



Contents lists available at [JESA](https://jesa.aks.or.id/index.php/jesa/index)

Journal of Engineering and Science Application

journal homepage: <https://jesa.aks.or.id/index.php/jesa/index>



ESP32-Based Error Handling Prototype for Danfoss FC302 VFD

Farras Ammar Majid^a, Bustanul Arifin^b

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung

Article Info

Keywords:

Danfoss FC302
ESP32-S3
Modbus RTU
Thingsboard
IoT

ABSTRACT

The used of Variable Frequency Drives (VFDs) in the mineral processing industry often encounters operational issues in the form of minor faults, such as torque limit (A12), overcurrent (A59), and frequency limit (A62) trips. The main challenge lies in the time required for manual troubleshooting, which requires technicians to visit the Motor Control Center (MCC) room, as well as restrictions on user access rights within the Distributed Control System (DCS). This study aims to design a prototype for remote monitoring and handling of minor faults in the Danfoss VLT AutomationDrive FC 302 using an ESP32-S3 microcontroller. The development method employed in this study is Research and Development (R&D), following the ADDIE model (Analyze, Design, Develop, Implement, and Evaluate). The system was developed using the ESP32-S3 as a Modbus master to retrieve operational parameters, including current, voltage, frequency, rotational speed, and alarm codes and descriptions, from the FC 302 VFD through the Modbus RTU protocol over an RS485 interface. The acquired data were subsequently transmitted to the ThingsBoard IoT platform via MQTT for real-time visualization using numerical values and trend graphs. In addition to monitoring, a remote reset feature was implemented using a Remote Procedure Call (RPC) mechanism over MQTT, allowing technicians to issue reset commands remotely through the ThingsBoard dashboard. The test results showed that the prototype displayed operational parameters, including voltage, current, frequency, and rotational speed (RPM), with a measurement error of 1% compared with the values shown on the Local Control Panel (LCP). The system also enabled real-time monitoring of fault status. The results indicated that the developed system had the potential to reduce the time required to handle minor faults, improve operational efficiency, and support decision-making for subsequent troubleshooting actions.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Farras Ammar Majid
Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah
Email: Farrasammarmajid@gmail.com

1. INTRODUCTION

Penggunaan Variable Frequency Drive (VFD) sudah banyak diimplementasikan oleh banyak industri modern karena lebih dalam industri pengolahan mineral dimana membutuhkan tingkat fleksibilitas yang tinggi dalam mengontrol motor induksi, tidak hanya itu Penggunaan VFD memungkinkan kontrol yang presisi

terhadap parameter operasional, yang secara langsung berkontribusi pada optimasi konsumsi energi di seluruh lini produksi[1]. Namun, nyatanya tidak semua industri modern selalu canggih dan selalu otomatis, di bagian section tertentu biasanya tetap menggunakan sistem yang semi otomatis yang masih membutuhkan campur tangan manusia, setiap individu tidak selalu paham atau terbiasa dengan mesin dan gaya dalam mengoperasikan mesin menyebabkan beban berlebih pada motor yang memicu alarm pada VFD, walaupun untuk sisi proteksi dari motor itu sendiri tetap ada, namun beberapa hal tersebut menyebabkan kendala pada operasional produksi. Permasalahan yang sering dijumpai dalam operasional VFD tidak hanya berkaitan dengan terjadinya gangguan, tetapi juga dengan waktu yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi dan memulihkan kondisi sistem. Beberapa gangguan, seperti *torque limit* (A12), *overcurrent* (A59), dan *frequency limit* (A62), dapat memerlukan pemeriksaan serta tindakan pemulihan sesuai dengan kondisi aktual peralatan. Dalam kondisi tertentu, gangguan dapat ditangani melalui prosedur *reset* setelah penyebab gangguan diperiksa dan kondisi operasi dinyatakan aman. Namun, keterbatasan akses terhadap informasi gangguan dapat memperlambat proses penanganan. Berdasarkan data gangguan VFD selama satu tahun pada salah satu area produksi yang menjadi objek penelitian, tercatat sebanyak 122 kejadian gangguan pada shift malam. Proses identifikasi yang mengharuskan teknisi mendatangi ruang *Motor Control Center* (MCC) secara langsung menjadi salah satu kendala dalam mempercepat respons terhadap gangguan tersebut.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang untuk mengembangkan sistem pemantauan peralatan industri yang mampu menyajikan informasi operasional secara *real-time*. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan penerapan ESP32 untuk pemantauan dan pengendalian motor induksi menggunakan protokol Modbus RTU[2]. Integrasi komunikasi Modbus dan MQTT juga telah diterapkan dalam pengembangan sistem akuisisi dan transmisi data berbasis IoT [3], [4]. Dalam implementasinya, ESP32 dapat berfungsi sebagai pengendali sekaligus pengolah data yang membaca parameter operasional VFD melalui protokol Modbus RTU dengan antarmuka RS485. Data yang diperoleh selanjutnya dikirimkan menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) ke platform IoT untuk ditampilkan dalam bentuk nilai numerik dan grafik tren [5]. Pemanfaatan platform ThingsBoard juga memungkinkan pengembangan antarmuka pemantauan dan pengendalian berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32-S3[6]. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan prototipe sistem pemantauan dan penanganan gangguan ringan pada VFD Danfoss VLT AutomationDrive FC 302 berbasis ESP32-S3. Sistem dirancang untuk membaca parameter operasional, meliputi arus, tegangan, frekuensi, kecepatan putaran motor, serta kode dan deskripsi gangguan melalui komunikasi Modbus RTU menggunakan antarmuka RS485. Data tersebut kemudian dikirimkan ke platform ThingsBoard melalui MQTT untuk mendukung pemantauan secara *real-time*. Selain fungsi pemantauan, sistem dilengkapi fitur *remote reset* melalui mekanisme *Remote Procedure Call* (RPC), sehingga perintah reset dapat dikirimkan dari dasbor tanpa harus mendatangi panel VFD secara langsung.

Penelitian dengan judul “*Three-Phase Induction Motor Control and Monitoring Using VFD and ESP32 Based on Modbus RTU Protocol*”, Pada penelitian tersebut, dengan sistem *control* dan *monitoring* VFD dan esp32 menggunakan protokol modbus RTU dan modul konverter ttl to rs485 yang dihubungkan ke esp32 untuk pembacaan parameter dan pengendali[2]. Selanjutnya Pada penelitian yang berjudul “*Field Evaluation of an IoT-VFD Smart Ventilation System for Energy-Efficient Rice Seed Storage*”[7], digunakanlah kombinasi antara esp32 dan komunikasi MQTT untuk pemantauan berlanjut untuk temperatur, humidity dan kecepatan motor induksi secara real time dan pengiriman perintah untuk VFD yang ditampilkan pada *Website*.

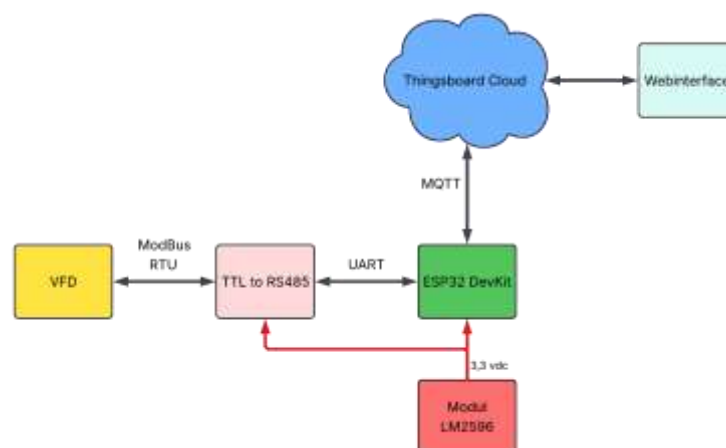
Penelitian selanjutnya dengan judul “*Sistem Monitoring Dan Kontrol Motor Listrik Industri Menggunakan Internet Of Things (IoT)*”[7]. Penelitian ini Merancang sistem pemantauan dan pengendali jarak jauh untuk VFD motor induksi 3 phase. Penggunaan mikrokontroler untuk mengambil data motor dan mobile app untuk pemantauan secara real time. selanjutnya pada penelitian dengan judul “*Development of an Integrated IoT-based Monitoring System for a Three-Phase Induction Motor Using ESP32 and Industrial Power Meter*” yaitu Penggunaan ESP32 yang dihubungkan dengan RS485 dengan protokol modbus dapat membaca data serta pengiriman data dengan ratio keuksesan 99.33% dan latensi berkisar 700 mili detik dan maksimalnya 4 detik[8]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Y.Goyal yang berjudul “*Comparative Study of Microcontroller: ARDUINO UNO, RASPBERRY PI 4, ESP 32*”[9]. Penggunaan ESP32 memiliki kemampuan yang ideal dalam menghubungkan konektivitas nirkabel dengan pemrosesan yang efisien, lalu pada Penelitian dengan judul “*Control of DC Motor in Laundry Liquid Waste Treatment based on Esp32-S3 And Thingsboard Platform*”[10]. Penggunaan Platform Thingsboard yang dapat memvisualisasikan data secara detail dan tampilan yang dapat dikustomisasi..

2. RESEARCH METHOD

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan (*research and development*). Menurut Syahid dkk [11] metode penelitian dan pengembangan adalah proses atau metode yang digunakan untuk memvalidasi dan mengembangkan produk. Sejalan dengan pendapat tersebut, Rahayu [12] menjelaskan bahwa penelitian dan pengembangan merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan produk melalui tahapan pengembangan yang sistematis. Umar dkk.[13] juga membahas R&D sebagai salah satu pendekatan penelitian yang dapat digunakan untuk mengembangkan produk atau model melalui prosedur pengembangan tertentu. Berdasarkan beberapa pengertian tersebut, penelitian dan pengembangan dalam penelitian ini pada penelitian ini digunakan model *ADDIE* dalam pengembangannya (*Analyze, Design, Development, Implementation, Evaluation*)

Secara keseluruhan, desain rancangan sistem dari penelitian istem ini mencakup integrasi antara *Hardware* dan *Software*. Perancangan keseluruhan sistem akan ditunjukan pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram blok keseluruhan sistem penelitian

Gambar 3.2 menunjukkan diagram blok keseluruhan dari sistem yang akan diwujudkan pada penelitian kali ini. Esp32 S3 DevKit dan Modul konverter TTL to RS485 akan dihubungkan dengan modul *buck-buck conveter* LM2596 , Sistem ini menggunakan alur komunikasi dua arah dimana VFD berperan sebagai slave yang akan mengirimkan data pada Master dengan protokol modbus RTU, TTL to RS485 memiliki peran sebagai jembatan komunikasi antara Modbus RTU dengan UART untuk proses permintaan data, ESP32 bertindak sebagai master yang meminta data dari VFD dan juga sebagai klien yang megirimkan data melalui MQTT kepada dashboard, tampilan dashboard pada thingsboard seperti ditunjukan pada Gambar 2



Gambar 2. Tampilan antarmuka pada Thingsboard

Penelitian dirancang untuk monitoring kondisi operasional serta penanganan gangguan ringan secara jarak jauh pada *Variable Frequency Drive* (VFD) Danfoss VLT AutomationDrive FC 302 berbasis mikrokontroler ESP32. Alat ini memiliki tiga buah fitur utama, fitur pertama yaitu monitoring data secara *realtime*. Data parameter yang dikirim dan ditampilkan meliputi nilai arus, frekuensi, tegangan, serta status dan

kode gangguan (*Alarm/Fault*) dari VFD FC302, selanjutnya fitur yang menampilkan data dalam bentuk grafik, data yang diterima tidak hanya ditampilkan dalam bentuk angka, terdapat juga grafik *trend* secara *real-time* untuk memantau fluktuasi parameter seperti arus, dan frekuensi. menjadi sebuah tampilan antarmuka yang mempermudah untuk menganalisis kondisi operasional VFD. Fitur Ketiga yaitu kontrol penanganan gangguan (*remote reset*), dengan ini memungkinkan untuk memberikan instruksi *reset* secara jarak jauh melalui antarmuka *dashboard* ThingsBoard. Perintah yang dikirimkan melalui *dashboard* akan dikirim ke ESP32 untuk selanjutnya menuliskan bit ke register VFD Danfoss FC 302. Sehingga proses pemulihan gangguan pada VFD dapat dilakukan secara *realtime* dan terkontrol tanpa harus mendatangi lokasi panel secara langsung. Teknik analisis data digunakan untuk mengolah data menjadi informasi yang bermakna. Pengujian dilakukan guna mengevaluasi tingkat keberhasilan dan kelayakan implementasi alat yang dirancang, berupa pengujian Hardware dan Software untuk beberapa kriteria seperti indikator, hasil bacaan dan tingkat ratio error pembacaan

Data hasil pada penelitian diperoleh berdasarkan dua sumber; *Hardware*, dan *Software*. Data penelitian Hardware diambil dari ESP32S3 dan *Converter* TTL to RS485. Pada data hasil penelitian *software* diperoleh dari dua sumber yaitu aplikasi LCP VFD VLT FC302 serta dashboard Thingboards dan divalidasi menggunakan *Clamp* Tester FLUKE 378.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Data hasil pada penelitian diperoleh berdasarkan dua sumber; *Hardware*, dan *Software*. Data penelitian Hardware diambil dari ESP32S3 dan *Converter* TTL to RS485. Pada data hasil penelitian *software* diperoleh dari dua sumber yaitu aplikasi LCP VFD VLT FC302 serta dashboard Thingboards dan divalidasi menggunakan *Clamp* Tester FLUKE 319.

3.1. Data hasil pengujian Hardware

Pengambilan data hasil pengujian diperoleh dari integrasi perangkat penelitian dengan VFD VLT FC302. Hasil pengujian hardware berupa perubahan pada lampu indikator yang bisa dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil pengujian hardware

Indikator	Keterangan
Lampu indikator (Merah) Rx dan Tx pada RS485 dan ESP32, menyala bergantian.	Menyala bergantian / lampu rx dan tx pada modul berkedip setelah lampu pada ESP32 berkedip
Lampu indikator (Kuning) wifi, mencoba untuk terhubung dengan wifi	Menyala kuning
Lampu indikator (Ungu) MQTT mencoba terhubung dengan MQTT	Menyala ungu
Lampu indikator (Merah) data yang dibaca error	Menyala merah
Lampu indikator (Hijau) data telah terbaca dan terkirim	Menyala hijau

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 lampu indikator mengalami perubahan baik warna atau menyala dan tidaknya dimana, jika mikrokotroler terkoneksi dengan modul RS485 konverter dan juga terhubung ke VFD maka lampu Rx dan Tx pada ESP32 dan RS485 akan menyala bergantian menandakan adanya permintaan dan pengiriman data pada sistem, kemudian lampu indikator akan berwarna kuning saat mencoba terhubung dengan koneksi internet jika sudah terhubung lampu indikator akan berwarna ungu yang artinya sedang mencoba terhubung dengan MQTT server Thingsboard, ketika sudah terhubung dan data terbaca dan telah dikirim maka lampu indikator akan berwarna hijau, tapi jika ditengah proses ada kegagalan baca atau pada salah satu data maka lampu indikator akan berwarna merah.

3.2. Data hasil pengujian Software

Data hasil pengujian ditunjukkan pada label berikut, diperoleh dari hasil Simulasi dengan aplikasi Modbus Slave dan pembacaan langsung dari VFD yang akan mengirimkan data ke ESP32 dan ditampilkan pada dashboard Thingsboard, pengujian ini dilakukan untuk memvalidasi nilai monitoring dan gangguan atau alarm yang terjadi pada unit VFD serta perintah reset yang dikirim dari *dashboard*.

Dashboard juga memiliki indikator dimana penelitian yang dibuat sudah terkoneksi dengan server atau tidak, dimana jika terkoneksi dengan server maka indikator *Status device* akan berwarna hijau dan jika tidak terkoneksi maka indikator akan berwarna abu-abu dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6



(a)

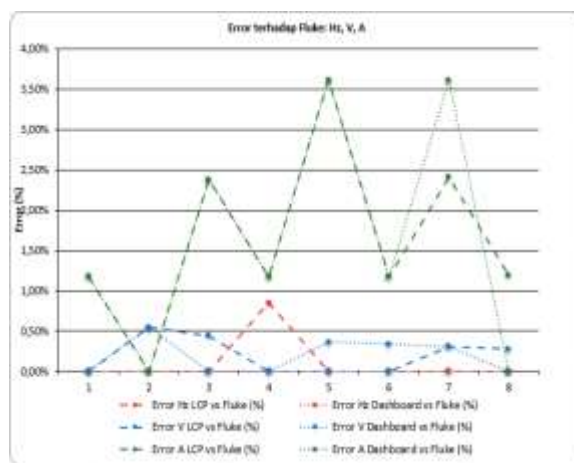
(b)

Gambar 3. Perangkat Terkoneksi(a) dan perangkat tidak terkoneksi (b)

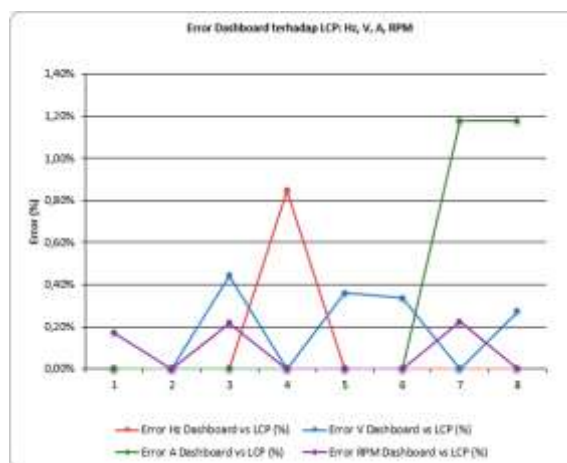
Selanjutnya Dilakukan delapan kali pengujian dalam hal ini, dimana pengujian dilakukan dengan mengatur frekuensi pada nilai tertentu untuk mengetahui apakah alat yang dibuat sudah terintegrasi dengan dashboard dan data yang dikirim sama dengan apa yang di tampilkan pada LCP VFD atau ada selisih, pengujian dilakukan seperti dan hasilnya bisa dilihat pada Tabel 2, serta persentase pembacaan error pada Gambar 4.

Tabel 2. Pembacaan parameter frekuensi, Voltase, Arus, dan rpm pada LCP VFD, Fluke 319, dan dashboard penelitian

NO	Pembacaan data pada LCP (Hz,V, I, rpm)	Pembacaan data pada Dashboard (Hz, V, I, rpm)	Fluke 319 (Hz;V;I)	Presentase error
1	20, 148, 0.86 , 595	20, 148, 0.86, 594	20, 147.8, 0.85	0.14 – 1.18%
2	25, 185, 0.85, 749	25, 185, 0.85, 749	25, 184.1, 0.85	0.49%
3	30.8, 227, 0.86, 922	30.8, 226, 0.86, 920	30.8, 226.1, 0.84	0.04 – 2.38%
4	35.2, 258, 0.86, 1053	35.2, 258, 0.86, 1053	35.2, 257.9, 0.85.	0.04 – 1.18%
5	38, 278, 0.86, 1138	38, 279, 0.86, 1138	38, 278.4, 0.83	0.22 – 3.61%
6	40.6, 297, 0.86, 1213	40.6, 298, 0.86, 1213	40.6, 296.8, 0.85	0.07 – 1.18%
7	44.8, 328, 0.85, 1340	44.8, 328, 0.86, 1343	44.8, 327.4, 0.83	0.18 – 3.61%
8	50, 366, 0.85, 1498	50, 365, 0.84, 1498	50, 365.2, 0.84	0.05 – 1.19%



(a)



(b)

Gambar 4. Presentase error nilai pembacaan LCP VFD dan Thingsboard terhadap Fluke 319(a) dan Thingsboard terhadap LCP VFD (b)

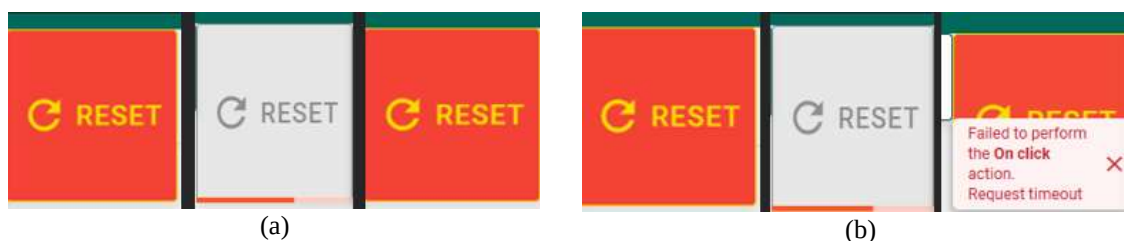
Dari kedelapan pengujian untuk frekuensi, tegangan, arus dan rpm menampilkan pembacaan nilai error kurang lebih 1 – 4 % antara alat ukur Fluke 319 terhadap LCP dan dashboard, sedangkan untuk LCP dan dashboard memiliki pembacaan error yaitu kurang lebih 1,2 %, dimana nilai error paling besar ada pada pembacaan arus dikarenakan nilainya fluktuatif dan delay, sedangkan untuk frekuensi pembacaan error sangat minim.

Pengujian selanjutnya adalah pembacaan kode dan deskripsi gangguan (*fault trip*) yang terjadi pada VFD yang akan di tampilkan pada dashboard thingsboard. Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 3 dilakukan dengan mensimulasikan gangguan dengan mengatur beberapa parameter pada VFD sehingga memicu beberapa gangguan, didapatkan empat gangguan yang disimulasikan dan semua kode serta deskripsi gangguan(*fault trip*) sama antara LCP dan dashboard

Tabel 3. Pembacaan gangguan

Pembacaan Gangguan pada LCP VFD (kode alarm beserta Deskripsi)	Tampilan <i>Dashboard</i>
Pembacaan Kode A31 deskripsi V phase Loss	Terbaca kode dan deskripsinya sama seperti LCP VFD
Pembacaan Kode A12 deskripsi Torque Limit	Terbaca kode dan deskripsinya sama seperti LCP VFD
Pembacaan Kode A68 deskripsi Safe Stop / Safe Torque Off (STO)	Terbaca kode dan deskripsinya sama seperti LCP VFD
Pembacaan Alarm 59 deskripsi Current Limit	Terbaca kode dan deskripsinya sama seperti LCP VFD

Pada penelitian ini ditambahkan tombol virtual untuk melakukan perintah menghilangkan atau menghapus gangguan (*fault trip*) yang telah terjadi, dimana jika tombol reset diklik dan perintah berhasil dikirim maka tombol reset akan kembali seperti semula, namun jika muncul *pop up* bertuliskan “*failed to perform the on click action request timeout(RTO)*” pada tombol reset perintah tidak terkirim maka tombol reset akan dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 5. Perintah clear/reset berhasil dikirim (a) dan tidak berhasil dikirim (b)

4. CONCLUSION

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan prototipe sistem pemantauan dan penanganan gangguan ringan pada Variable Frequency Drive (VFD) Danfoss VLT AutomationDrive FC 302 menggunakan mikrokontroler ESP32-S3 dengan metode Research and Development (R&D) berdasarkan model ADDIE. Prototipe ini mengintegrasikan komunikasi Modbus RTU melalui RS485 dengan komunikasi MQTT ke platform ThingsBoard, sehingga memungkinkan pemantauan parameter operasional VFD secara jarak jauh serta pengiriman perintah reset melalui tampilan dashboard. Penelitian *Prototipe* Penanganan Gangguan Ringan Pada VFD DANFOSS VLT FC302 Berbasis ESP32 menunjukkan hasil bahwa prototipe mampu membaca dan menampilkan parameter operasional, meliputi tegangan, arus, frekuensi, kecepatan putaran motor, serta kode dan deskripsi gangguan. Pembacaan parameter yang ditampilkan pada dashboard ThingsBoard memiliki nilai yang konsisten dengan nilai yang ditampilkan pada Local Control Panel (LCP) VFD, meskipun terdapat sedikit perbedaan yang disebabkan oleh fluktuasi pengukuran dan keterlambatan komunikasi yaitu dengan presentase error kurang lebih sebesar 1%. Prototipe ini juga berhasil menampilkan informasi gangguan yang disimulasikan serta menyediakan fitur remote reset melalui tombol virtual pada dashboard. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prototipe yang dikembangkan berpotensi mendukung pemantauan VFD secara jarak jauh dan mempermudah proses penanganan gangguan ringan tanpa mengharuskan teknisi mendatangi panel VFD untuk setiap kegiatan pemantauan atau pengiriman perintah menghilangkan gangguan ringan yang terjadi.

REFERENCES

- [1] A. B. F. Fakhri, Y. A. Deavy, and M. Putri, “Analisis Pengaruh Kendali Putar Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Vfd Siemens,” *Pros. Konf. Nas. Soc. Eng. Polmed*, vol. 3, no. 1, pp. 674–683, 2022.
- [2] A. Marzuki, T. Muzakkir, and M. S. Arief, “Three-Phase Induction Motor Control and Monitoring Using VFD and ESP32 Based on Modbus RTU Protocol,” *Am. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 71–80, 2024.
- [3] R. A. Kusuma, J. N. W. Karyadi, and S. Rahayoe, “Design of a low-cost IoT-based data logger for monitoring the palm sugar drying system using ESP32 and Modbus/MQTT conversion,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2024, p. 12025.
- [4] M. S. M. Nizam, E. Abdullah, N. M. Hidayat, N. M. Z. Hashim, and M. A. A. Hassan, “Real-time energy monitoring in renewable EV charging stations: an ESP32-based system integrating Modbus, MQTT, and ESP-NOW protocols,” in *2024 IEEE 22nd Student Conference on Research and Development (SCoReD)*, IEEE, 2024, pp. 339–344.
- [5] K. Kannur and K. Kannur, “MQTT Protocol for Resource Constrained IoT Applications : A Review,” 2022.
- [6] B. Bao, W. Aribowo, A. L. Wardani, and A. C. Hermawan, “Control of DC Motor in Laundry Liquid Waste Treatment based on Esp32-S3 And Thingsboard Platform,” *Vokasi Unesa Bull. Eng. Technol. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 632–654, 2025.
- [7] I. Hanafi, F. Hunaini, and D. Siswanto, “Monitoring And Control System Of Industrial Electric Motors Using The Internet Of Things (IoT): Sistem Monitoring Dan Kontrol Motor Listrik Industri Menggunakan Internet Of Things (IoT),” *JEEE-U*

- (*Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 64–78, 2023.
- [8] A. Fadlil, T. Sutikno, and U. A. Dahlan, “Development of an Integrated IoT-based Monitoring System for a Three-Phase Induction Motor Using ESP32 and Industrial Power Meter,” vol. 4, no. 1, pp. 107–117, 2026.
- [9] “Comparative Study of Microcontoller : ARDUINO,” no. July, 2024.
- [10] H. Y. Riskiawan *et al.*, “Field Evaluation of an IoT-VFD Smart Ventilation System for Energy-Efficient Rice Seed Storage,” *Sink. J. dan Penelit. Tek. Inform.*, vol. 10, no. 2, 2026.
- [11] I. M. Syahid, N. A. Istiqomah, and K. Azwary, “Model Addie Dan Assure Dalam Pengembangan Media Pembelajaran,” 2024.
- [12] Ade rahayu, “Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D) : Pengertian, Jenis dan Tahapan,” vol. 4, no. 3, pp. 459–470, 2025, doi: 10.54259/diajar.v4i3.5092.
- [13] M. B. Purwanto, “RESEARCH AND DEVELOPMENT : AS THE PRIMARY ALTERNATIVE TO EDUCATIONAL,” vol. 8, no. 1, 2023, doi: 10.37110/jell.v8i1.172.