

Program diawali dengan inisialisasi kemudian MTU Raspberry Pi menunggu *request* koneksi dari RTU, adapun konfigurasi koneksi yang dilakukan adalah dengan mengatur IP Address Modbus *master* dan Modbus *client* kemudian selanjutnya konfigurasi Unit ID untuk masing-masing RTU, berikut konfigurasi IP Address dan Unit ID untuk keseluruhan sistem seperti yang ditunjukkan oleh tabel 1 di bawah ini.

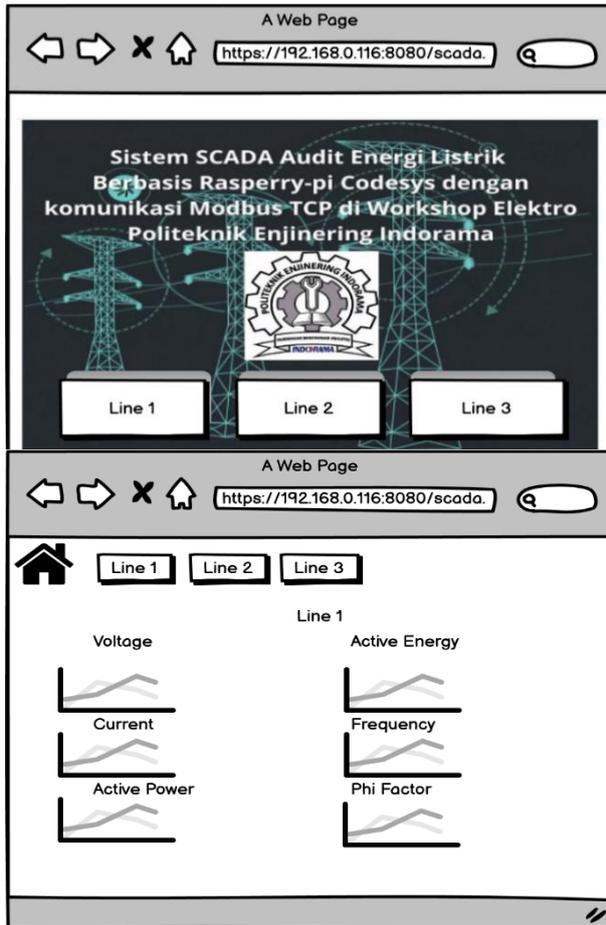
Tabel 1. Konfigurasi Modbus TCP/IP Raspberry pi Codesys

No	Nama Komponen	IP Address	Unit ID
1	Modbus Master (Raspberry Pi)	192.168.0.106	1
2	RTU Line 1	192.168.0.100	1
3	RTU Line 2	192.168.0.101	1
4	RTU Line 3	192.168.0.102	1

Selanjutnya jika proses menyambungkan koneksi antara MTU dengan RTU berhasil maka akan dilanjutkan ke proses penerimaan data dari RTU ke MTU untuk ditampilkan ke display HMI, tapi jika koneksi tidak berhasil maka program akan terus melakukan proses menyambungkan koneksi antara RTU dengan MTU.

Tahapan yang terakhir yaitu perancangan tampilan HMI menggunakan fitur *web visualization* dari codesys yang menggunakan *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)* berikut rancangan desain dan konfigurasi Tag input/output untuk masing-masing objek di tampilan HMI *web visualization* codesys.

Berikut Rencana Desain dari HMI *webvisualization* dari codesys ditunjukkan oleh gambar 7.



Gambar 7. Desain Tampilan HMI

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dimulai dengan pengujian pembacaan sensor. Berikut implementasi dari rangkaian perangkat keras RTU ditunjukkan oleh gambar 8



Gambar 8. Implementasi Rangkaian Perangkat Keras RTU

Pada proses pengujian sensor dilakukan pembacaan sensor yang di proses oleh RTU dan kemudian mengirimkannya ke MTU. Berikut proses pengujian pengiriman data dari RTU ke MTU ditunjukkan oleh gambar 9.

Variable	Mapping	Channel	Address	Type	Current Value	Prepared Va
		Channel 0	%W12	ARRAY [0..5] OF WORD	Not updated	
Application.Persiste...		Channel 0[0]	%H12	WORD	23430	
Application.Persiste...		Channel 0[1]	%H13	WORD	414	
Application.Persiste...		Channel 0[2]	%H14	WORD	7212	
Application.Persiste...		Channel 0[3]	%H15	WORD	283	
Application.Persiste...		Channel 0[4]	%H16	WORD	5000	
Application.Persiste...		Channel 0[5]	%H17	WORD	74	

Gambar 9. Pembacaan sensor dan pengiriman data dari RTU ke MTU

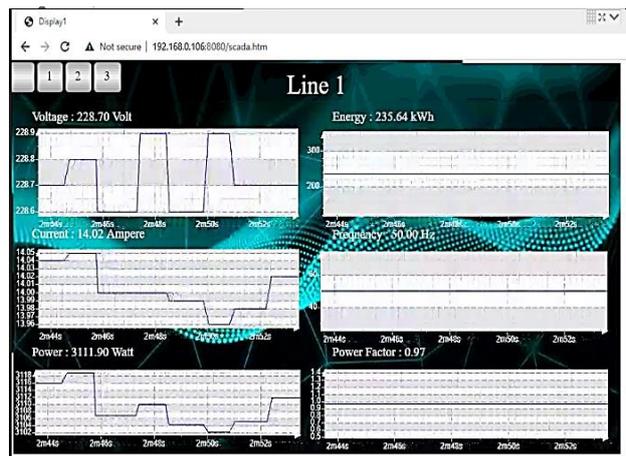
Pengujian selanjutnya yaitu pengujian tampilan HMI *web visualization* Codesys (John, A.dkk., 2017:4). Pengujian mengakses tampilan HMI dimulai dengan memasukkan alamat url dengan <http://192.168.0.106:8080/webvisu.htm> di web browser baik melalui PC ataupun handphone. Jika user berhasil mengakses HMI maka user akan diarahkan ke tampilan menu awal sistem seperti yang ditunjukkan oleh gambar 10. Pada tampilan menu awal sesuai rencana desain terdapat 3 buah tombol menu pilihan *monitoring* yaitu *monitoring line 1* (fasa R), *line 2* (Fasa S) dan *line 3* (Fasa T).



Gambar 10. Tampilan Menu Awal HMI Sistem

Selanjutnya pengujian tampilan monitoring nilai tegangan, arus, daya aktif (Hudan, I. S. dkk., 2019:92), energi aktif, cos phi dan frekuensi untuk masing-masing *line* melalui *display* HMI dengan memilih *option menu line 1, 2 dan 3*. Berikut cuplikan tampilan *monitoring* nilai tegangan, arus,

daya aktif, energi aktif, cos phi dan frekuensi pada salah satu *line* ditunjukkan oleh gambar 11.



Gambar 11. Tampilan HMI *Moniotring Line System*

Berdasarkan hasil pengujian proses monitoring sistem diperoleh data tingkat akurasi pengukuran sensor dan data penggunaan energi di workshop elektro Politeknik Enjinerung Indorama selama 1 bulan yang ditunjukkan oleh tabel 2 dan 3.

Data akurasi dilakukan selama 5 kali untuk masing-masing *line* di lima waktu yang berbeda.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Sensor

Line	Test Akurasi Sensor Energi				
	Tanggal	Waktu	Data Energi Sensor PZEM-04T (kWh)	Data Hioki Clamp Energy Meter (kWh)	Error (%)
1	01/09/2021	10:00	235.18	257.14	8.54
		10:30	250.29	270.58	7.49
		11:00	311.35	340.22	8.48
		11:30	320.42	329.69	2.81
Rata – rata Error (%)					6.83
2	01/09/2021	10:00	244.33	251.19	3.01
		10:30	233.31	244.77	4.68
		11:00	300.47	317.11	5.24
		11:30	228.61	241.62	5.38
Rata – rata Error (%)					4.57
3	01/09/2021	10:00	60.32	67.20	10.23
		10:30	80.29	88.36	9.13
		11:00	100.55	105.57	4.75
		11:30	90.76	100.78	9.94
Rata – rata Error (%)					8.51

Tabel 3. Hasil pengujian penggunaan energi di workshop elektro Politeknik Enjinerung Indorama selama 1 bulan

No	Line	Data Energi Sensor PZEM04T (kWh)	Data Hioki Clamp Energi Meter (kWh)	Error (%)
1	Line 1	83235.31	87119.34	4.46%
2	Line 2	79122.49	83177.06	4.87%
3	Line 3	26289.15	29175.44	9.89%

IV. PENUTUP

Kesimpulan

- Berdasarkan hasil Pengujian RTU berhasil mengirimkan data sensor ke MTU dengan protocol komunikasi Modbus TCP/IP.
- Berdasarkan hasil pengujian MTU berhasil menerima data dari RTU kemudian ditampilkan ke HMI *Webvisualization Codesys*.
- Berdasarkan hasil pengujian tingkat akurasi sensor rata-rata *error* pengukuran di line 1, 2 dan 3 yaitu 6,83%, 4,57% dan 8,51%.
- Berdasarkan hasil pengujian sensor PZEM04T untuk penggunaan energi selama 30 hari diperoleh data penggunaan energi terbesar yaitu pada *line* 1 sebesar 83235.31 KWh , pada *line* 2 sebesar 79122.49 KWh dan pada *line* 3 sebesar 26289.15 dengan tingkat akurasi untuk masing-masing *line*1, 2 dan 3 yaitu 4.46%, 4.87% dan 9.89%.
- Nilai kesalahan (*error*) disebabkan oleh akurasi dari modul sensor PZEM-04t yang tidak terlalu stabil pembacaannya.
- Berdasarkan hasil pengujian sistem dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil berfungsi sesuai tujuan penelitian yaitu memonitor penggunaan energi listrik di gedung wokshop Teknik Elektro baik melalui *handphone* maupun PC secara *realtime* untuk selanjutnya dijadikan referensi pada proses efisiensi di penelitian selanjutnya.

V. DAFTAR PUSTAKA

Abadi, S. C., Eriyadi, M., Usman, D., Hamdani, Y. M., & Suryadi, A. (2021). Raspberry Pi based SCADA system using Codesys for workshop facilities. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1098, No. 4, p. 042076). IOP Publishing.

Andriana, A., Zuklarnain, Z., & Baehaqi, H. (2019). Sistem kWh Meter Digital Menggunakan

- Modul PZEM-004T. Jurnal TIARSIE, 16(1), 29-34.
- Arisandy, P., Adinandra, S., Kusriyanto, M. 2018 .Rancang Bangun Sistem SCADA Berbasis Raspberry PI. Digital Repository Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
- Hudan, I. S., & Rijanto, T. (2019). Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Pada Kamar Kos Berbasis Internet Of Things (IoT). Jurnal Teknik Elektro, 1(8), 91-99.
- Humas EBTKE.2020. Manajemen Energi: Senjata Ampuh Industri Kala Pandemi. diakses online 26 Oktober 2020
- John, A., Varghese, R., Krishnan, S. S., Thomas, S., Swayambu, T. A., & Thasneem, P. (2017, April). Automation of 11 kv substation using raspberry pi. In 2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT) (pp. 1-5). IEEE..
- Ramady, G. D., Hidayat, R., Syafruddin, R., Mahardika, A. G., & Hakim, R. R. (2019, December). Sistem Monitoring Data pada Smart Agriculture System Menggunakan Wireless Multisensor Berbasis IoT. In Prosiding Seminar Nasional Teknoka (Vol. 4, pp. E51-E58).
- Supriyadi, E., & Dinaryati, S. (2020). Rancang Bangun System Monitoring dan Kendali Listrik Rumah Tangga Berbasis ESP8266 NodeMCU. SINUSOIDA, 22(4), 13-23.
- Teng, J., Setiadj, J. S., & Lim, R. (2019). Sistem Pembacaan Data Power Meter Dengan Komunikasi Modbus Secara Terpusat. SinarFe7, 2(1), 393-398.
- Widiastuti, A. N., Hadi, S. P., & R, B. A. W. (2017). Audit Energi pada Gedung Departemen Teknik Arsitektur dan Perencanaan FT UGM. Citee, 101–105.