

Deteksi Kerusakan *Outer Race Bearing* Pada Motor Induksi Melalui Analisa Arus Stator Menggunakan Metode *Fast Fourier Transform* (FFT)

Muhammad Abduh ¹⁾, Iradiratu D.P.K ²⁾, Belly Yan Dewantara ³⁾

¹⁾Teknik Elektro, Universitas Hang Tuah Surabaya
Jl. Arif Rahman Hakim no.150 Surabaya
Email : muhammadabduh125@gmail.com

Abstrak. Motor induksi adalah peralatan elektromekanik yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri untuk mengubah tenaga listrik menjadi energi mekanik. Di industri, motor induksi merupakan komponen penting yang harus benar-benar dijaga keandalannya. Kerusakan bearing merupakan salah satu jenis kerusakan terbesar yang sering ditemui pada motor induksi. Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan oleh Electric Power Research Institute (EPRI) hampir sekitar 41-44% kerusakan motor induksi terjadi pada bearing. Kerusakan bearing dapat menyebabkan terjadinya vibrasi, noise (bising), peningkatan suhu kerja, dan timbulnya bunga api yang dapat menyebabkan kerusakan pada bagian motor induksi yang lain. Penelitian ini akan membahas mengenai metode analisis melalui arus stator pada kondisi *steady state* yang terjadi pada *outer race bearing* motor induksi yang dilengkapi dengan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Yang kemudian diaplikasikan pada motor induksi untuk melakukan deteksi kerusakan bearing.

Kata kunci: Analisis arus stator, *Outer Race Bearing*, *Fast Fourier Transform* (FFT), Motor Induksi.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Di industri, motor induksi merupakan komponen penting yang harus benar-benar dijaga keandalannya. Hampir sekitar 70-80% proses di industri menggunakan motor induksi sebagai komponen penggerak utamanya. Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan oleh *Electric Power Research Institute* (EPRI) yang mensurvei 6312 motor dan survei dari *Motor Reability Working Group* IEEE-IAS yang mensurvei 1141 motor. Kerusakan *bearing* berdasarkan lokasinya dapat dikategorikan sebagai kerusakan *inner-race* dan *outer-race*. Hampir sekitar 41-44% kerusakan motor induksi terjadi pada *bearing* [1]. *Bearing* merupakan komponen motor induksi yang membantu rotor agar dapat bergerak secara bebas. Kerusakan *bearing* dapat menyebabkan terjadinya vibrasi, noise (bising), peningkatan suhu kerja, dan timbulnya bunga api yang dapat menyebabkan kerusakan pada bagian motor induksi yang lain. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [2]. Penelitian mereka membahas tentang mendeteksi dan memperkirakan tingkat kerusakan pada motor induksi yang berbeda beban operasinya yaitu tanpa beban, pembebanan 50% dan 100% saja. Metode deteksi didasarkan pada analisis sinyal arus stator selama *steady state*.

Penelitian ini akan membahas mengenai metode analisis arus stator pada kondisi *steady state* yang terjadi pada motor induksi yang dilengkapi dengan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Yang kemudian diaplikasikan pada motor induksi untuk melakukan deteksi kerusakan *bearing*. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa eksperimen berupa rekonstruksi kerusakan *bearing* serta pemberian beban mekanis yang bervariasi mulai dari tanpa beban, beban minimum sampai beban maksimum untuk mengetahui performa dari metode deteksi kerusakan *outer race bearing*.

1.2 Rumusan Masalah

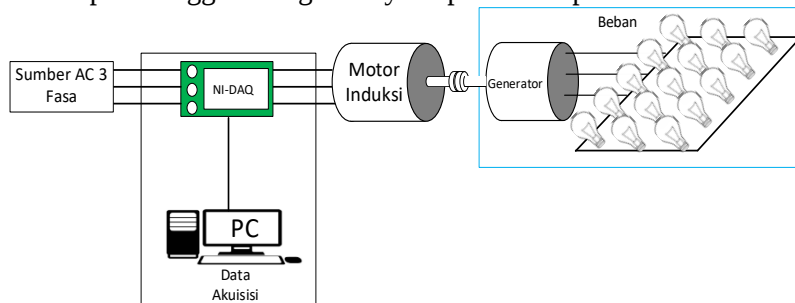
Kerusakan *outer race bearing* pada motor induksi menyebabkan terjadinya vibrasi, noise (bising), peningkatan suhu kerja, dan timbulnya bunga api yang dapat menyebabkan kerusakan pada bagian motor induksi yang lain.

1.3 Tujuan

Tujuan yang terdapat dalam penelitian ini adalah mendeteksi kerusakan *bearing* khususnya pada *outer race* menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) melalui analisis arus stator. Sehingga kerusakan pada bagian motor induksi dapat terdeteksi secara dini.

1.4 Metodologi

Sistem deteksi kerusakan *bearing* yang dirancang dalam penelitian ini berbasis kepada metode analisis bentuk spektrum arus stator motor induksi 3 fasa. Metode ini biasa dikenal dengan nama *Motor Current Signature Analysis* (MCSA). Untuk membentuk sistem deteksi tersebut diperlukan beberapa peralatan penunjang seperti sumber listrik dari pln, motor induksi 3 fasa, perangkat pembebanan berupa generator dan lampu, serta peralatan akuisisi data (NI-DAQ) terhubung komputer yang dilengkapi dengan *software* LabVIEW, Diadem dan MATLAB. Beberapa peralatan tersebut dirancang sedemikian rupa sehingga konfigurasinya dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Konfigurasi sistem Deteksi Kerusakan *Bearing*

1.5 Landasan Teori

1.5.1 Analisa Kerusakan Motor Induksi Melalui Arus Stator

Kerusakan yang terjadi pada *bearing* dapat menyebabkan motor induksi mengalami gerakan secara radial. Hal ini menyebabkan kerapatan fluks pada *air-gap* menjadi tidak simetri dan mempengaruhi induktansi di stator sehingga arus stator motor induksi mengandung harmonisa dengan frekuensi kerusakan yang dapat diprediksi dengan persamaan 1 [3].

$$f_p = |f_s \pm k \cdot f_v| \dots \dots \dots (1)$$

Dengan:

F_p = Frekuensi Prediksi Kerusakan *Bearing*

f_s = Frekuensi Sumber Listrik (50 atau 60 Hz)

k = Konstanta (1, 2, 3, . . .)

f_v = Frekuensi Kerusakan *Bearing*

Untuk jumlah *ball* sebanyak 6 sampai 12 buah, frekuensi karakteristik kerusakan untuk *outer race* dan *inner race* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2 dan persamaan 3 [3].

$$f_o = 0,4 \cdot N \cdot f_r \dots \dots \dots (2)$$

$$f_i = 0,6 \cdot N \cdot f_r \dots \dots \dots (3)$$

Dengan:

f_o = Frekuensi Kerusakan Pada *Outer Race*

f_i = Frekuensi Kerusakan Pada *Inner Race*

N = Jumlah *Ball Bearing*

f_r = Frekuensi Kecepatan Putaran Rotor

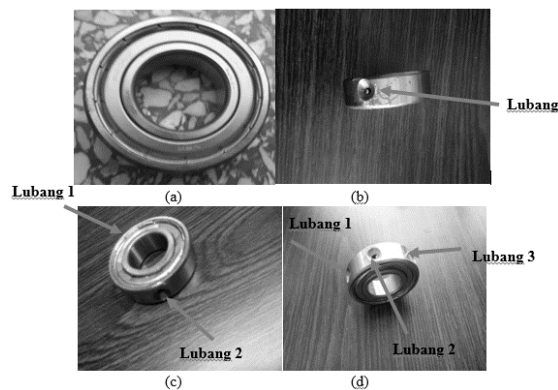
1.5.2 Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan pengembangan suatu metode perhitungan cepat dari *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT merupakan suatu metode perhitungan yang mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Biasanya FFT digunakan untuk keperluan analisis spektrum dalam domain frekuensi. Dengan menggunakan FFT, suatu sinyal dapat dilihat sebagai objek dalam domain frekuensi. FFT lebih cocok digunakan dalam sinyal diskrit yang periodik dan simetri. Sinyal diskrit yang periodik dan simetri adalah sinyal diskrit yang terus berulang dalam rentang waktu tertentu dan memiliki pencerminan disekitar titik tengahnya [4].

2. Pembahasan

2.1 Rekonstruksi Kerusakan *Outer Race Bearing*

Dalam penelitian ini dibuat 3 kasus kerusakan pada bagian *outer race*. Kerusakan 1 (1 lubang ukuran 2mm), kerusakan 2 (2 lubang ukuran 2mm), kerusakan 3 (3 lubang ukuran 2mm). Gambar 2 merupakan gambaran kerusakan *bearing* yang dibuat pada penelitian ini.



Gambar 2 Rekonstruksi kerusakan *Outer Race Bearing*, a) bearing normal, b) 1 lubang 2mm, c) 2 lubang 2mm, dan d) 3 lubang 2mm

2.2 Perhitungan Presentase Pembebanan

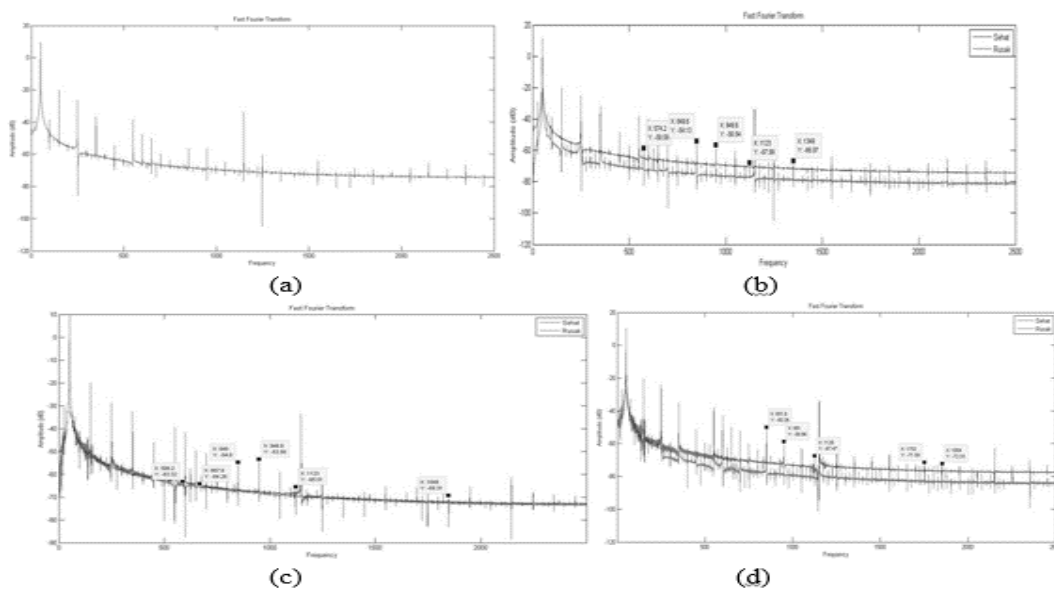
Pembebanan yang digunakan merupakan pembebanan mekanik berupa generator dan untuk membuat beban bervariasi maka generator diberi pembebanan listrik berupa lampu. Untuk membuat pembebanan bertingkat menjadi bentuk presentase maka pertama yang dilakukan adalah mengukur daya tanpa beban atau pengukur arus stator dilakukan pada saat motor beroperasi tanpa terkopel dengan generator. Selanjutnya motor dikopel dengan generator dan generator di hubungkan pada beban lampu untuk variasi beban. Penambahan beban lampu dilakukan hingga motor mendapatkan beban penuh dengan acuan arus maksimum *rating* pada *nameplate* motor yaitu sebesar 3,53 ampere yang nantinya menjadi acuan nilai untuk beban penuh pada motor. Hasil perhitungan arus pembebanan pada motor induksi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan pembebanan arus pada motor induksi dalam bentuk persen (%)

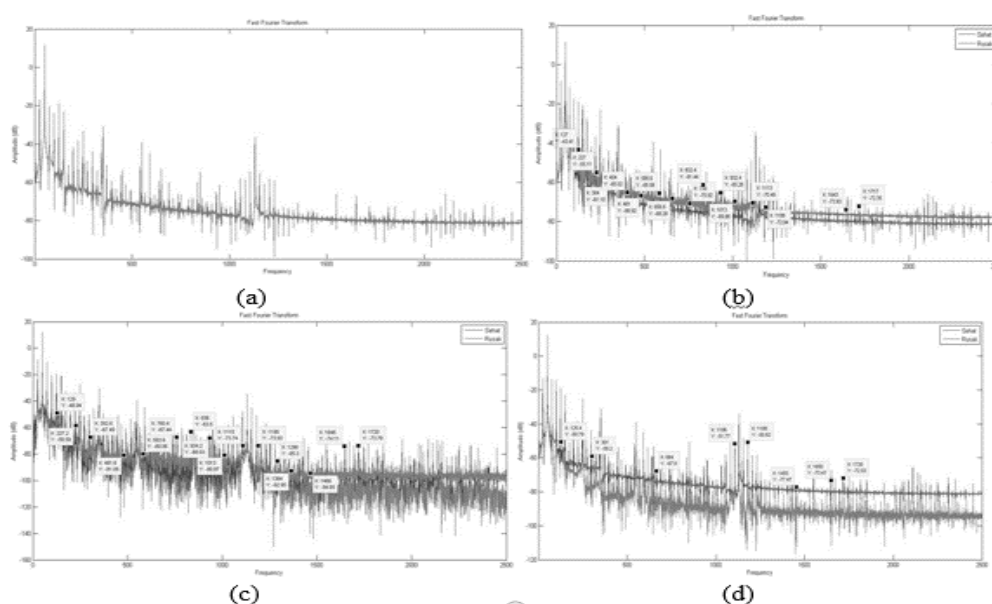
Beban (%)	Arus Stator (A)			
	Normal	1 Lubang 2mm	2 Lubang 2mm	3 Lubang 2mm
0	2,1	2,1	2,1	2,1
25	2,45	2,4	2,4	2,5
50	2,8	2,8	2,8	2,8
75	3,15	3,1	3,1	3,1
100	3,5	3,5	3,5	3,5

2.3 Hasil Analisis

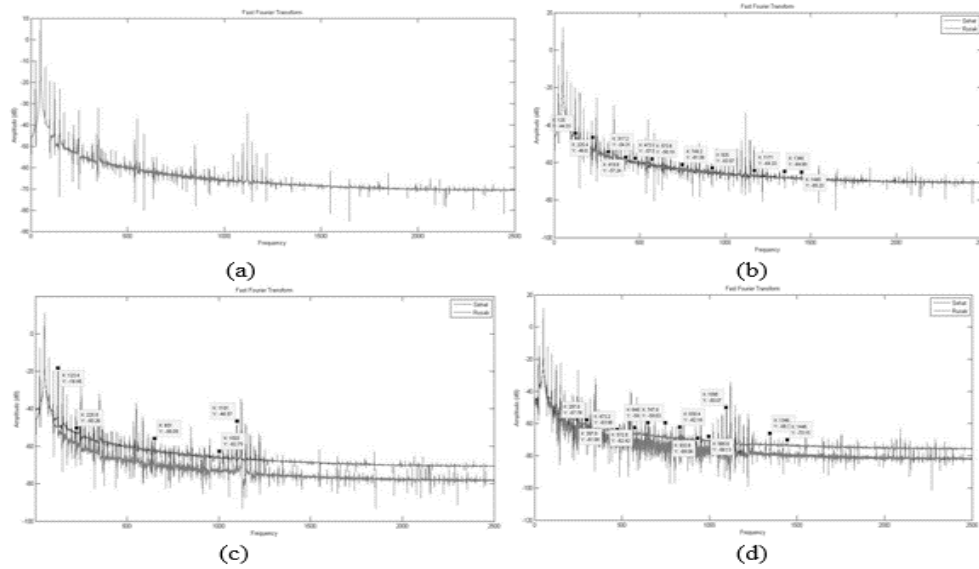
Pada penelitian ini hasil dari metode deteksi *kerusakan outer race bearing* didapat dari hasil perhitungan dan pengujian untuk motor normal yang dibandingkan dengan motor induksi yang telah mengalami rekonstruksi kerusakan *outer race bearing* menggunakan metode *fast fourier transform*. Hasil deteksi berupa spektrum arus motor rusak yang mengalami lonjakan amplitude yang ditunjukkan pada gambar 3 sampai gambar 7, dimana gambar 3 merupakan kondisi pembebanan 0%, pembebanan 25% dapat dilihat pada gambar 4, gambar 5 merupakan hasil spektrum arus pada kondisi pembebanan 50%, pembebanan 75% ditunjukkan pada gambar 6, gambar 7 merupakan hasil perbandingan spektrum arus motor dengan kondisi beban penuh atau 100%. Gambar 4 sampai 7 merupakan hasil perbandingan dari arus motor normal (a), motor dengan kerusakan 1 lubang 2mm (b), motor dengan kondisi kerusakan 2 lubang 2mm (c), dan (d) kondisi motor dengan kondisi kerusakan 3 lubang 2mm.



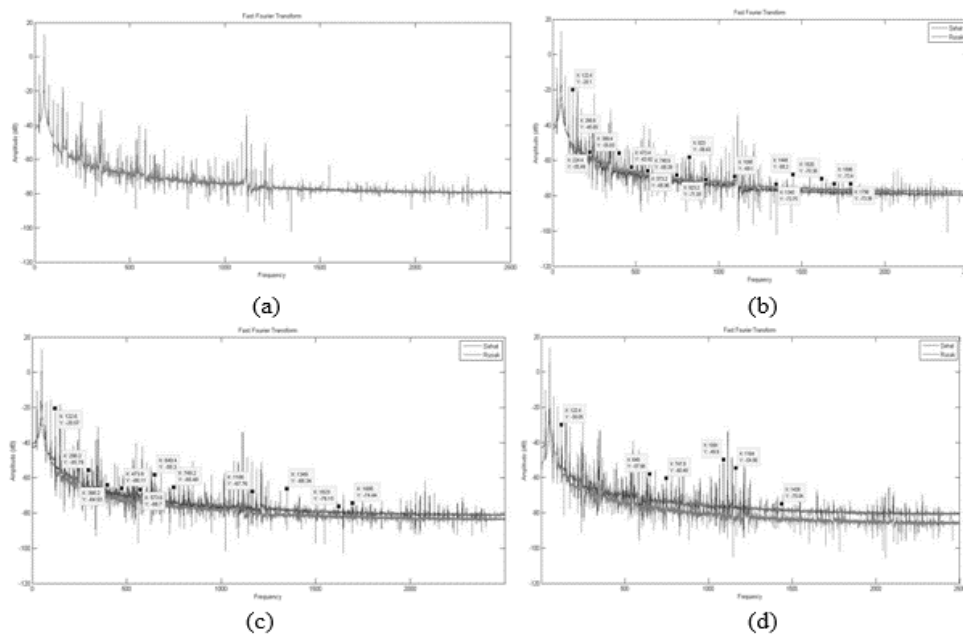
Gambar 3 Kondisi beban 0%, a) motor normal, b) 1 lubang 2mm, c) 2 lubang 2mm, d) 3 lubang 2mm



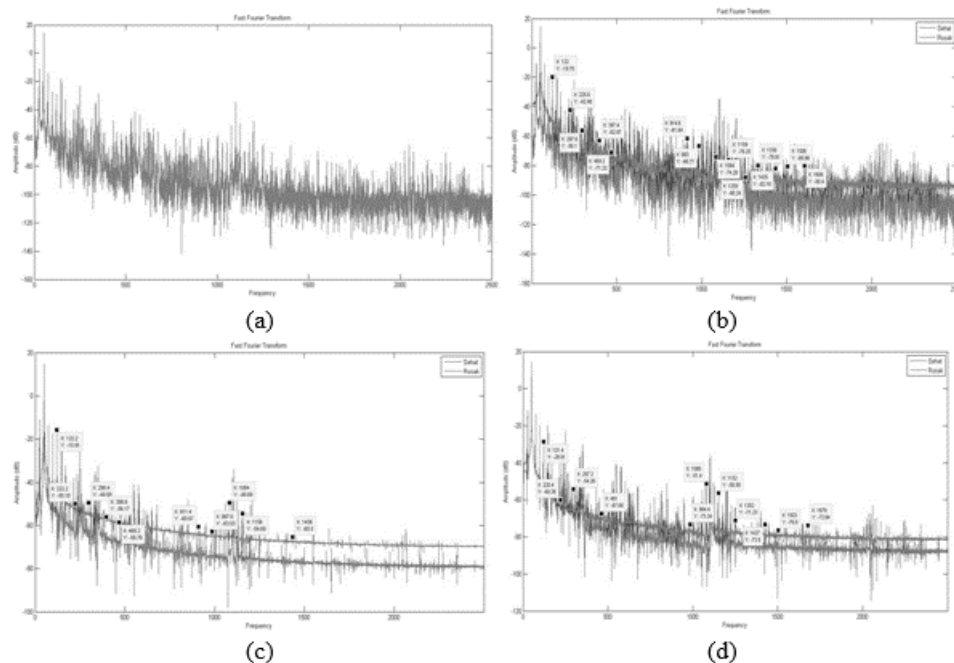
Gambar 4 Kondisi beban 25%, a) motor normal, b) 1 lubang 2mm, c) 2 lubang 2mm, d) 3 lubang 2mm



Gambar 5 Kondisi beban 50%, a) motor normal, b) 1 lubang 2mm, c) 2 lubang 2mm, d) 3 lubang 2mm



Gambar 6 Kondisi beban 75%, a) motor normal, b) 1 lubang 2mm, c) 2 lubang 2mm, d) 3 lubang 2mm



Gambar 7 Kondisi beban 100%, a) motor normal, b) 1 lubang 2mm, c) 2 lubang 2mm, d) 3 lubang 2mm

Dari gambar 3 sampai 7 didapat hasil spektrum arus stator pada kondisi kerusakan 1 lubang 2mm, 2 lubang 2mm, 3 lubang 2mm tingkat keberhasilan deteksi menggunakan metode *fast fourier transform*. Untuk pembebanan 0% kondisi 1 lubang terdeteksi pada 5 titik, kondisi 2 lubang terdeteksi 6 titik, kondisi 3 lubang terdeteksi 5 titik. Untuk pembebanan 25% kondisi kerusakan 1 lubang terdeteksi pada 15 titik, kondisi 2 lubang terdeteksi pada 16 titik, kondisi 3 lubang terdeteksi pada 8 titik. Untuk kondisi pembebanan 50% kondisi kerusakan 1 lubang terdeteksi pada 11 titik, kondisi 2 lubang terdeteksi pada 5 titik, kondisi 3 lubang terdeteksi pada 12 titik. Untuk kondisi beban 75% kondisi kerusakan 1 lubang terdeteksi 15 titik, kondisi 2 lubang terdeteksi pada 11 titik, kondisi 3 lubang terdeteksi pada 6 titik. Untuk kondisi beban penuh atau 100% pada kondisi 1 lubang terdeteksi 14 titik, untuk kondisi kerusakan 2 lubang terdeteksi 10 titik, kondisi kerusakan 3 lubang terdeteksi 11 titik. Hasil keberhasilan deteksi dalam bentuk persen dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil analisis menggunakan metode *Fast Fourier Transform*

Rekonstruksi Kerusakan <i>Outer Race Bearing</i>			
Kondisi Pembebanan	1 Lubang 2mm	2 Lubang 2mm	3 Lubang 2mm
Beban 0%	25%	30%	25%
Beban 25%	75%	80%	40%
Beban 50%	55%	25%	60%
Beban 75%	75%	55%	30%
Beban 100%	70%	50%	55%
Besar Keberhasilan	60%	48%	41%

Tabel 2 merupakan hasil presentase keberhasilan deteksi kerusakan *outer race bearing* menggunakan metode FFT setelah melakukan pengambilan, perhitungan dan pengujian data arus motor dari kondisi sehat (normal) dan kondisi motor yang telah mengalami kerusakan *outer race bearing* baik itu pada kondisi kerusakan 1 lubang, 2 lubang, dan 3 lubang.

3. Kesimpulan

1. Metode *fast fourier transform* merupakan metode untuk menganalisis data spektrum, pada penelitian ini metode *fast fourier transform* digunakan untuk mendeteksi spektrum arus pada motor induksi.
2. Metode *fast fourier transform* yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan *outer race bearing* berhasil mendeteksi untuk kerusakan *outer race bearing* 1 lubang 2mm sebesar 60%, untuk 2 lubang 2mm sebesar 48%, dan untuk 3 lubang 2mm berhasil mendeteksi sebesar 41%.
3. Efek pembebanan yang diberikan pada motor induksi membantu mempermudah untuk proses keberhasilan pada penelitian ini, dimana untuk kondisi tanpa beban keberhasilan deteksi hanya sekitar 25% sampai 30%, sedangkan pada saat motor diberi beban keberhasilan deteksi menggunakan metode *fast fourier transform* sebesar 30% sampai 80%.

Ucapan Terima Kasih

1. Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya bisa menyelesaikan makalah ini dengan baik.
2. Orangtua saya tercinta, Bapak Anwar dan Ibu Yanti yang telah membiayai kuliah, mendoakan dan mendukung dari berbagai aspek sehingga saya bisa menyelesaikan semua jenjang studi dengan baik.
3. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro yang telah memberi bekal ilmu pengetahuan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan penulisan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] da Silva, Aderiano M., "*Induction Motor Fault Diagnostic And Monitoring Methods*", Marquette University, Milwaukee, Wisconsin, Mei, 2006.
- [2] Reemon Z. Haddad, Cristian A. Joan Pons-Llinares, Jose Antonio-Daviu and Elias G., "*Outer Race Bearing Fault Detection in Induction Machines Using Stator Current Signals*", Michigan State University, Valencia, 2015.
- [3] Frosini Lucia dan Bassi Ezio, "*Stator Current and Motor Efficiency as Indicators for Different Types of Bearing Faults in Induction Motors*", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 1, Januari, 2010.
- [4] Hayes, Monson H., "*Schaum's Outline of Theory and Problems of Digital Signal Processing*", McGraw-Hill Companies, USA, 1999.