

Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Proteksi *Under Speed* dan *Over Speed* pada Motor Induksi 3 Phasa Berbasis Mikrokontroller

Syahrizal^{1*}, Hendri Novia Syamsir², Arif Gunawan³, Muzni Sahar⁴, Nabila Aulia Ramadhani⁴, Muhammad Yusuf Hasibuan⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Industri, Politeknik Caltex Riau, Pekanbaru 28265, Indonesia

*Corresponding Author Email: ijal@pcr.ac.id

Riwayat Artikel

Diserahkan: 5 November 2025

Direvisi: 27 November 2025

Diterima: 1 Desember 2025

Dipublikasi: 30 November 2025

Abstrak

Motor induksi tiga phasa adalah mesin listrik yang banyak digunakan dalam industri modern karena konstruksi yang sederhana, efisiensi yang tinggi, serta biaya pemeliharaan yang relatif rendah. Namun, kecepatan pada motor induksi sangat bergantung pada frekuensi sumber, sehingga operasi pada kecepatan yang berada di luar batas kerja, baik *under speed* maupun *over speed*, dapat menyebabkan kerusakan mekanis, peningkatan arus, penurunan efisiensi, dan potensi kegagalan motor. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring dan proteksi kecepatan berbasis mikrokontroler dengan memanfaatkan sensor *Hall effect* untuk pembacaan kecepatan aktual motor induksi tiga phasa. Sistem memberikan fungsi proteksi otomatis dengan memutus sumber daya ketika kecepatan melewati batas atas atau batas bawah yang diprogram melalui *keypad*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi kondisi *under speed* (misal 1391 rpm) dan *over speed* (misal 1509 rpm) dari set point yang telah ditentukan (misal 1400 rpm dan 1500 rpm), serta memutus motor secara otomatis dengan respon yang cepat (2 detik) sesuai algoritma proteksi yang telah dirancang. Dengan demikian, sistem ini dapat meningkatkan keandalan operasi motor, mengurangi risiko kerusakan pada motor dan benda kerja, serta menjadi solusi proteksi kecepatan yang hemat biaya dan mudah diimplementasikan.

Kata kunci: Motor induksi 3 phasa, proteksi kecepatan, mikrokontroler, *under speed*, *over speed*.

Abstract

Three-phase induction motors are widely used in industrial applications due to their simple construction, high reliability, and relatively low maintenance cost. However, motor rotational speed is strongly dependent on the supply frequency, making the drive susceptible to speed deviations outside the allowable range. Both under-speed and over-speed conditions can lead to thermal stress, mechanical degradation, increased current draw, and premature motor failure. This study proposes a microcontroller-based monitoring and protection system designed to detect abnormal speed conditions in three-phase induction motors. A Hall effect sensor is utilized to measure the instantaneous rotational speed, while programmable speed limits are input through a keypad interface. The system automatically disconnects the motor supply once the detected speed exceeds the predefined threshold. The experimental results reveal that the system successfully identifies under-speed (e.g. 1391 rpm) and over-speed (e.g. 1509 rpm)

conditions from predetermined set points (e.g., 1400 rpm and 1500 rpm), and automatically disconnect the motor with a fast response (2 seconds), confirming the effectiveness of the protection algorithm. This work contributes to low-cost and scalable protection solutions suitable for industrial motor applications, particularly for implementations requiring autonomous speed protection without high-end control equipment.

Keywords: 3-phase induction motor, speed protection, microcontroller, under speed, over speed.

1. Pendahuluan

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan pada industri manufaktur dan proses karena memiliki konstruksi yang sederhana, memiliki efisiensi yang baik, tidak memerlukan pemeliharaan berbiaya tinggi, serta memiliki karakteristik kerja yang stabil dalam jangka panjang [1]–[3]. Penggunaannya dapat dijumpai pada berbagai aplikasi seperti conveyor belt, pompa industri, blower, dan kompresor, dimana kestabilan torsi dan rotasi menjadi faktor kunci dalam menjaga kontinuitas proses produksi. Pada prinsipnya, kecepatan motor induksi sangat ditentukan oleh frekuensi sumber yang diberikan melalui suplai listrik tiga fasa, sehingga setiap perubahan frekuensi akan berdampak langsung pada perubahan kecepatan putar motor [4]–[6].

Dalam prakteknya, deviasi kecepatan yang berada di bawah nilai minimum (*under speed*) ataupun berada di atas nilai maksimum (*over speed*) dapat menimbulkan risiko kerusakan yang signifikan. Kondisi *under speed* dapat menyebabkan motor bekerja dengan torsi lebih tinggi sehingga arus meningkat dan motor mengalami panas berlebih. Sementara itu, kondisi *over speed* dapat menimbulkan tegangan mekanis pada rotor dan komponen berputar lain yang dapat mempercepat kegagalan sistem, mengganggu unbalance mekanik, serta mempersingkat umur pemakaian motor [7]–[10]. Sistem proteksi yang banyak digunakan pada industri saat ini umumnya berfokus pada arus lebih, tegangan tidak normal, gangguan fasa, atau temperatur lebih, dan masih jarang ditemukan proteksi yang langsung berorientasi pada parameter kecepatan motor secara real-time [11]–[14].

Di sisi lain, teknologi mikrokontroler saat ini memungkinkan pengembangan sistem proteksi yang lebih cerdas dan ekonomis, termasuk sistem proteksi berbasis sensor kecepatan yang dapat melakukan monitoring dan pemutusan daya secara otomatis saat parameter operasi tidak sesuai batas. Salah satu metode yang efektif untuk mengatur variasi kecepatan dalam lingkungan laboratorium adalah penggunaan *Variable Speed Drive* (VSD) yang dapat mengubah frekuensi suplai sehingga nilai RPM motor dapat ditentukan secara presisi. Pada penelitian ini, sensor hall effect dimanfaatkan sebagai komponen akuisisi data untuk pembacaan kecepatan motor, sementara mikrokontroler berfungsi sebagai unit pemroses dan pembanding kecepatan aktual dengan *setpoint* batas.



Gambar 1. Mikrokontroller, Sensorhall effect dan Variable Speed Drive (VSD)

Penelitian ini merancang sistem proteksi kecepatan (*under speed* dan *over speed*) berbasis mikrokontroler dengan logika trip otomatis, dimana batas kecepatan dapat ditentukan operator melalui keypad. Contohnya apabila kecepatan melewati batas bawah 1400 rpm atau batas atas 1500 rpm, sistem akan memutus suplai daya motor. Sistem ini diharapkan dapat diterapkan sebagai solusi proteksi tambahan yang murah dan mudah diimplementasikan pada motor induksi

industri berdaya menengah, serta dapat menjadi lapisan proteksi kedua yang bekerja mengawasi parameter kecepatan secara langsung [15].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Listrik, Politeknik Caltex Riau. Objek uji adalah motor induksi tiga fasa dengan daya terpasang 1,5 kW yang dioperasikan melalui *Variable Speed Drive* (VSD) untuk memperoleh variasi kecepatan sesuai setpoint pengujian. VSD digunakan sebagai sumber pengubah frekuensi sehingga frekuensi output dapat diatur untuk menghasilkan kondisi *under speed* maupun *over speed* sesuai batas yang ditentukan.

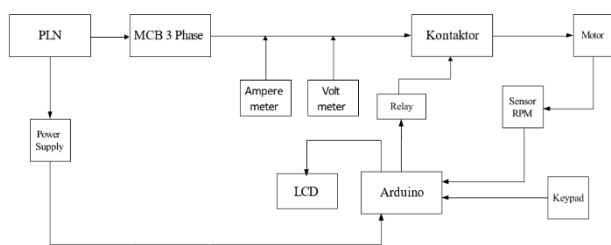
Sistem proteksi didesain menggunakan mikrokontroler sebagai pusat pemrosesan data. Kecepatan aktual motor diukur menggunakan sensor Hall effect yang dipasang pada poros rotor. Sinyal pulsa dari sensor Hall dikonversi menjadi nilai RPM, kemudian dibandingkan dengan nilai batas kecepatan yang dimasukkan operator melalui keypad. Ketika nilai kecepatan aktual berada di bawah, misalnya 1400 rpm, atau di atas, misalnya 1500 rpm, sistem langsung memutuskan rangkaian motor melalui relay output yang mengendalikan kontaktor utama.

2.1 Perancangan sistem

Perancangan sistem meliputi diagram blok sistem, *flowchart*, perancangan rangkaian sistem, dan perancangan *software* dan *hardware*.

a. Blok Diagram Sistem

Rancangan blok diagram dari sistem yang akan dibuat adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram blok sistem

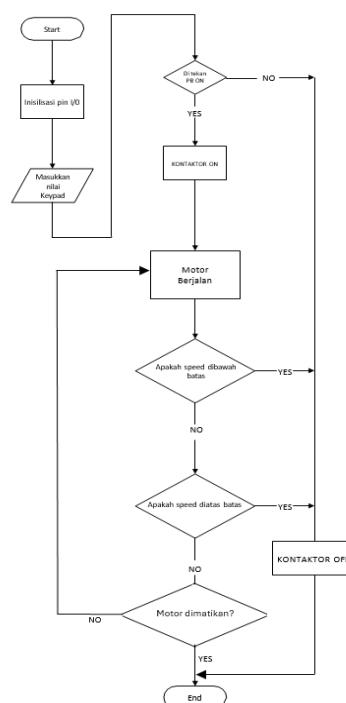
Dari diagram blok di atas dapat dilihat arus dan tegangan listrik masuk dari sumber PLN. MCB 3 fasa berfungsi memutus dan menghubungkan

serta memproteksi sistem apabila terjadi arus berlebih pada rangkaian sistem. Arus juga masuk ke power supply yang berfungsi untuk mengubah dan menurunkan tegangan menjadi arus DC yang berfungsi untuk memberi power pada arduino. Setelah MCB 3 fasa proses berlanjut ke kontaktor yang berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan daya yang menuju ke beban.

Pada saat motor berjalan sensor rpm akan membaca kecepatan putaran dari motor dan mengirimkan ke arduino untuk diolah. Arduino akan mendapat input dari keypad untuk menentukan batas kecepatan atas dan bawah yang diizinkan. Setelah batas di tentukan maka arduino akan mengolah dan memerintahkan relay DC 5V untuk menonaktifkan kontaktor sehingga motor akan berhenti berputar ketika batas atas dan batas bawah kecepatan motor tidak sesuai dengan yang diinginkan. Data kecepatan akan ditampilkan melalui LCD yang dihubungkan ke arduino.

b. Flowchart Sistem

Urutan proses kerja sistem dapat dilihat dari *flowchart* berikut:



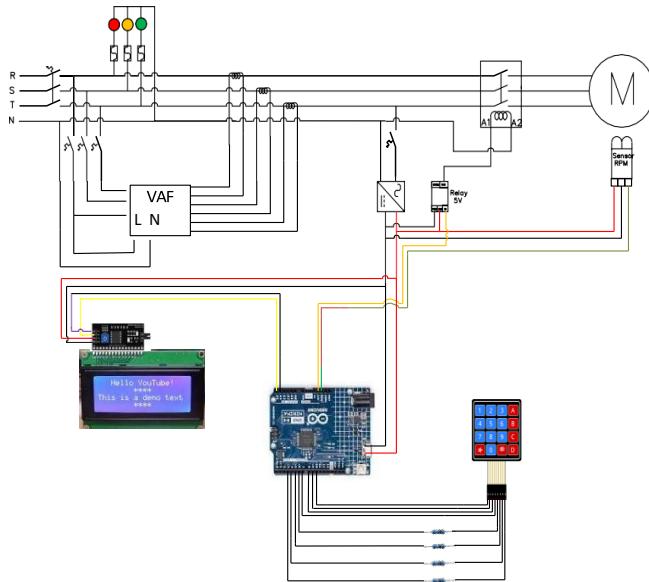
Gambar 3. Flowchart sistem

Dari *flowchart* di atas dapat dilihat bahwa langkah pertama adalah inisialisasi untuk variabel-variabel yang akan digunakan pada program sistem. Setelah inisialisasi selesai langkah

selanjutnya adalah mengisi nilai batas pada *keypad* yang akan menjadi batas kecepatan pada motor. Lalu masuk pada proses monitoring apakah motor berputar dalam keadaan *over speed* atau *under speed*, jika ya maka mikrokontroler akan memerintahkan kontaktor untuk memutus aliran daya ke motor, jika tidak maka motor akan tetap berjalan/*looping* hingga dimatikan. *Flowchart* ini menjadi dasar dalam pembuatan program atau *software* sistem yang akan ditanamkan pada mikrokontroler.

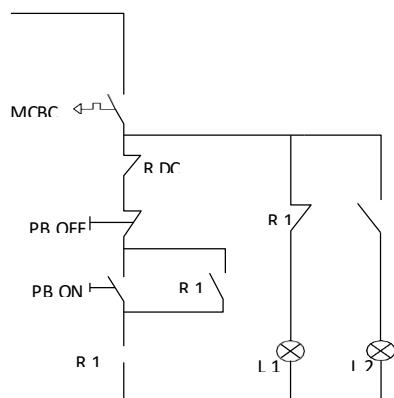
c. Wiring Diagram System dan Rangkaian Kontrol

Rancangan *Wiring Diagram System* adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Wiring Diagram System

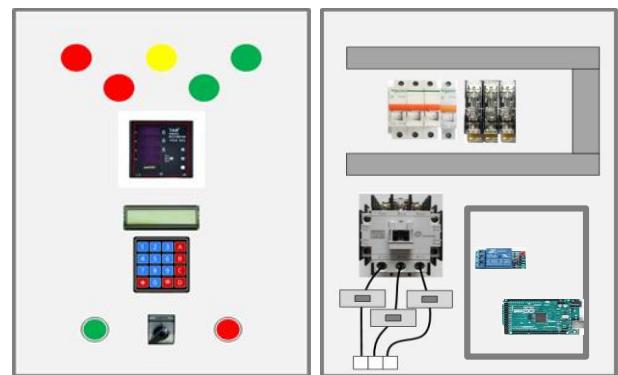
Sedangkan rangkaian kontrol sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Rangkaian kontrol sistem

d. Perancangan Hardware

Perancangan mekanik bertujuan untuk menentukan tata letak komponen/peralatan dan pengkabelan di dalam panel agar susunannya ringkas dan rapi. Berikut adalah gambar bagian luar dan dalam dari panel kontrol sistem.



Gambar 6. Bagian luar dan dalam dari panel kontrol sistem.

2.2 Metode Pengujian

Metode pengujian dilakukan dalam tiga tahap:

1. Sistem dikalibrasi dengan mengoperasikan motor menggunakan VSD dan membandingkan pembacaan sensor Hall terhadap tachometer.
2. *Threshold* proteksi dimasukkan ke sistem, misal 1400 rpm untuk *under speed* dan 1500 rpm untuk *over speed*.
3. Memberikan input frekuensi yang bervariasi ke motor melalui VSD hingga kecepatan aktual motor melampaui atau di bawah batas yang telah diset dan sistem mencatat waktu respons proteksi serta kondisi pemutusan daya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Realisasi Perancangan

Realisasi dari perancangan sistem secara keseluruhan dapat dilihat seperti pada gambar berikut:



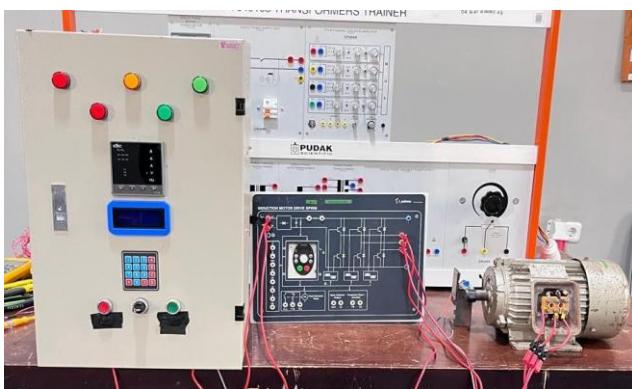
Gambar 7. Realisasi perancangan panel sistem

Dapat dilihat pada panel terdapat beberapa peralatan, di antaranya:

1. Dua buah *push button* yang berfungsi sebagai *starter* dan *stopper*.
2. Sebuah selektor sebagai penghubung dan pemutus sumber tegangan DC.
3. Sebuah LCD yang berfungsi sebagai *display* pembacaan *under*, *over* dan *normal speed*.
4. Sebuah *keypad* yang berfungsi untuk memberi batas *under* dan *over speed* pada sistem,
5. Sebuah VAF meter yang berfungsi untuk memonitor tegangan dan arus.
6. Lima buah lampu indikator yang berfungsi sebagai berikut:
 - a. Lampu indikator merah untuk menunjukkan bahwa motor sedang tidak hidup atau *stand by*.
 - b. Lampu indikator hijau untuk menunjukkan bahwa motor sedang berputar searah jarum jam atau *clockwise*.
 - c. Tiga lampu indikator merah, kuning, dan hijau untuk menunjukkan bahwa sumber daya tiga phasa sedang hidup.

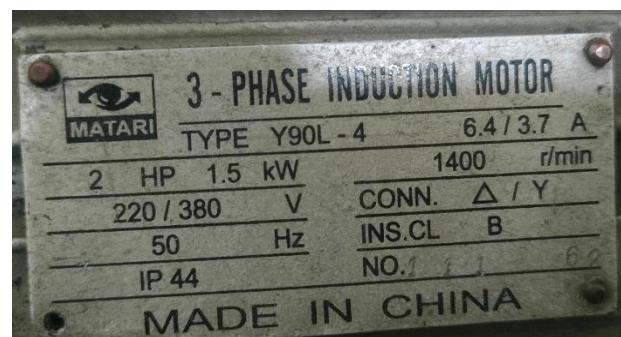
3.2. Pengujian Sistem

Pada tahap pengujian, perangkat sistem yang sudah dibuat disusun seperti pada gambar berikut:



Gambar 8. Susunan perangkat untuk pengujian sistem

Dari gambar 8 dapat dilihat selain perangkat system proteksi *under speed* dan *over speed* yang telah dibuat, terdapat sebuah motor induksi 3 phasa 1,5 kW yang akan dijadikan sebagai obyek pengujian. Motor tersebut mempunyai spesifikasi seperti yang tertera pada *name plate*nya berikut ini:



Gambar 9. Spesifikasi motor induksi 3 phasa yang digunakan untuk pengujian.

Selain itu digunakan juga sebuah perangkat VSD untuk mengatur kecepatan putar motor tersebut. Kecepatan putar motor akan dibaca oleh sensor *hall effect* yang diletakkan dekat dengan poros motor, lalu data kecepatan akan dikirim ke mikrokontroller dan ditampilkan pada LCD.

Pengujian dilakukan untuk dua kondisi utama, yaitu kondisi *under speed* dan *over speed* berdasarkan batas *setpoint* yang telah ditetapkan pada sistem dan masing-masing kondisi dilakukan pada 10 *setpoint* yang berbeda. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

Tabel 1. Data pengujian sistem proteksi *normal speed*

| N o | Setting Under Speed (rpm) | Setting Over Speed (rpm) | Frek. Uji Normal Speed (Hz) | Uji Nor- mal Speed | Respon Sistem |
|--------|------------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------|------------------|
| 1 | 1400 | 1500 | 49 | 1456 | Tidak Aktif |
| 2 | 1300 | 1450 | 46 | 1383 | Tidak Aktif |
| 3 | 1050 | 1300 | 39 | 1181 | Tidak Aktif |
| 4 | 900 | 1200 | 35 | 1063 | Tidak Aktif |
| 5 | 800 | 1050 | 32 | 945 | Tidak Aktif |
| 6 | 750 | 900 | 28 | 853 | Tidak Aktif |
| 7 | 650 | 800 | 24 | 708 | Tidak Aktif |
| 8 | 500 | 750 | 21 | 616 | Tidak Aktif |
| 9 | 400 | 650 | 18 | 550 | Tidak Aktif |
| 10 | 300 | 500 | 14 | 433 | Tidak Aktif |

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa ketika motor berputar pada kecepatan normal, yaitu kecepatan putar yang berada di antara batas-batas setting *under speed* dan *over speed* sistem proteksi tidak bekerja dan motor terus berputar hingga dimatikan. Tampilan LCD ketika motor berputar pada kecepatan normal dapat dilihat pada gambar 10. Lampu hijau menyala menandakan motor masih terus bekerja.



Gambar 10. Tampilan LCD ketika motor berputar pada kecepatan normal

Tabel 2. Data pengujian sistem proteksi *under speed*

| N o | Set. Under Speed (rpm) | Set. Over Speed (rpm) | Frek. Uji Under Speed (Hz) | Uji Under Speed (rpm) | Resp. Sis- tem | Wak- tu (de- titik) |
|--------|---------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 1 | 1400 | 1500 | 46 | 1391 | Aktif | 2 |
| 2 | 1300 | 1450 | 43 | 1276 | Aktif | 2 |
| 3 | 1050 | 1300 | 35 | 1036 | Aktif | 2 |
| 4 | 900 | 1200 | 29 | 876 | Aktif | 2 |
| 5 | 800 | 1050 | 26 | 787 | Aktif | 2 |
| 6 | 750 | 900 | 24 | 734 | Aktif | 2 |
| 7 | 650 | 800 | 21 | 642 | Aktif | 2 |
| 8 | 500 | 750 | 17 | 498 | Aktif | 2 |
| 9 | 400 | 650 | 13 | 380 | Aktif | 2 |
| 10 | 300 | 500 | 9 | 275 | Aktif | 2 |

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa ketika motor berputar pada kondisi *under speed*, sistem mendeteksi penurunan kecepatan aktual hingga, misalnya pada data no.1, 1391 rpm dan memicu aksi proteksi untuk memutus sumber daya motor dan motor mati. Dari pengulangan pengujian yang dilakukan untuk nilai-nilai setting *under*

speed yang lain didapat bahwa sistem bekerja dengan baik seperti yang diharapkan. Tampilan LCD ketika motor berputar pada *under speed* dapat dilihat pada gambar 11. Lampu merah menyala menandakan motor telah mati.



Gambar 11. Tampilan LCD ketika motor berputar *under speed*

Tabel 3. Data pengujian sistem proteksi *over speed*

| N o | Set. Under Speed (rpm) | Set. Over Speed (rpm) | Frek. Uji Over Speed (Hz) | Uji Over Speed (rpm) | Resp. Sis- tem | Wak- tu (de- titik) |
|--------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 1 | 1400 | 1500 | 50 | 1509 | Aktif | 2 |
| 2 | 1300 | 1450 | 49 | 1456 | Aktif | 2 |
| 3 | 1050 | 1300 | 44 | 1325 | Aktif | 2 |
| 4 | 900 | 1200 | 41 | 1220 | Aktif | 2 |
| 5 | 800 | 1050 | 37 | 1102 | Aktif | 2 |
| 6 | 750 | 900 | 31 | 918 | Aktif | 2 |
| 7 | 650 | 800 | 27 | 813 | Aktif | 2 |
| 8 | 500 | 750 | 25 | 761 | Aktif | 2 |
| 9 | 400 | 650 | 22 | 655 | Aktif | 2 |
| 10 | 300 | 500 | 17 | 511 | Aktif | 2 |

Pada kondisi *over speed*, sistem mendeteksi kenaikan kecepatan hingga, misalnya pada data no.1, 1509 rpm dan menghasilkan aksi pemutusan serupa. Dari pengulangan pengujian yang dilakukan untuk nilai-nilai setting *over speed* yang lain didapat bahwa sistem bekerja dengan baik seperti yang diharapkan. Tampilan LCD ketika motor berputar pada *over speed* dapat dilihat pada gambar 12. Lampu merah menyala menandakan motor telah mati.



Gambar 12. Tampilan LCD ketika motor berputar *over speed*

Dari tabel-tabel data tersebut juga diperoleh rata-rata waktu respons *trip* yang diperlukan sistem untuk memutus suplai adalah 2 detik setelah kecepatan putar motor keluar dari batas kerja yang telah ditentukan.

Penggunaan VSD pada penelitian ini mempermudah pengaturan frekuensi sehingga variasi kecepatan motor dapat dilakukan secara bertahap dan terkontrol. Dari sisi implementasi praktis, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan biaya rendah berbasis mikrokontroler dapat memberikan fungsi proteksi yang langsung berbasis parameter kecepatan aktual tanpa memerlukan sistem kontrol industri yang mahal. Dengan demikian, sistem ini dapat diterapkan sebagai *secondary protection layer* pada sistem motor induksi industri berdaya menengah.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang sistem monitoring dan proteksi kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis mikrokontroler dengan memanfaatkan sensor Hall effect sebagai alat ukur kecepatan. Sistem mampu mendeteksi kondisi *normal speed*, *under speed* dan *over speed* berdasarkan *setpoint* referensi. Sistem ini melakukan aksi pemutusan suplai daya secara otomatis dengan waktu respons rata-rata dua detik setelah batas kecepatan terlampaui. Integrasi mikrokontroler, sensor kecepatan, dan VSD dalam penelitian ini membuktikan bahwa proteksi berbasis kecepatan dapat diterapkan secara ekonomis serta layak digunakan sebagai

proteksi tambahan pada instalasi motor induksi di lingkungan industri.

Ucapran Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh rekan-rekan dan mahasiswa di Program Studi Teknik Listrik yang telah mendukung penelitian ini. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Jurusan Teknik Industri, Politeknik Caltex Riau yang telah menyediakan fasilitas laboratorium dan peralatan pengujian sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] T. R. Chee, et al., "Magnetic Hall-based angular speed sensing for industrial motors," *Sensors and Actuators A*, vol. 356, pp. 114-121, 2023.
- [2] E. Sarker, et al., "Transient analysis and performance of motor protection system," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 15, 2025.
- [3] A. Busra, et al., "Embedded microcontroller-based detection of abnormal motor speed," *Int. J. Electrical Engineering and Robotics*, vol. 11, no. 4, pp. 66-74, 2024.
- [4] Y. Xu and H. Li, "Induction motor condition monitoring using real-time sensor-based data," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 148922–148930, 2021.
- [5] M. Oliveira, "Fault detection in VSD-driven motor using signal tracking," *Electric Power Components and Systems*, vol. 50, pp. 1141–1154, 2022.
- [6] K. R. Patel, "Protection and control of three phase induction motor," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 70, no. 3, pp. 3145-3157, 2023.
- [7] G. Chen, et al., "Real-time speed estimation using magnetic sensors," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 18, pp. 20715–20723, 2021.
- [8] A. Shanmuganathan, et al., "Under-frequency and over-frequency protection scheme in industrial drive," *Int. J. Advanced Research in Electrical Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 56-63, 2022.
- [9] A. Parhamfar, et al., "Industrial grounding and lightning safety for plant equipment," *Journal of Energy Systems*, vol. 12, 2025.

- [10] S. Hafiz, et al., "Design of low-cost protective device for induction motor," TELKOMNIKA, vol. 21, no. 2, pp. 443-451, 2023.
- [11] M. Gallego, et al., "Speed estimation on induction motor with high dynamic load," Electric Power Systems Research, vol. 208, 2022.
- [12] H. Liu and Z. Chen, "Speed control and safety limit on IM with VFD," Journal of Electrical Engineering, vol. 17, pp. 199–208, 2024.
- [13] R. Singh and A. Ranjan, "Review on induction motor protection using microcontrollers," Int. J. Engineering Trends, vol. 68, 2020.
- [14] F. Da Silva, "Comparative study of overspeed fault in industrial motor," J. Applied Industrial Electronics, vol. 6, no. 3, pp. 55–65, 2021.
- [15] M. Y. Hasibuan, "Final Project Report: Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Proteksi Under Speed dan Over Speed pada Motor Induksi 3 Phasa Berbasis Microkontroler," Politeknik Caltex Riau, Pekanbaru, 2025.