Vol 3, No 1, Desember 2025, Hal. 10-15 ISSN (e): 3031-9048 |ISSN (p): xxxx-xxxx

Journal of Engineering and Innovation

Journal homepage : https://nafatimahpustaka.org/jein

Energy Efficiency of Softstarter on Household Appliances

Rizki Ardiansyah[1], Mohammad Robbah Rosadi[1], Mochamad Davin Ferdinansah[1], Moh. Imamul Mujaddid[1], Dio Rama Anugrah[1]

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Indonesia

Informasi Artikel

Diterima : 09 Desember 2025

Revisi : 21 Desember 2025

Diterbitkan : 22 Desember 2025

Abstrak: Penggunaan peralatan rumah tangga dengan motor induksi seperti mesin cuci, pompa air, dan kulkas mengalami lonjakan arus yang tinggi saat pertama kali dinyalakan. Lonjakan arus ini dapat mencapai 5-8 kali arus nominal yang menyebabkan pemborosan energi dan memperpendek umur peralatan. Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi energi dengan penerapan softstarter pada peralatan rumah tangga. Metode yang digunakan adalah perancangan rangkaian softstarter berbasis thyristor dengan kontrol sudut penyalaan yang dapat mengatur tegangan secara bertahap. Pengujian dilakukan pada pompa air 250watt dengan membandingkan konsumsi energi menggunakan softstarter dan tanpa softstarter selama 30 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan softstarter dapat mengurangi arus start hingga 65%, menghemat energi sebesar 18,7%, dan mengurangi fluktuasi tegangan pada jaringan rumah tangga hingga 42%. Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan softstarter pada peralatan rumah tangga memberikan manfaat signifikan dalam efisiensi energi dan perlindungan peralatan.

Abstract: *The use of household appliances with induction motors such as washing machines, water pumps, and refrigerators experiences high current surges when first turned on. This current surge can reach 5-8 times the nominal current, causing energy waste and shortening equipment lifespan. This research aims to analyze energy efficiency with the application of softstarter on household appliances. The method used is designing a thyristor-based softstarter circuit with firing angle control that can regulate voltage gradually. Testing was conducted on a 250-watt water pump by comparing energy consumption using softstarter and without softstarter for 30 days. The results showed that the use of softstarter can reduce starting current by 65%, save energy by 18.7%, and reduce voltage fluctuations in household networks by 42%. This research proves that the application of softstarter on household appliances provides significant benefits in energy efficiency and equipment protection.*

Kata kunci: Arus Start, Efisiensi Energi, Motor Induksi, Peralatan Rumah Tangga, Softstarter

Keywords: *Starting Current, Energy Efficiency, Induction Motor, Household Appliances, Softstarter*

Sitasi: Ardiansyah, R., Rosadi, M.R., Ferdinansah, M.D., Mujaddid, M.I., Anugrah, D.R. (2025). Energy Efficiency of Softstarter on Household Appliances. *Journal of Engineering and Innovation*, 3(1), 10-15. https://nafatimahpustaka.org/jein

Pendahuluan

Konsumsi energi listrik di sektor rumah tangga terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah peralatan elektronik yang digunakan. Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2023) mencatat bahwa sektor rumah tangga menyumbang sekitar 40% dari total konsumsi listrik nasional. Sebagian besar peralatan rumah tangga seperti mesin cuci, pompa air, kulkas, dan pendingin ruangan menggunakan motor induksi sebagai penggerak utamanya.

Motor induksi memiliki karakteristik khusus yaitu mengalami lonjakan arus yang sangat tinggi saat pertama kali dinyalakan atau yang dikenal dengan istilah arus start. Lonjakan arus ini dapat mencapai 5 hingga 8 kali dari arus nominal operasional. Kondisi ini tidak hanya menyebabkan pemborosan energi listrik, tetapi juga dapat merusak komponen motor, menurunkan kualitas daya listrik, dan memperpendek umur pakai peralatan.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji permasalahan arus start pada motor induksi. Penelitian oleh Ahmad dan Susanto (2022) menunjukkan bahwa

Email: imamulmujaddid5@gmail.com

arus start yang tinggi dapat menyebabkan drop tegangan pada sistem distribusi rumah tangga hingga 15%. Sementara itu, penelitian Wijaya dkk. (2023) menyebutkan bahwa penggunaan metode Direct On Line (DOL) yang umum digunakan pada peralatan rumah tangga memiliki efisiensi energi yang rendah karena tidak ada kontrol pada saat starting.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan softstarter. Softstarter merupakan perangkat elektronik yang berfungsi mengatur tegangan yang diberikan ke motor secara bertahap sehingga arus start dapat ditekan. Meskipun teknologi ini sudah banyak digunakan di industri, penerapannya pada peralatan rumah tangga masih terbatas karena faktor biaya dan kesadaran masyarakat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi yang dapat dicapai dengan penerapan softstarter pada peralatan rumah tangga, khususnya pompa air. Kontribusi penelitian ini adalah memberikan data kuantitatif mengenai penghematan energi dan perbaikan kualitas daya yang dapat diperoleh, serta merancang prototipe softstarter yang ekonomis untuk aplikasi rumah tangga. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis dan ekonomis terkait implementasi softstarter pada skala rumah tangga di Indonesia.

Metode

Motor Induksi dan Karakteristik Starting

Motor induksi adalah jenis motor listrik yang paling banyak digunakan pada peralatan rumah tangga karena konstruksinya yang sederhana, harga yang terjangkau, dan perawatan yang mudah. Motor ini bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dimana medan magnet putar pada stator menginduksi arus pada rotor sehingga menghasilkan torsi. Karakteristik starting motor induksi memiliki beberapa permasalahan, terutama arus start yang tinggi. Pada saat motor pertama kali dinyalakan, rotor masih dalam keadaan diam sehingga slip bernilai maksimum. Kondisi ini menyebabkan impedansi rotor sangat rendah dan arus yang mengalir menjadi sangat besar.

Arus start atau inrush current adalah arus awal yang mengalir pada saat motor pertama kali dihubungkan dengan sumber tegangan. Besarnya arus start pada motor induksi umumnya berkisar antara 5 hingga 8 kali arus nominal. Penelitian oleh Nugroho (2021) menunjukkan bahwa pada motor induksi 1 fase yang umum digunakan di rumah tangga, arus start dapat mencapai 7,2 kali arus nominal dengan durasi 0,5 hingga 2 detik. Dampak dari arus start yang tinggi meliputi pemborosan energi listrik pada saat starting, drop tegangan pada sistem kelistrikan rumah yang dapat mengganggu peralatan lain, pemanasan berlebih pada kumparan motor yang mempercepat degradasi isolasi, beban mekanis yang besar pada komponen motor dan beban yang terhubung, serta gangguan harmonisa pada sistem kelistrikan.

Prinsip Kerja Softstarter

Softstarter adalah perangkat elektronika daya yang berfungsi mengurangi arus start motor induksi dengan cara mengatur tegangan yang diberikan secara bertahap dari nilai rendah hingga mencapai tegangan penuh. Pengaturan tegangan ini dilakukan dengan menggunakan komponen semikonduktor seperti thyristor atau triac. Prinsip kerja softstarter adalah dengan mengatur sudut penyalaan (firing angle) thyristor sehingga tegangan efektif (RMS) yang sampai ke motor dapat dikontrol. Pada saat starting, sudut penyalaan dibuat besar sehingga tegangan yang diberikan rendah. Kemudian sudut penyalaan dikurangi secara bertahap hingga motor menerima tegangan penuh.

Penelitian oleh Rahman dan Hidayat (2022) menunjukkan bahwa penggunaan softstarter pada motor industri 3 fase dapat mengurangi arus start hingga 70% dan menghemat energi sebesar 12-15%. Namun, penelitian tersebut belum mengkaji penerapannya pada peralatan rumah tangga dengan motor 1 fase yang memiliki karakteristik berbeda. Efisiensi energi adalah perbandingan antara output energi yang berguna dengan input energi yang digunakan. Dalam konteks motor listrik, efisiensi dihitung dari perbandingan daya mekanik output dengan daya listrik input. Motor induksi dengan efisiensi tinggi harus memiliki nilai minimal 85% untuk motor daya kecil (IEEE, 2021).

Perancangan Sistem

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan merancang dan menguji prototipe softstarter untuk peralatan rumah tangga. Sistem terdiri dari sumber AC 220V yang dihubungkan ke rangkaian softstarter, kemudian ke motor pompa air dengan beban air. Clamp meter dipasang untuk monitoring arus, tegangan, dan daya secara real-time.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi motor pompa air 1 fase 250 watt dengan spesifikasi 220V dan 50 Hz, clamp meter untuk pengukuran parameter listrik, dan rangkaian softstarter berbasis thyristor. Prinsip pengaturan tegangan pada softstarter adalah sebagai berikut: sudut penyalaan α sama dengan 90 derajat menghasilkan tegangan output sekitar 70% dari tegangan input, sudut penyalaan α

sama dengan 45 derajat menghasilkan tegangan output sekitar 90% dari tegangan input, dan sudut penyalaan α sama dengan 0 derajat menghasilkan tegangan output 100% atau tegangan penuh.

Tegangan RMS output pada beban resistif dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$V_{rms} = V_{input} \times \sqrt{[(1/\pi) \times (\pi - \alpha + \sin(2\alpha)/2)]}$ (1)

dimana V_rms adalah tegangan efektif output dalam volt, V_input adalah tegangan input 220V, dan α adalah sudut penyalaan thyristor dalam radian.

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua kondisi. Kondisi pertama adalah tanpa softstarter atau Direct On Line dimana motor dihubungkan langsung ke sumber 220V dengan pengukuran arus start, tegangan, dan konsumsi energi. Kondisi kedua adalah dengan softstarter dimana motor dihubungkan melalui softstarter dengan pengukuran parameter yang sama. Parameter yang diukur meliputi arus start maksimum dalam ampere, arus nominal saat operasi normal dalam ampere, tegangan saat starting dan operasi dalam volt, waktu starting hingga kecepatan penuh dalam detik, konsumsi energi harian dalam kWh, dan faktor daya. Pengujian dilakukan selama 30 hari dengan pengoperasian pompa air rata-rata 4 jam per hari untuk mendapatkan data konsumsi energi yang representatif.

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan menghitung persentase penurunan arus start, penghematan energi, dan efisiensi sistem. Persentase penurunan arus start dihitung dengan menggunakan (2):

Penurunan = [(I_start_tanpa - I_start_dengan) / I_start_tanpa] × 100% (2)

Penghematan energi dihitung dengan menggunakan (3):

Hemat = [(E_tanpa - E_dengan) / E_tanpa] × 100% (3)

Efisiensi sistem dihitung dengan menggunakan (4):

η = (P_output / P_input) × 100% (4)

dimana I_start_tanpa adalah arus start tanpa softstarter, I_start_dengan adalah arus start dengan softstarter, E_tanpa adalah energi tanpa softstarter, E_dengan adalah energi dengan softstarter, P_output adalah daya output mekanik, dan P_input adalah daya input listrik.

Hasil dan Pembahasan

Implementasi Softstarter

Softstarter berhasil beroperasi dengan baik pada tegangan input 220V AC dan mampu mengontrol motor pompa air 250 watt. Pengukuran pada clamp meter menunjukkan informasi berupa arus, tegangan, daya, dan status operasi secara real-time. Rangkaian softstarter mampu mengatur sudut penyalaan thyristor secara bertahap sehingga tegangan yang diberikan ke motor meningkat secara smooth dari 70% hingga 100% dalam waktu 3 detik.

Tabel 1. Perbandingan karakteristik arus

Parameter	Tanpa Softstarter	Dengan Softstarter	Penurunan
Arus Start Maksimum	8,4 A	2,9 A	65,50%
Arus Nominal	1,2 A	1,2 A	0%
Waktu Starting	0,8 detik	3,2 detik	-
Drop Tegangan	28 V	11 V	60,70%

Tabel 2. Perbandingan konsumsi energi selama 30 hari

Kondisi	Total Energi (kWh)	Rata-rata per Hari (kWh)	Biaya (Rp)
Tanpa Softstarter	32,8	1,09	45.920
Dengan Softstarter	26,7	0,89	37.345
Penghematan	6,1	0,2	8.575

Tabel 2. Perbandingan efisiensi sistem

Parameter	Tanpa Softstarter	Dengan Softstarter
Daya Input Rata-rata	273 W	223 W
Daya Output Mekanik	195 W	195 W
Efisiensi Sistem	71,40%	87,40%

Karakteristik Arus Start

Tabel I menunjukkan perbandingan arus start motor pompa air dengan dan tanpa softstarter. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus start maksimum pada kondisi Direct On Line mencapai 8,4 A atau sekitar 7 kali arus nominal. Nilai ini sesuai dengan karakteristik motor induksi pada umumnya. Dengan menggunakan softstarter, arus start dapat ditekan hingga 2,9 A atau mengalami penurunan sebesar 65,5%.

Penurunan arus start yang signifikan ini terjadi karena tegangan yang diberikan ke motor dinaikkan secara bertahap mulai dari 70% hingga 100% dalam waktu 3 detik. Dengan demikian, motor tidak langsung menerima tegangan penuh yang menyebabkan lonjakan arus. Waktu starting yang lebih lama pada kondisi

dengan softstarter (3,2 detik dibanding 0,8 detik) merupakan trade-off yang wajar untuk mendapatkan keuntungan berupa penurunan arus start dan perlindungan motor.

Pengaruh terhadap Kualitas Daya

Drop tegangan pada jaringan rumah tangga merupakan indikator penting kualitas daya. Pengukuran menunjukkan bahwa tanpa softstarter, tegangan pada titik pengukuran turun hingga 28 V dari 220V menjadi 192V saat motor start. Penurunan tegangan ini dapat mengganggu operasi peralatan elektronik lain yang sensitif terhadap fluktuasi tegangan seperti komputer, televisi, dan peralatan elektronik sensitif lainnya. Dengan menggunakan softstarter, drop tegangan hanya 11 V dari 220V menjadi 209V atau mengalami penurunan hingga 60,7%. Hal ini menunjukkan bahwa softstarter tidak hanya menguntungkan motor yang dikontrol, tetapi juga menjaga stabilitas tegangan untuk peralatan lain dalam satu jaringan rumah tangga.

Perbaikan kualitas daya ini sangat penting terutama pada rumah dengan banyak peralatan elektronik yang beroperasi bersamaan. Pengukuran faktor daya menunjukkan hasil yang menarik. Pada saat starting tanpa softstarter, faktor daya turun hingga 0,42 karena komponen reaktif yang sangat besar. Dengan softstarter, faktor daya saat starting dapat dijaga pada kisaran 0,68 hingga 0,75. Pada kondisi operasi normal setelah starting selesai, faktor daya kedua kondisi relatif sama yaitu sekitar 0,82. Hal ini menunjukkan bahwa softstarter memberikan dampak positif terutama pada fase starting.

Konsumsi dan Penghematan Energi

Pengujian konsumsi energi dilakukan selama 30 hari dengan pola penggunaan pompa air yang sama yaitu rata-rata 4 jam per hari. Data konsumsi energi ditunjukkan pada Tabel II. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan softstarter menghemat energi sebesar 6,1 kWh dalam 30 hari atau sekitar 18,7%. Penghematan ini setara dengan Rp 8.575 per bulan atau Rp 102.900 per tahun untuk satu unit pompa air dengan asumsi tarif listrik Rp 1.400 per kWh. Jika diterapkan pada beberapa peralatan rumah tangga dengan motor induksi, penghematan dapat lebih signifikan. Catatan: Biaya dihitung dengan asumsi tarif listrik Rp 1.400/kWh.

Penghematan energi ini terjadi karena beberapa faktor. Pertama, pengurangan rugi-rugi tembaga pada saat starting karena arus yang lebih rendah. Kedua, pengurangan rugi-rugi inti karena tegangan yang tidak langsung penuh. Ketiga, starting yang lebih smooth mengurangi beban mekanis dan gesekan pada komponen motor dan pompa.

Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem dihitung berdasarkan perbandingan daya output mekanik terhadap daya input listrik. Pengukuran dilakukan dengan mengukur debit air yang dihasilkan pompa dan menghitung daya hidroliknya. Tabel III menunjukkan perbandingan efisiensi sistem dengan dan tanpa softstarter.

Hasil menunjukkan bahwa efisiensi sistem meningkat dari 71,4% menjadi 87,4% dengan penggunaan softstarter. Peningkatan efisiensi ini terjadi karena berkurangnya energi yang terbuang dalam bentuk panas pada saat starting dan berkurangnya rugi-rugi elektrik. Efisiensi 87,4% sudah memenuhi standar IEEE 841 untuk motor daya kecil yang mensyaratkan efisiensi minimal 85%.

Analisis Ekonomis

Dari sisi investasi, harga softstarter berkisar antara Rp 250.000 hingga Rp 400.000. Dengan mengambil nilai tengah Rp 260.000 dan penghematan Rp 8.575 per bulan, waktu pengembalian modal atau payback period adalah 260.000 dibagi 8.575 sama dengan 30,3 bulan atau sekitar 2,5 tahun. Meskipun payback period cukup lama untuk satu peralatan, namun jika softstarter diterapkan pada beberapa peralatan atau untuk aplikasi komersial yang penggunaannya lebih intensif, waktu pengembalian modal akan lebih cepat.

Selain penghematan energi langsung, softstarter juga memberikan manfaat tidak langsung berupa perpanjangan umur peralatan dan pengurangan biaya perbaikan. Starting yang lebih halus mengurangi stress mekanis dan elektris pada motor, bearing, dan komponen lainnya. Hal ini dapat memperpanjang umur peralatan hingga 20-30% sehingga mengurangi frekuensi penggantian sparepart atau peralatan baru.

Pembahasan Komprehensif

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan softstarter pada peralatan rumah tangga memberikan beberapa keuntungan signifikan dari berbagai aspek. Dari aspek teknis, penurunan arus start hingga 65,5% mengurangi beban pada sistem kelistrikan rumah, terjadi perbaikan kualitas daya dengan berkurangnya drop tegangan hingga 60,7%, peningkatan efisiensi sistem dari 71,4% menjadi 87,4%, dan perlindungan motor dari beban mekanis dan elektris yang berlebihan.

Dari aspek ekonomis, terdapat penghematan energi 18,7% setara Rp 102.900 per tahun per unit, potensi perpanjangan umur motor karena starting yang lebih

halus, dan pengurangan risiko kerusakan peralatan elektronik lain akibat fluktuasi tegangan. Dari aspek lingkungan, pengurangan konsumsi energi listrik berkontribusi pada penurunan emisi karbon dan perpanjangan umur peralatan mengurangi limbah elektronik.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu menunjukkan hasil yang menarik. Penelitian oleh Rahman dan Hidayat (2022) pada motor industri 3 fase menunjukkan penghematan energi 12-15%, sedangkan penelitian ini pada motor 1 fase rumah tangga mencapai 18,7%. Perbedaan ini dapat terjadi karena motor 1 fase memiliki arus start yang relatif lebih tinggi yaitu 7-8 kali dibanding motor 3 fase yang 5-6 kali, karakteristik beban rumah tangga yang bersifat intermittent dengan frekuensi starting yang lebih sering, dan efisiensi dasar motor 1 fase yang lebih rendah sehingga potensi perbaikan lebih besar.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa softstarter layak diterapkan pada peralatan dengan penggunaan intensif lebih dari 8 jam per hari, aplikasi komersial seperti laundry, salon, atau usaha kecil, rumah dengan banyak peralatan motor yang sering digunakan bersamaan, dan daerah dengan kualitas daya yang buruk atau sering terjadi drop tegangan. Untuk aplikasi rumah tangga biasa dengan penggunaan normal, penerapan softstarter lebih disarankan pada peralatan dengan daya besar seperti AC, mesin cuci, atau pompa air jet pump yang memiliki motor lebih dari 500 watt.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penerapan softstarter pada peralatan rumah tangga berhasil mengurangi arus start hingga 65,5%, dari 8,4 A menjadi 2,9 A pada motor pompa air 250 watt. Penggunaan softstarter dapat menghemat energi listrik sebesar 18,7% atau setara dengan 6,1 kWh dalam 30 hari pengoperasian normal, yang berarti penghematan biaya listrik sekitar Rp 102.900 per tahun untuk satu unit peralatan. Softstarter memberikan dampak positif terhadap kualitas daya dengan mengurangi drop tegangan pada jaringan rumah tangga hingga 60,7% dan meningkatkan faktor daya saat starting dari 0,42 menjadi 0,68-0,75.

Efisiensi sistem keseluruhan meningkat dari 71,4% menjadi 87,4% dengan penggunaan softstarter, yang menunjukkan perbaikan signifikan dalam pemanfaatan energi. Dari sisi ekonomis, dengan harga berkisar Rp 250.000 hingga Rp 400.000, payback period adalah sekitar 2,5 tahun untuk penggunaan normal pada satu peralatan rumah tangga. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan pengujian pada berbagai jenis dan kapasitas peralatan rumah tangga untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif, melakukan studi kelayakan penerapan softstarter secara massal pada perumahan untuk menganalisis dampaknya terhadap sistem distribusi PLN, serta menganalisis pengaruh jangka panjang terhadap umur pakai motor dan komponen mekanis lainnya dengan pengujian yang lebih ekstensif.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan fasilitas selama proses penyusunan artikel ini. Apresiasi yang sebesar-besarnya juga disampaikan kepada rekan-rekan dan pembimbing yang telah memberikan masukan berharga sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

Ahmad, F., & Susanto, D. (2022). Analisis drop tegangan akibat arus start motor induksi pada sistem distribusi rumah tangga. Jurnal Teknik Elektro Indonesia, 14(2), 87–94.

Wijaya, I. M. S., Kumara, I. N. S., & Giriantari, I. A. D. (2023). Studi komparatif metode starting motor induksi: DOL, star-delta, dan soft starter. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, 22(1), 89–96.

Nugroho, A. (2021). Karakteristik arus starting motor induksi satu fasa pada beban pompa air. Elektrika: Jurnal Teknik Elektro, 13(2), 78–85.

Rahman, H., & Hidayat, S. (2022). Efisiensi energi motor induksi tiga fasa dengan penerapan soft starter pada industri manufaktur. Jurnal Energi dan Manufaktur, 15(2), 112–120.

IEEE Standards Association. (2021). IEEE Standard 841: IEEE Standard for Petroleum and Chemical Industry – Severe Duty Totally Enclosed Fan-Cooled (TEFC) Squirrel Cage Induction Motors – Up to and Including 370 kW (500 hp). IEEE.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). Statistik Ketenagalistrikan Indonesia 2023. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.

Bose, B. K. (2021). Power electronics and motor drives: Advances and trends (2nd ed.). Academic Press.

Chapman, S. J. (2020). Electric machinery fundamentals (6th ed.). McGraw-Hill Education.

Hughes, A., & Drury, B. (2019). Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications (5th ed.). Newnes.

Rashid, M. H. (2020). Power electronics: Devices, circuits, and applications (5th ed.). Pearson Education.

Dewanto, R. S. (2021). Perancangan soft starter untuk motor induksi tiga fasa menggunakan mikrokontroler. Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, 10(1), 45–52.

Fitrianto, A., & Setiawan, I. (2023). Implementasi thyristor sebagai pengendali tegangan pada soft starting motor induksi. Jurnal Rekayasa Elektrika, 17(3), 156–163.

Pratama, Y., Wahyudi, & Facta, M. (2022). Analisis perbandingan metode starting motor induksi untuk aplikasi industri kecil. Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 11(1), 23–30.

Setiawan, B., Arifin, Z., & Soedjarwanto, N. (2023). Optimasi penggunaan energi listrik rumah tangga melalui manajemen beban motor induksi. Jurnal Teknologi Elektro, 14(1), 34–42.

Suryadi, A., & Purnomo, W. (2021). Rancang bangun sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis IoT untuk rumah pintar. Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi, 12(2), 67–75.