

Sistem Monitoring dan Kontrol Motor Satu Fasa Industri Berbasis NRF24L01

NRF24L01-Based Monitoring and Control System for Single-Phase Industrial Motors

Febrika Juniar Syabilla¹, Wahyu², Zanu Saputra³, Mahmudin⁴

^{1,2} Jurusan Rekayasa Elektro dan Industri Pertanian Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung; email: syabillafebrika@gmail.com, ²w06.wahyu@gmail.com

^{3,4} Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

[Dikirimkan: 15 Desember 2025, Direvisi: 29 Mei 2026, Diterima: 31 Mei 2026]

Corresponding Author: Febrika Juniar Syabilla

INTISARI — Motor 1-fasa merupakan komponen vital dalam infrastruktur industri yang memerlukan sistem pemantauan dan pengontrolan kontinu untuk menjamin ketersediaan operasional serta mencegah kerusakan fatal akibat panas berlebih atau beban mekanis yang tidak stabil. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan berbasis teknologi komunikasi nirkabel menggunakan modul NRF24L01 yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz. Sistem ini dirancang untuk memantau parameter operasional motor secara *real-time*, yang mencakup suhu mesin, tingkat getaran, kecepatan putar (RPM), serta parameter elektrikal penting seperti tegangan, arus, dan frekuensi listrik. Arsitektur sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama untuk akuisisi data dari berbagai sensor terintegrasi, yang kemudian data tersebut ditransmisikan secara nirkabel melalui transceiver NRF24L01 untuk memastikan pengiriman data yang cepat di lingkungan industri. Integrasi data dilakukan melalui ekosistem digital yang efisien, mencakup platform ThingSpeak untuk visualisasi data grafis, Google Spreadsheet untuk pengarsipan data otomatis guna keperluan analisis jangka panjang, dan aplikasi Blynk sebagai antarmuka kendali jarak jauh pada perangkat *Variable Frequency Drive* (VFD) untuk mengatur kecepatan motor secara presisi. Metodologi pengujian dilakukan pada lingkungan area terbuka (*line of sight*) untuk menguji keandalan transmisi dan akurasi sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi menggunakan NRF24L01 mampu mencapai jarak efektif hingga 220 meter. Selain itu, akurasi sistem menunjukkan performa yang sangat stabil dengan nilai rata-rata *error* di bawah 2,1%, di mana nilai kesalahan tersebut berlaku secara konsisten untuk seluruh parameter sensor yang diintegrasikan dalam sistem. Penelitian ini memberikan kontribusi nyata pada pengembangan sistem otomasi industri yang akurat, responsif, dan memiliki biaya implementasi yang efisien.

KATA KUNCI — Motor 1-Fasa, NRF24L01, VFD, Pemantauan, Pengontrolan, ESP32

ABSTRACT — *Single-phase motors are vital components in industrial infrastructure that require continuous monitoring and control systems to ensure operational availability and prevent fatal damage due to overheating or unstable mechanical loads. This research aims to design and implement a monitoring system based on wireless communication technology using the NRF24L01 module operating at a frequency of 2.4 GHz. The system is designed to monitor motor operational parameters in real-time, which include engine temperature, vibration levels, rotational speed (RPM), as well as essential electrical parameters such as voltage, current, and electricity frequency. The system architecture utilizes an ESP32 microcontroller as the main processing unit for data acquisition from various integrated sensors, which is then transmitted wirelessly via the NRF24L01 transceiver to ensure fast data delivery in industrial environments. Data integration is carried out through an efficient digital ecosystem, including the ThingSpeak platform for graphical data visualization, Google Spreadsheets for automated data archiving for long-term analysis, and the Blynk application as a remote control interface for the Variable Frequency Drive (VFD) to regulate motor speed precisely. The testing methodology was conducted in an open area environment (line of sight) to test transmission reliability and sensor accuracy. The test results show that communication using NRF24L01 can reach an effective distance of up to 220 meters. Furthermore, the system's accuracy demonstrates a very stable performance with an average error rate below 2.1%, where this error value applies consistently across all sensor parameters integrated into the system. This study provides a significant contribution to the development of industrial automation systems that are accurate, responsive, and have efficient implementation costs.*

Keywords — *Single-phase motor, NRF24L01, VFD, Monitoring, Control, ESP32*

I. PENDAHULUAN

Motor 1-fasa industri merupakan komponen kritis dalam berbagai aplikasi produksi, seperti penggerak pompa, konveyor, dan kipas pada skala industri kecil dan menengah. Namun, motor ini memiliki kelemahan intrinsik berupa efisiensi energi yang relatif rendah dan kerentanan terhadap kerusakan akibat beban berlebih atau kegagalan komponen [1]. Oleh karena itu, implementasi sistem *monitoring* dan pengontrolan yang efektif serta *real-time* menjadi suatu kebutuhan mendesak untuk meningkatkan produktivitas, memperpanjang usia pakai peralatan, dan mengurangi biaya operasional serta *downtime* [2].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem *monitoring* untuk motor induksi 1-fasa. Salah satunya adalah implementasi *Variable Frequency Drive* (VFD) dengan metode *Sinusoida Pulse Width Modulation* (SPWM) berbasis mikrokontroler, yang berfokus pada pengaturan kecepatan motor namun belum dilengkapi kemampuan *monitoring* parameter operasional secara *real-time* [3]. Penelitian lain mengusulkan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan jaringan WiFi untuk memantau getaran dan putaran motor, meskipun memiliki keterbatasan jangkauan dan potensi interferensi di lingkungan industri yang padat [4], [5]. Keterbatasan jangkauan komunikasi nirkabel berbasis WiFi serta kebutuhan akan sistem yang independen dari infrastruktur internet kompleks mendorong eksplorasi teknologi alternatif.

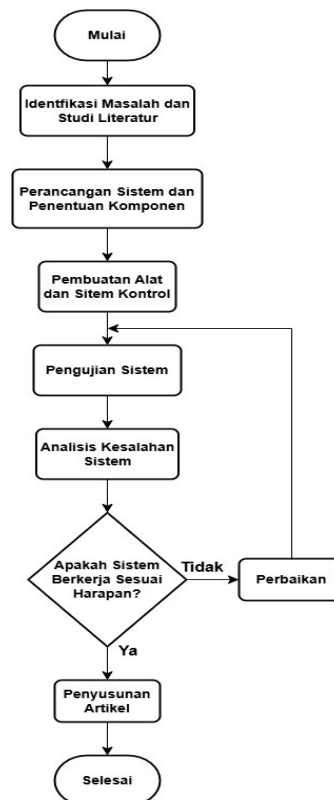
Dalam penelitian ini, teknologi komunikasi nirkabel yang diimplementasikan menggunakan modul NRF24L01 yang beroperasi pada prinsip komunikasi jarak jauh (*Long Range*) pada frekuensi 2,4 GHz[6]. Modul ini dipilih karena menawarkan jangkauan komunikasi yang memadai, komunikasi daya yang rendah, dan ketahanan yang baik terhadap interferensi di lingkungan industri[7],[8]. Beberapa studi telah mengaplikasikan modul serupa untuk *monitoring* peralatan industri, menunjukkan potensinya dalam transmisi data sensor secara *real-time*[9]. Namun, penerapannya secara terintegrasi untuk *monitoring* multi-parameter sekaligus pengontrolan kecepatan pada motor 1-fasa industri masih perlu dieksplorasi lebih lanjut.

Berdasarkan analisis terhadap penelitian-penelitian terdahulu, teridentifikasi beberapa kesenjangan (*research gap*) yang perlu diatasi: (1) Sistem berbasis WiFi memiliki keterbatasan jangkauan dan stabilitas di lingkungan industri dengan interferensi tinggi; (2) Implementasi VFD yang ada seringkali hanya fokus pada kontrol kecepatan tanpa integrasi dengan sistem *monitoring* multi-parameter; (3) Belum ada solusi terpadu yang mengintegrasikan *monitoring* enam parameter operasional (suhu, getaran, RPM, tegangan, arus, frekuensi) dengan kontrol kecepatan jarak jauh dalam satu sistem yang ekonomis; (4) Penerapan teknologi komunikasi alternatif seperti RF 2.4 GHz untuk aplikasi *monitoring* motor 1-fasa industri masih terbatas. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya pengembangan sistem *monitoring* dan kontrol yang lebih komprehensif, handal, dan sesuai untuk industri skala kecil-menengah.

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah sistem terpadu yang mampu melakukan *monitoring real-time* terhadap enam parameter operasional motor 1-fasa industri (suhu, getaran, kecepatan/RPM, tegangan, arus, frekuensi) sekaligus pengontrolan kecepatannya dari jarak jauh. Sistem memanfaatkan modul NRF24L01 (RF 2.4 GHz) sebagai *backbone* komunikasi nirkabel utama untuk mengatasi keterbatasan jangkauan, diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 untuk akuisisi data, platform *cloud* ThingSpeak untuk visualisasi, Google Spreadsheet untuk pencatatan data, dan aplikasi Blynk yang terhubung ke *Variable Frequency Drive* (VFD) untuk keperluan kontrol. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis, handal, dan *cost-effective* untuk pemantauan dan optimasi performa motor 1-fasa di lingkungan industri.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan metodologis yang sistematis untuk memastikan tercapainya tujuan yang telah ditetapkan. Metodologi yang diterapkan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. IDENTIFIKASI MASALAH DAN STUDI LITERATUR

Tahap awal dimulai dengan identifikasi permasalahan utama, yaitu kebutuhan akan sistem *monitoring* dan kontrol yang handal dan jangkauan luas untuk motor 1-fasa industri. Dilakukan studi literatur mendalam melalui kajian pustaka untuk memperoleh landasan teoritis dan referensi terkini. Studi ini mencakup karakteristik motor 1-fasa, prinsip kerja dan implementasi modul komunikasi NRF24L01, metode pengontrolan kecepatan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), serta spesifikasi dan performa berbagai sensor yang relevan. Hasil studi literatur digunakan sebagai dasar untuk merumuskan solusi teknis dan menentukan komponen sistem.

B. PERANCANGAN SISTEM DAN PENENTUAN KOMPONEN

Berdasarkan analisis kebutuhan, dilakukan perancangan sistem menyeluruh yang mencakup aspek *hardware* dan *software*. Sistem dirancang dengan tiga unit utama: unit sensor sebagai *input*, unit pengolahan data, serta unit *monitoring* dan pengontrolan.

1) GAMBARAN UMUM SISTEM

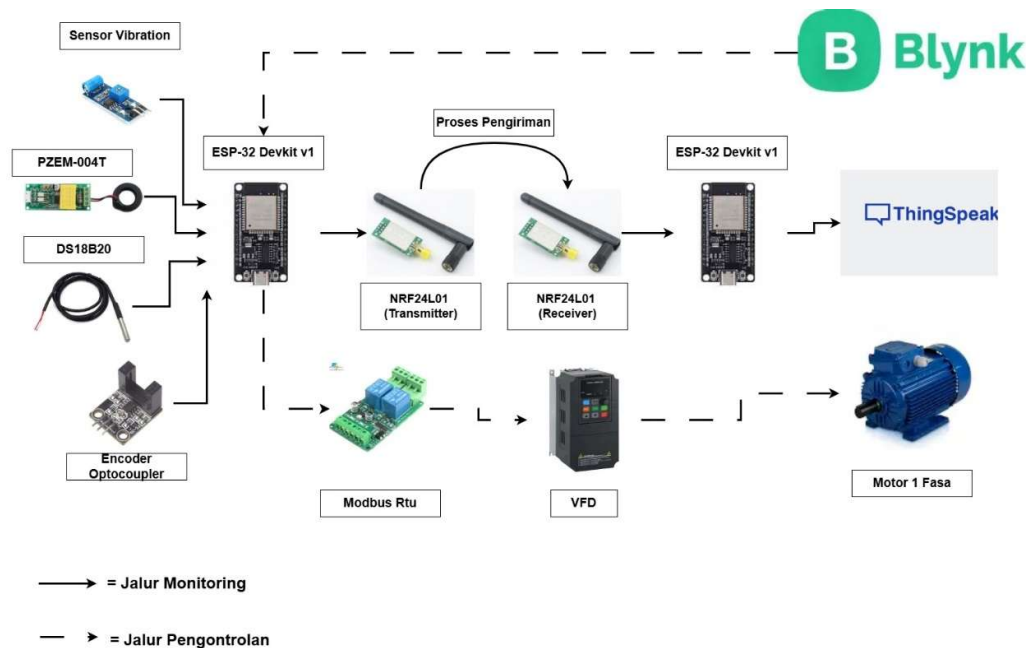
Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan empat sensor (DS18B20 untuk suhu, SW-420 untuk getaran, Encoder Optocoupler untuk kecepatan/RPM, dan PZEM-004T untuk parameter listrik) yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. ESP32 berfungsi sebagai *data acquisition unit* yang mengirimkan data secara nirkabel via modul NRF24L01 *transmitter*. Data diterima oleh modul NRF24L01 *receiver* dan ditampilkan secara *real-time* pada platform *cloud* ThingSpeak serta disimpan otomatis di Google Spreadsheet. Untuk pengontrolan, aplikasi Blynk mengirim perintah ke ESP32 yang kemudian meneruskannya ke VFD via protokol Modbus RTU RS485 guna mengatur kecepatan motor. Pemilihan mikrokontroler ESP32 didasarkan pada kemampuannya menangani komunikasi SPI untuk NRF24L01 dan UART untuk Modbus RTU secara simultan [10].

2) PERANCANGAN ANTARMUKA (UI)

Antarmuka pemantauan dikembangkan menggunakan platform IoT ThingSpeak. Sebuah *channel* publik dirancang untuk menampilkan visualisasi grafik dari keenam parameter yang dimonitor (suhu, getaran, RPM, tegangan, arus, frekuensi), memungkinkan akses dan pengawasan yang mudah dari peramban web. Platform IoT ThingSpeak [11] digunakan untuk visualisasi data *real-time* karena kemudahan integrasinya dengan mikrokontroler dan kemampuan pembuatan *dashboard* yang intuitif.

3) PERANCANGAN HARDWARE

Rancangan *Hardware* dirancang sebagai satu kesatuan sistem yang mengintegrasikan unit sensor, pengelolaan data (ESP32), modul komunikasi NRF24L01, dan pengontrolan VFD. Diagram blok sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.

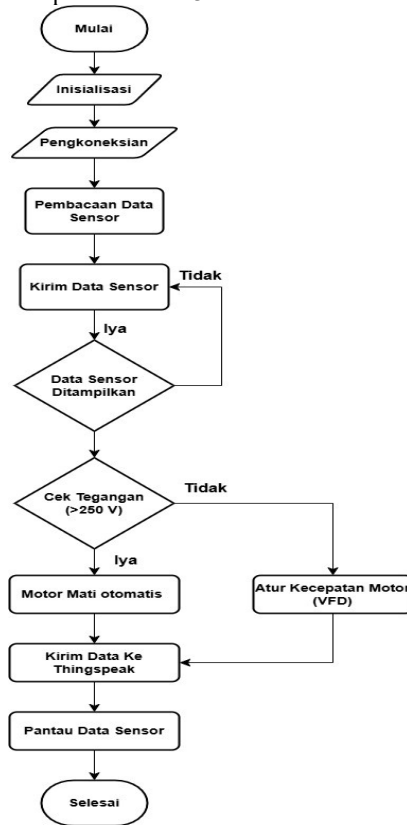


Gambar 2. Rancangan Perangkat Keras

Gambar 2 menyajikan skema rangkaian elektronik lengkap dari sistem yang dibangun. Skema ini secara visual membedakan dua jalur fungsional utama: jalur *monitoring* (ditandai dengan garis hitam) yang menangani akuisisi dan transmisi data sensor, dan jalur pengontrolan (ditandai dengan garis merah) yang mengatur kecepatan motor melalui VFD berdasarkan perintah dari aplikasi Blynk. Rancangan ini memastikan integrasi yang optimal antar komponen dengan memperhatikan faktor seperti isolasi sinyal, stabilitas catu daya (5V/3A), dan antarmuka komunikasi (SPI untuk NRF24L01, Modbus RTU RS485 untuk VFD). Rancangan ini memastikan integrasi yang optimal antar komponen dengan memperhatikan faktor seperti isolasi sinyal dan antarmuka komunikasi Modbus RTU RS485. Penggunaan protokol ini pada jalur pengontrolan memberikan ketahanan tinggi terhadap interferensi elektromagnetik (EMI) yang dihasilkan oleh inverter VFD di lingkungan industri [12].

4) PERANCANGAN SOFTWARE

Alur kerja perangkat lunak sistem dirancang dengan diagram alir (*flowchart*) untuk memastikan integrasi yang logis antara modul *monitoring* dan kontrol, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Perangkat Lunak

Proses dimulai dengan inisialisasi semua komponen (sensor, NRF24L01, koneksi). Sistem kemudian beroperasi dalam *loop* utama dengan dua fungsi paralel: (1) Akuisisi & Transmisi Data: ESP32 membaca data dari sensor (PZEM-004T, DS18B20, SW-420, Encoder), melakukan pengecekan proteksi (contoh: tegangan >250V memicu *shutdown*), lalu mengirim data via NRF24L01 *transmitter*. (2) Penerimaan & Eksekusi Perintah Kontrol: ESP32 mendengarkan perintah dari aplikasi Blynk. Jika perintah diterima (misal: set kecepatan baru), ESP32 menerjemahkannya menjadi parameter frekuensi dan mengirimkannya ke VFD via protokol Modbus RTU (RS485). Diagram ini menjamin operasi simultan dan independen antara *monitoring real-time* dan kontrol jarak jauh.

C. PENGUJIAN SISTEM

Setelah sistem dirancang dan dirakit, dilakukan serangkaian pengujian untuk memvalidasi performa dan keakuratan setiap sub-sistem sebelum diintegrasikan penuh.

1) PENGUJIAN MODUL NRF24L01

Dilakukan untuk mengukur jangkauan komunikasi efektif dalam berbagai kondisi lingkungan (*outdoor*, *indoor*, dan area dengan penghalang).

2) PENGUJIAN SENSOR

Masing-masing sensor (DS18B20, SW-420, PZEM-004T, Encoder Optocoupler) diuji secara individual dengan memberikan *input* dari motor 1-fasa. Akurasi pembacaan sensor divalidasi dengan membandingkannya terhadap alat ukur standar (*Temperature Humidity Meter*, tachometer).

3) PENGUJIAN PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR

Fungsi kontrol diuji dengan mengirimkan perintah *setpoint* kecepatan dari aplikasi Blynk dan mengamati respons motor serta pembacaan frekuensi keluaran VFD.

4) PENGUJIAN INTEGRASI SISTEM

Dilakukan pengujian untuk memastikan keseluruhan sistem berfungsi terintegrasi, mulai dari akuisisi data, transmisi via LoRa, visualisasi di ThingSpeak, penyimpanan data ke Google Spreadsheet, hingga eksekusi perintah kontrol dari Blynk.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENGUJIAN KINERJA MODUL KOMUNIKASI NRF24L01

Pengujian dilakukan untuk menentukan jangkauan komunikasi efektif modul NRF24L01 dalam berbagai kondisi lingkungan. Hasil pengujian yang dirangkum dalam Tabel I menunjukkan bahwa jarak maksimum tercapai pada area terbuka (*outdoor*) dengan penghalang terbatas, yaitu sejauh 220 meter. Pada kondisi *indoor* atau ruangan tertutup dengan penghalang seperti dinding gedung, jangkauan turun signifikan menjadi 60 meter. Sementara pada lingkungan campuran (*outdoor* dan *indoor*), jarak efektif yang dicapai adalah 118 meter.

Temuan ini konsisten dengan karakteristik propagasi gelombang radio frekuensi 2,4 GHz yang rentan terhadap atenuasi dan interferensi oleh objek fisik [13]. Meskipun lebih rendah dari spesifikasi maksimal chip sejenis (seperti SX1278), performa modul NRF24L01 dinilai telah memadai untuk aplikasi *monitoring* motor dalam skala industri kecil-menengah, khususnya pada area dengan *line-of-sight* terbatas. Keberhasilan transmisi data ditandai dengan bunyi *buzzer* pada sisi *receiver*, mengonfirmasi paket data terkirim dengan baik.

Jangkauan komunikasi 220 meter yang dicapai pada area terbuka dalam penelitian ini menunjukkan performa yang memadai untuk aplikasi industri skala kecil-menengah. Dibandingkan dengan penelitian serupa, sistem berbasis WiFi pada umumnya hanya mampu mencapai jarak 30-50 meter di lingkungan industri dengan penghalang [14], sedangkan teknologi LoRa sejati dapat mencapai beberapa kilometer namun dengan biaya implementasi yang lebih tinggi [15]. Dalam konteks standar komunikasi nirkabel industri, sistem ini berada dalam kategori *short-range wireless* dengan performa yang lebih baik dari Bluetooth (*Class 2*, biasanya <30meter) dan setara dengan Zigbee dalam kondisi *line-of-sight* [16]. Keterbatasan jarak pada kondisi indoor (60 meter) sejalan dengan karakteristik propagasi sinyal 2.4 GHz yang mengalami atenuasi signifikan oleh dinding dan struktur gedung. Untuk aplikasi yang memerlukan jangkauan lebih luas, dapat dipertimbangkan penggunaan *repeater* atau modul dengan daya pancar lebih tinggi, namun dengan *trade-off* pada konsumsi energi dan kompleksitas sistem.

TABEL I
HASIL PENGUJIAN JANGKAUAN MODUL KOMUNIKASI NRF24L01

Lingkungan Pengujian	Jenis Penghalang	Jarak Maksimum
Ruang Terbuka (<i>Outdoor</i>)	Gedung, Pohon, Sinyal Wi-Fi	220
Ruang Tertutup (<i>Indoor</i>)	Gedung, Pohon	60
Campuran (<i>Outdoor & Indoor</i>)	Gedung, Pohon	118

B. PENGUJIAN AKURASI SENSOR

1) SENSOR SUHU DS18B20

Pengujian selama lima hari dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap *Temperature Humidity Meter* sebagai referensi menghasilkan *error* pengukuran seperti pada Tabel II. *Error* rata-rata sebesar 2,01% menunjukkan akurasi yang dapat diterima untuk aplikasi *monitoring* industri non-kritis. Hal tersebut *Error* tertinggi terjadi pada hari ke-4 (4,61%), yang diduga disebabkan oleh faktor lingkungan atau penempatan sensor yang kurang optimal.

TABEL II
HASIL PENGUJIAN AKURASI SENSOR SUHU DS18B20

Hari Ke-	DS18B20 (°C)	Temperature Meter (°C)	Error (%)
1	34,75	34,73	0,06
2	43,43	42,70	1,71
3	54,12	54,00	0,22
4	43,69	45,80	4,61
5	55,75	53,90	3,43
Rata-Rata Error			2,01

2) SENSOR GETARAN SW-420

Sensor berhasil mendeteksi getaran motor dengan konsistensi tinggi, menunjukkan pembacaan 100% pada empat dari lima hari pengujian, dan 99% pada satu hari lainnya (Tabel III). Fluktuasi minor 1% ini dapat berasal dari *noise* elektromagnetik atau stabilitas *threshold* deteksi sensor yang bersifat digital. Secara keseluruhan, sensor ini andal untuk deteksi keberadaan getaran abnormal.

TABEL III
HASIL PENGUJIAN SENSOR GETARAN SW-420

Hari Ke-	Deteksi Getaran (%)
1	100
2	100
3	99
4	100
5	100

3) SENSOR PARAMETER LISTRIK PZEM-00

Hasil pengujian (Tabel IV) menunjukkan stabilitas pembacaan tegangan (201.10V - 202.80V) dan frekuensi (49.90Hz - 50.10Hz) yang masih berada dalam batas toleransi suplai PLN. Pembacaan arus yang konstan pada 0.03 mA mengindikasikan pengukuran dilakukan dalam kondisi tanpa beban atau *no-load*, yang merupakan karakteristik normal. Sensor ini terbukti *reliable* untuk memantau kondisi suplai daya ke motor.

TABEL IV
HASIL PENGUJIAN SENSOR PZEM-004T

Hari Ke-	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)
1	201.10	0.03	49.90
2	202.00	0.03	49.90
3	202.60	0.03	49.90
4	202.80	0.03	50.00
5	202.50	0.03	50.10

4) SENSOR KECEPATAN ENCODER OPTOCOUPLER

Pembacaan RPM sensor dibandingkan dengan Tachometer standar menghasilkan *error* rata-rata sangat rendah, yaitu 0,621% (Tabel V). Tingkat akurasi yang tinggi ini membuktikan keandalan sensor encoder optocoupler sangat efektif untuk mengukur kecepatan putaran tinggi pada motor industri, karena mampu memproses pulsa data dengan presisi tinggi meskipun terjadi fluktuasi kecepatan [17].

TABEL V
HASIL PENGUJIAN SENSOR KECEPATAN ENCODER OPTOCOUPLER

Hari Ke-	Encoder (RPM)	Tachometer (RPM)	Error (%)
1	7796.25	7796	0.0032
2	7698.60	7606	1.217
3	8413.65	8472	0.689
4	8055	8100	0.556
5	7950.02	8001	0.641
Rata-rata Error			0.621

C. IMPLEMENTASI PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR DENGAN VFD VIA BLYNK

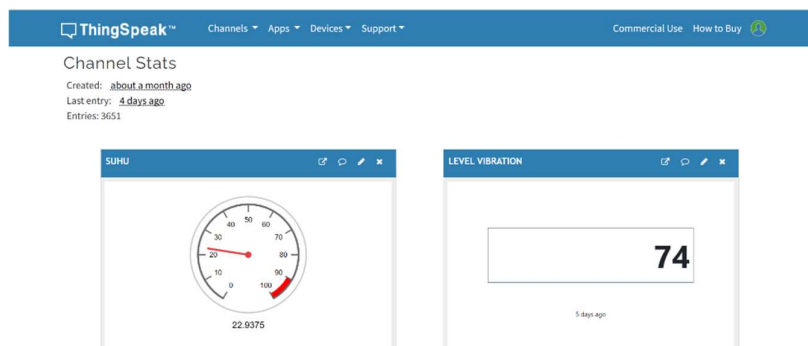


Gambar 4. Antarmuka Kontrol Kecepatan Motor pada Aplikasi Blynk.

Sistem pengontrolan berhasil diimplementasikan dengan mengintegrasikan VFD, ESP32, dan aplikasi Blynk. Pengguna dapat mengatur *setpoint* kecepatan motor secara *real-time* melalui *slider* pada antarmuka Blynk (Gambar 4). Perintah dikonversi menjadi sinyal frekuensi yang dikirim ke VFD via protokol Modbus RTU RS485. Pengujian menunjukkan bahwa motor merespons perubahan *setpoint* dengan baik, membuktikan kelayakan sistem kontrol jarak jauh ini. Fungsi proteksi *over-voltage* juga berhasil diuji, dimana sistem secara otomatis memerintahkan VFD untuk menghentikan motor ketika tegangan *input* melebihi *threshold* 250V. Implementasi sistem proteksi otomatis ini sangat krusial untuk mencegah degradasi isolasi pada belitan motor akibat lonjakan tegangan, yang merupakan salah satu penyebab utama kegagalan prematur pada motor induksi di industri [18].

D. PENGUJIAN INTEGRASI SISTEM

Seluruh sub-sistem berhasil terintegrasi. Data dari keempat sensor yang dikirim via modul NRF24L01 dapat diterima, diproses, dan ditampilkan secara *real-time* pada *dashboard* ThingSpeak dalam bentuk grafik yang mudah dipantau (Gambar 5). Selain itu, sistem juga berhasil mencatat data secara otomatis ke Google Spreadsheet, menyediakan *database* historis untuk analisis tren dan perawatan prediktif. Pemanfaatan Google Spreadsheet sebagai *database* berbasis tidak hanya efisien dari segi biaya, tetapi juga mempermudah integrasi data untuk keperluan audit energi dan pemeliharaan preventif secara kolaboratif [19]. Konektivitas dari sisi sensor hingga *cloud* berjalan stabil, menunjukkan kekokohan arsitektur sistem yang dirancang. Keandalan arsitektur ini didukung oleh kemampuan manajemen interupsi pada prosesor *dual-core* ESP32 yang secara efektif memisahkan tugas akuisisi data sensor dari tugas komunikasi protokol *stack* menuju *cloud*. Sinkronisasi yang efisien ini mencegah terjadinya *latency* yang besar saat sistem melakukan pengontrolan kecepatan secara simultan dengan proses *monitoring* [20].



Gambar 5. Dashboard Monitoring Real-time Parameter Motor pada Platform ThingSpeak.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh tahapan perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *monitoring* dan pengontrolan berbasis komunikasi NRF24L01 untuk motor satu fasa industri telah berhasil dikembangkan dengan tingkat integrasi yang komprehensif. Penelitian ini memberikan kontribusi utama dalam bentuk integrasi *monitoring* enam parameter operasional (suhu, getaran, kecepatan, tegangan, arus, frekuensi) dengan kontrol kecepatan jarak jauh melalui VFD dalam satu sistem yang praktis dan ekonomis untuk aplikasi industri skala kecil-menengah. Sistem ini mampu melakukan akuisisi data dari empat sensor utama (suhu, getaran, kecepatan, dan parameter listrik) serta mengirimkannya secara nirkabel dengan jangkauan efektif mencapai 220 meter pada area terbuka, yang dinilai memadai untuk aplikasi skala industri kecil-menengah. Hasil pengujian menunjukkan akurasi data sensor yang dapat diandalkan, dengan rata-rata kesalahan pengukuran di bawah 2,1%, sekaligus membuktikan kehandalan sensor kecepatan encoder optocoupler yang memiliki *error* rata-rata hanya 0,621%. Fungsi pengontrolan kecepatan motor melalui *Variable Frequency Drive* (VFD) yang terintegrasikan dengan aplikasi Blynk juga berhasil diimplementasikan, memungkinkan pengaturan jarak jauh dengan respons yang baik serta dilengkapi fitur proteksi *over-voltage*. Secara keseluruhan, sistem yang terintegrasikan dengan platform ThingSpeak untuk visualisasi *real-time* dan Google Spreadsheet untuk pencatatan data otomatis ini menawarkan solusi praktis dan *cost-effective* untuk meningkatkan keandalan aset [21], efisiensi pemeliharaan industri, serta keselamatan operasi motor 1-fasa di lingkungan industri melalui kemampuan *monitoring* dan kontrol jarak jauh yang andal. Penelitian ini memberikan landasan untuk pengembangan lebih lanjut, seperti implementasi protokol keamanan data, penambahan sensor untuk analisis kualitas daya yang lebih kompleks (harmonik, faktor daya), serta pengembangan algoritma prediktif berbasis AI untuk perawatan preventif menggunakan data historis yang terkumpul.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun non-finansial dalam pelaksanaan penelitian serta penulisan artikel ini. Tidak ada hubungan keuangan, kepemilikan saham, atau afiliasi dengan organisasi manapun yang dapat mempengaruhi representasi atau interpretasi dari hasil penelitian yang dilaporkan. Penelitian ini dilakukan secara independen dan seluruh data serta temuan yang disajikan murni merupakan hasil kerja akademik penulis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh dosen dan staf Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama penelitian ini berlangsung. Penghargaan yang tulus juga ditunjukkan kepada orang tua dan keluarga penulis atas dukungan moral dan spiritual yang tak ternilai. Terakhir, kami berterima kasih kepada rekan-rekan sejawat yang telah memberikan semangat dan masukan konstruktif selama pengerjaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] R. W. Sijabat, Z. Tharo and H. Gunawa, "ANALISIS PENGGUNAAN MOTOR INDUKSI PADA SISTEM KONVEYOR INDUSTRI," *Jurnal Nasional Teknologi Komputer*, Vol.5, no.3, Jul. 2023.
- [2] F. J. Syabilla and Wahyu, "Rancang Bangun Alat Monitoring dan Pengontrolan Sistem Operasi Motor 1 Fasa Industri Menggunakan Metode LoRa (Long Range)," 2025, *Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung*.
- [3] I. Nugrahanto, "Perancangan Variable Frequency Drive (Vfd) Satu Fasa Dengan Menggunakan Metode Sinusoida Pulse Width Modulation Berbasis Mikrokontroler," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 17, no. 2, p. 32, 2022, doi: 10.30587/e-link.v17i2.4497.
- [4] M. Z. Bisri and I. Anzhory, "Alat Monitoring Getaran Motor Listrik Induksi 1 Phase Berbasis Internet of Think (IoT)," *Innov. Technol. Methodical Res. J.*, vol. 3, no. 2, pp. 1-6, 2024, doi: 10.47134/innovative.v3i2.100.
- [5] I. Ihsan and D. Lesmideyarti, "Penerapan Smart Sistem Monitoring dan Kontrol Motor 1 Fasa Menggunakan Google Assistant," *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 8, no. 1, p. 7, 2024, doi: 10.30595/jrst.v8i1.17314.
- [6] A. S. W and T. Ghozali, "NRF 24L01 SEBAGAI PEMANCAR / PENERIMA," vol. 17, no. April, pp. 26-34, 2020.
- [7] T. Suryana, "Membaca Masukan Dari Sensor Getar," *Membaca Masukan Dari Sens. Getar (Vibration Sensor) SW-420 dengan NodeMCU ESP8266*, vol. 8266, p. 8, 2021.
- [8] U. J. Shobrina, R. Primananda, and R. Maulana, "Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transceiver NRF2401 , Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network," vol. 2, no. 4, pp. 1510-1517, 2018.
- [9] M. N. Ruhyat, R. Rahmadewi, and Y. Saragih, "IMPLEMENTASI MODUL TRANSRECEIVER NRF24L01 SEBAGAI PENGIRIM DAN PENERIMA DATA NIRKABEL PADA ALAT SISTEM MONITORING PERINGATAN DINI BANJIR," vol. 6, no. 1, pp. 81-86.
- [10] A. S. Prastiwi, I. Munadhif, I. Rachman, R. Y. Adhitya, and R. Indarti, "Integrasi Sistem Komunikasi Modbus TCP / IP pada PLC Siemens S7-1200 , ESP32 , dan HMI," vol. 10, pp. 234-244, 2023.
- [11] Academy Edutic.ID, "ThingSpeak : Platform IoT untuk Monitoring Data," PT. Multi Technology Solutions. [Online]. Available: <https://academy.edutic.id/thingspeak-platform-iot-untuk-monitoring-data/>
- [12] I. Mas'ud and I. Anshory, "Implementation of Variable Frequency Drive and Modbus RTU RS-485 Communication for Induction Motor Speed Control [Implementasi Variable Frequency Drive dan Komunikasi Modbus RTU RS-485 untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi]," pp. 1-12.
- [13] B. Nursakinah, K. Syafitri, M. A. Wijaya, and F. Fahlapi, "ANALISIS PENGARUH JARAK DAN HALANGAN PADA TRANSMISII DATA JARINGAN NIRKABEL DENGAN MENGGUNAKAN METODE SIGNAL- TO- NOISE RATIO (SNR)," vol. 6, pp. 183-197, 2025.
- [14] Faruq, "5 BAB II DASAR TEORI 2.1 Wireless Local Area Network (WLAN)," Semarang, 2020.
- [15] N. Sa'adah *et al.*, "Analisa Performansi Komunikasi Lora (Long Range) pada Sistem Monitoring Buoy di Laut," *Indones. J. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 6, pp. 10001-10011, 2024.
- [16] M. A. K. Md. Abbas Ali Khan, "COMPARISON AMONG SHORT RANGE WIRELESS NETWORKS: BLUETOOTH, ZIGBEE, & WI-FI," *DAFFODIL Int. Univ. J. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 1, 2016.
- [17] M. Al Fikram and N. Anggara, "IMPLEMENTASI ROTARY ENCODER PADA SISTEM PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC DENGAN KONTROL PID BERBASIS PLC DAN HMI SIEMENS," Sungailiat, 2024.
- [18] H. Rudito, A. Muis, and Purwito, "SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI TERHADAP KETIDAKSTABILAN TEGANGAN DAN PANAS MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATmega8535," *J. Teknol. ELEKTERIKA*, vol. 15, no. 1, pp. 11-15, 2018.
- [19] I. Handayani, H. Kusumahati, and A. N. Badriah, "Pemanfaatan Google Spreadsheet Sebagai Media Pembuatan Dashboard pada Official Site iFacility di Perguruan Tinggi," *J. Ilm. SISFOTENIKAJ*, vol. 7, no. 2, pp. 177-186, 2017.
- [20] A. Maier, A. Sharp, and Y. Vagapov, "Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things," pp. 0-5, 2017.
- [21] J. B. W. Halwa, N. M. Verdiansyah, S. Andarini, and I. R. Kusumasari, "Penerapan Spreadsheet Otomatis dalam Transformasi Digital pada Usaha Persewaan Alat Outdoor : Say Equipment ' s," no. 3, pp. 1-13, 2025.