

Efficiency In Fault Detection Ball Bearing Melalui Arus Stator Berbasis Fast Fourier Transform (FFT)

Dexa Putra Adikasih¹, Iradiratu Diah Prahmana Karyatanti², dan Belly Yan Dewantara³
Teknik Elektro, Universitas HangTuh Surabaya
Jl. Arief Rahman Hakim no. 150 Surabaya
e-mail: dexaadikasih15@gmail.com

Abstrak— Motor induksi adalah motor arus bolak-balik yang umumnya dimanfaatkan dunia industri. Motor induksi di industri digunakan sebagai penggerak produksi. Efisiensi motor industri dipengaruhi oleh performan bagian motor, antara lain kondisi *bearing* khususnya *ball bearing*. Kerusakan pada *ball bearing* akan menurunkan efisiensi motor induksi. Gangguan terbesar motor induksi adalah kerusakan pada *bearing* sehingga perlu dilakukan deteksi kerusakan. Penelitian ini berfokus pada deteksi kerusakan pada *ball bearing* dengan analisa *effisiensi in fault detection* sehingga diketahui seberapa energy yang hilang pada deteksi kerusakan. Untuk memvalidasi dari pengujian dilakukan dengan beberapa kasus yaitu variasi kerusakan dan pembebanan motor. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi kerusakan yaitu *ball bearing* hilang 1, *ball bearing* hilang 2, dan *ball bearing* tergores. Pengolahan sinyal arus stator untuk deteksi kerusakan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa presentase keberhasilan deteksi kerusakan berkisar 0,32 - 1,59. *Efficiency in fault detection* didapat bahwa jika *ball bearing* mengalami kerusakan akan bernilai kecil dimana pada penelitian ini bernilai kurang dari 1.00 dan jika tidak terdeteksi kerusakan nilai efisiensi akan besar.

Kata kunci: Motor induksi, *ball bearing*, frekuensi, amplitudo, *Fast Fourier Transform*, *effisiensi in fault detection*

Abstract— Induction motors are alternating current motors that are generally used in the industrial. Induction motors in industry are used as production drives. The efficiency of industrial motors is influenced by the performance of the motor parts, including the condition of the bearings, especially ball bearings. Damage to the ball bearing will reduce the efficiency of the induction motor. The biggest disturbance of an induction motor is damage to the bearing so it is necessary to detect damage. This study focuses on detecting damage to ball bearings with in-fault detection efficiency analysis so that it is known how much energy is lost in damage detection. To validate the test carried out in several cases, namely variations in damage and motor loading. Stator current signal processing for detection of damage using the Fast Fourier Transform (FFT) method. The results showed that the percentage of successful detection of damage ranged from 0.32 to 1.59. Efficiency in fault detection is found that if the ball bearing is damaged it will be of small value which in this study is worth less than 1.00 and if no damage is detected the efficiency value will be large.

Keywords: Induction motor, ball bearing, frequency, amplitude, Fast Fourier Transform, efficiency in fault detection.

I. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan contoh tipe motor listrik yang umum dimanfaatkan pada industri disebabkan konstruksinya yang sederhana serta mudahnya perawatan [1]. Motor induksi dalam sebuah sistem pembangkitan listrik sangatlah diperlukan sebab fungsi motor induksi tersebut menjadi penggerak. Motor induksi memiliki beberapa bagian salah satunya *bearing* yang dimana *bearing* tersebut bekerja di dalam motor induksi sebagai bagian yang menyebabkan motor berputar. Apabila terjadinya gangguan yang disebabkan perubahan beban atau *overload* secara tiba-tiba maka akan menyebabkan kerusakan fatal pada *bearing*. Kerusakan bagian motor

menjadi salah satu penyebab perubahan efisiensi sehingga motor tidak dapat berfungsi maksimal.

Bearing mempunyai peran yang penting pada kinerja motor. Kerusakan pada *bearing* motor mencapai 41-44%, hal ini merupakan presentase kerusakan terbesar yang terjadi. Tiga bagian lain yang banyak mengalami kerusakan motor induksi yaitu *bearing*, stator dan rotor. Presentase kerusakan pada motor antara lain kerusakan *bearing* 41%, stator 37%, rotor 10%, dan bagian lain sebesar 12% [2]. Oleh karena itu kerusakan *bearing* dapat dikategorikan kerusakan yang paling umum dan besar pada motor induksi.

Effisiensi suatu alat adalah merupakan pengukuran seberapa maksimal alat mampu melakukan perubahan dari *input* menuju *output*. Menurunnya efisiensi motor menyebabkan terganggunya kinerja dari industri. Penurunan

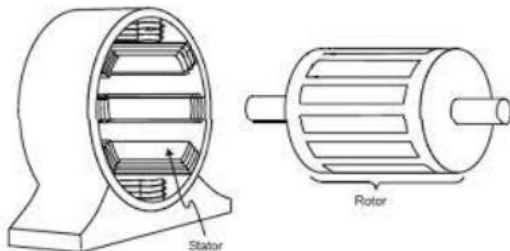
efisiensi sangat berpengaruh pada kondisi motor, disaat motor dalam keadaan rusak maka efisiensi akan menurun. Oleh karena itu diperlukan perawatan secara berkala. Kerusakan yang biasa ditemui dari motor induksi adalah kerusakan mekanik yang timbul disebabkan oleh perubahan beban atau *overload* sehingga terjadi kerusakan pada *ball bearing*. Dampak tersebut menjadi penyebab penurunan efisiensi motor sehingga menyebabkan tidak idealnya kinerja motor induksi [3]. Pada penurunan efisiensi dapat dianggap sebagai tanda kerusakan yang terjadi. Oleh sebab itu, dampak yang dihasilkan oleh kerusakan *bearing* tidak hanya pada *spektrum* arus namun juga ditandai dengan menurunnya efisiensi [4].

Berdasarkan penelitian yang telah dijelaskan, maka pada penelitian ini akan dikembangkan mengenai efisiensi motor akibat kerusakan *ball bearing* melalui arus stator dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Kerusakan pada *bearing* dapat dapat mengakibatkan penurunan pada efisiensi motor. Penurunan efisiensi tersebut menyebabkan mesin motor tidak dapat bekerja secara optimal. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa penurunan efisiensi motor dengan melakukan beberapa percobaan dalam bentuk konstruksi kerusakan *bearing* yaitu kerusakan *ball bearing* hilang 1, kerusakan *ball bearing* hilang 2 serta kerusakan tergores. Diagnosis dilakukan untuk pendeteksian kerusakan pada *bearing*, setelah itu dilakukan analisa efisiensi pada motor. Dari hasil penelitian nantinya dengan mengetahui efisiensi maka kerusakan motor induksi yang terjadi dapat diketahui supaya dapat meminimalisir kerusakan yang lebih parah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi merupakan mesin arus bolak-balik yang banyak digunakan di perusahaan-perusahaan yang bergerak dalam bidang industri, komersil, dirgantara, dan militer. Motor induksi 3 fasa memiliki dua bagian konstruksi utama yang pertama berupa stator merupakan bagian yang diam, kedua adalah rotor merupakan bagian yang bergerak / berputar sehingga memiliki celah udara yang biasanya dinamakan air gap konstruksi utama motor induksi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Motor induksi 3-fasa

Prinsip kerjanya berdasarkan gandingan medan listrik. Bentuk motor induksi memiliki celah antara medan stator dan medan rotor. Sumber arus induksi adalah perbedaan relatif antara putaran rotor dan medan putar stator. Motor induksi tidak menggunakan kumparan medan.

2.2 Kerusakan Bearing

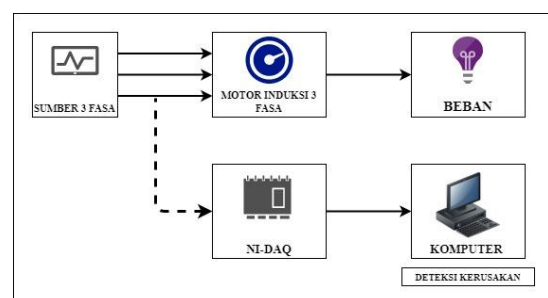
Kerusakan bearing biasanya disebabkan oleh beberapa masalah misalnya kelebihan beban, panas yang berlebih, pemasangan bearing yang salah dan kesalahan akibat pelumasan. Efek dari kerusakan bearing dapat menimbulkan vibrasi (getaran), *noise* (bising), suhu yang berlebih pada motor induksi.

Kerusakan yang terjadi pada bearing dapat menyebabkan motor induksi mengalami gerakan secara radial. Hal ini menyebabkan kerapatan fluks pada airgap menjadi tidak simetri dan mempengaruhi induktansi di stator sehingga arus stator motor induksi mengandung harmonisa dengan frekuensi kerusakan yang dapat diprediksi dengan persamaan (1) [5].

$$F_p = |f_s \pm k \cdot f_v| \quad (1)$$

III. METODE PENELITIAN

Pada Gambar 2. di jelaskan proses pertama di mulai dari sumber 3 fasa kemudian terhubung pada peralatan akuisisi data yang terpasang pada sisi stator motor induksi. Kemudian untuk pembebanan yaitu dengan cara motor di *couple* dengan dua beban diantaranya beban elektrik berupa lampu dan mekanik berupa generator. Alat utama untuk pengolahan data arus yaitu komputer dan LabVIEW, Program DiAdem serta NIDAQ 9246 sebagai sensor data arus. Software LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) yang terhubung dengan NIDAQ 9246 berfungsi sebagai sensor data digital dan pengolahan data untuk dinalisa. Transformasi data doamin waktu ke domain frekwensi dilakukan menggunakan algoritma FFT dengan *software* MATLAB. Sistem deteksi kerusakan pada penelitian ini terdapat beberapa *device* antara lain sumber AC 3 fasa, motor induksi, perangkat akuisisi data yang menghubungkan pada computer dan pembebanan sebagai kasus yang digunakan dalam *experiment* yang dilakukan. *Device* tersebut dirancang sesuai urutan kerja yang dapat di gambarkan melalui diagram blok pada Gambar 2.



Gambar 2. konfigurasi sistem

3.1 Spesifikasi motor induksi

Pada penelitian ini spesifikasi motor dan bearing yang digunakan adalah :

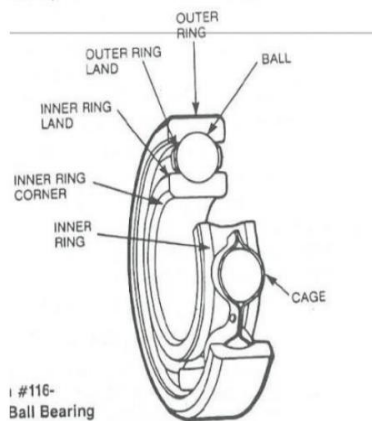
a. Spesifikasi motor induksi 3 fasa



Gambar 3. Spesifikasi motor induksi 3 fasa

Merk	Tatung (Y)
Arus	6,09/3,53 A
Tegangan	220 / 380 V
Daya	2 HP / 1,5 kW
Frekuensi	50 Hz
Efisiensi	82,8 %
Kecepatan	1390 rpm

b. Spesifikasi Bearing



Gambar 4. Spesifikasi bearing.

Merk	ASB
Type	6205 ZZ
Diameter Dalam (Inner)	25 mm
Jumlah Bola	9 Buah
Lebar Bearing	15 mm
Diameter Luar (outer)	52 mm

3.2 Rekonstruksi kerusakan bearing

Rekonstruksi bearing ini dilakukan dengan merusak komponen *ball bearing*. Kerusakan dibuat dengan melubangi *ball bearing*. Variasi rekonstruksi dilakukan untuk memvalidasi data penelitian agar hasil penelitian yang dilakukan akan lebih valid. Rekonstruksi dilakukan dengan beberapa variasi kerusakan, antara lain adalah kondisi *ball bearing* hilang 1, *ball bearing* hilang 2 dan *ball bearing* tergores. Secara lengkap rekonstruksi dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



(a) (b) (c) (d)

Gambar 5. Konstruksi kerusakan bearing (a) normal, (b) bola hilang1, (c) bola hilang 2, (d) bola tergores.

3.3 Pengolahan sinyal arus

a. Fast Fourier Transform

Fast fourier transfrom merupakan perhitungan cepat yang merubah sinyal domain waktu ke domain frekuensi dengan kata lain FFT merupakan pengembangan dari *Discrete fourier transfrom*, biasanya digunakan sebagai keperluan analisis spektrum dalam domain frekuensi. Dengan menggunakan DFT, suatu sinyal dapat dilihat sebagai objek dalam domain frekuensi. DFT lebih cocok digunakan pada sinyal diskrit yang periodik dan simetri. Sinyal diskrit yang periodik dan simetri adalah sinyal diskrit yang terus berulang pada rentang waktu tertentu dan memiliki pencerminan disekitar titik tengahnya. Secara matematis, DFT dari suatu sinyal diskrit $x[n]$ dengan menggunakan N titik dapat dilihat pada persamaan dapat di rumuskan sebagai berikut [5] :

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X_0(k) W_N^{nk} \quad (2)$$

Dengan $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

$$W_N = e^{-j \frac{2\pi}{N}} \quad (3)$$

b. Letak Frekuensi

Kombinasi analisis didukung oleh fakta bahwa vibrasi mekanik diasosiasikan dengan variasi dan *air-gap* mesin secara fisik. Ketika *ball bearing* menyangga rotor, kerusakan apapun pada bearing akan menghasilkan gerakan radial antara rotodan stator. Variasi ini mengakibatkan *air-gap flux density* dimodulasikan dan arus stator terbentuk pada frekuensi yang berhubungan dengan supply listrik dan frekuensi vibrasi. Kerusakan mekanik pada bearing memberikan komponen harmonic dalam spectrum arus pada frekuensi [6] :

$$f_{bng} = f_e \pm m f_v \quad (4)$$

Dimana:

- f_{bng} = Frekuensi Prediksi Kerusakan Bearing
- f_e = Frekuensi Sumber Listrik (50 atau 60 Hz)
- m = Konstanta (1, 2, 3, . . .)
- f_v = Frekuensi Kerusakan Bearing

c. Efisiensi Dalam Deteksi Kerusakan

Effisieni dalam deteksi kerusakan digunakan untuk mengetahui energi yang hilang pada motor disaat kondisi motor ada kerusakan. Pada penelitian ini akan berfokus pada

kehilangan energi jika terjadi kerusakan pada *ball bearing*. rumus efisiensi pada deteksi kerusakan [7].

$$\text{Efisiensi Fault Detection} = \frac{FE}{FH} \quad (5)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan 4 kasus pengujian dengan cara memberikan rekonstruksi yang berbeda pada *ball bearing*, rekonstruksi tersebut antara lain a. Normal, b. *Ball bearing* hilang satu c. *Ball bearing* dua, dan d. *Ball bearing* tergores. Untuk memberikan validasi hasil pengujian, penelitian ini selain memberikan kasus rekonstruksi juga menerapkan variasi beban pada operasi motor induksi. Pengukuran arus stator perlu dilakukan untuk membandingkan nilai arus motor normal, hilang dan tergores pada *ball bearing*. Data pengukuran arus stator dapat diukur dengan cara manual menggunakan tang *ampere*.

Tabel 1 Hasil ukur arus stator keadaan normal dan mengalami kerusakan

Kondisi Motor	Arus
Normal	3,5
Hilang 1	3,7
Hilang 2	3,5
Tergores	3,2

Nilai arus pada pengukuran tidak mengalami perubahan yang signifikan pada kondisi motor normal dengan kondisi motor yang mengalami kerusakan. Oleh karena itu kondisi kerusakan *ball bearing* pada perubahan nilai arus stator tidak dapat menjadi pedoman saat menentukan keadaan motor yang mengalami kerusakan. Sehingga *ball bearing* yang hilang 1 tidak dapat dinyatakan berbeda dibandingkan pada motor dalam kondisi normal.

Untuk mendeteksi kerusakan motor diperlukan nilai slip yaitu perbedaan nilai putaran rotor dan putaran stator, dengan persamaan :

$$s = \frac{ns - nr}{ns} \times 100\% \quad (6)$$

Dengan:

S = Nilai slip pada motor

n_s = *velocity* sinkron pada medan magnet

n_r = *velocity* rotor

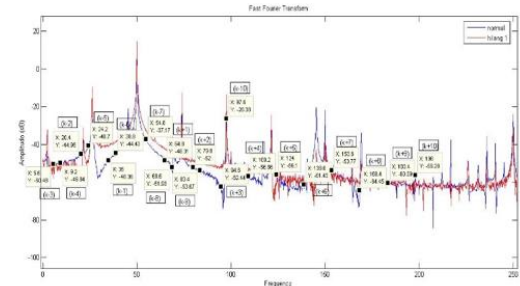
Nilai slip pada perhitungan digunakan untuk menentukan prediksi frekuensi kerusakan pada *ball bearing*.

Tabel 2. Nilai slip

Kondisi Motor	Slip
Normal	0.0480
Hilang 1	0.0473
Hilang 2	0.0486
Tergores	0.0433

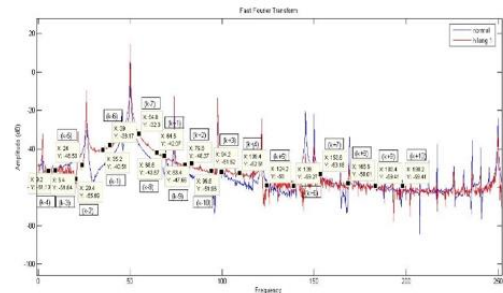
Tahap selanjutnya adalah mengolah sinyal arus stator dari domain waktu ke domain frekuensi dengan menggunakan FFT (*fast fourier transform*). Transformasi ini dilakukan pada semua sinyal arus baik dalam kondisi normal dan *ball bearing* dalam keadaan rusak untuk mengamati apakah amplitudo pada letak prediksi kerusakan melebihi amplitudo referensi. Grafik arus motor induksi tiga

fasa dalam keadaan normal dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik spektrum arus stator pada kondisi *ball bearing* normal.

Pada Gambar 6 merupakan grafik spektrum arus stator pada kondisi *ball bearing* normal. Grafik spektrum arus stator pada kondisi normal akan dijadikan referensi untuk menentukan nilai spektrum pada titik frekuensi letak kerusakan yang diamati.



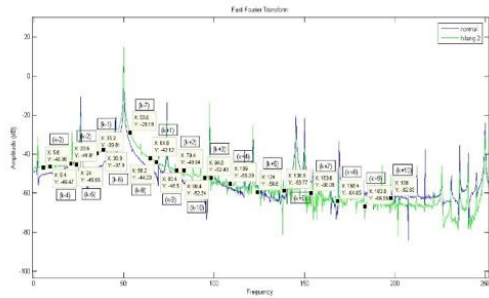
Gambar 7. Spektrum pada kondisi *ball bearing* hilang 1

Pada Gambar 7 nilai amplitudo spektrum pada kondisi *ball bearing* hilang 1. Pengamatan dilakukan pada nilai $k \pm 10$ sehingga ada 20 titik konstanta sebagai pengamatan diagnosis kerusakan yang terjadi. Contoh diagnosis pengamatan misalnya diambil pada k-1, nilai amplitudo normal adalah sebesar -48.36 dan nilai amplitudo pengujian (kasus *ball bearing* hilang 1) sebesar -40.51, sehingga nilai pengamatan tersebut didapat nilai pengujian lebih besar daripada nilai amplitudo spektrum pada kondisi normal, sehingga dapat dikatakan kondisi *ball bearing* dinyatakan dalam keadaan rusak (1). Dari hasil perbandingan pernyataan deteksi kerusakan didapat bahwa keberhasilan deteksi kerusakan sebesar 65%. Semakin besar nilai persentase keberhasilan maka dapat dinyatakan pengujian mendekati real. Karena nyatanya memang pengujian dilakukan pada kondisi *ball bearing* rusak.

Tabel 3. Hasil deteksi kerusakan berdasarkan nilai spektrum kasus *ball bearing* hilang 1

Frekuensi	Normal (Y)	Hilang 1 (Y)	Deteksi Kerusakan
$f_p(k=1)$	-48.36	-40.51	1
$f_p(k=1)$	-48.31	-42.07	1
$f_p(k=-2)$	-44.95	-55.69	0
$f_p(k=2)$	-52	-48.37	1
$f_p(k=-3)$	-50.48	-51.64	0
$f_p(k=3)$	-62.44	-51.52	1

$f_p(k = -4)$	-49.84	-51.13	0
$f_p(k = 4)$	-56.86	-52.51	1
$f_p(k = -5)$	-40.7	-48.53	0
$f_p(k = 5)$	-56.1	-59	0
$f_p(k = -6)$	-44.43	-38.17	1
$f_p(k = 6)$	-61.43	-59.27	1
$f_p(k = -7)$	-37.17	-32.3	1
$f_p(k = 7)$	-53.77	-53.18	1
$f_p(k = -8)$	-51.93	-43.57	1
$f_p(k = 8)$	-64.45	-58.01	1
$f_p(k = -9)$	-53.67	-47.66	1
$f_p(k = 9)$	-60.39	-59.41	1
$f_p(k = -10)$	-26.38	-51.96	0
$f_p(k = 10)$	-56.28	-59.41	0

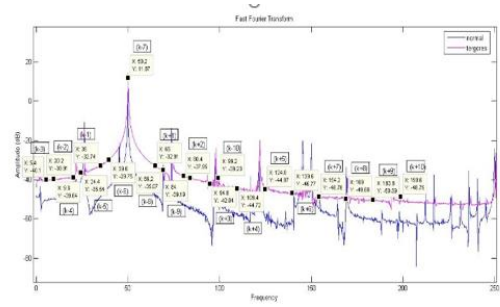


Gambar 8. Spektrum pada kondisi ball bearing hilang 2

Pengujian selanjutnya dilakukan pada Gambar 8 kondisi kerusakan berbeda yaitu pengujian pada kondisi bearing hilang 2. Berikut adalah pengujian kasus kedua dengan kasus ball bearing hilang 2. Pada Gambar 8 menunjukkan spektrum arus stator pada kondisi ball bearing hilang 2, dimana disetiap frekuensinya akan dibandingkan dengan spektrum ball bearing dalam keadaan normal seperti yang ditunjukkan pada Table 4.

Tabel 4 Hasil deteksi kerusakan berdasarkan nilai spektrum kasus ball bearing hilang 2 pada kondisi pembebanan 100%

Frekuensi	Normal (Y)	Hilang 2 (Y)	Deteksi Kerusakan
$f_p(k = -1)$	-48.36	-39.81	1
$f_p(k = 1)$	-48.31	-42.12	1
$f_p(k = -2)$	-44.95	-44.91	1
$f_p(k = 2)$	-52	-48.54	1
$f_p(k = -3)$	-50.48	-46.99	1
$f_p(k = 3)$	-62.44	-52.43	1
$f_p(k = -4)$	-49.84	-46.47	1
$f_p(k = 4)$	-56.86	-55.39	1
$f_p(k = -5)$	-40.7	-45.56	0
$f_p(k = 5)$	-56.1	-59.6	0
$f_p(k = -6)$	-44.43	-37.9	1
$f_p(k = 6)$	-61.43	-58.77	1
$f_p(k = -7)$	-37.17	-29.18	1
$f_p(k = 7)$	-53.77	-60.09	0
$f_p(k = -8)$	-51.93	-44.33	1
$f_p(k = 8)$	-64.45	-64.05	1
$f_p(k = -9)$	-53.67	-48.5	1
$f_p(k = 9)$	-60.39	-66.96	0
$f_p(k = -10)$	-26.38	-52.34	0
$f_p(k = 10)$	-56.28	-62.63	0



Gambar 9. Spektrum pada kondisi ball bearing tergores

Kasus ketiga pada Gambar 9 ini melakukan pengujian pada kondisi ball bearing tergores. Gambar 9 merupakan grafik spektrum arus stator ball bearing tergores, sama hal nya dengan pengujian di kasus yang lain , grafik menunjukkan nilai amplitude dari spektrum pada frerkuensi analisis.

Tabel 5. Hasil deteksi kerusakan berdasarkan nilai spektrum kasus ball bearing tergores pada kondisi pembebanan 100%

Frekuensi	Normal (Y)	Tergores (Y)	Deteksi Kerusakan
$f_p(k = -1)$	-48.36	-32.74	1
$f_p(k = 1)$	-48.31	-32.91	1
$f_p(k = -2)$	-44.95	-38.91	1
$f_p(k = 2)$	-52	-37.95	1
$f_p(k = -3)$	-50.48	-40.1	1
$f_p(k = 3)$	-62.44	-42.04	1
$f_p(k = -4)$	-49.84	-39.64	1
$f_p(k = 4)$	-56.86	-44.72	1
$f_p(k = -5)$	-40.7	-36.54	1
$f_p(k = 5)$	-56.1	-44.87	1
$f_p(k = -6)$	-44.43	-29.75	1
$f_p(k = 6)$	-61.43	-46.77	1
$f_p(k = -7)$	-37.17	-11.87	1
$f_p(k = 7)$	-53.77	-48.78	1
$f_p(k = -8)$	-51.93	-35.07	1
$f_p(k = 8)$	-64.45	-49.68	1
$f_p(k = -9)$	-53.67	-39.19	1
$f_p(k = 9)$	-60.39	-50.39	1
$f_p(k = -10)$	-26.38	-39.23	0
$f_p(k = 10)$	-56.28	-48.75	1

Pada Tabel 6 *Efficiency in fault detection* pada pengujian Menunjukkan hasil perhitungan dan deteksi pada semua variari pengujian dengan tingkat kerusakan yaitu ball bearing hilang 1, hilang 2, dan tergores. Dari keseluruhan data efisiensi didapat bahwa disaat ball bearing dinyatakan kondisi rusak maka mempunyai nilai efisiensi rendah (dibawah nilai 1), dan jika ball bearing dinyatakan tidak rusak maka mempunyai nilai efisiensi diatas 1.00. Hal ini menunjukkan bahwa disaat ball bearing dinyatakan terdeteksi maka nilai energy yang hilang juga akan lebih besar sehingga mengakibatkan *efficienci in fault detection* akan semakin rendah.

Tabel 6. *Efficiency in fault detection* pada pengujian

Frekuensi	Health	Fault 1	Fault/Health	Deteksi Kerusakan	Fault 2	Fault/Health	Deteksi Kerusakan	Fault 3	Fault/Health	Deteksi kerusakan
$f_p(k = -1)$	-48.36	-40.51	0.84	1	-39.81	0.82	1	-32.74	0.68	1
$f_p(k = 1)$	-48.31	-42.07	0.87	1	-42.12	0.87	1	-32.91	0.68	1
$f_p(k = -2)$	-44.95	-55.69	1.24	0	-44.91	1.00	1	-38.91	0.87	1
$f_p(k = 2)$	-52	-48.37	0.93	1	-48.54	0.93	1	-37.95	0.73	1
$f_p(k = -3)$	-50.48	-51.64	1.02	0	-46.99	0.93	1	-40.1	0.79	1
$f_p(k = 3)$	-62.44	-51.52	0.83	1	-52.43	0.84	1	-42.04	0.67	1
$f_p(k = -4)$	-49.84	-51.13	1.03	0	-46.47	0.93	1	-39.64	0.80	1
$f_p(k = 4)$	-56.86	-52.51	0.92	1	-55.39	0.97	1	-44.72	0.79	1
$f_p(k = -5)$	-40.7	-48.53	1.19	0	-45.56	1.12	0	-36.54	0.90	1
$f_p(k = 5)$	-56.1	-59	1.05	0	-59.6	1.06	0	-44.87	0.80	1
$f_p(k = -6)$	-44.43	-38.17	0.86	1	-37.9	0.85	1	-29.75	0.67	1
$f_p(k = 6)$	-61.43	-59.27	0.96	1	-58.77	0.96	1	-46.77	0.76	1
$f_p(k = -7)$	-37.17	-32.3	0.87	1	-29.18	0.79	1	-11.87	0.32	1
$f_p(k = 7)$	-53.77	-53.18	0.99	1	-60.09	1.12	0	-48.78	0.91	1
$f_p(k = -8)$	-51.93	-43.57	0.84	1	-44.33	0.85	1	-35.07	0.68	1
$f_p(k = 8)$	-64.45	-58.01	1.00	1	-64.05	1.11	0	-49.68	0.86	1
$f_p(k = -9)$	-53.67	-47.66	0.89	1	-48.5	0.90	1	-39.19	0.73	1
$f_p(k = 9)$	-60.39	-59.41	0.98	1	-66.96	1.11	0	-50.39	0.83	1
$f_p(k = -10)$	-26.38	-51.96	1.97	0	-52.34	1.98	0	-39.23	1.49	0
$f_p(k = 10)$	-56.28	-59.41	1.06	0	-62.63	1.11	0	-48.75	0.87	1

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan melalui proses pengambilan data, pengujian data dan analisis data mengenai efisiensi deteksi kerusakan *ball bearing* didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pendeteksi kerusakan motor induksi pada bagian *ball bearing* yang dianalisa menggunakan metode FFT dikatakan berhasil pada kondisi *bearing* : rusak dengan presentase keberhasilan sebagai berikut hilang 1 sebesar 65%, hilang 2 sebesar 70% dan tergores sebesar 95%.
2. Efisiensi deteksi kerusakan akan menurun jika hasil deteksi kondisi dinyatakan rusak, pada data yang didapat menunjukkan bahwa efisiensi bernilai kurang dari 1.00, sedangkan jika *ball bearing* dinyatakan kondisi normal maka nilai efisiensi tinggi yaitu diatas 1.00.

REFERENSI

- [1] Iradiratu, D.P.K. and Anugrah, A.S., 2017. Perancangan Space Vector Pulse Width Modulationvoltage Source Inverter (SVPWMSI VSI) Berbasis Fuzzy Logic Pada Motor Induksi 3 Fasa Sebagai Alternatif Driver Yang Meminimkan Distorsi Harmonisa.
- [2] Farajzadeh-Zanjani, M., Razavi-Far, R., Saif, M. and Rueda, L., 2016, July. Efficient feature extraction of vibration signals for diagnosing bearing defects in induction motors. In *2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 4504-4511). IEEE.
- [3] Isfar, S., Karyatanti, I.D.P. and Dewantara, B.Y., 2021. The Effects of Damage to the Outer Race Bearing on the Efficiency of the Induction Motor Using Fast Fourier Transform (FFT) Method. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 5(1), pp.103-115.
- [4] Frosini, L. and Bassi, E., 2009. Stator current and motor efficiency as indicators for different types of bearing faults in induction motors. *IEEE Transactions on Industrial electronics*, 57(1), pp.244-251.
- [5] Iradiratu, D.P.K., Dewantara, B.Y. and Janudin, A.M., 2019. Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing Menggunakan

Motor Current Signature Analysis Berbasis Fast Fourier Transform. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, 6(1), pp.14-17

- [6] Abduh, M., Iradiratu, D.P.K. and Dewantara, B.Y., 2019. Deteksi Kerusakan Outer Race Bearing Pada Motor Induksi Melalui Analisa Arus Stator Menggunakan Metode Fast Fourier Transform (FFT). *Prosiding SENIATI*, pp.175-181.
- [7] Constantin, A. I., & Fireteanu, V. (2015). Efficiency in the detection of three important faults in induction motors through external magnetic field. *2015 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, ATEE 2015*, 430–435. <https://doi.org/10.1109/ATEE.2015.7133843>
- [8] PK, I.D., Dewantara, B.Y. and Utomo, W.M., 2019. Healthy Monitoring and Fault Detection Outer Race Bearing in Induction Motor Using Stator Current. *International Journal of Integrated Engineering*, 11(3).
- [9] Ufun, B.R.A.R., Karyatanti, I.D.P. and Dewantara, B.Y., 2021. Detection of Stator Winding Short Circuit Faults Through Magnetic Fields In Induction Motors. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 5(1), pp.89-102.