

Design and Construction of an Arduino-Based Early Detection System for 3-Phase Motor and Gearbox Damage

[Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Dini Kerusakan pada Motor 3 Phase dan Gearbox Berbasis Arduino]

Adhytiya Fikry Ridhotul Hikmah ¹⁾, Izza Anshory ^{*,2)}

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: izzaanshory@umsida.ac.id

Abstract. *Three-phase induction motors and gearboxes play a crucial role as prime movers in various industrial systems. Damage to these components, particularly bearings, is generally caused by increased temperature, excessive vibration, and failure of the lubrication system, which can result in machine downtime and production losses. This study aims to design and build an Arduino-based early detection system for damage to three-phase induction motors and gearboxes. This system uses a K-type thermocouple temperature sensor with a MAX6675 module to monitor motor and gearbox temperatures, and an SW-420 vibration sensor to detect abnormal vibrations. Measurement results are displayed in real-time via a 16×2 I2C LCD. Testing was conducted by comparing sensor readings to standard measuring instruments, including testing motor temperature, gearbox temperature, vibration, and the overall system circuit. The test results show that the system has good accuracy with a low error rate and is able to detect abnormal conditions effectively. This system is expected to support the implementation of predictive maintenance in industrial environments.*

Keywords - Three-phase induction motor; gearbox; early fault detection; Arduino

Abstrak. *Motor induksi tiga fasa dan gearbox berperan penting sebagai penggerak utama dalam berbagai sistem industri. Kerusakan pada komponen ini, khususnya pada bearing, umumnya disebabkan oleh peningkatan suhu, getaran berlebih, serta kegagalan sistem pelumasan yang dapat mengakibatkan downtime mesin dan kerugian produksi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pendeteksi dini kerusakan pada motor induksi tiga fasa dan gearbox berbasis Arduino. Sistem ini menggunakan sensor suhu thermocouple tipe K dengan modul MAX6675 untuk memantau suhu motor dan gearbox, serta sensor getaran SW-420 untuk mendeteksi getaran abnormal. Hasil pengukuran ditampilkan secara real-time melalui LCD I2C 16×2. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar, meliputi pengujian suhu motor, suhu gearbox, getaran, dan rangkaian sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi yang baik dengan tingkat kesalahan yang rendah serta mampu mendeteksi kondisi abnormal secara efektif. Sistem ini diharapkan dapat mendukung penerapan pemeliharaan prediktif di lingkungan industri.*

Kata Kunci - Motor induksi tiga fasa; gearbox; pendeteksi dini kerusakan; Arduino

I. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan komponen vital dalam berbagai aplikasi industri, khususnya sebagai penggerak utama peralatan produksi seperti conveyor, pompa, kompresor, dan mesin-mesin berat lainnya [1][2]. Motor ini banyak digunakan karena memiliki tingkat keandalan, efisiensi, serta kemampuan operasi yang stabil dalam jangka waktu panjang [3][4]. Kinerja motor induksi tiga fasa memiliki peran yang sangat penting dalam menjamin kelancaran serta keberlangsungan proses produksi. Oleh karena itu, kegiatan pemeliharaan dan pemantauan kondisi motor secara rutin menjadi hal yang tidak dapat diabaikan untuk menjaga stabilitas operasional di lingkungan industri [5][6].

Namun, dalam penerapannya, masih banyak industri yang menghadapi kendala berupa kerusakan pada komponen mekanis motor, khususnya pada bagian bearing, sistem pelumasan, dan gearbox [7]. Gearbox sendiri berperan sebagai sistem transmisi daya yang mengatur kecepatan dan torsi dari motor sebelum disalurkan ke beban kerja, sehingga proses produksi dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi yang diinginkan [8][9]. Namun, komponen ini rentan mengalami kerusakan akibat pelumasan yang tidak optimal, keausan gigi, serta pengaruh panas dan getaran berlebih selama operasi [10].

Kerusakan pada bearing dan gearbox umumnya ditandai dengan gejala awal berupa peningkatan getaran, timbulnya suara tidak normal, serta kenaikan suhu operasi [11]. Kegagalan sistem pelumasan, seperti berkurangnya volume oli atau pelumasan yang tidak merata, dapat meningkatkan gesekan antar komponen, mempercepat keausan,

dan menurunkan efisiensi kerja motor maupun gearbox [12]. Apabila kondisi tersebut tidak terdeteksi sejak dini, maka berpotensi menyebabkan kerusakan total yang berujung pada terhentinya proses produksi.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, kerusakan akibat keausan bearing, kegagalan sistem pelumasan, serta kerusakan gearbox menjadi penyebab utama downtime mesin pada berbagai sektor industri [13]. Namun demikian, sebagian besar industri masih menerapkan metode pemeliharaan reaktif (*breakdown maintenance*), yaitu melakukan perbaikan setelah kerusakan terjadi [14]. Pendekatan ini menyebabkan tingginya biaya perawatan dan perbaikan, serta menurunkan produktivitas akibat waktu henti mesin yang signifikan [15].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem monitoring dan deteksi dini kerusakan motor induksi tiga fasa berbasis mikrokontroler dan sensor [16]. Beberapa penelitian hanya berfokus pada gangguan kelistrikan seperti kehilangan fasa, tanpa memperhatikan kerusakan mekanis. Penelitian lain menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk mendeteksi kerusakan bearing dengan tingkat akurasi tinggi, namun memerlukan kemampuan komputasi yang besar dan masih bersifat simulatif sehingga kurang praktis untuk diterapkan di lapangan [17]. Selain itu, terdapat penelitian yang menggunakan sensor getaran berbasis Arduino, tetapi hanya mengandalkan satu parameter tanpa mempertimbangkan suhu dan kondisi pelumasan, sehingga informasi kondisi motor yang diperoleh masih terbatas [18].

Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membangun sebuah sistem pendeteksi dini kerusakan pada motor induksi tiga fasa dan gearbox berbasis Arduino. Fokus utama sistem ini adalah mendeteksi lebih awal potensi kerusakan pada bearing, gangguan pada sistem pelumasan, serta keausan pada gearbox. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor suhu thermocouple tipe K yang dipadukan dengan modul MAX6675 untuk memantau kenaikan suhu hingga 1024°C, serta sensor getaran SW-420 untuk mengidentifikasi perubahan getaran yang dapat menjadi indikasi awal terjadinya kerusakan mekanis. Dengan adanya sistem ini, diharapkan proses monitoring kondisi motor dan gearbox dapat dilakukan secara lebih sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan, sehingga mampu mendukung pelaksanaan pemeliharaan prediktif di lingkungan industri

II. METODE

Penelitian ini dirancang untuk menghasilkan sebuah sistem yang mampu mendeteksi secara dini potensi kerusakan pada motor induksi tiga fasa dan gearbox guna mendukung penerapan pemeliharaan prediktif di lingkungan industri. Dari sistem tersebut muncullah sebuah metode yang digunakan yaitu Research and Development atau yang biasa disebut RnD.

Melalui metode ini, sistem yang dirancang dapat mengalami proses penyempurnaan secara berkelanjutan berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi yang dilakukan. Sistem pendeteksian dikembangkan dengan memanfaatkan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali, yang terintegrasi dengan modul MAX6675 dan termokopel tipe K untuk pemantauan suhu, serta sensor getaran SW420 untuk mendeteksi perubahan getaran pada motor dan gearbox secara real-time.

Data yang diperoleh dari pembacaan sensor akan diakumulasi sehingga membuat pendeteksi kerusakan kinerja motor dan gearbox secara dini. Metode ini sangat tepat dikarenakan lebih efektif dan mudah dalam pengaplikasiannya,

A. Blok Diagram Sistem

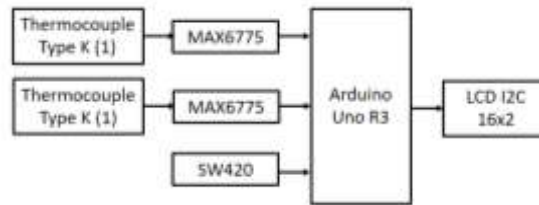
Blok diagram sistem pada penelitian ini menggambarkan alur kerja sistem pendeteksi dini kerusakan pada motor induksi tiga fasa dan gearbox berbasis Arduino. Secara umum, sistem terdiri dari tiga bagian utama, yaitu blok input, blok pemrosesan, dan blok output.

Blok input terdiri dari dua sensor suhu berupa thermocouple tipe K dan satu sensor getaran SW420. Thermocouple tipe K digunakan untuk mengukur suhu pada dua titik kritis, yaitu pada bagian motor dan gearbox. Sinyal analog yang dihasilkan oleh thermocouple memiliki amplitudo yang sangat kecil, sehingga diperlukan modul MAX6675 sebagai konverter sekaligus penguat sinyal. Modul ini berfungsi mengubah sinyal analog dari thermocouple menjadi data digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler Arduino. Dengan adanya dua sensor suhu, sistem mampu memantau perbedaan dan peningkatan suhu yang terjadi pada motor maupun gearbox sebagai indikator awal kerusakan atau gangguan pelumasan.

Sensor SW420 berfungsi sebagai pembaca getaran yang diakibatkan oleh motor dan gearbox dengan menentukan ambang batas pembacaannya. Sinyal yang dihasilkan sensor ini akan dikirimkan ke Arduino Uno sebagai pengontrolnya,

Proses selanjutnya adalah Arduino uno menerima data suhu dari dua modul MAX6675 serta data getaran dari sensor SW420, kemudian memproses seluruh data tersebut dengan mengacu pada nilai ambang batas yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil pengolahan ini, sistem mampu membedakan kondisi operasi normal dan kondisi yang mengindikasikan adanya gangguan, seperti kerusakan bearing pada motor atau gearbox serta ketidakoptimalan sistem pelumasan akibat oli yang berkurang atau habis.

Pada bagian output dari blok diagram sistem ini adalah LCD I2C yang berfungsi sebagai penampil kondisi motor dan gearbox pada saat ini. Informasi yang ditampilkan berupa suhu motor dan gearbox serta status getaran motor dan gearbox yang berpacu pada sistem pelumasan dan kondisi bearing motor. Berikut merupakan blok diagram sistem yang digunakan pada gambar 1.

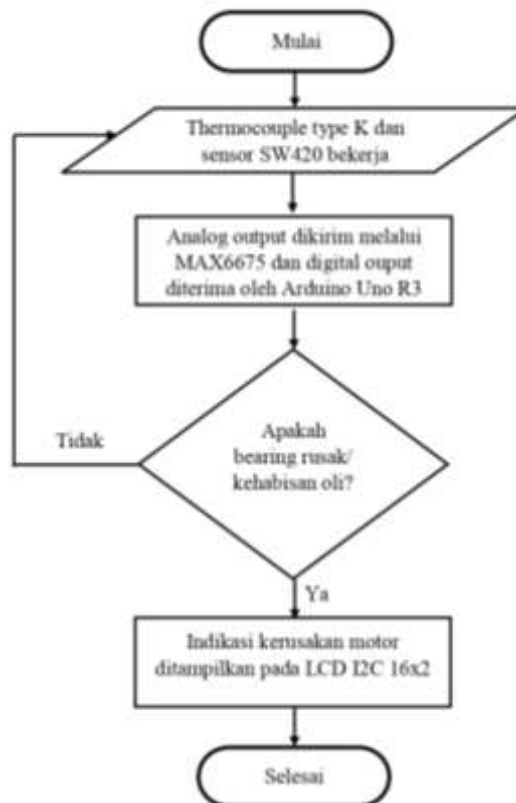


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

B. Flowchart Sistem

Alur kerja sistem pendeteksi dini kerusakan pada motor induksi tiga fasa dan gearbox berbasis Arduino diawali ketika sistem dinyalakan. Setelah aktif, sistem secara kontinu melakukan pembacaan data suhu dari sensor thermocouple tipe K yang terpasang pada motor dan gearbox, serta data getaran dari sensor SW420. Data suhu yang diperoleh dari thermocouple kemudian dikonversi menjadi sinyal digital oleh modul MAX6675 agar dapat diproses oleh mikrokontroler. Selanjutnya, sinyal digital dari modul MAX6675 dan data getaran dari sensor SW420 diterima oleh Arduino Uno R3 sebagai pusat pemrosesan sistem.

Arduino kemudian menganalisis data suhu dan getaran berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan untuk mengidentifikasi adanya indikasi kerusakan, seperti keausan bearing atau kondisi pelumasan gearbox yang tidak optimal atau kehabisan oli. Apabila hasil analisis menunjukkan tidak adanya indikasi kerusakan, sistem akan kembali ke tahap pembacaan sensor dan melanjutkan proses pemantauan secara berulang. Namun, jika terdeteksi adanya potensi kerusakan, sistem akan memberikan peringatan kepada pengguna. Informasi mengenai kondisi motor dan gearbox, termasuk indikasi kerusakan yang terdeteksi, ditampilkan secara real-time melalui layar LCD I2C 16×2. Setelah proses penampilan informasi, sistem kembali berada pada kondisi siaga untuk mengulangi siklus pemantauan, sehingga pemantauan kondisi motor dan gearbox dapat dilakukan secara berkelanjutan.. Berikut merupakan flowchart sistem yang digunakan pada gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Sistem

Hasil pengujian suhu motor ditunjukkan pada Tabel 1. Selisih pengukuran dihitung dari nilai absolut perbedaan antara pembacaan alat penelitian dan alat standar, sedangkan persentase error dihitung berdasarkan perbandingan selisih terhadap nilai alat standar.

Tabel 1. Hasil Pengujian Suhu Motor

Pengujian ke-	Pengukuran		Selisih Perhitungan	
	Alat Penelitian (°C)	Alat Standart (°C)	Jumlah Selisih (°C)	Pesentase Error (%)
1	48,6	49,0	0,4	0,82
2	49,2	49,5	0,3	0,61
3	50,1	50,4	0,3	0,60
4	51,0	51,5	0,5	0,97
5	51,8	52,0	0,2	0,38
6	52,6	53,0	0,4	0,75
7	53,4	53,8	0,4	0,74
8	54,1	54,5	0,4	0,73
9	55,0	55,4	0,4	0,72
10	55,7	56,0	0,3	0,54
Rata-Rata			0,36	0,69

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, diperoleh nilai selisih pengukuran suhu yang relatif kecil, dengan persentase error berada di bawah 1%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor suhu pada alat penelitian memiliki tingkat akurasi yang baik dan mendekati nilai pembacaan alat standar. Dengan demikian, sistem yang dirancang dinilai andal dalam memantau suhu motor dan dapat digunakan sebagai indikator awal terjadinya kerusakan bearing, di mana peningkatan suhu yang tidak normal dapat menjadi tanda adanya gangguan pada sistem mekanis motor.

B. Pengujian Suhu Gearbox

Pengujian suhu gearbox dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor suhu yang digunakan pada alat penelitian dengan membandingkannya terhadap alat ukur standar berupa termokopel referensi. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali pengukuran pada permukaan gearbox yang sedang beroperasi dalam kondisi kerja normal. Sensor suhu pada alat penelitian dan alat standar ditempatkan secara bersamaan pada titik pengukuran yang sama untuk meminimalkan pengaruh perbedaan posisi dan lingkungan terhadap hasil pengukuran.

Hasil pengujian suhu gearbox ditunjukkan pada Tabel 2 Selisih pengukuran diperoleh dari nilai absolut perbedaan antara pembacaan alat penelitian dan alat standar, sedangkan persentase error dihitung berdasarkan perbandingan nilai selisih terhadap pembacaan alat standar.

Tabel 2. Hasil Pengujian Suhu Gearbox

Pengujian ke-	Pengukuran		Selisih Perhitungan	
	Alat Penelitian (°C)	Alat Standart (°C)	Jumlah Selisih (°C)	Pesentase Error (%)
1	44,2	44,6	0,4	0,90
2	45,0	45,4	0,4	0,88
3	45,7	46,0	0,3	0,65
4	46,5	47,0	0,5	1,06
5	47,2	47,6	0,4	0,84
6	48,0	48,4	0,4	0,83
7	48,7	49,0	0,3	0,61
8	49,3	49,7	0,4	0,80
9	50,0	50,4	0,4	0,79
10	50,6	51,0	0,4	0,78
Rata-Rata			0,39	0,81

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, diperoleh nilai selisih pengukuran suhu gearbox yang relatif kecil, dengan persentase error berada di sekitar dan di bawah 1%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor suhu pada alat penelitian memiliki tingkat akurasi yang baik dan mendekati nilai pembacaan alat standar. Dengan tingkat akurasi tersebut, sistem pendeteksi dini yang dirancang mampu memberikan data suhu gearbox secara andal dan akurat, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi kerusakan akibat kehabisan pelumas maupun peningkatan suhu berlebih secara tepat waktu, sebelum terjadi kegagalan yang lebih serius pada sistem transmisi mekanis.

C. Pengujian Getaran Motor dan Gearbox

Pengujian getaran motor dan gearbox dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor getaran SW-420 yang digunakan pada alat penelitian dengan membandingkannya terhadap alat ukur standar berupa vibration meter

digital. Pengujian dilakukan pada motor induksi tiga fasa dan gearbox yang sedang beroperasi dalam kondisi normal. Sensor SW-420 dan alat standar ditempatkan pada titik pengukuran yang sama untuk memastikan kesesuaian data getaran yang diperoleh.

Data getaran dicatat dalam satuan mm/s (RMS), kemudian dilakukan perhitungan selisih nilai pembacaan antara alat penelitian dan alat standar. Selanjutnya, persentase error dihitung untuk mengetahui tingkat deviasi sensor terhadap alat ukur referensi. Hasil pengujian getaran motor dan gearbox ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Getaran Motor dan Gearbox

Pengujian ke-	Pengukuran		Selisih Perhitungan	
	Alat Penelitian (mm/s)	Alat Standart (mm/s)	Jumlah Selisih (mm/s)	Pesentase Error (%)
1	2,45	2,50	0,05	2,00
2	2,60	2,68	0,08	2,99
3	2,78	2,85	0,07	2,46
4	2,95	3,02	0,07	2,32
5	3,10	3,18	0,08	2,52
	Rata-Rata		0,07	2,46

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, diperoleh selisih nilai getaran yang relatif kecil antara sensor SW-420 dan alat ukur standar, dengan persentase error berada di bawah 3%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor SW-420 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi perubahan getaran pada motor dan gearbox. Dengan demikian, sistem yang dirancang mampu digunakan sebagai pendeteksi dini getaran abnormal, yang merupakan indikator awal terjadinya kerusakan pada bearing motor maupun keausan gigi pada gearbox. Deteksi getaran sejak dini diharapkan dapat membantu mencegah kerusakan yang lebih parah serta meningkatkan keandalan sistem pemeliharaan mesin.

D. Pengujian Rangkaian Keseluruhan

Pengujian rangkaian keseluruhan dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem, yang terdiri dari sensor suhu motor, sensor suhu gearbox, sensor getaran, mikrokontroler, serta media tampilan LCD, dapat bekerja secara terintegrasi dan menghasilkan informasi yang sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Pengujian ini dilakukan dengan mensimulasikan beberapa kondisi operasi yang umum terjadi pada motor dan gearbox, baik dalam keadaan normal maupun dalam kondisi yang mengindikasikan adanya potensi kerusakan.

Pada setiap kondisi pengujian, data suhu motor, suhu gearbox, serta status getaran dicatat dan dibandingkan dengan informasi yang ditampilkan pada LCD. Hasil pengujian rangkaian keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Rangkaian Keseluruhan

No	Keadaan	Suhu Motor (°C)	Suhu Gearbox (°C)	Getar / Tidak Getar	Keterangan
1	Motor Normal	48 – 52	44 – 47	Tidak Getar	Sesuai
2	Bearing Motor Rusak	55 – 60	45 – 48	Getar	Sesuai
3	Oli Gearbox Sesuai	50 – 53	46 – 49	Tidak Getar	Sesuai
4	Oli Gearbox Habis	52 – 55	55 – 60	Getar	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, dapat diketahui bahwa sistem mampu mendeteksi setiap kondisi yang diuji dengan baik. Pada kondisi motor normal dan oli gearbox sesuai, sistem menampilkan nilai suhu dalam batas aman serta tidak terdeteksi adanya getaran berlebih. Sebaliknya, pada kondisi bearing motor rusak dan oli gearbox habis, sistem berhasil mendeteksi peningkatan suhu dan munculnya getaran yang tidak normal, kemudian menampilkannya pada LCD sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Dengan demikian, hasil pengujian rangkaian keseluruhan menunjukkan bahwa sistem pendeteksi dini kerusakan motor dan gearbox yang dirancang telah bekerja secara terintegrasi dan mampu memberikan informasi yang akurat serta sesuai dengan kondisi lapangan. Sistem ini diharapkan dapat digunakan sebagai alat bantu pemantauan kondisi mesin untuk mencegah terjadinya kerusakan yang lebih parah melalui tindakan pemeliharaan yang lebih cepat dan tepat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pendeteksi dini kerusakan pada motor induksi tiga fasa dan gearbox berbasis Arduino berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Sistem ini mampu bekerja secara terintegrasi dalam memantau parameter suhu motor, suhu gearbox, serta getaran sebagai indikator awal kerusakan mekanis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata persentase error di bawah 1%, baik pada pengujian suhu motor maupun suhu gearbox. Di sisi lain, hasil pengujian sensor getaran SW-420 menunjukkan nilai rata-rata persentase kesalahan yang berada di bawah 3%, sehingga masih memenuhi batas toleransi yang dapat diterima untuk tujuan pendeteksian awal terhadap getaran yang tidak normal. Pengujian terhadap keseluruhan rangkaian sistem juga menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi perbedaan antara kondisi operasi normal dan kondisi abnormal, seperti adanya kerusakan pada bearing motor maupun keadaan oli gearbox yang telah berkurang atau habis, serta menampilkan informasi tersebut secara tepat pada layar LCD.

Berdasarkan hasil tersebut, mendapatkan sebuah kesimpulan bahwa alat ini mampu bekerja secara efektif dan dapat diandalkan dalam penanganan kerusakan dini pada motor dan gearbox secara real time. Sistem ini diharapkan dapat meminimalisir downtime yang berimbas pada nilai suatu perusahaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, atas dukungan fasilitas dan sarana yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penelitian dan penyusunan jurnal ini. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan lancar.

REFERENSI

- [1] I. ANSHORY, I. ROBANDI, J. Jamaaluddi, A. FUDHOLI, and WIRAWAN, "Transfer function modeling and optimization speed response of bldc motor e-bike using intelligent controller," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 305–324, 2021.
- [2] A. Choudhary, D. Goyal, S. L. Shimi, and A. Akula, "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Induction Motors: A Review," *Arch. Comput. Methods Eng.*, vol. 26, no. 4, pp. 1221–1238, 2019, doi: 10.1007/s11831-018-9286-z.
- [3] J. Jamaaluddin, "Sistem Kontrol Pendingin Mobil Ramah Lingkungan Berbasis Android," *Cyclotron*, vol. 2, no. 1, 2019, doi: 10.30651/cl.v2i1.2528.
- [4] T. A. Dhomad and A. A. Jaber, "Bearing fault diagnosis using motor current signature analysis and the artificial neural network," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 70–79, 2020, doi: 10.18517/ijaseit.10.1.10629.
- [5] S. D. Ayuni, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, "Lapindo Embankment Security Monitoring System Based on IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.)*, vol. 6, no. 1, pp. 40–48, 2021, doi: 10.21831/elinvo.v6i1.40429.
- [6] X. Liu, J. Hong, K. Zhao, B. Sun, W. Zhang, and J. Jiang, "Vibration Analysis for Fault Diagnosis in Induction Motors Using One-Dimensional Dilated Convolutional Neural Networks," *Machines*, vol. 11, no. 12, 2023, doi: 10.3390/machines11121061.
- [7] G. Anusha, H. G. Rajath, and S. Prashanth, "Condition Monitoring Of Gearbox Based On Lubrication Oil Analysis," vol. 12, no. 8, pp. 170–182, 2024.
- [8] R. B. Sharma and A. Parey, "Condition Monitoring of Gearbox using Experimental Investigation of Acoustic Emission Technique," *Procedia Eng.*, vol. 173, pp. 1575–1579, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.250>.
- [9] H. Liu, H. Liu, C. Zhu, and R. G. Parker, "Effects of lubrication on gear performance: A review," *Mech. Mach. Theory*, vol. 145, p. 103701, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2019.103701>.
- [10] D. Cabrera *et al.*, "Fault diagnosis of spur gearbox based on random forest and wavelet packet decomposition," *Front. Mech. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 277–286, 2015, doi: 10.1007/s11465-015-0348-8.
- [11] M. Vishwakarma, R. Purohit, V. Harshlata, and P. Rajput, "Vibration Analysis & Condition Monitoring for Rotating Machines: A Review," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, Part A, pp. 2659–2664, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.140>.
- [12] I. Sudhakar, S. AdiNarayana, and M. AnilPrakash, "Condition Monitoring of a 3-Ø Induction Motor by Vibration Spectrum anaylsis using Fft Analyser- A Case Study," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, Part A, pp. 1099–1105, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.125>.
- [13] V. N. Ghate and S. V Dudul, "Fault Diagnosis of Three Phase Induction Motor Using Neural Network Techniques," in *2009 Second International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology*, 2009, pp. 922–928. doi: 10.1109/ICETET.2009.100.

- [14] H. Abdulkareem, "TECHNOLOGY , COMMUNICATION AND TRANSPORT PREDICTIVE MAINTENANCE IN INDUSTRIAL EQUIPMENT USING IOT DEVICES".
- [15] A. Das and S. Ray, "A Review on Diagnostic Techniques of Bearing Fault and its modeling in Induction Motor," in *2020 IEEE Calcutta Conference (CALCON)*, 2020, pp. 502–505. doi: 10.1109/CALCON49167.2020.9106511.
- [16] A. F. Ikhsan, N. Irman, and A. Priatna Wandu, "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Motor Induksi 3 fasa Dengan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno di PDAM Garut," *J. Penelit. dan Pengemb. Tek. Elektro Telekomun. Indones.*, vol. 10, no. 1, pp. 17–24, 2019, [Online]. Available: <https://journal.uniga.ac.id/index.php/JPPB/article/view/958>
- [17] Sandi Hardiansyah and Sofian Yahya, "Perancangan dan Simulasi Deteksi Kerusakan Bearing Pada Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan FFT dan ANN," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 15, no. 1, pp. 412–419, 2024, doi: 10.35313/irwns.v15i1.6231.
- [18] A. Sulthoni and B. Suprianto, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Vibrasi pada Motor Sebagai Indikator Pengaman Terhadap Perubahan Beban Menggunakan Sensor Accelerometer GY-521 MPU 6050 Berbasis Arduino Uno," *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 3, pp. 147–155, 2018, [Online]. Available: <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/25095>

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.