

PEMANFAATAN SPEKTRUM VIBRASI UNTUK MENGINDIKASIKAN KERUSAKAN MOTOR INDUKSI DI PLTU INDRAMAYU 3 X 330 MW

Rosyid Nuur Harjono^{*)}, Tedjo Sukmadi, and Karnoto

Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : ros_jhon@yahoo.co.id

Abstrak

Penggunaan motor listrik di dunia industri, khususnya di pusat pembangkit tidak terlepas dari permasalahan yang muncul sehingga dapat menyebabkan kerugian. Ketika motor listrik dideteksi terdapat kerusakan, maka hal ini akan menimbulkan kerugian. Kerugian yang timbul tidak hanya dalam jumlah kecil, melainkan dapat juga menghasilkan kerugian yang sangat besar dalam proses produksi. Penelitian dilakukan di PLTU Indramayu 3 X 330 MW dengan mengambil kasus yang pernah terjadi pada motor induks yaitu pada motor Generator Stator Cooling Water Pump 2B. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian penelitian ini dengan metode condition monitoring, yaitu dengan melakukan monitoring kondisi mesin melalui data yang telah diambil, kemudian dibandingkan dengan data sebelumnya sehingga dapat dilihat perubahan yang terjadi pada peralatan yang mengalami keausan bearing. Kerusakan bearing dapat terlihat pada gambar spektrum dengan pola muncul spektrum pada frekuensi tinggi, di mana pada rentang frekuensi tinggi, frekuensi kerusakan bearing muncul. Serta adanya kenaikan nilai overall vibrasi dari 2,916 mm/s mencapai 8,278 mm/s selama kurun waktu 4 bulan dan sudah masuk dalam kategori fault berdasar ISO 10816-3.

Kata kunci – motor listrik, bearing motor, condition monitoring, spectrum, ISO 10816-3.

Abstract

The use of electric motors in the industrial world, particularly in the plant can not be separated from the problems that arise that can cause harm. When the electric motor is detected there is damage, then this will result in losses. Losses arising not only in small amounts, but can also result in huge losses in the production process. The study was conducted in Indramayu power plant 3 X 330 MW by taking the cases that have occurred in the motor is the motor induks Generator Stator Cooling Water Pump 2B. The method of analysis used in this research with condition monitoring methods, ie by monitoring the condition of the machine through the data that has been retrieved, and compared with previous data so that it can be seen the changes that occur in equipment damaged bearing. Bearing damage can be seen in the image spectrum by a pattern emerging spectrum at high frequencies, where the high frequency range, the frequency appears bearing damage. As well as an increase in overall vibration value of 2.916 mm / s reaches 8.278 mm / s over a period of 4 months and is in the category of fault based on ISO 10816-3.

Keywords - electric motors, motor bearings, condition monitoring, spectrum, ISO 10816-3.

1. Pendahuluan

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Pusat pembangkit merupakan suatu rangkaian alat atau mesin yang merubah energi mekanikal untuk menghasilkan energi listrik, biasanya rangkaian alat itu terdiri dari turbin, generator listrik serta motor-motor listrik yang digunakan sebagai penggerak mula. Fungsi dari turbin adalah untuk memutar rotor dari generator listrik, sehingga dari putaran rotor itu dihasilkanlah energi listrik.

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat beban, dll.

Penggunaan motor listrik di dunia industri, khususnya di pusat pembangkit tidak terlepas dari permasalahan yang muncul sehingga dapat menyebabkan kerugian. Ketika motor listrik dideteksi terdapat kerusakan yang diawali dengan rusaknya bearing dan tanpa adanya perbaikan, maka hal ini akan menimbulkan kerugian. Kerugian yang timbul tidak hanya dalam jumlah kecil, melainkan dapat

juga menghasilkan kerugian yang sangat besar dalam proses produksi.

Dengan adanya permasalahan yang muncul akibat terjadinya kerusakan pada bearing motor listrik tersebut, maka penulis mencoba untuk melakukan analisa kerusakan yang terjadi pada bearing motor listrik dengan menggunakan analisa vibrasi sehingga dapat meminimalisir kerugian yang akan timbul akibat berhentinya proses produksi karena motor listrik yang rusak.

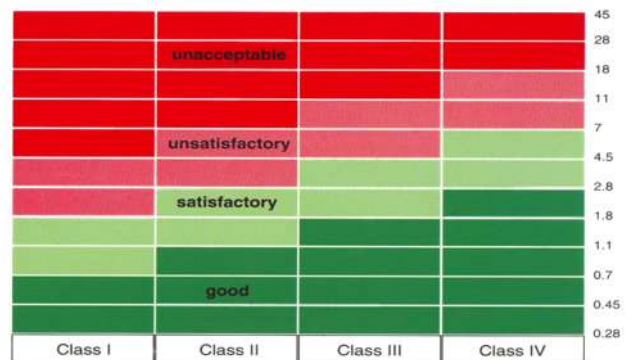
Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perbedaan spektrum vibrasi dari kondisi normal hingga mencapai kondisi fault, melihat bentuk spektrum akselerasi ketika mendapat sinyal vibrasi dari motor listrik, melihat kenaikan amplitudo dari frekuensi pada spectrum vibrasi, dan Membuat perhitungan Cost Benefit sebagai dasar pertimbangan dilakukan rekomendasi penggantian bearing motor sebelum terjadi kerusakan yang lebih vital.

2. Metode

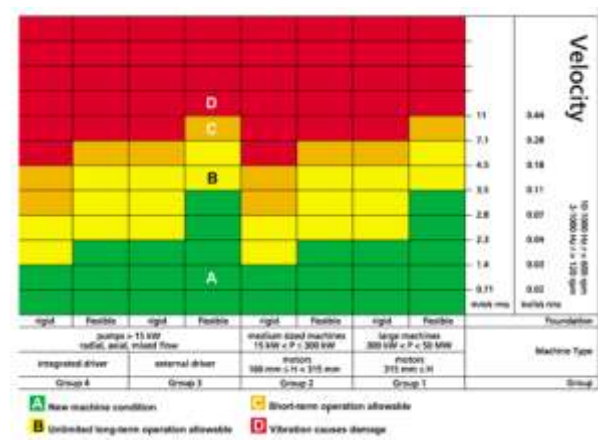
Metode yang digunakan didalam penelitian ini meliputi: monitoring kondisi motor induksi dengan cara pengambilan data secara rutin, Pengukuran vibrasi *overall* dan *trending analysis*, selanjutnya menentukan frekuensi kerusakan bearing dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan frekuensi kerusakan bearing. Hasil perhitungan dicocokkan dengan data frekuensi *defect* yang terdapat pada datasheet yang dikeluarkan oleh manufaktur bearing. Apabila hasil perhitungan menggunakan persamaan frekuensi kerusakan bearing berada pada kisaran $N - 10$ sampai dengan $N + 10$ (N merupakan data pada table 3.6 dan harmonik), maka bearing tersebut dapat dikatakan rusak sesuai dengan kategorinya.

2.1 Pengukuran Vibrasi Overall dan Trending Analysis

Vibrasi overall, atau vibrasi *velocity*, dengan satuan **mm/s** atau **inch/s RMS (root-mean-square)**, digunakan untuk mengetahui kondisi umum kelayakan mesin yang beroperasi. Berdasarkan standard yang digunakan, yaitu **ISO 2372** atau standard yang lebih baru **ISO 10816-3**, nilai vibrasi suatu mesin yang beroperasi dapat ditentukan apakah mesin tersebut layak atau tidak layak untuk terus beroperasi. Pengukuran dilakukan selama mesin beroperasi. Berikut di bawah ini, adalah ISO 2372 dan ISO 10816-3:



Gambar 1. ISO 2372, Standar Vibrasi Mesin



Gambar 2. ISO 10816-3, Standar Vibrasi Mesin

Trending, adalah plot dari suatu variable/parameter kondisi mesin (misalnya, vibrasi) sepanjang waktu tertentu, yang digunakan sebagai petunjuk atau indikator terjadinya perubahan (biasanya memburuknya) suatu mesin.

Trending, atau dalam Pemeliharaan Prediktif sering juga disebut *Trending Analysis*, ini sangat umum (bahkan mutlak) digunakan dalam *condition monitoring*. Dengan menggunakan alat-alat *portable* yang sederhana, analisa *trending* ini sudah dapat diaplikasikan dalam suatu program condition monitoring. Misalnya, *trending* yang meningkat dari vibrasi suatu mesin, menunjukkan makin memburuknya kondisi mesin tersebut.

Pengambilan data dilakukan langsung pada mesin pada poin-poin yang sudah ditentukan diawal, tentunya setelah melalui proses izin (permit) disetujui oleh pihak operasi. Pengambilan data rutin dilakukan pada posisi:

- Penggerak mula, dalam hal ini motor listrik – Bearing outboard posisi horizontal, vertikal dan aksial (MOH, MOV, MOA)
- Penggerak mula, dalam hal ini motor listrik – Bearing inboard posisi horizontal, vertical dan aksial (MIH, MIV, MIA)

2.2 Spektrum Vibrasi

Pengukuran vibrasi berikutnya yaitu, (b) **spektrum vibrasi**, dengan satuan **amplitude mm/s** (atau inch/s) dan **frekuensi cpm (cycle per minute) atau Hz**, digunakan untuk mendiagnosis (analisa) sumber penyebab dominan vibrasi dari suatu mesin (misalnya vibrasinya cenderung tinggi). Pengukuran spektrum vibrasi ini biasanya dilakukan jika nilai vibrasi overall sudah relatif tinggi.

2.3 Frekuensi kerusakan bearing

Frekuensi kerusakan bearing dihasilkan akibat dari *fatigue*, pemasangan yang tidak benar, pelumas yang tidak tepat, kesalahan pembuatan komponen bearing. Dengan menggunakan persamaan 1, 2, 3, dan 4 di bawah maka dapat mengetahui frekuensi kerusakan bearing (FTF, BPFO, BPFI, dan BSF) apabila memiliki informasi lengkap mengenai peralatan diantaranya kecepatan rotor (RPM), dimensi bearing yang digunakan seperti jumlah bola bearing (N_b), Pitch diameter (P_d), sudut kontak (ϕ), diameter bola (B_d).

$$BPFO = \left(\frac{N_b}{2}\right) \left(\frac{S}{60}\right) \left(1 - \frac{B_d \cos \phi}{P_d}\right) \tag{1}$$

$$BPFI = \left(\frac{N_b}{2}\right) \left(\frac{S}{60}\right) \left(1 + \frac{B_d \cos \phi}{P_d}\right) \tag{2}$$

$$FTF = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{S}{60}\right) \left(1 - \frac{B_d \cos \phi}{P_d}\right) \tag{3}$$

$$BSF = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{S}{60}\right) \left(\frac{P_d}{B_d}\right) \left(1 - \frac{B_d \cos \phi}{P_d}\right)^2 \tag{4}$$

Dimana:

- BPFO : Ball Pass Frequency of Outer Race
- BPFI : Ball Pass Frequency of Inner Race
- FTF : Fundamental Train Frequency
- BSF : Ball Pass Frequency
- Nb : Number of balls
- S : Speed of rotor
- Bd : Ball diameter
- Pd : Pitch diameter
- ϕ : contact angle

Dari manufaktur bearing menyediakan informasi mengenai data frekuensi vibrasi untuk bearing. Berikut data frekuensi vibrasi untuk bearing dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 1. Frekuensi kerusakan bearing SKF Deep Groove Ball Bearing 6300 series

Bearing	Inner ring defect freq. (Hz)	Outer ring defect freq. (Hz)	Cage train freq. (Hz)	Ball defect freq. (Hz)
6300	66.081	33.919	5.633	46.460
6301	66.204	33.796	5.633	46.026
6302	74.472	42.195	6.028	55.633
6303	74.247	42.419	6.060	56.545
6304	73.767	42.899	6.128	58.582
6305	73.755	42.912	6.130	58.637
6306	82.440	50.894	6.362	66.500
6307	82.307	51.026	6.378	67.130
MRC 6307*	73.632	43.035	6.148	59.179
6308	82.134	51.199	6.400	67.967
6309	82.722	50.611	6.326	65.192
MRC 6309*	73.025	43.641	6.234	61.976
6310	82.542	50.792	6.349	66.023
6311	82.391	50.942	6.368	66.731
6312	82.267	51.067	6.383	67.325
6313	82.153	51.180	6.389	67.877
6314	82.061	51.273	6.409	68.330
6315	81.980	51.353	6.419	68.729
6316	81.909	51.424	6.428	69.084
6317	81.842	51.492	6.436	69.427
6318	81.786	51.548	6.443	69.711
6319	81.736	51.598	6.450	69.968
6320	81.121	51.213	6.402	68.035
6321	82.061	51.273	6.409	68.330
6322	82.392	50.941	6.368	66.724
6324	81.151	52.182	6.523	73.091
6326	81.122	52.211	6.526	73.252
6328	81.100	52.233	6.529	73.374
6330	90.201	59.799	6.644	78.853

Untuk kolom yang berwarna kuning merupakan tipe bearing yang digunakan pada motor induksi untuk penelitian penelitian ini. Apabila hasil perhitungan menggunakan persamaan frekuensi kerusakan bearing berada pada kisaran N -10 sampai dengan N +10 (N merupakan data pada table 3.6 dan harmonik), maka bearing tersebut dapat dikatakan rusak sesuai dengan kategorinya.

3. Hasil dan Analisis

3.1 Pengambilan dan analisa data vibrasi pada motor listrik dengan perawatan kurang.

Kerusakan bearing dapat diketahui dengan menggunakan analisa vibrasi. Yakni dengan melihat gambar spektrum vibrasi dari motor listrik. Kerusakan bearing dimulai ketika spektrum muncul pada frekuensi tinggi (20 kHz - 60 kHz) sampai akhirnya menuju ke frekuensi rendah. Di mana apabila spektrum tersebut sudah memasuki frekuensi rendah dan random, maka telah sampai pada tingkat kerusakan yang parah.

Data pengukuran vibrasi menunjukkan adanya nilai High Frequency Detection (HFD) berada di atas ambang batas pada bagian radial bearing motor sisi DE. Temuan ini segera dilaporkan kepada bagian pemeliharaan untuk segera dilakukan penggantian pada bearing motor tersebut. Permasalahan ini terjadi pada Generator Stator Cooling Water Pump 2B dimana fungsinya cooler pada generator.



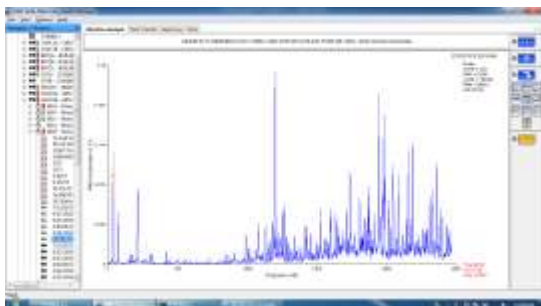
Gambar 3. Foto Generator Stator Cooling Water Pump 2B

Berikut data vibrasi yang diambil dari sebuah motor Generator Stator Cooling Water Pump 2B yang terindikasi adanya kerusakan pada bearing.

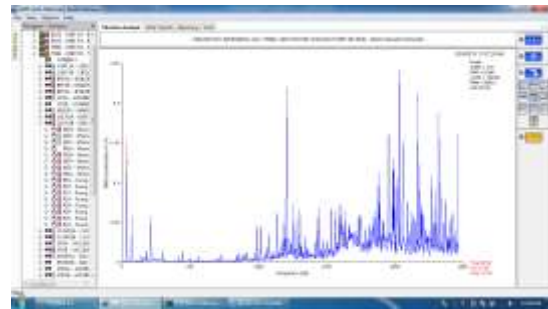
Tabel 2. Data nilai overall Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor

DATE	OVERALL
11-Mar-13	2.916 mm/Sec
24-Mar-13	4.063 mm/Sec
08-Apr-13	5.015 mm/Sec
17-Jun-13	6.570 mm/Sec
27-Jun-13	8.044 mm/Sec
03-Jul-13	8.278 mm/Sec

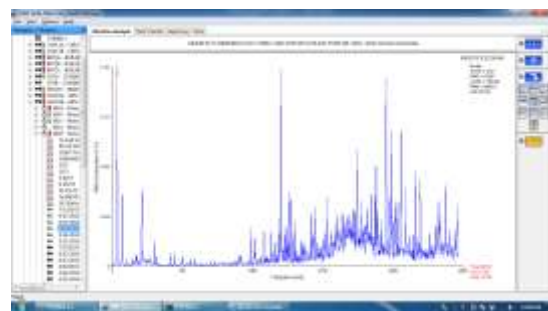
Nilai vibrasi di atas diambil dari Generator Stator Cooling Water Pump 2B untuk sisi radial DE motor. Adapun untuk gambar spektrum vibrasi yang merupakan hasil perubahan dari sinyal getaran ke sinyal elektrik dapat dilihat pada gambar di bawah dalam acceleration G's:



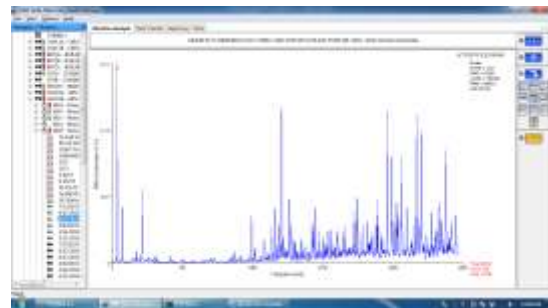
Gambar 4. Spektrum acceleration G's Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 11 Maret 2013



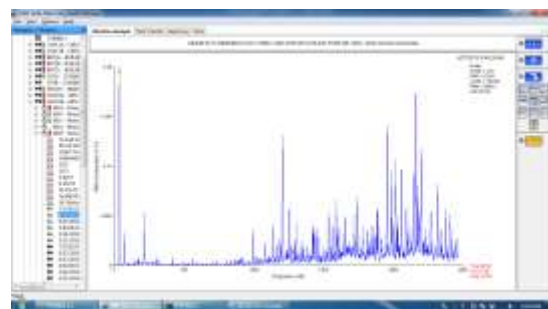
Gambar 5. Spektrum acceleration G's Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 24 Maret 2013



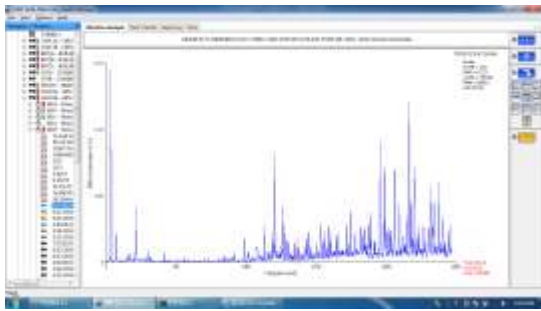
Gambar 6. Spektrum acceleration G's Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 8 April 2013



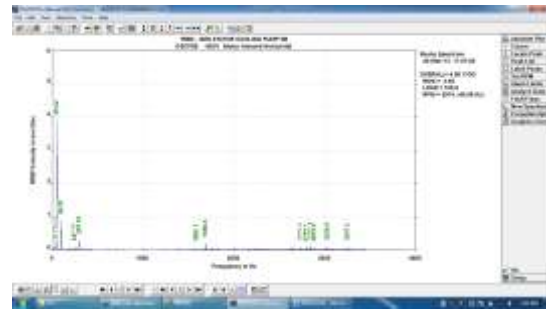
Gambar 7. Spektrum acceleration G's Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 17 Juni 2013



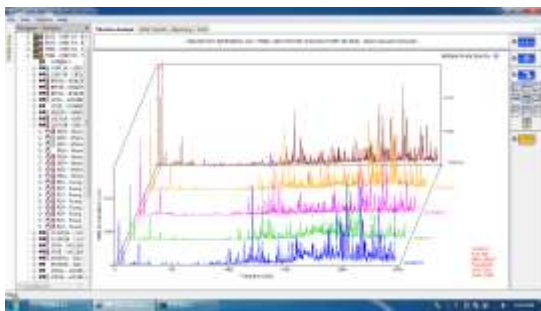
Gambar 8. Spektrum acceleration G's Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 27 Juni 2013



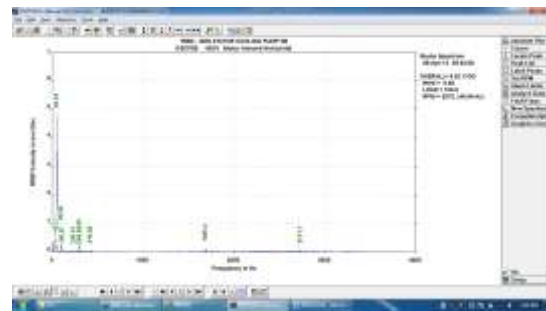
Gambar 9. Spektrum acceleration G's Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 3 Juli 2013



Gambar 12. Spektrum velocity mm/s Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 24 Maret 2013

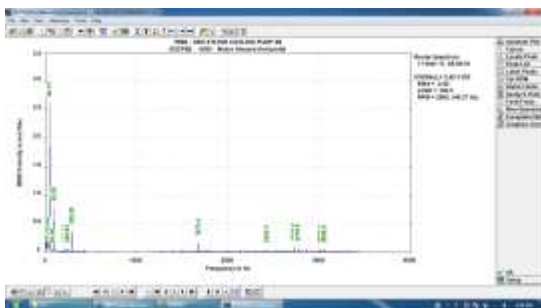


Gambar 10. Gambar *multiple* spektrum acceleration G's Generator Stator Cooling Water Pump 2B untuk sisi radial NDE motor

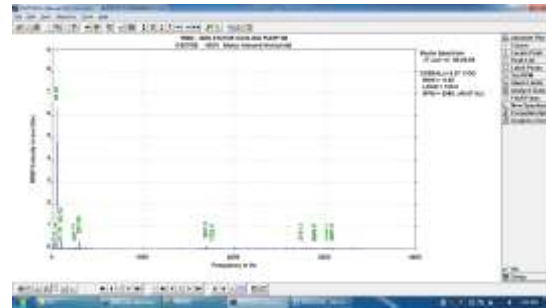


Gambar 13. Spektrum velocity mm/s Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 8 April 2013

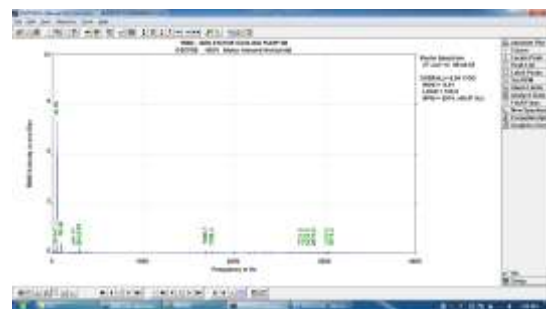
Sedangkan untuk spectrum *velocity* dalam mm/s yang merupakan konversi dari acceleratrion satuan G's dapat dilihat pada gambar di bawah:



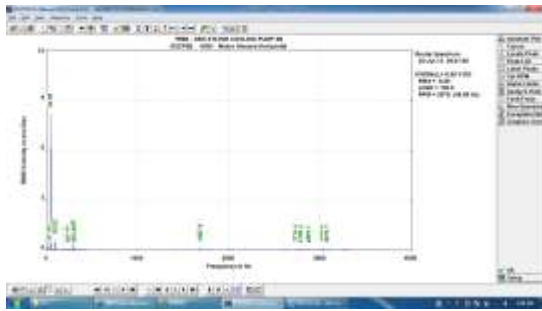
Gambar 11. Spektrum velocity mm/s Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 11 Maret 2013



Gambar 14. Spektrum velocity mm/s Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 17 Juni 2013

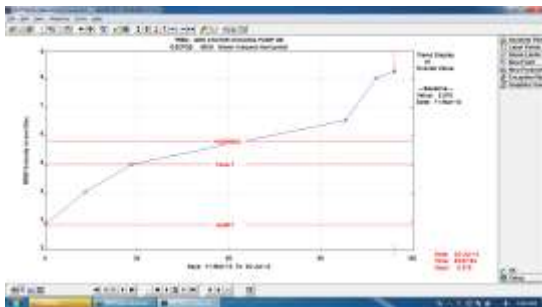


Gambar 15. Spektrum velocity mm/s Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 27 Juni 2013



Gambar 16. Spektrum velocity mm/s Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial DE motor tanggal 3 Juli 2013

Pada gambar 11 sampai 16 mengenai spektrum velocity rms terlihat kenaikan nilai peak dari 2,92 mm/s mencapai 8,28 mm/s. Selain itu trend data yang ditampilkan pada gambar di bawah juga menunjukkan adanya kenaikan.



Gambar 17. Gambar Tren data dari Generator Stator Cooling Water Pump 2B sisi radial NDE motor

3.2 Perhitungan Frekuensi Kerusakan Bearing

Untuk menentukan kerusakan di bagian apa di suatu bearing, maka perlu dilakukan perhitungan frekuensi kerusakan bearing yang selanjutnya disesuaikan dengan data *defect* frekuensi dari manufaktur bearing. Adapun hasil perhitungan dapat dilihat pada kalkulasi di bawah:

- $BPFO = (N/2)(RPM/60)(1-(Bd/Pd)(\cos \phi))$
 $= (8/2)(2900/60)(1-(0.875/3.74)(\cos 0))$
 $= 148.091 \text{ Hz}$
- $BPFI = (N/2)(RPM/60)(1+(Bd/Pd)(\cos \phi))$
 $= (8/2)(2900/60)(1+(C)(\cos 0))$
 $= 238.363 \text{ Hz}$
- $BSF = (1/2)(RPM/60)(Pd/Bd)(1 - [(Bd/Pd)(\cos \phi)]^2)$
 $= (1/2)(2900/60)(3.74/0.875)(1 - [(0.875/3.74)(\cos 0)]^2)$
 $= 97.673 \text{ Hz}$
- $FTF = (1/2)(RPM/60)(1-(Bd/Pd)(\cos \phi))$
 $= (1/2)(2900/60)(1-(0.875/3.74)(\cos 0))$
 $= 18.510 \text{ Hz}$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada kalkulasi di atas diperoleh bahwa untuk tipe bearing 6312,

untuk BPFO pada 148.091 Hz, BPFI pada 238.363 Hz, BSF pada 97.673 Hz, dan untuk FTF pada 18.510 Hz. Perhitungan ini kemudian dikomparasi dengan daftar list peak yang muncul pada spektrum dan tabel 1 tentang Data frekuensi vibrasi bearing SKF Deep Groove Ball Bearing 6300 series.

Setelah dilakukan analisa dengan membandingkan antara perhitungan frekuensi bearing menggunakan persamaan 1, 2, 3, dan 4 dengan nilai data frekuensi vibrasi bearing diperoleh bahwa bearing pada motor Generator Stator Cooling Water Pump 2B terdapat kerusakan pada bagian *Ball Pass Frequency of Inner Race* (BPFI) karena nilai perhitungan BPFI menggunakan persamaan 2 dalam range 10% dari nilai BPFI data frekuensi vibrasi bearing yakni pada 148 Hz.

Karena hasil perhitungan *confirm* dengan tabel 1 bahwa bearing bagian *Ball Pass Frequency of Inner Race* (BPFI) sudah rusak, maka bearing 6312 yang digunakan motor induksi pada penelitian penelitian ini perlu dilakukan penggantian.

3.3 Analisa Perhitungan Cost Benefit

Menurut Mare J. Schniederjans, Jamie L. Hamaker, Ashlyn M. Schniederjans (2004, p140), Cost Benefit Analysis adalah suatu teknik untuk menganalisis biaya dan manfaat yang melibatkan estimasi dan mengevaluasi dari manfaat yang terkait dengan alternatif tindakan yang akan dilakukan. Teknik ini membandingkan nilai manfaat kini dengan investasi dari biaya investasi yang sama sebagai alat bantu dalam pengambilan keputusan.

Tujuan dari metode *Cost Benefit Analysis* yaitu menentukan apakah merupakan suatu investasi yang baik. CBA juga bertujuan untuk memberikan dasar untuk membandingkan suatu proyek. Termasuk membandingkan biaya total yang diharapkan dari setiap pilihan dengan total keuntungan yang diharapkan, untuk mengetahui apakah keuntungan melampaui biaya serta berapa banyak.

Untuk mengetahui perbandingan jumlah biaya pemeliharaan antara dilakukan rekomendasi penggantian bearing dengan tidak dilakukan, maka dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 3. Analisa Cost Benefit Generator Stator Cooling Water Pump 2B

No	Aspek Kejadian	Parah	Sedang	Rekomendasi	Keterangan
1	Pada (Rp)	100.000.000	20.000.000	1.000.000	
2	Maintenance (waktu kerja) teknik	40	10	10	
3	Jumlah teknik	7	7	2	
4	Biaya teknik (normal atau lembur dalam Rp/jam)	10.000	10.000	10.000	
5	Biaya total teknik (2x3x4)	2.800.000	1.120.000	200.000	
6	Total Maintenance Cost (1+5)	102.800.000	21.120.000	2.200.000	

KETERANGAN:

Kondisi : Rendaat
 Indikasi : Pola spectrum mengindikasikan kerusakan

- a. Parah : Kerusakan equipment (motor terbakar)
- b. Sedang : Kerusakan bearing bearing motor
- c. Ringan : Penggantian bearing motor

Keuntungan yang bisa diperoleh apabila melakukan rekomendasi:

$$\text{Total Maintenance Cost tingkat parah} - \text{Total Maintenance Cost rekomendasi} = \text{Rp } 102.800.000 - \text{Rp } 2.200.000 = \text{Rp } 100.600.000,00$$

Setelah dilakukan perhitungan Cost Benefit Analysis diperoleh bahwa penggantian bearing yang merupakan hasil rekomendasi dari analisa yang telah dilakukan menghasilkan nilai ekonomis yang lebih tinggi yakni dapat menghemat biaya hingga Rp 100.600.000,00. Sehingga dapat mengurangi nilai pemeliharaan yang besar akibat kerusakan yang lebih ekstrim yakni motor terbakar.

4. Kesimpulan

Melihat data yang diperoleh dari pengambilan data dan pembahasan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut bahwa kerusakan pada peralatan berputar, dalam hal ini kerusakan bearing pada motor listrik dapat dideteksi dengan bantuan spektrum vibrasi. Indikasi awal kerusakan bearing ditandai dengan munculnya spectrum pada frekuensi ultrasonic dan lama-kelamaan akan menuju ke frekuensi rendah apabila bearing sudah masuk dalam kategori rusak. Pada tingkatan kerusakan bearing stage tiga, perencanaan penggantian bearing sudah harus segera direncanakan untuk dilakukan dalam waktu dekat. Perbaikan atau penambahan pelumasan sudah tidak lagi bisa berguna didalam mengurangi kerusakan yang telah terjadi. Besarnya amplitudo vibrasi dan pola vibrasi akan memberi informasi tentang kondisi mesin dan komponen penyusunnya. Besar kecilnya amplitudo mempengaruhi baik buruknya kondisi mesin dengan mempertimbangkan berbagai tipe mesin, kondisi, tingkat kekritisan yang berbeda, dan berbagai macam susunan komponen mesin. Penelitian yang telah dilakukan penulis masih banyak kekurangan, untuk itu perlu adanya saran untuk pengembangan untuk penelitian – penelitian berikutnya diantaranya penelitian dapat dilakukan melalui sistem pemodelan sehingga dapat dilakukan simulasi. Analisa kerusakan motor dapat dilakukan dengan menggunakan metode lain yang dapat mengetahui sumber kerusakan

sebagai contoh MCSA (Motor Current Signature Analysis), dsb.

Daftar Pustaka

- [1]. Crawford, Arthur R. 1992. *The Simplified Handbook Of Vibration Analysis*. Computational Systems Incorporated. United State Of America.
- [2]. Girdhar, Paresh. 2004. *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Elsevier. Burlington.
- [3]. Harris, Tedric A and Michael N. Kotzalas. 2007. *Essential Concepts of Bearing Technology*. CRC Press Taylor & Francis Group. United States of America.
- [4]. <http://www.gunungkidul.org/2012/11/daftar-umr-gaji-jabodetabek-jawa-barat.html>
- [5]. <http://indosdm.com/kep-102menvi2004-tentang-waktu-kerja-lembur-dan-upah-kerja-lembur>
- [6]. <http://library.binus.ac.id/eColls/eThesis/Bab2/2011-1-00387-KA%202.pdf>
- [7]. <http://www.sisilain.net/2011/08/pengertian-rotor-dan-stator.html>
- [8]. International Organization for Standardization. 10816-3. *Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*. Switzerland: ISO press. 1998
- [9]. Pruftechnik. 2002. *An engineer's guide – Making the maintenance better* (Edition 8). Ismaning: Pruftechnik group
- [10]. Robichaud J Michael, P.Eng. *Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis*. Bretech Engineering Ltd., 70 Crown Street, Saint John, NB Canada.
- [11]. Taylor, James I.2003. *The vibration analysis hand book* (1st edition).USA : Vibration consultants.