

STUDI EKSPERIMENTAL SINYAL VIBRASI UNTUK MENDETEKSI JENIS KERUSAKAN BEARING UCP-204

Toto Wibowo¹, Ikhwansyah Isranuri², Syahrul Abda³, M. Sabri⁴, Indra⁵, Alfian Hamsi⁶

^{1,2,3,4,5,6}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

E-mail : totowibowo46@yahoo.com

ABSTRAK

Kerusakan atau keausan serta deformasi akan mengubah karakteristik dinamik sistem dan cenderung meningkatkan energi getaran. Untuk mengantisipasi kerusakan tersebut dilakukan kegiatan *predictive maintenance* yang akan menginvestigasi dan mendiagnosis kondisi dari setiap peralatan atau mesin, salah satunya adalah analisis getaran mesin (*vibration monitoring*). Setiap mesin pada umumnya memiliki suatu komponen seperti poros, roda gigi, *pulley*, *bearing* dan motor yang saling berhubungan antara yang satu dengan yang lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi jenis kerusakan pada *bearing*. Dalam hal ini peneliti menggunakan *bearing UCP-204* sebanyak 4bh *bearing* rusak yang akan dianalisa sebagai eksperimen pada suatu konstruksi alat uji. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Vibrometer laser ometron VQ-400-A-F* dengan arah pengukuran horizontal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada ke empat *bearing* rusak didapatkan amplitudo meningkat diatas putaran 900rpm-1200rpm. Sedangkan untuk mendeteksi kerusakan *bearing* digunakan *software MATLAB 2012a*, menghasilkan frekuensi domain untuk melihat jenis kerusakan *bearing*. *Bearing 1* terjadi kerusakan BPFI dan BSF pada putaran 400rpm, dan kerusakan BSF pada Putaran 500rpm, 600rpm, 800rpm, 1100rpm, 1200rpm. Untuk *bearing 2* terjadi kerusakan FTF pada putaran 400rpm, BSF pada putaran 900rpm, 1100rpm, 1200rpm, BPFI dan FTF pada putaran 500rpm. Untuk *bearing 3* terjadi kerusakan FTF pada putaran 500rpm dan 800rpm, BSF pada putaran 600rpm, 900rpm, dan 1000rpm. Untuk *bearing 4* terjadi kerusakan BSF pada Putaran 400rpm, BPFO pada putaran 500rpm dan FTF pada putaran 600rpm.

Kata kunci: *Bearing*, Deteksi kerusakan, frekuensi domain, *Predictive maintenance*, *Vibration monitoring*.

1. PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Pelaksanaan *predictive maintenance* akan menginvestigasi dan mendiagnosis kondisi dari setiap peralatan atau mesin, salah satunya adalah menganalisa getaran mesin (*vibration monitoring*).

Setiap mesin pada umumnya memiliki komponen seperti poros, roda gigi, *pulley*, Bantalan dan motor sebagai penggerak. Bantalan (*bearing*) adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mengurangi gesekan pada mesin atau komponen-komponen yang bergerak dan saling menekan antara satu dengan yang lainnya. Bantalan digunakan untuk menahan/menyangga komponen-komponen yang bergerak dimana sangat banyak terjadi gesekan.

Selain gesekan, pastinya juga Bantalan yang berputar akan menimbulkan vibrasi pada suatu rangkaian sistem transmisi yang tidak tepat dan dapat mengakibatkan gelombang elastis pada seluruh komponen mesin, hal itu sendiri juga bisa merambat pada struktur komponen lainnya dan juga menimbulkan efek merugikan yang terjadi di dalam suatu kinerja mesin. Oleh karena itu, untuk menjaga kondisi mesin agar tetap baik atau setidaknya tetap stabil diperlukan suatu tindakan penelitian agar dapat meminimalisir itu semua dan juga dapat memberikan suatu kontribusi kepada industri tentang perawatan yang lebih baik diantara

beberapa jenis perawatan mesin yang kita ketahui sering dipakai pada umumnya untuk dapat lebih memperpanjang umur pakai mesin itu sebanyak satu tingkat [1].

Telah banyak dilakukan penelitian dan pengujian vibrasi pada *bearing* dengan penekanan pada aspek yang berbeda, antara lain:

Melakukan eksperimen untuk mendeteksi kerusakan bearing, Pengamatan dilakukan pada motor induksi tiga fasa untuk mendesain suatu instrumentasi maya yang dapat digunakan secara praktis. Penelitian ini menunjukkan keberhasilan menggunakan *current signature analysis* dengan keberhasilan pencarian 55% [2]. Melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui ciri getaran pada motor dengan memonitor kondisi motor tersebut menggunakan *vibration analyzer* untuk memperoleh karakteristik sinyal getaran akibat bertambahnya kelonggaran antara bola dan *outer race* guna mencegah terjadinya kerusakan katastropik [3].

Penelitian ini berawal dari permasalahan yang sering terjadi kerusakan pada bantalan unit UCP-204 di mesin pembuatan baterai PT. X (sebuah industri di Medan). Untuk itu, maka peneliti menggunakan bantalan unit UCP-204 yang akan dianalisa sebagai eksperimen pada suatu konstruksi alat uji untuk mengetahui vibrasi yang terjadi dan mengetahui jenis kerusakannya.

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan dilakukannya penelitian ini ada 2 yaitu sebagai berikut:

1. Analisa data getaran pada *bearing* UCP-204.
2. Mendeteksi kerusakan berdasarkan frekuensi domain untuk tiap-tiap bantalan (*bearing*).

1.3. Manfaat Penulisan

Ada 2 manfaat dari penulisan ini yang diharapkan adalah:

1. Untuk dunia pendidikan, prototype yang digunakan dapat dipergunakan sebagai media pembelajaran dan penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan vibrasi untuk pemeliharaan berbasis kondisi (*Condition Based Maintenance*).
2. Untuk dunia industri, analisa sinyal vibrasi dapat digunakan untuk deteksi dini kerusakan bantalan unit dalam pemeliharaan berbasis kondisi (*Condition Based Maintenance*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisa Getaran

Sebuah mesin yang ideal sempurna pada prinsipnya tidak menimbulkan getaran sama sekali, karena seluruh energi yang dihasilkan diubah menjadi kerja. Sebagian energi salah satunya terbuang menjadi getaran. Getaran timbul akibat gaya melalui elemen-elemen mesin yang ada, dimana elemen-elemen tersebut saling beraksi satu sama lain. Kerusakan atau keausan serta deformasi akan mengubah karakteristik dinamik sistem dan cenderung meningkatkan energi getaran. Metode masa lalu dengan cara mendengarkan suara mesin dan menyentuh atau meraba (*hearing and touching*) dikembangkan untuk menentukan apakah mesin bekerja baik atau tidak, tetapi metode klasik tersebut tidak lagi andal untuk saat ini, karena dua faktor berikut ini:

1. Mesin-mesin modern dirancang untuk berjalan secara otomatis, sehingga interaksi antara manusia (*operator*) dan mesin tidak lagi efektif dan ekonomis.
2. Kebanyakan mesin-mesin modern beroperasi pada putaran atau kecepatan tinggi, dimana getaran yang timbul banyak yang berfrekuensi tinggi dan tidak lagi dapat dibedakan oleh indra manusia, sehingga dibutuhkan alat untuk mendeteksi dan mengukurnya.

Salah satu cara yang paling handal untuk mendeteksi awal gejala kerusakan mekanik, elektrik pada peralatan adalah analisa getaran, sehingga analisa getaran saat ini menjadi pilihan teknologi *predictive maintenance* yang paling sering digunakan [4].

Suatu peralatan yang berputar sebaiknya memiliki suatu nilai getaran standar dan batasan getaran yang diperbolehkan (dibuat oleh pabrik) sehingga apabila nilai getaran yang terjadi diluar batasan yang diizinkan maka peralatan tersebut harus menjalani tindakan perawatan.

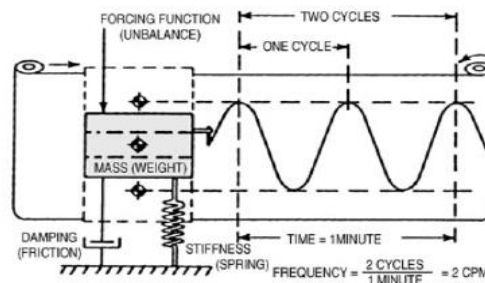
Getaran adalah suatu gerak bolak-balik di sekitar kesetimbangan. Kesetimbangan maksudnya adalah keadaan dimana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitudo (jarak simpangan terjauh dengan titik tengah) yang sama.

Analisa getaran merupakan salah satu alat yang sangat bermanfaat sebagai alat prediksi awal terhadap adanya masalah pada mekanikal, elektrik dan proses pada peralatan, mesin-mesin dan sistem proses yang kontinu disuatu pabrik. Sehingga analisa getaran saat ini menjadi pilihan teknologi *predictive maintenance* yang paling sering digunakan.

Selain digunakan sebagai *predictive maintenance*, teknik analisa getaran juga digunakan sebagai teknik untuk mendiagnosa, yang dapat diaplikasikan antara lain untuk: *acceptance testing*, pengendalian mutu, mendeteksi bagian yang mengalami kelonggaran, pengendalian kebisingan, mendeteksi adanya kebocoran, desain dan rekayasa mesin, dan optimasi produksi.

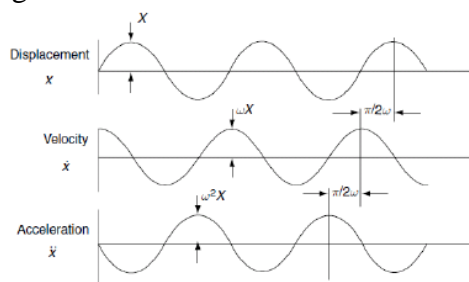
2.2. Karakteristik Getaran

Getaran secara teknis didefinisikan sebagai gerak osilasi dari suatu objek terhadap posisi objek awal/diam, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Gerakan massa dari posisi awal menuju atas dan bawah lalu kembali keposisi semula, dan akan melanjutkan geraknya disebut sebagai satu siklus getar. Waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus disebut sebagai periode getaran. Jumlah siklus pada suatu selang waktu tertentu disebut sebagai frekuensi getaran.



Gambar 2.1. Sistem getaran sederhana [1]

Frekuensi adalah salah satu karakteristik dasar yang digunakan untuk mengukur dan menggambarkan getaran. Karakteristik lainnya yaitu perpindahan, kecepatan dan percepatan. Setiap karakteristik ini menggambarkan tingkat getaran, hubungan karakteristik ini dapat dilihat pada gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2. Hubungan antara perpindahan, kecepatan dan percepatan getaran [5]

Perpindahan (*displacement*) mengindikasikan berapa jauh suatu objek bergetar, kecepatan (*velocity*) mengindikasikan berapa cepat objek bergetar dan percepatan (*acceleration*) suatu objek bergetar terkait dengan gaya penyebab getaran.

2.3. Analisa Sinyal Getaran dan Identifikasi Penyebab Getaran

Pada mesin yang beroperasi dalam kondisi paling baik sekalipun, pemantauan sinyal getaran akan memunculkan amplitudo, meskipun berada pada tingkat getaran yang dapat diterima. Suatu perubahan adalah dampak yang wajar dari adanya perubahan kondisi operasi, misalnya: perubahan suhu, perubahan beban, keausan, dan fluktuasi dari lingkungan mesin.

Mesin yang telah beroperasi pada periode waktu yang cukup lama, dan baru pertama kali dipantau, baseline dapat diambil sebagai titik referensi adanya *trend*. Untuk mengevaluasi tingkat keparahan (*severity*) dari sinyal getaran pada mesin berputar, *International Organization for Standardization* (ISO) telah menerbitkan suatu standar untuk mengevaluasi berdasarkan kelas dan tipe dari mesin [6], yang disajikan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1. Kriteria zona evaluasi tingkat getaran tipikal

R.m.s. vibration velocity mm/s	up to 15 kW class I	15 to 75 kW class II	> 75 kW (rigid) class III	> 75 kW (soft) class IV
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71				
1.12	B	B	B	B
1.8				
2.8				
4.5	C	C	C	C
7.1				
11.2				
18	D	D	D	D
28				
45				

Pada standar tersebut, parameter yang diukur adalah kecepatan getaran dan dibandingkan nilai RMS kecepatan berdasarkan klasifikasi daya mesin yaitu:

- Kelas I (Class I) untuk mesin dengan daya dibawah 15 kW.
- Kelas II (Class II) untuk mesin dengan daya diantara 15 – 75 kW.
- Kelas III (Class III), untuk mesin rigid dengan daya diatas 75 kW.
- Kelas IV (Class IV), untuk mesin fleksibel dengan daya diatas 75 kW.

Sedangkan A, B, C, D pada Tabel 2.3 menunjukkan zona kriteria evaluasi yaitu:

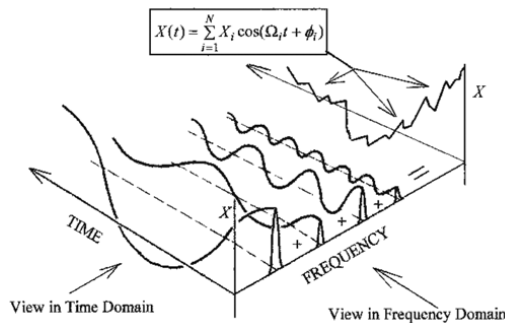
- Zona A, yaitu getaran pada mesin yang baru dipasang dan akan diserahkan terimakan.
- Zona B, yaitu getaran pada mesin yang dapat diterima dengan syarat mesin tidak boleh dioperasikan secara terus menerus/lama.
- Zona C, yaitu getaran pada mesin yang dianggap tidak memuaskan untuk pengoperasian terus menerus untuk waktu yang lama. Umumnya mesin dioperasikan untuk waktu yang terbatas pada kondisi ini, sampai kesempatan untuk tindakan perbaikan dilakukan.
- Zona D, yaitu nilai getaran yang dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin.

2.4. Spektrum frekuensi

Ide dasar dari transformasi Fourier adalah fungsi suatu sinyal domain waktu dapat dibangun dari penjumlahan fungsi sinus dengan distribusi berkelanjutan dari frekuensi, mulai dari nol sampai kepada frekuensi yang diinginkan. Pada sinyal getaran periodik yang berulang atau pada periode tertentu, deret Fourier dapat diaplikasikan dan jumlah komponen sinus

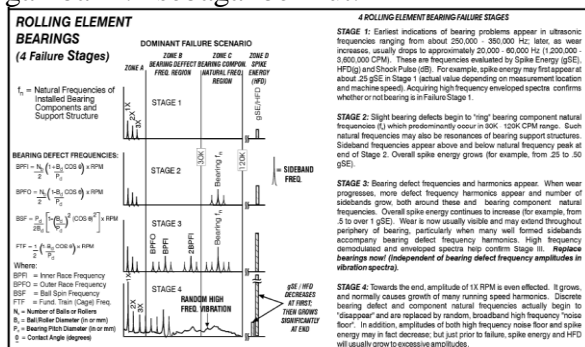
hanya pada frekuensi diskrit yang merupakan perkalian integer, $n = 1, 2, \dots$ dari frekuensi dasar. Meskipun getaran mesin sering memiliki jumlah komponen harmonik signifikan yang terbatas, frekuensi tersebut sering pula bukan merupakan perkalian integer dari frekuensi dasar, dan oleh karena itu transformasi Fourier, dan bukan deret Fourier, adalah alat yang memadai untuk melacak sinyal getaran mesin dari domain waktu menjadi domain frekuensi.

Hubungan antara sinyal fungsi waktu, $X(t)$ dan spektrum frekuensi atau transformasi Fourier, dapat dilihat pada Gambar 2.3. Dengan mentransfor masikan sinyal domain waktu menjadi domain frekuensi, komponen yang mempengaruhi sinyal getaran tersebut dapat diidentifikasi.



Gambar 2.3. Ilustrasi dari spektrum frekuensi sinyal yang berosilasi [7].

Analisa spektrum sinyal berbasis waktu digunakan untuk kebutuhan berbagai investigasi, terutama untuk mendiagnosa dan menyelesaikan masalah getaran untuk melihat jenis kerusakan pada *bearing* dari spektrum frekuensi dapat dilihat pada standart charlotte pada gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4. Spektrum frekuensi rolling element bearings [8].

2.5. Ciri Getaran Dinamik Akibat Kerusakan Bantalan

Ciri getaran dalam bentuk *waveform* difokuskan pada hubungan antara percepatan sebagai fungsi dari waktu, yang berasal dari sifat fisik komponen dinamika *motor* dan komponen *bearing*. Domain frekuensi hasil eksperimental yang merupakan ciri getaran yang berasal dari sifat fisik komponen *motor* akibat gaya-gaya *imbalance* dari komponen motor yang berdinamika dan menyebabkan komponen bantalan gelinding (*main bearing*) menghasilkan frekuensi getaran seperti *ball pass frequency outer* (BPFO), *ball pass frequency inner* (BPFI), *ball spin frequency* (BSF), *fundamental train frequency* (FTF) serta *waveeers*.

Frekuensi yang dihasilkan oleh masing-masing komponen *bearing* akibat kelonggaran atau cacat lokal dapat dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut [8]:

- a. Frekuensi pada lintasan luar (*ball pass frequency outer race, BPFO*):

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \cdot fr. \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right) \quad (2.1)$$

- b. Frekuensi pada lintasan dalam (*ball pass frequency inner race, BPFI*):

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \cdot fr. \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right) \quad (2.2)$$

- c. Frekuensi putar bola (*ball spin frequency, BSF*):

$$BSF = \frac{Pd}{2Bd} \cdot fr. \left[1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

- d. Frekuensi pergerakan *cage* (*fundamental train frequency, FTF*):

$$FTF = \frac{fr}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right) \quad (2.4)$$

dimana :

Nb = Jumlah bola (*Number of balls*),

Bd = Diameter bola (mm)

Pd = Diameter *Pitch* (mm)

Fr = Frekuensi relatif antara *inner race* dan *outer race*, (Hz)

α = Sudut kontak (derajat)

2.6. Pengolahan Data Vibrasi

Pengolahan data frekuensi domain umumnya dilakukan dengan tujuan

- Untuk memeriksa apakah amplitudo suatu frekuensi domain dalam batas yang diizinkan oleh standar.
- Untuk memeriksa apakah amplitudo untuk rentang frekuensi tertentu masih berada dalam batas yang diizinkan oleh standar.
- Untuk tujuan keperluan diagnosis

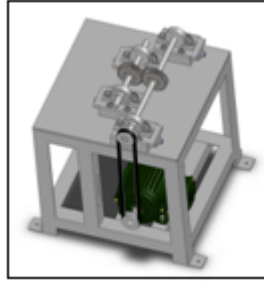
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal 22 Mei 2014 pengesahan usulan oleh pengelola program studi sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlangsung selama ± 4 bulan. Tempat pelaksanaan penelitian adalah di *Research Center Noise/Vibration Control and Knowledge Based in Engineering*, Program Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

3.2. Konstruksi Alat Uji

Gambar konstruksi alat uji dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1. Konstruksi alat uji

3.3. Alat yang digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Vibrometer laser ometron VQ-400-A-F adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan getaran, dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2. Vibrometer laser ometron VQ-400-A-F

2. Power Supplay digunakan untuk mengatur arus searah yang dihubungkan ke vibrometer dengan daya 12V/1A, dapat dilihat pada gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3. Power Supplay

3.4. Rangkaian Penelitian

Rangkaian analisa pengukuran data dapat dilihat pada gambar 3.4 yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.3. Rangkaian analisa pengukuran data

3.5. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan yaitu pengujian langsung, dimana pada pengujian ini, seluruh variabel nilainya didapat dari hasil pengukuran dan digunakan bahan pengamatan atau analisis. Pada pengujian ini variabel yang digunakan dari sinyal getaran yang terjadi.

Penyelidikan sinyal getaran yang timbul akibat variasi putaran dengan titik pengukuran kearah Horizontal dengan kecepatan 400 rpm, 500 rpm, 600 rpm, 700 rpm, 800 rpm, 900rpm, 1000rpm, 1100rpm, dan 1200rpm. Pengukuran dilakukan pada titik yang telah ditentukan dengan pengambilan berdasarkan time domain, dimana titik berat pengukuran berada pada bantalan unit NTN UCP-204.

3.6. Variabel Yang Diamati

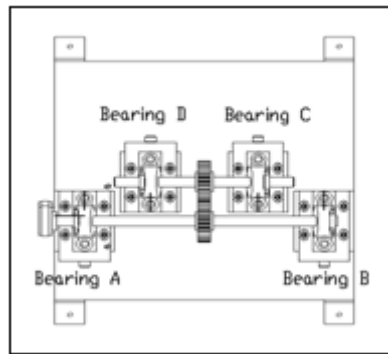
Sesuai dengan maksud eksperimen, variabel ini menjadi fokus perhatian yang perlu dikondisikan untuk pengolahan data guna mendapatkan hasil yang mendekati sempurna.

Adapun variabel yang diamati dalam studi eksperimental ini adalah sebagai berikut:

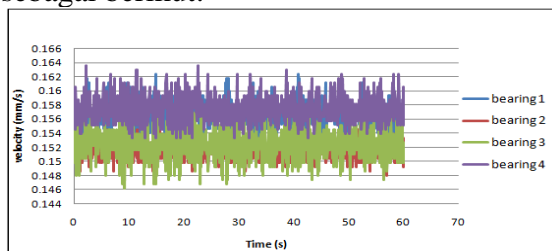
1. Pada saat pemasangan bantalan, poros harus sejajar dan di ukur dengan jarak yang sama antara poros penggerak dengan poros yang digerakkan menggunakan vernier calliper.
2. Jarak Vibrometer laser ometron VQ-400-A-F ke bantalan.
3. Putaran motor yang di ubah dengan *inverter*.

4. Analisa Data

Hasil pengukuran berdasarkan penentuan awal meliputi pengukuran *bearing* rusak yang hanya diukur pada posisi B. Pengukuran dilakukan dengan variasi putaran 400rpm, 500rpm, 600rpm, 700rpm, 800rpm, 900rpm, 1000rpm, 1100rpm, dan 1200rpm dengan arah horizontal, dengan posisi bearing dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut:

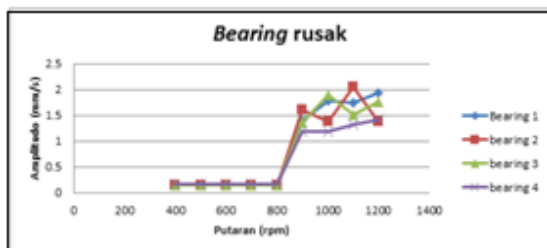
Gambar 4.1. Posisi *bearing*

Hasil pengukuran grafik time domain untuk *bearing* rusak dapat dilihat pada gambar 4.2 sebagai berikut:

Gambar 4.2 Grafik Time domain *bearing* rusak

4.1. Hubungan Putaran Dengan Amplitudo Bearing Rusak

Hubungan putaran dengan amplitudo bearing baru dapat dilihat pada gambar 4.3 sebagai berikut:

Gambar 4.3. Grafik Hubungan putaran dengan amplitudo *bearing* baru

Dari gambar 4.3 diatas dapat disimpulkan bahwa amplitudo *bearing* rusak meningkat pada putaran 900rpm, 1000rpm, 1100rpm, dan 1200rpm, dan jika dilihat pada standar ISO untuk mengevaluasi tingkat keparahan (*severity*) dari sinyal getaran yang terjadi untuk konstruksi alat uji ini dengan daya dibawah 15 kW berada pada zona B dan zona C, mempunyai *range* sebesar 1,190185mm/s – 2,041809mm/s, dimana pada zona B yaitu getaran pada mesin yang dapat diterima dengan syarat mesin tidak boleh dioperasikan secara terus menerus/lama. Sedangkan untuk zona C yaitu getaran pada mesin yang dianggap tidak memuaskan untuk pengoperasian terus menerus untuk waktu yang lama. Umumnya mesin dioperasikan untuk waktu yang terbatas pada kondisi ini, sampai kesempatan untuk tindakan perbaikan dilakukan.

4.2.Ciri Getaran Dinamik Akibat Kerusakan Bearing

Domain frekuensi hasil eksperimental yang merupakan ciri getaran yang berasal dari sifat fisik komponen motor akibat gaya-gaya *imbalance* dari komponen motor yang berdinamika menyebabkan komponen bantalan gelinding (*main bearing*) menghasilkan frekuensi getaran seperti *ball pass frequency outer* (BPFO), *ball pass frequency inner* (BPFI), *ball spin frequency* (BSF), *fundamental train frequency* (FTF). Hasil frekuensi yang dihasilkan oleh masing-masing komponen *bearing* akibat kelonggaran atau cacat lokal dapat dihitung sebagai berikut:

- Domain frekuensi untuk putaran 400 rpm

Frekuensi pada lintasan luar (*ball pass frequency outer race, BPFO*):

$$\begin{aligned} \text{BPFO} &= \frac{N_b}{2} \cdot \text{fr.} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right) \\ &= \frac{8}{2} \cdot \frac{400}{60} \cdot \left(1 - \frac{7,94}{33,48} \cos 0^\circ \right) \\ &= 20,3425 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Frekuensi pada lintasan dalam (*ball pass frequency inner race, BPFI*):

$$\begin{aligned} \text{BPFI} &= \frac{N_b}{2} \cdot \text{fr.} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right) \\ &= \frac{8}{2} \cdot \frac{400}{60} \cdot \left(1 + \frac{7,94}{33,48} \cos 0^\circ \right) \\ &= 32,9908 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Frekuensi putar bola (*ball spin frequency, BSF*):

$$\begin{aligned} \text{BSF} &= \frac{P_d}{2B_d} \cdot \text{fr.} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right)^2 \right] \\ &= \frac{33,48}{2(7,94)} \cdot \frac{400}{60} \cdot \left[1 - \left(\frac{7,94}{33,48} \cos 0^\circ \right)^2 \right] \\ &= 13,2649 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Frekuensi pergerakan *cage* (*fundamental train frequency, FTF*):

$$\begin{aligned} \text{FTF} &= \frac{\text{fr.}}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right) \\ &= \frac{400/60}{2} \left(1 - \frac{7,94}{33,48} \cos 0^\circ \right) \\ &= 2,5428 \text{ Hz} \end{aligned}$$

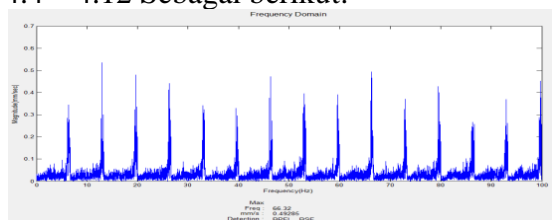
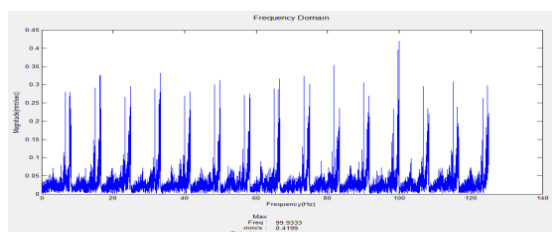
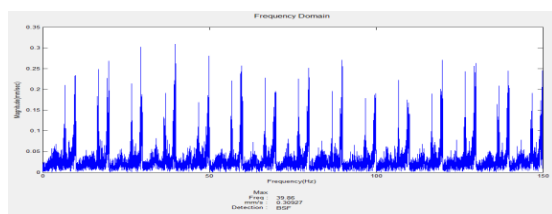
Dan untuk perhitungan frekuensi akibat kelonggaran atau cacat lokal selanjutnya untuk putaran 500rpm-1200rpm dihitung menggunakan excel dengan hasil dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut:

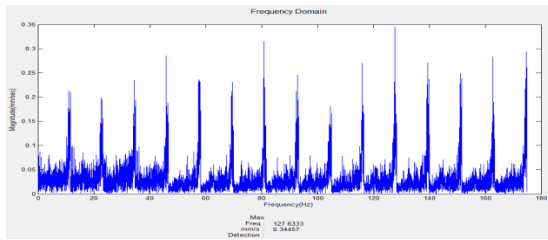
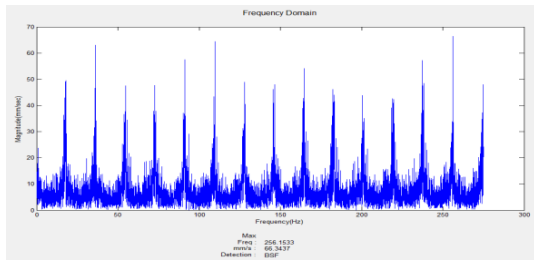
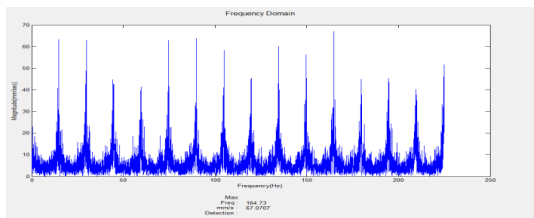
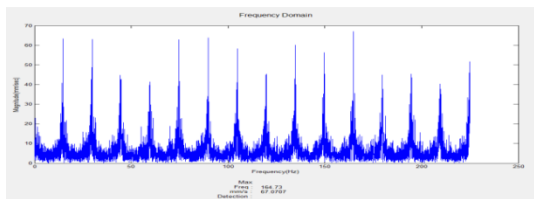
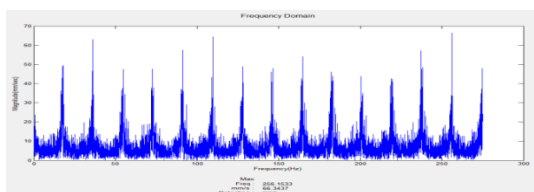
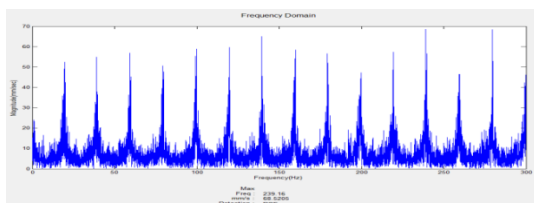
Tabel 4.1. Frekuensi cacat *bearing*

Frekuensi cacat <i>bearing</i> (Hz)				
Putaran (rpm)	BPFO	BPFI	BSF	FTF
500	25.42812	41.23855	16.58112	3.178515
600	30.51374	49.48626	19.89734	3.814217
700	35.59936	57.73397	23.21356	4.44992
800	40.68499	65.98168	26.52979	5.085623
900	45.77061	74.22939	29.84601	5.721326
1000	50.85623	82.4771	33.16223	6.357029
1100	55.94186	90.72481	36.47846	6.992732
1200	61.02748	98.97252	39.79468	7.628435

4.3. Deteksi Kerusakan *Bearing*

Untuk mendeteksi kerusakan *bearing* dapat dilihat melalui domain frekuensi, dan akan terlihat pada frekuensi maksimumnya dan pada frekuensi tersebut dapat terdeteksi angka yang mendekati frekuensi cacat *bearing* dengan menggunakan *software* MATLAB 2012a. Frekuensi domain yang diplot melalui *software* MATLAB 2012a dapat dilihat pada gambar 4.4 – 4.12 Sebagai berikut:

Gambar 4.4. Grafik frekuensi domain *bearing* rusak 1 putaran 400rpmGambar 4.5. Grafik frekuensi domain *bearing* rusak 1 putaran 500rpmGambar 4.6. Grafik frekuensi domain *bearing* rusak 1 putaran 600rpm

Gambar 4.7. Grafik frekuensi domain *bearing* rusak 1 putaran 700rpmGambar 4.8. Grafik frekuensi domain *bearing* rusak 1 putaran 800rpmGambar 4.9. Grafik frekuensi domain *bearing* rusak 1 putaran 900rpmGambar 4.10. Grafik frekuensi domain *bearing* rusak 1 putaran 1000rpmGambar 4.11. Grafik frekuensi domain *bearing* rusak 1 putaran 1100rpmGambar 4.12. Grafik frekuensi domain *bearing* rusak 1 putaran 1200rpm

Dari gambar grafik 4.4-4.12 diatas dapat disimpulkan bahwa untuk *bearing* rusak 1 ini Terjadi kerusakan BPFI dan BSF pada putaran 400rpm, dan kerusakan BSF pada Putaran 500rpm, 600rpm, 800rpm, 1100rpm, 1200rpm.

Dengan cara yang sama dengan pengeplotan grafik frekuensi domain seperti gambar grafik 4.4-4.12 diatas, maka untuk melihat jenis kerusakan bearing rusak 2, bearing rusak 3, dan bearing rusak 4 dapat disimpulkan bahwa Untuk *bearing* 2 Terjadi kerusakan FTF pada putaran 400rpm, BSF pada putaran 900rpm, 1100rpm, 1200rpm, BPFI dan FTF pada putaran 500rpm. Untuk *bearing* 3 Terjadi kerusakan FTF pada putaran 500rpm dan 800rpm, BSF pada putaran 600rpm, 900rpm, dan 1000rpm, dan untuk *bearing* 4 Terjadi kerusakan BSF pada Putaran 400rpm, BPFO pada putaran 500rpm dan FTF pada putaran 600rpm.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini yaitu memiliki 2 kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan verifikasi data antara *bearing* baru dan *bearing* rusak maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh variasi putaran terhadap amplitudo meningkat pada putaran 900rpm, 1000rpm, 1100rpm, dan 1200rpm.
2. Dari gambar grafik yang di plot melalui *software MATLAB 2012 a*, maka kerusakan bearing dapat ditentukan sebagai berikut:
 - a. Untuk *bearing* 1
Terjadi kerusakan BPFI dan BSF pada putaran 400rpm, dan kerusakan BSF pada Putaran 500rpm, 600rpm, 800rpm, 1100rpm, 1200rpm
 - b. Untuk *bearing* 2
Terjadi kerusakan FTF pada putaran 400rpm, BSF pada putaran 900rpm, 1100rpm, 1200rpm, BPFI dan FTF pada putaran 500rpm
 - c. Untuk *bearing* 3
Terjadi kerusakan FTF pada putaran 500rpm dan 800rpm, BSF pada putaran 600rpm, 900rpm, dan 1000rpm
 - d. Untuk *bearing* 4
Terjadi kerusakan BSF pada Putaran 400rpm, BPFO pada putaran 500rpm dan FTF pada putaran 600rpm

Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dalam penelitian selanjutnya, maka dapat disampaikan saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, gunakan metode lintasan orbit.
2. Guna mendapatkan pengaruh *viscous damping* dapat juga dengan memvariasikan jenis pelumasan.
3. Perlu dikembangkan *software* untuk menganalisis sinyal getaran secara langsung sehingga dapat dimanfaatkan untuk memantau kondisi mesin secara *online*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Mobley, R. K; Lindley R. Higgins dan Darrin J. Wikoff. *Maintenance Engineering Handbook.*, Seventh Edition, NewYork, McGraw-Hill Book Company. 2008.

- [2]. Gusti I. P. Yudistiawan. “ *Deteksi Kerusakan Bearing Dan Ecentricity Pada Motor Induksi 3 Fasa Dengan Current Signal Analysis*”. Jurnal Tesis Universitas Indonesia. 2009.
- [3]. Taribuka M. Samuel. “*Analisis Ciri Getaran Pada Motor Bakar Torak Akibat Bertambahnya Kelonggaran Pada Ball Bearings*”. Jurnal Dosen Politeknik Negeri Ambon. 2011.
- [4]. Scheffer C. dan Girdhar P, “*Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*”. Amsterdam: IDC Technologies, 2004.
- [5]. Vierck. K Robert “*Analisis Getaran*” PT Eresco. Bandung. 1995.
- [6]. International Organization for Standardization (ISO) “*mengevaluasi Kriteria zona evaluasi tingkat getaran tipikal*”
- [7]. Adams, Maurice L, “*Rotating Machinery Vibration*”, Case Western Reserve University, New York, 2000.
- [8]. Technical Associates of Charlotte “*Vibration Analyst Certification Examination*”, 2010.