

PERANCANGAN PROTOTYPE PENDETEKSI KONDISI RODA GIGI SERTA MONITORING ARUS DAN TEGANGAN PADA MOTOR WESEL T84M

Mifzam Fahmi Rafsanjani

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan Lor,
Kec. Manguharjo, Madiun, Jawa Timur 63161
fahmi.tep20202140@
taruna.ppi.ac.id

Fathurrozi Winjaya

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan Lor,
Kec. Manguharjo, Madiun, Jawa Timur 63161
fathurrozi@ppi.ac.id

Arief Darmawan

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan Lor,
Kec. Manguharjo, Madiun, Jawa Timur 63161
darmawan@ppi.ac.id

Mariana Diah

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan Lor,
Kec. Manguharjo, Madiun, Jawa Timur 63161
mariana@ppi.ac.id

Abstract

The point machine is very important for changes in the direction of the train, which affects the service and safety of the train. Checking the T84M point machine manually is time-consuming and human error-prone. Maintenance includes checking gears, current, and motor voltage. Gear damage, currents, and voltages exceeding tolerance limits cause performance problems in point machines. This study aims to create an innovative prototype for early fault detection and easier maintenance. Gear vibration data processed using the ADXL345 sensor with the FFT method shows a significant difference. normal gears have amplitude <1066 m/s², wear ≥ 1066 m/s², broken gears have ≥ 1960 m/s². Testing the PZEM-004T sensor was satisfactory, with a current error of 0.01% and a voltage error of 0.004%. This sensor is suitable for monitoring the motor output current and voltage. Sensor readings during monitoring of motor current and voltage reveal patterns during operation.

Keywords: Current, FFT, turnout motor T84M, gear, voltage

Abstrak

Penggerak wesel memiliki peran vital dalam mengubah arah pergerakan kereta api, yang berdampak langsung pada infrastruktur perkeretaapian, layanan, dan keselamatan. Saat ini, pemeriksaan manual penggerak wesel T84M memerlukan waktu lama dan berisiko terjadi kesalahan manusia. Pemeliharaannya melibatkan pengecekan roda gigi, arus, dan tegangan motor. Kerusakan pada roda gigi, lonjakan arus dan tegangan di luar batas toleransi menjadi awal masalah dalam kinerja penggerak wesel. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe inovatif untuk deteksi awal gangguan dan pemeliharaan yang lebih mudah. Data getaran dari roda gigi diolah menggunakan sensor ADXL345 dengan metode FFT, menghasilkan perbedaan yang signifikan. Roda gigi normal memiliki amplitudo <1066 m/s², sedangkan keausan ≥ 1066 m/s², dan gigi yang patah ≥ 1960 m/s². Pengujian sensor PZEM-004T cukup andal, dengan rata-rata kesalahan arus 0,01% dan kesalahan tegangan 0,004%, menjadikannya cocok untuk memantau arus dan tegangan pada motor wesel. Pembacaan sensor saat memonitor motor wesel mengungkap pola arus dan tegangan yang muncul selama operasi motor.

Kata kunci: Arus, FFT, motor wesel T84M, roda gigi, tegangan

PENDAHULUAN

Penggerak wesel memainkan peran utama dalam mengubah arah gerak kereta api melalui penggerak mekanis. Fungsi krusial dari penggerak wesel ini membuatnya menjadi

komponen yang sangat penting dalam infrastruktur perkeretaapian. Dalam pengoperasiannya, penggerak wesel memiliki dampak langsung terhadap pelayanan, keamanan, dan pemeliharaan sistem perkeretaapian secara keseluruhan (Alessi et al., 2016). Terdapat dua jenis penggerak wesel yang umum digunakan, yaitu mekanik dan elektrik, meskipun keduanya memiliki fungsi yang sama dalam menggerakkan lidah wesel agar mengikuti arah rute yang telah ditentukan. Perbedaan mendasar terletak pada penggerak wesel elektrik yang memiliki kemampuan tambahan untuk mendeteksi dan mengunci kedudukan lidah wesel dengan lebih akurat. Selain itu, jenis penggerak wesel juga dapat dibedakan berdasarkan tipe catu daya yang digunakan, seperti penggerak wesel dengan catu daya AC atau DC, serta jenis penguncian luar dan dalam (MenHub R.I., 2018).

Dalam menjaga kelancaran operasional perjalanan kereta api, penting untuk melakukan pemeriksaan dan perawatan secara teratur guna mendukung fasilitas operasi agar lebih mudah dan optimal dalam menjaga prasarana agar tetap dalam kondisi yang layak pakai (Abimanyu, 2021). Pada saat ini, proses pemeriksaan dan perawatan pada penggerak wesel T84M masih dilaksanakan secara manual, menghabiskan waktu yang relatif lama, serta memungkinkan terjadinya *human error*. Pemeriksaan pada penggerak wesel mencakup pengecekan kondisi roda gigi serta pengukuran parameter seperti tegangan dan arus pada motor penggerak wesel. Kerusakan pada roda gigi dapat menjadi sumber gangguan awal yang berpotensi memengaruhi kesehatan dan kinerja penggerak wesel. Selain itu, lonjakan tegangan dan arus yang melebihi batas toleransi juga dapat menyebabkan gangguan serius pada penggerak wesel.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang *prototype* yang mampu mendeteksi kondisi roda gigi serta memonitor tegangan dan arus pada motor wesel tipe T84M. *Prototype* ini menggunakan *mikrokontroler* ESP32 yang terhubung dengan aplikasi Blynk melalui *web dashboard*, memungkinkan pemantauan jarak jauh secara nirkabel. Dalam mengolah data kondisi roda gigi pada penelitian ini menggunakan metode *Fast Fourier Transform*. Metode FFT memungkinkan analisis getaran dari roda gigi dengan mengubah sinyal getaran domain waktu menjadi domain frekuensi. Dengan menggunakan metode FFT, *prototype* dapat secara akurat dan cepat mengidentifikasi kondisi normal, aus, atau patah pada roda gigi berdasarkan karakteristik spektrumnya. *Prototype* yang dirancang ini memiliki tujuan utama untuk melakukan deteksi lebih dini terhadap gangguan yang terjadi pada roda gigi dan juga mempermudah proses pemeriksaan serta perawatan penggerak wesel tanpa memerlukan alat ukur konvensional seperti multimeter dan *clamp amper*. Dengan menggunakan *prototype* ini, diharapkan teknisi dapat mengidentifikasi masalah dengan lebih cepat dan mengambil tindakan perbaikan yang tepat waktu. Selain itu, *prototype* ini juga dapat dikembangkan dengan penambahan fitur *history* atau *logger* yang akan merekam data dalam periode tertentu. Hal ini akan memungkinkan tim *maintenance* untuk melakukan evaluasi kinerja penggerak wesel dalam jangka waktu yang lebih panjang, dengan memeriksa kondisi roda gigi, nilai arus, dan tegangan sebagai indikator kesehatan penggerak wesel. Dengan adanya solusi inovatif ini, diharapkan sistem penggerak wesel dapat beroperasi dengan lebih efisien dan memberikan pelayanan yang lebih baik kepada pengguna jasa transportasi kereta api.

LANDASAN TEORI

Fast Fourier Transform (FFT) adalah sebuah algoritma matematika yang efisien dan cepat yang digunakan untuk mentransformasi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi (Kusuma, 2021). Algoritma ini memungkinkan pengubahan representasi suatu sinyal dari bentuk domain waktu menjadi domain frekuensi dengan menggunakan Transformasi *Fourier Diskrit* (Syaifuddin & Suryono, 2014). Perhitungan DFT secara langsung membutuhkan jumlah operasi aritmetika sebanyak $O(N^2)$ atau memiliki kompleksitas waktu orde N^2 namun dengan menggunakan FFT, jumlah operasi yang diperlukan hanya sebanyak $O(N \log N)$. Persamaan DFT dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$X_n = \sum_{r=0}^{N-1} x_r W^{rn} \quad (1)$$

Jika kita membagi persamaan N dengan 2, maka proses penjumlahan pada X_n dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu penjumlahan untuk kasus r genap dan penjumlahan untuk kasus r ganjil.

DFT untuk r genap yaitu $\{x_1, x_3, \dots, x_{(N-2)}\}$ dan ditulis sebagai :

$$E_n = \sum_{r=0}^{N/2-1} x_{2r} W^{2rn} \quad (2)$$

DFT untuk r ganjil yaitu $\{x_1, x_3, \dots, x_{(N-1)}\}$ dan ditulis sebagai :

$$O_n = \sum_{r=0}^{N-1} x_{(2r+1)} W^{(2r+1)n} \quad (3)$$

Dalam konteks deret Transformasi Fourier Diskrit (DFT), DFT dengan jumlah N dapat dinyatakan sebagai dua DFT dengan jumlah $N/2$.

$$X_n = E_n + W^n O_n \quad (4)$$

Metode yang digunakan dalam perhitungan spektrum sinyal tertentu memanfaatkan DFT (*Transformasi Fourier Diskrit*). Dalam metode ini, diperlukan sejumlah perkalian untuk mendapatkan hasil spektrum yang diinginkan. Dengan menggunakan pendekatan yang efisien, jumlah perkalian yang dibutuhkan dapat diurutkan dan dinyatakan secara matematis. Dalam perhitungan tersebut, ditemukan bahwa untuk mencari spektrum sinyal dengan panjang N, diperlukan sebanyak $2 \times (N/2)^2 = 2 \times (N^2/4) = N^2/2$ perkalian. Dalam perhitungan ini, juga perlu mempertimbangkan perkalian dengan suatu angka. Dalam total, jumlah perkalian yang diperlukan adalah $N^2/2 + N$. Namun, jika kita mempertimbangkan bahwa N jauh lebih kecil dibandingkan dengan N^2 , maka jumlah perkalian dapat dinyatakan sebagai orde $N^2/2$ atau $O(N^2/2)$, yang artinya hanya setengah dari jumlah perkalian yang diperlukan dalam metode konvensional.

Selanjutnya, jika panjang sinyal $N/2$ dapat dibagi menjadi 2, maka DFT dengan $N/2$ titik dapat dipecah menjadi 2 DFT dengan $N/4$ titik masing-masing. Hal ini mengurangi jumlah perkalian yang diperlukan lebih lanjut. Jika panjang sinyal $N = 2^M$, di mana M disebut

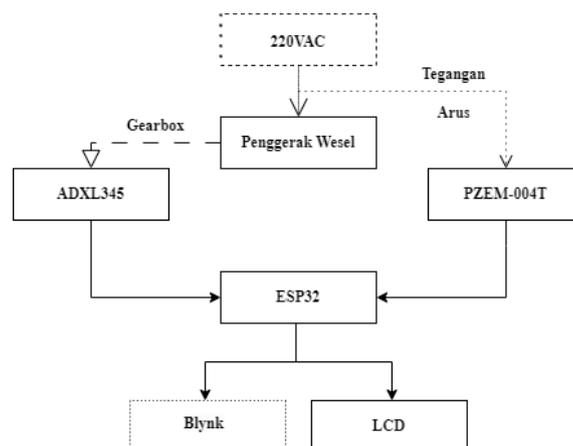
radix, prosedur ini dapat diulang hingga mencapai DFT dengan 1 titik, yang artinya tidak diperlukan perkalian lagi. Dalam kasus ini, jumlah level atau tingkatan yang ada adalah M , yang dapat dinyatakan sebagai logaritma basis 2 dari N . Dalam setiap tingkatan, diperlukan N perkalian, sehingga algoritma ini membutuhkan total $N \log_2 N$ perkalian. Ini merupakan peningkatan efisiensi signifikan dibandingkan dengan metode konvensional yang membutuhkan N^2 perkalian. Dengan demikian, metode ini memberikan keuntungan dalam mengurangi jumlah perkalian yang diperlukan dalam perhitungan spektrum sinyal. Keuntungan menggunakan FFT dibandingkan DFT sebesar:

$$\frac{N^2}{N \log_2 N} = \frac{N}{M} \quad (5)$$

METODE PENELITIAN

Perancangan Diagram Blok Sistem

Perangkat keras ini dirancang dengan prinsip kerja sebagai berikut: Sumber tegangan yang digunakan untuk menggerakkan motor wesel masuk ke sensor PZEM-004T sebagai sensor yang membaca nilai arus dan tegangan. Nilai ini kemudian diproses oleh ESP32. Sensor ADXL345 ditempatkan di sekitar *gearbox* untuk membaca nilai getaran dari roda gigi. ESP32 akan mengolah data getaran dengan menerapkan algoritma *Fast Fourier Transform*. Selain itu, ESP32 juga berfungsi sebagai perangkat *Internet of Things* (IoT) yang terhubung dengan aplikasi *Blynk*. Data dari sensor PZEM-004T akan ditampilkan pada LCD dan *web dashboard Blynk*, sedangkan data getaran yang telah diolah akan ditampilkan dalam bentuk lampu indikator pada *web dashboard Blynk*. Diagram blok perangkat keras secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

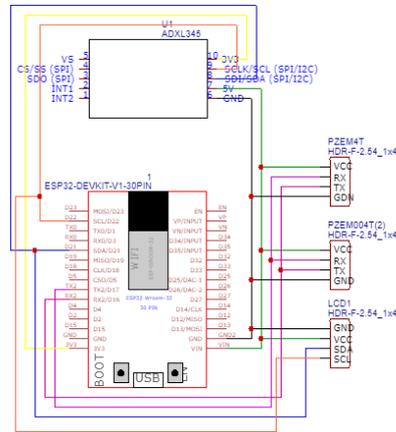


Gambar 1. Diagram blok sistem

Diagram Skematik Rangkaian

Berdasarkan diagram skematik (Gambar 2.) rangkaian *prototype* alat, dapat disimpulkan bahwa PZEM-004T terhubung dengan pin RX/TX pada ESP32, sementara LCD dan

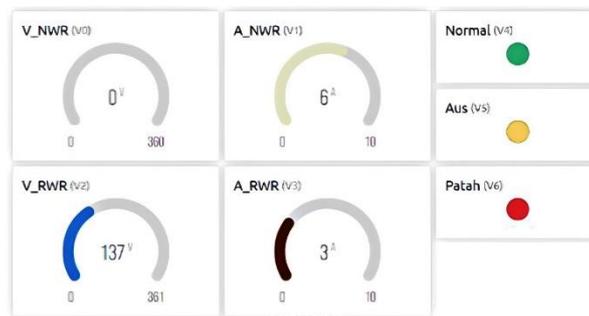
ADXL345 terhubung dengan pin SDA/SCL pada ESP32. Hal ini menunjukkan bahwa setiap komponen dalam *prototype* alat memiliki koneksi yang tepat dan terstruktur, memastikan kerja sama yang efektif antara komponen-komponen tersebut untuk mencapai fungsi dan interaksi yang diinginkan.



Gambar 2. Diagram skematik rangkaian

Pembuatan Antarmuka pada Server *Blynk*

Penggunaan *Blynk* diperlukan sebagai media untuk memantau kondisi kerusakan roda gigi melalui indikator yang telah ditambahkan, serta memantau nilai arus dan tegangan. Proses perancangan *blynk* dimulai dengan pembuatan *template* perangkat dan pengaturan *datastream* untuk menghubungkan kode program ke virtual pin dan *widget* yang sesuai. Selanjutnya, kode program dihubungkan ke server *Blynk* menggunakan *Auth Token*. Setelah tampilan *Blynk* selesai dibuat, aplikasi dapat digunakan dengan menghubungkan *Blynk* ke *hotspot* pada *smartphone* pengguna. Desain tampilan *web dashboard Blynk* yang telah dirancang dapat dilihat dalam (Gambar 3.).

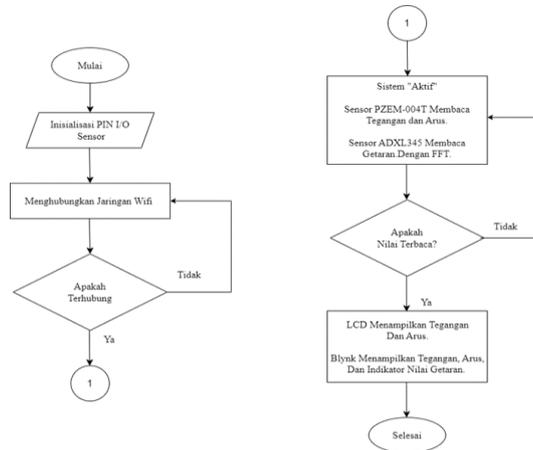


Gambar 3. Tampilan *web dashboard Blynk*

Pemrograman Sistem

Program ini dibuat melalui Arduino IDE yang merupakan salah satu platform yang populer dan banyak digunakan dalam pengembangan perangkat keras. Alur kerja program yang

dirancang secara sistematis dan terperinci dapat dilihat dengan jelas pada (Gambar 4.) yang menggambarkan langkah-langkah eksekusi program.



Gambar 4. Diagram alir pemrograman sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan alat menggambarkan keseluruhan *output* dan karakteristik dari alat yang telah dirancang. Hal ini mencakup desain fisik alat dan fungsionalitas yang diinginkan. Selain itu, hasil perancangan juga mencakup pemilihan material dan komponen yang sesuai, serta metode yang akan digunakan. Evaluasi kinerja dan pengujian komponen pada *prototype* juga merupakan bagian dari hasil perancangan alat untuk memastikan bahwa alat tersebut memenuhi tujuan dan persyaratan yang telah ditetapkan sebelumnya. Hasil perancangan alat dapat dilihat pada (Gambar 5.).

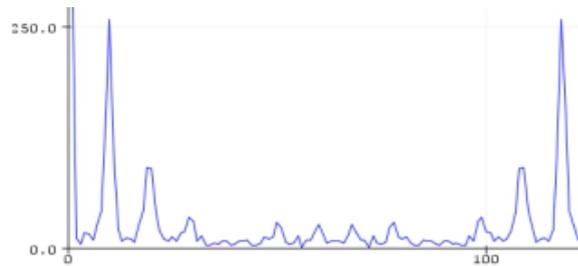


Gambar 5. Hasil perancangan alat

Hasil Pengujian Komponen Sensor ADXL345

Pengujian sensor ADXL345 mendapatkan hasil sesuai dengan konsep yang diinginkan dan tujuan dari penelitian. Dengan penerapan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) pada hasil pembacaan sensor ADXL345, sensor mampu menghasilkan nilai getaran dan spektrum hasil dari pengolahan FFT. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sensor ADXL345 efektif

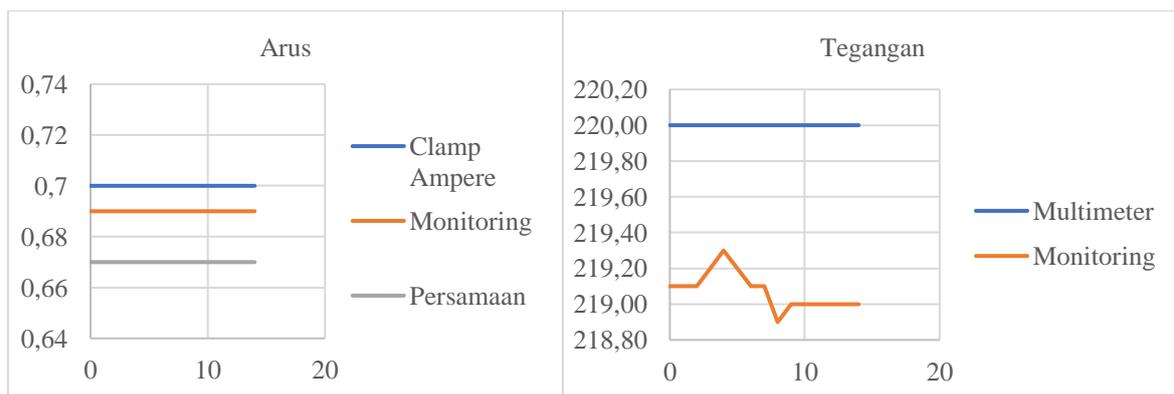
dalam mendeteksi dan mengukur getaran secara akurat serta memberikan informasi spektrum frekuensi yang relevan.



Gambar 6. Spektrum hasil pengujian sensor ADXL345

Hasil Pengujian Komponen Sensor PZEM-004T

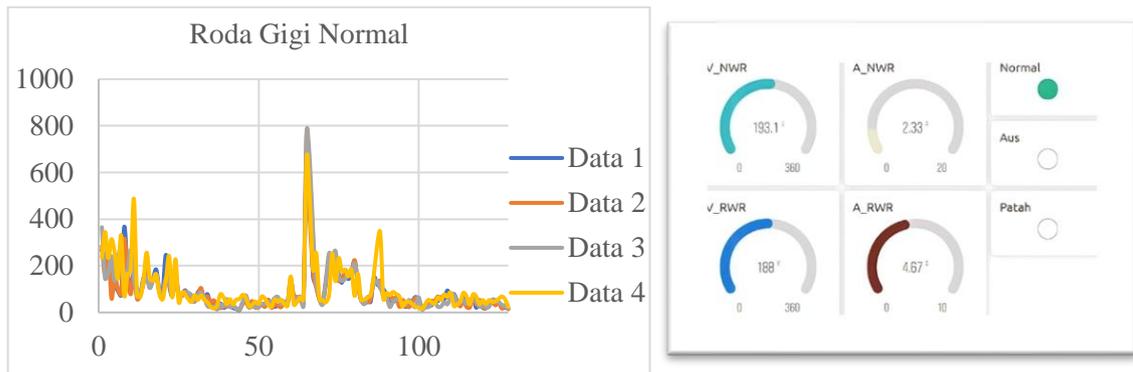
Pada penelitian ini, metode uji yang diterapkan melibatkan alat ukur konvensional dalam pengukuran arus serta tegangan menggunakan multimeter dan *clamp* ampere pada beban lampu dengan resistor 330Ω . Hasilnya menunjukkan arus terbaca sebesar $0,7A$ dan tegangan terbaca sebesar $220V$. Pada tahap selanjutnya, dilakukan perbandingan antara hasil nilai yang terbaca oleh alat konvensional dengan nilai yang dibaca oleh sensor. Hasil perbandingan ini menunjukkan rata-rata nilai kesalahan arus sebesar $0,01\%$ dan rata-rata nilai kesalahan tegangan sebesar $0,004\%$. Pengujian pada sensor PZEM-004T menunjukkan hasil yang baik karena terdapat selisih dan persentase kesalahan yang relatif kecil antara nilai pembacaan sensor dengan hasil perhitungan persamaan maupun alat ukur konvensional.



Gambar 7. Grafik arus dan tegangan hasil pengujian sensor PZEM-004T

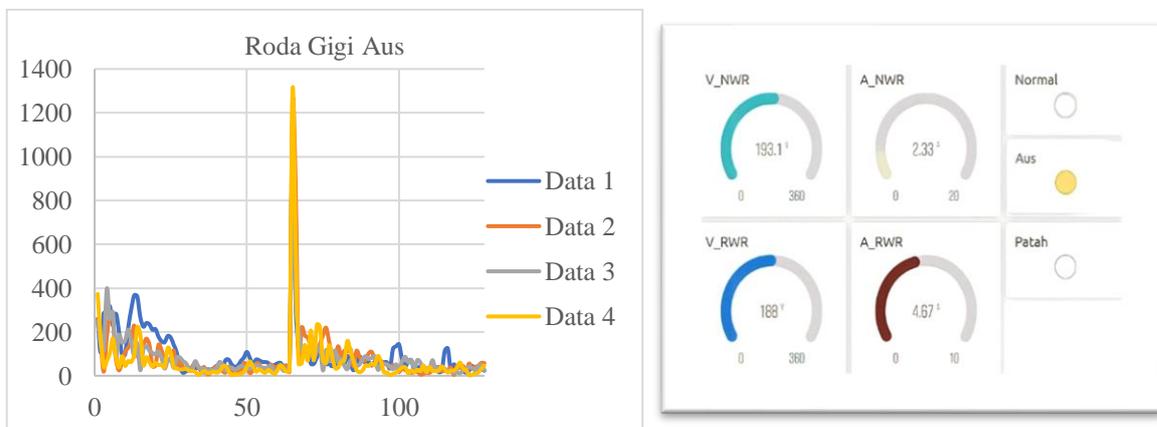
Hasil Pengujian Kinerja Sistem dalam Mendeteksi Kondisi Roda Gigi

Berdasarkan hasil pengujian sinyal getaran, terdapat tiga kondisi yang terbagi menjadi roda gigi normal, roda gigi aus, dan roda gigi patah. Data hasil pengujian menunjukkan perbedaan spektrum pada setiap kondisi roda gigi. Pada kondisi roda gigi normal, hasil pengolahan data menggunakan metode *Fast Fourier Transform* menunjukkan spektrum getaran dengan amplitudo tertinggi di bawah $1066 m/s^2$. Hasil pembacaan getaran pada roda gigi normal menunjukkan amplitudo yang lebih rendah dibandingkan roda gigi aus dan patah. Indikator pada *interface Blynk* berwarna hijau yang menunjukkan kondisi normal pada roda gigi.



Gambar 8. Spektrum roda gigi normal dan indikator pada *Blynk*

Pada kondisi roda gigi aus, hasil pengolahan data menunjukkan spektrum getaran dengan amplitudo yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi normal, namun lebih rendah dibandingkan kondisi roda gigi patah satu gigi. Perubahan spektrum sinyal getaran pada hasil pengolahan *Fast Fourier Transform* menunjukkan tanda-tanda kerusakan pada roda gigi dengan amplitudo terendah sebesar 1066 m/s^2 . Indikator pada *interface Blynk* berwarna kuning yang menunjukkan kondisi aus pada roda gigi.



Gambar 9. Spektrum roda gigi aus dan indikator pada *Blynk*

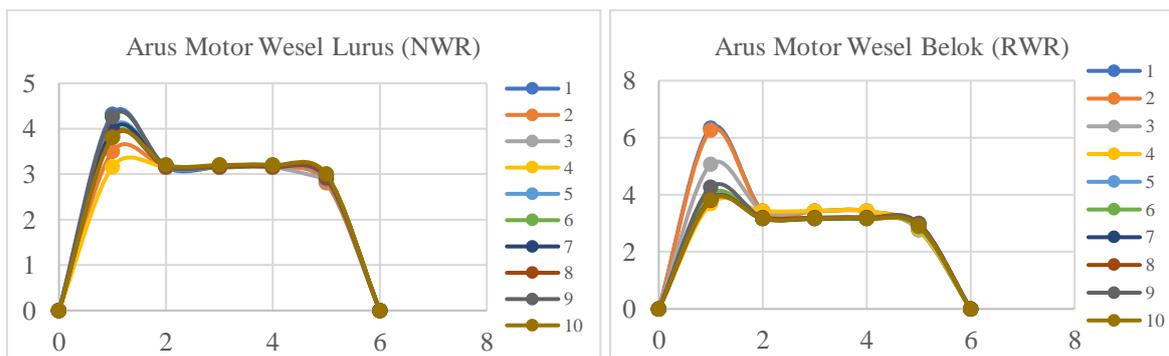
Pada kondisi roda gigi patah, hasil pengolahan data menunjukkan spektrum getaran dengan amplitudo yang relatif tinggi dibandingkan dengan kondisi normal. Perubahan spektrum getaran hasil pengolahan *Fast Fourier Transform* menunjukkan tanda-tanda kerusakan pada roda gigi dengan amplitudo terendah sebesar 1960 m/s^2 . Indikator pada *interface Blynk* berwarna merah yang menunjukkan kondisi patah pada roda gigi.



Gambar 10. Spektrum roda gigi patah dan indikator pada *Blynk*

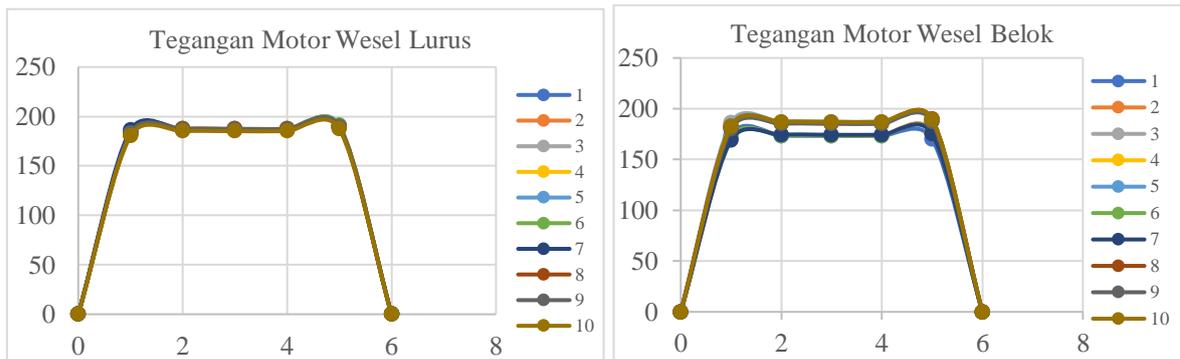
Hasil Pengujian Kinerja Sistem dalam *Monitoring Arus dan Tegangan*

Pengujian kinerja sistem pada motor wesel T84M dengan melakukan beberapa kali penggerakan untuk mendapatkan nilai arus dan tegangan yang diamati. Berikut ini adalah hasil keseluruhan dari pengujian tersebut yang mencakup 10x gerakan NWR dan 10x gerakan RWR. Berikut adalah grafik pemantauan arus saat penggerak wesel berada dalam kondisi lurus (NWR) dan kondisi belok (RWR). Pada grafik di bawah ini terlihat pola arus saat penggerak wesel beroperasi dengan melakukan 10 kali pembacaan data arus untuk gerakan wesel normal dan 10 kali pembacaan data arus untuk gerakan wesel belok. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa saat motor penggerak wesel beroperasi, terbentuk pola arus yang relatif hampir sama.



Gambar 11. Grafik arus motor wesel 10x percobaan

Pada grafik di bawah ini terlihat pola tegangan saat penggerak wesel beroperasi dengan melakukan 10 kali pembacaan data tegangan untuk gerakan wesel normal dan 10 kali pembacaan data tegangan untuk gerakan wesel belok. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa saat motor penggerak wesel beroperasi, terbentuk pola tegangan yang relatif hampir sama.



Gambar 12. Grafik tegangan motor wesel 10x percobaan

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian ini mencakup perancangan, evaluasi kinerja, dan pengujian komponen *prototype* yang sesuai dengan tujuan penelitian. Berdasarkan hasil pengujian kinerja sistem dalam mendeteksi kondisi roda gigi, dapat disimpulkan bahwa nilai amplitudo yang diperoleh menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada kondisi roda gigi normal, spektrum nilai amplitudo berada di bawah 1066 m/s^2 . Ketika terjadi keausan pada roda gigi, nilai amplitudo meningkat dibandingkan dengan roda gigi dalam kondisi normal yang mengindikasikan adanya kelainan atau kerusakan pada roda gigi dengan nilai amplitudo sebesar $\geq 1066 \text{ m/s}^2$. Pada kondisi patah satu gigi, nilai amplitudo meningkat dibandingkan dengan roda gigi yang mengalami keausan dengan nilai amplitudo sebesar $\geq 1960 \text{ m/s}^2$. Dari hasil pengujian sensor PZEM004T dengan menggunakan tegangan 220VAC dan beban lampu yang disertai dengan resistor 330Ω , dapat disimpulkan bahwa perbandingan nilai yang terbaca oleh alat *monitoring* dengan nilai alat ukur konvensional menghasilkan kesalahan rata-rata sebesar 0,01% untuk pengukuran arus dan 0,004% untuk pengukuran tegangan. Rata-rata kesalahan tersebut menjadikannya cocok digunakan untuk memantau arus dan tegangan pada motor wesel. Pembacaan sensor saat memonitor motor wesel mengungkap pola arus dan tegangan yang muncul selama operasi motor. Terdapat *overload* pada arus saat awal motor beroperasi karena memerlukan tenaga besar untuk lepas dari hambatan-hambatan yang ada. Keunggulan dari *prototype* ini adalah kemampuannya untuk mendeteksi gangguan lebih dini, memberikan kemudahan dalam proses pemeriksaan, perawatan, pemantauan, dan pemeliharaan pada penggerak wesel T84M, serta memungkinkan pemantauan dari jarak jauh.

Pada pengembangan selanjutnya diharapkan implementasi sensor dengan jangkauan percepatan lebih dari 4 gravitasi untuk mendapatkan hasil informasi data yang lebih rinci.

DAFTAR PUSTAKA

Abimanyu A., (2021). Evaluasi Penggerak Wesel Di Stasiun Wonokromo. Politeknik Transportasi Darat Indonesia – STTD, Bekasi. <http://digilib.ptdisttd.net/id/eprint/908>.

- Achmad W., Djoeli S., Toni P., (2015). Deteksi Kerusakan Roda Gigi Dengan Analisis Sinyal Getaran. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. ROTASI– Vol. 17, No. 2, April 2015: 67–75.
- Adinata D. A., (2019). Pembuatan Roda Gigi Dan Puli Sebagai Pemindah Daya Dan Putaran Pada Prototype Turbin Angin Savonius Sebagai Pembangkit Listrik Energi Terbaharui. Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.
- Agus A., (2019). Identifikasi Cacat Roda Gigi Pada Prototipe Fan industri Menggunakan Analisis Spektrum Dan Continuous Wavelet Transform. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. <http://repository.umi.ac.id/handle/123456789/31993>.
- Alessi A., La-cascia, P., Lamoureux, B., Pugnaroni, M., & Dersin, P., (2016). Health Assessment of Railway Turnouts: A Case Study. Proceedings of the Third European Conference of the Prognostics and Health Management Society, 2007, 5–8.
- Hidayatullah Alif. D. F., (2022). Analisis Penggunaan Sensor Accelerometer ADXL335 Untuk Pengukuran Sinyal Getaran Gearbox. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789 / 41800>.
- Iradiratu D. P. K., Dewantara B. Y., & Janudin A. M., (2019). Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing Menggunakan Motor Current Signature Analysis Berbasis Fast Fourier Transform. Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer Triac, Vol. 6 No. 1.
- Kusuma Dine T., (2021). Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energi (AE) Musik. Institut Teknologi PLN. Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatika, Vol. 14, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.33322/petir.v14i1.1022>.
- Rachman N. F., & Darmawan A., (2018). Design of Automatic Detection System for Railway Facility Maintenance. Jurnal Perkeretaapian Indonesia, Madiun. Vol. 2 No. 2., DOI:<https://doi.org/10.37367/jpi.v2i2.19>
- Sujio F. A., (2019). Deteksi Kerusakan Bearing Dari Sinyal Getaran Menggunakan Fitur Fast Fourir Transform. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/36472>.
- Syaifuddin A., & Suryono, (2014). Fast Fourier Transform (FFT) Untuk Analisis Sinyal Suara Doppler Ultrasonik. Lab. Instrumentasi & Elektronika, Jurusan Fisika, FSM, Universitas Diponegoro, Semarang. Vol. 3, No. 3, Juli 2014, Hal 181-188.