RANCANG BANGUN SISTEM DISTRIBUSI AIR PADA GEDUNG BERTINGKAT BERBASIS PLC DAN IOT

Michael Albert Steven[1], Eko Mardianto[2], Hasan[3]

[123,]Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Politeknik Negeri Pontianak

Jln. Jenderal Ahmad Yani, Kec. Pontianak Tenggara, Kota Pontianak, Kalimantan Barat 78124
[1] michaelalbertsteven27@gmail.com, [2] emardianto74@gmail.com, [3] indra_elka@yahoo.co.id

Abstract

Conventional water distribution systems in multi-story buildings that rely on manual monitoring are prone to human error and delayed response. This study develops an automated water distribution system based on a Programmable Logic Controller (PLC) integrated with the Internet of Things (IoT), with novelty in the combination of programmed logic control, real-time remote monitoring, and an automatic backup data storage mechanism. The system automatically regulates three-phase pump operation based on water levels in the main and distribution tanks, equipped with electrical sensors for anomaly detection and remote power disconnection, as well as flow sensors to measure consumption volume. Data is uploaded to the ThingSpeak platform and automatically stored on internal memory upon connection loss. Test results demonstrate that the system effectively prevents distribution tank overflow and is more energy-efficient than conventional systems, contributing to the advancement of intelligent water management in modern multi-story buildings.

Keywords : *Building Automation, Internet Of Things, Programmable Logic Controller, Water Distribution, Multi-Story Building*

Abstrak

Sistem konvensional distribusi air pada bangunan bertingkat yang mengandalkan pemantauan manual rentan terhadap kesalahan manusia dan respons yang tertunda. Penelitian ini mengembangkan sistem otomatisasi distribusi air berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT), dengan kebaruan pada kombinasi kontrol logika terprogram, pemantauan jarak jauh secara waktu nyata, dan mekanisme penyimpanan data cadangan otomatis. Sistem mengatur operasi pompa tiga fase secara otomatis berdasarkan level air pada tangki utama dan tangki distribusi, dilengkapi sensor listrik untuk deteksi anomali dan pemutusan daya jarak jauh, serta sensor aliran air untuk mengukur volume konsumsi. Data diunggah ke platform ThingSpeak dan tersimpan otomatis pada memori internal saat koneksi terputus. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mencegah luapan tangki distribusi secara efektif dan lebih hemat energi dibandingkan sistem konvensional, sehingga berkontribusi pada pengembangan pengelolaan air cerdas di bangunan bertingkat modern.

Kata kunci : *Otomatisasi Bangunan, Internet Of Things, Programmable Logic Controller, Distribusi Air, Bangunan Bertingkat*

1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi air pada bangunan bertingkat merupakan infrastruktur kritis yang menuntut pengelolaan yang efisien dan andal. Pendekatan konvensional yang masih mengandalkan pemantauan manual terbukti tidak efektif karena rentan terhadap kesalahan manusia dan lambatnya respons terhadap gangguan sistem [1]. Selain itu, pompa yang beroperasi secara terus-menerus tanpa kendali otomatis mengakibatkan pemborosan energi yang signifikan, sementara ketidakmampuan sistem dalam memantau konsumsi air secara waktu nyata menjadi permasalahan mendasar yang memerlukan penyelesaian melalui pendekatan teknologi yang lebih modern.

Pemanfaatan *Programmable Logic Controller* (PLC) telah terbukti mampu mengotomatisasi operasi pompa berdasarkan masukan sensor level air dan laju aliran [2]. Sistem kontrol tangki air otomatis berbasis PLC telah banyak dikembangkan pada berbagai aplikasi industri; namun, implementasinya umumnya masih terbatas pada kendali lokal tanpa integrasi pemantauan jarak jauh yang komprehensif [3][4][5]. Kondisi ini menyebabkan sistem berbasis PLC yang berdiri sendiri tidak mampu memberikan notifikasi waktu nyata kepada operator saat gangguan terjadi, sehingga teknisi tetap harus melakukan inspeksi manual secara berkala dan efisiensi operasional tidak dapat tercapai secara optimal.

Internet of Things (IoT) hadir sebagai solusi dengan menghubungkan perangkat fisik melalui jaringan internet untuk memungkinkan pertukaran data secara otomatis tanpa intervensi manusia [6]. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan dan analisis data sensor secara waktu nyata sebagai dasar pengambilan keputusan otomatis guna mengoptimalkan kinerja sistem [7]. Penerapan IoT pada sistem pemantauan tangki air telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi pemantauan dan menyampaikan informasi kondisi tangki secara langsung kepada operator [8]. Oleh karena itu, kombinasi PLC dan IoT membentuk arsitektur sistem yang lebih adaptif, efisien, dan dapat diakses secara jarak jauh.

Meskipun demikian, terdapat kesenjangan penelitian yang belum terjawab secara memadai. Penelitian-penelitian sebelumnya masih terbatas pada sistem dengan satu tangki penyimpanan, belum mendukung kendali kecepatan rotasi pompa secara dinamis, serta memiliki cakupan distribusi yang terbatas [9][10]. Belum ditemukan sistem yang secara terpadu mengintegrasikan PLC dan IoT untuk distribusi air bangunan bertingkat dengan kemampuan pemantauan kelistrikan, pengukuran laju aliran, serta penyimpanan data secara daring maupun luring dalam satu arsitektur sistem yang kohesif.

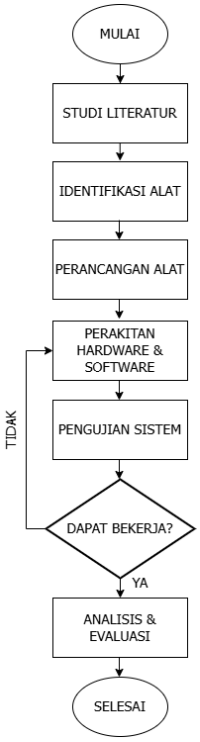
Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan merancang sistem distribusi air untuk bangunan bertingkat yang mengintegrasikan PLC dan IoT secara komprehensif. Sistem yang dikembangkan mampu mengendalikan operasi pompa tiga fase secara otomatis, memantau kondisi kelistrikan dan laju aliran air secara waktu nyata, serta menyimpan data pengukuran secara daring maupun luring. Luaran yang diharapkan meliputi pencegahan kerusakan pompa akibat tangki utama yang kosong, penghindaran luapan tangki distribusi, serta kemudahan pemantauan dan kendali jarak jauh bagi operator.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan sistem dengan menyempurnakan sistem distribusi air berbasis PLC yang telah ada sebelumnya. Pengembangan dilakukan pada dua aspek utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Pada aspek perangkat keras, pengembangan mencakup penambahan sensor aliran air (Water Flow Sensor), sensor PZEM-004T, serta penggantian sensor ultrasonik dengan Water Level Transmitter yang lebih akurat. Pada aspek perangkat lunak, pengembangan meliputi integrasi platform Blynk untuk kendali jarak jauh, ThingSpeak untuk penyimpanan data berkala, dan WiFi Manager untuk kemudahan konfigurasi jaringan.

Penelitian dilaksanakan melalui enam tahapan sistematis yang dapat dilihat pada Gambar 1, yaitu studi literatur, identifikasi komponen, perancangan sistem, perakitan perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian, serta analisis dan evaluasi. Apabila ditemukan permasalahan pada tahap pengujian atau evaluasi, dilakukan identifikasi, koreksi, dan penyempurnaan hingga sistem memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Ringkasan alur metodologi penelitian disajikan pada Tabel 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian Sistem Distribusi Air pada Gedung Bertingkat Berbasis PLC dan IoT

TABEL I. RINGKASAN ALUR METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan	Kegiatan	Luaran
Studi Literatur	Kajian pustaka terkait PLC, IoT, sensor, dan sistem distribusi air	Landasan teori dan referensi penelitian
Identifikasi Komponen	Pemilihan dan spesifikasi komponen perangkat keras dan lunak	Daftar komponen yang digunakan
Perancangan Sistem	Perancangan diagram blok, skema kelistrikan, dan alur logika program	Desain sistem perangkat keras dan lunak
Perakitan	Perakitan perangkat keras dan pemrograman PLC serta ESP32	Prototipe sistem yang siap diuji
Pengujian	Pengujian fungsional seluruh komponen dan integrasi sistem	
Analisis dan Evaluasi	Analisis kinerja sistem terhadap spesifikasi yang ditetapkan	Kesimpulan dan rekomendasi pengembangan

2.2. Water Level Transmitter

Water Level Transmitter (WLT) merupakan sensor tekanan *submersibel* yang digunakan untuk mengukur level cairan pada berbagai aplikasi, seperti tangki air, sungai, danau, dan pemantauan air tanah [11]. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip perbedaan tekanan hidrostatis pada kedalaman yang bervariasi, di mana tekanan yang diterima selanjutnya dikonversi menjadi sinyal arus listrik dalam rentang 4 mA hingga 20 mA. Pemanfaatan WLT dalam penelitian ini dipilih karena kemampuannya menghasilkan pembacaan level air yang lebih stabil dan akurat dibandingkan sensor ultrasonik yang digunakan pada sistem sebelumnya. Persamaan 1 digunakan untuk menentukan nilai arus keluaran ketika jarak diketahui.

$$\text{ImA} = 4 + (\frac{\text{Jarak}}{2})\text{x}(20 - 4) \quad (1)$$

2.3. Water Flow Sensor

Water Flow Sensor berfungsi untuk mengukur laju aliran air dalam satuan liter per menit sekaligus menghitung total volume air yang telah melewati turbin yang terdapat di dalam sensor [12]. Dalam penelitian ini, sensor tersebut diintegrasikan untuk memantau laju aliran air secara waktu nyata sebagai parameter pengukuran volume air yang masuk dan keluar dari tangki distribusi.

Persamaan 2 digunakan untuk menghitung frekuensi pulsa yang dihasilkan oleh laju aliran air.

$$F = (K * Q) \pm 3\% \quad (2)$$

2.4. Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T berfungsi untuk mengukur parameter kelistrikan jaringan arus bolak-balik (*Alternating Current*) satu fase secara *real-time*, meliputi tegangan (*volt*), arus (*ampere*), daya aktif (*watt*), energi (kWh), frekuensi (Hz), dan faktor daya [13]. Kehadiran sensor ini memungkinkan pemantauan langsung konsumsi energi listrik pada sistem maupun pompa, sehingga efisiensi energi

dapat dianalisis secara komprehensif.
Effective voltage :

$$Vrms = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2 dt} \quad (3)$$

Effective current:

$$Irms = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i(t)^2 dt} \quad (4)$$

Effective power:

$$P = Vrms \,.\, Irms \,.\, \cos(\phi) \quad (5)$$

Frequency :

$$f = \frac{1}{T} \quad (6)$$

2.5. PLC XGB XBC-DR20SU

PLC XGB XBC-DR20SU dari LS Electric merupakan *Programmable Logic Controller* yang dirancang untuk aplikasi otomasi industri dengan fleksibilitas dan keandalan tinggi. Perangkat ini dilengkapi dengan 12 masukan digital dan 8 keluaran relai [14]. Pemrograman dilakukan menggunakan perangkat lunak XG5000, dan transmisi data analog ke ESP32 memanfaatkan modul XBF-AH04A yang mengonversi data digital dari PLC menjadi keluaran data analog dalam rentang 0–5V DC. Untuk keperluan penampilan data yang diproses oleh PLC secara lokal, digunakan HMI MT8071iE dari Weintek Labs. HMI MT8071iE merupakan perangkat Human-Machine Interface yang digunakan untuk proses pemantauan dan pengendalian pada PLC; HMI ini mampu berfungsi sebagai penampil data sekaligus memberikan masukan data ke PLC melalui protokol komunikasi Ethernet, RS232, dan RS485 [15]. PLC XGB XBC-DR20SU memerlukan modul ekspansi tambahan untuk mengaktifkan komunikasi sebelum terhubung dengan HMI. XBL-EMTA merupakan modul ekspansi komunikasi Ethernet TCP/IP untuk PLC. Modul ini memungkinkan PLC berkomunikasi dengan perangkat seperti HMI, SCADA, komputer, dan sistem IoT [16].

2.6. Variable Frequency Drive

Variable Frequency Drive (VFD) yang digunakan adalah Altivar 12 (ATV12H075M2), sebuah inverter dengan daya nominal 0,75 kW (1 HP) dan tegangan masukan satu fase sebesar 200–240 V, yang dirancang untuk mengendalikan kecepatan motor pompa tiga fase dalam rentang frekuensi 0,5 hingga 400 Hz. Perangkat ini dilengkapi dengan 4 masukan digital, 2 keluaran digital, 1 keluaran analog, 1 keluaran relai, dan komunikasi RJ45 melalui protokol Modbus. Pengaturan frekuensi keluaran dicapai melalui masukan analog eksternal berupa sinyal tegangan 0–5V DC atau sinyal arus 4–20 mA [17]. Tegangan referensi 0–5V DC dapat diperoleh dari modul analog PLC, yang akan menentukan frekuensi keluaran VFD. Persamaan 9 digunakan untuk menentukan frekuensi keluaran. (3)

$$Frequency = \frac{Vin}{5}\, x\, 50 \quad (7)$$

2.7. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler dengan *WiFi* dan Bluetooth terintegrasi, menampilkan arsitektur prosesor dual-core dengan kecepatan hingga 240 MHz, serta dilengkapi dengan antarmuka GPIO, ADC, DAC, I2C, SPI, dan UART [18]. Dalam penelitian ini, ESP32 dimanfaatkan sebagai gateway yang menjembatani komunikasi antara PLC dan platform cloud, sekaligus menjalankan layanan WiFi Manager untuk memudahkan konfigurasi jaringan di lapangan.

2.8. Blynk

Blynk merupakan platform IoT berbasis *cloud* yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh perangkat mikrokontroler melalui koneksi *WiFi*, dengan memanfaatkan dasbor aplikasi *mobile* yang dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan pengguna [19]. Dalam penelitian ini, Blynk dimanfaatkan sebagai antarmuka kendali jarak jauh, memungkinkan operator untuk memantau kondisi sistem dan memberikan perintah operasional tanpa keharusan berada secara fisik di lokasi.

2.9. Thingspeak

ThingSpeak merupakan platform IoT berbasis *cloud* yang digunakan untuk menyimpan, menganalisis, dan memvisualisasikan data sensor secara berkala melalui protokol HTTP dan MQTT. Data yang dikirimkan oleh ESP32 tersimpan dalam sebuah *website* yang dapat diakses kapan saja untuk keperluan evaluasi kinerja sistem dan analisis tren jangka panjang.

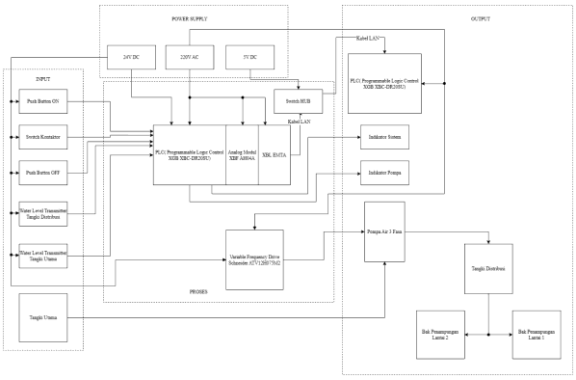
2.10. Pompa Air 3 Fasa

Motor pompa yang digunakan memiliki spesifikasi operasional berupa tegangan kerja 380 VAC, daya keluaran 400 Watt, daya masukan 875 Watt, frekuensi 50 Hz, dan insulasi belitan Kelas B. Motor ini memiliki kapasitas aliran maksimum 340 liter per menit dengan diameter pipa 2 inci dan sertifikasi proteksi IPX4, beroperasi pada kecepatan 2.850 rpm. Proteksi termal disediakan melalui pelindung termal dengan batas suhu cairan maksimum 35°C, tinggi pemompaan

(*discharge head*) maksimum 12,5 meter, dan tinggi hisap (suction head) maksimum 8 meter.

2.11. Diagram Blok PLC

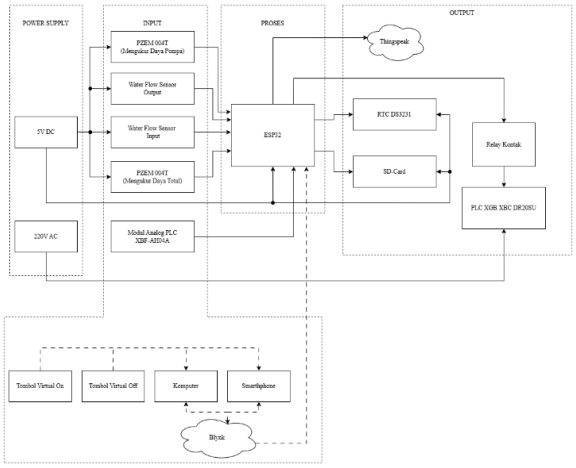
Gambar 2 menunjukkan diagram blok pada sistem PLC dan jalur distribusi air dari tangki utama menuju tangki distribusi yang selanjutnya pada tangki distribusi akan dialirkan menuju bak penyimpanan lantai dua dan bak penyimpanan lantai 1.



Gambar 2. Diagram Blok PLC

2.12. Diagram Blok ESP32

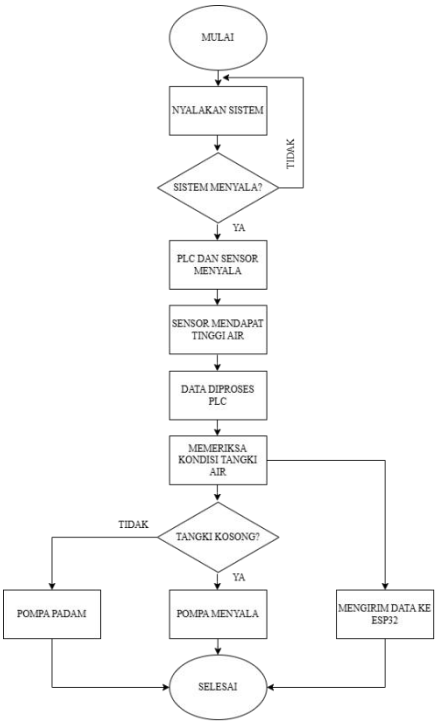
Gambar 3 menunjukkan koneksi PLC dengan ESP32 dan data yang diterima dapat diteruskan menuju Thingspeak untuk disimpan serta ditampilkan pada Blynk yang dapat juga untuk mengontrol PLC.



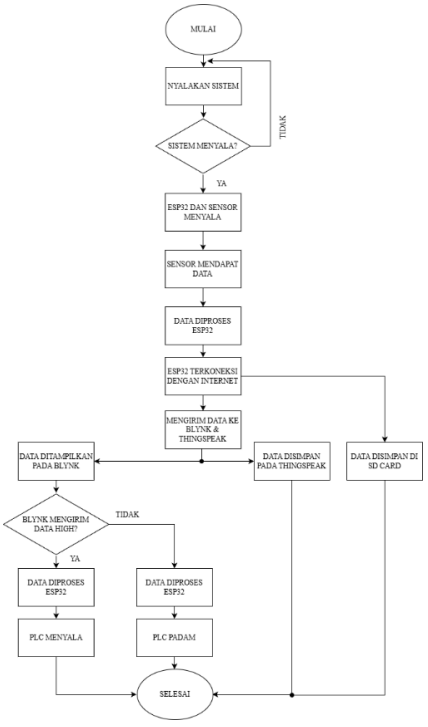
Gambar 3. Diagram Blok ESP32

2.13. Flowchart Sistem

Berikut gambar 4 dan gambar 5 adalah *flowchart* bagian sistem kontrol PLC dan ESP32 pada penelitian yang dibuat.



Gambar 4. Sistem PLC



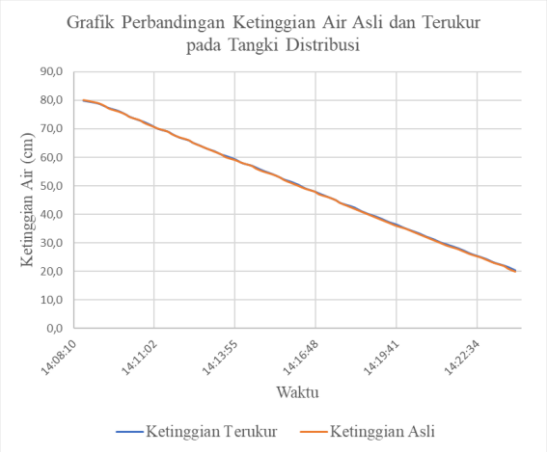
Gambar 5. Flowchart Sistem ESP32

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor Water Level Transmitter

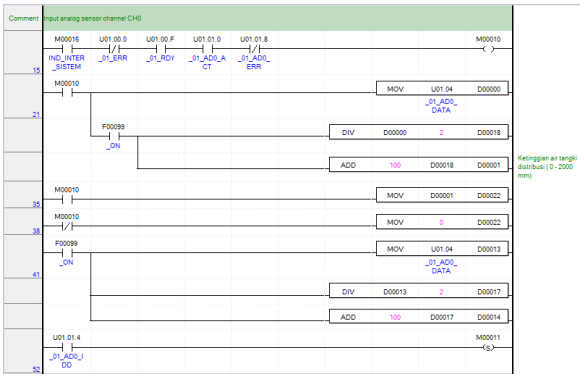
Pengujian sensor WLT pada tangki distribusi

dilakukan dengan memeriksa sensor menggunakan modul XBF-AH04A, di mana data analog dari sensor dikonversi menjadi data digital yang dapat dibaca oleh PLC. Pengujian ini diperlukan mengingat jarak yang cukup jauh antara sistem kendali dan sensor, yang dipisahkan oleh kabel sepanjang 20 meter, sehingga perlu diverifikasi apakah jarak tersebut berdampak pada akurasi pembacaan sensor.



Gambar 6. Hasil Pengukuran *Water Level Transmitter*

Gambar 6 menyajikan perbandingan antara nilai level air hasil pembacaan sensor dan nilai level air aktual. Dari 61 titik pengujian yang dilakukan, sebanyak 57 titik (93,4%) menghasilkan nilai kesalahan di bawah 1%, sedangkan hanya 4 titik (6,6%) yang menghasilkan nilai kesalahan melebihi 1%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mampu mempertahankan akurasi pengukuran yang baik meskipun dipasang pada jarak kabel hingga 20 meter. Tingkat akurasi ini lebih tinggi dibandingkan sensor ultrasonik yang digunakan pada sistem sebelumnya, di mana gangguan pantulan gelombang akustik pada permukaan air yang bergerak kerap menghasilkan pembacaan yang tidak stabil [11]. Penggunaan WLT dengan sinyal arus 4–20 mA terbukti lebih tahan terhadap interferensi dan penurunan tegangan akibat panjang kabel dibandingkan sensor berbasis sinyal tegangan.



Gambar 7. *Ladder* Diagram Konversi Data Analog Menjadi Digital

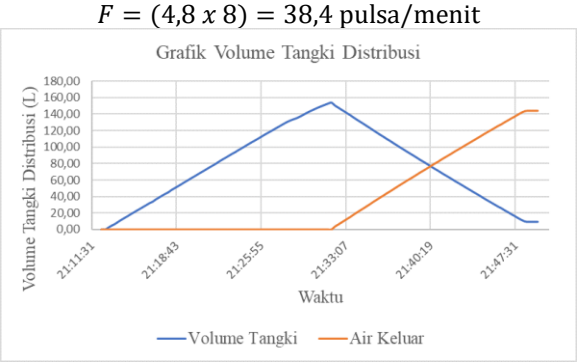
Gambar 7 mengilustrasikan ladder diagram yang digunakan dalam proses konversi nilai data analog sensor menjadi data digital pada PLC.

3.2 Pengujian Water Flow Sensor

Volume tangki distribusi ditentukan dengan mengukur selisih antara total laju aliran air masuk dan total laju aliran air keluar menggunakan dua sensor aliran air. Gambar 8 menunjukkan bahwa garis biru merepresentasikan volume air aktual di dalam tangki yang berkurang secara otomatis seiring keluarnya air, sementara garis oranye merepresentasikan volume air keluar yang terakumulasi secara proporsional terhadap pengurangan volume tersebut.

Sebagai contoh perhitungan, pada kondisi laju aliran air sebesar 8 L/menit, frekuensi pulsa yang dihasilkan sensor adalah:

$$F = (4{,}8\ x\ 8) = 38{,}4 \text{ pulsa/menit}$$

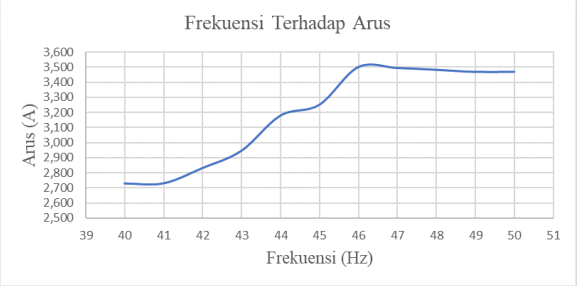


Gambar 8. Volume Air Masuk dan Keluar pada Tangki Distribusi

Metode pengukuran berbasis selisih volume masuk dan keluar ini memberikan representasi kondisi tangki secara waktu nyata, sehingga sistem dapat merespons perubahan level air dengan lebih cepat dan akurat dibandingkan metode pengukuran level tunggal yang umum digunakan pada penelitian sebelumnya [12].

3.3 Pengaturan Output Frekuensi Terhadap Arus

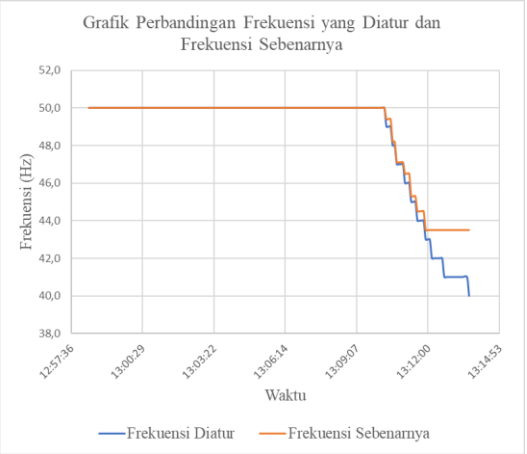
Gambar 9 menunjukkan peningkatan arus motor yang bersifat hampir linear terhadap frekuensi pada sistem pompa sentrifugal yang dikendalikan VFD. Karakteristik ini merupakan hasil dari interaksi tiga faktor utama. Pertama, meskipun hukum afinitas menyatakan hubungan kubik antara daya pompa dan frekuensi, peningkatan bertahap faktor daya motor seiring bertambahnya beban menyebabkan respons arus tampak lebih linear. Kedua, pada frekuensi rendah, arus magnetisasi mendominasi arus kerja sehingga faktor daya berada pada nilai yang rendah; seiring frekuensi meningkat menuju nilai nominalnya, proporsi arus kerja bertambah dan sebagian mengimbangi kebutuhan daya kubik. Ketiga, variasi tegangan keluaran VFD — yang mencakup *voltage boost* pada frekuensi rendah untuk mengompensasi rugi-rugi resistansi stator dan penurunan tegangan pada frekuensi tinggi akibat pelemahan medan (*field weakening*) — turut membentuk respons arus secara keseluruhan. Kombinasi ketiga faktor tersebut menghasilkan karakteristik arus yang meningkat secara hampir linear dalam rentang operasi 40–50 Hz. Karakteristik serupa juga dilaporkan pada penelitian kendali motor induksi berbasis VFD, di mana linearitas arus terhadap frekuensi pada rentang beban menengah hingga penuh menjadi acuan dalam perancangan sistem kendali [10].



Gambar 9. Frekuensi Terhadap Arus

3.4 Pengaturan Output Frekuensi Terhadap Arus

Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai kesalahan berbanding terbalik dengan frekuensi, di mana frekuensi yang lebih rendah berkorespondensi dengan nilai kesalahan yang semakin meningkat. Kesalahan ini disebabkan oleh ketidaksesuaian antara tegangan keluaran analog (0–5V) yang dikirimkan dari PLC dan tegangan yang diterima oleh masukan VFD, akibat penurunan tegangan (*voltage drop*) yang ditimbulkan oleh resistansi kabel. Kondisi ini merupakan keterbatasan inheren dari penggunaan sinyal tegangan sebagai referensi kendali pada jarak yang relatif jauh; sebagai perbandingan, penggunaan sinyal arus 4–20 mA umumnya lebih tahan terhadap efek penurunan tegangan pada instalasi industri [17].

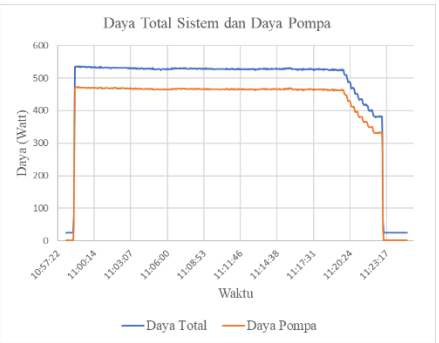


Gambar 10. Grafik Output Frekuensi

Grafik yang sama mengilustrasikan bahwa daya sistem secara konsisten lebih besar daripada daya pompa, karena daya sistem merepresentasikan total konsumsi daya yang mencakup daya pompa maupun daya mikrokontroler. Konsumsi daya awal saat aktivasi sistem tercatat sebesar 24 watt, sedangkan VFD dalam kondisi aktif tanpa mengoperasikan pompa (*standby*) mengonsumsi daya kurang dari 1 watt.

3.5 Daya Total Sistem dan Pompa

Gambar 11 menunjukkan bahwa daya pompa secara konsisten lebih rendah daripada daya sistem. Kondisi ini disebabkan oleh dua faktor utama: pertama, daya sistem mencakup keseluruhan konsumsi daya termasuk komponen pendukung; kedua, selama operasi pompa terjadi rugi-rugi daya akibat disipasi panas dan rendahnya faktor daya pompa pada kondisi pembebanan parsial. Selisih antara daya sistem dan daya pompa mencerminkan overhead konsumsi energi yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi efisiensi energi keseluruhan sistem. Dibandingkan dengan sistem distribusi air konvensional yang mengoperasikan pompa pada kecepatan tetap, penggunaan VFD dalam penelitian ini memungkinkan penyesuaian kecepatan pompa secara proporsional terhadap kebutuhan, yang secara prinsip dapat mengurangi konsumsi energi pada kondisi beban rendah hingga menengah.



Gambar 11. Daya Total Sistem dan Pompa

3.6 Tampilan Antar Muka Blynk

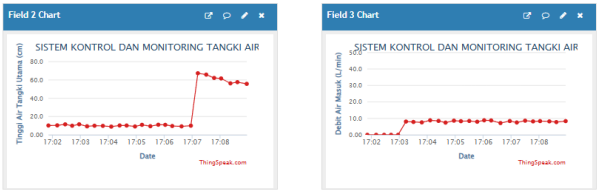
Aplikasi Blynk menampilkan sejumlah parameter sistem secara waktu nyata, meliputi volume tangki distribusi, volume air keluar, level air pada tangki utama, serta tegangan, arus, dan daya masukan dari sistem maupun pompa. Selain itu, tersedia dua tombol virtual pada antarmuka aplikasi yang berfungsi untuk mengaktifkan dan menonaktifkan sistem PLC melalui koneksi internet. Gambar 12 menampilkan antarmuka Blynk yang digunakan dalam penelitian ini. Data dikirimkan ke aplikasi Blynk dalam interval lima detik guna mengoptimalkan pemanfaatan kuota pesan gratis yang disediakan platform, yaitu sebesar 30.000 pesan per bulan. Kemampuan pemantauan dan kendali jarak jauh melalui Blynk menjawab keterbatasan sistem berbasis PLC konvensional yang hanya mendukung kendali lokal, sejalan dengan temuan pada penelitian sistem pemantauan tangki air berbasis IoT yang menunjukkan peningkatan efisiensi respons operator secara signifikan [8].



Gambar 12. Tampilan Menu Aplikasi Blynk

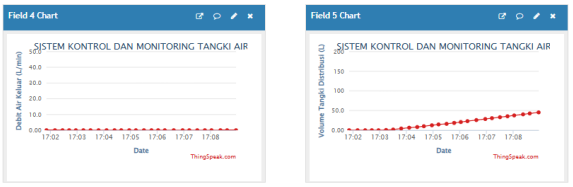
3.7 Tampilan Grafik ThingSpeak

ThingSpeak menampilkan data grafis yang diperoleh dari hasil pengukuran level air tangki utama, laju aliran air masuk, laju aliran air keluar, volume tangki distribusi, volume air keluar, daya sistem, dan daya pompa.



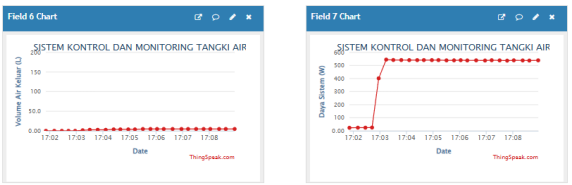
Gambar 13. Level Air Tangki Utama dan Volume Air Masuk

Gambar 13 mengilustrasikan level air pada tangki utama dan laju aliran air masuk menuju tangki utama.



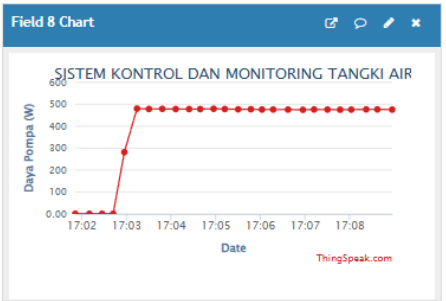
Gambar 14. Debit Air Keluar dan Volume Tangki Distribusi

Gambar 14 mengilustrasikan laju aliran air keluar dari tangki distribusi beserta volume tangki distribusi.



Gambar 15. Volume Air Keluar dan Daya Pompa

Gambar 15 mengilustrasikan volume air keluar dari tangki distribusi dan daya konsumsi keseluruhan sistem.



Gambar 16. Grafik Daya Pompa

Gambar 16 mengilustrasikan konsumsi daya

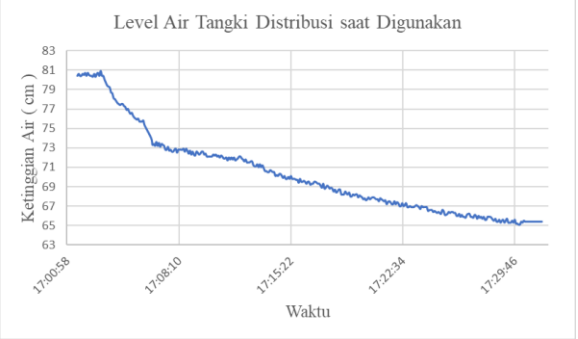
pompa yang terukur dan tersimpan pada basis data ThingSpeak. Interval transmisi data ke ThingSpeak ditetapkan setiap 15 detik sesuai batasan versi gratis platform tersebut. Penyimpanan data historis pada ThingSpeak memungkinkan analisis tren konsumsi air dan energi jangka panjang, yang merupakan keunggulan dibandingkan sistem tanpa fitur pencatatan data seperti yang umum dijumpai pada implementasi PLC konvensional.

3.8 Pengujian Sistem dalam Menjaga Level Air pada Tangki Distribusi

Gambar 17 mengilustrasikan kinerja sistem dalam mempertahankan level air pada tangki distribusi. Ketika tangki berada dalam kondisi penuh, pompa secara otomatis berhenti beroperasi. Seiring penurunan level air, pompa kembali beroperasi dengan kecepatan yang disesuaikan secara proporsional terhadap level air pada tangki distribusi — semakin rendah level air, semakin tinggi frekuensi rotasi pompa hingga mencapai batas maksimum 50 Hz.

Terjadi penurunan level air yang cukup drastis pada rentang level 80–70 cm. Kondisi ini disebabkan oleh frekuensi pompa dalam rentang level tersebut yang belum mencapai nilai maksimumnya, sehingga laju pengisian air belum mampu mengimbangi laju pengeluaran air secara optimal. Ketika frekuensi pompa meningkat secara bertahap dan mencapai 50 Hz, level air pada tangki distribusi dipertahankan di atas 65 cm untuk mencegah kondisi dry running pada pompa sekaligus memastikan kontinuitas pasokan air di dalam gedung.

Mekanisme pengendalian berbasis level air bertingkat ini menunjukkan keunggulan dibandingkan sistem dengan kendali dua posisi (*on-off*) yang umum digunakan pada penelitian sebelumnya [9]. Pada sistem on-off konvensional, pompa beroperasi pada kecepatan penuh atau berhenti sepenuhnya, sehingga berpotensi menimbulkan fluktuasi level air yang lebih besar dan konsumsi energi yang kurang efisien. Pengaturan kecepatan pompa secara proporsional melalui VFD dalam penelitian ini memungkinkan respons yang lebih halus dan efisien terhadap perubahan permintaan air.



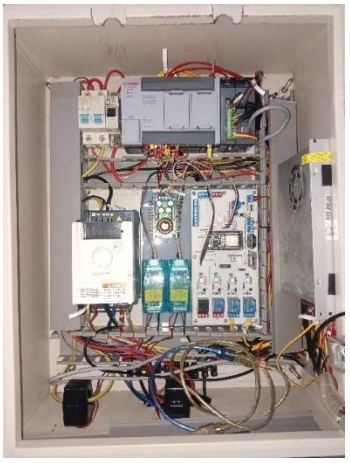
Gambar 17. Grafik Penggunaan Air saat Menggunakan Sistem

3.9 Dokumentasi Bentuk Alat

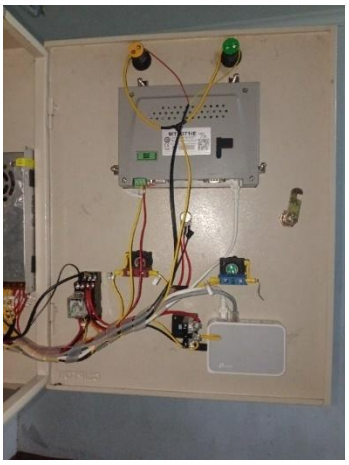
Gambar 18 menampilkan dokumentasi instalasi sistem yang terpasang pada gedung Laboratorium Elektronika Politeknik Negeri Pontianak. Instalasi mencakup panel kendali PLC, modul VFD, unit ESP32, serta seluruh sensor yang terintegrasi dalam satu sistem distribusi air terpadu.



Gambar 18. Panel Box Tampak Depan



Gambar 19. Panel Box Tampak Dalam



Gambar 20. Belakang Penutup Panel Box



Gambar 21. Desain Alat Lantai Satu



Gambar 22. Bak Penyimpanan Lantai Dua



Gambar 23. Tangki Distribusi

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Sistem distribusi air berbasis PLC yang dikembangkan dalam penelitian ini secara keseluruhan telah beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan, bahkan melampaui target perancangan awal. Sistem berhasil mempertahankan level air pada tangki distribusi di angka 65 cm, melampaui target perancangan sebesar 50 cm. HMI yang diimplementasikan mampu menampilkan data pembacaan sensor, level air, dan frekuensi pompa, sekaligus berfungsi sebagai antarmuka kendali untuk mengaktifkan dan menonaktifkan sistem. HMI juga dapat diakses melalui komputer maupun smartphone dalam satu jaringan lokal sebagai implementasi sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA).

Dari segi kinerja sensor, *Water Level Transmitter* dengan keluaran arus 4–20 mA terbukti memiliki akurasi tinggi pada jarak dekat (3 meter) maupun jarak jauh (20 meter), karena sinyal arus tidak terpengaruh secara signifikan oleh penurunan tegangan pada kabel. Sensor PZEM-004T menunjukkan akurasi yang memuaskan dalam mengukur tegangan, arus, dan daya, di mana dari 71 pengukuran yang dilakukan, hanya 14 pengukuran (19,7%) yang menghasilkan nilai kesalahan melebihi 1%. Sebaliknya, *Water Flow Sensor* menunjukkan akurasi yang kurang optimal akibat panjang kabel yang mencapai 15 meter dari mikrokontroler, jauh melampaui panjang maksimum yang direkomendasikan sebesar 30 cm.

Dari segi kendali, terdapat deviasi antara nilai frekuensi yang dikonfigurasi dalam *ladder* diagram PLC dan frekuensi keluaran yang diterima oleh VFD. Ketidaksesuaian ini disebabkan oleh resistansi kabel sepanjang 2 meter yang melebihi panjang ideal sebesar 50 cm, serta resistansi pada

kontak relai yang berfungsi untuk mengalihkan mode operasi dari otomatis ke manual. Perbandingan antara daya sistem dan daya pompa menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan; pada frekuensi 50 Hz, daya sistem mencapai sekitar 520 watt sementara daya pompa hanya sekitar 460 watt. Kondisi ini mengindikasikan efisiensi yang kurang optimal yang disebabkan oleh rendahnya faktor daya pompa, yaitu sebesar 0,6.

Dari segi platform IoT, berdasarkan hasil pengujian, kecepatan internet minimum sebesar 1 Mbps diperlukan untuk memastikan platform Blynk dan ThingSpeak mampu mengirimkan dan menerima data secara optimal, meskipun kedua platform tidak secara eksplisit mencantumkan persyaratan kecepatan internet minimum dalam dokumentasi resminya.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan, beberapa saran untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya diuraikan sebagai berikut**.**

Pertama, terkait akurasi kendali frekuensi VFD, disarankan agar transmisi sinyal referensi dari PLC ke VFD dialihkan dari sinyal tegangan 0–5V DC ke sinyal arus 4–20 mA. Perubahan ini akan mengeliminasi efek penurunan tegangan akibat resistansi kabel sehingga deviasi frekuensi keluaran dapat diminimalkan secara signifikan, terutama pada instalasi dengan panjang kabel yang melebihi batas ideal.

Kedua, terkait efisiensi energi, faktor daya pompa yang tercatat hanya sebesar 0,6 mengindikasikan adanya ruang perbaikan yang cukup besar. Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi penerapan kapasitor bank atau filter harmonisa aktif untuk meningkatkan faktor daya sistem, sehingga selisih antara daya sistem dan daya pompa dapat dipersempit dan konsumsi energi keseluruhan dapat dikurangi secara nyata.

Ketiga, terkait akurasi *Water Flow Sensor*, disarankan agar panjang kabel sensor dibatasi sesuai dengan spesifikasi yang direkomendasikan, yaitu tidak melebihi 30 cm, atau diganti dengan sensor aliran berbasis sinyal arus yang lebih tahan terhadap interferensi pada instalasi berjarak jauh. Alternatif lain adalah penggunaan flow meter elektromagnetik yang memiliki akurasi lebih tinggi dan tidak bergantung pada panjang kabel sinyal.

Keempat, terkait skalabilitas sistem, penelitian ini dilaksanakan dalam skala prototipe laboratorium. Pengembangan pada skala yang lebih besar, seperti gedung bertingkat dengan jumlah lantai dan tangki distribusi yang lebih banyak, memerlukan kajian lanjutan mengenai arsitektur komunikasi PLC yang lebih kompleks, kapasitas pompa yang lebih besar, serta strategi manajemen beban kelistrikan yang lebih komprehensif.

Kelima, terkait kecerdasan sistem, integrasi algoritma kendali adaptif seperti logika fuzzy atau kendali PID berbasis kecerdasan buatan pada sistem PLC berpotensi meningkatkan respons sistem terhadap variasi beban yang dinamis, khususnya pada kondisi penggunaan air yang tidak menentu di lingkungan gedung yang sesungguhnya.

Keenam, terkait keandalan koneksi IoT, penelitian lanjutan dapat mengembangkan mekanisme *failover* yang lebih canggih, misalnya dengan menambahkan koneksi jaringan seluler sebagai cadangan apabila koneksi WiFi utama terputus, sehingga kontinuitas pemantauan dan kendali jarak jauh dapat terjamin dalam kondisi gangguan jaringan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Eko Mardianto, M.T. dan Hasan, M.T. atas bimbingan dan arahan teknis selama pelaksanaan penelitian, serta kepada Prof. Ardi Marwan, M.Ed. dan Yunita, M.Sc., Ph.D. selaku penguji yang telah memberikan masukan yang berharga. Para penulis juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak atas dukungan dan kerja sama yang telah diberikan.

Daftar Pustaka:

[1] A. Rakhim, Nurnawaty, R. Sophian, and H. F. Rahman, “Analisis Distribusi Air Bersih pada Sistem Perpipaan Gedung Menara Iqra Kampus Unismuh Makassar,” *J. Tek. Hidro*, vol. 13, no. 2, pp. 47–56, 2020.

[2] M. Farhan, N. Rahma, A. Hafid, and R. Ridwang, “SIMULASI PENGONTROLAN DAN PENGUKURAN JUMLAH DEBIT AIR BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER,” *VERTEX ELEKTRO J. Tek. Elektro UNISMUH*, vol. 15, no. 2, pp. 29–38, 2023.

[3] S. D. Afristanto, B. Dewandaru, F. Samsuri, J. W. Simatupang, and R. Lim, “Rancang Bangun Prototipe Sistem Kontrol Tangki Air Otomatis Sederhana untuk Aplikasi Mesin Pencuci Komponen Industri,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 11, no. 1, pp. 256–270, Jan. 2023.

[4] E. Mardianto, S. Suparno, and Y. C. H. Yuwono, “Kontrol dan Monitoring Pengisian Air di

Laboratorium Teknik Elektronika Politeknik Negeri Pontianak," *JIRE(Jurnal Inform. Rekayasa Elektron.*, vol. 8, no. 1, pp. 51–59, 2025.

[5] Sarifudin, R. A. Andika, R. A. Ismaya, and M. R. Aryadi, "Simulasi Kendali Otomatis Pengisian Tangki Air 3 Tingkat Menggunakan Monitoring HMI Berbasis PLC," *J. INTEKNA*, vol. 23, no. 1, pp. 1–14, May 2023.

[6] A. Selay *et al.*, "Internet of Things," *Karimah Tauhid*, vol. 1, no. 6, pp. 860–868, 2022.

[7] F. Nahdi and H. Dhika, "Analisis Dampak Internet of Things (IoT) Pada Perkembangan Teknologi di Masa Yang Akan Datang," *J. Inf. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 33–40, 2021.

[8] M. H. Rezal, K. Erwansyah, and Lusiyanti, "Monitoring Tangki Air Berbasis Internet Of Things," *J. Sist. Komput. TGD*, vol. 2, no. 2, pp. 139–146, 2023.

[9] M. B. Ulum, M. Lutfi, and A. Faizin, "Otomatisasi Pompa Air Menggunakan NODEMCU ESP8266 Berbasis Internet Of Things(IOT)," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 6, no. 1, pp. 86–93, 2022.

[10] L. A. Morales, P. Fabara, and D. F. Pozo, "An Intelligent Controller Based on LAMDA for Speed Control of a Three-Phase Inductor Motor," *Emerg. Sci. J.*, vol. 7, no. 3, pp. 676–690, 2023.

[11] Taizhou Alison Instrument Co. Ltd., "Water Level TransmitterYB-2J-F," Nov. 2024. Accessed: Jun. 13, 2025. [Online]. Available: https://www.plexishop.it/pdf/Misuratore_di_flusso_per_liquidi_YF-G1_DN25.pdf?srsltid=AfmBOoqkDb0FHMqCpudGpENcXp_xgc4ePLtBOq0Rr1_6iqNq43cMVpse

[12] Foshan Shunde Zhongjiang Energy Saving Electronics Co. Ltd., "Water Flow Sensor YF-G1," Guangdong. Accessed: Jun. 13, 2025. [Online]. Available: https://www.plexishop.it/pdf/Misuratore_di_flusso_per_liquidi_YF-G1_DN25.pdf?srsltid=AfmBOoq7gPtC3FV6tq5sRGf4jzmKxNcGtBRZ0lTQXDedjgO1Rh4IMXzN

[13] Ningbo Peacefair Electronic Technology Co. Ltd., "PZEM-004T Voltage Current Watt Meter Single Phase Small AC Voltmeter TTL Modbus Electric Energy Meters," Zhejiang, Jul. 2024. Accessed: Jun. 13, 2025. [Online]. Available: https://en.peacefair.cn/product/772.html

[14] LS Electric Co. Ltd., "Installation Guide XB(E)C-DR20/30/40/60SU." [Online]. Available: polarenergyllc.com

[15] Weintek Labs. Inc, "HMI Weintek MT8071iE1," Tiongkok, Jul. 2022. Accessed: Jun. 13, 2025. [Online]. Available: https://dl.weintek.com/public/MT8000iE/eng/Datasheet/MT8071iE1_Datasheet_ENG.pdf

[16] L. Electric, "Installation Guide XBL-EMTA," Chungcheongnamdo, Jun. 2024. [Online]. Available: polarenergyllc.com/xgb/

[17] Schneider Electric, "Variable Speed Drive, Altivar 12, 0.75kW, 1hp, 200 to 240V, 1 Phase, With Heat Sink," Feb. 2025. [Online]. Available: www.se.com/id/en/product/ATV12H075M2/

[18] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet," Shanghai, Apr. 2025. Accessed: Jun. 13, 2025. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

[19] Blynk Technologies Inc., "Blynk Documentation," Miami, Nov. 2020. Accessed: Jun. 10, 2025. [Online]. Available: https://id.scribd.com/document/516956654/Blynk-Documentation