

Kaji Analisis Perawatan Prediktif Pada Unit Pompa Dengan Menggunakan Sinyal Getaran

Sumartono

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan
Jl. Almamater No.1 Kampus USU Medan -20155
INDONESIA

E-mail: ssumart@yahoo.com

Abstrak

Perawatan prediktif sudah mulai diimplementasikan di industri, dan ada beberapa metode yang dapat dilakukan, satu diantaranya adalah vibration monitoring untuk menilai kondisi permesinan. Monitoring getaran dilakukan pada mesin dan dianalisis dengan metode sinyal getaran. Motor listrik sebagai penggerak banyak dipakai di industri untuk memutar impeller pompa dan peralatan lainnya. Kerusakan unit pompa banyak penyebabnya antara lain ditandai dengan getaran berlebihan yang ditimbulkan oleh unbalance, misalignment, bent shaft dan bantalan dampaknya sistem operasi dapat terganggu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan data/karakteristik kerusakan pada komponen berputar khususnya pada unit pompa rotary, pompa serie, dan bantalan motor listrik. Hasil kajian ini ditemukan adanya kerusakan elemen bantalan, hal ini ditandai dengan overall spectrum velocity dan acceleration (g) tinggi, yang karakteristik kerusakannya tergantung pada berapa banyak titik yang rusak pada frekuensi masing-masing elemen. Pada motor listrik ditemukan nilai 2x FL (line frequency), hal ini timbul akibat perubahan posisi celah udara (air gap) pada rotor-stator motor AC induksi. Pada pompa rotary dan pompa serie serta motor penggeraknya terjadi misalignment dan mechanical looseness, walaupun nilainya masih diambang batas. Kajian komponen lainnya perlu dilakukan agar fenomena kerusakannya dapat diketahui lebih dini.

Kata kunci: Perawatan prediktif, pemantauan getaran, sinyal getaran

1. PENDAHULUAN

Pompa air banyak dipergunakan di pabrik pengolahan kelapa sawit, pada instalasi pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), demikian pula di industri pengolahan air, minyak goreng serta industri lainnya. Pada pompa air sering terjadi kerusakan pada impeler, seal, poros dan bantalan dan akhirnya dapat menghambat kinerja sistem. Motor listrik termasuk kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi merupakan motor listrik yang paling banyak dipakai di industri untuk memutar impeler pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, maupun keperluan rumah tangga. Dirancang dari ukuran yang paling kecil s/d besar. Kerusakan motor listrik pada umumnya disebabkan oleh 5 (lima) faktor antara lain panas, kotor, lembab, kualitas suplai tegangan listrik dan vibrasi. Jika ditelusur lebih sederhana, sebab kerusakannya adalah kerusakan dari luar motor listrik yaitu kualitas masukan tenaga listrik, *misalignment*, *unbalance*, kondisi lingkungan kerja yang panas, lembab/tidak ada ventilasi dan kondisi

beban. Sedangkan kerusakan dari dalam motor sendiri antara lain aging/penuaan dan degradasi.

Vibrasi (getaran) yang tinggi merupakan indikasi bahwa kondisi motor listrik sedang mengalami masalah. Besar vibrasi yang melebihi harga yang diijinkan dapat menimbulkan kerusakan yang lebih parah. Sumber vibrasi terdapat pada motor atau dari mesin yang digerakkan (*load*) bahkan dapat juga dari keduanya. Munculnya vibrasi antara lain dari misalignment motor terhadap beban yang digerakkan (pada transmisi puli-sabuk dan sambungan kopling), kendor pada fondasi motor listrik dan beban, rotor *unbalance* pada motor listrik atau pada beban, bantalan aus yang menyebabkan poros berputar tidak sentris. Kerusakan pada bantalan gelinding merupakan salah satu kasus getaran yang umum ditemui di lapangan Akumulasi karat atau kotoran pada komponen berputar. Memasang rotor dan bantalan motor setelah *overhaul/rewinding* tidak aligment (*air gap*). Dampak kerusakan ini mengakibatkan proses produksi berhenti. Oleh sebab itu dengan metode pemeliharaan *predictive*, diharapkan semua kerusakan peralatan/mesin tersebut dapat diminimalkan, sehingga dapat meningkatkan keuntungan baik dari segi produksi maupun dari

umur mesin yang lebih panjang. Kerusakan fatal dapat terjadi dengan cepat disebabkan oleh pelumas bantalan, pelumas akan mengering dan suhu bantalan makin tinggi dan akhirnya bantalan rusak, dampaknya motor listrik menjadi panas dan terbakar. Oleh sebab itu cara untuk meminimalkan kerusakan yang terjadi adalah harus menjalankan pemeliharaan rutin (*Preventive Maintenance*) yaitu melaksanakan pemeliharaan dasar yang dibutuhkan mesin yaitu membersihkan mesin, mengencangkan baut/mur yang kendur, menyetel sabuk, memeriksa alignment kopling, memberi pelumas dan mengganti pelumas sesuai dengan masa kerja operasinya. Selanjutnya memonitor kondisi operasi mesin, amati dan cermati jika ada perubahan data-data operasi mesin, misalnya ada kenaikan suhu kerja mesin, suara yang tidak normal, getaran yang tidak seperti biasanya, jika hal ini terjadi, maka hentikan mesin dan identifikasi kerusakannya. Kejadian ini disebut sebagai tanda-tanda awal terjadinya kerusakan mesin. Selanjutnya agar kerusakan tidak menimbulkan dampak yang lebih besar bagi perusahaan, sebaiknya dilaksanakan pemeliharaan *predictive* yang berbasis kondisi mesin. Adapun teknik *vibration monitoring* dilakukan pada mesin yang berputar dan dianalisis dengan metode sinyal getaran. Tingkat kerusakan dan jenis kerusakan pada pompa air, motor listrik dan khususnya pada bantalan dapat diprediksi, sehingga waktu penggantian, penyetelan dan perbaikan alat yang rusak menjadi lebih singkat, sehingga *downtime* mesin menurun dan proses produksi menjadi lebih optimal.

1.1. Perumusan Masalah

Bertitik tolak dari uraian di atas, maka dirumuskan permasalahannya sbb:

1. Perlunya bidang perawatan memonitor kondisi operasi mesin (khususnya pompa dan motor penggeraknya) dengan menggunakan sinyal getaran untuk menentukan jenis dan tingkat kerusakan.
2. Bagaimana alat ukur (instrumen) Microlog SKF dan Micro Vibe P dapat mengukur sinyal getaran unit pompa rotary, serie dan motor listrik serta menganalisis sinyal getaran yang dihasilkan yang selanjutnya mungkin memprediksi tingkat kerusakan dan jenis kerusakan yang ada pada peralatan tersebut.

1.2. Tujuan Penelitian

Mengetahui jenis kerusakan pada unit pompa rotary, serie dan bantalan motor listrik dengan menggunakan sinyal getaran, agar kerusakan fatal dapat dihindari.

1.3. BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

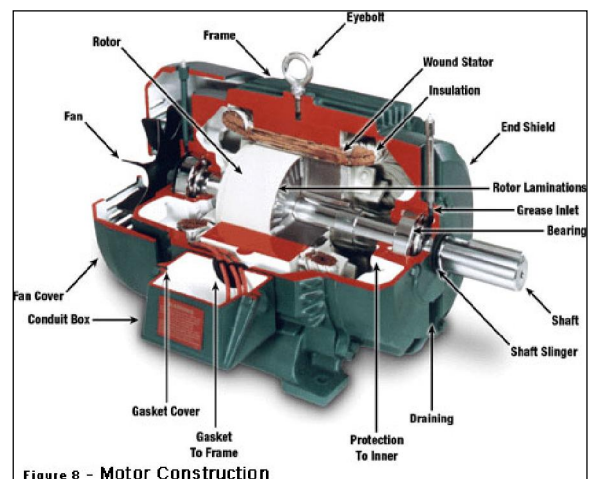
1. Pengukuran sinyal getaran unit pompa rotary dan serie di Lab. Teknik Mesin Polmed.
2. Melakukan kajian pada *bantalan* motor listrik yang masih bagus/standar dan *bantalan* yang sengaja dirusak pada bagian bola (*rolling element*), sangkar (*cage*), cincin dalam (*inner race*) dan cincin luar (*outer race*) sehingga nantinya dapat diperoleh fenomena kerusakan yang terjadi pada bantalan dan dapat digunakan sebagai rujukan penelitian yang sejenis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Listrik

Motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk melayani beban tertentu.

Motor listrik terbagi dua jenis yaitu motor arus bolak-balik (AC) dan motor arus searah. Pada motor AC ini dibagi lagi menjadi dua jenis yaitu motor sinkron dan motor induksi. Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Komponen utama motor listrik terdiri dari rotor dan stator dan kelengkapan alat yang lain seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1. Konstruksi Motor Listrik

Menurut Raymond S.Beebe (2004:10), ada beberapa parameter yang relevan terhadap kerusakan pompa yang efektif dideteksi dengan sinyal getaran antara lain; kerusakan impeler, seal luar, eksentrisitas impeller, kerusakan dan keausan bantalan, mounting fault, unbalance dan misalignment. Menurut Dr.S.J.Lacey (2009) getaran yang dihasilkan oleh bantalan gelinding dapat menjadi kompleks dan ini dihasilkan dari ketidaksempurnaan geometri selama proses manufaktur, cacat pada permukaan rolling atau kesalahan geometris dalam komponen terkait.

2.2. Perkembangan Pemeliharaan di Industri

Ada 4 (empat) metode pemeliharaan yang dikenal di industri yaitu :

Breakdown Maintenance, *preventive maintenance*. *Predictive Maintenance*, disebut juga dengan *Condition Based Maintenance*. Adalah suatu proses yang membutuhkan teknologi dan keahlian orang yang menggabungkan semua data diagnostic dan performansi yang ada, *maintenance histories*, data operasi dan desain untuk membuat keputusan kapan harus dilakukan tindakan pemeliharaan pada *major/critical equipment*.

Menurut Pares Girdhar (2004:7-8), ada beberapa teknik atau metode yang dilakukan pada *predictive maintenance*, antara lain *vibration monitoring* adalah teknik yang paling efektif untuk mendeteksi kerusakan mekanik pada mesin berputar dengan menggunakan sinyal getaran. *Acoustic emission* dapat mendeteksi kerusakan *crack* pada struktur maupun perpipaan secara kontinu. *Oil analysis* menganalisis partikel minyak pelumas yang berhubungan dengan keausan pada bantalan dan roda gigi. *Particle analysis*, menganalisis partikel yang aus (debris) akibat kerja mesin berputar/gerak bolak-balik, *gear boxes*. *Corrosion monitoring* yaitu melakukan pengukuran ultrasonik pada ketebalan pipa atau struktur lainnya untuk melihat perkembangan keausan korosi. *Thermography*, untuk mendeteksi panas akibat listrik dan mekanik pada generator, boiler, misalignment kopling dan lainnya, dan *performance monitoring* serta teknik lainnya untuk menilai kondisi peralatan /mesin.

Proactive Maintenance. Dikenal sebagai *Precision Maintenance* dan *Reliability Based Maintenance*. Metode pemeliharaan ini lebih menitikberatkan pada indentifikasi akar permasalahan dan memperbaikinya untuk mengurangi kemungkinan mesin akan rusak. Memaksimalkan umur operasi mesin dan

meningkatkan keandalan serta efisiensinya melalui analisis penyebab kegagalan (*Root cause failure analysis*). Instalasi mesin dengan kepresisian tinggi dan pelatihan personal.

Menurut Alexei Barkov (1997), Saat ini pemantauan terus-menerus kondisi operasi mesin dianggap sebagai salah satu metode yang paling efisien untuk penilaian kondisi mesin. Sistem ini banyak digunakan di perusahaan dan sekarang peminat untuk menggunakan teknologi ini makin meningkat. Pada metode ini terjadi pengembangan yang signifikan yaitu mampu untuk menentukan cacat komponen yang dapat dideteksi pada tahap awal terjadinya kerusakan serta melakukan proses diagnostik. Sehingga dalam banyak kasus, permasalahan kegagalan komponen mesin dapat diselesaikan oleh program perangkat lunak diagnostik khusus. Selain itu menurut Fathi N. Mayoof (2009) diagnosis kondisi bantalan merupakan hal penting untuk pengurangan *downtime* dan menghemat biaya pemeliharaan,

2.3. Persamaan Kecepatan dan Percepatan Getaran Harmonik Sederhana

Untuk partikel yang bergerak lurus, apabila percepatannya selalu sebanding dengan jarak partikel dari titik tertentu pada lintasan dan arahnya menuju titik tertentu, maka partikel itu disebut mempunyai gerakan harmonis sederhana (*Simple harmonic motion*) atau disingkat SHM (William W. Seto, 1997). SHM adalah bentuk gerakan periodik paling sederhana. Gerakan periodik getaran apakah yang sederhana ataupun yang rumit biasanya dianggap terdiri dari SHM atau beberapa SHM dari berbagai amplitudo dan frekuensi dengan serie Fourier.

Persamaan gerak harmonik sederhana adalah:

$$Y = A \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dengan:

Y = simpangan

A = simpangan maksimum (amplitudo)

ω = kecepatan sudut

t = waktu tempuh

Kecepatan Gerak Harmonik Sederhana

Dari persamaan gerak harmonik sederhana yaitu $Y = A \sin \omega t$, maka kecepatan (V) adalah:

$$v = \frac{dy}{dt} (\sin A \sin[\omega t])$$

$$v = A \omega \cos \omega t \quad \dots (2)$$

Dari persamaan kecepatan :

$$v = A \omega \cos \omega t$$

maka http://id.wikipedia.org/wiki/Gerak_harmonik_sederhana - cite note-pemulih-5 :

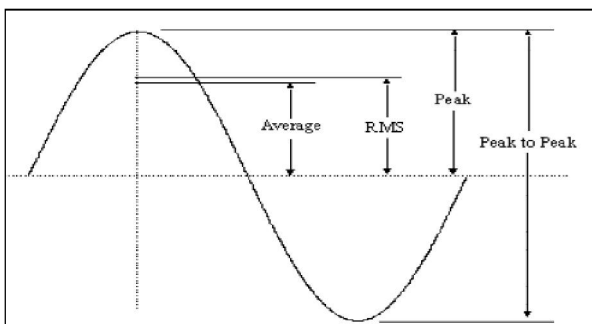
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} (A \omega \cos \omega t)$$

$$a = -A \omega^2 \sin \omega t \quad \dots (3)$$

Percepatan maksimum jika $\omega t = 1$ atau $\omega t = 90^\circ$ atau $\pi/2$. Getaran dari sebuah mesin merupakan resultan dari sejumlah getaran individu komponen yang muncul oleh gerak ataupun gaya pada komponen mekanikal ataupun proses pada mesin yang saling terkait. Setiap komponen individu yang bergetar ini memiliki gerak periodik. Getaran dapat dikenali dengan besaran frekuensi, amplitudo dan phase. Amplitudo adalah besar simpangan vibrasi, amplitudo dapat diketahui dengan cara mengukur:

- Displacement (D) (mils, micron)
- Velocity (V) (ips, mm/s)
- Acceleration (A) (g, mm/s², inch/s²),
- 1 g = 9,807 m/s² = 386,4 in/s²)

Amplitudo vibrasi (*displacement*, *velocity* dan *acceleration*) dapat dinyatakan dalam *Peak to Peak* (Pk-Pk), *Peak* (Pk), *Average*, *Root Mean Square* (RMS). Lihat gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Gelombang Sinus (Sine wave)

Rumus *velocity* (V) dan *acceleration* (A):

Velocity (V):

$$V = 2 \pi f D = \omega D \quad \dots (4)$$

Acceleration (A) = $2 \pi f V$

$$(2 \pi f)^2 D = \omega^2 D \quad \dots (5)$$

Dimana :

f	= Frekuensi
Peak	= 1,0
RMS	= 0,707 x Peak
Average	= 0,636 x Peak
Peak to Peak	= 2 x Peak

2.4. Bantalan

Bantalan merupakan salah satu bagian dari elemen mesin yang memegang peranan cukup penting karena fungsi bantalan adalah untuk menumpu poros agar dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Bantalan harus cukup kuat untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Pada umumnya bantalan dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) bagian yaitu bantalan luncur dan bantalan gelinding.

2.5. Kerusakan Bantalan (Bantalan Defect)

Menurut M. Bur (2003), Spektrum getaran yang muncul akibat adanya cacat pada bantalan dalam sistem poros rotor tergantung pada sifat cacatnya, geometri bantalan dan kecepatan putar. Berdasarkan analisis sinyal getaran dapat diketahui bahwa masing-masing faktor tersebut akan memunculkan spektrum frekuensi dengan karakteristik tertentu, sehingga dapat diketahui faktor penyebab getaran yang lebih dominan. Suhardjono (2004) menyatakan bahwa dengan menggunakan sinyal getaran, jenis kerusakan bantalan bola baik akibat kerusakan lokal maupun yang terdistribusi ditunjukkan oleh adanya getaran dengan frekuensi tertentu yang muncul, sedangkan tingkat kerusakan pada umumnya diketahui dari besarnya amplitudo getarannya. William H (2010) berpendapat bahwa suhu sangat berpengaruh dan berpotensi merusak bantalan gelinding. Selain itu Bo Li (2000) menyatakan banyak masalah yang timbul dalam operasi motor terkait dengan kesalahan bantalan. Menurut CH. Liu (2009), bantalan bola sering beroperasi dengan kecepatan tinggi dan beban ringan. Ciri kegagalan umum adalah *wear-out* terjadi pada kondisi pelumasan tidak cukup. Akibatnya, getaran/kebisingan dan torsi gesekan akan membesar, dan bantalan kehilangan akurasi dan kepresisiannya. Menurut Ikhwansyah Isranuri (2008), kerusakan pada pompa sentrifugal sering terjadi akibat kegagalan bantalan, biasanya disebabkan kurangnya pemeliharaan, tingginya getaran pada operasi pompa dan proses pengoperasian dan

pemberhentian pompa yang menimbulkan getaran tinggi. Hubungan antara head dan vibrasi pada pompa perlu untuk dianalisa, demikian juga jenis bantalan yang rendah vibrasi. Penjelasan lebih mendalam dari Fathi N. Mayoof (2009), analisis yang intensif tentang spektrum frekuensi kerusakan bantalan harus dilakukan untuk menentukan alasan/penyebab utama kerusakan.

2.6. Perhitungan Frekuensi Elemen Bantalan

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \theta \right) \times rpm \quad \dots(6)$$

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \theta \right) \times rpm \quad \dots(7)$$

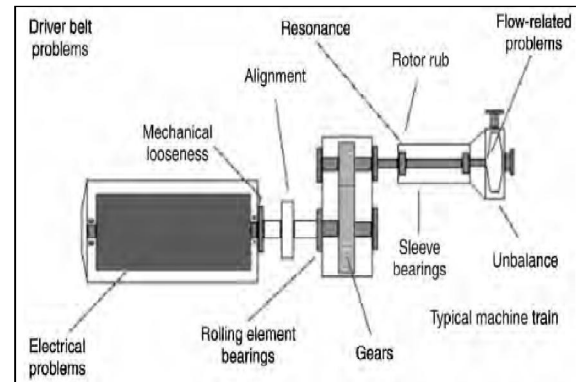
$$BSF = \frac{Pd}{2Bd} \left[1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \right)^2 (\cos \theta)^2 \right] \times rpm \quad \dots(8)$$

$$FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \theta \right) \times rpm \quad \dots(9)$$

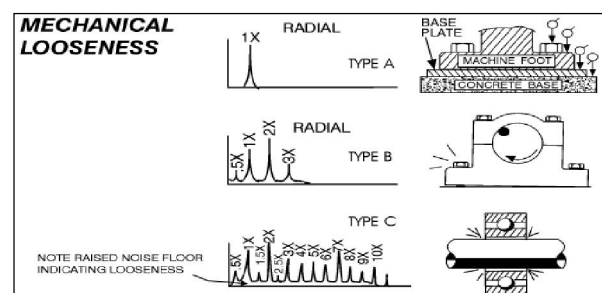
- BPFI : Ball pass frequency of the inner race
 BPFO : Ball pass frequency of the outer race
 BSF : Ball spin frequency
 FTF : Fundamental train (cage) frequency
 rpm : Revolutions per minute
 Bd : Ball or roll diameter
 Nb : Number of balls or rollers
 Pd : Pitch diameter
 θ : Contact angle

2.7. Pola Pengenalan Spektrum Getaran

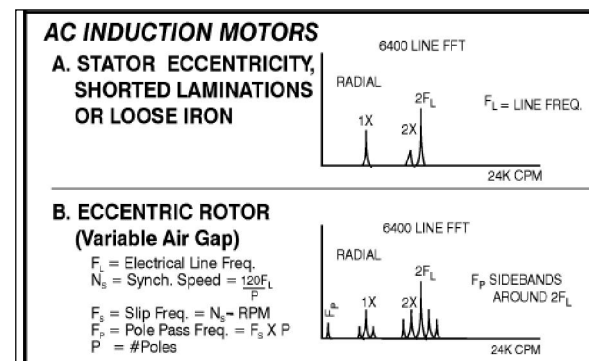
Pola atau pattern untuk mengenali spektrum getaran mesin yang mengalami kerusakan dapat dilihat dari spektrum velocity dan enveloping. Beberapa diantaranya adalah *misalignment*, *unbalance*, *bent shaft*, kavitasi pada pompa, *mechanical looseness*, kelistrikan (rotor dan stator eksentrik) seperti contoh di bawah ini.



Gambar 3. Deteksi Kerusakan Mesin



Gambar 4. Pola Spektrum Mechanical Looseness



Gambar 5. Pola Spektrum Motor AC Induksi

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan kajian bantalan motor listrik dengan menguji bantalan yang masih bagus/standar dan bantalan yang sengaja dirusak pada bagian bola (*rolling element*), sangkar (*cage*), cincin dalam (*inner race*) dan cincin luar (*outer race*) sehingga nantinya dapat diperoleh fenomena kerusakan yang terjadi pada bantalan. Bantalan yang dipergunakan adalah 6204 dan 1204 (*self aligning ball bearing*) dan tempat pengujian adalah di laboratorium Teknik Mesin. Hasil dari pengujian

ini dapat dijadikan pembandingan terhadap hasil pengukuran sinyal getaran pada pompa rotary dan pompa serie dan peralatan lainnya. Metodologi yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1. Mempersiapkan bahan uji untuk pengukuran sinyal getaran

Bahan uji yang diperlukan adalah:

- Motor listrik, tipe JY-28-4,
 - Bantalan: 6204 dan 1204 = 4 buah
- Tempat pengukuran: Lab.Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan.

3.2. Mempersiapkan alat pengukur getaran

Alat yang dipergunakan untuk mengukur getaran adalah:

-Microlog SKF Gx series:

Untuk mengukur getaran bantalan motor listrik.

Pengukuran dilakukan pada :

- Bantalan 6204 (kondisi masih bagus)
- Bantalan 1204 (4 buah) yang sengaja dirusak.

-Micro vibe P : untuk mengukur getaran pompa rotary dan serie.

3.3. Melakukan pengukuran sinyal getaran

- Mengukur sinyal getaran motor listrik pada arah radial (vertikal dan horizontal) dan axial untuk mendapatkan parameter velocity dan enveloping pada kondisi bantalan yang diganti-ganti sesuai dengan jenis kerusakannya, kemudian mengukur getaran pompa rotary dan pompa serie.

3.4. Menghitung Frekuensi Bantalan

Dengan adanya data dimensi elemen bantalan, maka BPFO, BPFI, BSF, FTF dapat dihitung berdasarkan rumus (6 sampai dengan 9) dan hasilnya dapat diplot pada grafik.



Gambar 6. Pengukuran Getaran Pompa Rotary

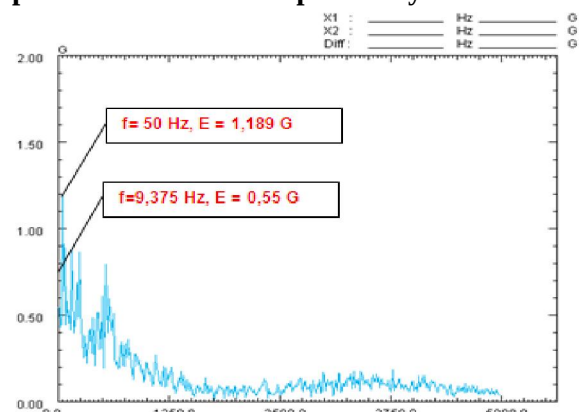
Spesifikasi pompa rotary: Motor listrik asinkron, daya 3 HP, putaran 2850 rpm. Sedangkan pompa serie: seri 5 tingkat, daya 3,2 HP, putaran 2850 rpm.



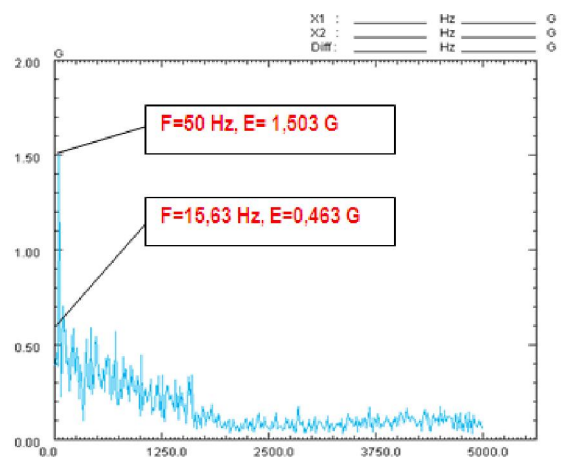
Gambar 7. Pengukuran Getaran Motor Listrik

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektrum Getaran Pompa Rotary:

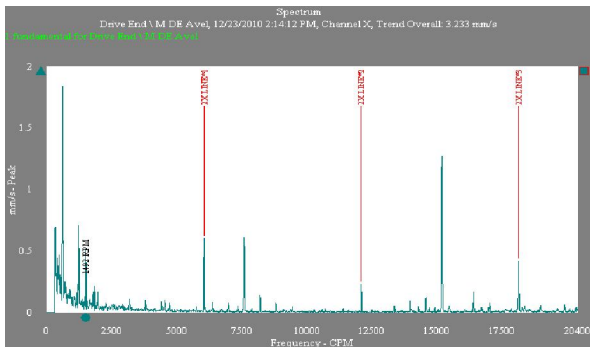


Gambar 8. Pengukuran Sinyal Getaran pompa rotary (Vertikal)

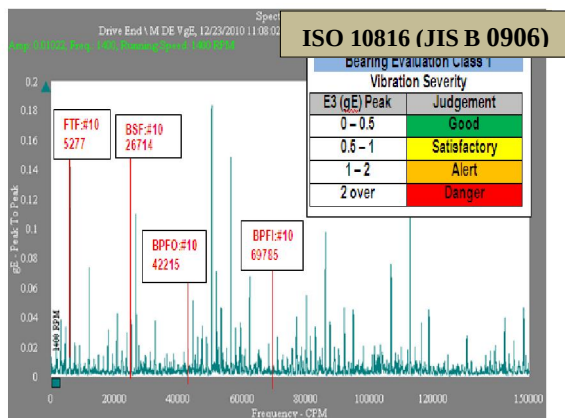


Gambar 9. Pengukuran Sinyal Getaran Pompa Rotary(Horizontal)

Namun pada pengukuran velocity vertikal dan axial (Grafik 13 & 15) masih ada ditemukan gangguan pada motor listrik berupa spektrum 2xFL dan adanya side band disekitarnya.



Gambar 15. Pengukuran Bantalan 1204 Velocity Axial (BPFO,BPFI,FTF,BSF)



Gambar 16. Bantalan 6204 Pengukuran Enveloping Vertikal (Kondisi bantalan bagus)

Pada Gambar 16, terlihat spektrum yang merata (kondisi bantalan bagus), hal ini terlihat pada frekuensi bantalan masing-masing elemen yang nilainya masih standar (ISO 10816), spektrum yang menyebar merata, tidak ditemukan pola kerusakan *unbalance* maupun stator/rotor yang rusak, berbeda dengan hasil yang ditunjukkan pada grafik 1 sampai grafik 8 di atas.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada kajian bantalan motor listrik dengan menggunakan sinyal getaran ditemukan fenomena kerusakan elemen bantalan. Bantalan yang mengalami kerusakan menghasilkan *overall spectrum velocity* dan *acceleration* (g) tinggi, kerusakannya dapat dilihat pada *bearing defect*

frequency masing-masing elemen, karakteristik kerusakannya tergantung pada berapa banyak titik yang rusak pada masing-masing elemen. Selain itu pada motor listrik ditemukan nilai 2x FL (*line frequency*), hal ini timbul akibat adanya perubahan posisi celah udara (*air gap*) pada rotor-stator motor listrik AC induksi karena bantalan dibuka untuk diganti dan assemblingnya tidak sempurna. Pada pompa *rotary* dan pompa *serie* serta motor penggeraknya terjadi *misalignment* dan *mechanical looseness*, walaupun nilainya masih diambang batas. Dengan demikian sinyal getaran dapat dipergunakan sebagai alat pendeteksi adanya awal kerusakan pada komponen berputar khususnya pompa dan motor listrik.

5.2. Saran

Kajian jenis bantalan dan komponen lain perlu dilakukan, seperti gear box dan lainnya sehingga fenomena kerusakan bantalan, poros atau komponen berputar lainnya dapat dideteksi sejak dini sehingga kerusakan fatal pada komponen permesinan dapat dihindari.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alexei Barkov, Anton A, 1997, New Generation of Condition Monitoring and Diagnostic System
- Bo Li, Mo-Yuen Chow, Yodyium Tipsuwan, James C. Hung, October 2000, Neural-Network-Based Motor Rolling Bearing Fault Diagnosis, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 47, No. 5
- Dr. S. J. Lacey, 2009, Using Vibration Analysis to Detect Early Failure of Bearings, Engineering Manager, Schaeffler (UK) Ltd, info.uk@schaeffler.com
- Fathi N. Mayoof, 2009, Beating Phenomenon of Multi-Harmonics Defect Frequencies in a Rolling Element Bearing: Case Study from Water Pumping Station, World Academy of Science, Engineering and Technology 57
- Ikhwanisyah-Isranuri, 2008, Pengaruh jenis/tipe bantalan terhadap perilaku vibrasi pompa sentrifugal satu tingkat dengan variasi kapasitas dan head. <http://jurnal.pdii.lipi.go.id/index.php/Search.html?act=tampil&id=6562>
- M. Bur, M. Rusli, A.R. Yani, 2003, Diagnosis Kerusakan Bantalan Gelinding Melalui

- Sinyal Getaran, Jurnal Teknik Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
7. Paresh Girdhar, 2004, Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance, Oxford, Elsevier
 8. Raymond S. Beebe, 2004, Predictive Maintenance of Pumps using Condition Monitoring, Elsevier Science & Technology Books, Monash University, ISBN:1856174085
 9. Suhardjono, 2004, F.T. Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, ITS Surabaya, Jurnal Teknik Mesin, Vol 6, No 2.
 10. Technical Associates of Charlotte P.C, 1996.
 11. William H. Detweiler, 2010, , Causes and Cures for Roller Bantalan Overheating.
 12. Wiliam W. Seto, Darwin Sebayang, 1997, Getaran Mekanis, Jakarta, Erlangga.