

DIAGNOSA KERUSAKAN MOTOR INDUKSI DENGAN SINYAL GETARAN

*Rizka Rosyadi¹, Achmad Widodo², Ismoyo Haryanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: Rizka_092@yahoo.com

Abstrak

Diantara mesin listrik yang ada, motor induksi paling banyak digunakan karena kuat, kokoh, harganya cukup murah, handal, perawatannya mudah, dan efisiensi daya cukup tinggi. Apabila kerusakan pada motor induksi tidak dideteksi pada tahap permulaan akan dapat mengakibatkan kerusakan yang sangat parah dengan berbagai tipe kerusakan. Dari masalah inilah penelitian tentang motor induksi dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik sinyal spectrum getaran dari kerusakan pada motor induksi antara lain: kerusakan *unbalance*, *misalignment*, *broken rotor bars* dan *bearing*. Metode penelitian ini menggunakan tes rig motor induksi. Tes rig ini menggunakan motor induksi dengan 4 variasi kerusakan. *Unbalance*, *misalignment*, *broken rotor bars*, *bearing fault*. Data sinyal getaran diambil pada kondisi putaran poros di kecepatan 2300 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan *unbalance* memiliki karakteristik yang terlihat pada sinyal getaran dengan tinggi amplitudo pada 1xrpm (38,44 Hz) sebesar 0,02455 volt. Kerusakan *misalignment* motor memiliki karakteristik yang terlihat pada sinyal getaran dengan tinggi amplitudo pada 1xrpm (38,44 Hz) sebesar 0,005047 volt dan pada 2xrpm (76,88 Hz) / 3xrpm (115,32 Hz) sebesar 0,003906 volt. *Broken rotor bars* memiliki karakteristik yang terlihat pada sinyal getaran dengan tinggi amplitudo pada 1xrpm (38,44 Hz) sebesar 0,008489 volt dengan *sidebands* (FP) (23,32 Hz). *Bearing fault* terlihat pada sinyal getaran yaitu pada nilai yang didapat dari FTF (*Fundamental Train Frequency*), *Bearing BSF* (*Ball Spin Frequency*), *Bearing BPF* (*Ball Pass Frequency Inner*) dan *Bearing BPFO* (*Ball Pass Frequency Outer*). Pada penelitian ini didapatkan hasil yang mendekati nilai BPFO pada 139,4 Hz. Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa setiap kerusakan pada motor induksi memiliki karakteristik masing – masing dalam pendeteksian dengan sinyal getaran.

Kata kunci: Deteksi kerusakan, motor induksi, *misalignment*, *unbalance*, *bearing*.

Abstract

Among the existing electric motor, induction motor is the most used because it is strong, sturdy, low price, reliable, easy maintenance and high power efficiency. If the damage on the induction motor are not detected on an early stage, it will cause severe damage with various type of damage. From this matter, the study about induction motor is done. This study aims to analyze the characteristics of vibration spectrum signal from induction motor damage for example: rotor unbalance, rotor misalignment, broken rotor bars, and broken bearing. Induction motor test rig are used in this study. The test rig use induction motor with 4 damage variation. Rotor unbalance, rotor misalignment, broken rotor bars, broken bearing. The vibration signal data are taken with a condition of shaft rotation with a speed of 2300 rpm. The result shows that an unbalance rotor having characteristic seen on the vibration signal with an amplitude of 0,02455 volt. Rotor misalignment having characteristic seen on the vibration signal with an amplitude of 0,005047 volt at 1x rpm (38,44 Hz) and 0,003906 volt at 2x rpm (76,88 Hz) / 3x rpm (115,32 Hz). Broken rotor bars having characteristic seen on the vibration signal with an amplitude of 0,008489 volt with sidebands (FP) (23,32 Hz) at 1x rpm (38,44 Hz). Bearing fault seen on vibration signal which obtained on the value from FTF (Fundamental Train Frequency), Bearing BSF (Ball Spin Frequency), Bearing BPF (Ball Pass Frequency Inner) dan Bearing BPFO (Ball Pass Frequency Outer). The result obtain in this study are close to BPFO value at 139,4 Hz. The measurement result shows that every damage on induction motor have their own characteristic in the detection with vibration signal.

Keywords: Detection fault, induction motor, *misalignment*, *unbalance*, *bearing*.

1. Pendahuluan

Motor Induksi adalah peralatan elektromekanik yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri untuk mengubah tenaga listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi digunakan di berbagai bidang seperti pada pembangkit tenaga listrik, industri kertas, ladang minyak dan pabrik. Penggunaannya sebagian besar untuk penggerak pompa, conveyor, mesin press, elevator dan masih banyak lagi. Diantara mesin listrik yang ada, motor induksi paling banyak digunakan karena kuat, kokoh, harganya cukup murah, handal, perawatannya mudah, dan efisiensi daya cukup tinggi.

Karena proses penuaan alami dan berbagai faktor lain yang terkait dengan pola operasi motor induksi kerusakan pada motor induksi dapat terjadi. Stres elektrik dan mekanik adalah contoh dari kerusakan akibat pola operasi. Stres mekanik terjadi akibat kelebihan beban dan perubahan beban yang tiba-tiba yang dapat mengakibatkan kerusakan bearing dan patahnya rotor bar. Stress elektrik biasanya dihubungkan dengan permasalahan sumber tegangan. Sebagai contoh motor induksi yang bersumber pada AC drive memiliki kecenderungan mengalami stres elektrik akibat frekuensi tinggi dari komponen arus stator, overvoltage akibat panjang kabel antara motor dan AC drive akibat pantulan gelombang tegangan transien. Stres elektrik ini dapat menyebabkan hubung singkat belitan stator yang berarti kerusakan total motor induksi [1].

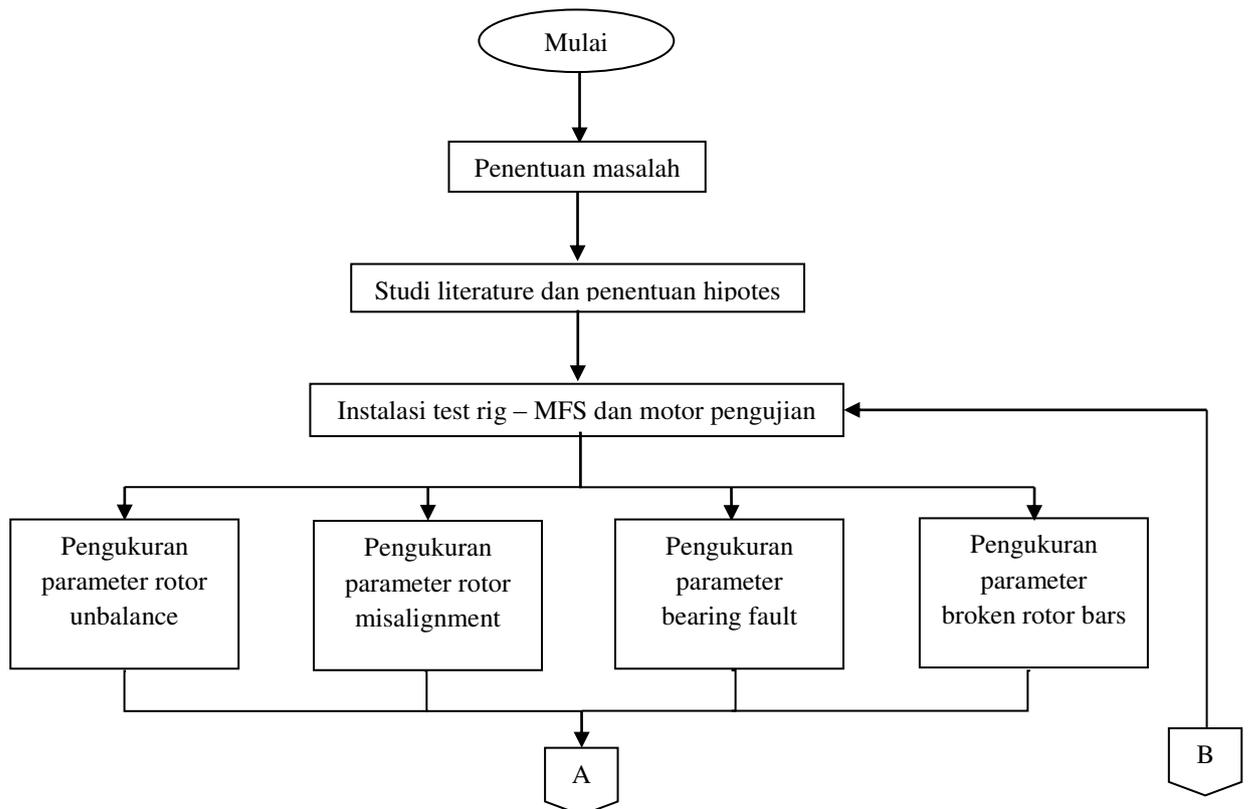
Apabila kerusakan pada motor induksi tidak dideteksi pada tahap permulaan akan dapat mengakibatkan kerusakan yang sangat parah dengan berbagai tipe kerusakan. Kerusakan motor yang tidak terdeteksi dapat mengakibatkan shutdown dari proses produksi yang tentunya menyebabkan hilangnya waktu produktif akibat perbaikan mesin yang cukup lama, biaya pemeliharaan yang besar akibat banyaknya komponen yang harus diganti, dan kerugian bahan baku produksi yang seharusnya bisa diolah namun harus terbuang karena mesin berhenti beroperasi.

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui karakteristik amplitudo getaran motor induksi ketika kondisi normal, mengetahui sinyal getaran misalignment, mengetahui sinyal getaran unbalance, mengetahui sinyal getaran bearing fault dan mengetahui sinyal getaran broken rotor bars.

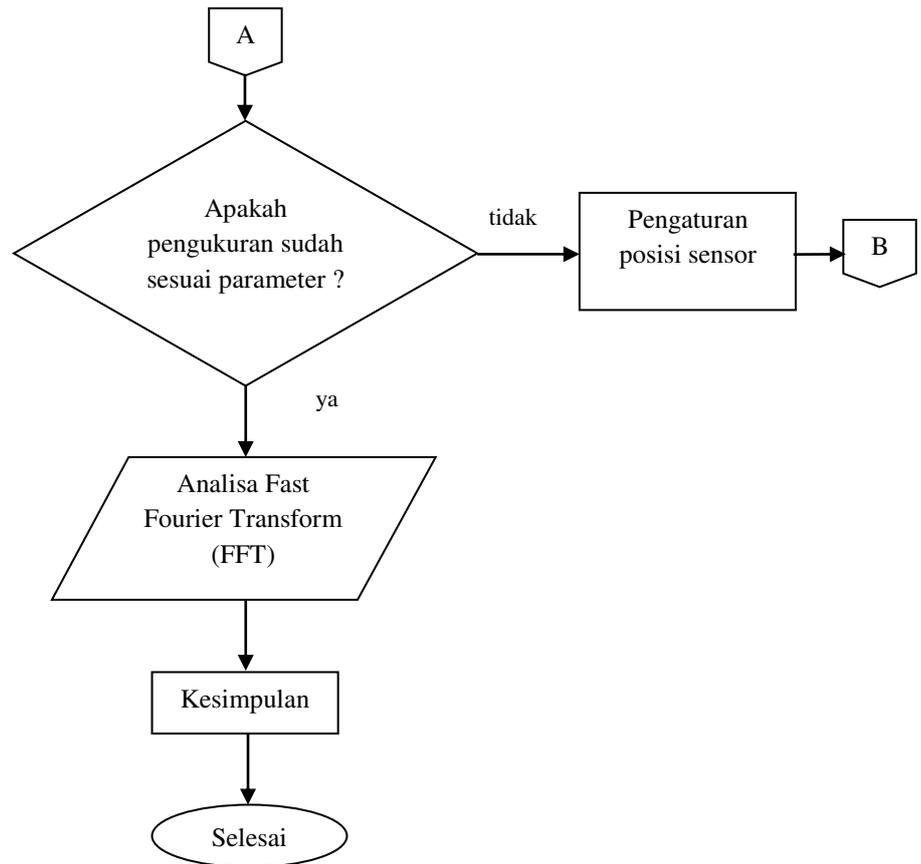
2. Metodologi

2.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam sebuah penelitian diperlukan diagram alir untuk menggambarkan jalannya proses penelitian mulai dari awal hingga akhir yang telah dilakukan, Pada Gambar 1 adalah diagram alir penelitian.

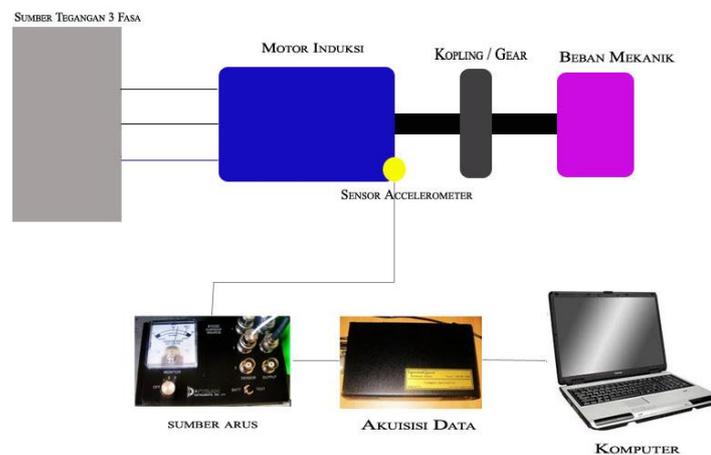


Gambar 1. Diagram alir penelitian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian. (lanjutan)

2.2 Persiapan Percobaan



Gambar 3. Skema instrumen deteksi kerusakan motor induksi

Analisa getaran adalah metode tertua yang digunakan untuk memonitor kondisi dari suatu mesin. Se jauh ini diketahui bahwa pengukuran getaran merupakan metode ang paling efektif untuk menentukan kesehatan mesin saat mesin beroperasi. Dalam penelitian ini hanya empat jenis kerusakan yang didiagnosis dengan menggunakan metode ini yaitu *unbalance*, *misalignment*, *rolling element bearing defects* dan *broken rotor bars* [2].

a. *Unbalance*

Karakteristik utama dari getaran yang disebabkan oleh *unbalance* adalah getaran sinusoidal murni dengan frekuensi satu per putaran poros, vektor gaya yang berputar, amplitude bertambah dengan kecepatan. *Unbalance* akan menghasilkan dominan puncak di $1 \times \text{rpm}$ dari kecepatan motor dan biasanya terlihat di arah radial.

b. *Missalignment*

Missalignment menyebabkan gaya yang berlebihan pada bearing dan menyebabkan kerusakan bearing sebelum waktunya. Masalah alignment ditemukan pada 1xrpm, 2xrpm, dan 3xrpm puncak dalam arah radial, namun, hal ini biasanya juga ditemukan pada arah aksial pada frekuensi yang sama.

c. *Bearing*

Bearing frequencies, bearing terdiri dari empat komponen yang berbeda yaitu:

Jenis kerusakan	Output sinyal
Cage	Fundamental Train Frequency (FTF)
Balls or Roller	Ball Spin Frequency (BSF)
Outer Race	Ball Pass Frequency Outer (BPFO)
Inner Race	Ball Pass Frequency Inner (BPFI)

Hanya empat komponen yang dapat menjadi rusak pada bearing dan masing-masing akan menghasilkan frekuensi yang berbeda.

d. *Broken Rotor Bars*

Frekuensi yang terdeteksi untuk menganalisis *rotor bar* sangat dekat dengan *running speed* motor dan oleh karena itu membutuhkan garis angka resolusi tinggi, dan pembacaan ini memerlukan waktu yang sedikit panjang untuk memperoleh hasilnya. Mengumpulkan spektrum getaran dengan data yang cukup untuk menampilkan frekuensi relevan dari broken rotor bars membutuhkan pengaturan berikut.

Pengaturan	Nilai
Range frekuensi	0 – 200 Hz
Resolusi garis	3200
Arah	Axial

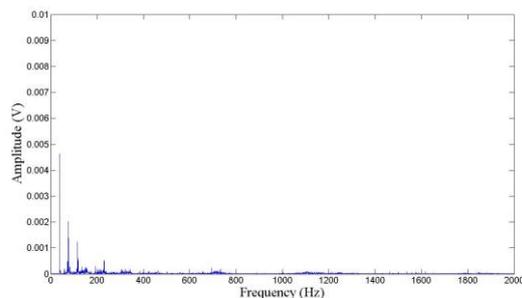
Pembacaan ini sudah cukup untuk menganalisis data dengan kondisi *alignment* dan *rotor bar*. Pertimbangan lebih lanjut ketika pengukuran analisis *rotor bar* adalah beban, secara efektif pembacaan pengukuran broken bar dapat diperoleh ketika motor mendapatkan beban. Analisa juga telah dilakukan di sekitar *rotor bar pass frequency* (RBPF) untuk menentukan keberadaan broken bars. Puncak tertinggi terlihat pada RBPF dengan *sidebands 2x line frequency* disekitarnya.

3. Hasil dan Pembahasan

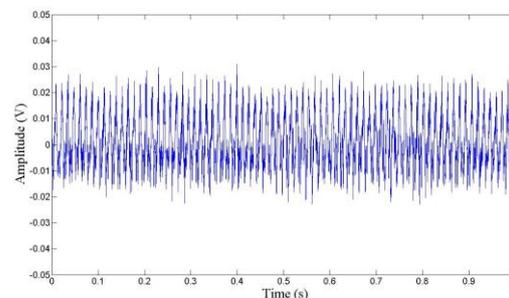
3.1 Analisa Getaran Kerusakan Motor Induksi Format penulisan Tabel

a. Motor Normal

Pada **Gambar 4** (a) menunjukkan hasil sinyal getaran *amplitudo* terhadap frekuensi pada motor normal. **Gambar 4** (b) menunjukkan hasil sinyal getaran *amplitudo* terhadap waktu pada motor normal.



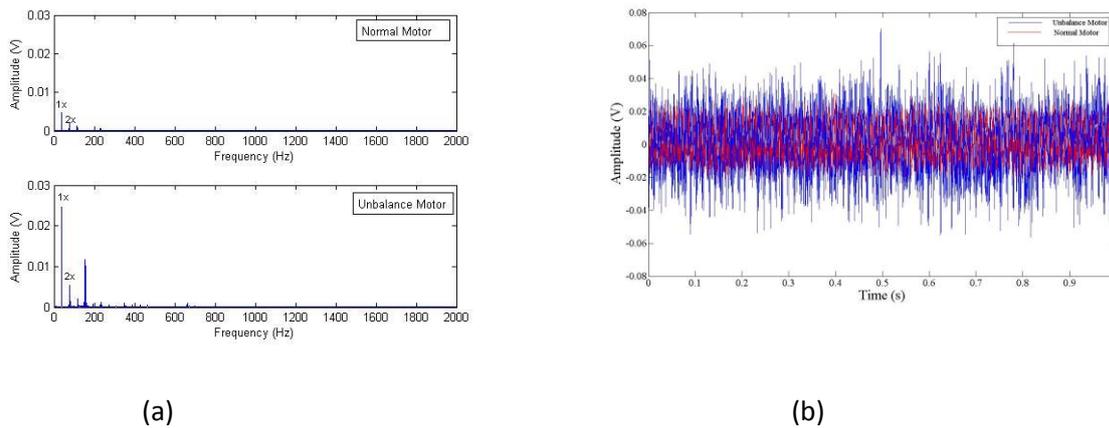
(a)



(b)

Gambar 4. Hasil pengukuran sinyal getaran (a) Frekuensi domain, (b) Time domain motor normal pada 2300 rpm.

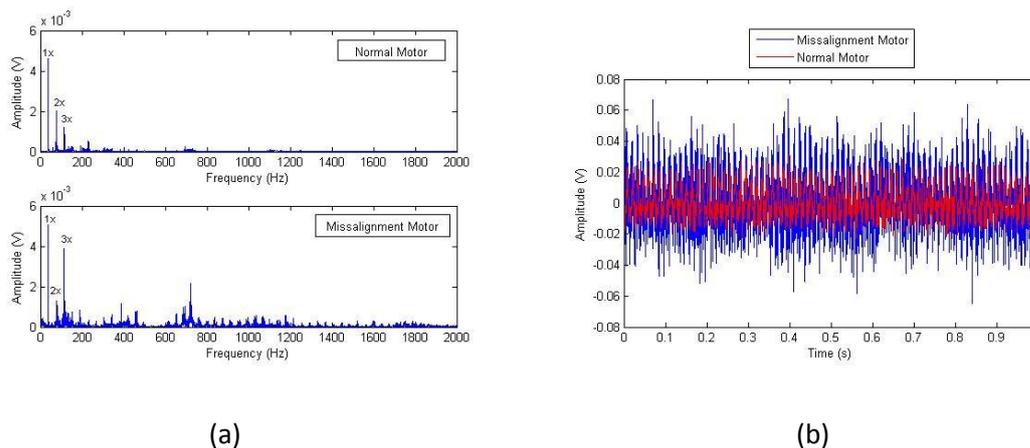
b. Kerusakan Unbalance



Gambar 5. Hasil pengukuran getaran (a) Frekuensi domain, (b) Time domain motor normal dan unbalance motor pada 2300 Rpm

Pada **Gambar 5** (a) menunjukkan pada putaran 1x rpm kondisi *amplitudo* getaran pada motor normal cukup kecil yaitu sekitar 0,004622 Volt, sedang pada motor unbalance tinggi yaitu 0,02455 Volt. Pada **Gambar 5** (b) terlihat sinyal getaran waktu terhadap *amplitudo* yang sangat signifikan antara motor normal dan motor unbalance.

c. Kerusakan *misalignment*



Gambar 6. Hasil pengukuran sinyal getaran (a) Frekuensi domain (b) Time domain motor normal dan *misalignment* motor pada 2300 rpm.

Pada **Gambar 6** (a) menunjukkan pada putaran 1x rpm pada motor normal kondisi amplitudonya sekitar 0,004622 Volt, sedangkan pada *misalignment* motor terlihat tinggi yaitu sekitar 0,005047 Volt selain itu juga terlihat *amplitudo* yang tinggi pada 3x rpm yaitu sebesar 0,003906 volt serta juga terlihat puncak-puncak kecil setelah 4x rpm yang terlihat dibanding dengan motor normal. Pada **Gambar 6** (b) terlihat perbedaan *amplitudo* yang sangat signifikan pada motor normal dan *misalignment* motor.

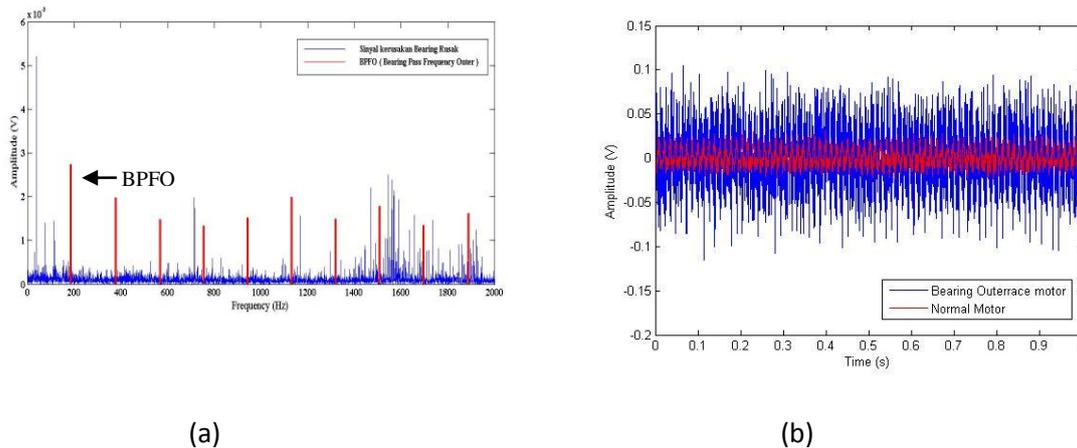
d. Kerusakan *Bearing*

$$FTF = \frac{1}{2} S \left(1 - \frac{B_d \cos \theta}{P_d} \right) \quad (1)$$

$$BPFO = \frac{N_b}{2} S \left(1 - \frac{B_d \cos \theta}{P_d} \right) \quad (2)$$

$$BPFI = \frac{N_b}{2} S \left(1 + \frac{B_d \cos \theta}{P_d} \right) \quad (3)$$

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} S \left(1 - \frac{B_d^2 \cos^2 \theta}{P_d^2} \right) \quad (4)$$



Gambar 7. Hasil pengukuran getaran (a) Frekuensi domain (b) Time domain motor dengan kerusakan Bearing pada 2300 Rpm

Dari **Gambar 7** (a) terlihat sinyal getaran memiliki frekuensi yang harmonic (garis merah) yang pada sinyal pertamanya mendekati dari frekuensi BPFO yaitu 188,5 Hz dan harmonik terjadi puncak pada 2x,3x BPFO dan seterusnya. Pada **Gambar 7** (b) perbedaan sinyal getaran antara motor normal dengan motor dengan kerusakan lintasan luar *Bearing*.

e. Kerusakan *Rotor bars*

$$N_s = \frac{120 F_L}{P} \quad (5)$$

$$F_s = N_s - \text{Rpm} \quad (6)$$

$$F_p = F_s \times P \quad (7)$$

$$\text{RBPF} = \text{Jumlah rotor bar} \times \text{RPM} \quad (8)$$

Keterangan:

F_L = *Electrical line frekuensi*

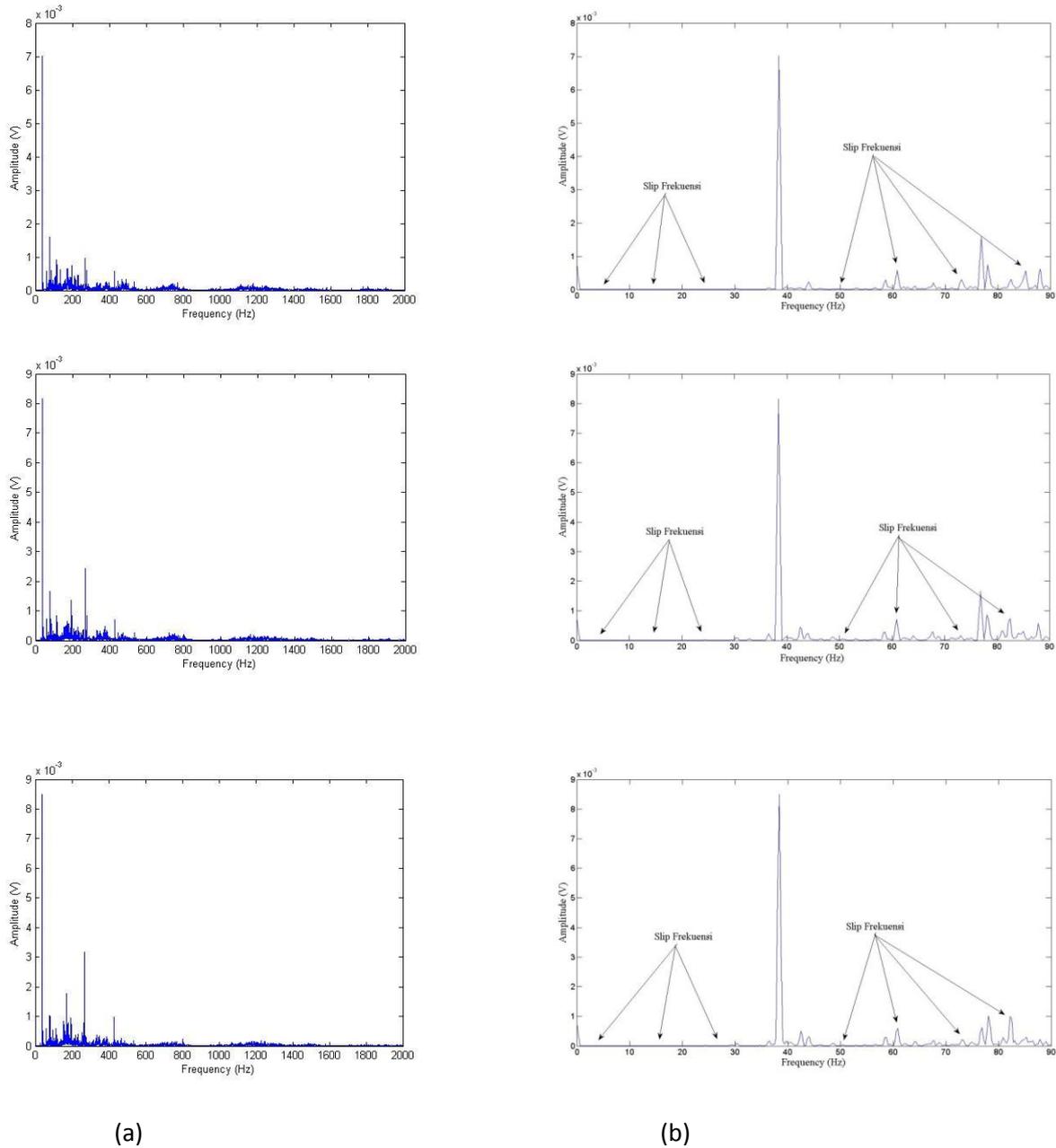
N_s = *Synchron speed*

F_s = *Slip frekuensi*

F_p = *Pole pass frekuensi*

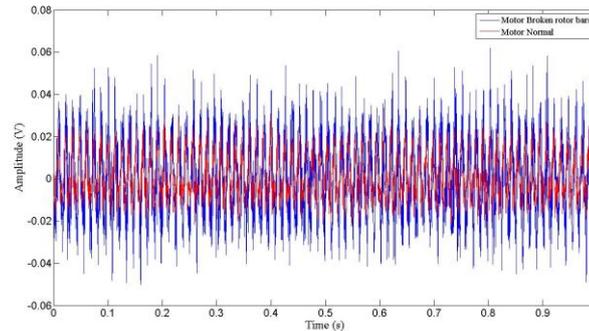
P = *Number of poles*

Pada pengujian motor dengan kerusakan rotor bars dilakukan dengan menggunakan pembebanan dengan level pembebanan dari 0 (tanpa pembebanan) sampai pembebanan level 2 yang hasilnya dapat dilihat berikut:



Gambar 8. Hasil pengukuran sinyal getaran *amplitudo* Frekuensi domain (a) skala 1 – 2000 Hz (b) skala 0 – 90 Hz motor dengan kerusakan rotor dengan level pembebanan 0, 1, 2 pada 2300 Rpm (lanjutan)

Dari **Gambar 8** (a) terlihat *amplitudo* yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya level pembebanan yang diberikan pada 1x rpm(38,44 Hz) dengan *amplitudo* berturut – turut 0,007022 Volt, 0,008155 Volt, 0,008489 Volt. Untuk memperjelas apakah kerusakan dengan keadaan Broken/cracked rotor bars sinyal getaran akan disajikan pada **Gambar 8** (b). Dari ketiga gambar terlihat sidebands sebelah kiri dari puncak 1xRpm tidak terlihat hanya terlihat pada sidebands sebelah kanan dari puncak 1xRpm. Dari **Gambar 8** (b) dari level pembebanan 0 – 2 sinyal sidebands sebelah kanan muncul pada frekuensi 60,94 Hz dengan amplitudo berturut - turut 0,0005697 Volt, 0,0005964 Volt, 0,0007146 Volt dan pada frekuensi 82,32 Hz dengan amplitudo berturut – turut 0,0005611 Volt, 0,0007382 Volt, 0,0009962 Volt. ini menunjukkan semakin besar pembebanan yang dilakukan sinyal sidebands pada kerusakan broken rotor bars makin terlihat jelas. Perbedaan sinyal getaran motor normal dan motor dengan kerusakan motor *broken rotor bars* disajikan pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Hasil pengukuran sinyal getaran Time domain motor normal dan *broken rotor bars* motor pada 2300 rpm.

4. Kesimpulan

- 1) Karakteristik *amplitudo* getaran motor induksi ketika kondisi normal sangatlah kecil terlihat dari hasil pengujian sinyal getaran motor induksi normal pada frekuensi domain terbaca amplitudo sebesar 0,004622 Volt.
- 2) Karakteristik sinyal getaran dengan kerusakan *unbalance* memiliki ciri sinyal getaran pada frekuensi domain tinggi pada 1x Rpm kemudian amplitudo yang kecil pada harmonik 2x dan seterusnya terlihat dari hasil pengujian yaitu sebesar 0,02455 Volt kemudian *amplitudo* yang kecil pada harmonik selanjutnya.
- 3) Karakteristik sinyal getaran dengan kerusakan *misalignment* memiliki ciri sinyal getaran yang tinggi pada 1x Rpm, 2x Rpm atau 3x Rpm kemudian sinyal harmonik dengan *amplitudo* kecil pada 4x – 10x Rpm. terlihat dari hasil pengujian yaitu sebesar 0,005047 Volt dan tinggi pula pada harmonik 3x Rpm yaitu sebesar 0,003906 Volt serta diikuti puncak-puncak kecil pada 4x-10x Rpm.
- 4) Karakteristik sinyal getaran dengan kerusakan bearing terdeteksi dari sinyal yang harmonik dari empat jenis kerusakan yang ada pada bearing antara lain: kerusakan rumah Bearing FTF (*Fundamental Train Frequency*), kerusakan bola Bearing BSF (*Ball Spin Frequency*), kerusakan lintasan dalam Bearing BPFI (*Ball Pass Frequency Inner*) dan kerusakan lintasan luar Bearing BPFO (*Ball Pass Frequency Outer*). Dari hasil pengujian didapatkan 1x Rpm mendekati nilai dari BPFO (*Ball Pass Frequency Outer*) yaitu sebesar 188,5 Hz dan harmonik terjadi puncak pada 2x, 3x BPFO dan seterusnya.
- 5) Karakteristik sinyal getaran dengan kerusakan *broken rotor bars* terdeteksi dengan tingginya sinyal *amplitudo* pada 1x Rpm dengan sidebands FP (2x slip frekuensi) disekitarnya. Terlihat dari hasil pengujian motor induksi dengan kerusakan *broken rotor bars amplitudo* pada 1x Rpm yaitu pada frekuensi 38,44 Hz dengan amplitudo yang tinggi sebesar 0,008489 Volt. sidebands pada frekuensi 60,94 Hz dengan *amplitudo* sebesar 0,0007146 Volt dan frekuensi 82,32 Hz dengan *amplitudo* sebesar 0,0009962 Volt.

5. Daftar Pustaka

- [1] Da Silva, A. M., *Induction Motor Fault Diagnostic and Monitoring Method*, Marquette University, Milwaukee, Mei 2006.
- [2] Menacer, A., Said, M., *Stator Current Analysis of Incipient Fault Into Aynchronous Motor Rotor Bar Using Fourier Fast Transform*, Journal Of Electrical Engineering, Vol 55, 2004.
- [3] Sen, P. C., "Principles of electric machines and power electronics," John Wiley and Sons, 1989.
- [4] Senol, I., Dalci, K.B., Önel, I.Y., *Detection of Outer Raceway Bearing Defects in Small Induction Motors using Stator Current Analysis*, Sādhanā, vol.30 part 6, December 2005.
- [5] Menacer, A., Said, M., *Stator Current Analysis of Incipient Fault Into Aynchronous Motor Rotor Bar Using Fourier Fast Transform*, Journal Of Electrical Engineering, Vol 55, 2004.