

Deteksi Kerusakan *Inner Race Bearing* Menggunakan *Motor Current Signature Analysis* Berbasis *Fast Fourier Transform*

Iradiratu DPK
Teknik Elektro,
Universitas Hang Tuah Surabaya,
Surabaya, Indonesia
iradiratu@hangtuah.ac.id

Belly Yan Dewantara
Teknik Elektro,
Universitas Hang Tuah Surabaya,
Surabaya, Indonesia
bellyyandewantara@hangtuah.ac.id

Achmad Misfakul Janudin
Teknik Elektro,
Universitas Hang Tuah Surabaya,
Surabaya, Indonesia
achmadjanudin@gmail.com

Abstract— Motor induksi merupakan mesin arus bolak-balik yang banyak digunakan di perusahaan - perusahaan yang bergerak dalam bidang industri, komersil, dirgantara, dan militer. Salah satu kerusakan terbesar yang terjadi pada motor induksi adalah kerusakan bantalan yang mencapai 41%. Sebagian besar penelitian untuk mendeteksi kerusakan bantalan dilakukan berdasarkan analisis getaran. Meskipun metode ini cukup efektif, analisis akan bervariasi berdasarkan lokasi peralatan dan oleh karena itu sulit untuk memilih dan memposisikan sensor. Untuk mengatasi kerugian dari metode di atas, deteksi kerusakan bantalan motor induksi pada bagian bantalan dalam menggunakan analisis signal arus motor yang dilengkapi dengan algoritma *Fast Fourier Transform (FFT)*. Metode baru ini dilakukan untuk mengindikasikan terjadinya kerusakan pada *bearing* tanpa menghiraukan posisi sensor. Serta meminimalisir terjadinya peningkatan getaran, peningkatan kebisingan, peningkatan suhu kerja, kehilangan efisiensi yang dapat menyebabkan kerusakan pada bagian motor induksi yang lain. Pada sistem deteksi kerusakan *inner race bearing*, berhasil mendeteksi terjadinya kerusakannya. Akan tetapi hasil dari deteksi kerusakannya masih rendah. Dimana dalam pembebanan 0% ini memiliki tingkat keberhasilan 11.11%. Untuk pembebanan 25% memiliki tingkat keberhasilan 22.22%. Pada pembebanan 50% memiliki tingkat keberhasilan 25.93%. Dalam pembebanan 75% memiliki tingkat keberhasilan 29.63%. Serta untuk pembebanan 100% memiliki tingkat keberhasilan 37.04 %.

Kata Kunci— Analisis Sinyal Arus Motor, Bantalan Dalam, Motor Induksi

I. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan mesin arus bolak-balik yang banyak digunakan di perusahaan-perusahaan yang bergerak dalam bidang industri, komersil, dirgantara, dan militer. Mesin induksi memainkan peran utama dalam banyak aplikasi yang berbeda karena mesin induksi itu sederhana, murah, kuat, dan mudah dikontrol, yang membuatnya cocok untuk operasi di lingkungan yang keras dan berat[1]. Meskipun memiliki konstruksi yang kuat, bukan berarti motor induksi tidak akan mengalami kerusakan. Ada saatnya dimana motor induksi mengalami kerusakan dan harus dihentikan operasinya..

II. BAHAN DAN METODE

Kerusakan bantalan adalah kesalahan mekanis yang umum pada mesin induksi. Menanggung kesalahan sekitar 41% dari total kesalahan dalam mesin induksi. Oleh karena itu mendeteksi kesalahan bantalan (jenis dan tingkat keparahan) selama kondisi operasi normal adalah penting. Penting juga untuk mendeteksi kerusakan bearing pada tahap awal, sehingga perawatan yang tepat dapat dilakukan

untuk melindungi mesin dari kerusakan parah [1]. *Bearing* merupakan komponen motor induksi yang membantu rotor agar dapat bergerak secara bebas. Kerusakan *bearing* dapat menyebabkan terjadinya peningkatan getaran, peningkatan kebisingan, peningkatan suhu kerja, kehilangan efisiensi yang dapat menyebabkan kerusakan pada bagian motor induksi yang lain [4].

Sebagian besar penelitian untuk mendeteksi kerusakan bearing dilakukan berdasarkan analisis getaran. Meskipun metode ini cukup efektif, analisis akan bervariasi berdasarkan lokasi peralatan dan oleh karena itu sulit untuk memilih dan memposisikan sensor. Untuk mengatasi kerugian dari metode di atas, deteksi dilakukan dengan menggunakan motor *current signature analysis (MCSA)*. Sehingga pilihan dan posisi sensor tidak diperlukan. Beberapa metode deteksi kesalahan bantalan lainnya didasarkan pada analisis domain waktu. dan analisis arus listrik. Kedua analisis tersebut menghasilkan hasil yang menjanjikan dan menjadi terkenal [5]. Pada Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Shrinathan esakimuthu pandarakone dkk[5] hanya membahas tentang kerusakan *outer race bearing* menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*. Dan hanya memiliki 2 jenis ukuran kerusakan pada *outer race bearings* yang berbeda. Oleh sebab itu dalam penelitian ini akan membahas kerusakan *inner race bearing* menggunakan metode *motor current signature analysis (MCSA)* yang dilengkapi dengan algoritma *Fast Fourier Transform (FFT)*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deteksi kerusakkan *inner rice bearing* ini keseluruhan sistemnya dapat dilihat pada gambar 1. Dengan motor yang telah direkontruksi kerusakan pada bagian *inner rice bearingnya* dengan kondisi normal, 1 lubang 2mm, 2 lubang 2mm, dan 1 lubang 5mm dapat dilihat pada gambar 3. Pada saat pengambilan data beban yang digunakan bervariasi mulai dari 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Setelah itu proses pengambil data arus dengan frekuensi sampling yang digunakan sebesar 5.000 sampel/detik dengan panjang data sebanyak 25.000 sampel, melalui perangkat *Ni DAQ* dan ditransfer ke komputer. Untuk diolah dengan metode *FFT* dan didapatkan spektrum arus yang akan dibandingkan yang dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6.

Hasil dari percobaan deteksi kerusakkan *inner rice bearing* pada arus stator dapat dilihat pada tabel 1. Dimana dalam pembebanan 0% ini memiliki tingkat keberhasilan 11.11%. Untuk pembebanan 25% memiliki tingkat keberhasilan 22.22%. Pada pembebanan 50% memiliki tingkat keberhasilan 25.93%. Dalam pembebanan 75%

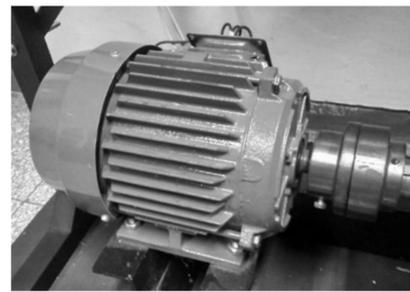
memiliki tingkat keberhasilan 29.63%. Serta untuk pembebanan 100% memiliki tingkat keberhasilan 37.04 %.

A. Tabel

TABEL 1. KEBERHASILAN DETEKSI KERUSAKAN INNER ICE BEARING

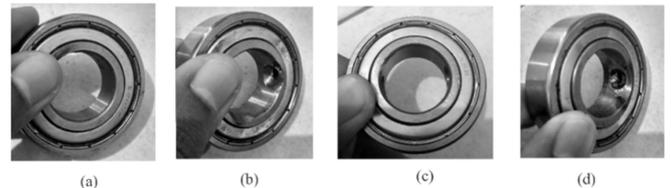
Beban	Kostanta	1 lubang 2 mm	2 lubang 2 mm	1 lubang 5 mm	Keberhasilan	Persen
0%	(-2)	-	-	1	1	11.11%
	(-3)	1	-	1	2	
25%	(-3)	1	-	1	1	22.22%
	5	1	-	1	2	
	(-7)	1	1	1	3	
50%	2	1	-	1	2	25.93%
	3	1	-	-	1	
	(-3)	1	-	-	1	
	4	-	1	-	1	
	(-7)	1	-	-	1	
	(-8)	1	-	-	1	
75%	2	-	-	1	1	29.63%
	(-2)	-	1	1	2	
	(-3)	-	1	1	2	
	4	-	-	1	1	
	7	-	-	1	1	
	8	-	-	1	1	
	100%	3	-	-	1	
(-3)		-	-	1	1	
4		1	-	1	2	
(-4)		-	1	-	1	
6		-	-	1	1	
(-7)		1	-	-	1	
(-8)		1	1	1	3	

Setelah itu di kopel dengan generator dan ditambahkan pembebanan berupa lampu.



Gambar 2. Motor Induksi 3 Fasa

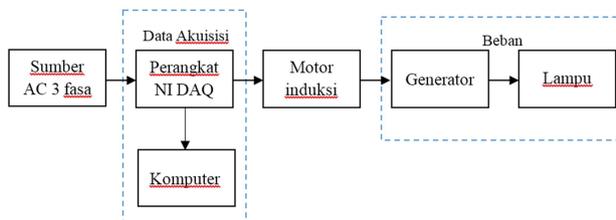
Motor induksi 3 fasa yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis rotor sangkar merk Tatung dengan kapasitas 2 HP atau setara dengan 1,5 kW. Konfigurasi belitan yang digunakan adalah wye(Y), rating tegangan sebesar 380 V dan rating arus sebesar 3,54 A. Motor induksi 3 fasa yang digunakan memiliki jumlah pasang kutub sebanyak 4 buah sehingga memiliki kecepatan sinkron sebesar 1500 rpm dan kecepatan saat beban penuh sebesar 1380 rpm.



Gambar 3. Rekonstruksi Kerusakan Inner Race Bearing (a) kondisi normal, (b) 1 lubang 2mm, (c) 2 lubang 2mm, (d) 1 lubang 5mm

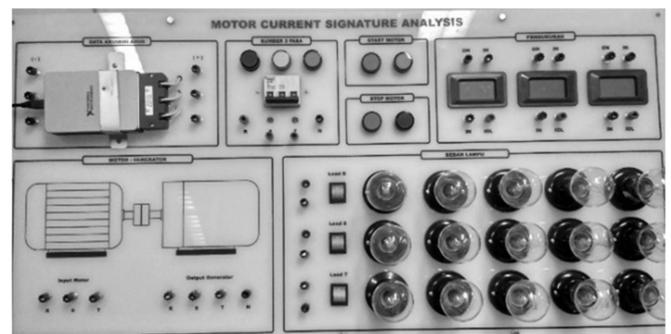
Bearing yang digunakan memiliki merk ABS, dengan tipe 6205-Z, diameter dalam 25 mm, diameter luar 52 mm, lebar bearing 15 mm, jumlah bola 9 buah. Rekonstruksi kerusakan bearing dilakukan dengan memberikan kecacatan pada bagian *inner race bearing*. Dengan membuat 1 lubang 2mm, 2 lubang 2mm, 1 lubang 5mm dibagian *inner rice bearingnya*.

B. Gambar



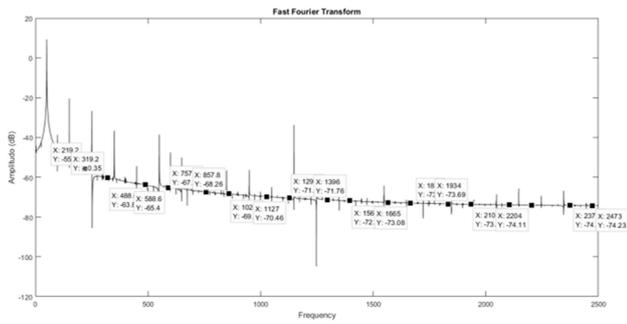
Gambar 1. Rangkaian Sistem

Dari sumber 3 fasa masuk ke perangkat akuisisi data yang diparalel ke komputer untuk di olah datanya. Dari perangkat akuisisi data, sumber 3 fasa juga diparalelkan ke motor induksi 3 fasa yang dapat dilihat pada gambar 2.

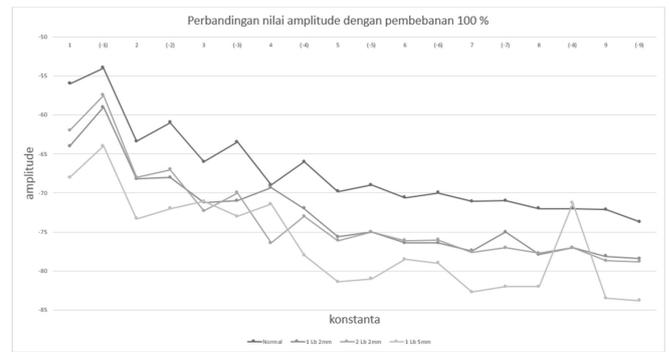


Gambar 4. Implementasi Sistem Deteksi Kerusakan Bearing

Rancangan sistem pada deteksi kerusakkan *inner rice bearing*, dengan tegangan sumber 3 fasa, data akuisisi NI-DAQ, serta pembebanan mekanik nerupa generator dan juga pembebanan lampu dengan tiap lampu memiliki daya sebesar 100 watt.

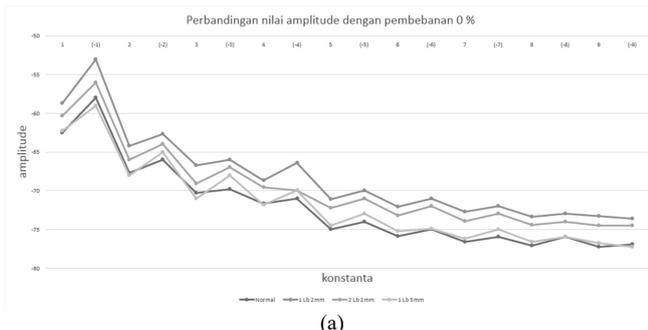


Gambar 5. Data spektrum arus stator dengan FFT

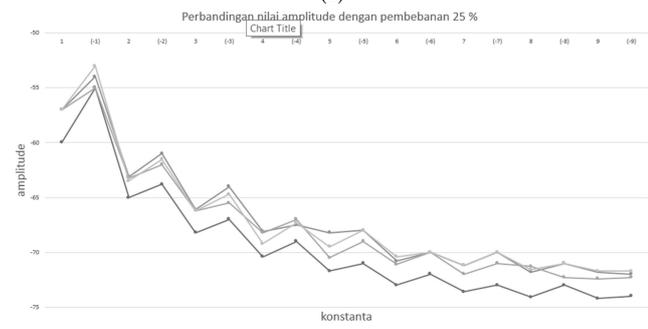


(e)

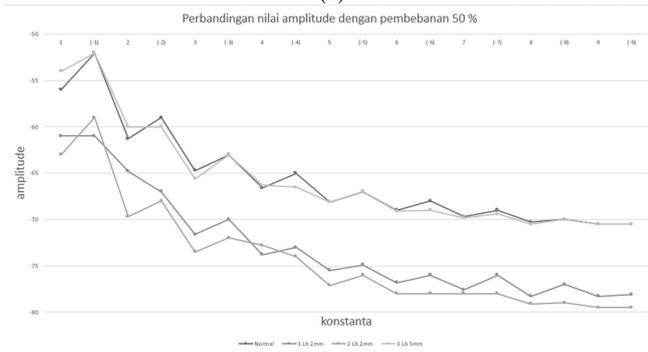
Gambar 6. Perbandingan nilai amplitude dengan pembebanan (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%, (d) 75 % dan (e) 100%



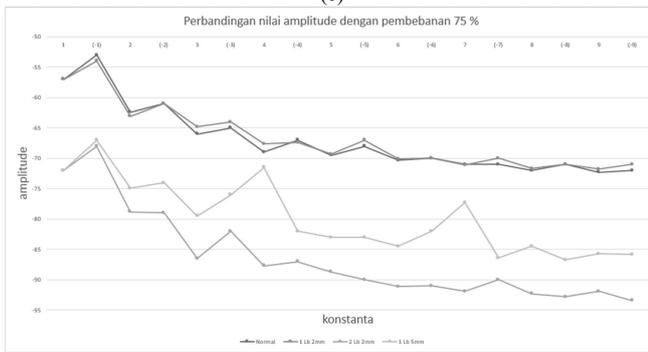
(a)



(b)



(c)



(d)

Label Gambar: Gunakan 8 point Times New Roman untuk label Gambar.

IV. KESIMPULAN

Penulis dapat mengirimkan paper mereka kapan saja menggunakan sistem online Triacs: <http://journal.trunojoyo.ac.id/triacs>. Tolong tuliskan nomor telepon anda di bagian bawah artikel anda.

A. Persamaan

1. Slip dan frekuensi motor induksi

Berubah – ubahnya kecepatan motor induksi (n_r) mengakibatkan berubahnya harga slip dari 100% pada saat start sampai 0% pada saat motor diam ($n_r = n_s$) [7]. Hubungan frekuensi dengan slip dapat dilihat pada persamaan (1) sampai (3).

$$f_2 = \frac{p(n_s - n_r)}{120} \quad (1)$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2)$$

$$f_2 = f_1 x s \quad (3)$$

Dimana n_s merupakan kecepatan putaran medan stator, f_1 merupakan frekuensi stator, n_r merupakan kecepatan putaran rotor, f_2 merupakan frekuensi arus rotor, p merupakan jumlah kutub motor induksi, s merupakan slip.

2. Motor Current Signature Analysis (MCSA)

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 (4) lain [8].

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

Dimana f_{bng} merupakan Frekuensi Prediksi Kerusakan Bearing, f_e merupakan Frekuensi Sumber Listrik (50 atau 60 Hz), m merupakan Konstanta (1, 2, 3, ...), f_v merupakan 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 (5) dan persamaan (6).

$$f_o = 0,4 \cdot N_B \cdot f_{rm} \quad (5)$$

$$f_i = 0,6 \cdot N_B \cdot f_{rm} \quad (6)$$

Dimana f_o merupakan Frekuensi Kerusakan Pada *Outer Race*, f_i merupakan Frekuensi Kerusakan Pada *Inner Race*, N_B merupakan Jumlah *Ball Bearing*, f_{rm} merupakan Frekuensi Kecepatan Putaran Rotor.

3. Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan suatu metode perhitungan cepat dari *Discrete Fourier Transform* (DFT) atau dengan kata lain FFT 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. 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. [8] Secara matematis, DFT dari suatu sinyal diskrit $x[n]$ dengan menggunakan N titik dapat dilihat pada persamaan (7) dan (8).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot W_N^{nk}, k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1 \quad (7)$$

$$W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}} \quad (8)$$

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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. J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] *Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installations*, Part I, IEEE Trans. Ind. App. vol.IA-21, no.4, pp.853,864, July 1985.
- [3] *Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installations*, Part II, IEEE Trans. Ind. App. vol.IA-21, no.4, pp.865,872, July 1985.
- [4] Tomasz Ciszewski, "*Induction Motor Bearings Diagnostic Indicators Based on MCSA and Normalized Triple Covariance*", Gdańsk University of Technology, Poland, 2017.
- [5] Shrinathan Esakimuthu Pandarakone, Yukio Mizuno, dan Hisahide Nakamura, "*Distinct Fault Analysis of Induction Motor Bearing using Frequency Spectrum Determination and Support Vector Machine*", Nagoya Institute of Technology, Japan, 2016.
- [6] M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [7] Zuhail, "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*", PT Gramedi Heikal H M,
- [8] Dimas A A, dan Teguh Y, "*Deteksi Kerusakan Outer Race Bearing pada Motor Induksi Menggunakan Analisis Arus Stator*", Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 2016. a Pustaka Utama, Jakarta, 2000.
- [9] Schoen R.R., Habetler T.G., Kamran F., dan Bartheld R.G., "*Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring*", Georgia Institute of Technology, School of Electrical and Computer Engineering, Atlanta, 1994.
- [10] Hayes, Monson H., "*Schaum's Outline of Theory and Problems of Digital Signal Processing*", McGraw-Hill Companies, USA, 1999.