

DETEKSI KERUSAKAN MOTOR INDUKSI DENGAN MENGGUNAKAN SINYAL SUARA

Akbar Anggriawan¹, Feblil Huda²

Laboratorium Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

¹akbaranggriawan@gmail.com, ²feblil.huda@eng.unri.ac.id

Abstract

Induction motor plays an important role in the industrial realm that serves as a driving parts such as the conveyor, lathes and others. Regarding to this important role, the early detection of induction motor damage becomes important for system operation, so that it could not stopped without scheduled. The types of damage that often occur in induction motor are mechanical unbalance, rotor damage and bearing damage. The usual detection method which uses vibration measurments has some disadvantages such as it is very expensive, physical contact with the induction motor that occurs and the sensors are less heat resistant on induction motor. The author uses sound signal detection method that is cheaper regarding to the cost, it has no physical contact with the induction motor and heat resistant. The sound signal is generated by the excitation of the artificial damage which is provided to the induction motor. Artificial damage is given by damaging the bearing, rotor and mass unbalance. Sound signal data from artificial damage test result on induction motor is processed by using fast fourier transform method. The result of the research obtains the amplitude increased number for one time motor rotation 2970 rpm (1xrpm) is 49.5 Hz, 144.5 Hz for bearing damage frequency and 78.5 Hz for the rotor damage frequency.

Keywords : Induction motor, mechanical unbalance, bearing, rotor, signal sound, fast fourier transform

1. Pendahuluan

Motor induksi adalah peralatan elektromekanik yang digunakan dalam berbagai aplikasi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik (Yudiastawan, 2009). Dalam dunia industri motor induksi merupakan salah satu komponen yang sangat penting. Contoh penggunaan motor induksi dalam dunia industri adalah alat penggerak *conveyor*, penggerak pompa, penggerak mesin bubut, mesin *press*, *elevator* dan lain lain. Penggunaan motor induksi dalam dunia industri memiliki jangka waktu yang sangat lama sehingga akan mengalami kerusakan akibat dari penuaan motor induksi.

Kerusakan pada motor induksi yang sering ditemukan adalah *mechanical unbalance*, kerusakan pada bearing dan kerusakan pada rotor. Oleh karena itu, salah satu cara dalam melakukan perawatan mesin adalah dengan melakukan pengukuran getaran sebagai bagian dari perawatan prediktif (*predictive maintenance*) (Malta, et al, 2014). Pendeteksian kerusakan motor induksi didalam dunia industri biasanya melakukan pengukuran getaran. Kekurangan dari dua alat ini adalah adanya kontak terhadap motor induksi dan harganya sangat mahal. metode ini terkadang kurang praktis bila diterapkan pada mesin yang beroperasi di daerah yang sempit karena menghendaki pemasangan sensor yang tepat

pada objek ukur yang terkadang membahayakan operator dan instrument pengukuran (Huda, 2015).

Solusi dari kekurangan tersebut adalah dengan menggunakan metode *non-contact measurement*. *Microphone* berfungsi sebagai sensor penangkap sinyal suara yang dihasilkan oleh motor induksi. Sinyal suara tersebut akan diolah laptop dengan menggunakan *software* pengolah sinyal suara. Cara ini tidak memerlukan adanya kontak terhadap motor induksi yang akan dideteksi kerusakannya. Biaya yang dibutuhkan pun lebih murah dibandingkan dengan menggunakan *vibration* meter dan *vibration analyzer*.

Getaran yang dihasilkan oleh motor induksi pada saat pengoperasian menghasilkan sinyal suara. Sinyal suara secara bentuk fenomena fisiknya akan menghasilkan informasi mengenai sifat dan sistem pada kondisi tertentu. Seperti pada motor induksi, suara yang dihasilkan motor induksi pada saat pengoperasian dapat memberikan informasi mengenai kondisi dan sifat dari motor induksi tersebut. Informasi tersebut berupa karakteristik dari frekuensi yang dihasilkan tiap kegagalan atau kerusakan (Arrendo, et al, 2016). Kegagalan motor induksi yang dideteksi biasanya yaitu kerusakan atau cacat pada *bearing*, *mechanical unbalances* dan kerusakan pada rotor.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil perhitungan secara teoritis nilai frekuensi getaran dari kerusakan motor induksi yang diberikan bentuk

kerusakan buatan pada bearing, kerusakan pada rotor dan kondisi *unbalance* dengan hasil nilai frekuensi pengujian sinyal suara dan mengidentifikasi ciri khas sinyal suara.

2. Metodologi

2.1 Set Up Pengujian

Pada penelitian ini, dilakukan pendeteksian kerusakan yang terdapat di motor induksi satu fasa. Kerusakan yang diberikan hanya pada kondisi *unbalance*, kerusakan pada *bearing* bagian *outer*, serta kerusakan pada rotor. *Set up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Set Up Pengujian Alat

Keterangan:

- a. Laptop
- b. Motor Induksi
- c. Microphone
- d. Soundcard
- e. Bearing duduk untuk pembebanan
- f. Poros
- g. Beban 0.8 kg

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *microphone* sebagai penangkap sinyal suara dari mesin motor induksi. PC computer digunakan untuk penyimpanan dan pengolahan sinyal suara yang telah diterima dari mesin motor induksi. Pengolahan sinyal suara ini menggunakan MATLAB 6.5 dengan metode transformasi FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk menggambarkan data dan menganalisis data. Penghubung antara *microphone* dan laptop adalah *soundcard*. Pembebanan diberikan sebesar 0.8 kg, yang dihubungkan oleh *bearing* dan poros.

2.2 Pengujian Motor Induksi dalam Kondisi Normal

Pengujian motor induksi dalam keadaan normal dilakukan karena data dalam kondisi normal merupakan data yang tidak memiliki cacat pada motor induksi. Pengujian data normal ini dilakukan

juga proses *balancing* untuk mengambil keadaan motor induksi dalam kondisi *balance*. Data kondisi normal ini akan dijadikan sebagai referensi dari pengujian motor induksi kondisi *bearing* mengalami kerusakan, kondisi rotor mengalami kerusakan dan kondisi *unbalance* pada motor induksi.

2.3 Pengujian Kondisi Bearing Mengalami Kerusakan

Langkah pengujian yang dilakukan dalam keadaan *bearing* mengalami kerusakan sama seperti pengambilan data kondisi motor dalam keadaan normal. Sebelum dilakukan pengambilan data sinyal getaran, *bearing* yang terdapat pada rotor diberikan kerusakan pada bagian *outer bearing*. Kerusakan yang diberikan pada bagian *outer bearing* dilakukan dengan cara menggrinda bagian *outer* bagian pada bola bola bearing, namun tidak sampai merusak bola bola *bearing*. Kerusakan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerusakan Buatan pada Bearing

Setelah *bearing* diberi kerusakan, *bearing* kembali dipasang ke poros motor yang terhubung dengan rotor. Lalu pencuplikan sinyal suara dilakukan.

2.4 Pengujian Kondisi Rotor Mengalami Kerusakan

Tahapan pengujian pada rotor hampir sama seperti tahapan pengujian kondisi normal dan kondisi *bearing* mengalami kerusakan. Pada pengujian ini, kerusakan diberikan kepada rotor. Pemberian kerusakan pada rotor menggunakan mesin *drill* untuk membuat lubang pada rotor. Diameter untuk melubangi rotor adalah 5 mm. rotor di lubangi tidak sampai merusak poros yang terhubung dengan rotor. Kerusakan yang terjadi pada rotor dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kerusakan Buatan pada Rotor

2.5 Pengujian Kondisi Motor *Unbalance*

Pengujian kondisi motor dalam keadaan *unbalance* memiliki sedikit perbedaan dari pengujian pengujian sebelumnya. Pengujian ini menggunakan satu buah rotor massa yang diletakan di motor induksi. Rotor massa tersebut memiliki 36 lubang yang dengan diameter lubang 5 mm. Jarak setiap lubang jika ditarik dari titik pusat ke lubang terjauh adalah 15 mm yang memiliki besaran setiap sudutnya adalah 30°, dapat dilihat pada Gambar 4.

Untuk mendapatkan kondisi normal pada suatu motor induksi, dilakukan *balancing* terlebih dahulu. *Balancing* dilakukan agar kondisi motor memang benar benar tidak terindikasi adanya cacat pada motor. *Balancing* dilakukan untuk mengkondisikan keadaan motor dalam keadaan *balance*. Keadaan *balance* dan tanpa adanya cacat pada komponen mesin lainnya merupakan kondisi yang sangat ideal sebagai acuan untuk menjadikan referensi perbandingan dengan jenis kerusakan buatan lainnya. Biasanya kondisi motor induksi walaupun dalam keadaan baru, sedikit mengalami *mechanical unbalance* sehingga sangat perlu untuk melakukan proses *balancing* agar mendapatkan data ideal yaitu tanpa adanya cacat atau kerusakan.



Gambar 4. Rotor Massa pada Motor Induksi

2.6 Prosedur Merubah Sinyal Domain Waktu menjadi Sinyal Domain Frekuensi

Pada penelitian ini, perubahan sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi dilakukan dengan menggunakan software MATLAB.

Pada saat pengambilan data, data yang didapat berupa sinyal domain waktu. Setelah sinyal data sinyal domain waktu didapat, dengan menggunakan aplikasi MATLAB, sinyal domain waktu tersebut diubah menjadi sinyal domain frekuensi agar didapatkan nilai frekuensi dari masing masing kerusakan.

Proses perubahan sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 5.



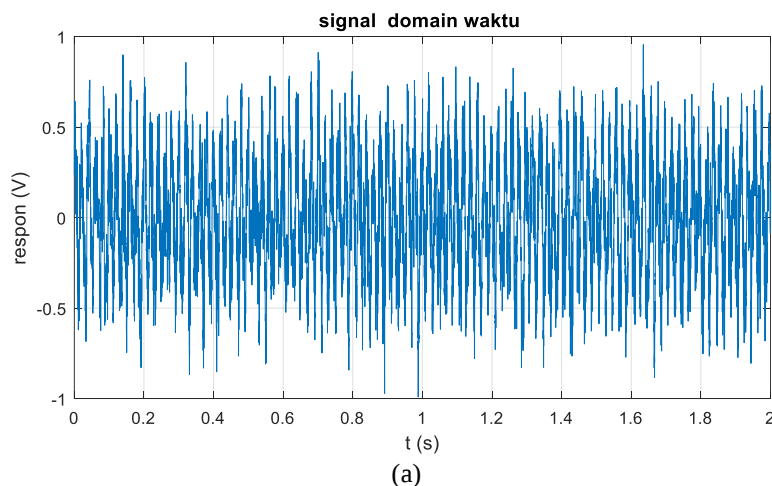
Gambar 5. Analisis Fourier

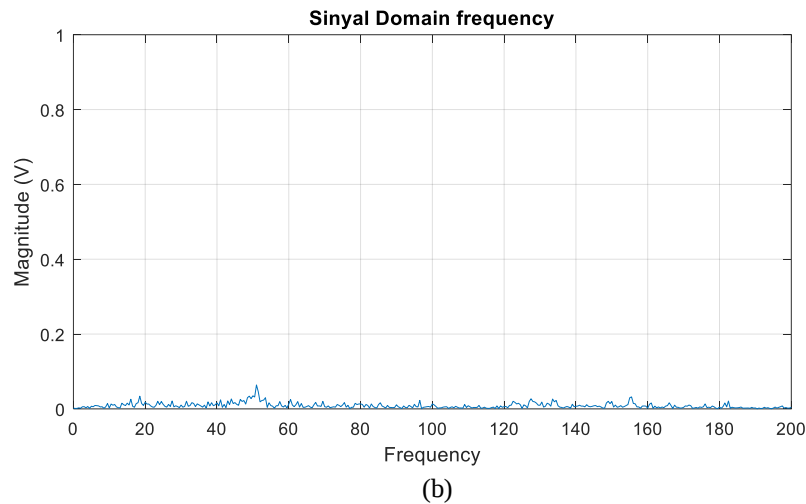
Dengan menggunakan analisis fourier maka representasi waktu amplitudo akan ditransformasikan sehingga menjadi representasi frekuensi-amplitudo. Artinya sumbu *x* mewakili frekuensi dan sumbu *y* mewakili nilai amplitudonya. Dalam mengubah domain waktu ke domain frekuensi dapat menggunakan aplikasi MATLAB

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Normal

Data yang didapat berupa sinyal suara dalam domain waktu dan domain frekuensi. Hasil dari pencuplikan suara tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 6. (a) dan (b) merupakan hasil pengkonversian dari sinyal suara menjadi bentuk spektrum domain waktu dan domain frekuensi. Pada gambar 6. (a), sumbu horizontal menunjukan waktu dalam satuan detik (s) sedangkan sumbu vertical menunjukan nilai respon dengan satuan volt (v). Pada Gambar 6. (b) sumbu horizontal menunjukan nilai frekuensi dengan satuan Hertz (Hz), sumbu vertical menunjukan besarnya amplitudo dengan satuan volt (v).





Gambar 6. Data Sinyal Kondisi Normal

Pengujian dalam kondisi normal dilakukan dengan tidak memberikan kerusakan pada motor uji yang akan menjadi acuan dalam kondisi ideal motor induksi tanpa cacat atau rusak. Data yang dihasilkan berupa domain waktu tidak dapat diamati dengan jelas ciri khas getaran yang terjadi.

Pada gambar domain frekuensi menunjukkan tidak ada puncak yang muncul. Artinya mesin motor induksi dalam keadaan baik. Grafik yang menampilkan domain waktu tidak dapat diamati karakteristik getarnya sehingga tidak dapat didapati informasi dari sinyal suara domain waktu. Oleh karena itu analisis sinyal getar hanya pada sinyal suara domain frekuensi.

3.2 Kondisi *bearing* mengalami kerusakan

Nilai frekuensi kerusakan pada *outer race bearing* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Arrendo, et al, 2016)

$$f_o = \frac{N_B}{2} f_r \left(1 - \frac{D_B \cos \theta}{D_p} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana,

f_o = frekuensi kerusakan lintasan luar (*outer race*) (Hz)

f_r = frekuensi relatif (Hz)

N_b = Jumlah bola *bearing*

D_b = Diameter bola *bearing* (mm)

D_p = Diameter *Pitch* (mm)

θ = Sudut kontak bola *bearing*

Frekuensi relatif dapat dicari dengan mengukur kecepatan putar motor dengan menggunakan *tachometer*.

Kecepatan putar motor pada saat mengalami kerusakan *bearing* adalah 2850 rpm. Kecepatan putar motor tersebut dapat diubah menjadi satuan frekuensi, hasilnya yaitu 47.5 Hz. Diameter *pitch* dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$D_p = \frac{\text{Inner diameter} + \text{Outer diameter}}{2} \dots \dots \dots (2)$$

Diketahui bahwa diameter dalam (*Inner diameter*) dari *bearing* yang digunakan adalah 35 mm dan diameter luar (*outer diameter*) adalah 15 mm. Sehingga didapatkan nilai d_p dari *bearing* tersebut

$$D_p = \frac{35 \text{ mm} + 15 \text{ mm}}{2} = 25 \text{ mm}$$

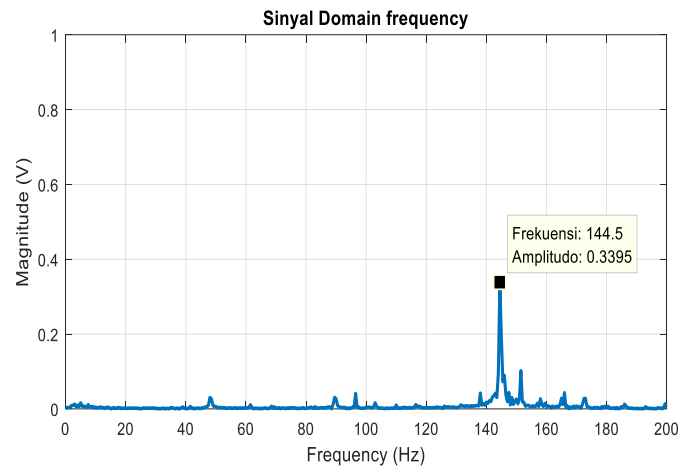
Sudut kontak sesuai dengan tipe dari *bearing* tersebut adalah 0° . Jumlah bola *bearing* adalah 8 bola.

Setelah parameter parameter untuk mencari frekuensi kerusakan lintasan luar pada *bearing* didapat, kemudian dapat dilakukan perhitungan secara teoritis.

$$\begin{aligned} f_o &= \frac{8}{2} \cdot 47.5 \text{ Hz} \left(1 - \frac{6 \text{ mm} \cos 0^\circ}{25 \text{ mm}} \right) \\ &= 144.5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan pencuplikan sinyal suara, data yang didapat yang berupa sinyal suara domain frekuensi. Dari data domain frekuensi yang didapat, terdapat satu puncak. Sinyal puncak tersebut berada di frekuensi 144.5 Hz. Sesuai dengan teori yang dijelaskan bahwa kerusakan pada *outer bearing* akan menghasilkan nilai frekuensi yang berbeda dari kondisi normal.

Dari hasil data pada Gambar 7. domain frekuensi dan perhitungan secara teoritis, memiliki nilai yang sama yaitu 144.5 Hz. Kerusakan lintasan luar sesuai dengan teoritis dan aktualisasinya.



Gambar 7. Data Sinyal Suara Motor Induksi Mengalami Kerusakan *Bearing*.

Getaran yang timbul pada *bearing* ini diakibatkan oleh adanya gaya kontak pada *outer race* (lintasan luar) yang diberikan kerusakan. Pada *bearing* ideal, besarnya gaya kontak akan sama pada setiap bola

Jika pada *bearing* terdapat kerusakan maka besarnya gaya kontak tidak seragam. Hal inilah yang menimbulkan getaran yang tidak beraturan sehingga menimbulkan nilai frekuensi yang baru. Kerusakan yang terjadi terlihat pada frekuensi 144.5 Hz. Nilai frekuensi tersebut sesuai dengan perhitungan secara teoritis.

3.3 Kondisi Rotor Mengalami Kerusakan

Kecepatan motor saat pengujian ini diukur dengan menggunakan *tachometer* sehingga didapat nilai kecepatan putar motor adalah 2865 rpm yang dalam nilai frekuensinya adalah 47.75 Hz. Pengujian kondisi rotor mengalami kerusakan menunjukkan hasil frekuensi yaitu 89 hz berdasarkan pencuplikan data.

Nilai f secara teoritis diperoleh dari parameter motor induksi yang ada pada *nameplate* motor induksi yaitu 50 Hz. Nilai n_s dapat dicari dengan persamaan berikut

$$n_s = \frac{120fs}{P} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana P adalah jumlah kutub, f_s adalah frekuensi pada motor dan n_s adalah kecepatan sinkron motor. Sehingga nilai n_s adalah

$$n_s = \frac{120 \cdot 50}{2} = 3000 \text{ rpm}$$

Setelah nilai n_s didapat, kemudian dapat dicari nilai slip pada motor.

$$s = \frac{3000 \text{ rpm} - 2940 \text{ rpm}}{3000 \text{ rpm}} = 0,02$$

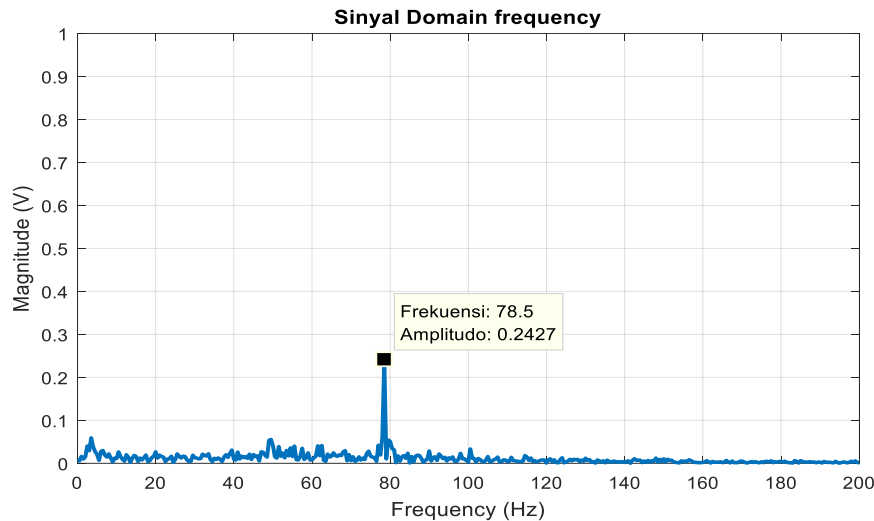
Parameter parameter untuk mencari nilai f_{bb} telah diperoleh. Nilai f_{BB} dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Arrendo, et al, 2016)

$$\begin{aligned} f_{BB} &= 49 \text{ hz} \pm 2 \cdot 5 \cdot 0,02 \cdot 50 \text{ hz} \\ &= 59 \text{ Hz} \\ &= \mathbf{39 \text{ Hz}} \end{aligned}$$

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 8. yang menunjukkan adanya puncak pada 78.5 Hz yang merupakan *harmonic* kedua dari 39 Hz. Ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan secara teoritis dan hasil secara eksperimen hampir sama. Adanya beda 0.5 Hz, menunjukkan motor tersebut mengalami fluktuasi.

Frekuensi yang dihasilkan pada saat rotor mengalami kerusakan disebabkan oleh adanya ketidaksimetrian *fluxes* medan rotor yang akan berakibat munculnya *back electromotive force (Back EMF)* yang memiliki frekuensi (f_{BB}) besaran sedikit lebih tinggi atau sedikit rendah dari frekuensi fundamentalnya. Hal ini telah terbukti dari hasil pengujian secara eksperimental. Frekuensi fundamentalnya ditunjukkan pada keadaan rotor normal yaitu sebesar 49 Hz. Harmonic kedua dari 49 Hz adalah 98 hz. Hasil dari *harmonic* kedua dalam pengujian rotor dalam kondisi rusak adalah 78.5 Hz. Kekurangan arus yang mengalir pada rotor dalam kondisi rusak menyebabkan penurunan frekuensi sebesar 20.5 Hz

Hal ini telah terbukti dari hasil pengujian secara eksperimental. Frekuensi fundamentalnya ditunjukkan pada keadaan rotor normal yaitu sebesar 49 Hz. Harmonic kedua dari 49 Hz adalah 98 hz. Hasil dari *harmonic* kedua dalam pengujian rotor dalam kondisi rusak adalah 78.5 Hz. Kekurangan arus yang mengalir pada rotor dalam kondisi rusak menyebabkan penurunan frekuensi sebesar 20.5 Hz



Gambar 8. Data Sinyal Suara Motor Induksi Mengalami Kerusakan Rotor

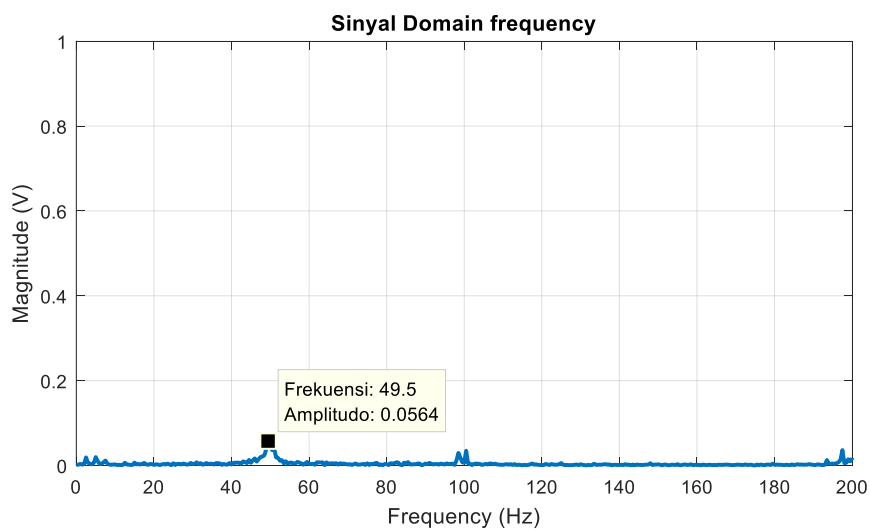
3.4 Kondisi *Unbalance*

Pada pengujian motor dalam kondisi *unbalance* memiliki sedikit perbedaan dengan pengujian lainnya. Proses pengujian dalam keadaan normal merupakan proses pengujian yang dilakukan dengan mendapatkan kondisi mesin yang terbaik. Pada saat kondisi normal tersebut merupakan kondisi mesin yang dalam keadaan seimbang yang telah dilakukan proses penyeimbangan sebelumnya.

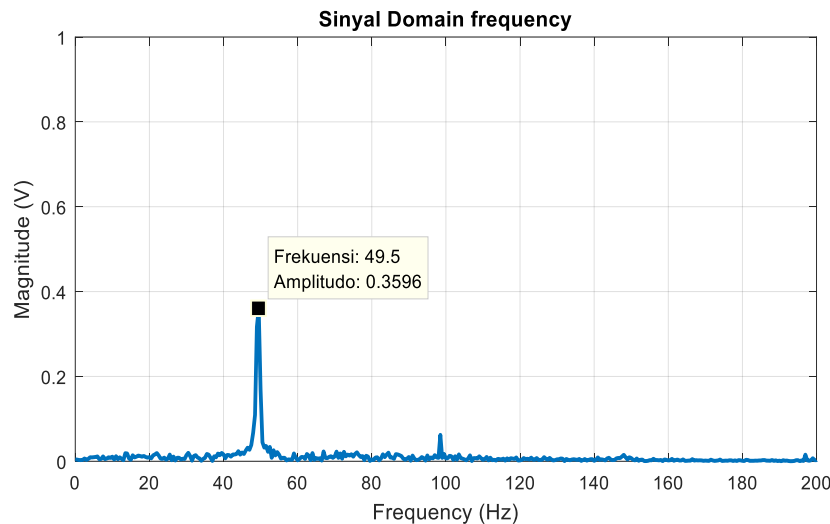
Frekuensi yang muncul dari Gambar 9. adalah 49.5 Hz yang memiliki amplitudo sebesar 0.0565×10^{-3} V. Pengujian dilakukan dengan memberikan massa tak seimbang pada rotor yang berupa baut. Baut yang digunakan massanya sebesar 7 gr. Posisi massa yang diberikan pada pengujian ini yaitu 210°

Kecepatan motor yang digunakan adalah 2970 rpm yang diubah ke satuan Hz menjadi 49.5 Hz. Dapat dilihat pada Gambar 10. di frekuensi 49.5 Hz mengalami kenaikan amplitudo. Hal ini disebabkan oleh massa yang tak seimbang. Jika diberikan massa yang lebih dari 7 gr, maka amplitudo akan mengalami kenaikan, sehingga motor dalam kondisi *mechanical unbalance*

Hal ini disebabkan oleh gaya sentrifugal yang mempengaruhi amplitudo dalam suatu putaran. Semakin besar massa yang diberikan maka akan mempengaruhi besarnya gaya sentrifugal sehingga menyebabkan nilai dari amplitudo menjadi meningkat.



Gambar 9. Pengujian Dalam Kondisi Telah Diseimbangkan



Gambar 10. Data Sinyal Suara Motor Induksi Mengalami *Mechanical Unbalance*

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan, maka penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Pada kondisi normal motor induksi yang telah di-*balancing*, memiliki nilai frekuensi dan amplitudo yang kecil dan merata disetiap posisi yang menunjukkan bahwa kondisi motor dalam keadaan baik.
2. Pada kondisi *bearing* mengalami kerusakan, frekuensi yang dihasilkan secara aktualisasi dan teoritis memiliki nilai yang sama yaitu 144.5 Hz, ciri khasnya ialah dua puncak amplitudo yang muncul sebelum dan sesudah frekuensi kerusakan, yaitu pada frekuensi 138 Hz dan 151 Hz.
3. Pada kondisi rotor mengalami kerusakan, rekuensi yang muncul adalah 78.5 Hz dengan ciri khasnya yaitu hanya satu puncak amplitudo yang muncul yaitu pada frekuensi.
4. Pada kondisi *unbalance*, frekuensi yang muncul pada 49.5 Hz mengalami peningkatan nilai amplitudo pada nilai frekuensi 1x rpm
5. Deteksi kerusakan motor induksi dengan menggunakan sinyal suara dapat diaplikasikan.

Huda F, dkk. 2015. *Analisis Suara pada Rotordinamik akibat Unbalance, Misalignment, dan Looseness*. In : Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV).

Malta, dkk 2014. *Analisis Getaran Bantalan Rotor Skala Laboratorium untuk Kondisi Lingkungan Normal dan Berdebu* In : Universitas Andalas. Padang.

Yudiastawan P, 2009. *Deteksi Kerusakan Bearing dan Eccentricity Pada Motor Induksi Tiga Fasa dengan Current Singnature Analysis*. In : Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam Program Magister Fisika, Depok.

Daftar Pustaka

Arrendo D, dkk. 2016. *Methodology for fault detection in induction motors via sound and vibration signals*. In: Journal Elsevier Mechanical System and Signal Process.