

PENGUJIAN DAN PENGUKURAN GETARAN SIMULATOR *BEARING* DENGAN KONSTRUKSI TUMPUAN FLEKSIBEL PADA ARAH SUMBU Z

Meri Handani A.Md., Novi Saksono Brodjo Muhadi, ST., MT

Politeknik Manufaktur Bandung

JL. Kanayakan No.21 – Dago, Bandung – 40135

Phone/Fax : 022 250 0241 / 2502649

Email : merihandani19@gmail.com

ABSTRAK

Elemen yang sering digunakan pada sebuah mesin yaitu *roller bearing*. *Roller bearing* merupakan bagian yang sangat penting dari suatu bagian mesin dimana memiliki fungsi untuk menumpu sebuah poros agar poros tidak mengalami gesekan yang berlebihan. Karena digunakan secara luas dan penting, kerusakan *roller bearing* sering menjadi penyebab kerusakan sebuah mesin. Sehingga harus dilakukan pemeriksaan *continue* yaitu dengan *condition monitoring*, salah satu parameter yang diperiksa yaitu getaran. Maka, penelitian ini difokuskan pada pengujian dan pengukuran getaran simulator *bearing* dengan konstruksi tumpuan fleksibel pada arah sumbu Z. Pada pengujian ini menggunakan satu jenis *roller bearing* dengan tiga variabel kondisi *bearing*, yaitu kondisi normal (tidak rusak), kondisi rusak *inner ring*, dan kondisi rusak *rolling element bearing*. Penelitian ini dimulai dengan studi literatur, perancangan modifikasi, pengadaan komponen, proses pemesinan, perakitan hingga pengujian. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian *bump test*, *coastdown*, dan pengujian spektrum rpm kerja konstan (1490 rpm). Dari hasil pengujian akan didapatkan informasi berupa spektrum yang kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan *Charlotte's Standard*. Dari pengujian *bump test* frekuensi pertama pada 220 Hz, kemudian pada pengujian *coastdown* 360 Hz. Ciri getaran yang terjadi berasal dari *unbalance*, *mechanical looseness* dan frekuensi pribadi simulator. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa frekuensi getaran yang terjadi dominan pada arah sumbu Z, dibuktikan dengan amplitudo yang dominan pada arah radial vertikal. Amplitudo frekuensi *bearing pillow block* (BPFO, BPFI dan BSF) tingkat kerusakannya berada dalam *stage 3*. Selain itu, amplitudo frekuensi *bearing uji* (BPFO, BPFI dan BSF) tingkat kerusakannya berada pada *stage 2*. Dengan nilai frekuensi BPFO 167 Hz v rms 0.05 [mm/s], BPFI 106 Hz v rms 0.07 [mm/s] dan BSF 53 Hz v rms 0.07 [mm/s].

Kata kunci : spektrum getaran, *roller bearing*

1. PENDAHULUAN

Baja adalah logam paduan dengan Kerusakan sebuah mesin mempengaruhi proses produksi dan sangat merugikan sebuah perusahaan karena menambah biaya pemeliharaan. Elemen yang sering digunakan pada sebuah mesin yaitu *roller bearing*. *Roller bearing* merupakan bagian yang sangat penting

dari suatu bagian mesin dimana memiliki fungsi untuk menumpu sebuah poros agar poros tidak mengalami gesekan yang berlebihan.

Agar terhindar dari kerusakan sebuah mesin yang dapat menghambat produksi, maka dilakukan pengamatan terhadap perubahan kondisi sebuah elemen mesin.

Kondisi yang diamati adalah *temperature*, suara dan getaran. Analisis sinyal getaran merupakan metode yang digunakan dalam menentukan kerusakan pada mesin. Dengan menggunakan *vibration analyzer*, yaitu alat pengukur getaran, yang akan didapatkan memberikan informasi grafik frekuensi terhadap amplitudo, kemudian hasil tersebut dianalisis. Dari hasil analisis tersebut, dapat ditentukan letak dan tingkat kerusakan yang terjadi pada sebuah elemen mesin yang diamati.

2. LANDASAN TEORI

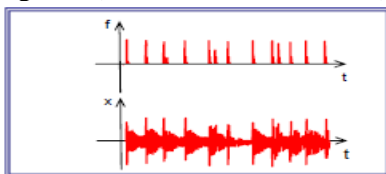
2.1 Getaran

Setiap gerakan yang berulang setelah interval waktu disebut getaran atau osilasi. Mengayunnya pendulum dan gerakan senar yang dipetik adalah contoh khas getaran. Teori getaran berkaitan dengan studi tentang gerak osilasi benda dan gaya yang terkait dengannya. (rao, 2011 :13-14).

2.2 Jenis-jenis getaran berdasarkan gaya yang diterima

a. Free Vibration

Free vibration disebabkan oleh eksitasi gaya impuls. Gaya impuls yang terjadi pada konstruksi menyebabkan benda mengalami *subsequent vibration* pada satu atau lebih frekuensi pribadinya. Contohnya adalah saat memukul gelas. (Bilosova & Bilos, 2012).



Gambar 2. 1 Free Vibration (Bilosova & Bilos, 2012)

Jika pada sebuah sistem, pada gangguan awal dibiarkan bergetar sendiri maka getaran berikutnya disebut *free vibration* dan tidak ada kekakuan dari luar yang bekerja pada sistem. (rao, 2011 :17)

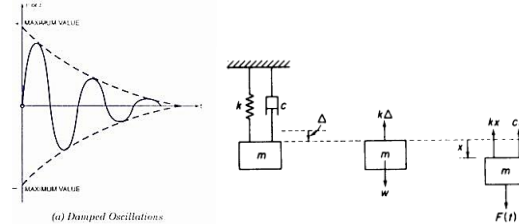
b. Forced Vibration

Forced Vibration disebabkan oleh eksitasi gaya harmonik. (Bilosova & Bilos, 2012). *Forced vibration* terjadi ketika suatu sistem diberi gaya eksternal atau gaya berulang, jika frekuensi gaya eksternal yang

terjadi sama pada salah satu frekuensi pribadi sistem maka akan terjadi resonansi. (rao, 2011 :17).

2.3 Jenis-jenis getaran berdasarkan sistem

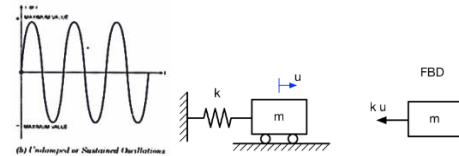
a. Getaran teredam



Gambar 2. 1 Getaran Teredam

Getaran ini terjadi akibat adanya peredam pada sistem yang bergetar. Dengan adanya peredam yang terpasang pada sistem mengakibatkan getaran yang terjadi mengalami penurunan nilai. (Thomson & Dahleh, 1998).

b. Getaran tak teredam

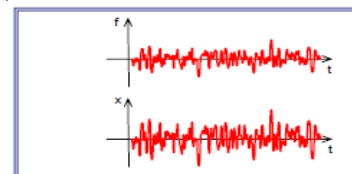


Gambar 2. 2 Getaran Tak Teredam

Getaran ini merupakan fenomena yang terjadi akibat sistem tidak dilengkapi dengan mekanisme peredam yang menjadikan getaran akan mengalir dengan nilai yang sama (tidak berkurang). (Thomson & Dahleh, 1998).

c. Getaran akibat dari gaya yang tidak beraturan

Getaran yang terjadi akibat dari gaya yang tidak beraturan, getaran ini biasanya selalu muncul, kebanyakan hanya suara. (Bilosova & Bilos, 2012).



Gambar 2. 3 Getaran Akibat dari Gaya yang Tidak Beraturan

d. Self-excited

Self-excited vibration terjadi karena getaran tereksitasi pada salah satu frekuensi pribadi benda/konstruksi. Getaran pada jenis ini sangat dihindari untuk terjadi karena akan menyebabkan osilasi dan berpotensi akan merusak konstruksi. (Bilosova & Bilos, 2012).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{----- (1)}$$

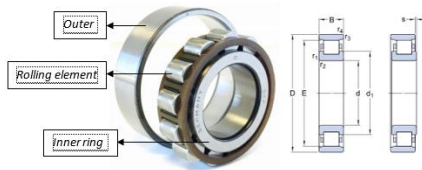
Dimana:

- ω_n : Frekuensi pribadi
- k : Konstanta kekakuan
- m : Massa

2.4 Roller Bearing

Roller Bearing (bantalan) adalah elemen mesin yang berfungsi untuk menumpu poros yang berputar dengan pembebanan radial. *Roller bearing* merupakan salah satu jenis *bearing* yang menggunakan *roll* sebagai tumpuannya. (Slocum, 2008).

Roller bearing yang digunakan pada penelitian ini adalah *cylindrical roller bearing* dengan nomor seri NU202E. *Bearing* tersebut dapat menerima beban radial yang tinggi.



Gambar 2.6 Roller Bearing

2.4.1 Jenis-jenis kerusakan pada Roller Bearing

Cacat pada bantalan bola dapat dikelompokkan dalam dua kategori yaitu:

a. Cacat Lokal

Jenis cacat yang termasuk dalam cacat lokal adalah adanya goresan ataupun lubang pada lintasan dalam, lintasan luar dan bola. Sinyal yang dibangkitkan akibat cacat lokal ini berupa impuls, yaitu pada saat elemen rotasi bersentuhan dengan cacat lokal tersebut. Cacat ini biasanya terjadi karena usia *bearing* yang sudah terlalu lama, korosi dan *manufacturing error*. (Shah & Patel, 2016)

b. Cacat Terdistribusi/merata

Bila pada bantalan bola terdapat cacat terdistribusi, maka gaya kontak akan berubah secara periodik. Jenis cacat yang termasuk dalam kategori cacat terdistribusi ini adalah ketidakbulatan lintasan luar dan lintasan dalam, ketidakseman sumbu (*misalignment*) antara

sumbu lintasan luar dan lintasan dalam, serta ketidakseman dimensi bola. Cacat ini biasanya berupa lintasan yang kasar, bergelombang atau *rolling element* yang sudah aus. (Shah & Patel, 2016)

2.5 Standards and Limitations of Vibration ISO 2372

ISO 2372 adalah standar getaran yang paling sering digunakan. Standar ini dapat digunakan untuk mengetahui tingkat getaran yang diizinkan untuk berbagai jenis kelas pemersinan. (Scheffer & Girdhar, 2004).

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816						
Machine	Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71			good	
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80			satisfactory	
	0.18	4.50				
	0.28	7.10			unsatisfactory	
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0			unacceptable	
1.10	45.0					

Class I Individual parts of engines and machines integrally connected with a complete machine in its normal operating condition (production electrical motors of up to 15 kW are typical examples of machines in this category).
Class II Medium-sized machines (typically electrical motors with 15–75 kW output) without special foundations, rigidly mounted engines or machines (up to 300 kW) on special foundations.
Class III Large prime movers and other large machines with rotating masses mounted on rigid and heavy foundations, which are relatively stiff in the direction of vibration.
Class IV Large prime movers and other large machines with rotating masses mounted on foundations, which are relatively soft in the direction of vibration measurement (for example – turbogenerator sets, especially those with lightweight substructures).

Gambar 2. 7 ISO 2372 Guideline for Machinery Vibration Severity

2.6 Ciri Kerusakan Bearing

Menurut Scheffer & Girdhar (2004:112), terdapat formula untuk menentukan frekuensi kerusakan *bearing*. Mereka mengatakan bahwa : “...the following formulas are used to determine bearing defect frequencies.”.

$$\left[\begin{aligned} BPF I &= \frac{N_b}{2} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \theta \right) \times RPM \\ BPF O &= \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \theta \right) \times RPM \\ BSF &= \frac{p_d}{2B_a} \left\{ \left(1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 (\cos \theta)^2 \right) \right. \\ &\quad \left. \times RPM \right\} \end{aligned} \right]$$

Where,
 BPF O = Ball Pass Frequency Outer (cpm)

- $BPFI$ = *Ball Pass Frequency Inner* (cpm)
- BSF = *Ball Spin Frequency* (cpm)
- N_b = *Number of balls*
- B_d = *Ball diameter* (mm)
- P_d = *Pitch diameter* (mm)
- Θ = *Contact Angle*

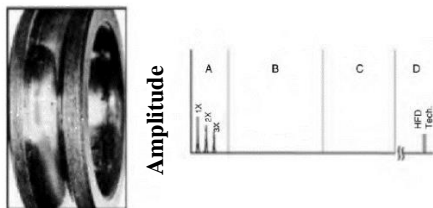
Menurut Scheffer & Girdhar (2004:113), spektrum FFT kerusakan *bearing* dapat terbagi menjadi 4 zona (A,B,C, dan D) dimana menyatakan perubahan dari keausan *bearing*. Dimana keempat zona tersebut dideskripsikan sebagai :

- Zona A : rpm mesin dan zona harmonik
- Zona B : frekuensi kerusakan bearing (5-30 kcpm)
- Zona C : zona frekuensi pribadi komponen bearing (30-120 kcpm)
- Zona D : zona deteksi frekuensi tinggi (HFD) (diatas 120 kcpm) (hlm. 113)

Menurut Scheffer & Girdhar (2004), Indikasi pertama dari keausan *bearing* dapat dilihat pada frekuensi ultrasonik yang berkisar antara 2-6 kHz (120-360 kcpm). Pada fase ini *raceways* atau *rolling element bearing* tidak memperlihatkan adanya kecacatan.

✓ Tingkat 1

Seperti terlihat pada gambar, *raceways* atau *rolling elements bearing* tidak memiliki kerusakan yang terlihat selama tingkat 1. (Scheffer & Girdhar, 2004:113)

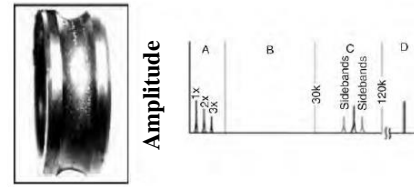


Gambar 2. 8 Tingkat 1

✓ Tingkat 2

Pada fase ini *raceways* yang cacat mulai terlihat pada posisi tertentu terhadap waktu. *Rolling elements* yang melewati posisi cacat tersebut akan menghasilkan frekuensi pribadi komponen *bearing* yang dominan terjadi pada kisaran 30-120 kcpm. Berdasarkan tingkat kerusakannya, akan memungkinkan ditemukannya frekuensi *sideband* diatas dan dibawah frekuensi pribadi

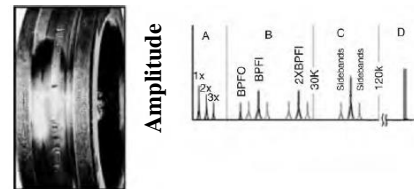
peak pada akhir fasa 2. (Scheffer & Girdhar, 2004:113)



Gambar 2. 9 Tingkat 2

✓ Tingkat 3

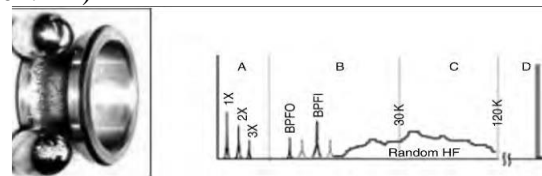
Pada fasa ini, frekuensi *bearing* yang tetap dan harmonik akan muncul pada FFT. Kemungkinan akan muncul dengan beberapa *sidebands*. Kecacatan akan dapat terlihat pada *bearing* dan akan menyebar ke tepi *raceway* pada *bearing*. (Scheffer & Girdhar, 2004:113)



Gambar 2. 10 Tingkat 3

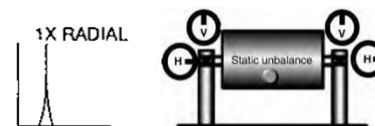
✓ Tingkat 4

Pada fasa terakhir ini kecacatan akan bersatu satu sama lain, dan menghasilkan lintasan yang kasar dan pecah pada *raceways* dan/atau *rolling elements bearing*. Pada fase ini, kondisi *bearing* sangat buruk. Bahkan amplitudo 1 kali rpm komponen akan naik. (Scheffer & Girdhar, 2004:114)



Gambar 2. 11 Tingkat 4 Spektrum Getaran Akibat Unbalance

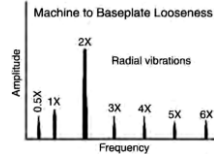
Untuk segala jenis tipe *unbalance*, spektrum FFT akan menunjukkan frekuensi getaran yang dominan pada 1x rpm. (Scheffer & Girdhar, 2004:90).



Gambar 2. 14 Spektrum Force Statis Unbalance

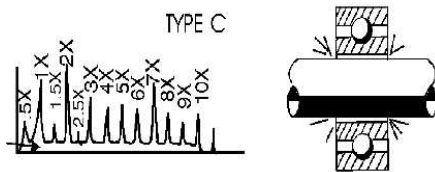
Static unbalance terjadi karena adanya ketidakseimbangan gaya yang bekerja. Pada fenomena *force unbalance* terdeteksi sebuah amplitudo yang tinggi pada arah pengukuran radial. Fenomena ini dapat diketahui dengan melihat perbedaan fase sebesar 0° pada bantalan poros. Spektrum akan menunjukkan frekuensi getaran dominan pada 1x RPM. (Scheffer & Girdhar, 2004:90).

2.7 Spektrum Getaran Mechanical Looseness



Gambar 2. 15 Spektrum *Mechanical Looseness Machine to Baseplate*

Masalah yang menyebabkan *mechanical looseness machine to baseplate* yaitu baik *pillow block* yang longgar, retakan pada struktur atau *bearing*. (Scheffer & Girdhar, 2004:100).



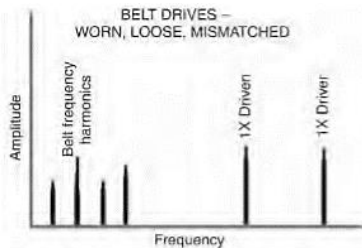
Gambar 2. 16 Spektrum *Mechanical Looseness Machine to Loose Fit*

Mechanical looseness dapat mengakibatkan frekuensi sub-harmonik pada ½ rpm, 1 ½ rpm, 2 ½ rpm, dll. (Scheffer & Girdhar, 2004:99).

2.8 Spektrum Getaran Belt Defects

Menurut Scheffer & Girdhar (2004), “There are basically four types of belt defects:” (Scheffer & Girdhar, 2004)

a) *Worn, loose or mismatched belts*



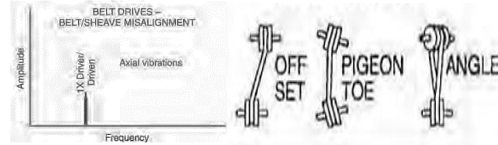
Gambar 2. 17 Spektrum *Sub-harmonic Belt Frequencies*

Dimungkinkan untuk diagnosis kesalahan mesin menggunakan analisis getaran

121 mendapatkan 3 kali atau 4 kali frekuensi sabuk. Cukup sering, frekuensi 2 kali belt dominan. Berikut ini rumus frekuensi belt :

$$\text{BELT FREQUENCY} = \frac{3,142 \times \text{PULLEY RPM} \times \text{PITCH DIAMETER}}{\text{BELT LENGTH}}$$

b) *Belt/Pulley Misalignment*

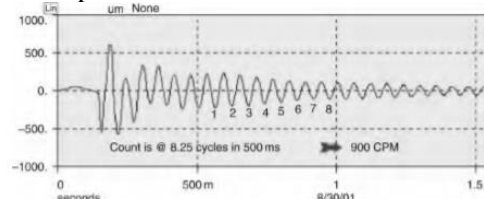


Gambar 2. 18 Spektrum Getaran Akibat *Misalignment Belt*

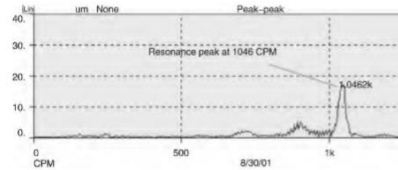
Misalignment dari *belt* menghasilkan getaran tinggi pada 1 × rpm, terutama di arah aksial. Rasio amplitudo *driver* terhadap rpm yang digerakkan tergantung pada posisi pengukuran, massa relatif dan kekakuan.

2.9 Bump Test

Bump test adalah metode sederhana untuk menemukan frekuensi pribadi dari setiap objek atau sistem. Dengan metode ini, sensor getaran dipasang pada bagian yang terdapat frekuensi pribadi. Menggunakan benturan palu, pukulan mengenai bagian konstruksi dan bentuk gelombang waktu (FFT) dikumpulkan. Frekuensi dominan yang diamati dalam dua grafik adalah frekuensi pribadi konstruksi.



Gambar 2. 21 *Time Waveform of a Bump Test*



Gambar 2. 22 *FFT Spectrum of a Bump Test*

3. LANDASAN TEORI

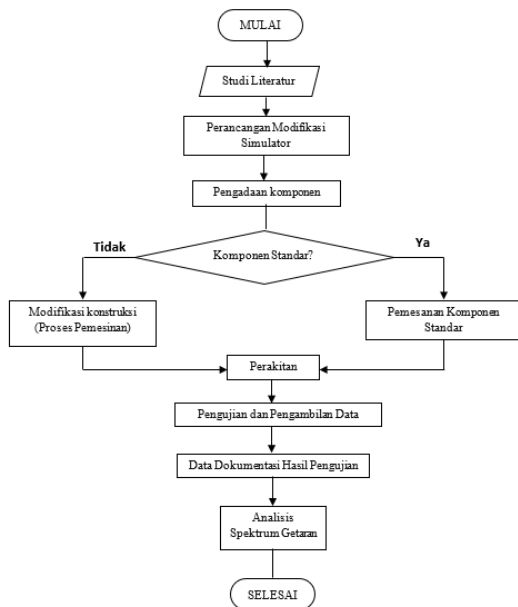
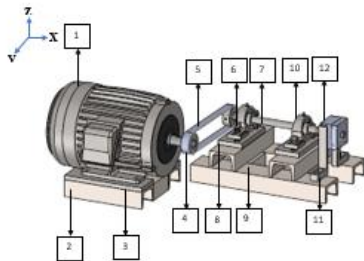


Diagram 3. 1 Diagram Alir Simulator Bearing

3.1 Perancangan Modifikasi Simulator

Mengacu pada konstruksi penahan *housing bearing* maka yang fleksibel dipilih pada arah radial vertikal. Agar fleksibel pada arah radial, maka dilakukan penambahan pegas pada konstruksi *pillow block*.



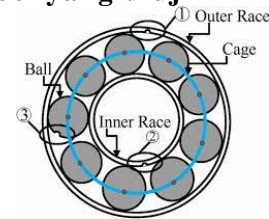
Gambar 3.1 Simulator Kerusakan Bearing

Konstruksi dibuat fleksibel pada arah radial vertikal karena pada konstruksi tugas akhir sebelumnya amplitudo frekuensi getaran yang terukur tidak dominan karena konstruksinya yang relatif kaku.

3.2 Prinsip Kerja

Simulator ini adalah sebuah konstruksi mesin sederhana yang dibuat untuk meneliti kerusakan *roller bearing*. Simulator ini terdiri dari penggerak primer berupa motor listrik yang dihubungkan melalui konstruksi puli dan *belt* serta *pillow block* sebagai penyangga hingga *roller bearing* sebagai spesimen uji. Pertama-tama putaran dari motor diteruskan oleh poros konstruksi puli dan *belt*. Lalu poros melalui 2 buah *pillow block* (*self-alignment bearing*) yang juga berguna untuk menjaga kesejajaran poros yang panjang. Dan yang terakhir poros melalui *housing bearing* yang didalamnya terdapat spesimen *roller bearing* yang diuji.

3.3 Variabel yang diuji

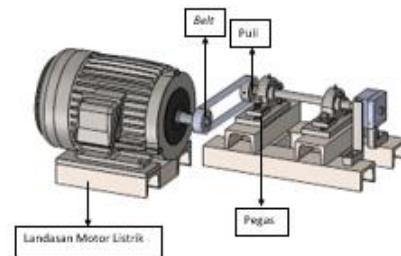


Gambar 3.2 Variabel yang diuji

Variable yang diuji pada penelitian ini adalah *roller bearing* yang memiliki 3 kondisi. Yaitu:

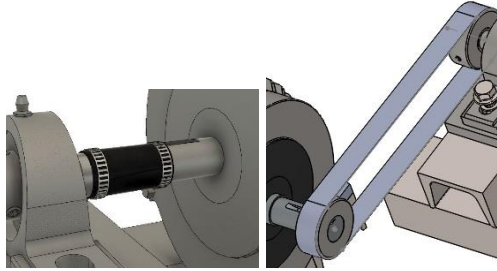
1. Kondisi normal (tidak rusak)
2. Kondisi rusak *inner ring bearing*
3. Kondisi rusak *rolling element bearing*

3.4 Modifikasi yang dilakukan

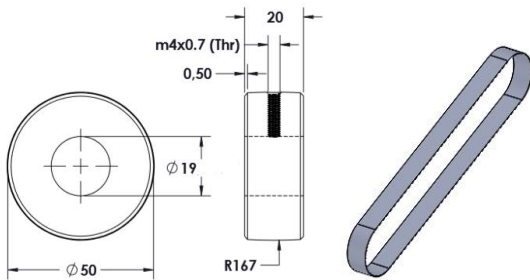


Gambar 3.3 Modifikasi yang dilakukan

- a) Tranmisi Penerus Putaran



Gambar 3. 4 Transmisi sebelum Modifikasi dan **Gambar 3. 5** Transmisi Puli dan *Belt* setelah Modifikasi

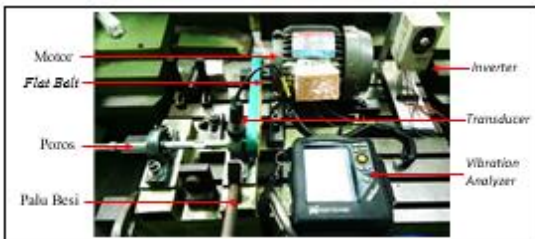


Gambar 3. 6 Transmisi Puli dan **Gambar 3. 7** *Transmisi Belt*

3.5 PENGUJIAN

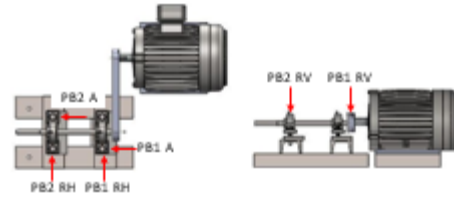
Pengujian yang dilakukan terdapat beberapa jenis yaitu pengujian *bump test*, *coastdown* dan spektrum pada kecepatan kerja.

3.5.1 Gambaran Rancangan Pengujian *Bump Test*.



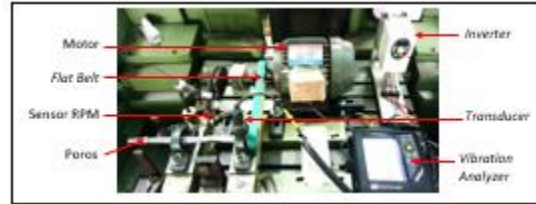
Gambar 3. 8 Gambaran Rancangan Pengujian *Bump Test*

Proses pengujian ini dilakukan untuk mengetahui frekuensi pribadi. Adapun perangkat dan alat yang digunakan pada pengujian ini adalah sensor getaran/*transducer* yang terhubung dengan *Vibration Analyzer*, dan palu besi yang kecil. Pengujian *bump test* dilakukan tanpa pemasangan specimen *bearing* dengan beberapa arah pengujian. Berikut gambar letak dan arah pengujian *bump test* pada *pillow block*.



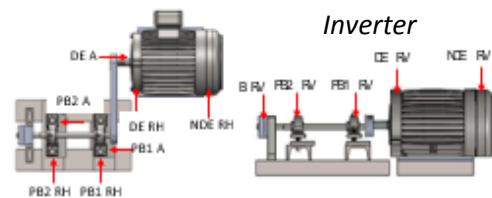
Gambar 3. 7 Letak Pengujian *Bump Test*

3.5.2 Gambaran Rancangan Proses Pengujian *Coastdown*



Gambar 3. 9 Gambaran Rancangan Proses Pengujian *Coastdown*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui frekuensi pribadi. Proses pengujian ini memerlukan beberapa perangkat diantaranya *transducer* dan sensor RPM yang terhubung dengan *Vibration Analyzer* dan juga *inverter* yang telah di *set* untuk melakukan *deceleration* dari rpm 1490 hingga rpm 300. Letak pengujian pada *pillow block 1* dan *pillow block 2* dengan ketiga arah (radial vertikal, radial horizontal, aksial) tanpa *bearing* dan dengan pemasangan *roller bearing*.



Gambar 3. 10 Letak Pengujian *Coastdown*

3.5.3 Gambaran Rancangan Proses Pengujian Spektrum pada Kecepatan Putar Kerja



Gambar 3. 11 Pengujian Spektrum pada *Pillow Block* sebelum Pemasangan *Roller Bearing*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ciri getaran yang terjadi pada rpm konstan pada masing-masing komponen. Proses pengujian ini dilakukan pada rpm konstan yang telah di *set* pada *inverter* yaitu sebesar 50 Hz atau 1490 rpm. Pada proses pengujian ini diperlukan beberapa perangkat yang terhubung dengan *Vibration Analyzer* yaitu sensor getaran/*transducer* dan sensor RPM. Pengujian dilakukan dengan 3 jenis arah pengukuran yaitu; radial vertikal, radial horizontal dan aksial.

Pengujian dilakukan dengan tiga tahap, yaitu :

- Pengujian pertama dilakukan saat motor hanya terpasang puli, dengan tujuan untuk mengetahui frekuensi getaran dari motor.
- Pengujian kedua dilakukan dengan pemasangan *pillow block*, dengan tujuan untuk mengetahui apakah ada perubahan saat terhubung poros *pillow block* atau tidak.
- Pengujian terakhir dilakukan saat konstruksi penuh (terpasang *roller bearing*), dengan tujuan untuk mengetahui frekuensi getar yang terjadi pada *roller bearing*.
- Pengujian dilakukan dengan tiga tahap agar bisa membedakan frekuensi getar pada motor, *pillow block* dan *roller bearing*.

4 DATA DAN ANALISIS

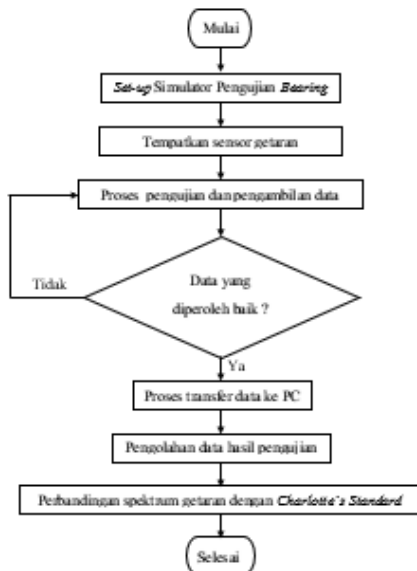


Diagram 4.1 Diagram Alir Data dan Analisis

4.1 Hasil Pengujian

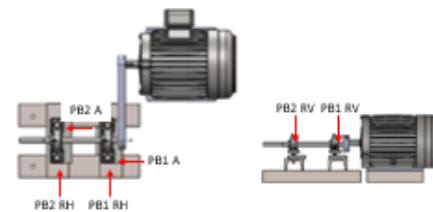
4.1.1 Hasil Pengujian pada *Pillow Block*

Jenis pengujian yang dilakukan pada *pillow block* yaitu pengujian *bump test*, *coastdown* dan pengujian spektrum pada kecepatan kerja 1490 rpm (50 Hz). Pengujian ini dilakukan pada tiga arah yaitu radial vertikal, radial horizontal dan aksial dengan menempatkan sensor getaran pada *pillow block*.

Tahapan pengujian pada *pillow block* dilakukan dengan dua tahap yaitu tanpa pemasangan *roller bearing* (spesimen pengujian) dan dengan pemasangan *roller bearing*.

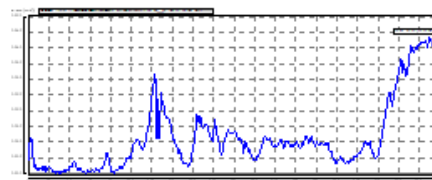
a) *Pillow block* tanpa pemasangan *roller bearing*

Pengujian yang dilakukan pada *pillow block* tanpa pemasangan *roller bearing* yaitu *bump test*, *coastdown* dan pada kecepatan putar kerja 1490 rpm.

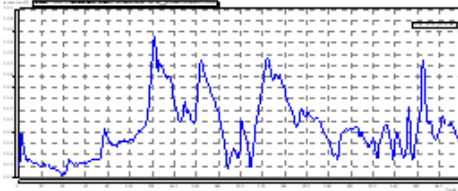


Gambar 4. 1 Arah Pengujian pada *Pillow Block* tanpa Pemasangan *Roller Bearing*

Sebagai perbandingan hasil pengujian *coastdown/waterfall* untuk mendapatkan frekuensi pribadi dari sebuah konstruksi maka dapat dilihat pada hasil pengujian *bump test*. Berikut hasil pengujian *bump test* pada *pillow block* arah radial horizontal :



Grafik 4. 1 Spektrum *Bumptest* Arah Radial Vertikal pada *Pillow Block* 1 tanpa Pemasangan *Roller Bearing*



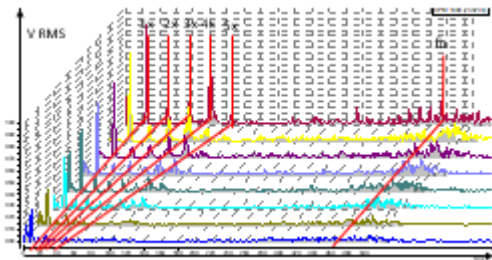
Grafik 4. 2 Spektrum *Bumptest* Arah Radial Vertikal pada *Pillow Block 2* tanpa Pemasangan *Roller Bearing*

Pada spektrum hasil pengujian diatas, pada pengujian *bump test* terukur frekuensi pribadi dari yang paling terendah yaitu 123-390 Hz. Karena hasil pengujian *coastdown* menunjukkan pada frekuensi 122-365 Hz maka frekuensi pribadi pada konstruksi tersebut diangka 122-365 Hz.

Setelah dilakukan modifikasi, frekuensi pribadi konstruksi lebih rendah yaitu 120 Hz dibandingkan sebelum dilakukan modifikasi yaitu 189 Hz pada arah radial vertikal. Konstruksi sebelum modifikasi relatif lebih kaku sehingga frekuensi pribadi yang terukur lebih tinggi dibandingkan frekuensi pribadi konstruksi setelah modifikasi.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Frekuensi Getaran *Belt*

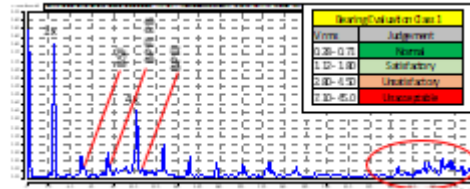
No	Phi	Pd [mm]	Belt Length [mm]	n [RPM]	Belt Frequency [Hz]
1	3.142	50	650	1490	360.12



Grafik 4. 8 Spektrum Hasil Pengujian *Waterfall* pada *Pillow Block 1* Arah Radial Vertikal setelah Terpasang *Bearing* Kondisi Rusak *InnerRadius Bearing*

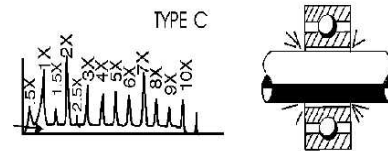
Hasil spektrum diatas menunjukkan amplitudo lebih dominan pada 1x rpm dan 4x rpm. Dari hasil pengujian *coastdown/waterfall* arah radial vertikal terdapat prikuensi pribadi pada 360 Hz.

Setelah dilakukan pengujian *coastdown*, kemudian dilakukan pengujian dengan kecepatan putar kerja pada 1490 rpm.



Grafik 4. 9 Spektrum Hasil Pengujian pada *Pillow Block 1* Arah Radial Vertikal setelah Terpasang *Bearing* Kondisi Normal

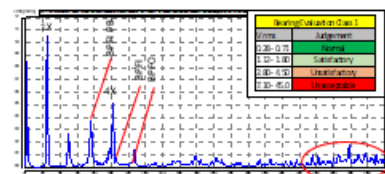
Setelah terpasang *roller bearing* hasil pengujian *pillow block* pada 1x rpm meningkat dari sebelum terpasang spesimen *roller bearing*. Pada ISO 2372 *Guideline For Machinery Vibration Severity* amplitudo > 0.7 [mm/s] tidak normal.



Gambar 4. 2 Ciri kerusakan *Mechanical Looseness Type C*

Hasil pengujian spektrum pada *pillow block 1* arah radial vertikal setelah terpasang *bearing* kondisi normal terdapat ciri *mechanical looseness* karena suaian dari *rolling element* terhadap *inner ring bearing* itu sendiri.

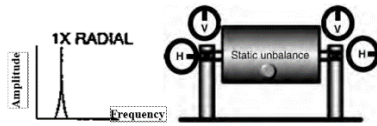
Berikut hasil pengujian kecepatan putar kerja pada *pillow block 1* arah radial vertikal setelah terpasang *bearing* kondisi rusak *inner ring bearing*.



Grafik 4. 10 Spektrum Hasil Pengujian pada *Pillow Block 1* Arah Radial Vertikal setelah Terpasang *Bearing* Kondisi Rusak *InnerRadius Bearing*

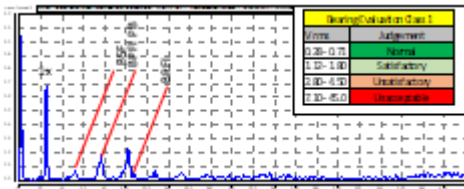
Spektrum hasil pengujian kecepatan putar kerja 1490 rpm pada *pillow block* 1 arah radial vertikal setelah terpasang *bearing* kondisi rusak *innerring bearing* pada 1x rpm dan 4x terjadi peningkatan amplitudo yaitu v_{rms} 1.1 [mm/s] dan pada 4x rpm meningkat menjadi v_{rms} 0.5 [mm/s].

Dari spektrum hasil pengujian pada 1x rpm mempunyai amplitudo dominan. Kemungkinan yang mengakibatkan hal tersebut terjadi akibat *unbalance*.



Gambar 4. 3 Ciri Kerusakan *Unbalance*

Berikut spektrum hasil pengujian *pillow block* setelah terpasang *roller bearing* dengan kondisi rusak *rolling element bearing* :

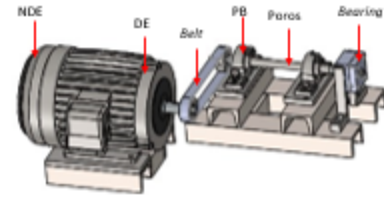


Grafik 4. 11 Spektrum Hasil Pengujian pada *Pillow Block* 1 Arah Radial Vertikal setelah Terpasang *Bearing* Kondisi Rusak *Rolling Element Bearing*

Spektrum hasil pengujian kecepatan putar kerja 1490 rpm pada *pillow block* 1 arah radial vertikal setelah terpasang *bearing* kondisi rusak *rolling element bearing* terdapat frekuensi *rolling element bearing pillow block* (BSF) yaitu 52 Hz. Dan pada frekuensi *innerring bearing* pada 76 Hz.

4.1.2 Hasil Pengujian Getaran pada *Roller Bearing*

Pengujian ini dilakukan ketika semua bagian terpasang mulai dari motor hingga *housing bearing*.

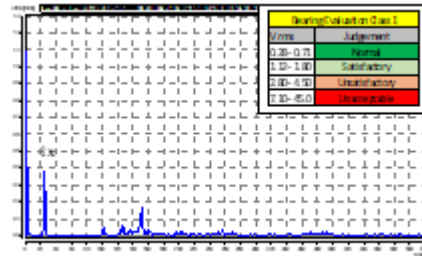


Gambar 4. 4 Pengujian pada *Roller Bearing*

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Frekuensi Getaran *Roller Bearing*

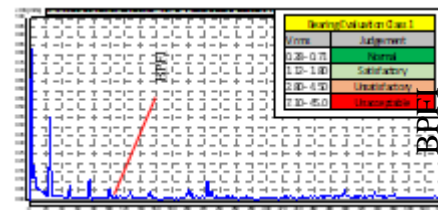
No	Bearing	Nb	Ed (mm)	Pd (mm)	Ø	KPM	BPFO (Hz)	BPFI (Hz)	BSF (Hz)
1	NU202E	11	5.5	24.80	0	1490	166.87	106.29	53.23

Setelah mengetahui frekuensi dari *roller bearing*, kemudian dilakukan pengujian kecepatan putar kerja 1490 rpm. Berikut hasil pengujian kecepatan putar kerja (1490 rpm) pada *roller bearing* :



Grafik 4. 12 Spektrum Hasil Pengujian pada Kondisi *Bearing Normal*

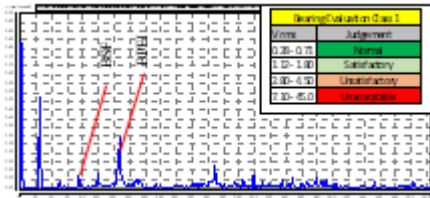
Spektrum hasil pengujian dominan pada 1x rpm dengan amplitudo v_{rms} 0.48 [mm/s]. Kemudian pada frekuensi 152 Hz dominan kedua dengan nilai amplitudo v_{rms} 0.17 [mm/s].



Grafik 4. 13 Spektrum Hasil Pengujian pada *Bearing* Kondisi Rusak *Innerring Bearing*

Spektrum hasil pengujian pada *bearing* kondisi rusak *inner ring bearing* terdapat ciri frekuensi *inner ring bearing* yaitu 106 Hz.

Namun, nilai amplitudo BPFI tidak terlalu dominan yaitu pada V_{rms} 0.025 [mm/s].

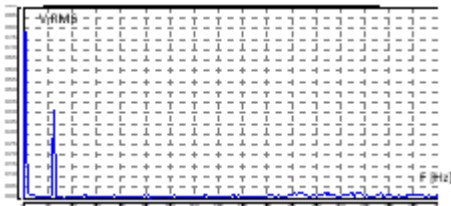


Grafik 4. 14 Spektrum Hasil Pengujian pada *Bearing* Kondisi Rusak *Rolling Element Bearing*

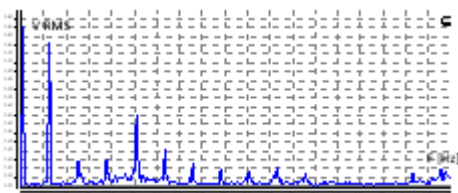
Spektrum hasil pengujian pada *bearing* kondisi rusak *rolling element bearing* terdapat ciri frekuensi *rolling element* yaitu 53 Hz dan ciri frekuensi *inner ring bearing* 106 Hz.

Pada saat pemasangan *roller bearing* frekuensi getar yang terukur lebih kecil dibanding dengan sebelum pemasangan *roller bearing* kemungkinan yang terjadi saat pemasangan *roller bearing* terjadi gesekan antara penahan *housing bearing* dengan *housing bearing* yang menyebabkan getaran yang terjadi teredam dibandingkan dengan sebelum pemasangan *housing roller bearing*.

4.1.4 Perbandingan Spektrum Arah Radial Vertikal dan Arah Radial Horizontal



Grafik 4. 15 Spektrum Hasil Pengujian *Pillow Block* Arah Radial Horizontal



Grafik 4. 16 Spektrum Hasil Pengujian *Pillow Block* Arah Radial Vertikal

Tabel 4. 2 Aplitudo *Bearing* Sebelum Modifikasi

Kondisi <i>Bearing</i>	Amplitudo [mm/s]		
	BPFO	BPFI	BSF
Normal	0.01	0.03	0.03
<i>Innerring</i>	0.08	0.01	0.03
<i>Roller</i>	0.03	0.01	0.02

Tabel 4. 3 Amplitudo *Bearing* Setelah Modifikasi

Kondisi <i>Bearing</i>	Amplitudo [mm/s]		
	BPFO	BPFI	BSF
Normal	0.02	0.07	0.07
<i>Innerring</i>	0.03	0.07	0.05
<i>Roller</i>	0.02	0.05	0.07

Jika dibandingkan amplitudo sebelum modifikasi dan sesudah modifikasi, maka dapat disimpulkan bahwa setelah modifikasi amplitudo frekuensi getaran yang terukur lebih dominan.

5 KESIMPULAN

- Modifikasi simulator kerusakan *bearing* berhasil dilakukan dan hasilnya fleksibel pada arah radial vertikal dengan penambahan komponen pegas agar getaran tidak teredam dan elemen penerus putar *flat belt*.
- Dibuktikan dengan besar amplitudo yang dominan pada arah radial vertikal dibandingkan pada arah radial horizontal.
 - 1x rpm pada *pillow block* 1.06 [mm/s] arah radial vertikal
 - 1x rpm pada *pillow block* 0.36 [mm/s] arah radial horizontal
 - Ciri kerusakan *unbalance, mechanical looseness* dan frekuensi pribadi terlihat dengan tiga jenis pengujian yaitu *bump test, coastdown* dan *spektrum* pada kecepatan putar kerja 1490 rpm.
 - BPFO 167 Hz v_{rms} 0.07 [mm/s], BPFI 106 Hz v_{rms} 0.05 [mm/s] dan BSF 53 Hz v_{rms} 0.07 [mm/s].
 - Frekuensi pribadi sebelum modifikasi konstruksi 189 Hz sedangkan frekuensi pribadi setelah dimodifikasi 122 Hz yang berarti, konstruksi sebelum modifikasi lebih kaku dibandingkan dengan konstruksi setelah modifikasi konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Rao, Singiresu S. 2011. *Mechanical Vibrations*. Miami : Prentice Hall, 2011.
- Scheffer, Cornelius and Girdhar, Paresh. 2004. *Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance*. Oxford : ELSEVIER, 2004.
- Bilosova, Alena and Bilos, Jan. 2012. *Vibration Diagnostics*. Ostrava : European Union, 2012.
- Thomson, William T and Dahleh, Marie Dillon. 1998. *Theory of Vibration with Applications*. New York : Prentice-Hall, Inc, 1998.
- SKF. 2000. *SKF Vibration Analysis Guide*. California : SKF Reliability System, 2000.n.
1998. *Theory of Vibration with Applications*. New York : Prentice-Hall, Inc, 1998.
- Vierck, Robert K. 1995. Analisis Getaran. Trans. Dicky Rezady. Munaf. Bandung: Eresco. 1995.
- Study on Excitation Forces Generated by Defective Races of Rolling Bearing*. Shah, Dipen S and Patel, V N. 2016. 2016, ICIAME, p. 1.
- Slocum, Alexander. 2008. *Fundamentals*. Massachusetts Institute of Technology Education Web Site. [Online] 2008. <http://web.mit.edu/>.
- J. Mais, *Spectrum Analysis: The Key Features of Analyzing Spectra* (SKF Reliability System, USA, 2002)