

Perancangan *Smart Soft Starter* Berbasis IoT pada Motor Tiga Fasa

Muhammad Fatih Musyaffa^{a,1,*}, Usman Nursusanto, M.Pd^{b,2}

^{a,b} *Departement of Electrical and Electronic Engineering, Vocational Faculty, UNY*

¹ muhammad1968ft.2021@student.uny.ac.id; ² usmannursusanto@uny.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Received 10 August 2025

Revised 15 August 2025

Accepted 31 August 2025

Keywords

Soft Starter;
3 phase motor;
IoT;
Monitoring;
Control;

ABSTRACT

Three-phase induction motors are widely applied in industrial systems, yet the direct-on-line method often produces a high inrush current that may damage the motor and reduce power quality. This study designs an IoT-based Smart Soft Starter to address this issue while supporting modern automation needs. The device employs ESP32 as the main controller, ESP8266 for data communication, and PZEM-004t sensors to monitor phase voltage and current. The input voltage is gradually regulated by a TRIAC triggered through an opto-isolator, enabling the motor to reach nominal speed smoothly. Experimental results demonstrated that the starting current decreased from 1.0–1.2 A without the soft starter to 0.5–1.0 A with the proposed system. Furthermore, motor operating data were successfully transmitted in real time to the ThingsBoard platform, allowing remote monitoring. Therefore, the developed system effectively reduces inrush current, extends motor lifespan, and enhances IoT integration in industrial applications.

Motor induksi tiga fasa banyak digunakan di industri, namun metode direct-on-line masih menimbulkan lonjakan arus awal yang tinggi sehingga dapat merusak motor dan menurunkan kualitas daya listrik. Penelitian ini merancang Smart Soft Starter berbasis IoT untuk mengatasi masalah tersebut sekaligus mendukung sistem otomasi modern. Perangkat menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, ESP8266 untuk komunikasi data, serta sensor PZEM-004t guna memantau arus dan tegangan setiap fasa. Tegangan awal dikendalikan melalui TRIAC yang dipicu oleh opto-isolator, sehingga motor menerima suplai daya bertahap hingga mencapai kecepatan nominal dengan lebih halus. Hasil pengujian menunjukkan penurunan arus starting dari 1,0–1,2 A tanpa soft starter menjadi 0,5–1,0 A dengan sistem ini. Selain itu, data operasi motor berhasil dikirim secara real-time ke ThingsBoard, memungkinkan pemantauan jarak jauh. Dengan demikian, sistem yang dirancang efektif menekan arus awal, memperpanjang umur motor, sekaligus mendukung integrasi IoT dalam industri.

1. Introduction

Motor listrik tiga fasa berfungsi sebagai penggerak utama dalam berbagai aplikasi industri, seperti pompa, kompresor, dan konveyor. Efisiensi tinggi dan kemampuan menangani beban besar membuat motor ini banyak digunakan di sektor manufaktur dan proses. Namun, metode direct-on-

line masih umum dipakai untuk menyalakan motor, meskipun menimbulkan lonjakan arus awal yang sangat tinggi. Lonjakan arus tersebut dapat menyebabkan kerusakan motor dan menurunkan kestabilan sistem tenaga listrik [1].

Sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan lonjakan arus saat starting, soft starter konvensional diperkenalkan. Soft starter bekerja dengan mengatur tegangan input secara bertahap menggunakan komponen semikonduktor seperti TRIAC atau thyristor, sehingga motor dapat mencapai kecepatan nominal secara halus dan tanpa hentakan. Teknologi ini banyak diterapkan pada aplikasi pompa, blower, dan conveyor yang membutuhkan pengaturan torsi awal yang stabil. Meskipun demikian, soft starter konvensional biasanya masih memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas pengaturan dan integrasi dengan sistem digital atau IoT modern [2].

Dalam beberapa studi, sistem soft starter konvensional kini mulai digantikan oleh perangkat berbasis mikrokontroler dan sistem kontrol berbasis frekuensi (inverter), yang menawarkan efisiensi lebih tinggi dan kemampuan monitoring yang lebih baik. Namun, soft starter konvensional tetap relevan untuk aplikasi industri berskala kecil dan menengah karena kemudahan implementasinya dan biaya yang relatif rendah [3].

Teknologi soft starter menawarkan solusi untuk mengurangi arus awal dengan mengatur tegangan masuk secara bertahap. Walau begitu, sebagian besar soft starter konvensional belum mendukung pemantauan kondisi motor secara real-time. Keterbatasan ini membuat pengguna tidak dapat memonitor parameter penting seperti arus dan tegangan dari jarak jauh (Meliala & Sari, 2023).

Masalah semakin kompleks karena masih minim integrasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem kontrol motor. Kurangnya adopsi teknologi ini membatasi otomatisasi dan monitoring berbasis data yang menjadi pilar industri modern [4]. Oleh karena itu, perlu dirancang sistem smart soft starter untuk motor tiga fasa yang dapat mengatur starting secara halus, memantau kondisi motor secara real-time, serta menganalisis performa menggunakan IoT. Inovasi ini mendukung transformasi industri menuju otomasi cerdas yang berkelanjutan [5].

2. Pendekatan Pemecahan Masalah

2.1 Motor Induksi 3 Fasa

Motor 3 fasa merupakan salah satu jenis motor listrik arus bolak-balik yang paling banyak digunakan dalam industri karena efisiensinya yang tinggi, kestabilan operasional, dan kemampuannya untuk menghasilkan torsi yang besar. Motor ini beroperasi dengan menggunakan tiga fase arus listrik yang saling bergantian fasa sebesar 120 derajat, yang bersama-sama membentuk medan magnet berputar. Medan magnet ini kemudian mendorong rotor untuk berputar, menciptakan energi mekanik dari energi listrik. Karakteristik ini menjadikan motor 3 fasa unggul dalam aplikasi yang membutuhkan tenaga besar dan operasi kontinu. Dibandingkan dengan motor satu fasa, motor 3 fasa memiliki distribusi beban yang lebih merata sehingga mengurangi getaran dan memperpanjang umur pemakaian.

2.2 Kendali Motor 3 Fasa

Kendali motor 3 fasa merupakan teknik untuk mengatur pengoperasian motor induksi agar dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan beban, baik dari sisi kecepatan, arah putaran, maupun perlindungan terhadap kondisi abnormal. Pengendalian ini penting untuk memastikan efisiensi energi, keandalan sistem, serta memperpanjang umur motor. Dalam aplikasi industri, sistem kendali motor 3 fasa dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu kendali manual (menggunakan saklar, kontaktor, atau relay) dan kendali otomatis (menggunakan mikrokontroler, PLC, atau inverter) (Pranata & Arfianto, 2018).

2.3 Voltage Dip

Voltage dip, atau biasa disebut juga sag tegangan, adalah fenomena penurunan tegangan listrik sesaat hingga di bawah 90% dari tegangan nominal, yang biasanya berlangsung dalam rentang waktu 10 milidetik hingga 1 menit. Voltage dip terjadi akibat adanya lonjakan arus sesaat, seperti pada saat

motor induksi besar dinyalakan, adanya gangguan hubung singkat, atau akibat penambahan beban besar secara tiba-tiba [6]. Dalam konteks kelistrikan industri, voltage dip sering menyebabkan gangguan operasional, kerusakan alat elektronik, bahkan potensi downtime produksi.

2.4 Inrush Current

Inrush current atau arus masuk awal adalah lonjakan arus listrik yang terjadi sesaat setelah perangkat listrik dihidupkan, terutama pada motor listrik, transformator, dan peralatan berbeban induktif lainnya. Inrush current dapat jauh lebih besar dibandingkan dengan arus nominal perangkat tersebut dalam kondisi normal. Fenomena ini disebabkan oleh pengisian mendadak kapasitansi internal dan magnetisasi inti besi yang memerlukan arus tinggi pada saat start-up [7].

2.5 Soft Starter

Soft starter adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengendalikan arus awal dan tegangan yang diberikan ke motor listrik selama proses starting. Fungsi utama soft starter adalah mengurangi inrush current yang tinggi serta mengendalikan torsi mekanis pada saat motor mulai beroperasi, sehingga dapat memperpanjang umur motor dan sistem mekanis yang terhubung. Dengan mengatur tegangan secara bertahap, soft starter mampu membuat motor berakselerasi lebih halus hingga mencapai kecepatan penuh, tanpa menimbulkan guncangan atau lonjakan arus yang berbahaya [5].

2.6 ESP 32

ESP32 adalah mikrokontroler berbasis sistem-on-chip (SoC) yang dikembangkan oleh Espressif Systems, yang merupakan pengembangan dari seri sebelumnya yaitu ESP8266. Mikrokontroler ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan perangkat berbasis Internet of Things (IoT) dengan integrasi fitur Wi-Fi dan Bluetooth dalam satu chip. Berkat fleksibilitasnya, ESP32 menjadi sangat populer dalam berbagai aplikasi otomasi, termasuk dalam sistem monitoring dan kendali jarak jauh, smart home, serta sistem kontrol industri [8]. Keunggulan utama dari ESP32 adalah kemampuannya untuk berkomunikasi secara nirkabel tanpa memerlukan modul tambahan, yang menjadikannya ideal untuk sistem seperti soft starter cerdas berbasis IoT.

2.7 TRIAC

TRIAC (Triode for Alternating Current) adalah salah satu komponen semikonduktor yang digunakan secara luas dalam sistem pengendali daya listrik, khususnya untuk arus bolak-balik (AC). TRIAC mampu menghantarkan arus listrik di kedua arah ketika diberikan sinyal pemicu (gate), menjadikannya sangat efisien untuk mengatur beban AC seperti motor, lampu, dan pemanas. Berbeda dengan SCR (Silicon Controlled Rectifier) yang hanya menghantarkan arus dalam satu arah, TRIAC dapat mengontrol arus pada kedua siklus gelombang AC (positif dan negatif), sehingga lebih cocok digunakan dalam aplikasi pengatur daya dua arah seperti sistem soft starter motor 3 fasa [9].

2.8 Optoisolator

Opto-isolator, atau opto-coupler, adalah komponen elektronik yang digunakan untuk menghubungkan dua bagian dari sistem elektronik secara listrik tanpa kontak langsung, melainkan melalui sinyal optik. Komponen ini terdiri dari LED (biasanya inframerah) sebagai pemancar cahaya dan fototransistor atau fototriac sebagai penerima cahaya. Ketika arus dialirkan ke LED, ia memancarkan cahaya yang akan ditangkap oleh elemen penerima, sehingga mengaktifkan sisi keluaran [10].

2.9 Sensor PZEM-004t

PZEM-004T adalah modul pengukuran listrik AC yang dirancang untuk membaca parameter penting seperti tegangan, arus, daya aktif (watt), energi aktif (kWh), frekuensi, dan faktor daya (power factor). Modul ini banyak digunakan dalam sistem monitoring berbasis mikrokontroler, terutama pada proyek IoT (Internet of Things), karena kemudahannya integrasinya dan bentuknya yang kompak. Modul ini menggunakan komunikasi berbasis protokol Modbus RTU yang berjalan melalui antarmuka UART (TTL) atau RS485, sehingga memungkinkan pertukaran data secara real-time

antara PZEM dan mikrokontroler seperti ESP32, ESP8266, atau Arduino. Keunggulan lainnya adalah PZEM-004T memiliki kemampuan untuk menyimpan data energi secara kumulatif meskipun terjadi pemutusan daya, yang berguna dalam pemantauan energi jangka panjang [11].

2.10 Internet of Things

Pada proyek akhir ini, penerapan IoT dilakukan menggunakan mikrokontroler ESP8266 yang berfungsi sebagai modul komunikasi dan pusat monitoring. ESP8266 terhubung ke jaringan WiFi untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor tegangan dan arus (PZEM-004T) menuju platform ThingsBoard. Platform tersebut digunakan untuk menampilkan parameter listrik seperti tegangan, arus, serta grafik perubahan nilai dalam waktu nyata (real-time monitoring). Dengan integrasi ini, pengguna dapat memantau kondisi motor tiga fasa secara langsung melalui dashboard IoT tanpa harus berada di lokasi alat [4].

Selain itu, sistem IoT dalam alat ini juga memberikan nilai tambah berupa efisiensi dan keamanan operasi motor. Data yang dikirimkan dari ESP8266 memungkinkan analisis terhadap kestabilan arus dan tegangan selama proses soft start yang dikendalikan oleh ESP32 dan komponen TRIAC. Dengan demikian, hubungan antara sistem IoT dan perangkat soft starter menciptakan sinergi antara control system dan monitoring system, menghasilkan sistem yang tidak hanya mampu mengurangi lonjakan arus awal tetapi juga memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan jarak jauh serta perawatan prediktif [5].

3. KONSEP RANCANGAN SISTEM

Proses dan konsep perancangan sistem dalam proyek akhir berjudul "Perancangan Smart Soft Starter Berbasis Iot Pada Motor 3 Fasa" disusun secara terstruktur dan divisualisasikan melalui diagram alir (flow chart) pada Gambar 3.1. Diagram ini bertujuan untuk memudahkan pemahaman terhadap keseluruhan alur kerja sistem, yang mencakup tahapan identifikasi dan analisis kebutuhan, perencanaan, perakitan, hingga pengujian perangkat secara real-time menggunakan platform IoT.

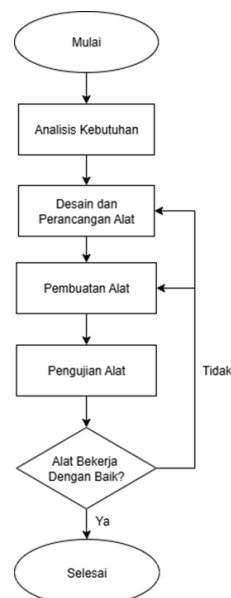


Fig. 1 Diagram Alir dan Konsep Perancangan Alat

Berdasarkan diagram alur pada Gambar 3.1 yang menggambarkan tahapan proses pengembangan sistem alat secara sistematis, dimulai dari tahap awal hingga evaluasi akhir. Proses dimulai pada tahap "Mulai", yang menandakan inisiasi proyek. Tahapan pertama adalah analisis, di mana dilakukan identifikasi kebutuhan dan permasalahan yang ingin diselesaikan oleh sistem. Pada

tahap ini, dilakukan kajian terhadap aspek teknis dan fungsional, termasuk pemilihan komponen, spesifikasi sistem, dan tujuan dari alat yang akan dikembangkan. Setelah analisis selesai, tahap selanjutnya adalah desain, yang mencakup perancangan sistem secara menyeluruh, baik dari sisi perangkat keras seperti rangkaian elektronik dan layout panel, maupun perangkat lunak seperti pemrograman mikrokontroler dan integrasi antarmuka monitoring.

3.1 Identifikasi dan Analisis Kebutuhan

Penelitian ini juga didasari oleh beberapa permasalahan yang peneliti dapatkan ketika melakukan prakti industri di PT. PLN Indonesia Power terdapat beberapa permasalahan diantaranya adalah karena banyaknya motor 3 fasa yang digunakan menyebabkan lonjakan arus yang sangat tinggi. Sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut, dibutuhkan sistem smart soft starter yang dapat mengatur penyalan motor secara bertahap untuk menurunkan arus start dan mengurangi stres mekanis dan termal pada motor. Sistem ini dirancang untuk memberikan kontrol sudut penyulutan TRIAC yang diatur oleh mikrokontroler ESP32, dengan dukungan dari opto-isolator (seperti MOC3021) dan zero crossing detector (seperti PC817) untuk sinkronisasi dengan sinyal AC. Sistem juga membutuhkan tiga buah sensor PZEM-004T V3, masing-masing terpasang pada fasa R, S, dan T, untuk mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya secara real-time. Penggunaan PZEM-004T sangat relevan karena sensor ini mendukung komunikasi Modbus RTU yang kompatibel dengan ESP32, serta memiliki akurasi yang baik untuk pemantauan sistem motor di lingkungan industri.

3.2 Desain dan Perencanaan Alat

Langkah awal dalam proses perancangan sistem dimulai dengan tahap perencanaan kebutuhan, yang diawali melalui kegiatan studi literatur secara mendalam dari berbagai sumber referensi yang relevan dan terkini. Kegiatan ini dilakukan untuk mengidentifikasi serta menentukan jenis-jenis komponen dan material yang diperlukan dalam proses pengembangan sistem. Tujuan utama dari studi literatur ini adalah untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik alat dan bahan yang sesuai dengan spesifikasi teknis serta kebutuhan fungsional dari sistem yang akan dirancang. Setelah informasi yang dibutuhkan terkumpul dari hasil kajian tersebut.

Dalam perancangan sistem smart soft starter motor 3 fasa, penggunaan blok diagram dan flowchart memiliki peranan penting sebagai alat bantu visual dalam menjelaskan konsep dan alur kerja sistem. Blok diagram digunakan untuk menunjukkan struktur sistem secara keseluruhan, termasuk hubungan antar komponen utama seperti sensor arus dan tegangan (PZEM-004t), mikrokontroler ESP32, ESP8266, TRIAC, serta koneksi ke aplikasi Thingsboard melalui jaringan Wi-Fi. Dengan melihat blok diagram, pengembang dapat memahami jalur aliran data dan energi dari sumber listrik hingga ke motor dan sistem monitoring, sehingga mempermudah proses perancangan dan integrasi perangkat keras.

Tahapan perancangan elektrikal dalam proyek ini bertujuan untuk menyusun koneksi antar komponen elektronik sehingga membentuk sistem pendeteksi gangguan pada jaringan tegangan rendah yang terintegrasi dan bekerja secara efisien. Pada proses ini, setiap *wiring* antara pin atau terminal satu komponen dengan komponen lainnya diatur secara terstruktur guna memastikan aliran data dan daya berlangsung sesuai dengan fungsi masing-masing. Selain aspek konektivitas, tahap ini juga mencakup perencanaan posisi dan penataan seluruh elemen elektronik agar sistem menjadi lebih terorganisir, hemat ruang, serta aman saat digunakan.

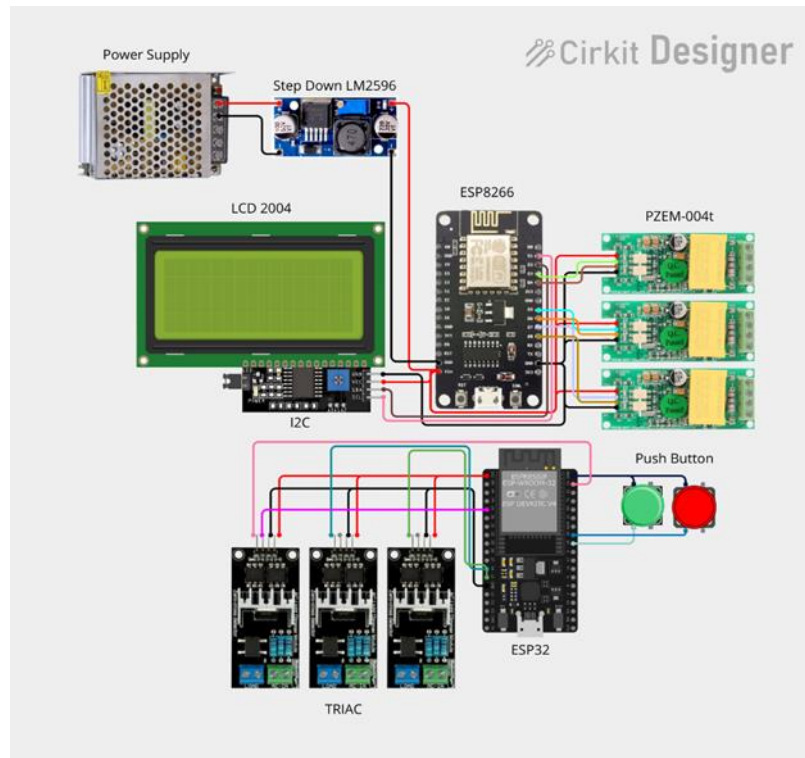


Fig. 2 Desain Elektrikal

Desain mekanikal dalam proyek Smart Soft Starter Motor 3 Fasa bertujuan untuk memastikan penempatan seluruh komponen elektronik secara terstruktur dan aman dalam sebuah wadah fisik yang kompak dan praktis. Untuk mendukung kebutuhan sistem dan kemudahan dalam pengoperasian maupun perawatan,

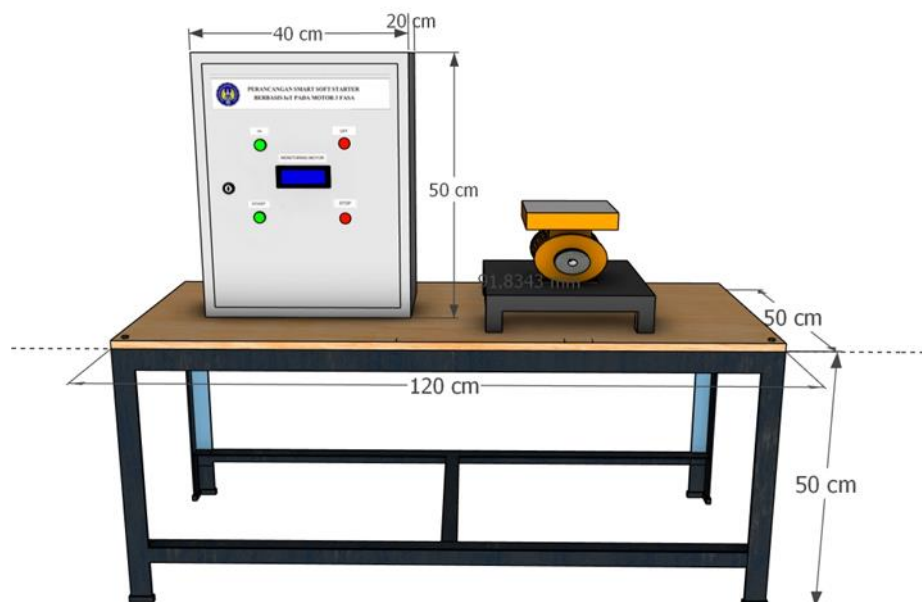


Fig. 3 Desain Mekanikal

Berdasarkan pada gambar desain mekanikal ini menggunakan panel box berukuran 30 x 40 cm sebagai enclosure utama. Ukuran ini dipilih dengan mempertimbangkan ruang yang cukup untuk menampung seluruh komponen seperti MCB 3 fasa, sensor tegangan dan arus, opto-isolator, TRIAC, mikrokontroler ESP32 dan ESP8266, serta terminal koneksi dan wiring.

Penataan komponen dalam panel box disesuaikan dengan prinsip ergonomi dan keamanan.

Komponen dengan tegangan tinggi seperti MCB dan TRIAC ditempatkan terpisah dari rangkaian kendali mikrokontroler untuk menghindari gangguan elektromagnetik dan risiko hubungan pendek. Jalur kabel juga dirapikan menggunakan kabel tray atau ducting agar tidak saling bersilangan, memudahkan proses perawatan, serta menghindari panas berlebih di dalam panel.

3.3 Hasil dan Pembahasan

Perencanaan pengujian merupakan tahap penting dalam memastikan bahwa sistem Smart Soft Starter Motor 3 Fasa dapat berfungsi sesuai dengan rancangan dan tujuan pengembangannya. Tahapan ini dirancang untuk menguji baik aspek fungsionalitas maupun kinerja sistem, sehingga sistem tidak hanya berjalan tetapi juga bekerja secara efisien dan akurat. Pengujian dilakukan secara menyeluruh dengan melibatkan komponen utama seperti sensor, mikrokontroler, modul pemroses daya, serta sistem monitoring berbasis IoT. Dengan perencanaan yang sistematis, pengujian ini akan memberikan data valid mengenai keandalan sistem dan menjadi acuan dalam proses evaluasi maupun pengembangan selanjutnya.

3.4 Pengujian Fungsional

Uji fungsional dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen dan subsistem bekerja sesuai dengan fungsinya. Pengujian ini mencakup seluruh proses operasional mulai dari input tegangan hingga keluaran yang menggerakkan motor 3 fasa, serta sistem kendali dan monitoring berbasis software Thingsboard. Fokus utama pengujian ini adalah validasi terhadap fungsi pengaturan arus secara bertahap saat starting, respon kontrol dari ESP32, ESP8266 dan kemampuan sistem dalam memberikan informasi secara real-time melalui platform IoT.

3.5 Pengujian Kinerja

Uji kinerja bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam mengurangi lonjakan arus saat starting motor dan menilai akurasi sistem dalam membaca parameter kelistrikan seperti arus dan tegangan. Selain itu, pengujian ini juga digunakan untuk mengetahui keandalan pengiriman data dan kemampuan sistem dalam beroperasi dalam kondisi beban nyata. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kondisi pengoperasian motor dengan dan tanpa sistem soft starter, serta mencatat data yang ditampilkan oleh sistem monitoring.

Table 1. Pengujian Kinerja Fasa R menggunakan beban Motor Induksi

Waktu	Hasil Pengukuran		Hasil Pengukuran Alat				$(\Delta)^2$	
	PZEM-004t		Ukur				Arus	Tegangan
	Arus	Tegangan (R-N)	Arus	Tegangan				
				R-S	R-T	R-N		
1	0,47	149	1	264	185	139	0.2809	100
2	0,43	155	0,48	314	281	150	0.0025	25
3	0,47	170	0,48	335	329	166	0.0001	16
4	0,47	170	0,48	335	329	166	0.0001	16
5	0,41	174	0,51	360	336	177	0.0100	9
6	0,41	174	0,51	360	336	177	0.0100	9
7	0,41	182	0,34	384	346	180	0.0049	4
8	0,41	182	0,34	384	346	180	0.0049	4
9	0,46	210	0,48	385	379	212	0.0004	4
10	0,46	210	0,48	385	379	212	0.0004	4
11	0,46	215	0,44	386	383	216	0.0004	1
12	0,46	215	0,44	386	383	216	0.0004	1
13	0,42	217	0,36	373	366	219	0.0036	4

14	0,42	217	0,36	373	366	219	0.0036	4
15	0,41	221	0,38	380	379	220	0.0009	1
16	0,41	221	0,38	380	379	220	0.0009	1
17	0,45	220	0,37	377	375	220	0.0064	0
18	0,45	220	0,37	377	375	220	0.0064	0
19	0,43	220	0,39	378	381	219	0.0016	1
20	0,43	220	0,39	378	381	219	0.0016	1
21	0,42	221	0,38	380	379	220	0.0016	1
22	0,42	221	0,39	378	375	220	0.0009	1
23	0,43	220	0,38	377	375	220	0.0025	0
24	0,42	220	0,38	378	381	219	0.0016	1
25	0,42	220	0,38	378	381	219	0.0016	1

pengujian kinerja fasa R saat menggunakan beban motor induksi, dengan membandingkan pengukuran dari PZEM-004t dan alat ukur referensi. Data dicatat setiap dua detik, mulai dari detik ke-1 hingga detik ke-20, meliputi arus, tegangan, dan putaran motor (RPM). Pada hasil PZEM-004t, arus berkisar antara 0,43 A hingga 0,45 A di awal, kemudian meningkat hingga 0,45 A pada detik ke-14, sebelum sedikit turun ke 0,43 A di detik ke-20. Tegangan awal tercatat 149 V dan berangsur meningkat hingga 220 V di akhir pengujian.

Alat ukur referensi mencatat arus dengan rentang 0,39 A–0,48 A serta tegangan antar fasa (R-S, R-T, dan R-N) yang berubah sesuai kondisi beban motor. Berdasarkan hasil perhitungan Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Squared Error (RMSE) pada parameter arus dan tegangan fasa (R–N), dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang baik terhadap alat ukur acuan. Nilai MSE arus yang sangat kecil menunjukkan bahwa perbedaan hasil pembacaan arus antara sensor dan alat ukur acuan hampir tidak signifikan, dengan rata-rata kesalahan sebesar sekitar 0,12 A. Sementara itu, nilai MSE tegangan menunjukkan adanya rata-rata selisih pembacaan sekitar 2,88 volt, yang masih tergolong dalam batas wajar untuk sistem pengukuran berbasis sensor. Secara keseluruhan, Ditunjukkan pada tabel ini bahwa akurasi pengukuran PZEM-004T terhadap alat ukur referensi meningkat seiring berjalannya pengujian, dengan tegangan ditunjukkan mencapai kestabilan lebih cepat dibanding arus, sedangkan RPM motor tercatat relatif konstan selama beban bekerja.

Table 2. Pengujian Kinerja Fasa S menggunakan beban Motor Induksi

Waktu	Hasil Pengukuran PZEM-004t		Hasil Pengukuran Alat Ukur				<i>Error (%)</i>	
	Arus	Tegangan (S-N)	Arus	Tegangan			Arus	Tegangan
				S-R	S-T	S-N		
1	0,49	128	0,8	264	271	139	0.0961	121
2	0,42	142	0,48	314	329	151	0.0036	81
3	0,42	172	0,50	335	335	177	0.0064	25
4	0,42	172	0,50	335	335	177	0.0064	25
5	0,46	172	0,49	360	346	169	0.0009	9
6	0,46	172	0,49	360	346	169	0.0009	9
7	0,49	186	0,50	384	379	190	0.0001	16
8	0,49	186	0,50	384	379	190	0.0001	16
9	0,44	186	0,44	385	389	187	0.0000	1

10	0,44	186	0,44	385	389	187	0.0000	1
11	0,44	220	0,44	386	395	221	0.0000	1
12	0,44	220	0,44	386	395	221	0.0000	1
13	0,46	220	0,43	373	395	223	0.0009	9
14	0,46	220	0,43	373	395	223	0.0009	9
15	0,49	220	0,43	380	383	224	0.0036	16
16	0,49	220	0,43	380	383	224	0.0036	16
17	0,47	222	0,40	377	381	227	0.0049	25
18	0,47	222	0,40	377	381	227	0.0049	25
19	0,47	221	0,41	378	387	226	0.0036	25
20	0,47	221	0,41	378	387	226	0.0036	25
21	0,46	221	0,40	380	379	223	0.0036	4
22	0,42	221	0,39	378	375	220	0.0009	1
23	0,43	220	0,38	377	375	220	0.0025	0
24	0,43	220	0,38	378	381	219	0.0025	1
25	0,43	220	0,38	378	381	219	0.0025	1

hasil pengujian fasa S menggunakan beban motor induksi, dengan perbandingan data antara PZEM-004T dan alat ukur referensi. Pengukuran dilakukan setiap dua detik dari detik ke-1 hingga detik ke-20, mencakup parameter arus, tegangan, dan kecepatan putar motor (RPM). Pada hasil PZEM-004t, arus awal tercatat sebesar 0,49 A di detik ke-1, kemudian fluktuatif di kisaran 0,42–0,47 A hingga akhir pengujian. Tegangan awal 128 V terus meningkat hingga mencapai 221 V pada detik ke-20. Alat ukur referensi mencatat arus sedikit lebih rendah, berkisar antara 0,38–0,46 A, dengan tegangan antar fasa (S-R, S-T, S-N) yang berubah mengikuti kondisi beban motor. Berdasarkan hasil perhitungan Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Squared Error (RMSE) pada parameter arus dan tegangan fasa (R–N), dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang baik terhadap alat ukur acuan. Nilai MSE arus yang sangat kecil menunjukkan bahwa perbedaan hasil pembacaan arus antara sensor dan alat ukur acuan hampir tidak signifikan, dengan rata-rata kesalahan sebesar sekitar 0,10 A. Sementara itu, nilai MSE tegangan menunjukkan adanya rata-rata selisih pembacaan sekitar 4,30 volt, yang masih tergolong dalam batas wajar untuk sistem pengukuran berbasis sensor. Secara keseluruhan, tabel 4.15 diperoleh data bahwa PZEM-004t dapat mengikuti tren pengukuran alat referensi dengan tingkat akurasi tegangan yang relatif lebih cepat stabil dibandingkan arus.

Table 3. Pengujian Kinerja Fasa T menggunakan beban Motor Induksi

Waktu	Hasil Pengukuran PZEM-004t		Hasil Pengukuran Alat Ukur				Error (%)	
	Arus	Tegangan (T-N)	Arus	Tegangan			Arus	Tegangan
				T-R	T-S	T-N		
1	0,45	152	0,50	185	271	141	0.0025	121
2	0,42	173	0,49	281	329	164	0.0049	81
3	0,45	173	0,45	329	335	153	0.0000	400
4	0,45	173	0,45	329	335	153	0.0000	400
5	0,50	176	0,53	336	346	158	0.0009	324
6	0,50	176	0,53	336	346	158	0.0009	324
7	0,46	176	0,50	346	379	176	0.0016	0

8	0,46	176	0,50	346	379	176	0.0016	0
9	0,45	188	0,38	379	389	184	0.0049	16
10	0,45	188	0,38	379	389	184	0.0049	16
11	0,49	188	0,48	383	395	186	0.0001	4
12	0,49	188	0,48	383	395	186	0.0001	4
13	0,49	215	0,44	366	395	212	0.0025	9
14	0,49	215	0,44	366	395	212	0.0025	9
15	0,48	215	0,45	379	383	217	0.0009	4
16	0,48	215	0,45	379	383	217	0.0009	4
17	0,45	220	0,40	375	381	220	0.0009	0
18	0,45	220	0,40	375	381	220	0.0025	0
19	0,49	221	0,43	381	387	219	0.0036	4
20	0,49	221	0,43	381	387	219	0.0036	4
21	0,46	221	0,40	380	379	223	0.0036	4
22	0,42	221	0,40	378	375	220	0.0004	1
23	0,43	220	0,39	377	375	220	0.0016	0
24	0,43	220	0,39	378	381	219	0.0016	1
25	0,43	220	0,39	378	381	219	0.0016	1

hasil pengujian fasa T dengan beban motor induksi, membandingkan data dari PZEM-004t dengan alat ukur referensi. Pengambilan data dilakukan dari detik ke-1 hingga detik ke-20, mencakup arus, dan tegangan. Pada pengukuran PZEM-004t, arus awal tercatat 0,45 A di detik pertama, mengalami fluktuasi di kisaran 0,42–0,50 A selama pengujian. Tegangan awal sebesar 152 V meningkat secara bertahap hingga mencapai 221 V pada detik ke-20. Pengukuran arus sedikit berbeda antara 0,38–0,50 A, ditunjukkan oleh alat ukur referensi, dan tegangan antar fasa (T-R, T-S, T-N) dicatat berubah mengikuti kondisi operasi motor. Berdasarkan hasil perhitungan Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Squared Error (RMSE) pada parameter arus dan tegangan fasa (R–N), dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang baik terhadap alat ukur acuan. Nilai MSE arus yang sangat kecil menunjukkan bahwa perbedaan hasil pembacaan arus antara sensor dan alat ukur acuan hampir tidak signifikan, dengan rata-rata kesalahan sebesar sekitar 44 mA. Sementara itu, nilai MSE tegangan menunjukkan adanya rata-rata selisih pembacaan sekitar 8,32 volt, yang masih tergolong dalam batas wajar untuk sistem pengukuran berbasis sensor. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa PZEM-004t mampu mengikuti pola pengukuran alat referensi dengan error tegangan yang relatif cepat stabil, meskipun error arus cenderung berfluktuasi sepanjang pengujian.

3.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil serangkaian pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem Smart Soft Starter motor induksi tiga fasa berbasis IoT, dapat dianalisis beberapa aspek utama meliputi efektivitas penurunan arus awal (*inrush current*), kestabilan tegangan, kecepatan putar motor (RPM), serta tingkat akurasi pengukuran dari sensor PZEM-004t jika dibandingkan dengan alat ukur referensi. Motor induksi tiga fasa dikenal memiliki arus awal yang relatif tinggi saat proses *start-up*, yang umumnya bisa mencapai 5–7 kali lipat arus nominal motor. Lonjakan arus ini berpotensi menyebabkan *voltage drop* pada sistem kelistrikan, yang tidak hanya mempengaruhi motor itu sendiri, tetapi juga dapat mengganggu peralatan listrik lain yang terhubung pada jaringan yang sama. Selain itu, lonjakan arus yang besar juga memberikan beban mekanis yang tinggi pada poros motor, kopling, dan sistem transmisi, sehingga berpotensi memperpendek umur pakai komponen. Dengan menggunakan *soft starter*, arus awal dapat dikurangi secara signifikan melalui pengaturan sudut penyulutan TRIAC yang bertahap berdasarkan deteksi *zero crossing*. Metode ini

memungkinkan tegangan yang diberikan ke motor meningkat secara perlahan, sehingga torsi dan kecepatan juga naik secara bertahap. Dari hasil pengujian, terlihat bahwa sistem *soft starter* yang dirancang mampu menurunkan arus awal dari kisaran 1,0–1,2 A (tanpa *soft starter*) menjadi sekitar 0,50–1,0 A saat start-up. Penurunan ini bukan hanya mengurangi tekanan pada sistem kelistrikan, tetapi juga membuat percepatan motor menjadi lebih halus

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem Smart Soft Starter motor induksi tiga fasa berbasis IoT terbukti efektif menurunkan arus awal (inrush current) dari kisaran 1,0–1,2 A menjadi sekitar 0,50–1,0 A melalui pengaturan sudut penyulutan TRIAC secara bertahap berbasis deteksi zero crossing, sehingga mengurangi voltage drop, membuat percepatan motor lebih halus, dan menekan beban mekanis pada poros, bearing, serta sistem transmisi yang berpotensi memperpanjang umur komponen. Kestabilan tegangan juga meningkat karena penurunan voltage drop pada saat start-up, sementara kecepatan akhir motor tetap sekitar 1500 rpm namun dicapai secara bertahap sehingga mechanical stress berkurang. Berdasarkan hasil perhitungan Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Squared Error (RMSE) pada parameter arus dan tegangan fasa (R–N), dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang baik terhadap alat ukur acuan. Nilai MSE arus yang sangat kecil menunjukkan bahwa perbedaan hasil pembacaan arus antara sensor dan alat ukur acuan hampir tidak signifikan, dengan rata-rata kesalahan sebesar sekitar 44 mA. Sementara itu, nilai MSE tegangan menunjukkan adanya rata-rata selisih pembacaan sekitar 2,88 volt, yang masih tergolong dalam batas wajar untuk sistem pengukuran berbasis sensor. Perbandingan pengoperasian motor memperlihatkan bahwa tanpa soft starter arus awal lebih tinggi dan percepatan sangat cepat namun disertai hentakan besar serta potensi gangguan tegangan, sedangkan dengan soft starter arus awal berkurang 10–50%, tegangan lebih stabil, percepatan halus, dan tekanan mekanis menurun. Integrasi mikrokontroler ESP8266/ESP32 dengan platform ThingsBoard memungkinkan pemantauan dan kontrol motor secara real-time melalui internet dengan pengiriman data setiap detik tanpa packet loss signifikan, menampilkan grafik historis untuk analisis tren dan deteksi anomali, serta menyediakan fitur kontrol ON/OFF jarak jauh yang meningkatkan fleksibilitas operasional dan efisiensi perawatan, sehingga secara keseluruhan sistem ini mampu meningkatkan performa, keandalan, dan efisiensi pengoperasian motor induksi tiga fasa.

4.2 Saran

Sistem pengendalian zero crossing sebaiknya dikembangkan agar mampu membaca dan mengatur sudut penyulutan untuk ketiga fasa secara sinkron. Hal ini dapat dilakukan dengan penyesuaian algoritma pada kode program (firmware) sehingga setiap fasa mendapatkan waktu penyulutan yang tepat dan seimbang. Dengan pengaturan yang presisi, tegangan suplai ke motor saat start-up dapat ditingkatkan secara bertahap dari 0 V hingga mencapai 380 V, sehingga proses percepatan motor berlangsung lebih halus, mengurangi hentakan arus (inrush current), serta menjaga kestabilan tegangan pada sistem kelistrikan.

References

- [1] Kurniawan, A. (2025). *ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN ARUS STARTING SOFT STARTER PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA DI PT KRAKATAU TIRTA INDUSTRI* (Doctoral dissertation, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa).
- [2] Syawali, R., & Meliala, S. (2023). IoT-based three-phase induction motor monitoring system. *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, 3(1), 12-18.
- [3] Pranata, Y., Arfianto, T., & Taryana, N. (2018). Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Inverter 3 Fasa. *TELKA-Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, 4(2), 91-102.
- [4] Mubarak, R., Ismadi, V. D. Y. B., & Syafrudin, S. (2024). Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik pada Motor Induksi 3 Fase Berbasis Internet of Things dengan NodeMCU ESP8266. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, 2(6), 388-395.
- [5] Satria, M. A., Safaruddin, S., & Andre, A. D. (2022). Analisa Sistem Starting Dol (Direct on Line) Pada Motor Listrik Pt. Semen Baturaja. *Jurnal Multidisipliner BHARASUMBA*, 1(04), 395-402.
- [6] Addawami, F., & Putra, A. Y. W. (2022). Sistem Kerja Rangkaian Kontrol Star Delta Pada Motor 3 Fasa. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, 1(4), 56-65.
- [7] Priahutama, A. B., Sukmadi, T., & Setiawan, I. (2010). Perancangan Modul Soft Starting Motor Induksi 3 Fasa dengan ATMEGA 8535. *J Transm ISSN*, 814-1411.
- [8] Sumarta, P. (2024). DESAIN PENGGUNAAN VARIABLE FREQUENCY DRIVE (VFD) PADA STRATING-UP MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN METODE SINUSOIDAL PULSE-WIDTH MODULATION (SPWM). *JURNAL Al-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*.
- [9] Pinaryoga, G., Facta, M., & Handoko, S. (2016). ANALISIS PENGARUH VARIASI METODE PENGASUTAN MOTOR TERHADAP TEGANGAN DIP YANG TERJADI PADA JARINGAN KELISTRIKAN PT PERTAMINA RU VI DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 4(4), 965-971.
- [10] Arief, M., & MT, D. S. (2018). Perhitungan Dan Analisis Inrush Current Pada Transformator Berbasis Parameter Transformator. *Jurnal STT Yuppentek*, 9(1), 67-74.
- [11] Hartawan, I. N. B., & Sudiarsa, I. W. (2019). Analisis kinerja internet of things berbasis firebase real-time Database. *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, 2(1), 6-17.