

SISTEM MONITORING MOTOR LISTRIK BERBASIS MEDAN MAGNET PADA RUBBER TYRED GANTRY CRANE

Abdul Kadir Muhammad^{1,*}, Mukhtar², Nasrullah^{3**}, Nurfadillah Syarif^{4**}, Yudi Kurniawan⁵

^{1,2,3,4} Center for Mechatronics and Control Systems, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

^{1,5} Smart Green Port Research Center, Pelindo TPK New Makassar

ABSTRACT

This study aims to detect the magnetic field in the Rubber Tyred Gantry Crane (RTGC) hoist motor and present it in real-time via a website. The system is designed to display numerical data, graphs, and motor condition classification based on normal thresholds, namely B_x between -107,324 to 247,095 μT , B_y between -44,944 to 49,391 μT , and B_z between -135,512 to 224,710 μT . The test results show that the system successfully monitors the magnetic field value effectively with the measurement results of B_x of -150 μT , B_y of -50 μT , and B_z of 240 μT . These values are outside the established normal range, thus indicating an operational anomaly. This condition can be associated with a potential increase in torque, current, or voltage in the hoist motor. In addition, this monitoring system has practical benefits in supporting predictive maintenance strategies, allowing potential damage to be detected earlier, minimizing downtime, and improving the reliability of RTGC operations in the field.

Keywords: Magnet Field, Hoist Motor, Monitoring, Predictive maintenance Rubber Tyred Gantry Crane, Website.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi medan magnet pada motor *hoist Rubber Tyred Gantry Crane* (RTGC) dan menyajikannya secara *real-time* melalui *website*. Sistem dirancang untuk menampilkan data numerik, grafik, serta klasifikasi kondisi motor berdasarkan ambang batas normal, yaitu B_x antara -107,324 hingga 247,095 μT , B_y antara -44,944 hingga 49,391 μT dan B_z antara -135,512 hingga 224,710 μT . Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil memantau nilai medan magnet secara efektif dengan hasil pengukuran B_x sebesar -150 μT , B_y sebesar -50 μT , dan B_z sebesar 240 μT . Nilai tersebut berada di luar rentang normal yang ditetapkan, sehingga mengindikasikan adanya anomali operasi. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan potensi peningkatan torsi, arus, atau tegangan pada motor *hoist*. Selain itu, sistem *monitoring* ini memiliki manfaat praktis dalam mendukung strategi *predictive maintenance* sehingga potensi kerusakan dapat terdeteksi lebih awal, meminimalkan *downtime*, dan meningkatkan keandalan operasi RTGC di lapangan.

Kata Kunci: Medan Magnet, Motor Hoist, *Monitoring*, *Predictive maintenance*, *Rubber Tyred Gantry Crane*, *Website*.

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia memiliki peran strategis dalam perdagangan global. Pelabuhan-pelabuhan di Indonesia berfungsi sebagai pintu gerbang utama perdagangan internasional yang mendukung aktivitas ekspor, impor, serta distribusi komoditas ke berbagai wilayah dalam negeri. Dengan letak geografis yang berada di jalur maritim internasional, Indonesia memiliki potensi besar untuk menjadi hub logistik dan distribusi di kawasan Asia Pasifik. Untuk mendukung peran tersebut, infrastruktur pelabuhan harus dikelola secara optimal, termasuk dengan penerapan teknologi modern yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasional.

Terminal Petikemas Makassar *New Port* merupakan salah satu pelabuhan strategis yang berfungsi sebagai pusat logistik di kawasan timur Indonesia. Terminal ini berfokus pada aktivitas bongkar muat kontainer dengan memanfaatkan peralatan modern untuk mempercepat proses operasional. Salah satu peralatan vital yang digunakan adalah *Rubber Tyred Gantry Crane* (RTG). RTG merupakan alat berat yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan kontainer dari dermaga ke area penumpukan maupun sebaliknya. Berbeda dengan *Container Crane* (CC) yang hanya dapat beroperasi di dermaga, RTG memiliki fleksibilitas gerak karena tidak memerlukan rel, sehingga lebih efisien dalam penataan kontainer di lapangan penumpukan[1].

Motor listrik berperan sebagai penggerak utama pada RTG Crane dan memiliki fungsi penting dalam mengoperasikan sistem pengangkatan serta pergerakan horizontal maupun vertikal. Kinerja motor listrik sangat dipengaruhi oleh kestabilan medan magnet, karena medan magnet menjadi elemen penting dalam proses konversi energi elektromagnetik antara stator dan rotor. Jika terjadi ketidakaturan medan magnet, maka efisiensi motor dapat menurun akibat berkurangnya torsi, sehingga motor membutuhkan arus lebih besar yang berpotensi menimbulkan overheating[2]. *Overheating* merupakan salah satu penyebab kerusakan motor yang paling sering terjadi, di mana sekitar 15–20% kerusakan motor listrik

* Korespondensi penulis: Abdul Kadir Muhammad, email kadir.muhammad@poliupg.ac.id

** Mahasiswa Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mekatronika, Politeknik Negeri Ujung Pandang

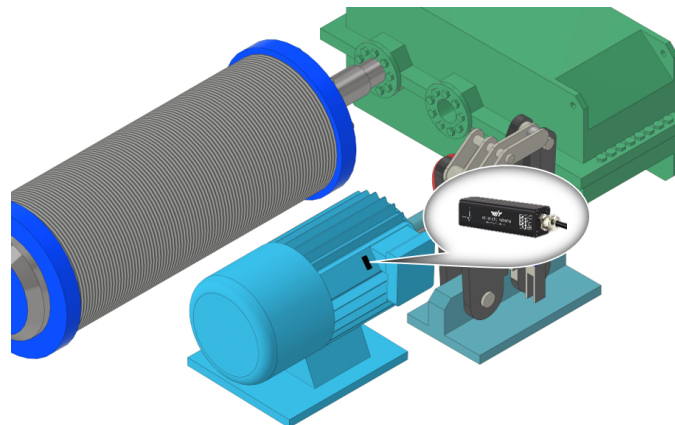
disebabkan oleh faktor ini. Selain itu, ketidakseimbangan distribusi medan magnet juga dapat memicu getaran mekanis yang menyumbang sekitar 10–15% dari kegagalan motor listrik di industri.

Ketidakteraturan medan magnet dapat digunakan sebagai indikator awal adanya gangguan pada motor, termasuk hubung singkat pada belitan stator. Untuk mendeteksi hal ini, salah satu metode yang dapat diterapkan adalah pemantauan perubahan medan magnet dengan sensor fluxgate yang ditempatkan di luar motor. Metode ini lebih efisien dibandingkan metode lain karena tidak mengganggu kinerja motor, mudah diimplementasikan, serta memungkinkan diagnosis secara *non-invasif*[3]. Selain itu, sensor fluxgate memiliki tingkat akurasi tinggi dalam mendeteksi perubahan medan magnet sehingga sangat sesuai digunakan dalam pemantauan kondisi motor induksi[4].

Kasus *downtime* operasional RTG di Terminal Petikemas Makassar *New Port* menunjukkan bahwa sistem *monitoring* yang ada saat ini masih bersifat reaktif, yaitu kerusakan baru ditangani setelah gangguan terjadi. Kondisi ini menyebabkan keterlambatan proses bongkar muat kontainer dan berimplikasi pada meningkatnya biaya logistik serta kerugian ekonomi yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan medan magnet motor listrik secara *real-time* yang mampu mendeteksi potensi gangguan lebih dini, sehingga kerusakan motor dapat dicegah dan efisiensi operasional pelabuhan tetap terjaga.

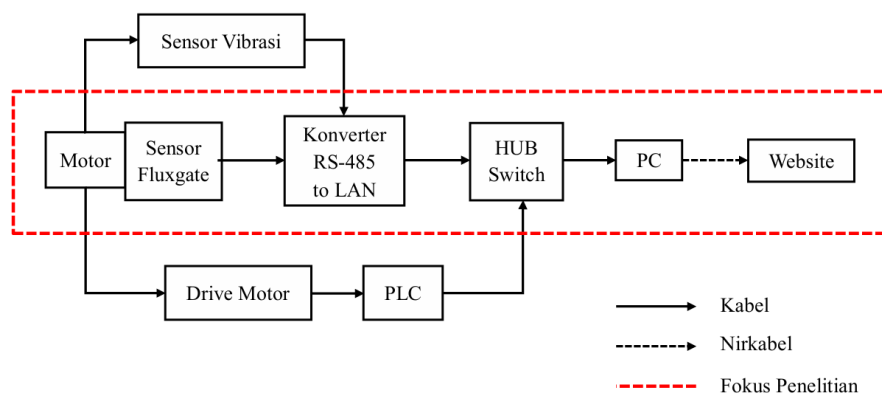
2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini dilakukan di PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Terminal Petikemas *New Makassar* yang terletak di Jl. Sultan Abdullah Raya Kecamatan Tallo Makassar Sulawesi Selatan dan Lab Robotik dan Kontrol Politeknik Negeri Ujung Pandang. Waktu penelitian ini berlangsung selama 9 bulan yang dimulai dari bulan November 2024 sampai bulan Juli 2025. Desain Rancangan Perangkat keras berupa Posisi Penempatan Sensor Fluxgate pada Gambar 1, Desain Eletronik Deteksi Medan Magnet pada Gambar 2, dan Ambang batas medan magnet berdasarkan data 1.089 sampel pada Tabel 1.



Gambar 1 Posisi Penempatan Sensor Fluxgate pada Motor Hoist

Sensor Fluxgate yang digunakan dengan tipe HWT3100-485 yang dapat membaca data B_x , B_y , B_z , nilai total medan magnet (B_{total}), serta sudut orientasi ($Angle Z$), sensor ini ditempatkan di luar permukaan stator yang sejajar dengan stator dan rotor agar pembacaan medan magnet akurat.



Gambar 2 Desain Eletronik Deteksi Medan Magnet

Desain Eletronik yang ditambahkan hanya pada Sensor Fluxgate yang disambungkan ke Konverter RS-485 to *ethernet* karena komponen lainnya telah terpasang pada RTGC, PC yang digunakan disini merupakan PC tambahan yang bukan PC utama dari RTG sehingga proses pengambilan data tidak mengganggu kinerja PC RTGC.

Penentuan ambang batas kenormalan medan magnet pada motor *hoist* menggunakan persamaan statistik. Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan ambang batas minimum pada masing-masing sumbu medan magnet dapat dihitung dengan menggunakan persamaan[5]:

$$\mu - \kappa \sigma \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan:

- μ : nilai rata-rata (*mean*) dari data medan magnet,
- σ : simpangan baku (*standard deviation*),
- κ : Koefisien statistik.

Sedangkan ambang batas maksimum pada masing-masing sumbu medan magnet dihitung dengan persamaan:

$$\mu + \kappa \sigma \dots\dots\dots(2-2)$$

Keterangan:

- μ : nilai rata-rata (*mean*) dari data medan magnet,
- σ : simpangan baku (*standard deviation*),
- κ : Koefisien statistik.

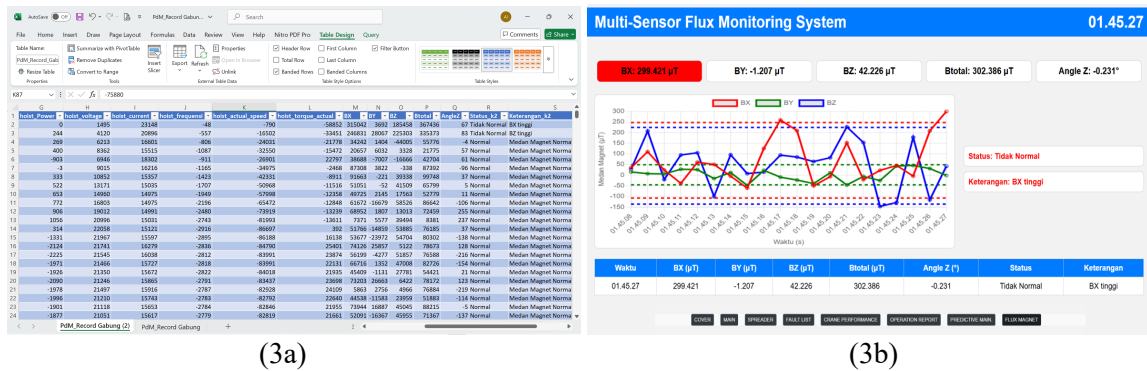
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan ambang batas medan magnet dilakukan untuk mengklasifikasikan kondisi motor listrik ke dalam kategori normal atau tidak normal berdasarkan nilai medan magnet pada sumbu B_x , B_y , dan B_z . Proses ini diawali dengan pengumpulan data sebanyak 1.089 sampel data medan magnet yang diperoleh dari sensor yang terpasang pada motor *hoist*. Selanjutnya, dilakukan analisis statistik terhadap data tersebut untuk memperoleh nilai rata-rata (μ) dan simpangan baku (σ) pada masing-masing sumbu medan magnet. Berdasarkan hasil analisis, ambang batas minimum dan maksimum ditentukan menggunakan persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) dengan nilai koefisien $k=2$. Hasil perhitungan ambang batas untuk masing-masing sumbu medan magnet ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ambang batas medan magnet berdasarkan data 1.089 sampel

No	Sumbu Medan Magnet	Ambang Batas Minimum [μ T]	Ambang Batas Maksimum [μ T]
1	B_x	-107,324	247,095
2	B_y	-44,944	49,391
3	B_z	-135,512	224,710

Ambang batas ini ditetapkan menggunakan pendekatan statistik $\mu \pm 2\sigma$, sehingga diperoleh rentang nilai normal untuk masing-masing sumbu, yaitu nilai B_x antara -107.324 hingga 247.095 μ T, B_y antara -44.944 hingga 49.391 μ T, dan B_z antara -135.512 hingga 224.710 μ T. Nilai-nilai tersebut merupakan ambang batas normal yang digunakan sebagai acuan utama dalam sistem *monitoring* untuk mendeteksi kenormalan medan magnet pada motor *hoist*.

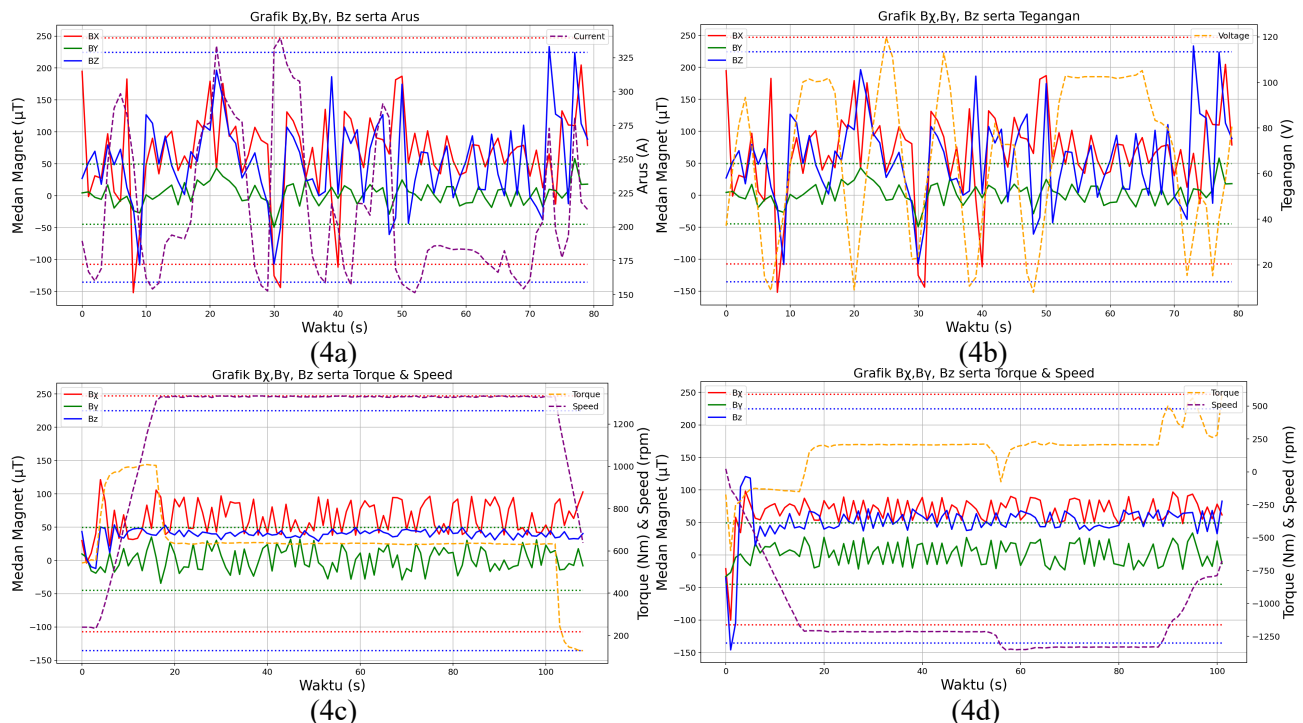


Gambar 3 Hasil Deteksi Medan Magnet

(3a) Data report (3b) Tampilan Website

Data report ini disajikan dalam bentuk file csv yang merekam data medan magnet dan data kerja motor listrik setiap RTGC dalam keadaan beroperasi. Data akan disimpan dalam struktur folder tahun/bulan/hari/file report dengan demikian delay penarikan data report diminimalkan dengan struktur folder yang efisien.

Klasifikasi kondisi medan magnet pada halaman *website* dilakukan secara otomatis berdasarkan ambang batas nilai yang telah ditentukan. Sistem akan memeriksa apakah nilai B_x , B_y , atau B_z berada dalam rentang tersebut. Jika seluruh nilai medan magnet masih berada dalam batas normal, maka status yang ditampilkan adalah "Normal", disertai keterangan bahwa kondisi medan magnet aman. Namun, apabila salah satu nilai melebihi atau berada di bawah ambang batas, sistem akan menampilkan status "Tidak Normal", disertai keterangan penyebab berdasarkan sumbu dan jenis penyimpangannya. Informasi ini berfungsi sebagai peringatan dini yang penting untuk diperhatikan, karena dapat berdampak terhadap performa dan keandalan motor listrik. Proses klasifikasi ini diperbarui secara *real-time* dan divisualisasikan melalui grafik garis yang dilengkapi batas atas dan bawah untuk setiap sumbu untuk memudahkan pemantauan kondisi medan magnet. Klasifikasi ini akan terus diperbaharui dalam halaman *website* setiap detik.



Gambar 6 Data Medan Magnet dan Data Kerja Motor

(4a) Grafik Pengaruh Arus Terhadap Medan Magnet, (4b) Grafik Pengaruh Tegangan Terhadap Medan Magnet, (4c) Grafik Medan Magnet Motor *Hoist up* (4d) Grafik Medan Magnet Motor *Hoist Down*

Hasil pengujian sistem *monitoring* medan magnet pada motor *hoist Rubber Tyred Gantry Crane* (RTGC) menunjukkan bahwa fluktuasi medan magnet sangat erat kaitannya dengan parameter kerja motor

seperti arus, tegangan, torsi, dan kecepatan. Sensor fluxgate HWT-3100 yang digunakan mampu merekam perubahan nilai medan magnet secara *real-time* pada tiga sumbu (B_x , B_y , B_z), sehingga memungkinkan analisis mendalam terhadap kondisi operasional motor.

Berdasarkan pengamatan data, nilai medan magnet mengalami perubahan signifikan saat motor *hoist* beroperasi, terutama saat terjadi lonjakan torsi atau perubahan kecepatan. Nilai B_x dan B_z menunjukkan amplitudo yang lebih besar dibandingkan B_y yang menandakan bahwa arah dominan medan magnet berada pada bidang horizontal dan vertikal terhadap posisi sensor. Ini sesuai dengan prinsip kerja motor induksi, di mana arus pada lilitan stator menghasilkan medan magnet yang kuat dan dapat dideteksi oleh sensor. Pengaruh arus terhadap medan magnet terlihat paling dominan. Lonjakan arus yang melebihi 300 A menghasilkan kenaikan drastis pada B_x dan B_z dan penurunan arus secara drastis menyebabkan B_x turun drastis hingga melewati batas ambang bawah. Sebaliknya, fluktuasi tegangan menunjukkan dampak yang lebih lemah terhadap medan magnet, meskipun tetap memberikan kontribusi terhadap pembentukan induksi elektromagnetik dalam motor. Analisis terhadap gerakan *hoist up* dan *hoist down* memperkuat pemahaman mengenai karakteristik medan magnet. Pada saat *hoist up*, kecepatan motor meningkat hingga lebih dari 1300 rpm, dan torsi mencapai kisaran 650 Nm, menghasilkan medan magnet yang kuat pada B_x dan B_z , meskipun tidak ada yang keluar dari ambang batas. Sebaliknya, pada *hoist down*, terjadi lonjakan pada detik awal yang menyebabkan B_z turun melewati batas ambang bawah akibat perubahan torsi dan kecepatan secara mendadak. Setelah fase awal, medan magnet kembali stabil dan menunjukkan pola kerja yang lebih teratur. Pola-pola ini menunjukkan bahwa medan magnet dapat menjadi parameter penting dalam mendeteksi dinamika operasional dan anomali sistem motor secara *real-time*.

Website monitoring yang dikembangkan terbukti efektif dalam menampilkan data medan magnet secara *real-time*, serta memberikan klasifikasi kondisi berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan. Fitur ini memberikan manfaat dalam pemantauan kondisi motor secara kontinu, serta dapat digunakan sebagai sistem peringatan dini apabila terjadi penyimpangan pada medan magnet. Secara keseluruhan, sistem *monitoring* ini mampu mengidentifikasi dinamika medan magnet secara akurat selama operasi RTGC. Fluktuasi nilai B_x , B_y , dan B_z dapat digunakan sebagai indikator kesehatan motor *hoist* dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk sistem perawatan prediktif (*predictive maintenance*) di lingkungan industri pelabuhan.

Selain itu, hasil pengujian performa sistem menunjukkan bahwa sensor fluxgate HWT3100 memiliki tingkat akurasi pengukuran mencapai $\pm 1,5$ % terhadap standar kalibrasi medan magnet referensi, sehingga mampu memberikan data yang konsisten untuk kebutuhan analisis kondisi motor. Pengujian waktu respons sistem juga memperlihatkan bahwa data dari sensor hingga tampil pada website memiliki *delay* rata-rata sebesar 8,5 detik, yang masih berada dalam kategori *real-time* untuk aplikasi *monitoring* lapangan. Kombinasi antara akurasi tinggi dan waktu respons cepat ini menjadikan sistem monitoring berbasis medan magnet layak diimplementasikan sebagai alat diagnostik awal terhadap potensi kerusakan motor listrik di lingkungan operasional *Rubber Tyred Gantry Crane* (RTGC).

4. KESIMPULAN

Pemantauan medan magnet pada motor *hoist Rubber Tyred Gantry Crane* (RTGC) menggunakan sensor fluxgate 3-axis dan sistem *monitoring real-time* berbasis *website* telah berhasil diterapkan secara efektif. Sensor fluxgate yang dipasang pada motor *hoist* mampu mendeteksi nilai medan magnet pada sumbu B_x , B_y , dan B_z secara terus-menerus. Data yang diperoleh disimpan dalam format CSV dan JSON, lalu dikirim ke server untuk ditampilkan secara *real-time* melalui *website*. *Website* ini mampu menyajikan informasi medan magnet dalam bentuk nilai numerik, grafik per waktu, serta klasifikasi kondisi motor berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan. Data diperbarui setiap detik, sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara langsung dan berkelanjutan.

Kondisi motor *hoist* berhasil dibandingkan dan diklasifikasikan berdasarkan nilai medan magnet terhadap ambang batas yang telah ditentukan. Ambang batas ini ditetapkan menggunakan pendekatan statistik $\mu \pm 2\sigma$, sehingga diperoleh rentang nilai normal untuk masing-masing sumbu, yaitu nilai B_x antara -107,324 hingga 247,095 μT , B_y antara -44,944 hingga 49,391 μT , dan B_z antara -135,512 hingga 224,710 μT . Hasil pengukuran medan magnet kemudian dibandingkan dengan ambang batas tersebut untuk menentukan kondisi motor. Apabila seluruh nilai berada dalam rentang normal, maka kondisi dikategorikan “Normal”. Sebaliknya, jika salah satu dari nilai B_x , B_y , atau B_z berada di luar batas tersebut, maka kondisi diklasifikasikan sebagai “Tidak Normal”. Sistem monitoring juga memberikan informasi tambahan terkait sumbu medan magnet mana yang menyebabkan penyimpangan, sehingga hasil analisis dapat digunakan sebagai dasar dalam penilaian kondisi motor secara objektif dan sistematis.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Terminal Petikemas New Makassar yang telah memberikan dukungan izin implementasi bagi penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Akhbar and E. Darmana, "Study Penanganan Kerusakan Komponen Yang Terjadi Pada Rtg Di Terminal Peti Kemas Koja Jakarta," *J. Sains Dan Teknol. Marit.*, vol. 19, no. 2, pp. 142–150, 2019, doi: 10.33556/jstm.v19i2.203.
- [2] R. S. Widagdo, D. A. Asfani, and I. M. Y. Negara, "Detection of Air Gap Eccentricity on Three-Phase Induction Motor Using 3-Axis Digital ELF Gaussmeter," *2021 3rd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. ICHVEPS 2021*, pp. 436–441, 2021, doi: 10.1109/ICHVEPS53178.2021.9600913.
- [3] B. Rachmat, A. Ro, I. Diah, P. Karyatanti, and B. Y. Dewantara, "Detection of Stator Winding Short Circuit Faults Through Magnetic Fields In Induction Motors Deteksi Gangguan Hubung Singkat Belitan Stator Melalui Medan Magnet Di Motor Induksi," vol. 5, no. 1, pp. 89–102, 2021.
- [4] A. H. Fithrooh, I. D. P.K, and B. Y. Dewantara, "Diagnosa Eksentrisitas Celah Udara Pada Motor Induksi Melalui Analisia Axial Fluks," *Media Elektr.*, vol. 12, no. 2, p. 66, 2020, doi: 10.26714/me.12.2.2019.66-78.
- [5] S. P. Collins *et al.*, *Introductory Statistics*. 2021.