

PENGARUH KECEPATAN OPERASI POMPA SENTRIFUGAL TERHADAP SENSITIFITAS METODE DETEKSI KERUSAKAN IMPELLER BERBASIS PARAMETER STATISTIK DOMAIN WAKTU

Imam Faelasuf¹, Berli Paripurna Kamiel², Sunardi³

¹Masiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jl. Ring Road Selatan, Tamantirto, Kasihan Bantul, Daerah istimewa Yogyakarta 55184

Telp: +62 247 387656, Faks: +62 274 387656

e-mail: imamfaelasuf10@gmail.com

Abstract

One cause of pump performance becomes not maximal is damage to impeller. Impeller is a very important component of centrifugal pump. If the impeller is damaged it will cause a decrease in pump performance or can produce vibrations that can interfere with other mechanical systems. Impeller conditions must be constantly monitored to maintain the performance of a pump. Therefore a method is needed to detect impeller damage on the centrifugal pump.

The method used in this research is to use the vibration monitoring based on time domain statistics parameter. Time domain statistics parameters used in this research are Root Mean Square (RMS), Standard Deviation, Variance, Kurtosis, and Crest Factor. In this research, using 3 impeller conditions, normal impeller, impeller defect level 1, and impeller defect level 2.

Based on the results of research show that the use of time domain statistics such as Standard Deviation, Root Mean Square (RMS), and Variance proved sensitive to detecting impeller damage at high speed. However, the statistical parameters of kurtosis are capable of detecting impeller damage at low speeds, either at impeller defect level 1, or a impeller defect level 2. Whereas, the statistical parameters of the crest factor are not sensitive to detect impeller damage at low speed or high speed..

Keywords: centrifugal pump, impeller, vibration monitoring, statistical parameters, time domain

PENDAHULUAN

Pada industri pompa yang digunakan umumnya banyak menggunakan pompa dengan jenis Pompa Sentrifugal. Pompa sentrifugal termasuk kedalam jenis pompa tekanan dinamis. Menurut sebuah survei yang dilakukan oleh *Presistence Market Research* 2016, New York, pompa sentrifugal melibatkan 90.2% pasar pompa baru dengan total pengeluaran US\$32.18 juta pada akhir tahun 2016 dan diprediksikan akan terus meningkat. Tingginya peminatan akan pompa jenis ini maka penelitian dan pengembangan pada pompa sentrifugal terus dilakukan untuk meningkatkan kinerja pompa dan sisi manufakturnya. Penggunaan pompa sentrifugal yang tinggi pada industri merupakan salah satu hal yang perlu

diperhatikan dalam penggunaannya. Perawatan sangatlah penting demi menjaga produktivitas pompa tetap berjalan optimal.

Banyak faktor yang dapat menyebabkan kinerja pompa menjadi tidak maksimal seperti kavitasi, *misalignment*, *unbalance*, kerusakan pada *impeller* dan kerusakan pada *bearing*. *Impeller* merupakan komponen pompa yang sangat penting perannya. Apabila *impeller* mengalami kerusakan maka akan menyebabkan penurunan performa pompa atau dapat menghasilkan getaran yang dapat mengganggu sistem mekanik lainnya.

Secara umum, teknik perawatan dapat dibagi menjadi tiga kategori salah

satunya adalah *Condition Based Maintenance* (CBM). *Condition Based Maintenance* merupakan program perawatan yang rekomendasi keputusan perawatannya didasarkan pada pengumpulan informasi dari kondisi pengukuran suatu *plant*. *Condition Based Maintenance* merupakan sebuah usaha untuk mengurangi penjadwalan perawatan yang tidak terlalu diperlukan yaitu hanya dilakukan ketika terjadi hal yang tidak normal pada *plant* sehingga dapat mengurangi biaya perawatan.

Kamiel (2013), mendeteksi kesalahan *impeller* dengan menggunakan *multi sensor data collection* dan *principal component analysis*. Getaran dari *impeller* normal dan rusak dikumpulkan dari *Spectra Quest Machinery Fault Simulator*. *Impeller* dirusak dengan cara memotong dua slot pada *blade* di dua lokasi dibagian tengah *blade*, dan empat akselerometer dipasang dibagian *volute* pompa. Empat fitur statistik yang digunakan yaitu (kurtosis, RMS, skewness, dan varians).

Deore (2014), menggunakan *time domain analysis* pada data percepatan motor listrik 2 HP untuk mendapatkan informasi yang membantu membedakan sinyal dari kondisi normal ke kondisi yang cacat. Lima parameter yang digunakan yaitu peak value, RMS value, skewness, crest factor dan kurtosis. Hasil dari percobaan ini adalah bahwa melalui analisis domain waktu, kita dapat dengan mudah membedakan sinyal dari kondisi normal menjadi cacat.

Dari uraian diatas maka penelitian ini akan menggunakan metode yang lebih sederhana dari penelitian terdahulu tanpa harus membutuhkan orang yang ahli untuk menganalisis. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan analisis statistik domain waktu berbasis sinyal getaran, diantaranya *Root Mean Square* (RMS), *Standard Deviation*, *Variance*, *Kurtosis*, dan *Crest Factor*. Harapannya dengan menggunakan metode tersebut dapat mendeteksi secara lebih sensitif kerusakan *impeller* pada pompa sentrifugal.

LANDASAN TEORI

Dalam mendiagnosis kerusakan pada *impeller* banyak metode deteksi yang telah dikembangkan. Salah satu metode yang telah digunakan dan dikembangkan dalam mendeteksi kerusakan/cacat pada komponen pompa sentrifugal adalah dengan deteksi getaran. Dalam menganalisa data getaran, disebutkan bahwa ada beberapa metode yang umum digunakan diantaranya adalah dengan mempresentasikannya menjadi domain frekuensi dan domain waktu.

Menurut Sakhivel (2010), meneliti tentang *Vibration based fault diagnosis of monoblock centrifugal pump using decision tree*. Dalam penelitian ini menggunakan 2 *impeller* yang berdiameter 125 mm terbuat dari besi tuang. *Impeller* yang digunakan yaitu *impeller* baru dan dianggap bebas dari cacat. Sedangkan *impeller* yang satunya menggunakan *impeller* cacat yang dibuat dengan membuang sebagian kecil logam melalui proses pemesinan. Sinyal *time domain* dapat digunakan untuk melakukan diagnosis kesalahan dengan menganalisis sinyal getaran yang diperoleh dari percobaan. Parameter yang dipilih sebagai dasar penelitian yaitu *standard error*, *standard deviation*, *sample variance*, *kurtosis*, *skewness*, *range*, *minimum value*, *maximum value*, *sum*. Hasil dari penelitian ini bahwa sinyal getaran adalah kandidat yang baik untuk aplikasi praktis diagnosis kesalahan pompa sentrifugal.

Abdulkareem (2014), meneliti efektivitas dari parameter statistik domain waktu yang mendeteksi kerusakan *impeller*. Awalnya, getaran pompa sentrifugal diukur pada kondisi sehat dan dibandingkan dengan sembilan retakan buatan yang berbeda yang berada pada setiap *blades* *impeller*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya ukuran retak *impeller*, nilai indeks parameter domain waktu meningkat.

Deore (2014), menggunakan *time domain analysis* pada data percepatan motor listrik 2 HP untuk mendapatkan informasi yang membantu membedakan

sinyal dari kondisi normal ke kondisi yang rusak. Lima parameter yang digunakan yaitu peak value, RMS value, skewness, crest factor dan kurtosis. Hasil dari percobaan ini adalah bahwa melalui analisis domain waktu, kita dapat dengan mudah membedakan sinyal dari kondisi normal menjadi rusak.

Kamiel (2013) , mendeteksi kesalahan *impeller* dengan menggunakan *multi sensor data collection* dan *principal component analysis*. Getaran dari *impeller* normal dan rusak dikumpulkan dari *Spectra Quest Machinery Fault Simulator*. *Impeller* dirusak dengan cara memotong dua slot pada *blade* di dua lokasi dibagian tengah *blade*, dan empat akselerometer dipasang dibagian *volute* pompa. Empat fitur statistik yang digunakan yaitu (kurtosis, RMS, skewness, dan varians). Dari hasil penelitian menunjukkan hasil yang konsisten dalam mendeteksi kondisi *impeller* yang salah yang ditunjukkan oleh nilai yang melebihi batas kontrol.

Dalam pengukuran getaran pada permesinan terdapat alat yang digunakan untuk mengambil getaran dan sebagai input dari pengolahan data getaran yaitu *transducer*. Secara umum, sinyal getaran diperoleh dengan menggunakan *transducer* tertentu, seperti *accelerometer*. Fitur getaran domain waktu dapat diekstraksi dengan menggunakan statistik deskriptif seperti standar deviasi, kurtosis, *Root Mean Square* (RMS), *variance*, dan *crest factor*.

Standar deviasi menunjukkan berapa banyak dispersi kumpulan data (sampel) dari *mean*-nya. Standar deviasi yang rendah menunjukkan bahwa sampel mendekati mean, sedangkan standar deviasi yang tinggi menunjukkan bahwa sampel yang tersebar dari mean. Standar deviasi juga dapat dianggap sebagai ukuran isi kekuatan sinyal (Sakthivel, 2010). Standar deviasi didefinisikan sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N-1}\right)} \dots\dots\dots (1)$$

Kurtosis menunjukkan bentuk data atau sinyal apakah itu datar atau runcing. Sebuah komponen normal (tidak ada kesalahan) sering memberikan keruncingan yang sangat rendah, sementara komponen yang rusak memiliki kurtosis yang tinggi yang disebabkan oleh spikiness sinyal (Kamiel, 2015). Kurtosis didefinisikan sebagai berikut:

$$k = \frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^4}{(\sigma^2)^2} - 3 \dots\dots\dots (2)$$

RMS merupakan indikator tingkat energi atau tingkat daya dari sinyal getaran. Hal ini juga dikenal sebagai mean kuadrat sinyal dan menunjukkan tingkat energy sinyal keseluruhan (Latuny, 2013). RMS didefinisikan sebagai berikut:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N x_j^2}{N}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana *N* merupakan jumlah dari titik sinyal data, \bar{x} adalah rata-rata dari nilai total sinyal dan x_j merupakan kolom data (Brandt 2010)

Dalam bidang statistika, *variance* merupakan nilai kuadrat dari standar deviasi (σ^2) rumus didefinisikan sebagai berikut :

$$Var(X) = \sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} (x - \bar{x})^2 \dots\dots\dots (4)$$

Crest factor merupakan pengukuran statistika yang cukup banyak digunakan dalam analisis sinyal. Parameter ini didefinisikan sebagai rasio nilai absolut maksimum dari nilai RMS sinyal. Jika sebuah sinyal $x(n)$, dengan rata-rata nol maka fungsi *crest factor* dapat didefinisikan sebagai persamaan berikut:

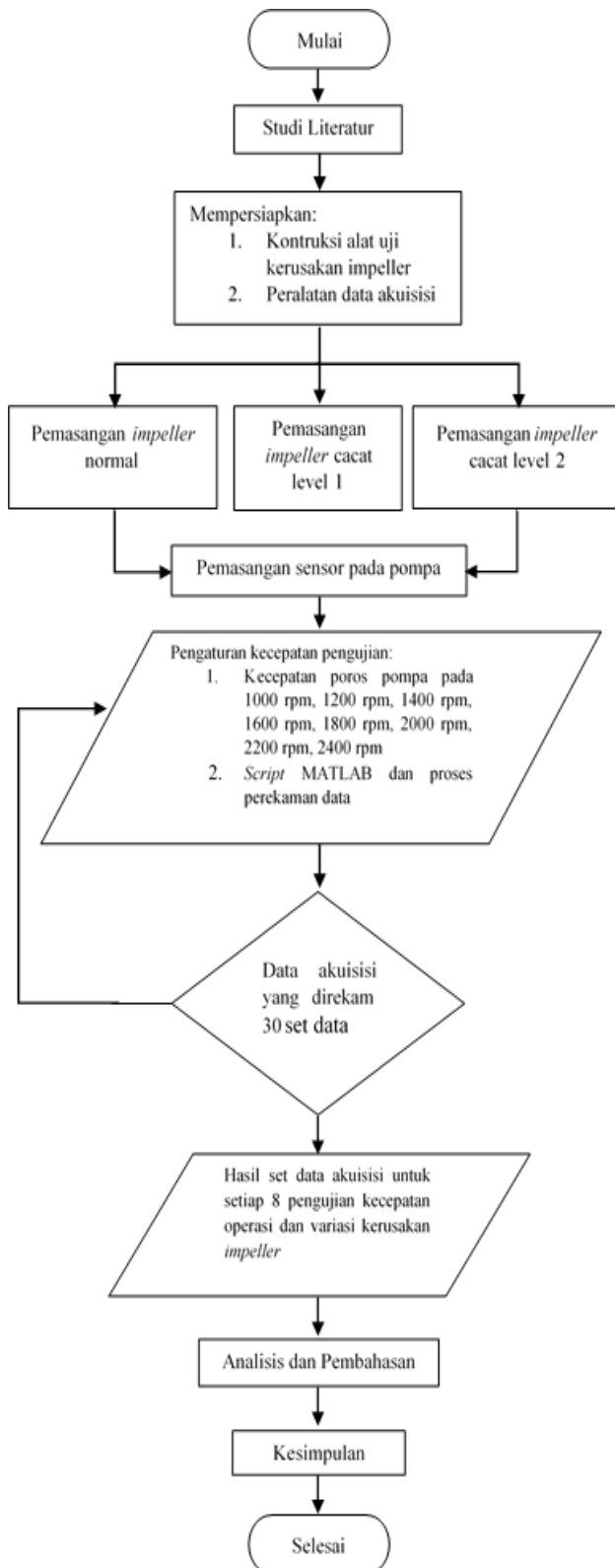
$$C_f = \frac{\max(|x(n)|)}{\sigma} \dots\dots\dots (5)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian dirancang untuk bisa memformulasikan diagnosa kerusakan *impeller* pada pompa sentrifugal dengan analisa sinyal getaran. Untuk mencapai tujuan ini, penelitian kerusakan *impeller* membutuhkan sebuah *impeller* normal dan *impeller* cacat yang dipasang pada sebuah alat uji.

Diagram Alir Penelitian

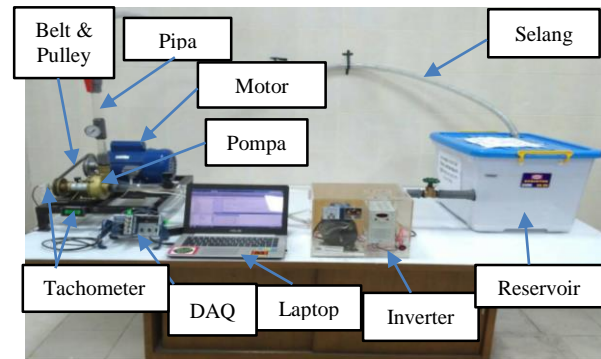
Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian yang digunakan sebagai gambaran rangkaian kegiatan penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

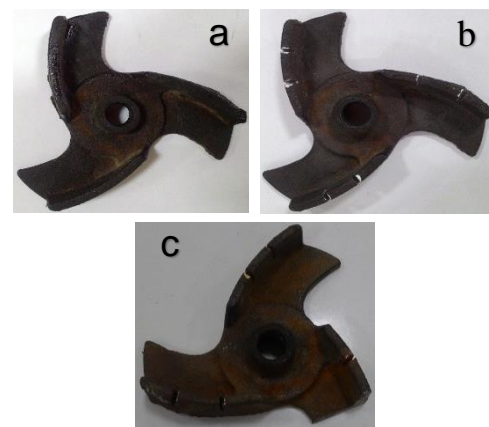
Alat dan Bahan Penelitian

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji berupa pompa sentrifugal dengan pengambilan data getaran yang diuji secara bergantian pada *impeller* pompa sentrifugal.



Gambar 2. Skema alat uji penelitian

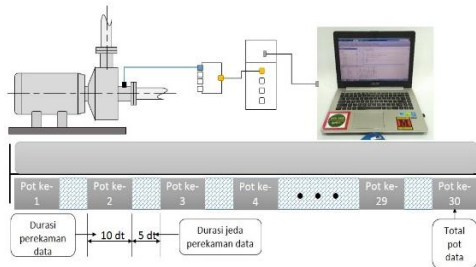
Alat uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu pompa sentrifugal yang digerakan oleh motor listrik. Seperti pada Gambar 2 daya motor listrik disalurkan ke pompa melalui mekanisme belt-pulley. Pulley yang digunakan pada motor listrik berukuran 5 inch sedangkan pulley yang digunakan pada pompa sentrifugal berukuran 3,5 inch. Pulley dan belt berfungsi sebagai mekanisme penggerak antara putaran yang dihasilkan dari motor listrik yang akan di salurkan ke pompa sentrifugal



Gambar 3. Impeller

Dalam penelitian ini menggunakan tiga buah *impeller*, dalam keadaan normal, keadaan cacat pada bagian blades, dan salah satu bladesnya dipotong seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (a) (b) (c).

Adapun Gambar 4 merupakan skematik rangkaian pemasangan *accelerometer* dan akuisisi data yang digunakan dalam merekam getaran pompa sentrifugal. Rekaman data yang didapat dari setiap proses akan diolah dan di proses pada program Matlab.



Gambar 4. Skematik pengambilan data

Sistem akuisisi data diatur pada sampling rate sebesar 17066 Hz dan lama perekaman tiap set data adalah 10 detik dengan jeda antar perekaman adalah 5 detik. Sistem akuisisi data terhubung ke sebuah komputer melalui software NI MAX yang telah terintegrasi pada Matlab sehingga pengaturan parameter akuisisi data dapat dilakukan dengan mudah.

Pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan analisis parameter statistik domain waktu, diantaranya *Root Mean Square (RMS)*, *Standard Deviation*, *Crest Factor*, *variance*, dan kurtosis. Sinyal getaran yang telah disimpan pada komputer diekstrak parameter statistiknya menggunakan program MATLAB versi R2015a. Tabel 1. merupakan perintah MATLAB yang digunakan untuk parameter statistik yang disebutkan sebelumnya.

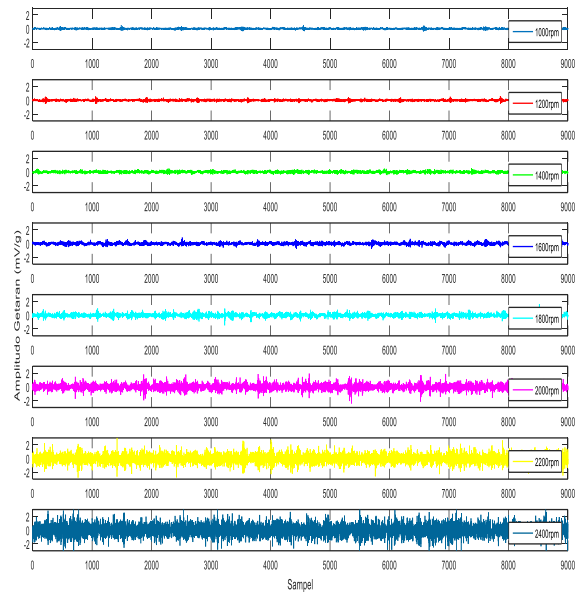
Tabel 1. spesifikasi parameter statistik pada perintah MATLAB

Parameter	Perintah MATLAB
Standar Deviation	std
Variance	var
Root Mean Square	rms
Crest Factor	peak2rms
Kurtosis	kurtosis

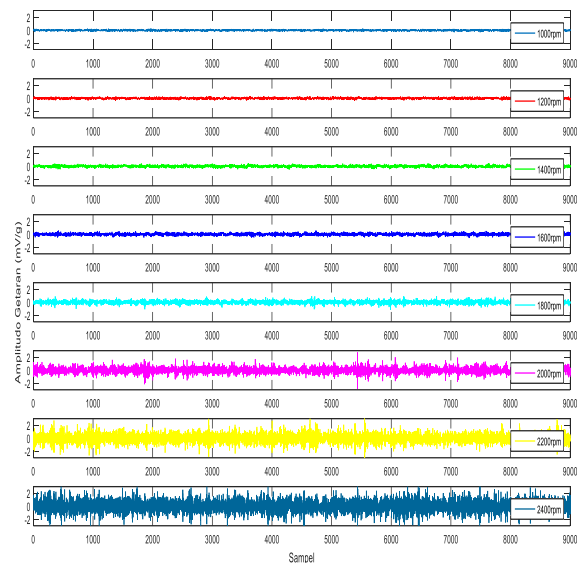
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian diperoleh dari sinyal getaran *impeller* pada pompa sentrifugal dengan kondisi *impeller* normal, *impeller* kondisi cacat pada bagian *blade* (*impeller* cacat level 1), dan *impeller* dengan kondisi salah satu *blade*-nya dipotong (*impeller* cacat level 2).

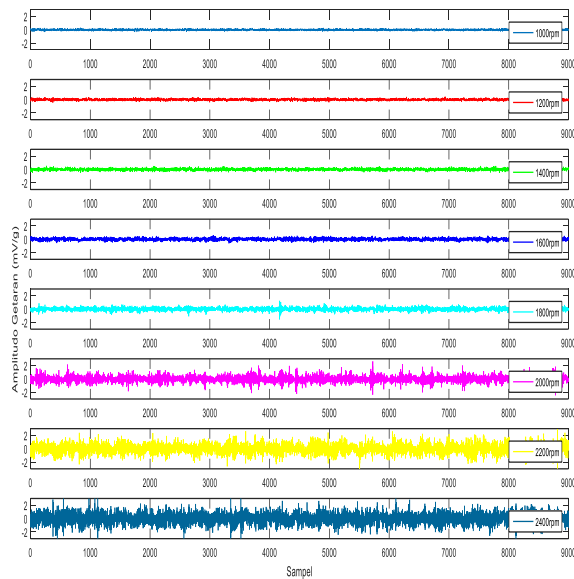
Sinyal getaran dari hasil pengukuran getaran *impeller* pada pompa sentrifugal diperoleh dalam domain waktu.



Gambar 5. Sinyal getaran domain waktu pada kecepatan 1000-2400 RPM *impeller* normal



Gambar 6. Sinyal getaran domain waktu pada kecepatan 1000-2400 RPM *impeller* cacat level 1



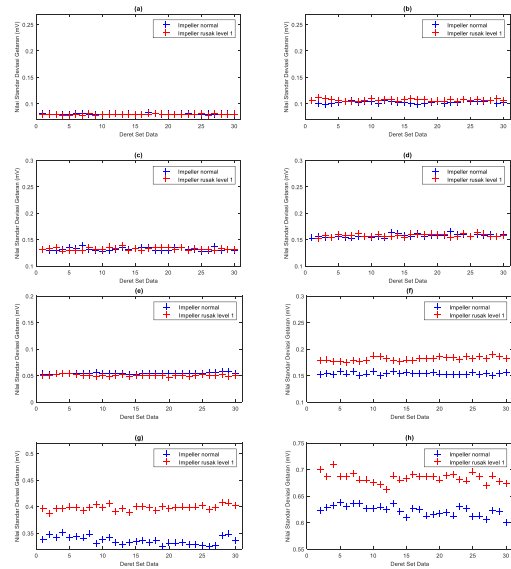
Gambar 7. Sinyal getaran domain waktu pada kecepatan 1000-2400 RPM impeller cacat level 2

Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 merupakan tipikal domain waktu dari *plotting* data getaran pada kecepatan operasi 1000-2400 RPM dengan variasi kerusakan *impeller*. Dalam mendukung analisis yang dilakukan pada domain waktu, parameter statistik sering kali dilakukan untuk memperjelas perubahan yang terjadi akibat kerusakan *impeller* seperti standar deviasi, *variance*, RMS, kurtosis, dan *crest factor*.

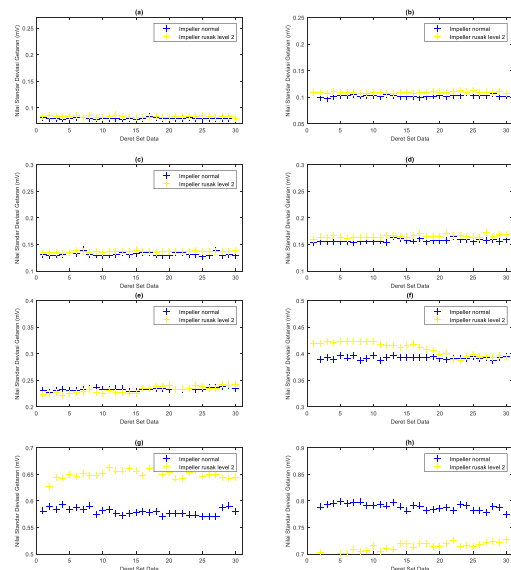
Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan parameter statistik yang menunjukkan berapa banyak dispersi kumpulan data (sampel) dari *mean*-nya.

Pada Gambar 8 menunjukkan perbedaan grafik *impeller* kondisi normal dengan *impeller* kondisi cacat level 1. Pada grafik terdapat simbol berwarna biru yang menunjukkan data *impeller* kondisi normal, sedangkan simbol berwarna merah menunjukkan data *impeller* kondisi cacat level 1. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 dapat dikatakan bahwa standar deviasi tidak sensitif untuk mendeteksi kerusakan *impeller* level 1 pada kecepatan rendah.



Gambar 8. (a) Standar deviasi pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM



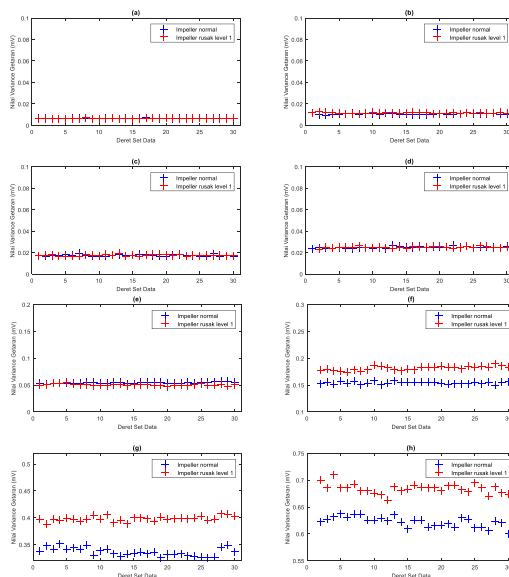
Gambar 9. (a) Standar deviasi pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM

Jika dilihat pada Gambar 9 menunjukkan perbedaan grafik antara *impeller* normal dengan *impeller* kondisi cacat level 2. Pada grafik tersebut terdapat simbol berwarna biru yang menunjukkan data *impeller* normal, sedangkan yang berwarna kuning merupakan simbol untuk data *impeller* kondisi cacat level 2.

Dari Gambar 8 dan Gambar 9 dapat dikatakan bahwa *impeller* cacat level 1 dan *impeller* cacat level 2 dideteksi pada kecepatan yang sama yaitu pada kecepatan 2000 RPM. Jadi standar deviasi tidak sensitif untuk mendeteksi kerusakan *impeller* level 1 dan level 2 pada kecepatan rendah.

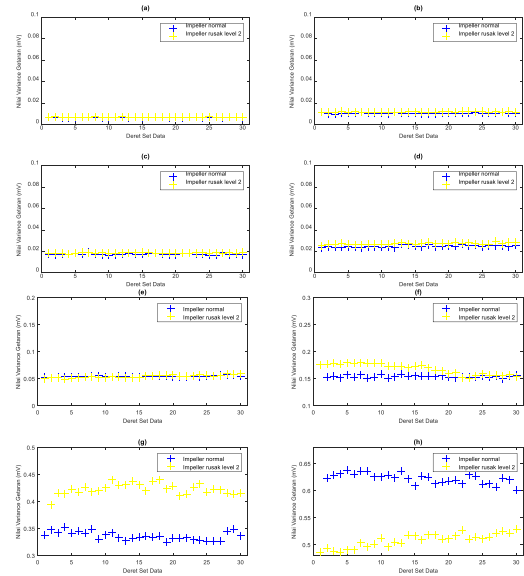
Variance

Variance merupakan parameter yang digunakan untuk melihat seberapa besar keberagaman suatu kelompok data. Gambar 10 menunjukkan perbedaan grafik *impeller* kondisi normal dengan *impeller* kondisi cacat level 1. Pada grafik terdapat simbol berwarna biru yang menunjukkan data *impeller* kondisi normal, sedangkan simbol berwarna merah menunjukkan data *impeller* kondisi cacat level 1.



Gambar 10. (a) Variance pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM

Jika dilihat pada gambar Gambar 11 menunjukkan perbedaan grafik *variance* antara *impeller* normal dengan *impeller* kondisi cacat level 2. Pada grafik tersebut terdapat simbol berwarna biru yang menunjukkan data *impeller* normal, sedangkan simbol berwarna kuning merupakan simbol untuk data *impeller* kondisi cacat level 2.

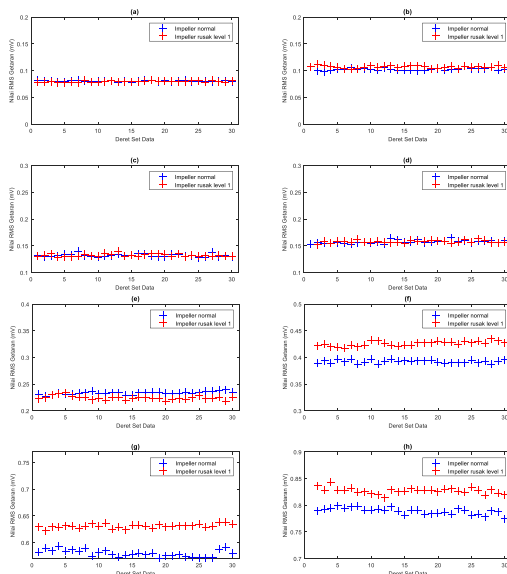


Gambar 11. (a) Variance pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM

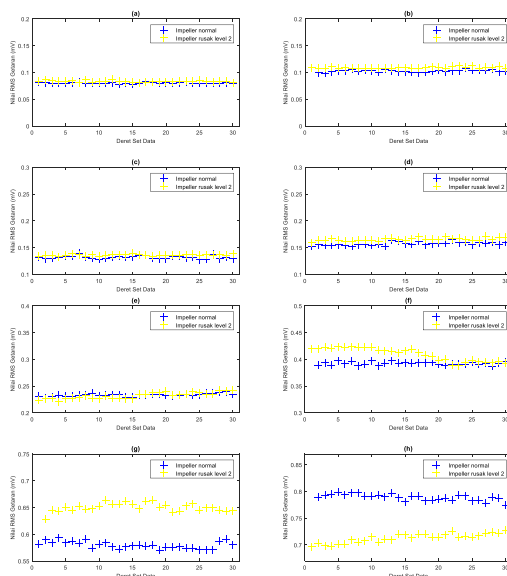
Dari peninjauan yang dilakukan bahwa *variance* tidak sensitif untuk mendeteksi kerusakan *impeller* level 1 dan *impeller* level 2 pada kecepatan rendah. Hasil yang diperoleh adalah kerusakan *impeller* level 1 dan kerusakan *impeller* level 2 dideteksi pada kecepatan yang sama yaitu 2000 RPM.

Root Mean Square (RMS)

RMS merupakan indikator tingkat energi atau tingkat daya dari sinyal getaran. Hal ini juga dikenal sebagai mean kuadrat sinyal dan menunjukkan tingkat energy sinyal keseluruhan. Pada Gambar 12 merupakan distribusi nilai RMS terhadap pengolahan 30 set data pada variasi kecepatan operasi. Pada Gambar 12 menunjukkan perbedaan grafik *impeller* kondisi normal dengan *impeller* kondisi cacat level 1. Pada grafik terdapat simbol berwarna biru yang menunjukkan data *impeller* kondisi normal, sedangkan simbol berwarna merah menunjukkan data *impeller* kondisi cacat level 1.



Gambar 12. (a) RMS pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM



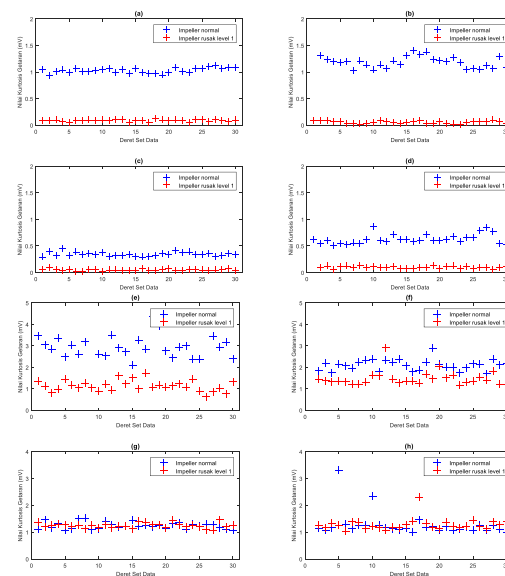
Gambar 13. (a) RMS pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM

Pada Gambar 13 menunjukkan perbedaan grafik RMS antara *impeller* normal dengan *impeller* kondisi cacat level 2. Pada grafik tersebut terdapat simbol berwarna biru yang menunjukkan data *impeller* normal, sedangkan yang berwarna kuning merupakan simbol untuk data *impeller* kondisi cacat level 2.

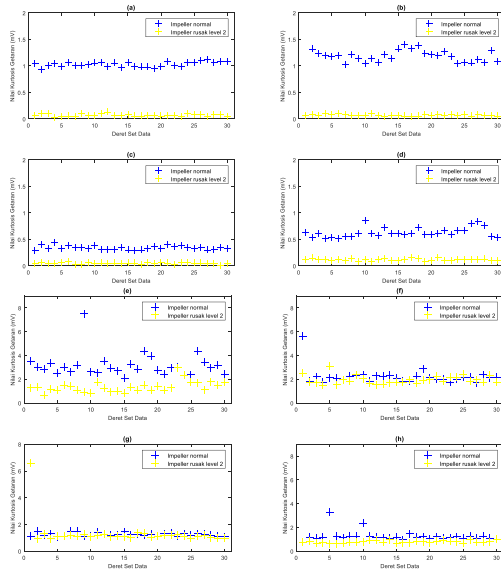
Dari peninjauan yang dilakukan bahwa RMS peka mendeteksi kerusakan *impeller* cacat level 1 maupun *impeller* cacat level 2 pada kecepatan tinggi. Hasil yang diperoleh adalah pada kecepatan 1000-1800 RPM operasi pompa belum menunjukkan nilai perbandingan yang signifikan antara *impeller* cacat dengan *impeller* normal. Kerusakan *impeller* level 1 dan kerusakan *impeller* level 2 dideteksi pada kecepatan yang sama yaitu pada kecepatan 2000 RPM.

Kurtosis

Kurtosis didefinisikan sebagai momen keempat dari distribusi amplitudo yang mengukur "puncak" dan "titik terendah" distribusi dibandingkan dengan distribusi normal. Pada Gambar 14 menunjukkan distribusi dari nilai kurtosis *impeller* kondisi normal dan nilai kurtosis *impeller* kondisi cacat level 1 pada kecepatan operasi 1000 RPM sampai 2400 RPM. Pada Gambar 15 merupakan distribusi dari nilai kurtosis *impeller* kondisi normal dengan *impeller* kondisi cacat level 2 pada kecepatan operasi 1000 RPM sampai 2400 RPM.



Gambar 14. (a) Kurtosis pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM



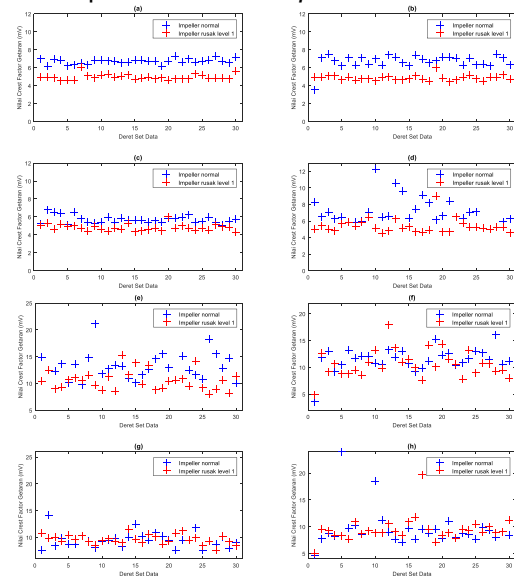
Gambar 15. (a) Kurtosis pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM

Jika dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15 pada kecepatan rendah beda antara nilai kurtosis *impeller* kondisi cacat level 1 maupun nilai kurtosis *impeller* kondisi cacat level 2 terlihat jelas. Akan tetapi pada kecepatan tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan 15 nilai kurtosis tercampur baik itu *impeller* kondisi cacat level 1 maupun *impeller* kondisi cacat level 2. Dari hal ini dapat dikatakan bahwa kurtosis peka terhadap perbedaan kondisi *impeller* normal dengan kondisi *impeller* cacat 1 maupun *impeller* cacat 2.

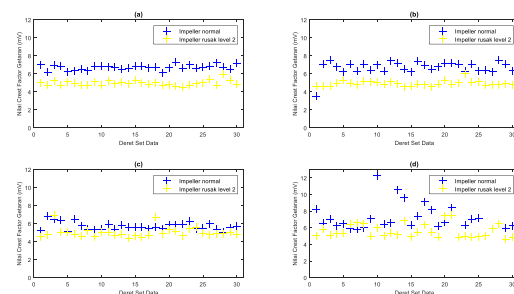
Crest Factor

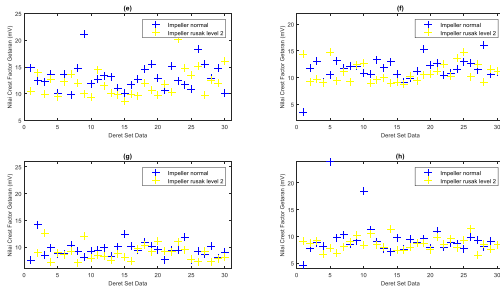
Crest Factor atau faktor puncak didefinisikan sebagai nilai puncak dibagi dengan nilai RMS dari sinyal getaran. Dikarenakan oleh tingginya sensitifitas yang dihasilkan oleh nilai puncak dan rendahnya sensitifitas dari nilai RMS terhadap ketidakstabilan domain waktu membuat faktor puncak sangat sensitif terhadap pengaruh perubahan operasi kerja (Luo *et al.*, 2015). Pada Gambar 16 dan Gambar 17 menunjukkan distribusi dari nilai *Crest Factor* pada kecepatan 1000 RPM sampai 2400 RPM. Pada grafik terdapat simbol berwarna biru yang menunjukkan data *impeller* kondisi normal, sedangkan simbol berwarna

merah menunjukkan data *impeller* kondisi cacat level 1. Pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 merupakan distribusi dari nilai *crest factor impeller* kondisi cacat level 2 dengan nilai *crest factor impeller* kondisi normal pada kecepatan operasi 1000 RPM sampai 2400 RPM. Dari grafik *crest factor* dapat dikatakan bahwa *crest factor* tidak peka terhadap perbedaan kondisi *impeller* normal dengan *impeller* kondisi cacat karena plotnya berada pada satu baris atau tercampur jadi tidak bisa untuk mendeteksi kerusakan *impeller* baik itu kerusakan *impeller* level 1 maupun kerusakan *impeller* level 2.



Gambar 16. (a) *Crest Factor* pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM





Gambar 17. (a) Crest Factor pada kecepatan poros 1000 RPM; (b) 1200 RPM; (c) 1400 RPM; (d) 1600 RPM; (e) 1800 RPM; (f) 2000 RPM; (g) 2200 RPM; (h) 2400 RPM

Ringkasan Hasil

Dalam pengujian sensitifitas dan deteksi kerusakan *impeller* pada pompa sentrifugal dengan menggunakan metode statistik domain waktu dapat dilihat pada Tabel 2 Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa dari masing-masing parameter statistik domain waktu memiliki kemampuan tersendiri untuk mendeteksi kerusakan *impeller* diantaranya sebagai berikut :

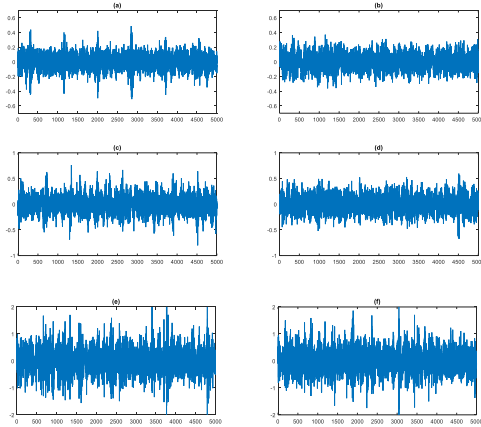
1. Pada parameter statistik Standar Deviasi, *Variance*, dan RMS sama-sama tidak peka mendeteksi pada kecepatan rendah, karena energinya masih rendah jadi beda antara yang normal dan yang cacat tidak jelas terlihat, dan jika dilihat dari persamaannya antara Standar Deviasi, *Variance* dan RMS memiliki kemiripan persamaan maka secara otomatis mempunyai nilai yang tidak

jauh berbeda antara satu dengan yang lainnya seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.7, 2.8, dan 2.9, akan tetapi pada kecepatan tinggi peka untuk mendeteksi kerusakan *impeller* karena pada kecepatan tinggi energi yang dihasilkan besar maka amplitudo yang dihasilkan pun juga besar jadi beda antara *impeller* normal dan *impeller* cacat bisa terlihat

2. Kurtosis menunjukkan bentuk data atau sinyal apakah itu datar atau runcing. Sebuah komponen normal (tidak ada kesalahan) sering memberikan keruncingan yang sangat rendah, sementara komponen yang cacat memiliki kurtosis yang tinggi yang disebabkan oleh spikiness sinyal (Kamiel, 2015).

Table 2 Hasil kemampuan parameter statistik domain waktu untuk mendeteksi kerusakan *impeller* dari variasi kecepatan

Kemampuan mendeteksi kerusakan <i>impeller</i>								
	Kec. 1000 RPM	Kec. 1200 RPM	Kec. 1400 RPM	Kec. 1600 RPM	Kec. 1800 RPM	Kec. 2000 RPM	Kec. 2200 RPM	Kec. 2400 RPM
STD	x	x	x	x	x	✓	✓	✓
Variance	x	x	x	x	x	✓	✓	✓
RMS	x	x	x	x	x	✓	✓	✓
Kurtosis	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
Crest F	x	x	x	x	x	x	x	x



Gambar 18 Grafik domain waktu untuk (a) *impeller* normal pada kecepatan rendah (b) *impeller* cacat pada kecepatan rendah (c) *impeller* normal pada kecepatan sedang (d) *impeller* cacat pada kecepatan sedang (e) *impeller* normal pada kecepatan tinggi (f) *impeller* cacat pada kecepatan tinggi

Jika dilihat pada gambar 18, pada kecepatan rendah seperti yang ditunjukkan pada gambar (a) dan (b) terlihat jelas perbedaannya, pada grafik (a) terlihat lebih runcing dibandingkan grafik (b). Begitu pula pada kecepatan sedang seperti yang ditunjukkan Gambar 18 (c) dan (d), pada grafik (c) terlihat lebih runcing dibandingkan grafik (d), karena kurtosis akan peka jika grafiknya runcing. Berbeda pada kecepatan tinggi grafik yang dihasilkan hampir sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18 (e) dan (f). Dari hal tersebut maka kurtosis akan peka pada kecepatan rendah.

3. Pada parameter statistik crest faktor dapat dikatakan tidak peka terhadap perbedaan kondisi *impeller* normal dengan *impeller* kondisi rusak karena plot yang dihasilkan tercampur.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini, penggunaan metode deteksi kerusakan *impeller* berbasis parameter statistik domain waktu seperti Standar Deviasi, *Root*

Mean Square (RMS), dan *Variance* terbukti peka untuk mendeteksi kerusakan *impeller* pada kecepatan tinggi.

2. Parameter statistik kurtosis mampu untuk mendeteksi kerusakan *impeller* pada kecepatan rendah, baik itu pada *impeller* rusak level 1 maupun *impeller* rusak level 2 sedangkan untuk parameter *crest factor* tidak peka untuk mendeteksi kerusakan *impeller* pada kecepatan rendah maupun kecepatan tinggi.
3. 4 parameter statistik yang digunakan mampu mendeteksi kerusakan *impeller* rusak level 1 dan *impeller* rusak level 2 pada kecepatan yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkarem, W., Amuthakkannan, R. & Al-raheem, K.F., 2014. "Centrifugal Pump Impeller Crack Detection using Vibration Analysis." In 2nd International Conference on Research in Science, Engineering and Technology (ICRSET'2014), March 21-22, 2014 Dubai (UAE)
- Aji, K. 2007. "Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding pada Pompa Sentrifugal dengan Analisa Sinyal Getaran". Surakarta : Universitas Sebelas Maret
- Albraik, A., Althobiani, F. & Gu, F., 2012. "Diagnosis of Centrifugal Pump Faults Using Vibration Methods". Journal of Physics: Conference Series 364(2012) 012139
- Brandt, A. 2010. *NOISE AND VIBRATION ANALYSIS SIGNAL ANALYSIS AND*. United Kingdom : John Wiley and Sons.
- Chesterton. 2000. *PUMP PRINCIPLE MANUAL*. Stoneham, Massachusetts, USA.
- Global Market Study on Pumps: *Sales of Centrifugal Pumps to Remain Disproportionately High Throug* 2024. New York: 2016.

- Girdhar, P. 2004. *Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance*. United Kingdom : Elsevier
- Girdhar, P., Octo. M., & Steve. M., 2005. *Practical Centrifugal Pump*. United Kingdom : Elsevier
- Jami, A. 2016. “*Impeller Fault Detection Under Fluctuating Flow Conditions Using Artificial Neural Networks*”. University of Pretoria : Departement of Mechanical and Aeronautical Engineering.
- Kamiel, B., Gareth. F, Rodney. E, Ilyas. M, and Ian. H., 2013. “*Impeller Fault Detetction for a Centrifugal Pump Using Principal Component Analysis of Time Domain Vibration Features*”. Indonesia : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Kamiel, B. 2015. “*Vibration-Based Multi-Fault Diagnosis for Centrifugal Pumps*”. Curtin University: Departement of Mechanical Engineering.
- Latuny, Jonny. 2013. “*A Sensitivity Comparison of Neuro-fuzzy Feature Extraction Methods from Bearing Failure Signals*”. Curtin University: Departement of Mechanical Engineering.
- Randall, R. B. 1974. “Vibration signature analysis – techniques and instrument systems.” In *Noise, Shock and Vibration Conference*. Melbourne, pp. 1-6.
- Sakhtivel, N.R., Sugumuran, V., and Babudevasenapati, S. 2010. “*Vibration based fault diagnosis of monoblock centrifugal pump using decision tree*”. *Expert Systems with Applications* 37 (2010) 4040–4049,
- Shreve, D. H. 1995. “*Signal Processing for Effective Vibration Analysis*”. IRD Mechanalysis Inc, Columbus.
- Sularso dan Tahara. H., 2000. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.