

DETEKSI KERUSAKAN IMPELER POMPA SENTRIFUGAL DENGAN ANALISA SINYAL GETARAN

Anitya Ari I¹, Didik Djoko Susilo², Zainal Arifin²

¹Program Sarjana – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

*Vibration signal
Spectrum analysis
Impeller fault
Centrifugal pump*

Abstract :

This study has a purpose to develop the centrifugal pump impeller damage detection technique with vibration analysis. Vibration analysis was performed by measuring vibration in centrifugal pump impellers which were damaged at the end of their blades and impellers that were damaged on one of their blades, then compare it with the vibrations generated by the impeller which had a good conditions. Vibration measurement was performed on 1500 rpm with data retrieval of accelerometer sensor direction at axial direction, and radial. Vibration measurements will produce a time domain signal, which would then be converted into the frequency domain spectrum using the Fast Fourier Transform on Matlab Software.

The result on rotation pump condition at 1500 rpm with horizontal accelerometer sensor direction indicates that the defect of centrifugal impeller pump can be seen from the high and low amplitude frequency and frequency of the blades. If the resulting spectrum shows a small increase in the pump frequency amplitude and experience decreased on amplitude frequency of its blade, the impeller was indicated that it was experiencing a damage on the tip of its blade. Whereas, if the resulting vibration spectrum shows an increase in the vast value of the pump frequency amplitude and followed by the decrease in the value of large blade frequency, it was also indicated that the impeller had been broken or missing on one of its blades. missing one of its blade.

PENDAHULUAN

Impeler merupakan komponen pompa yang sangat penting peranannya. Apabila impeler mengalami kerusakan maka akan menyebabkan penurunan performa pompa atau dapat menyebabkan kerusakan komponen pompa akibat getaran seperti kerusakan *bearing, shaft, seal* dan lainnya. Untuk mencegah hal tersebut terjadi maka dibutuhkan suatu tindakan untuk mendeteksi kerusakan impeler pompa.

Terdapat beberapa metode untuk deteksi kerusakan yang dapat diterapkan untuk perawatan suatu mesin atau pompa, salah satu metode tersebut adalah metode analisa getaran. Melalui analisa getaran kita dapat melihat karakteristik getaran yang terjadi pada impeler yang mengalami kerusakan, kemudian membandingkannya dengan karakteristik getaran yang terjadi pada impeler kondisi baik. Jika suatu mesin mengalami kerusakan pada komponennya maka akan menghasilkan peningkatan amplitudo pada frekuensi tertentu. Hal inilah yang dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kerusakan impeler pompa sentrifugal.

Devi dan kawan-kawan (2010), menggunakan metode Fast fourier transform untuk analisis getaran dan analisis akustik dalam menganalisa suatu kondisi pompa yang sedang bekerja. Dengan metode tersebut Devi memperoleh enam buah nilai

amplitudo dari masing-masing analisis. Pada analisis getaran jika diperoleh nilai ampiltudo kurang dari 6.3 mm/s maka mesin dinyatakan dalam kondisi normal, nilai ampiltudo 6.3 mm/s sampai 15.8 mm/s mesin dinyatakan dalam kondisi peringatan, nilai ampiltudo diatas 15.8 mm/s mesin dinyatakan dalam kondisi berbahaya. Pada analisis akustik, jika nilai ampiltudo yang didapat kurang dari 0.11 mm/s maka mesin dinyatakan dalam kondisi normal, jika nilai ampiltudo yang didapatkan 0.11 mm/s sampai 0.215 mm/s mesin dinyatakan dalam kondisi peringatan, dan jika nilai ampiltudo yang didapatkan adalah lebih dari 0.215 mm/s dinyatakan mesin dalam kondisi berbahaya.

Zhao dan kawan-kawan (2009), menggunakan sinyal getaran untuk mendeteksi kerusakan pada impeler pompa penyedot lumpur. Kerusakan impeler yang diteliti mencakup kerusakan sisi dalam sudu impeler dan kerusakan sisi luar sudu impeler. Kemudian sinyal getaran tersebut diolah menjadi domain frekuensi dengan metode FFT yang selanjutnya akan diubah lagi dengan metode neighbourhood rough set untuk mendapatkan analisa yang lebih akurat daripada menggunakan metode lain. Sensor getaran diletakkan sedekat mungkin pada impeler, yakni pada sisi atas casing impeler dan sisi outlet pompa, dikarenakan pada sisi casing diatas bearing hanya sedikit memberikan informasi yang

dibutuhkan. Dengan menggunakan sinyal getaran yang diubah menjadi metode neighborhood rough set keakuratan deteksi kerusakan impeler dapat ditingkatkan menjadi 99,56%.

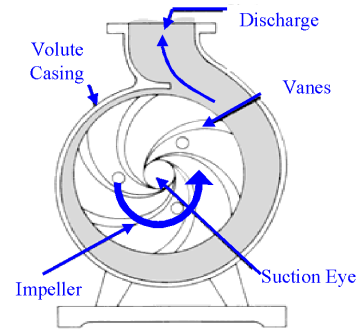
Amit suhane (2012), melakukan penelitian efek radial clearance terhadap pressure pulsation, getaran dan noise pada pompa sentrifugal. Penelitian ini dilakukan dengan 3 variasi impeler, masing-masing impeler mempunyai radial clearance terhadap difuser yang berbeda-beda yaitu, kasus I dengan clearance 6.8 mm, kasus II dengan clearance 3.7 mm dan kasus III dengan clearance 1.5 mm. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa, semakin kecil radial clearance antara impeler dan volute maka semakin besar nilai pulsasi tekanannya. Sedangkan pulsasi tekanan ini dapat menyebabkan getaran pada pompa, yang ditimbulkan oleh Blade Pass Frequency (BPF). BPF adalah getaran yang ditimbulkan karena reaksi hidrodinamik antara impeler dan difuser. Kecilnya radial clearance mungkin lebih baik dalam performa, head dan efisiensi pompa, tetapi dapat menyebabkan interaksi impeler dan volute yang kuat, hasilnya adalah pressure pulsation yang tinggi di dalam pompa yang berakibat pada tingginya getaran dan noise pada pompa.

Kerusakan impeler pompa sentrifugal bisa dikarenakan beberapa macam sebab sebagai berikut:

1. Kavitasi.
2. Erosi asam.
3. Erosi bahan kimia.
4. Kerusakan karena impeler menghantam benda asing, seperti batu atau baut.

Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal, fluida yang akan di pompa masuk ke dalam nozzle hisap menuju eye of impeller dan fluida tersebut terjebak diantara sudu-sudu dari impeler. Impeler tersebut berputar dan fluida mengalir karena gaya sentrifugal melalui impeler yang menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan fluida tersebut. Sesuai hukum Bernoulli jika kecepatan meningkat maka tekanan akan menurun, hal ini menyebabkan terjadinya zona tekanan rendah (vakum) pada sisi isap pompa. Selanjutnya fluida yang telah terisap terlempar keluar impeler akibat gaya sentrifugal yang dimiliki oleh fluida itu sendiri. Dan selanjutnya ditampung oleh casing (rumah pompa) sebelum dibuang kesisi buang. Dalam hal ini ditinjau dari perubahan energi yang terjadi, yaitu energi mekanis poros pompa diteruskan kesudu-sudu impeler, kemudian sudu tersebut memberikan gaya kinetik pada fluida. Akibat gaya sentrifugal yang besar, fluida terlempar keluar mengisi rumah pompa dan didalam rumah pompa inilah energi kinetik fluida sebagian besar diubah menjadi energi tekan. Arah fluida masuk kedalam pompa sentrifugal dalam arah aksial dan keluar pompa dalam arah radial. Pompa sentrifugal biasanya diproduksi untuk memenuhi kebutuhan head medium sampai tinggi dengan kapasitas aliran yang medium. Dalam aplikasinya pompa sentrifugal banyak digunakan untuk kebutuhan proses pengisian

ketel dan pompa industri, pompa irigasi dan lain-lain.



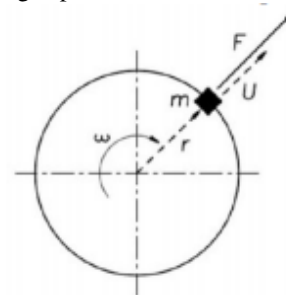
Gambar 1. Penampang pompa sentrifugal.

Masing-masing komponen pompa mempunyai frekuensi komponen yang akan mempengaruhi hasil getaran yang diakibatkannya, yang perlu diperhatikan pada pompa sentrifugal NS-50 adalah 1 x rpm pompa yaitu rpm pompa dibagi 60 yang disebut frekuensi pompa, 1 x rpm motor yaitu rpm motor dibagi 60 yang disebut frekuensi motor listrik dan frekuensi sudu yang diperoleh dari mengalikan jumlah sudu impeler dengan rpm pompa yang selanjutnya dibagi 60.

$$\text{frekuensi pompa (Hz)} = \frac{\text{putaran pompa (rpm)}}{60 \text{ (s)}}$$

$$\text{frekuensi sudu (Hz)} = \frac{\text{putaran pompa (rpm)} \times \text{jumlah sudu}}{60 \text{ (s)}}$$

Impeler merupakan komponen yang berputar, apabila impeler tidak balance maka saat berputar akan menimbulkan gaya sentrifugal dan menyebabkan terjadinya getaran. Unbalance pada impeler bisa disebabkan oleh kavitasi, korosi, korosi bahan kimia atau asam dan lain-lain. Kerusakan yang terjadi pada impeler pompa akan mengakibatkan impeler tersebut menjadi unbalance yang akan berakibat pada meningkatnya getaran pada pompa. Unbalance pada impeler pompa dapat dijelaskan oleh Gambar 2 dengan persamaan berikut:



Gambar 2. Efek unbalance.

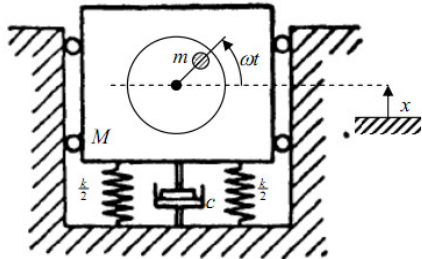
$$F = U \cdot \omega^2$$

Dimana:

$$U = \text{unbalance} = m \cdot r \text{ [kg.m]}$$

$$\omega = \text{kecepatan sudut [rad/s]}$$

Semakin besar massa unbalance (m) dan kecepatan sudut (ω) yang terdapat pada benda yang berputar, maka akan mengakibatkan gaya unbalance semakin besar pula. Untuk persamaan gerak dari ketidak seimbangan poros adalah sebagai berikut.



Gambar 3. Model ketidakseimbangan pada mesin putar.

Perpindahan massa (M-m) adalah $x(t)$. Oleh sebab itu persamaan geraknya menjadi:

$$(M-m)x + m \frac{d^2x}{dt^2} + c \dot{x} + kx = 0$$

$$Mx + cx + kx = me \omega^2 \sin \omega t.$$

Atau dengan $F_{eq} = me \omega^2$ maka persamaannya menjadi :

$$Mx + cx + kx = F_{eq} \sin \omega t$$

Dari persamaan di atas, amplitudo respon harmonik adalah :

$$[X] = \frac{F_{eq}}{\sqrt{(k-m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \frac{me\omega^2}{\sqrt{(k-m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}}$$

atau

$$[X] = \frac{me\omega^2}{k} R$$

METODE PENELITIAN

Rincian peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Pompa sentrifugal Merk NS-50 (dengan motor listrik 3 phase 5,5 HP).
- Satu buah impeler kondisi baik.
- Dua buah impeler kondisi rusak.
- Piezoelectric Accelerometer.
- DSO-2100 USB AUTOTEK 2 Channel 100MS/s.
- Komputer desktop dengan software Matlab.



Gambar 4. a) Impeler kondisi baik, b) Impeler kondisi rusak pada ujung sudunya, c) Impeler kondisi pecah pada salah satu sudunya.

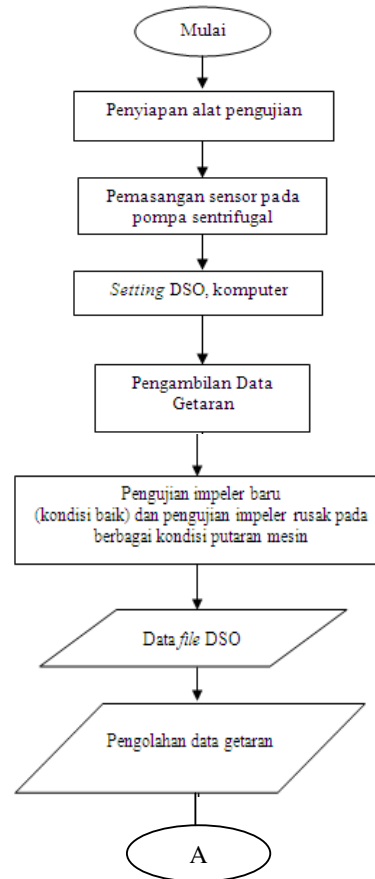


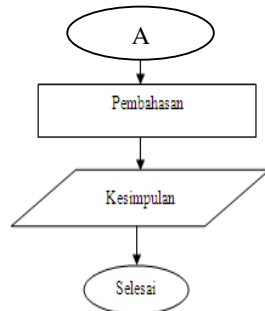
Gambar 5. DSO



Gambar 6. Sensor accelerometer.

Desain eksperimen





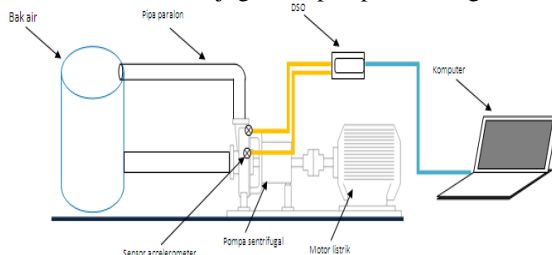
Gambar 7. Diagram alir penelitian.

Desain awal penelitian ini adalah membuat instalasi pompa sentrifugal sesuai dengan kondisi kerjanya yaitu pompa sedang memompa air, Instalasi pompa ini dapat dilihat pada Gambar 8.

Setelah instalasi pompa selesai, langkah selanjutnya adalah pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan merekam data getaran yang dihasilkan pompa sentrifugal, dengan variasi kerusakan impeler pompa sentrifugal dan variasi putaran pompa. Kerusakan yang terjadi pada impeler adalah kerusakan pada ujung sudu-sudunya dan impeler yang mengalami kerusakan pecah pada salah satu sudunya. Masing-masing kondisi impeler pompa sentrifugal diambil data pada putaran poros 1500 rpm dan arah sensor (axial, horizontal dan vertikal) pada casing pompa. perekaman data ini dilakukan dengan menggunakan Digital Storage Oscilloscope sebanyak 10.000 sampel per detik kemudian disimpan pada komputer. Sekema pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Alat uji getaran pompa sentrifugal



Gambar 9. Skema pengambilan data.



Gambar 10. Peletakan sensor arah axial, horizontal dan vertikal.

Data yang direkam oleh DSO akan diproses dengan menggunakan program MATLAB, dengan algoritma sebagai berikut:

- Load data DSO.
- Menentukan deklarasi konstanta yang sudah diketahui.
- Menentukan *filter (moving average)* untuk menghilangkan *noise*.
- Melakukan proses FFT.
- Plot data *output*.

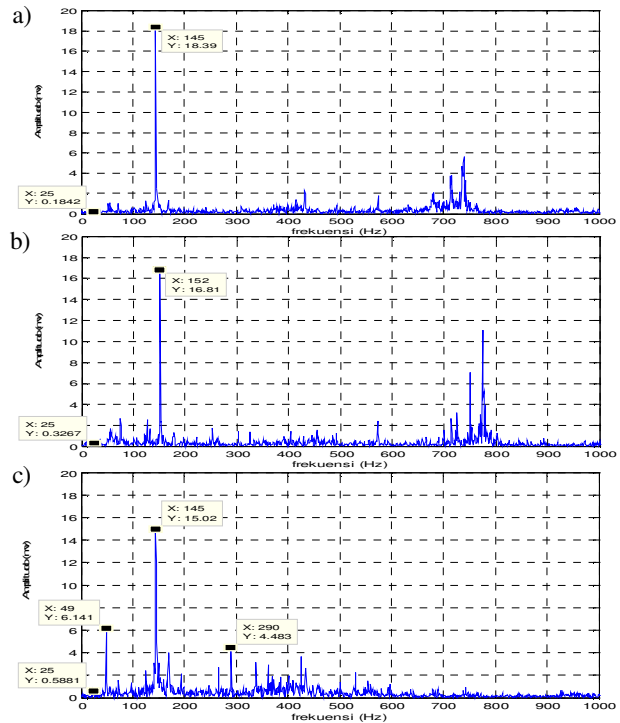
Setelah data grafik didapatkan maka tahap selanjutnya maelakukan analisa terhadap grafik tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis spektrum.

Analisa data ini dilakukan dengan membandingkan spektrum antara impeler kondisi baik dengan impeler kondisi rusak pada berbagai arah sensor pengambilan data. Spektrum getaran ini diperoleh dengan cara mengkonversi data domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan fungsi FFT pada *software* Matlab.

1. Spektrum getaran pada arah Axial.



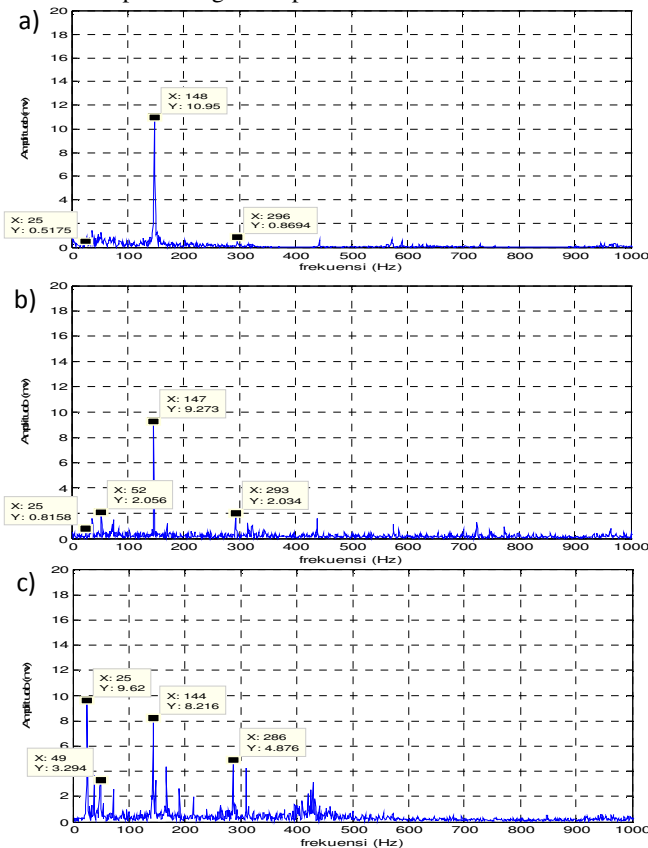
Gambar 11. Spektrum getaran axial 1500 rpm a) Impeler kondisi baik, b) Impeler rusak ujung sudunya, c) Impeler pecah salah satu sudunya.

Dari spektrum getaran impeler yang mengalami kerusakan pada bagian ujung sudu-sudunya diketahui bahwa, pada frekuensi sudunya terjadi penurunan nilai amplitudo dibandingkan pada nilai amplitudo frekuensi sudu yang terdapat pada impeler kondisi baik yaitu 16,81 mV. Sedangkan pada nilai

amplitudo frekuensi pompa terjadi peningkatan dibanding nilai amplitudo frekuensi pompa pada impeler kondisi baik yaitu 0,3267 mV, seperti yang dapat dilihat pada gambar 11.b di atas.

Pada impeler yang mengalami pecah pada salah satu sudunya yang ditunjukkan pada gambar 11.c, terjadi penurunan nilai amplitudo frekuensi sudu jika dibandingkan dengan nilai amplitudo yang terdapat pada impeler kondisi baik yaitu 15,02 mV, sedangkan nilai amplitudo frekuensi pompa lebih tinggi sebesar 0,5881 mV dan muncul 2x f.sudu sebesar 4,48 mV. Pada spektrum ini juga muncul 2x harmonik frekuensi pompa 50 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 6,141 mV. Jika dilihat pada putaran pompa 1500 rpm arah axial belum memberikan informasi yang cukup untuk deteksi kerusakan karena amplitudo yang muncul pada frekuensi pompa tidak tinggi.

2. Spektrum getaran pada arah horizontal.

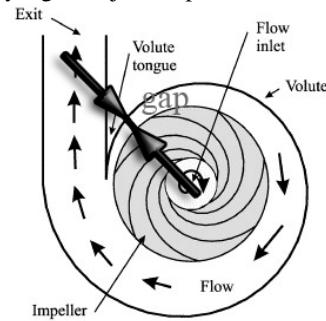


Gambar 12. Spektrum getaran horizontal 1500 rpm, a) Impeler kondisi baik, b) Impeler rusak ujung sudunya, c) Impeler pecah salah satu sudunya.

Gambar 12.a merupakan spektrum getaran pada impeler kondisi baik putaran 1500 rpm dan arah sensor horizontal, dapat dilihat spektrum yang dihasilkan terlihat halus dan tidak banyak muncul amplitudo yang tinggi pada frekuensi getarannya kecuali pada frekuensi sudu sebesar 10,95 mV, ini menandakan pompa dalam keadaan baik dan tidak terjadi suatu masalah pada impelernya. Tingginya

nilai amplitudo frekuensi sudu yang dihasilkan impeler kondisi baik disebabkan karena impeler tersebut mempunyai radial clearance yang kecil terhadap volute.

Gambar 12.b adalah spektrum getaran pada impeler yang mengalami kerusakan pada bagian ujung sudu-sudunya, terjadi penurunan nilai amplitudo frekuensi sudu dibandingkan pada amplitudo yang terdapat pada impeler kondisi baik yaitu 9,27 mV dan muncul 2 x f.sudu sebesar 2,03 mV. Menurunnya nilai amplitudo frekuensi sudu ini disebabkan karena bertambahnya gap (radial clearance) antara sudu impeler terhadap volute seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Gap antara volute dan impeler

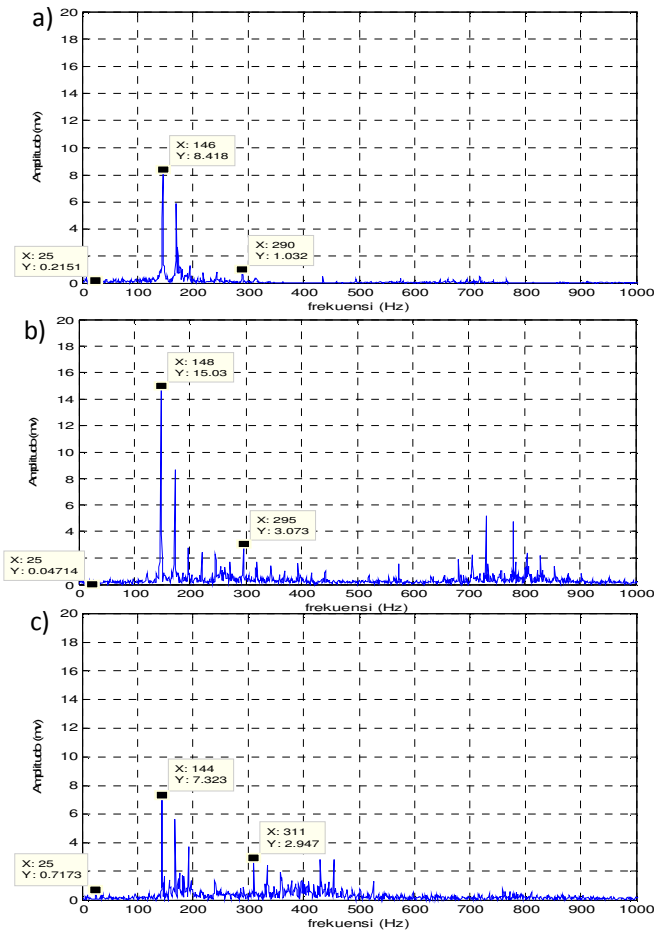
Sedangkan pada frekuensi pompanya mengalami peningkatan dari pada nilai amplitudo impeler kondisi baik yaitu 0,85 mV, dan 2 x f.pompa sebesar 2,05 mV. Peningkatan amplitudo frekuensi pompa ini disebabkan karena besarnya gaya unbalance pada impeler yang mengalami kerusakan.

Pada impeler yang mengalami kerusakan pecah pada salah satu sudunya, memiliki nilai amplitudo frekuensi sudu yang lebih rendah dibandingkan pada nilai amplitudo yang terdapat pada impeler kondisi baik yaitu 8,216 mV dan muncul 2 x f.sudu sebesar 4,87 mV, tetapi pada nilai amplitudo frekuensi pompanya terjadi peningkatan daripada nilai amplitudo frekuensi pompa impeler kondisi baik dan impeler yang mengalami kerusakan pada bagian ujung sudu-sudunya sebesar 9,62 mV dan muncul 2 x f.pompa sebesar 3,29 mV seperti yang terlihat pada spektrum getaran Gambar 12.c.

Peningkatan yang nilai amplitudo yang besar pada frekuensi pompa (1 x rpm) menandakan adanya suatu masalah pada impeler pompa sentrifugal karena besarnya gaya unbalance pada impeler yang mengalami pecah pada salah satu sudunya.

Pada putaran pompa 1500 rpm arah radial (horizontal) ini sudah memberikan informasi yang cukup untuk deteksi kerusakan yang dapat dilihat perbedaan antara ketiga spektrum di atas. Peningkatan amplitudo pada frekuensi pompa 25 Hz yang cukup tinggi pada impeler yang mengalami kerusakan pada bagian ujung sudu-sudunya dan impeler yang mengalami pecah pada salah satu sudunya menandakan adanya kerusakan pada bagian sudunya menandakan adanya kerusakan pada bagian impeler pompa sentrifugal.

3. Spektrum getaran pada arah vertikal.



Gambar 14. Spektrum getaran vertikal 1500 rpm, a) Impeler kondisi baik, b) Impeler rusak ujung sudunya, c) Impeler pecah salah satu.

Gambar 14.b adalah spektrum getaran pada impeler yang mengalami kerusakan pada bagian ujung sudu-sudunya, pada frekuensi sudunya terjadi peningkatan nilai amplitudo dibanding nilai amplitudo yang terdapat pada impeler kondisi baik yaitu 15,03 mV dan nilai frekuensi pompa sedikit lebih rendah dari pada nilai amplitudo impeler kondisi baik yaitu 0,04714 mV.

Pada spektrum getaran impeler yang mengalami pecah pada salah satu sudunya, terjadi penurunan nilai amplitudo frekuensi sudu dibandingkan pada amplitudo yang terdapat pada impeler kondisi baik dan impeler yang mengalami kerusakan pada bagian ujung sudu-sudunya yaitu 7,323 mV, tetapi memiliki nilai amplitudo frekuensi pompa yang lebih tinggi sebesar 0,7173 mV. kondisi ini dapat ditunjukkan pada gambar 14.c.

Pada arah vertikal ini banyak muncul frekuensi-frekuensi lain yang mungkin disebabkan oleh komponen lain atau resirkulasi dan aliran turbulen. Artinya pada putaran pompa 1500 rpm arah vertikal juga belum memberikan informasi yang cukup untuk

deteksi kerusakan karena amplitudo yang muncul pada frekuensi pompa tidak tinggi.

Pembahasan

Dari hasil pengolahan sinyal getaran, menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara spektrum getaran pompa sentrifugal yang dihasilkan oleh impeler kondisi baik dan spektrum getaran pompa sentrifugal yang dihasilkan impeler yang mengalami kerusakan pada bagian ujung sudu-sudunya atau pada impeler yang mengalami pecah pada salah satu sudunya. Perbedaan ini ditunjukkan oleh besarnya nilai amplitudo pada frekuensi pompa dan frekuensi sudu. pada 1500 rpm, informasi kerusakan impeler pompa sentrifugal sudah dapat diketahui. Peningkatan nilai amplitudo frekuensi pompa pada putaran pompa ini dapat terlihat jelas dan signifikan.

Indikasi kerusakan impeler pompa sentrifugal dapat dilihat pada nilai amplitudo frekuensi pompa dan frekuensi sudu. Seperti yang terlihat pada spektrum sinyal getaran putaran pompa 1500 arah radial horizontal, jika pompa tersebut mengalami kerusakan pada impelernya maka amplitudo yang dihasilkan oleh frekuensi pompa (1x rpm) mengalami peningkatan yang sangat tinggi dibandingkan dengan frekuensi pompa pada impeler kondisi baik. Sedangkan jika amplitudo frekuensi sudu mengalami penurunan dan muncul frekuensi harmoniknya yaitu pada 2x f.sudu dibandingkan dengan amplitudo pada frekuensi sudu impeler kondisi baik, maka impeler tersebut diindikasikan mengalami kerusakan. Penyebab turunnya nilai amplitudo frekuensi sudu pada impeler kondisi rusak adalah berkurangnya radial clearance antara sudu dengan volute akibat terjadinya kerusakan. Tingginya suatu nilai amplitudo frekuensi sudu dipengaruhi oleh jarak atau radial clearance antara sudu yang berputar dengan volute.

Berdasarkan hasil pengujian getaran, dapat diketahui untuk pengukuran getaran atau condition monitoring pompa sentrifugal NS-50 efektif dilakukan pada putaran tinggi dan arah sensor radial horizontal karena spektrum getaran yang dihasilkan dianggap mewakili kondisi pompa yang sebenarnya.

KESIMPULAN

Dari analisa data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan metode analisa getaran, kerusakan pada impeler pompa sentrifugal dapat dideteksi tanpa melakukan pembongkaran pompa.
2. Indikasi kerusakan impeler pompa sentrifugal dapat dilihat dari peningkatan nilai amplitudo frekuensi pompa dan penurunan nilai amplitudo frekuensi sudu.
3. Peningkatan amplitudo frekuensi pompa disebabkan oleh bertambahnya massa *unbalance* pada impeler pompa yang rusak, sedangkan penurunan amplitudo frekuensi sudu disebabkan

bertambahnya *gap* atau jarak sisi luar impeler terhadap *volute*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amit, S., 2012, *Experimental Study on Centrifugal Pump to Determine the Effect of Radial Clearance on Pressure, Pulsation, Vibration and Noise*, IJERA, Vol.2, ISSN: 2248-9622.
- Devi, S., Kumar, L., Shanker, R., dan Prkabaran, 2010, *A Comparative Study Between Vibration and Acoustik Signal in HTC Cooling pump and Chilling Pump*, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, vol.2, No.3, IISN: 1793-8236.
- Energyefficiencyasia.org, 2006, *Pompa dan Sistem Pemompaan*, www.energyefficiencyasia.org, (diakses tanggal 13 agustus 2011).
- Goldman, S., 1999, *Vibration Spektrum Analysis : a Practical Approach*, second edition, Goldman Machinery Dynamics Corporatins., New York.
- Harjanto., 2010, *Vibration on the Chevron Centrifugal Pump*, SNTTM ke-9, UGM, Yogyakarta.
- Hidayat, L., L., G., 2009, *Perawatan Prediktif Penerapan Getaran Mekanis*. LPP UNS dan UNS Press, Surakarta.
- Labour Taber, 2009, *Corrosion Solution*, http://www.labourtaber.com/chemical_pump_appinfo.aspx,(diakses tanggal 9 agustus 2011).
- Ravinda, B., Rajashri, P., dan Kedar, K., 2009, *Vibration and Noise in Centrifugal Pumps- Sources and Diagnosis Methode*, 3rd International Conference on Integrity, Reliability and Failure, Paper Ref: S1163_P0437.
- Spiegel, R., 1982. *Theory and Problems of Probability and Statistics*. Schaum's Outline Series MacGraw Hill Book Company. Singapore.
- Tyler, H., G., Edwadrs, T., 1971, *Pump Application Engineering*, McGraw-hill, Singapore.
- Vibrasi's Blog, 2011, *Tranduser Getaran*, vibrasiblog.blogspot.com/2011/10/bab_iii_tranducer_getaran.html#. (diakses tanggal 9 agustus 2011).
- Zhao, M., Hu, H., Lei, G., dan Zuo, J., 2009, *Vibration Based Fault Diagnosis of Slurry Pump Impellers Usiing Neighbourhood Rough Set Models*, Mechanical Engineering Science, proc. IMechE, Vol 224 Part C: J, JMES1777.