

# ANALISIS IDENTIFIKASI KECACATAN BEARING MOTOR INDUKSI BERDASARKAN ARUS STATOR DAN TORSI PADA RPM BERBASIS FAST FOURIER TRANSFORM

Noer Soedjarwanto<sup>1</sup>, Hilmy Fitriawan<sup>2</sup>, Syaiful Alam<sup>3</sup>, Fadil Hamdani<sup>4</sup>, Mahkuta Prawira<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>. Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung; Jl. Prof Dr Ir Sumantri Brojonegoro. Lampung, 35141, Indonesia

*Riwayat artikel:*

*Received: 27 Mei 2023*

*Accepted: 10 Juli 2023*

*Published: 1 Agustus 2023*

**Keywords:**

Induction Motor,  
Bearing;  
Stator Current;  
Torque; FFT

**Correspondent Email:**

[noersoedjarwanto@gmail.com](mailto:noersoedjarwanto@gmail.com)

© 2023 JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

**Abstrak.** Motor induksi merupakan salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan di industri. Salah satu kerusakan terbesar yang terjadi pada motor induksi adalah kerusakan bearing yang mencapai 41%. Kerusakan bearing merupakan salah satu jenis kerusakan terbesar yang sering dijumpai pada motor induksi. Pada penelitian ini penulis membahas tentang karakteristik arus stator dan torsi akibat kerusakan bantalan motor induksi pada inner ring dan rolling element yang berpengaruh pada RPM yang dihasilkan. Untuk mendeteksi kerusakan bantalan motor induksi menggunakan analisis FFT (Fast Fourier Transform). Sehingga dengan metode ini dapat dihasilkan analisis identifikasi dan klasifikasi kerusakan bearing yang lebih akurat. Dari hasil analisis diketahui bahwa bantalan normal dan cacat menunjukkan karakteristik spektrum yang berbeda.

**Abstract.** An Induction motor is one type of electric motor that is widely used in industry. One of the biggest damages that occur in induction motors is bearing damage which reaches 41%. Bearing damage is one of the biggest types of damage that is often encountered in induction motors. In this study, the authors discuss the characteristics of the stator current and torque due to damage to the induction motor bearings on the inner ring and rolling element which affects the resulting RPM. To detect damage to induction motor bearings using FFT (Fast Fourier Transform) analysis. So that with this method a more accurate analysis of the identification and classification of bearing damage can be produced. From the results of the analysis, it was found that the normal and defective bearings show different spectrum characteristics. The normal condition bearings have smaller current and torque values than the damage conditions.

## 1. PENDAHULUAN

Motor induksi adalah jenis mesin listrik yang paling umum ditemukan di semua jenis industri karena strukturnya yang sederhana, pengoperasian yang andal, efisiensi tinggi, pembuatan mudah, dan biaya rendah. Contohnya digunakan pada industri perminyakan, perusahaan penghasil panas, industri tenaga listrik, dll. Dalam praktek industri dikenal kasus kegagalan motor induksi yang disebabkan oleh jenis kerusakan yaitu kerusakan listrik dan kerusakan mekanis [1].

Kegagalan mekanis adalah yang paling umum. Jenis kesalahan ini biasa terjadi di pabrik karena kondisi pengoperasian yang sulit dan servis motor yang tidak tepat. Kerusakan bearing merupakan salah satu jenis kerusakan mekanis terbesar yang sering dijumpai pada motor induksi. Hampir sekitar 41-44% [1] kerusakan motor induksi terjadi pada bearing. Bearing adalah komponen motor induksi yang membantu rotor untuk bergerak bebas. Kerusakan bearing dapat menimbulkan getaran, kebisingan, peningkatan temperatur kerja, dan percikan api yang dapat menyebabkan kerusakan pada bagian lain dari motor induksi.

Analisis sinyal getaran adalah metode yang andal untuk menemukan cacat pada mesin. Terdapat serangkaian metode pendukung yang digunakan untuk mengolah data sinyal getaran dalam menganalisis kerusakan pada bantala. Sebuah jurnal penelitian berjudul "Pemantauan Kondisi Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran" [2] merumuskan bahwa setiap pemantauan kondisi bearing memiliki hasil data yang berbeda. Jika kondisi bearing normal frekuensi cacat bantalan tidak terlihat, sedangkan jika kondisi rusak/cacat maka frekuensi cacat bearing akan muncul sesuai dengan kondisi cacat.

Metode yang digunakan adalah domain waktu, domain frekuensi, statistik sinyal, dan transformasi wavelet [3]. Dan pada metode lain yang digunakan adalah statistik domain frekuensi dan domain waktu dengan fitur RMS. Hasil yang didapatkan adalah 30% cacat bantalan pada outer race dan rolling element memberikan nilai amplitudo yang cenderung bervariasi. Bearing dengan cacat 30% pada outer race dan rolling akan menghasilkan spektrum FFT dengan garis frekuensi puncak yang bertepatan dengan garis frekuensi impuls BPFO dan BSF. Oleh karena itu pemantauan kondisi awal sangat penting untuk meningkatkan keamanan mesin putar yang digerakkan oleh motor induksi [4]. Dengan menggunakan karakteristik arus dan torsi stator untuk mendeteksi kegagalan pada bantalan berupa cacat dengan menganalisis pengaruh dan nilai arus dan torsi stator pada bantalan yang terkena dampak. rusak dengan menggunakan

metode Fast Fourier Transform dapat mengubah domain waktu menjadi frekuensi sehingga menghasilkan spektrum yang selanjutnya dapat dianalisa untuk mengetahui pengaruh berbagai cacat multi tipe pada motor induksi ditinjau dari rolling element dan track pada inner race.

Dengan melakukan simulasi menggunakan software Matlab dan Simulink sehingga diharapkan dapat mendeteksi cacat yang dihasilkan oleh beberapa penyebab secara tepat dan cepat sehingga bantalan dapat beroperasi dengan baik sehingga kerusakan mekanis pada motor induksi dapat teratasi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator [5]. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga.

### 2.2 Bearing

Bearing adalah suatu elemen mesin yang menumpu poros dan mempunyai beban, sehingga menghasilkan rotasi atau putaran atau gerakan secara bolak-balik yakni berlangsung secara halus, aman, mengurangi adanya gesekan dan mempunyai umur yang panjang. Bearing juga harus cukup kuat atau kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika bearing tidak berfungsi dengan baik maka kinerja seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya [6].

### 2.3 Fast Fourier Transform

*Fast Fourier Transform* (FFT) adalah suatu teknik perhitungan cepat dari *Discrete Fourier Transform* (DFT) atau dengan kata lain *Fast Fourier Transform* merupakan pengembangan dari DFT. DFT merupakan suatu metode perhitungan yang mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Biasanya DFT digunakan untuk keperluan analisis spektrum dalam domain frekuensi. Dengan menggunakan DFT, suatu sinyal dapat dilihat sebagai objek dalam domain frekuensi.

### 2.4 Kuat Medan Magnet

Seperti yang sudah diketahui bahwa medan magnet memiliki dua kutub dimana jika di dekatkan dua buah magnet maka dapat terjadi gaya tarik-menarik ataupun gaya tolak-menolak tergantung kutub-kutub yang didekatkan. Pada dasarnya jika kuat atau lemah medan magnet akan berpengaruh pada *bearing*, Akan tetapi dalam fokus penelitian

kali ini akan membahas seberapa besar dan pengaruh medan magnet yang dihasilkan pada bearing dari segi kondisi normal dan defect.

### 2.5 Pengukuran

#### radial clearance

Radial clearance adalah jarak geometris antara inner ring dan outer ring. Radial clearance merupakan faktor penting dalam pemilihan bearing yang akan berdampak langsung pada umur bearing. Hal ini sering diabaikan, terutama tentang bagaimana hal itu dikurangi dengan gangguan yang cocok. Jarak bebas radial adalah permainan antara ball dan raceway yang tegak lurus terhadap sumbu bearing. Jarak bebas aksial adalah jarak putar sejajar dengan sumbu bearing dan biasanya setidaknya 10 kali lebih besar dari jarak bebas radial.

## 3. METODE

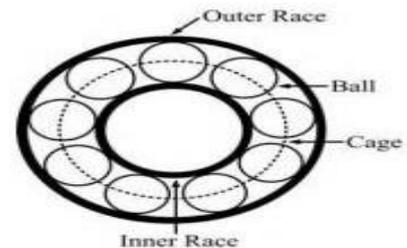
Aspek teknis penelitian ini adalah metode campuran. Analisis aspek teknis metode ini digunakan untuk mengetahui frekuensi dasar bantalan, Mengetahui klasifikasi beban bantalan radial dan mensimulasikan dengan perangkat lunak Matlab dan Simulink berdasarkan transformasi Fourier cepat untuk menganalisis sinyal kebisingan yang dihasilkan pada bearing yang telah telah diubah menjadi domain frekuensi pada motor Induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan. antara putaran rotor dengan medan magnet putar yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi bekerja atas dasar induksi elektromagnetik dari kumparan stator ke kumparan rotor.

Jika kumparan stator motor induksi dihubungkan dengan sumber tegangan PLN, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks induksi dari kumparan stator akan memotong kumparan rotor sehingga timbul ggl atau tegangan induksi. Karena penghantar rotor (kumparan) merupakan rangkaian tertutup, arus akan mengalir pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor pembawa arus berada pada garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah gerak stator. bidang induksi[7].

Medan putar pada stator akan memotong konduktor pada rotor, sehingga timbul arus induksi dan menurut hukum Lenz, rotor juga akan ikut berputar mengikuti medan putar stator.

Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Motor induksi sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga, pada

penelitian ini motor induksi satu fasa menggunakan objek pompa air yang telah dirancang. Bearing adalah elemen mesin yang menopang poros dan memiliki beban, sehingga menghasilkan rotasi atau perputaran atau gerakan bolak-balik, yang berlangsung lancar, aman, mengurangi gesekan, dan berumur panjang. Bantalan juga harus kuat atau cukup kokoh agar poros dan elemen mesin lainnya dapat bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik, kinerja seluruh sistem tidak dapat bekerja dengan baik.



Gambar 1. Kerusakan Struktur Bearing

Gambar 1 menunjukkan alur sistem dalam diagram blok Pada penelitian ini akan diulas hasil pengujian dan analisis sistem pendeteksi kerusakan bantalan motor induksi. Data yang diukur dan dianalisis adalah data rekonstruksi bearing yang telah dibuat untuk mengetahui tingkat kerusakan dan jenis kerusakan yang ada. Rekonstruksi bantalan ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu normal, inner-race, dan rolling element. Data hasil pengukuran sebelumnya akan ditransformasi terlebih dahulu menggunakan teknik fast fourier transform (FFT) untuk memudahkan proses analisis bantuan.

Dari tinjauan metode yang ada diketahui bahwa motor induksi rentan terhadap gangguan, oleh karena itu pemantauan kondisi motor induksi banyak digunakan digunakan dalam mendeteksi kesalahan. Penelitian ini menyelidiki kesalahan dan mempelajari teknik konvensional dan inovatif untuk motor induksi. Hubungan antara torsi dan arus pada motor induksi yang dioperasikan di bawah getaran eksternal dimodelkan dan divalidasi dengan eksperimen di mana sumber getaran digunakan secara eksternal, bersamaan dengan perubahan bearing untuk mengurangi penyangga kekakuan sepanjang arah radial.

Sehingga penggunaan metode fast fourier transform menjadi salah satu alternatif monitoring ini. Penelitian ini melakukan penelitian dalam merekonstruksi jenis cacat pada bearing mulai dari elemen normal, inner race, dan rolling. Penelitian ini menggunakan pompa air sebagai motor induksi AC satu fasa dan sensor ACS 712 30 A yang berfungsi untuk melihat nilai arus yang dihasilkan dan sensor SW420 untuk melihat kecepatan getaran mesin yang dihasilkan



Gambar 2 Desain Motor bantalan pompa air 1 fasa

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Mendeteksi kerusakan bantalan motor induksi dengan membandingkan perbedaan arus antara bantalan normal dan rusak. Selain itu, setiap jenis kerusakan akan dibandingkan sehingga dapat diketahui karakteristik jenis kerusakan bearing, baik kerusakan inner-race maupun rolling element. Pengujian yang dilakukan mencakup tiga kondisi bantalan yang berbeda, yaitu:

- A. Normal,
- B. Inner Race Defect (IRD),
- C. Rolling Element Defect (RED)

Untuk kondisi lintasan dalam, cacat terjadi pada lubang lintasan (0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm). Lubang dibuat dengan menggunakan mesin bor dan las listrik untuk mendapatkan hasil yang bervariasi untuk setiap lubang yang dibuat rusak. Variasi lubang kerusakan tersebut dimaksudkan agar data yang dihasilkan dapat diukur kadarnya, meskipun pada kenyataannya di lapangan terjadi kerusakan bearing dengan besaran yang tidak dapat ditentukan. Sedangkan untuk elemen rolling, terjadi cacat pada bola dan sangkar. Penggunaan beban yang sama dilakukan agar nilai pengukuran menjadi sama untuk setiap kerusakan sehingga analisis dapat dilakukan dengan menggunakan variabel yang telah ditentukan dan meminimalkan faktor kesalahan pengujian alat.



Gambar 4 IRD (0,5 mm)



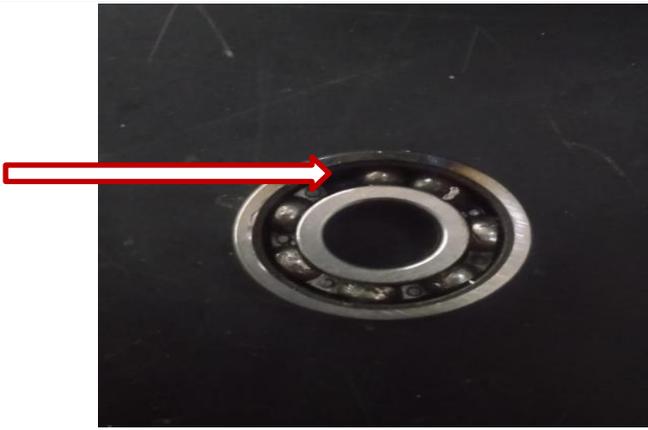
Gambar 5 IRD (1,0 mm)



Gambar 6 IRD (1,5 mm)

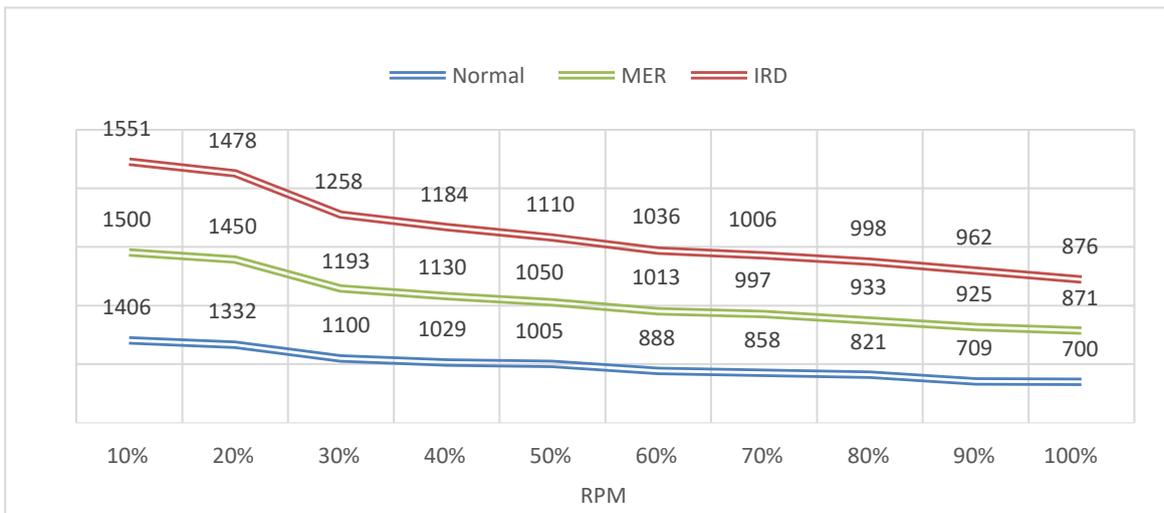


Gambar 3 Normal

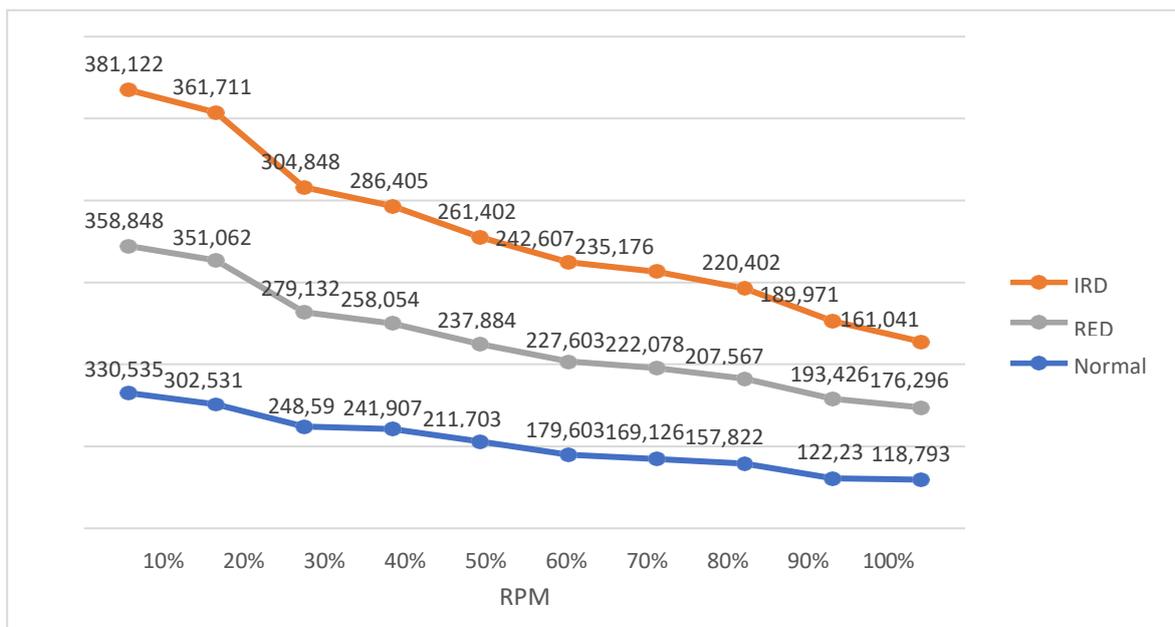


Gambar 7 RED

Grafik 1 Arus Stator Ke RPM



Grafik 2 Torsi ke RPM



Tabel 1. Nilai Kuat Magnet Bearing

No	Bearing	H (A/m)
1	Normal	0,4
2	IRD (0,5 mm)	2.8
3	IRD (1,0 mm)	2.9
4	IRD (1,5 mm)	2.95
5	Rolling Element	2.2

Dari grafik arus stator terhadap RPM terlihat bahwa pendeteksian kerusakan bantalan melalui nilai arus tidak dapat dilakukan karena nilai arus untuk kondisi bantalan normal dan bantalan rusak tidak memberikan perbedaan hasil yang signifikan. lihat bagaimana kerusakan bearing pada motor induksi menghasilkan nilai arus yang lebih besar meskipun tidak signifikan hal ini disebabkan karena pada saat terjadi gesekan maka bearing akan menjadi berat.

Sehingga RPM yang dihasilkan menjadi lebih kecil dan arus saat starting besar karena dapat menimbulkan beban tambahan pada poros karena bantalan sulit berputar sehingga kecepatan putar rotor berkurang dan konsumsi daya listrik bertambah karena daya keluaran menjadi lebih besar.

Sehingga dengan melihat arus pada motor tidak dapat dilihat perbedaan dan karakteristik kerusakan bearing. Pada grafik torsi terhadap RPM terlihat bahwa torsi yang dihasilkan pada motor induksi sangat berpengaruh terhadap varian kerusakan bearing, hal ini dikarenakan kerusakan bearing akan mengakibatkan beban pada motor induksi sehingga pada saat rpm start melambat. turun sehingga tenaga untuk menggerakkan motor atau torsi lebih besar untuk menghidupkan atau menjalankan motor induksi.

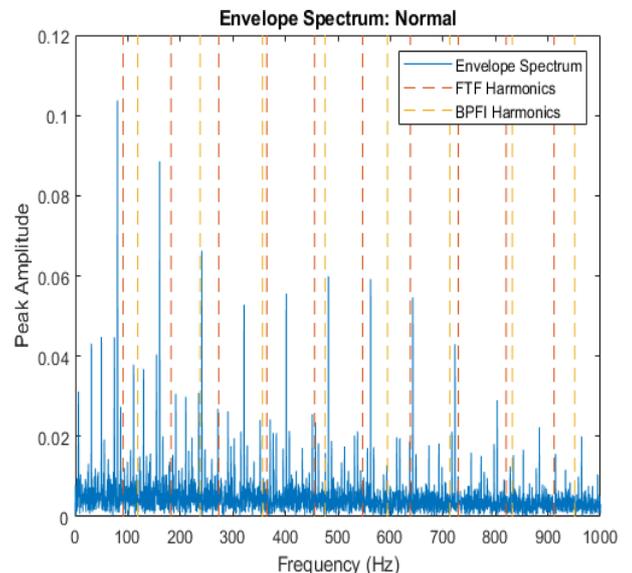
Dengan demikian kerusakan bearing sangat berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan motor induksi semakin besar varian kerusakan bearing akan mengakibatkan torsi yang dihasilkan semakin besar, pada kondisi normal torsi yang dihasilkan semakin kecil dan rpm semakin cepat hal ini disebabkan tidak adanya proses penambahan beban berlebih pada motor induksi.

Pada tabel data medan magnet bearing, nilai kuat medan magnet yang didapatkan menggunakan magnetometer dengan nilai maksimum 2 A/m didapatkan bahwa pada setiap kondisi kerusakan bantalan akan mempengaruhi nilai kuat medan magnet semakin besar.

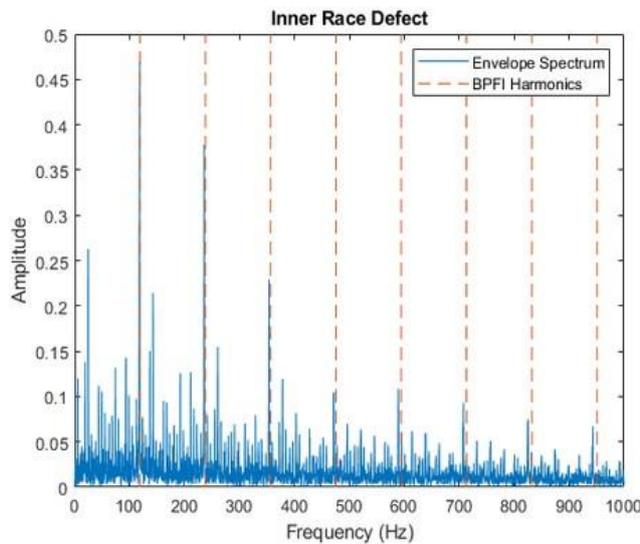
Besarnya nilai kuat medan magnet yang ditimbulkan akan menimbulkan pembebanan pada poros sehingga pada saat bearing mengalami gesekan, putaran tidak menjadi halus atau berat dan menimbulkan getaran sehingga benturan menjadi bising, dengan demikian varian kondisi cacat bantalan akan mempengaruhi nilai kuat medan magnet yang dihasilkan pada bantalan.

#### 4.1 Sinyal kerusakan bantalan

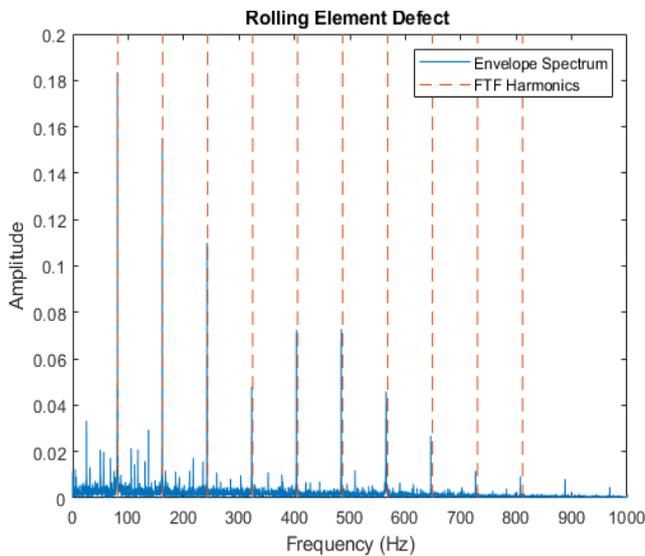
Pada signal bearing yang rusak, hal ini menunjukkan hasil FFT yang dihasilkan dari kondisi bearing, dengan kerusakan yang paling parah akan menghasilkan frekuensi yang tinggi dan hasil gambarnya adalah sebagai berikut.



Gambar 8. Spektrum FFT Normal



Gambar 9. Spektrum FFT IRD



Gambar 10. Spektrum FFT RED

Gambar 8 diperoleh  $a_0 = 0$ , bila  $n = 1$  menghasilkan  $a_1 = 0,11$ ;  $\omega_1 = 144t$ ;  $b_1 = 0,09$ ;  $\omega_1 = 288t$ , ketika  $n = 2$  menghasilkan  $a_2 = 0,07$ ;  $\omega_2 = 474t$  sehingga dari data tersebut diketahui bahwa variasi koefisien yang dihasilkan mempengaruhi nilai amplitudo sinyal penyusun spektrum dan fase sinyal sinusoidal yang dihasilkan. Selain itu juga terlihat bahwa bearing pada kondisi normal atau baik akan menghasilkan gelombang dengan frekuensi yang halus. Ini terjadi karena ketika permukaan elemen bearing halus bersentuhan, gesekan normal antar elemen tidak menghasilkan getaran dengan amplitudo yang terlalu tinggi.

Pada Gambar 9 mengetahui dari data tersebut diketahui bahwa variasi koefisien yang

dihasilkan mempengaruhi nilai amplitudo sinyal penyusun spektrum dan fase sinyal sinusoidal yang dihasilkan. Selain itu, terlihat adanya frekuensi dengan amplitudo tinggi dan dominan, pada kisaran 118,875 Hz. Ini adalah frekuensi dasar harmonik pada cacat cincin bagian dalam. Selain itu, muncul frekuensi dengan amplitudo tinggi sebesar 237,75 Hz. Munculnya frekuensi tersebut karena adanya kerusakan pada lintasan dalam (inner ring).

Pada Gambar 10 mengetahui dari data tersebut terlihat bahwa nilai variasi an dan bn yang dihasilkan mempengaruhi nilai amplitudo spektrum dan fase bentuk sinyal yang dihasilkan. Serta terlihat puncak amplitudo di berbagai wilayah frekuensi. Puncak pada 63,9 HZ merupakan frekuensi fundamental harmonik akibat cacat pada komponen bola, sehingga menghasilkan frekuensi amplitudo yang tinggi pada 127,82 Hz. Selain itu kerusakan pada elemen gelinding juga akan meningkatkan gesekan pada semua elemen bantalan, sehingga akan muncul beberapa puncak pada frekuensi tertentu.

#### 4.2 Pengukuran Radial Load Bearing

Berdasarkan hasil bahwa cacat multi tipe yang dihasilkan pada bearing akan mempengaruhi klasifikasi jarak bebas yang dihasilkan pada bantalan normal yang menghasilkan toleransi jarak bebas internal yang normal, pada cacat inner ring, dan cacat rolling element yang menghasilkan toleransi jarak bebas internal yang lebih besar sehingga internal yang lebih besar. nilai toleransi clearance yang dihasilkan, semakin besar beban pemakaian yang digunakan. Berdasarkan nilai radial bearing bahwa cacat multi-tipe yang dihasilkan pada bearing akan mempengaruhi klasifikasi jarak bebas yang dihasilkan pada bearing normal yang menghasilkan toleransi jarak bebas internal yang normal, pada cacat inner ring, dan cacat rolling element yang menghasilkan toleransi jarak bebas internal yang lebih besar sehingga semakin besar nilai toleransi clearance internal yang dihasilkan maka semakin besar beban pemakaian yang digunakan.

### 5. KESIMPULAN

Berdasarkan kerusakan pada bearing maka akan mempengaruhi nilai kuat medan magnet yang dihasilkan, sehingga akan mempengaruhi nilai vibrasi, akan menimbulkan kebisingan dan

pada saat terjadi gesekan maka bearing akan menjadi berat sehingga RPM yang dihasilkan adalah lebih kecil dari bantalan normal. dan berdasarkan rusaknya kondisi bearing IRD dan RED serta kondisi normal akan mempengaruhi nilai arus yang dihasilkan walaupun tidak signifikan satu sama lain. dan berdasarkan nilai torsi yang dihasilkan kondisi IRD dan RED, cacat tersebut mempengaruhi nilai tersebut terutama pada RPM,

Sehingga RPM akan berdampak pada torsi awal saat start, semakin besar nilai RPM maka semakin kecil nilai torsi yang dihasilkan. dan berdasarkan kondisi normal bearing sinyal yang dihasilkan memiliki bentuk yang ideal dan tidak ada perbedaan nilai yang signifikan serta menghasilkan bentuk gelombang dengan frekuensi yang halus dan nilai amplitudo yang kecil. Berdasarkan kondisi bearing inner race defect sinyal yang dihasilkan memiliki bentuk gelombang yang tidak sempurna yang disebabkan oleh gerusan permukaan inner ring sehingga menghasilkan amplitudo getaran yang lebih besar dan perbedaan nilai yang sangat signifikan untuk inner ring yang tergerus.

Dan berdasarkan kondisi cacat rolling elemen sinyal yang dihasilkan tidak terlalu halus karena cacat pada bola dan sangkar dan nilai lonjakan meskipun tidak terlalu signifikan. dan jenis cacat yang dihasilkan pada bearing akan mempengaruhi klasifikasi nilai jarak bebas yang dihasilkan. Bearing normal menghasilkan toleransi celah internal yang normal, cacat pada track bagian dalam (inner ring) dan cacat rolling elemen menghasilkan toleransi celah internal yang lebih besar sehingga semakin besar nilai toleransi celah internal yang dihasilkan, maka beban penggunaan pada bearing juga makin besar.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini sehingga penulis bisa menyelesaikan karya ilmiah ini tanpa ada halangan. Semoga karya ilmiah ini bisa memberikan manfaat kepada orang yang membaca dan penulis meminta maaf apabila ada tutur kata dan penulisan yang kurang berkenan.

#### REFERENSI

- [1] PinjiaZhang, Yi Du, Thomas G. Habetler, Bin Lu, (2011) "Survei Metode Pemantauan Kondisi dan Perlindungan untuk Motor Induksi Tegangan Menengah", *Transaksi Ieee Pada Aplikasi Industri*, Vol. 47, No 1, Januari Februari
- [2] Susilo, DD 2009. "Pemantauan Kondisi Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran". *Jurnal Penelitian Mekanika Vol-8 No.1 hal. 130-134.*
- [3] Wahyudi, T., Soeharsono & Noor, E. 2016. "Mendeteksi Kerusakan Bearing Menggunakan Sinyal Getaran". *Jurnal Riset Sinergi Vol-20 No.2*
- [4] Knopf E dan Nordmann R (2008). Bantalan magnet aktif untuk pengukuran gaya yang akurat pada mesin yang berputar. *Konferensi Internasional Keempat tentang Kontrol Gerak dan Getaran. ETH Zürich.*
- [5] Zuhal, *Teknik Tenaga Dasar, dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia, 1988
- [6] Lu Jiang (2023) Penelitian tentang kinerja motor sinkron magnet permanen dengan gangguan belitan stator
- [7] A. Mousaei, SA Mohammadabadi (2023) Optimasi Motor Induksi 3 Fasa untuk Kendaraan Listrik Berdasarkan Metode Optimasi Hook-Jews