

MENDETEKSI KERUSAKAN BANTALAN DENGAN MENGGUNAKAN SINYAL VIBRASI

Tri Wahyudi¹, Soeharsono², Noor Eddy²

¹Pascasarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

²Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

Jl. Kyai Tapa No.1 Jakarta, Indonesia

E-mail: tri.sugirin@yahoo.com

Abstrak -- Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kerusakan dan karakteristik spektrum vibrasi dari bantalan yang masih bagus, bantalan yang cacat 30% di lintasan dalam, cacat 30% di lintasan luar, cacat 30% di rolling element, dan bantalan yang rusak secara alami. Penelitian dilakukan dengan rig tool menggunakan bantalan 2205-K-2RS-TVH-C3 pada kecepatan 1500rpm, sinyal vibrasi diukur dengan alat FAG Detector III. Selanjutnya dilakukan analisa dengan trendline software. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bantalan dengan kondisi bagus memiliki karakteristik amplitudo velocity dibawah 1.80 mm/s dan spektrum vibrasi FFT velocity dan demodulation of acceleration yang tidak berimpitan dengan garis frekuensi impuls baik BPFI, BPFO dan BSF. Bantalan cacat 30% di lintasan dalam menghasilkan amplitudo velocity yang tinggi. Bantalan cacat 30% di lintasan luar dan cacat 30% di rolling element memiliki amplitudo velocity cenderung bervariasi. Bantalan yang cacat 30% di lintasan dalam, lintasan luar ataupun di rolling element menghasilkan spektrum vibrasi FFT velocity dan demodulation of acceleration dengan garis puncak frekuensi berimpitan dengan garis frekuensi impuls masing-masing BPFI, BPFO atau BSF.

Kata kunci: tingkat kerusakan bantalan, sinyal vibrasi

Abstract -- The aim of this study is to determine the and the spectrum characteristic of bearing vibration is still good, a disabled bearing 30% on the track in, defects in the track beyond 30%, 30% disability in the rolling element, and the pads that broken naturally. The study was conducted by using the tool rig bearings 2205-K-2RS-TVH-C3 at 1500rpm speed, vibration signal is measured by means of FAG Detector III. Further analysis is required trend line software. The results showed that the bearings in good condition has a characteristic velocity amplitude below 1.80 mm/s and vibration FFT spectrum demodulation of velocity and acceleration are not coincident with either impulse frequency line BPFI, BPFO and BSF. Bearing defects 30% on track to produce high velocity amplitude. Bearing defects 30% in outdoor track and disability 30% in the rolling element has velocity amplitude tend to vary. Bearing defective 30% on the track inside, outside or on a rolling track element generates vibration FFT spectrum demodulation of velocity and acceleration to the line frequency peaks coincident with the line frequency impulses of each BPFI, BPFO or BSF.

Keywords: level of bearing damage, vibration signal

PENDAHULUAN

Bantalan adalah komponen yang kritis pada mesin rotasi karena bertugas sebagai tumpuan beban. Penelitian secara berkelanjutan dilakukan oleh *engineer* untuk menghitung umur bantalan dengan beberapa faktor ketelitian, sehingga mampu mengetahui umur bantalan dan umur dengan lebih akurat (Fariha et al, 2008).

Tetapi, bantalan tidak berumur sesuai dengan perhitungan. *Fatigue* di permukaan bantalan terjadi sehingga membatasi kelayakan bantalan beroperasi (Kapidzic et al., 2015). Pada umumnya kegagalan disebabkan kerusakan permukaan bantalan berupa *micro-pitting*, *smearing*, *indentation*, deformasi plastis dan korosi. Akibatnya bantalan mengalami kegagalan dan mesin mengalami kerusakan (*breakdown*)

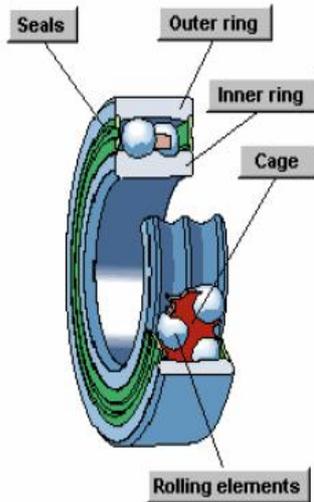
secara mendadak (Purnama dan Ariosuko, 2014). Oleh karena itu sangat penting untuk memonitor kondisi bantalan sehingga mampu memberikan informasi lebih awal kerusakan bantalan (Monavar et al, 2008).

TINJAUAN PUSTAKA

Suhardjono (2005) metode yang paling mutakhir untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan adalah dengan mengukur karakteristik getarannya baik dalam domain waktu maupun domain frekuensi yang terjadi pada arah radial. Percobaan untuk mengetahui dan mempelajari spektrum getaran akibat kerusakan bantalan bola dilakukan pada mesin gerinda bangku dengan mengganti beberapa jenis bantalan yang sengaja dirusak.

Bantalan

Bantalan gelinding terdiri dari komponen dasar yaitu *inner ring*, *outer ring*, *rolling element*, dan *cage* (sangkar) sesuai dengan Gambar 1. Komponen Bantalan Gelinding (Aji, 2007).



Gambar 1. Komponen Bantalan Gelinding, (Kiral, 2002)

Getaran Akibat Cacat Bantalan

Mekanisme terjadinya getaran akibat adanya cacat pada bantalan adalah adanya impuls pada saat elemen tumbukan dengan cacat lokal. Untuk putaran poros yang tetap maka tumbukan akan terjadi secara periodik. Untuk gaya impuls tunggal, maka respon getarannya akan berupa getaran bebas teredam (Lian et al., 2015).

Cacat Lokal pada Lintasan Dalam (*Inner Race*)

Frekuensi eksitasi impuls akibat adanya cacat atau kerusakan lokal pada lintasan dalam disebut *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI), dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$BPFI = \frac{NB}{2} f_r x \left(1 + \frac{Bd}{Pd} x \cos \alpha \right) \quad (1)$$

Dimana,

- Nb : Jumlah bola (*number of balls*)
- f_r : Frekuensi relative antara lintasan dalam dan lintasan luar, Hz.
- Bd : Diamtere bola, mm.
- Pd : Diameter *pitch*
- α : Sudut kontak, derajat.

Cacat Lokal pada Lintasan Luar (*Outer Race*)

Frekuensi eksitasi impuls akibat adanya cacat atau kerusakan lokal pada lintasan luar disebut *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO), dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$BPFO = \frac{NB}{2} f_r x \left(1 - \frac{Bd}{Pd} x \cos \alpha \right) \quad (2)$$

Cacat Lokal pada Bola (*Rolling Element*)

Bila terdapat cacat atau kerusakan lokal pada bola maka implus yang terjadi disebut *Ball Spin Frequency* (BSF), besarnya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Suhardjono, 2005)

$$BSF = \frac{Pd}{2 Bd} f_r x \left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd} x \cos \alpha \right)^2 \right) \quad (3)$$

Tingkat Kerusakan pada Bantalan

Tingkat kerusakan bantalan dapat dideteksi dengan adanya kenaikan amplitude getaran, dimana frekuensi getaran tetap konstan sesuai dengan jenis kerusakan pada komponen yang mana, (Suhardjono, 2005).

Standard yang sering digunakan sebagai indikator tingkat kerusakan getaran adalah ISO10816 (ISO2372), dimana parameter yang diukur adalah kecepatan getaran dan dibandingkan dengan nilai RMS kecepatan berdasarkan klasifikasi daya mesin.

Huruf A, B, C, D pada tabel 1. Tingkat Kerusakan Bantalan ISO10816 adalah zona evaluasi, yaitu:

- a. Zona A, yaitu getaran pada mesin dengan kondisi yang bagus.
- b. Zona B, yaitu getaran pada mesin dengan kondisi yang memuaskan.
- c. Zona C, yaitu getaran pada mesin yang dianggap tidak memuaskan untuk periode waktu yang lama.
- d. Zona D, yaitu nilai getaran yang tidak dapat diterima karena dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin.

METODOLOGI PENELITIAN

Spesifikasi Bantalan

Bantalan yang diuji dalam penelitian ini berjumlah 4 varian, yaitu bantalan 2205-K-2RS-TVH-C3 dengan kondisi masih bagus, cacat 30% di lintasan dalam, cacat 30% di lintasan luar, dan cacat 30% di *rolling element*. Masing-masing varian dilakukan pengujian 3 sampel yang sama. Selanjutnya sebagai validasi dilakukan pengujian pada bantalan 2205-K-2RS-TVH-C3 yang rusak secara alami. Tingkat kerusakan bantalan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat Kerusakan Bantalan ISO10816
(Sumber : ISO 10816)

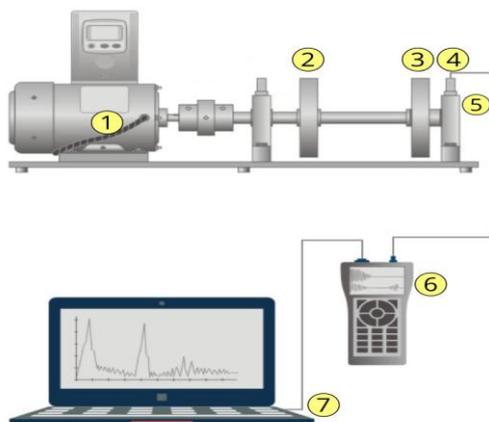
RMS Vibration Velocity	Up to 15kW	15 to 75kW	>75 kW (Rigid)	>75 kW (Soft)
mm/s	Mesin Kelas I	Mesin Kelas II	Mesin Kelas III	Mesin Kelas IV
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71				
1.12	B	B	B	B
1.80				
2.80	C	C	C	C
4.50				
7.10				
11.20	D	D	D	D
18.00				
28.00				
45.00				

Alat Penelitian

Beberapa alat penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut. Pertama adalah motor listrik kapasitas $\frac{1}{2}$ HP (0.186kW) 4 Pole merk MITSUBISHI, yang dilengkapi inverter, *Hook Spanner*, *torque wrench*, dan *stroboscope*. Kemudian, FAG Detector III untuk mengukur vibrasi dari bantalan, gambar 2.3 FAG Detector III. Selain itu, juga digunakan komputer yang terinstall *trend line software*.

Prosedur Pengambilan Data

Setelah bantalan terpasang dan dioperasikan pada kecepatan putar 1500rpm, dilakukan pengambilan data sinyal vibrasi dengan alat FAG detector III, seperti Gambar 2.



Gambar 2. Lay out pengambilan data.

Keterangan Gambar 2 layout pengesetan dari mesin, adalah sebagai berikut:

1. Motor Listrik 1/4HP dilengkapi inverter
2. Roda gila I (*Flywheel*)
3. Roda gila II (*Flywheel*)
4. Accelerometer atau sensor
5. Bantalan
6. FAG Detector III
7. Komputer terinstall *trendline software*

DATA DAN ANALISA

Pada penelitian ini nilai frekuensi impuls (BPFO, BPFI dan BSF) untuk bantalan 2205-K-2RSR-C3 dan *adapter sleeve* H305 sudah tersedia dalam database *software*. Frekuensi impuls bantalan cacat diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Frekuensi impuls bantalan cacat

Frekuensi Impuls	1 x Putaran	2 x Putaran	3 x Putaran
BPFI (Hz)	177.699	355.398	533.097
BPFO (Hz)	122.301	244.602	366.903
BSF (Hz)	64.378	128.756	193.134

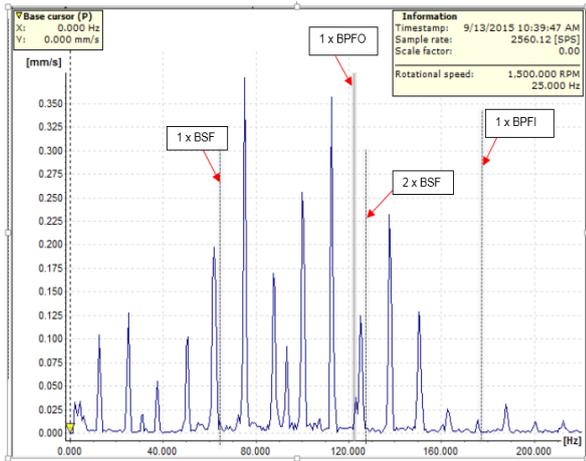
Bantalan Bagus

Berdasarkan data Tabel 2 nilai amplitudo *velocity* RMS dapat disimpulkan bahwa nilai amplitudo dari ketiga sampel bantalan bagus adalah masuk zona A yaitu kondisi bantalan masih bagus. (sesuai Tabel 1. Tingkat Kerusakan Bantalan ISO10816). Data amplitudo pengujian bantalan bagus ditampilkan pada Tabel 3.

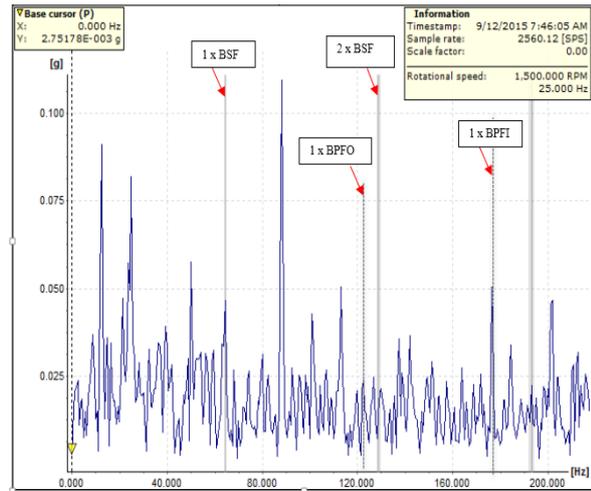
Tabel 3. Data amplitudo pengujian bantalan bagus

	Velocity RMS (mm/s)	Dem. Acceleration (mg)
Sampel 1	0.55	12.17
Sampel 2	0.57	13.42
Sampel 3	0.51	15.12

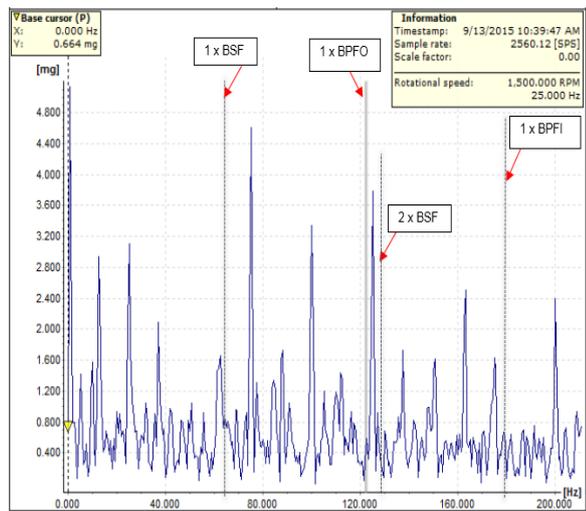
Sesuai Gambar 3 Grafik FFT *Velocity* dan Gambar 4 Grafik FFT *Demodulation of Acceleration* bantalan bagus, bahwa tidak ada puncak frekuensi bantalan yang berimpitan dengan garis BPFO, BPFI, dan BSF. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada indikasi kerusakan atau cacat pada komponen-komponen bantalan. Sehingga kondisi bantalan masih bagus dan dapat dipergunakan sampai jangka waktu lama.



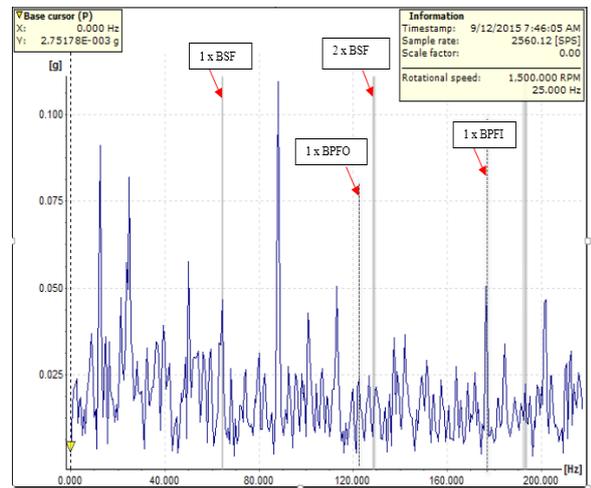
Gambar 3. Grafik FFT Velocity bantalan bagus



Gambar 5. Grafik FFT velocity bantalan cacat 30% di lintasan dalam.



Gambar 4. Demodulation of Acceleration bantalan bagus



Gambar 6. Grafik FFT demodulation of acceleration bantalan cacat 30% di lintasan dalam.

Bantalan Cacat 30% di Lintasan Dalam

Pada pengujian bantalan cacat 30% di lintasan dalam dihasilkan bahwa nilai amplitudo (RMS) masuk kategori C, yaitu tidak memuaskan untuk periode waktu yang lama. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bantalan yang mengalami cacat 30% pada lintasan dalam (*inner race*) sudah rusak dan harus segera diganti untuk menghindari *breakdown* mesin. Data amplitudo cacat 30% di lintasan dalam dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data amplitudo cacat 30% di lintasan dalam

	Velocity RMS (mm/s)	Dem. Acceleration (mg)
Sampel 1	3.24	363.04
Sampel 2	2.48	452.16
Sampel 3	1.82	162.27

Bantalan Cacat 30% di Lintasan Luar

Berdasarkan Tabel 4 nilai amplitudo (RMS) *velocity* yang dihasilkan pada bantalan cacat 30% dilintasan luar adalah bervariasi. Pada sampel 1 nilai amplitudonya masuk kategori D,

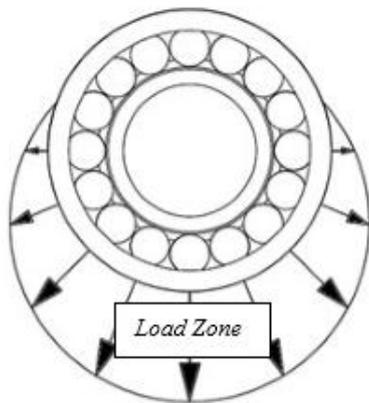
sedangkan pada sampel 2 dan 3 nilai amplitudo bantalan masuk kategori A dan B, yaitu kedua bantalan masih dalam kondisi bagus dan dapat digunakan. Data amplitudo pengujian bantalan cacat 30% di lintasan luar ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data amplitudo pengujian bantalan cacat 30% di lintasan luar

	Velocity RMS (mm/s)	Dem. Acceleration (mg)
Sampel 1	6.03	228.99
Sampel 2	1.00	76.52
Sampel 3	0.62	66.87

Variasi nilai amplitudo yang dihasilkan dari bantalan cacat di lintasan luar ini karena kemungkinan lokasi cacat terletak pada *unload zone* sehingga tidak berpengaruh terhadap tingkat amplitudo getaran bantalan. Adapun posisi *load zone* seperti terlihat pada Gambar 7 Load Zone Bantalan.

Grafik FFT *velocity* dan *demodulation of acceleration* hasil pengujian menunjukkan bahwa adanya garis puncak frekuensi yang berimpitan dengan BPFO sehingga mengindikasikan adanya cacat pada lintasan luar bantalan.



Gambar 7. Load Zone Bantalan

Bantalan Cacat 30% di Rolling Element

Pada pengujian ini dihasilkan nilai amplitudo yang bervariasi. Hal ini karena pada saat pengujian, kemungkinan cacat tidak terjadi pada kedua permukaan *rolling element* yang berkontak dengan lintasan dalam dan lintasan luar bantalan akibatnya *rolling element* tidak berada pada *load zone*. Sehingga terkadang sulit untuk mendeteksi cacat pada rolling element (Trappey et al., 2015).

Berdasarkan Grafik FFT *velocity* dan *Demodulation of Acceleration* bantalan cacat 30% di *rolling element* dapat dilihat bahwa pada terdapat garis puncak frekuensi yang yang

berimpitan dengan garis 1 x BSF. Data amplitudo pengujian bantalan cacat 30% di *rolling element* ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data amplitudo pengujian bantalan cacat 30% di *rolling element*

	Velocity RMS (mm/s)	Dem. Acceleration (mg)
Sampel 1	2.29	576.68
Sampel 2	1.27	779.89
Sampel 3	1.18	406.86

Bantalan Rusak Secara Alami

Sebagai validasi pengujian dilakukan juga pada bantalan yang rusak setelah dipakai selama kurang lebih 7 tahun. Data amplitudo pengujian bantalan rusak alami diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Data amplitudo pengujian bantalan rusak alami

	Velocity RMS (mm/s)	Dem. Acceleration (mg)
Sampel	1.27	779.89

Nilai amplitudo yang dihasilkan masih dalam kondisi yang memuaskan. Namun dari grafik FFT *velocity* dan *demodulation of acceleration* yang dihasilkan muncul garis puncak frekuensi bantalan yang berimpitan dengan garis 1 x BSF. dan 3 x BPFO sehingga hal ini menunjukkan ada cacat pada rolling element dan lintasan luar bantalan. Hal ini terbukti setelah dilakukan inspeksi visual pada bantalannya seperti Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Bantalan rusak secara alami dengan cacat di *rolling element*



Gambar 9. Bantalan rusak secara alami dengan cacat di Lintasan luar

KESIMPULAN

Hasil analisa data penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. Pertama, bantalan kondisi bagus memiliki amplitudo *velocity* dibawah 1.80 mm/s dan spektrum vibrasi FFT *velocity* dan FFT *demodulation of acceleration* yang tidak berimpitan dengan garis frekuensi impuls baik BPF1, BPFO dan BSF.

Bantalan cacat 30% di lintasan dalam akan menghasilkan amplitudo *velocity* yang lebih tinggi dari bantalan dengan kondisi bagus dan spektrum vibrasi FFT *velocity* dan FFT *demodulation of acceleration* dengan garis puncak frekuensi berimpitan dengan BPF1. Kemudian, bantalan yang cacat 30% di lintasan luar dan di *rolling element* menghasilkan amplitudo cenderung bervariasi.

Bantalan yang cacat 30% di lintasan luar dan di *rolling element* akan menghasilkan spektrum vibrasi FFT *velocity* dan FFT *demodulation of acceleration* dengan garis puncak frekuensi berimpitan masing-masing dengan garis frekuensi impuls BPFO dan BSF.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Kunto. *Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding Pada Pompa Sentrifugal Dengan Analisa Sinyal Getaran*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret Surakarta. Indonesia. 2007.
- Fariha, Aidil Othman. *Vibration Analysis for Diagnostic of Local Faults in Rolling Element Bearing*. Thesis. Universiti Teknikal Malaysia Melaka. 2008.
- Kapidzic, Z., H. Ansell, J. Schon and K. Simonsson. Fatigue bearing failure of CFRP composite in biaxially loaded bolted joints at elevated temperature. *Composite Structures*. 2015; 127: 298-307.
- Lian, X., M. J. Zuo and M. R. Hoseini. Vibration Signal Modeling of a Planetary Gear Set for Tooth Crack Detection. *Engineering Failure Analysis*. 2015; 48: 185-200.
- Monavar M.H, Ahmadi H, dan Mohtasebi S.S. Prediction of Defects in Roller Bearings Using Vibration Signal Analysis. *World Applied Sciences Journal*. 2008; 4 (1): 150-154.
- Purnama, A. dan Ariosuko. Analisis Perbandingan Sifat Fisis dan Mekanis Bantalan Peluru Baru, Telah Dipakai dan Rusak untuk Kendaraan Bermotor Roda Dua. *SINERGI*. 2014; 18 (2): 92-98.
- Suhardjono. *Analisis Sinyal Getaran Untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Indonesia. 2005.
- Trappey, A. J. C., C. V. Trappey, L. Ma, and J. C. M. Chang. Intelligent Engineering Asset Management System of Power Transformer Maintenance Decision Support under Various Operating Conditions. *Computer and Industrial Engineering*. 2015; 84: 3-11.
- Yudiastawan I Gede Putu, Deteksi Kerusakan Bearing dan Eccentricity pada Motor Induksi Tiga Fasa dengan *Current Signature Analysis*. Tesis. Universitas Indonesia. 2009.