

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Bantalan (*bearing*) adalah suatu komponen yang sangat vital didalam mesin rotari yang berfungsi untuk menumpu sebuah poros agar berputar pada sumbu poros tanpa mengalami gesekan yang berlebih. Jika bantalan (*bearing*) mengalami keausan akan mengalami kerusakan yang fatal pada kinerja mesin dan mengakibatkan kerusakan pada komponen yang lainnya. Oleh sebab itu sangatlah penting mengetahui kerusakan bantalan sedini mungkin dengan cara memonitoring agar bantalan pada kondisi yang baik. Sudah ada beberapa peneliti yang melakukan penelitian tentang mendeteksi kerusakan bantalan menggunakan sinyal getaran.

Aji (2007) melakukan penelitian tentang Deteksi kerusakan bantalan gelinding pada pompa sentrifugal dengan analisa sinyal getaran. Dalam penelitian tersebut menggunakan metode analisa frekuensi untuk membandingkan karakteristik sinyal getaran bantalan baik dan bantalan cacat. Penelitian ini mendapatkan hasil indikasi pertama kerusakan bantalan terlihat pada plot frekuensi kisaran tinggi. Bantalan cacat pada lintasan luar akan meningkatkan amplitudo getaran yang dominan pada daerah frekuensi  $3 \times \text{BPFO}$  (197,5 Hz), bantalan yang mengalami kerusakan pada lintasan dalam akan meningkatkan amplitudo getaran dominan pada daerah  $4 \times \text{BPFI}$  (435 Hz). Sedangkan cacat pada elemen bola timbul getaran dengan amplitudo dominan pada daerah frekuensi  $2 \times \text{BSF}$  (62,5 Hz). Dengan nilai amplitudo pada bantalan kondisi baik yaitu 0,802 volt, dan sedangkan cacat pada lintasan dalam 1,294 volt, cacat pada lintasan luar 1,662 volt dan cacat pada bola 2,006 volt.

Wahyudi, dkk (2016) melakukan penelitian tentang mendeteksi kerusakan bantalan dengan menggunakan sinyal vibrasi. Peneliti melakukan analisis kerusakan pada bantalan seri 2205-K-2RSR-C3 dengan kondisi bantalan baik dan bantalan cacat (*outer race, inner race, roll*) menggunakan analisis domain frekuensi. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa bantalan cacat pada *outer race*

dan *rolling* memberikan nilai amplitudo yang cenderung bervariasi. Bantalan yang cacat pada *outer race* dan *rolling* akan menghasilkan spektrum FFT dengan garis puncak frekuensi berimpitan masing-masing dengan garis frekuensi impuls BPFO dan BSF.

Sujana, dkk (2014) melakukan penelitian tentang deteksi kerusakan bearing pada condensate pump dengan analisis sinyal vibrasi. Peneliti melakukan pengambilan sinyal vibrasi menggunakan *CSI Analyzer 2130* pada sisi vertikal, horizontal dan peakvue condensate pump. Dalam penelitian ini menghasilkan sinyal vibrasi pada bantalan dalam kondisi normal dan bantalan kondisi rusak sangat berbeda, perbedaan tersebut dapat dilihat pada bentuk sinyal spektrum dan waveform vibrasi. Selain itu perbedaan juga terjadi pada nilai overall pada bantalan rusak yaitu sebesar 3,491 G-s dan pada bantalan normal sebesar 0,187 G-s. Nilai overall bantalan rusak sudah melampaui batas baik vibrasi yaitu 1,80 G-s.

Setiyadi, dkk (2014), melakukan penelitian tentang karakteristik getaran pada bantalan bola menyelaraskan sendiri karena kerusakan sangkar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kerusakan *cage* pada bantalan gelinding. Karakteristik getaran pada bantalan gelinding yang mengalami kerusakan *cage* dapat diketahui dengan percobaan pada *test rig*. Parameter pengukuran getaran yaitu variasi putaran dan tingkat kerusakan pada *cage* (kerusakan ringan, sedang dan berat). Analisa yang digunakan adalah analisa *comparative*, *trending* dan *descriptive* dari amplitudo, sinyal (*time domain*) dan spektrum (*frequency domain*). Berdasarkan hasil pengukuran dan analisa diketahui bahwa dengan meningkatnya tingkat kerusakan pada bantalan maka terjadi kenaikan amplitudo pada *time domain* dan terjadi perubahan amplitudo antara bantalan kondisi normal dengan bantalan yang mengalami kerusakan *cage* pada frekuensi 8,4 Hz dimana frekuensi tersebut adalah frekuensi kerusakan *cage* atau disebut FTF (*Fundamental Train Frequency*).

Suhardjono (2005) melakukan penelitian tentang analisis sinyal getaran pada bantalan bola untuk menentukan jenis dan tingkat kerusakannya. Peneliti

melakukan pengujian pada tiga buah bantalan dengan seri ASB No. 6203. Bantalan pertama adalah bantalan baru, bantalan kedua adalah bantalan cacat (cacat lintasan dalam, cacat lintasan luar, cacat bola, cacat sangkar) dan bantalan ketiga adalah bantalan bekas pemakaian. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran pada arah *horizontal* dan *vertical* dengan menggunakan metode analisis domain waktu dan domain frekuensi. Hasil yang diperoleh setiap kerusakan pada bantalan dibagian lintasan dalam, lintasan luar, bola, sangkar dan bantalan bekas memperlihatkan kenaikan nilai amplitude pada frekuensinya masing-masing. Sinyal getaran untuk cacat pada bola juga terjadi akibat benturan secara periodik, tetapi lebih teratur dan amplitude relatif besar. Hasil perhitungan teoritik *Ball Spin Frequency* (BSF) = 113,08 Hz sedangkan hasil pengukuran 114 Hz, maka dapat disimpulkan bahwa getaran dari bantalan bola yang baru (baik) memperlihatkan getaran *sinusoidal* murni, sedangkan yang ada cacat lokalnya akan terlihat acak (random) atau benturan secara periodik. Cacat pada lintasan dalam akan muncul getaran pada frekuensi di sekitar BPFI (*Ball Pass Frequency Inner race*). Cacat pada lintasan luar akan muncul getaran pada frekuensi di sekitar BPFO (*Ball Pass Frequency Outer race*). Getaran yang muncul pada frekuensi di sekitar BSF (*Ball Spin Frequency*) berarti terjadi cacat pada bola. Kerusakan pada pemisah memperlihatkan sinyal getaran dalam domain waktu yang hampir sama seperti bantalan baru, tetapi akan muncul frekuensi FTF (*Fundamental Train Frequency*) yang menunjukkan terjadi kerusakan pada pemisah bola. Untuk bantalan bola bekas yang semua komponennya aus/rusak memperlihatkan munculnya getaran dengan frekuensi yang sesuai dengan semua jenis kerusakan diatas.

Suanto, (2017) melakukan penelitian mendeteksi kerusakan pada bantalan bola lintasan dalam. Peneliti menggunakan metode analisis *envelope* dengan variasi kecepatan putaran poros 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, 1600 RPM. Penelitian ini menggunakan bantalan bola tipe *dowble row self aligned merk SKF 1207 EKTN9*, pada kondisi normal dan kondisi cacat lintasan dalam. Hasil penelitian menunjukkan pada bantalan normal tidak muncul nilai frekuensi dari cacat bantalan, baik pada hasil plot spektrum frekuensi dan juga spektrum

envelope pada semua variasi kecepatan poros. Berbeda dengan hasil plot spektrum frekuensi dan spektrum envelope yang menunjukkan munculnya nilai frekuensi dari cacat bantalan. Dimana pada hasil plot spektrum envelope muncul frekuensi dari cacat bantalan yang mendekati hasil dari perhitungan menggunakan rumus BPF1 dengan diikuti 3 kali harmoniknya.

Kamiel, dkk (2017) melakukan penelitian deteksi cacat bantalan bola pada pompa sentrifugal menggunakan spektrum frekuensi dan spektrum envelope. Penelitian ini menggunakan tiga kondisi bantalan yaitu normal, cacat lintasan dalam, dan cacat lintasan luar. Peneliti menggunakan sensor akselerometer yang hasilnya diperoleh dari DAQ (*Data Acquisition*) dan kemudian diolah menggunakan Matlab. Penelitian ini menunjukkan hasil Pada spektrum frekuensi, amplitudo frekuensi cacat bantalan dapat terlihat yang diikuti dengan harmoniknya. Namun amplitudo pada frekuensi tersebut sering tertutupi oleh amplitudo frekuensi lain yang lebih tinggi, dengan demikian hal tersebut tidak dapat mendeteksi cacat bantalan yang masih awal. Peneliti menyatakan bahwa spektrum envelope lebih baik dibandingkan dengan spektrum frekuensi. Hal ini dikarenakan frekuensi rendah yang dihasilkan dari komponen lain diblok dan difiltrasi menggunakan *filter high-pass*. Sehingga mempermudah untuk mendeteksi amplitudo rendah dari sinyal getaran frekuensi tinggi dari bantalan yang cacat.

Dari beberapa penelitian di atas menunjukkan bahwa analisis spektrum banyak digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan. Analisis spektrum dianggap unggul dalam mendeteksi kerusakan pada bantalan karena sinyal frekuensi langsung dapat dianalisis. Akan tetapi metode *spektrum frekuensi* memiliki beberapa kekurangan. Kekurangannya adalah hasil sinyal frekuensi masih bercampur antara sinyal frekuensi rendah dengan sinyal frekuensi tinggi, dan masih banyak sinyal frekuensi yang muncul dari komponen lainnya. Sehingga hal ini akan mempersulit proses pembacaan. Analisis *envelope* dianggap paling handal dan banyak digunakan karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan *spektrum frekuensi*. Analisis *envelope* hanya fokus pada frekuensi yang tinggi

dan menghilangkan frekuensi rendah dengan cara di filter menggunakan (*high-pass filter*), hal tersebut mempermudah dalam melakukan analisis apakah terjadinya kerusakan atau tidak dengan melihat sinyal frekuensi yang tertinggi.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Motor Bakar**

Motor bakar adalah salah satu mesin kalor atau mesin konversi energi yang merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Motor bakar ada dua macam yaitu motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan motor pembakaran luar (*external combustion engine*). Motor pembakaran dalam adalah motor yang sistem pembakarannya terjadi didalam mesin itu sendiri dan hasil pembakarannya diubah menjadi tenaga mekanik contohnya; mesin diesel, mesin bensin. Motor pembakaran luar adalah motor yang sistem pembakarannya terjadi di luar sistem (silinder). Dari ruang pembakaran, energi panas dialirkan ke kontruksi mesin melalui media penghubung contohnya; mesin uap atau turbin uap, mesin nuklir atau turbin nuklir.

### **2.2.2 Prinsip Kerja Motor Bakar**

Motor bakar ditinjau dari prinsip kerjanya dibedakan menjadi dua macam yaitu:

#### **2.2.2.1. Motor bakar 4 langkah**

Prinsip kerja motor bakar 4 langkah yaitu setiap 1 siklus pembakaran memerlukan 4 langkah gerakan piston dan 2 kali putaran poros engkol. Jadi pada motor 4 langkah, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) yaitu titik terbawah yang dapat dicapai piston, ke titik mati atas (TMA) titik paling atas yang dicapai piston, dan sebaliknya sebanyak 4 kali. Busi akan memercikkan satu kali bunga api setiap piston bergerak sebanyak 4 langkah.

##### 1) Langkah hisap

- a. Piston akan bergerak dari TMA ke TMB.

- b. Terbukanya katup masuk dan katup buang tertutup.
  - c. Udara dan bahan bakar yang sudah tercampur akan masuk ke silinder melalui katup masuk.
  - d. Pada saat torak berada di TMA katup masuk tertutup.
- 2) Langkah kompresi
- a. Piston akan bergerak dari TMB menuju ke TMA.
  - b. Katup masuk dan katup buang akan tertutup bersamaan sehingga gas yang telah dihisap tidak keluar pada saat ditekan piston yang mengakibatkan tekanan gas naik.
  - c. Sebelum piston akan mencapai TMA busi mengeluarkan bunga api.
  - d. Bahan bakar yang sudah mencapai tekanan tinggi akan terbakar.
  - e. Pembakaran bahan bakar akan mengakibatkan tekanan akan naik menjadi tiga kali lipat.
- 3) Langkah pembakaran
- a. Katup masuk dan katup buang masih dalam keadaan tertutup
  - b. Gas akan terbakar dengan tekanan yang tinggi kemudian akan mengembang dan menekan piston kebawah dari TMA ke TMB.
  - c. Tenaga ini disalurkan melalui connecting rod, selanjutnya oleh poros engkol diubah menjadi gerak rotasi
- 4) Langkah pembuangan
- a. Katup buang terbuka, katup masuk tertutup.
  - b. Torak bergerak dari TMB ke TMA.
  - c. Gas sisa pembakaran terdorong oleh piston keluar melalui katup buang.

#### **2.2.2.2. Motor bakar 2 langkah**

Pada motor bensin 2 langkah yaitu satu putaran engkol dan satu kali kerja. Proses masuknya bahan bakar berlangsung dibawah torak (di dalam Crankcase) dan diatas torak melalui saluran bilas. Tekanan pembakaran diatas torak tidak seluruhnya digunakan untuk menggerakkan

poros engkol, tetapi mengerakan sebagian digunakan untuk menekankan bahan bakar yang ada didalam crankcase untuk tujuan pembilasan.

#### 1). Langkah Hisap dan kompresi

Piston akan bergerak menuju TMA ruang engkol akan membesar dan menjadikan ruang tersebut hampa, katup masuk terbuka. Dengan adanya perbedaan tekanan ini, maka udara diluar dapat mengalir masuk dan bercampur dengan bahan bakar dikarburator yang selanjutnya masuk ke ruang engkol (langkah ini disebut langkah hisap). Disisi lain katup masuk dan katup buang tertutup piston, sehingga terjadi proses kompresi. Dengan gerakan keatas piston mendesak gas baru yang telah masuk sebelumnya, dan membuat tekanan gas meningkat. Sebelum piston sampai ke TMA busi akan mengeluarkan percikan bunga api dan membakar campuran gas yang disebut dengan langkah kompresi.

#### 2). Langkah Kerja dan Buang

Pada saat piston sampai TMA maka campuran gas baru yang dikompresikan kemudian dibakar oleh busi. Gas yang terbakar akan mengakibatkan ledakan untuk menghasilkan tenaga menekan piston untuk memutar poros engkol melalui *conecting rod* pada saat menuju ke TMB (langkah kerja). Setelah piston bergerak ke TMB katupakan terbuka oleh kepala piston, gas sisa pembakaran keluar melalui saluran buang (langkah buang). Selanjutnya saluran bilas mulai membuka oleh tepi piston. Ketika piston membuka saluran bilas langkah pembuangan telah dimulai. Gas baru yang berada dibawah piston terdesak, campuran yang dikompesikan tersebut mengalir melalui saluran bilas menuju puncak ruang bakar seiring membantu gas sisa hasil pembakaran keluar.

### 2.2.3 Sepeda Motor Vespa



Gambar 2.1 Sepeda Motor Vespa

<https://www.google.com/search?q=foto+vespa+sprint>

Vespa adalah salah satu kendaraan bermotor roda dua, yang diproduksi di negara Italy oleh Piaggio bermerkkan “VESPA” yang dalam bahasa Indonesia artinya TAWON. Pada tahun 1946, prototip MP6 ini mulai diproduksi massal di pabrik Piaggio di Pontedera, Italia. Pada akhir 1949, sudah diproduksi 35000 unit dan dalam 10 tahun telah memproduksi 1 juta unit dan pada pertengahan tahun 1950.

#### 2.2.3.1 Prinsip Kerja Mesin Vespa

Mesin Vespa ini memiliki prinsip kerja yaitu berbasis dua langkah, langkah pertama adalah pembilasan serta pencampurannya antara bahan bakar dan udara yang sebelumnya sudah diatur karburator, lalu langkah kedua proses penekanan bahan bakar ke ruang bakar sehingga terjadilah ledakan dari percikan api busi dan bahan bakar yang berakibat adanya dorongan piston yang memutar poros engkol dan kopling gear transmisi.

#### 2.2.3.2 Komponen Mesin Vespa

##### 1. Karburator

Karburator berfungsi mengatur suplai bahan bakar ke ruang bakar.



Gambar 2.2 Karburator

## 2. Silinder

Silinder merupakan tempat bergerak piston. Silinder ini dilapisi bahan khusus agar tidak cepat aus akibat gesekan. Meskipun telah mendapat pelumasan yang mencukupi tetapi keausan lubang silinder tetap tak dapat dihindari.



Gambar 2.3 Silinder

(<https://www.google.com/search?safe=strict&client>)

## 3. Piston

Piston berfungsi untuk melakukan langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha, dan langkah buang. Piston juga berfungsi sebagai penerima tekanan hasil pembakaran dan meneruskan tekanan untuk memutar poros engkol.



Gambar 2.4 Piston

(<https://www.google.com/search?q=foto+piston+vespa&safe>)

#### 4. Head Silinder

Head Silinder berfungsi sebagai penutup ujung silinder, tempat kedudukan busi.



Gambar 2.5 Head silinder

(<https://www.google.com/search?safe=strict&client>)

#### 5. Poros Engkol (Crank Shaft)

Poros engkol adalah salah satu komponen utama pada suatu mesin pembakaran dalam. Poros engkol menjadi pusat poros dari setiap gerakan piston, pada umumnya poros engkol terbuat dari baja karbon tinggi karena harus dapat menopang momen inersia yang dihasilkan oleh gerakan naik turun piston dan dampak yang dihasilkan dari proses pembakaran. Poros engkol terletak diantara blok silinder dan bak oil yang terhubung langsung dengan batang piston dan fly wheel, poros engkol bertumpu pada bantalan untuk mengurangi tingkat keausan. Poros engkol vespa berfungsi untuk

mengubah gerak bolak-balik (*translasi*) dari piston menjadi gerak putar (*rotasi*) dan mengatur timing intake bahan bakar atau udara ke crankcase. Pada bagian crankcase terdapat sebuah lubang intake tepat berada dibawah karburator atau yang disebut lubang hisap. Timing intake bekerja sesuai putaran poros engkol yang berbentuk coakan. pada saat lubang intake terbuka menciptakan kevakuman pada ruang crankcase sehingga bahan bakar mengalir kedalam crankcase dan selanjutnya dialirkan ke ruang bakar melalui lubang inlet. Beban yang diterima poros engkol adalah beban puntir (*torsi*), lengkung (*bengkok*) dan sentrifugal.



Gambar 2.6 Poros engkol

#### 6. Bantalan poros engkol ( Bearing)

Bantalan pada poros engkol menggunakan jenis Ball bearing dan berfungsi untuk menjadi tumpuan utama ketika poros engkol berputar. Beban yang diterima bantalan poros engkol adalah beban aksial,radial dan beban daya impuls.



Gambar 2.7 Bantalan poros engkol

### 7. Blok Silinder (Crankcase)

Blok silinder berfungsi sebagai tempat silinder dan poros engkol bertumpu dan juga sebagai tempat penyimpanan minyak pelumas.



Gambar 2.8 Blok silinder

### 8. Busi (Spark Plug)

Busi berfungsi mengeluarkan arus listrik tegangan tinggi menjadi loncatan bunga api melalui elektrodanya. Loncatan bunga api terjadi disebabkan adanya perbedaan tegangan diantara kedua kutup elektrodabusi ( $\pm 10.000$  volt).



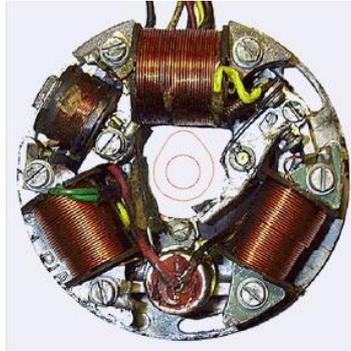
Gambar 2.9 Busi

<https://www.google.com/search?q=foto+busi++vespa&safe>

### 9. Spul Pengapian

Spul pengapian berfungsi menghasilkan aliran listrik pada kumparan medan magnet. Aliran listrik ini kemudian dikirimkan

ke coil untuk dinaikkan tegangannya. Besar kecil percikan api yang keluar dari spul ini tergantung juga dengan magnet. Lemahnya medan magnet akan membuat pembakaran kurang sempurna.

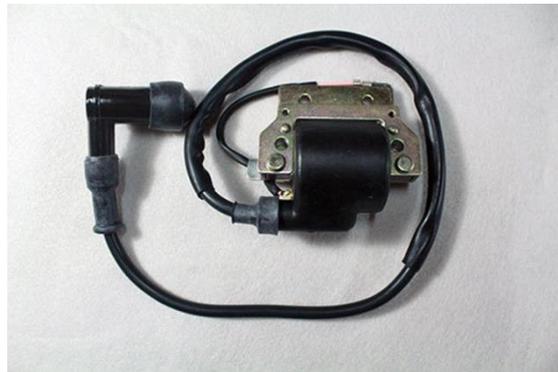


Gambar 2.10 Spul pengapian

(<https://www.google.com/search?q=spul+pengapian+vespa+super&safe>)

#### 10. Coil (Kumparan pengapian)

Coil berfungsi untuk mengubah tegangan primer dari spul pengapian menjadi tegangan sekunder sebesar 15000 – 30000 volt yang cukup kuat untuk membantu pengapian motor. Tegangan tersebut disalurkan ke busi untuk memercikan api diruang bakar.



Gambar 2.11 Coil

(<https://www.google.com/search?q=coil+vespa+super&safe>)

#### 11. Kipas Pendingin

Kipas berfungsi untuk mendinginkan silinder dan kepala silinder dengan cara mengalirkan udara. Pada teknik pendinginan jeni sini, udara masuk dan mengalir melalui rusuk pendingin mesin yang dilakukan oleh kipas blower.



Gambar 2.12 kipas pendingin

#### 2.2.4 Bantalan

Bantalan yaitu elemen mesin yang berfungsi untuk menumpu poros sehingga putaran dapat berlangsung secara halus dan tidak cepat rusak. Bantalan merupakan salah satu komponen mesin yang sangat penting untuk menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya, atau menjaga suatu komponen yang bergerak linier agar selalu berada pada jalurnya.

Bantalan / bearing dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis berdasarkan arah dan pembebanannya dan juga berdasarkan konstruksi atau mekanismenya. Bantalan berdasarkan arah pembebanannya terdiri dari:

1. Bantalan radial/ *journal bearing*

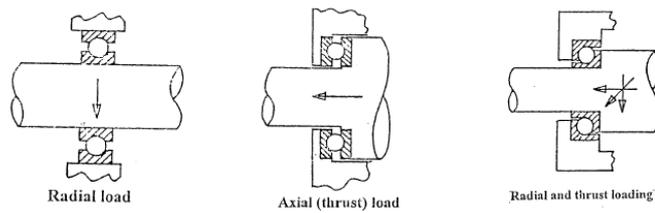
Bantalan radial adalah bantalan yang menahan beban tegak lurus dengan poros.

2. Bantalan aksial/*thrust bearing*

Bantalan aksial adalah bantalan yang menahan beban sejajar dengan poros

3. Bantalan kombinasi

Bantalan kombinasi adalah bantalan yang mampu menahan kombinasi beban pada arah aksial dan arah radial. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.13.



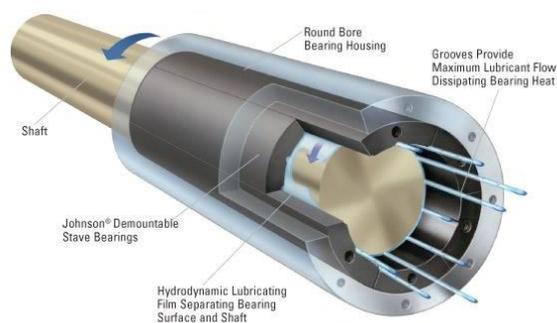
Gambar 2.13 Arah Beban Bantalan

(<http://nanihendi.com/artikel/bantalan-bearing-dan-jenisnya/>)

Dalam mengatasi gesekan bantalan dibedakan berdasarkan konstruksi dan mekanisme, bantalan dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu.

#### 1. Bantalan luncur (*slider bearing*)

Cara kerja Bantalan luncur yaitu menggunakan mekanisme *sliding*, yang dimana dalam hal ini dua permukaan komponen mesin saling bergerak relatif. Diantara kedua permukaan tersebut terdapat pelumas yang dapat berfungsi untuk mengurangi gesekan antara kedua permukaan. *Slider bearing* ini berfungsi untuk beban arah radial disebut *journal bearing* sementara untuk beban arah aksial disebut dengan *thrust bearing*. Contoh konstruksi bantalan luncur ditunjukkan pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Bantalan Luncur

(<http://www.duramaxmarine.com/advanced-stave.html>)

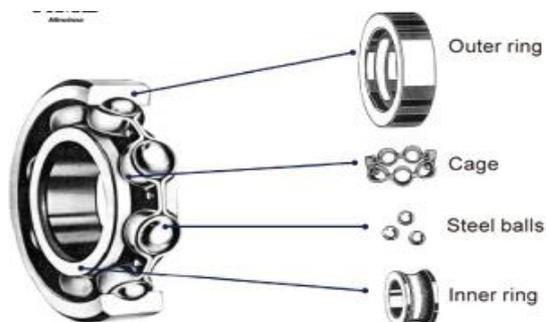
## 2. Bantalan gelinding (*roller bearing*)

Bantalan gelinding adalah bantalan yang menggunakan elemen *rolling* untuk mengatasi gesekan antara dua komponen yang bergerak. Diantara kedua permukaan tersebut terdapat elemen gelinding seperti, taper, bola, rol dan lain-lain. Oleh sebab itu kontak gelinding terjadi diantara elemen ini dengan komponen lainnya, dalam hal ini maka tidak ada pergerakan relatif pada permukaan kontak. Karena adanya titik kontak (dibandingkan dengan kontak line untuk *Roll Bearing*) maka beban daya dukung akan lebih rendah dari pada *Roll Bearing*. Bantalan rol ini dapat mendukung cara kerja kedua Radial (Tegak Lurus pada poros) dan Aksial beban (Parelel ke poros). Bantalan bola dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Bantalan Bola

Pada gambar 2.16 disebutkan komponen-komponen ball bearing.



Gambar 2.16 komponen bantalan

(<http://www.nmbtc.com/bearings/white-papers/what-is-a-ball-bearing/>)

<i>Inner race</i>	: Lintasan dalam bantalan.
<i>Outer race</i>	: Lintasan luar bantalan.
<i>Ball</i>	: Penahan gaya tekanan dan gesek bantalan.
<i>Cage</i>	: Merupakan sangkar atau tempat bola bantalan.

#### 2.2.4.1 Kerusakan Pada Bantalan Bola

Kerusakan yang terjadi pada bantalan bola dapat mengganggu kekuatan suatu mesin atau bahkan dapat membuat mesin berhenti bekerja atau berhenti beroperasi. Kerusakan yang sering terjadi pada bantalan adalah :

##### 1. Keausan Dini

Keausan dini adalah suatu kerusakan yang disebabkan oleh adanya kontaminasi dari lingkungan sekitar dan salahnya sistem penyimpanan seperti masuknya benda asing, debu, kotoran sebesar 16%.

##### 2. Goresan dan Keausan Berlebih pada Permukaan

Goresan dan Keausan berlebih pada suatu permukaan merupakan jenis kerusakan yang diakibatkan oleh teknik pelumasan yang kurang tepat sebesar 36% dan kelebihan beban sebesar 34%.

##### 3. Pembengkokan *Bearing*

Pembengkokan *bearing* merupakan kerusakan yang disebabkan oleh teknik pemasangan yang kurang tepat sebesar 16%.

Tiga jenis kerusakan diatas tersebut dapat dilihat dengan menentukan frekuensi komponennya masing-masing dengan cara menggunakan rumus getaran yaitu:

##### 1. Cacat Lokal Lintasan Luar (*Outer Race*)

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

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

### 2. Cacat Lokal Lintasan Dalam (*Inner Race*)

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

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

### 3. Cacat Lokal Pada Bola (*Rolling Element*)

Frekuensi impuls yang terjadi pada cacat bola disebut *Ball Spin Frequency* (BSF). Besarnya dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$BSF = \frac{Pd}{2Bd} \times f_r \times \left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right)^2\right) \quad 2.3$$

Tabel 2.1 keterangan:

NB	Jumlah bola ( <i>Number of balls</i> ),
fr	Frekuensi relatif antara <i>inner race</i> dan <i>outer race</i> ,
Bd	Diameter bola ( <i>Ball diameter</i> )
Pd	Diameter Pitch ( <i>Pitch diameter</i> )
A	Sudut kontak ( <i>Contact angle</i> ) derajat.

#### 2.2.5 Maintenance

*Maintenance* yaitu tindakan yang dilakukan terhadap alat atau produk agar produk tersebut tidak mengalami kerusakan, tindakan yang dilakukan yaitu meliputi penyetelan, pelumasan, pengecekan pelumas dan penggantian komponen alat yang tidak layak lagi. Pemeliharaan dilakukan sebelum suatu alat atau produk mengalami kerusakan dan mencegah terjadinya kerusakan,

sedangkan perawatan yaitu dilakukan setelah suatu alat mengalami kerusakan (perbaikan).

Sistem pemeliharaan terbagi menjadi beberapa jenis yaitu:

1. *Preventive Maintenance*

*Preventive Maintenance* yaitu salah satu tindakan pemeliharaan yang terjadwal dan terencana. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi masalah-masalah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen atau alat.

2. *Breakdown Maintenance*

*Breakdown Maintenance* yaitu perbaikan yang tanpa adanya rencana terlebih dahulu. Dimana kerusakan terjadi secara mendadak pada suatu alat atau komponen yang beroperasi, yang mengakibatkan kerusakan hingga alat tidak dapat beroperasi.

3. *Corrective Maintenance*

*Corrective Maintenance* adalah pemeliharaan yang sudah direncanakan, berdasarkan kelayakan waktu operasi yang telah ditentukan pada buku petunjuk alat tersebut. Pemeliharaan ini merupakan "general overhaul" yang meliputi pemeriksaan, perbaikan dan penggantian terhadap setiap bagian-bagian alat yang tidak layak pakai lagi, baik karena rusak maupun batas maksimum waktu operasi yang telah ditentukan.

4. *Predictive Maintenance*

*Predictive Maintenance* adalah perawatan yang bersifat prediksi, dalam hal ini merupakan evaluasi dari perawatan berkala. Pendeteksian ini dapat dievaluasi dari indikator-indikator yang terpasang pada instalasi suatu alat dan juga dapat melakukan pengecekan vibrasi untuk menambah data dan tindakan perbaikan selanjutnya.

### **2.2.6 Perawatan berbasis getaran**

Suatu mesin dikatakan ideal atau sempurna pada prinsipnya tidak akan menimbulkan getaran sama sekali, karena seluruh energi yang

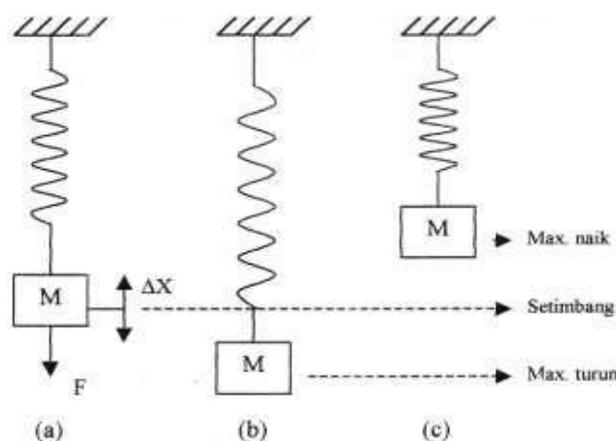
dihasilkan akan diubah menjadi kerja. Sebagian energi salah satunya yaitu terbuang menjadi sebuah getaran. Getaran timbul akibat adanya gaya melalui yang elemen-elemen mesin, dimana elemen-elemen tersebut saling beraksi satu sama lain. Cacat atau keausan dan deformasi akan mengubah karakteristik dinamik sistem dan akan meningkatkan energi getaran. Pada dahulu metode yang digunakan untuk mengetahui kerusakan sebuah elemen mesin yaitu melalui mendengarkan suara mesin dan menyentuh atau meraba (*hearing and touching*), akan tetapi metode klasik tersebut tidak lagi andal untuk saat ini, karena dua faktor berikut ini: (Girdhar, 2004)

1. Pada jaman moderen mesin dirancang agar berjalan secara otomatis, sehingga interaksi antara manusia (operator) dan mesin tidak lagi efektif dan ekonomis.
2. Mesin modern beroperasi pada putaran dengan kecepatan tinggi, sehingga getaran yang timbul banyak yang mempunyai frekuensi tinggi dan tidak dapat dibedakan jika hanya menggunakan indra manusia saja, sehingga diperlukan alat untuk mendeteksi dan mengukurnya.

Salah satu cara yang sekarang banyak digunakan untuk mendeteksi awal gejala kerusakan elem mesin yaitu dengan analisa getaran, sehingga analisa getaran saat ini menjadi pilihan teknologi *predictive maintenance* yang paling sering digunakan. Monitoring getaran yaitu memeriksa, mengukur parameter getaran secara rutin, terus menerus dan berkelanjutan. Getaran dapat terjadi karena adanya kerusakan pada poros, bantalan, roda gigi, kurang kencangnya sambungan, kurang lancarnya pelumasan, kurang tepatnya pemasangan transmisi atau disebabkan karena ketidakseimbangannya elemen mesin yang berputar dan juga masih banyak faktor penyebab yang lainnya.

### 2.2.7 Getaran

Getaran yaitu osilasi periodik suatu sistem mekanis. Dapat dicontohkan sederhana dari fenomena getaran yang dapat dilihat pada suatu pegas yang satu ujungnya dijepit dan ujung lainnya diberi massa  $M$  seperti pada gambar 2.17. berikut (Aji, 2007).

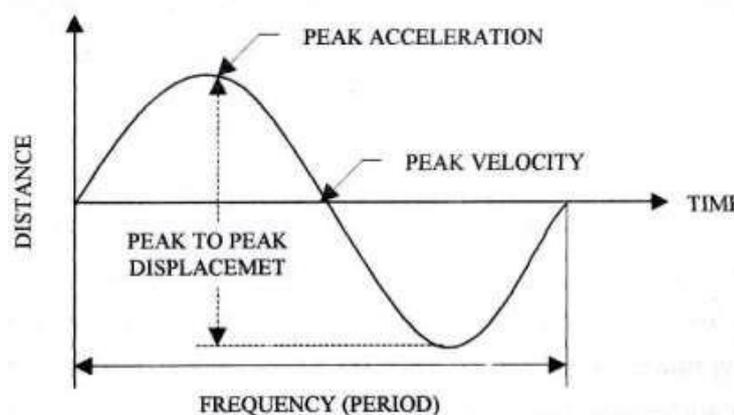


Gambar 2.17 Getaran pada sistem pegas-massa sederhana (Aji, 2007)

Awalnya dalam sistem pada keadaan setimbang (gambar 2.17.a). Pada massa jika diberi gaya  $F$  maka massa akan turun mencapai batas tertentu (gambar 2.17.b). Perpindahan maksimum posisi massa bergantung pada besarnya gaya  $F$ , massa dan kekuatan tarik pegas melawan gaya  $F$  tersebut. Jika gaya sebesar  $F$  tidak dikenakan lagi pada massa, maka massa akan ditarik keatas oleh pegas karena tenaga potensial yang tersimpan dalam pegas (gambar 2.17.c). Massa akan ke posisi kesetimbangan lagi, berikutnya bergerak keatas sampai batas tertentu. Perpindahan maksimum ke atas terpengaruh oleh kekuatan tarik dan massa benda. Hal tersebut akan berulang kali sampai pengaruh gaya luar pada sistem tidak ada lagi. Pergerakan naik dan turunnya masa disebut osilasi mekanis. Berkaitan dengan mesin, getaran mesin dapat didefinisikan gerakan bolak-balik mesin atau elemen mesin dari posisi setimbang (diam).

### 2.2.7.1 Karakteristik Getaran

Pada suatu kondisi mesin dan masalah pada mekanik bisa diketahui dengan cara mempelajari karakteristik getarannya dengan memplot pergerakan massa terhadap waktu.



Gambar 2.18. Karakteristik getaran (Aji, 2007)

Gerakan massa pada posisi netralnya ke batas atas kemudian kembali ke posisi netral (diam) dan kembali bergerak ke batas dan bawah lalu kembali pada posisi netral, gerakan satu siklus. Saat melakukan gerak satu siklus disebut periode, sedangkan hasil jumlah siklus dalam satu interval waktu disebut frekuensi. Dalam analisis getaran mesin, frekuensi lebih bermanfaat karena berhubungan dengan rpm (putaran) suatu mesin. Gambar 2.18 memperlihatkan karakteristik getaran.

### 2.2.7.2 *Vibration Frequency* (Frekuensi Getaran)

Frekuensi yaitu jumlah siklus setiap satuan waktu. Besarnya bisa dinyatakan (*cycles per second*) siklus per detik atau (*cycles per minute*) siklus per menit. Frekuensi = 1/periode

Frekuensi getaran sangat penting diketahui pada analisis getaran mesin untuk menunjukkan masalah pada suatu mesin. Hal tersebut memungkinkan untuk mengidentifikasi pada bagian mesin yang rusak dan sekaligus mengetahui masalah tersebut disebabkan oleh suatu hal.

### **2.2.7.3 Amplitudo**

Amplitudo adalah pengukuran skalar non negatif dari besar osilasi suatu gelombang. Amplitudo juga dapat di definisikan sebagai jarak atau simpangan terjauh dari titik kesetimbangan dalam gelombang sinusoide. Amplitudo dalam sistem internasional biasa disimbolkan dengan (A) dan memiliki satuan meter (m).

### **2.2.7.4 Fasa**

Fasa gelombang adalah membandingkan frekuensi gelombang yang satu dengan frekuensi gelombang yang lain. Gelombang dikatakan sefase apabila gelombang memiliki frekuensi yang sama dan titik-titik yang berada pada tempat yang sama. Nilai fase biasanya hanya diambil bilangan pecahannya saja contohnya besarnya fase getaran adalah  $1/4$ ,  $11/4$ ,  $21/4$  maka besarnya fase cukup disebut  $1/4$  saja karena posisi partikel yang bergetar untuk ketiga fase getar tersebut sama. Bilangan bulat di depan pecahan menunjukkan banyaknya getaran penuh yang terlewati.

### **2.2.7.5 Penguraian Sinyal Getaran**

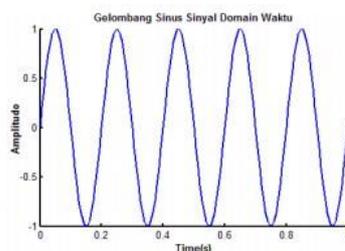
Sinyal yaitu gambaran (deskripsi) bagaimana suatu parameter mempengaruhi parameter yang lain. Misalnya adalah voltase yang berubah setiap waktu dalam sirkuit elektronik. Sedangkan sistem merupakan suatu proses yang mengolah sinyal masuk menjadi sinyal keluar.

Diperolehnya sinyal dari sensor pada pengukuran getaran mesin adalah suatu respon gabungan dari suatu mesin terhadap bermacam-macam gaya eksitasi, dari dalam maupun luar. Arah analisa yang efektif adalah penguraian sinyal kompleks ini menjadi komponen-komponennya. Masing-masing komponen kemudian dikorelasikan dengan sumbernya. Ada dua pandangan dalam persoalan analisa getaran yaitu domain waktu, yang memandang getaran sebagai simpangan terhadap waktu. Dan domain

frekuensi, yang memandang getaran berupa amplitudo sebagai fungsi frekuensi. Domain waktu memberikan gambaran fenomena getaran secara fisik sedangkan domain frekuensi merupakan cara yang cocok untuk mengidentifikasi suatu komponen.

#### 2.2.7.6 *Time Domain (Domain Waktu)*

Kebanyakan dari sinyal dalam prakteknya adalah sinyal domain waktu. Oleh karena itu, apapun sinyal yang diukur adalah fungsi waktu, dimana ketika diplot salah satu sumbu dengan variabel waktu maka variabel lainnya adalah amplitudo. Ketika diplot, sinyal domain waktu berupa gelombang berjalan yang direpresentasikan pada waktu terhadap amplitudo dari sinyal. Amplitudo pada sinyal domain waktu menunjukkan keras lemahnya sinyal yang diterima. Sehingga, sinyal yang diterima tidak memiliki karakteristik yang berbeda tiap waktunya. Gelombang sinyal getaran domain waktu dapat dilihat pada gambar 2.19.

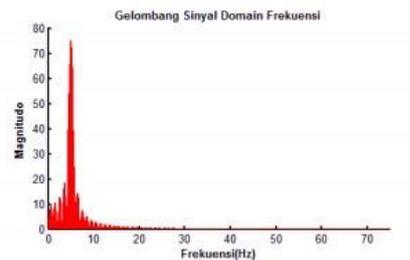


Gambar 2.19 Gelombang sinus sinyal domain waktu  
(Lyons, 1997)

#### 2.2.7.7 *Frequency Domain*

Pada sinyal domain frekuensi, ketika diplot berupa spektrum dengan penyajian frekuensi terhadap magnitudo. Informasi yang penting tersembunyi di dalam frekuensi sinyal. Spektrum frekuensi sinyal pada dasarnya adalah komponen frekuensi (spektral frekuensi) sinyal yang menunjukkan frekuensi apa yang muncul. Frekuensi menunjukkan tingkat perubahan. Jika suatu variabel sering berubah, maka disebut berfrekuensi tinggi. Namun, jika tidak sering berubah, maka disebut berfrekuensi rendah. Jika variabel tersebut tidak

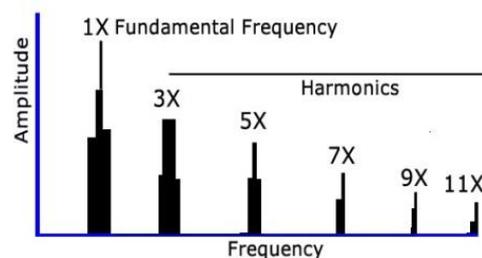
berubah sama sekali, maka disebut tidak mempunyai frekuensi (nol frekuensi). Magnitudo pada sinyal domain frekuensi menunjukkan tinggi rendahnya sinyal yang diterima. Dengan kata lain, keras lemahnya sinyal tidak mempengaruhi frekuensi yang didalamnya. Sinyal domain frekuensi dapat dikembalikan ke sinyal domain waktu. Gelombang sinyal getaran domain frekuensi dapat dilihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Gelombang sinyal domain frekuensi  
(Lyons, 1997)

### 2.2.7.8 Harmonik

Harmonik pada dasarnya merupakan gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem gelombang sinyal getaran adalah 50 Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang sinyal getaran dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang sinyal getaran dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Pada gambar 2.11 dapat dilihat harmonik getaran.



Gambar 2.21 Harmonik Getaran  
(Girdhar, 2004)

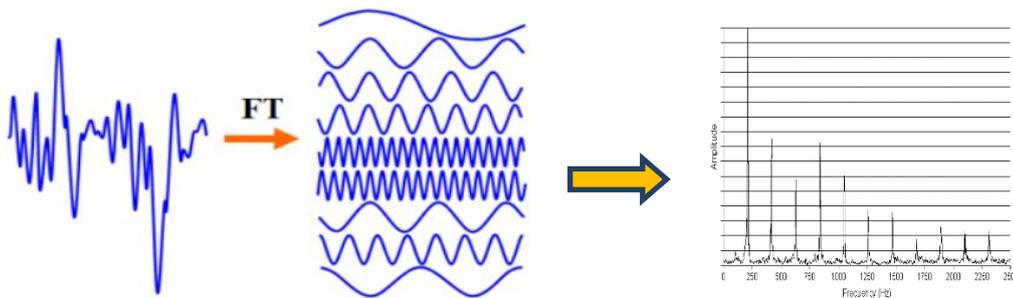
### 2.2.8 FFT (*Fast Fourier Transform*)

Fast Fourier Transform dalam Bahasa Indonesia adalah Transformasi Fourier Cepat adalah sumber dari suatu algoritma untuk menghitung Discrete Fourier Transform (transformasi fourier diskrit atau DFT) dengan cepat, efisien dan inversnya. Transformasi fourier adalah transformasi yang dapat merubah suatu sinyal dari domain waktu  $S(t)$  kedalam domain frekuensi  $S(f)$ . Fungsi dilakukanya transformasi ini bertujuan untuk mendapatkan informasi apakah suatu sinyal memiliki frekuensi tertentu atau tidak. Transformasi Fourier menggabungkan sinyal ke bentuk fungsi eksponensial dari frekuensi yang berbeda-beda. Caranya adalah dengan didefinisikan ke dalam persamaan berikut:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft} df$$

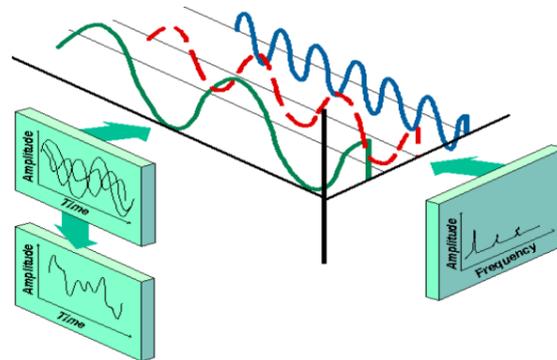
Dapat dikatakan dari duabwah persamaan diatas bahwa  $X(f)$  adalah transformasi Fourier dari  $X(t)$  yang mengubah  $X(t)$  dari domain waktu ke domain frekuensi, dan untuk persamaan ke2 adalah sebaliknya dari persamaan ke1 atau di sebut juga dengan invers transformasi fourier. Dibawah ini dapat dilihat gambar dari transformasi fourier dan bentuk sinyal dari domain waktu dan domain frekuensi.



Gambar 2.22 Transformasi *Fourier*

([http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/YEPE-Mengapa\\_Kita\\_Butuh\\_FFT-2016.ppt](http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/YEPE-Mengapa_Kita_Butuh_FFT-2016.ppt))

Algoritma pada FFT memeriksa ketidaklancaran modulasi frekuensi yang terdapat pada gelombang spektrum, dimana hal ini terjadi ketika sinyal non frekuensi muncul pada sinyal gelombang (Girdhar, 2004).



Gambar 2.23 Gelombang domain waktu dan domain frekuensi  
([http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/YEPE-Mengapa Kita Butuh FFT 2016.ppt](http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/YEPE-Mengapa_Kita_Butuh_FFT_2016.ppt))

- Kelebihan Transformasi Fourier

Definisi transformasi fourier sebagai tool atau alat untuk mengubah suatu sinyal dari time domain ke time frekuensi, menjelaskan kepada kita bahwa transformasi ini memiliki kelebihan:

1. Mampu menunjukkan kandungan frekuensi yang terkandung di dalam sinyal.
2. Mampu menunjukan beberapa banyak komponen frekuensi yang ada di dalam sinyal.

- Kekurangan Transformasi Fourier

Transformasi Fourier hanya dapat menangkap informasi apakah suatu sinyal memiliki frekuensi tertentu atau tidak, tapi tidak dapat menangkap dimana frekuensi itu terjadi.

### 2.2.9 Envelope Analysis

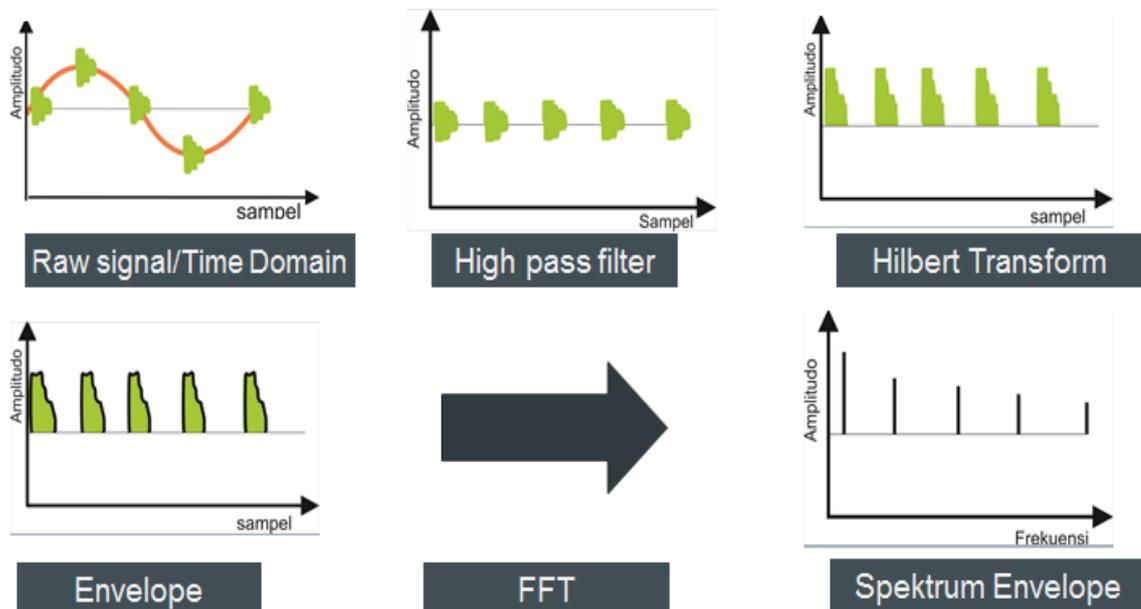
Analisis envelope adalah teknik yang terkenal untuk mengekstrak dampak berkala dari sinyal getaran mesin. Metode ini mampu mengekstrak dampak dengan frekuensi yang sangat rendah dan bahkan disembunyikan oleh sinyal

getaran lainnya. Oleh karena itu, metode ini merupakan metode yang populer di antara metode pemeliharaan yang ada.

Kerusakan bantalan adalah salah satu kerusakan yang paling umum terjadi pada mesin industri. Analisis *envelope* banyak digunakan untuk mendeteksi dan mendiagnosis kerusakan REB (*Rolling Element Bearing*). Bila terjadi kerusakan, sinyal getaran diubah menjadi amplitudo yang dimodulasi karena perubahan gaya secara periodik. Sehingga terlihat bahwa pada frekuensi rendah, merupakan gejala kerusakan REB. Analisis *envelope* telah menunjukkan beberapa keunggulan utama dibandingkan metode lain dalam deteksi dini dan identifikasi gejala kerusakan bantalan.

Metode demodulasi amplitudo yang populer dengan penggunaan analisis *envelope* memiliki banyak jenis diantaranya yaitu: SED (*Selective Envelope Detection*) dan BCS (*Bearing Condition Signature*).

*Envelope analysis* juga merupakan metode yang khusus digunakan pada analisis kerusakan pada *bearing* dan *gearboxes*. Dimana metode ini fokus pada wilayah spektrum yang memiliki frekuensi tinggi, dengan filter yang digunakan yaitu *high-pass filter*. (Girdhar, 2004). *High-pass filter* hanya menyaring frekuensi-frekuensi yang tinggi dan menghilangkan frekuensi rendah. Menghilangkan *peaks* rendah terlebih dahulu, agar mempermudah proses pembacaan sinyal data frekuensi. Karena pada umumnya data frekuensi yang tidak dilakukan proses penyaringan atau filtrasi, memiliki spektrum yang bergerombol dan rumit, dimana hal ini akan mempersulit proses analisis data. (Girdhar, 2004). Gambar 2.24 berikut adalah proses skema envelope, diawali dengan raw vibration signal atau data mentah domain waktu, selanjutnya disaring menggunakan high pass filter, kemudian dilanjutkan dengan envelope dan diakhiri dengan proses FFT. Data yang dihasilkan dari proses envelope berupa spektrum envelope (Wilda, 2017)



Gambar 2.24 Skema envelope  
(Fanani,2017)

### 2.2.10 Data Akuisisi

Data akuisisi atau *Data Acquisition* (DAQ) yaitu sistem yang berfungsi sebagai pengambil data, mengumpulkan data dan menyiapkan data. Akuisisi data adalah pengukuran sinyal elektrik dari transduser dan peralatan pengukuran kemudian memasukkannya ke komputer untuk diproses (Kirianaki, 2002). Ada juga yang mendefinisikan akuisi data adalah semua besaran fisik yang akan diukur, diamati, disimpan, dan dikontrol dapat berupa suhu, tekanan, suara, getaran dll.

Data akuisisi merupakan proses sampling dari sinyal-sinyal yang berasal dari kondisi fisik suatu objek yang akan mengubah sampel-sampel kedalam bentuk digital yang kemudian diolah lebih lanjut oleh komputer. *Data Acquisition* pada umumnya akan mengubah sinyal analog kedalam bentuk digital dengan bantuan beberapa komponen berikut:

1. Sensor: mengubah parameter fisis kedalam sinyal elektrik.
2. Signal conditioning circuitry: mengubah sinyal yang berasal dari sensor kedalam bentuk yang sinyal digital.

3. Analog to *Digital Converter*: menghasilkan sinyal digital yang sebelumnya sudah dikondisikan terlebih dahulu. Pada gambar 2.24 dapat dilihat komponen *DAQ System*

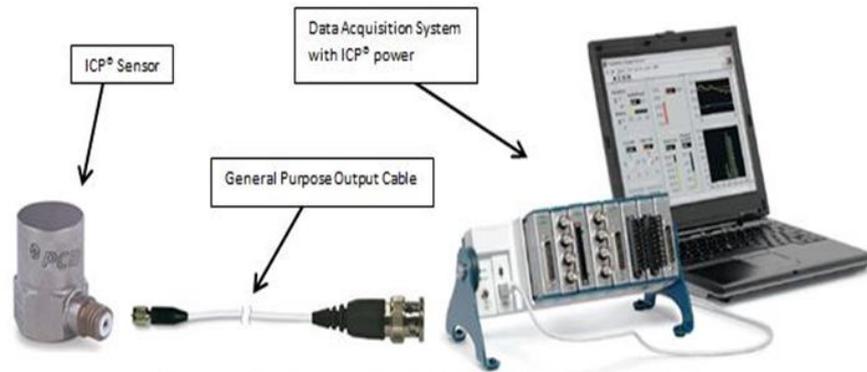


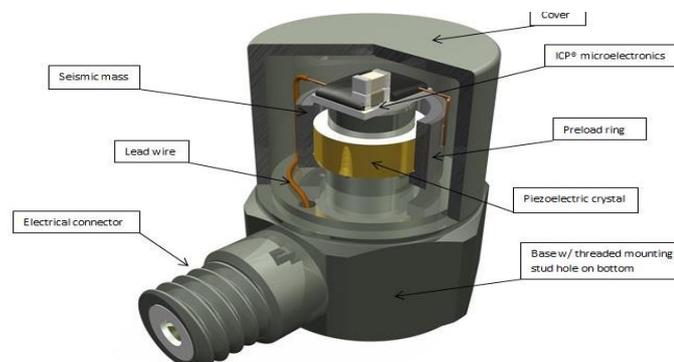
Figure 3: ICP® Sensor and Data Acquisition System with ICP® Power

Gambar 2.25 Komponen *DAQ System*

([http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech\\_Accel](http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech_Accel))

### 2.2.11 Accelerometer

*Accelerometer* adalah sebuah transduser yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. *Accelerometer* juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin, dan juga bisa digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di dalam bumi, getaran mesin, jarak yang dinamis, dan kecepatan dengan ataupun tanpa pengaruh gravitasi bumi. Pada gambar 2.25 dapat dilihat komponen-komponen *accelerometer*.



Gambar 2.26 Komponen *Accelerometer*

([http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech\\_Accel](http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech_Accel))

Prinsip kerja dari transduser ini berdasarkan hukum fisika bahwa apabila suatu konduktor digerakkan melalui suatu medan magnet, atau jika suatu medan magnet digerakkan melalui suatu konduktor, maka akan timbul suatu tegangan induksi pada konduktor tersebut. *Accelerometer* yang diletakan di permukaan bumi dapat mendeteksi percepatan 1g (ukuran gravitasi bumi) pada titik vertikalnya, untuk percepatan yang dikarenakan oleh pergerakan horizontal maka accelerometer akan mengukur percepatannya secara langsung ketika bergerak secara horizontal. Hal ini sesuai dengan tipe dan jenis sensor *Accelerometer* yang digunakan karena setiap jenis sensor berbeda-beda sesuai dengan spesifikasi yang dikeluarkan oleh perusahaan pembuatnya. Saat ini hampir semua sensor/transduser accelerometer sudah dalam bentuk digital (bukan dengan sistem mekanik) sehingga cara kerjanya hanya berdasarkan temperatur yang diolah secara digital dalam satu chip.

Kelebihan :

1. Respon sinyal yang baik antara 900 sampai 6000 cpm (15.>10.000 Hz).
2. Respon fase datar sepanjang rentang operasi transducer.
3. Elektronik solid state dengan konstruksi yang kokoh dan andal.
4. Beroperasi dibawah mount frekuensi resonansi alami.
5. Tersedia unit khusus untuk aplikasi suhu tinggi.

Kekurangan :

1. Sensitive terhadap teknik pemasangan dan kondisi permukaan.
2. Tidak mampu mengukur getaran atau posisi poros.
3. Sumber daya eksternal yang dibutuhkan.
4. Respon sinyal dinamis rendah dibawah 600 cpm (10 Hz).
5. Kabel transducer yang peka terhadap kebisingan, gerak, dan gangguan listrik (terutama pada accels charge-mode).
6. Pembatasan temperature 250 F untuk icp transduser.
7. Jangkauan frekuensi yang diperluas seringkali membutuhkan penyaringan sinyal.

8. Integrasi ganda seringkali mengalami gangguan frekuensi rendah.

#### **2.2.11.1 Jenis-Jenis *Accelerometer***

Berikut adalah beberapa jenis *accelerometer* antara lain.

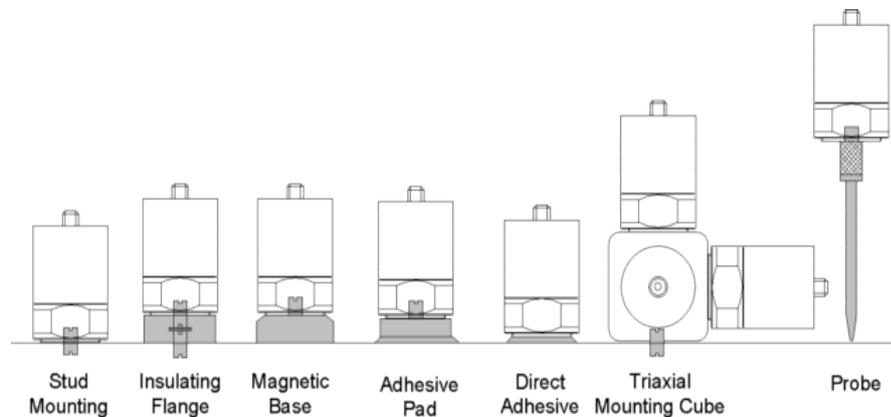
- *Capacitive*, dengan lempengan logam pada sensor menghasilkan sejumlah kapasitansi yang dipengaruhi oleh besarnya percepatan yang terjadi.
- *Piezoelectric*, dengan kristal piezoelectric yang terdapat pada *accelerometer* jenis ini mengeluarkan tegangan yang selanjutnya dapat dijadikan referensi untuk mengukur nilai percepatan.
- *Piezoresistive*, dengan lempengan yang memiliki nilai hambatan yang akan berubah sesuai dengan perubahan tingkat percepatan.
- *Hall effect*, perubahan nilai percepatan diubah menjadi signal listrik berdasarkan pada setiap perubahan pergerakan yang terjadi pada daerah yang terinduksi magnet.
- *Magneto-resistive*, perubahan percepatan diketahui berdasarkan besarnya nilai hambatan material karena adanya daerah yang terinduksi oleh magnet.
- *Heat transfer*, nilai percepatan dapat diketahui dari lokasi sebuah benda yang dipanaskan dan diukur ketika terjadi percepatan dengan sensor suhu.

#### **2.2.11.2 Metode Mounting**

Metode pemasangan untuk *accelerometer* antara lain:

1. Dipasang dengan baut stud, *flens* pengikat atau bantalan perekat.
2. Dasar magnetik.
3. Perekat dengan wax, *cyanoacrylate* (misalnya *gel-like Loctite 454*) atau lem epoksi.
4. Pemasangan kubus untuk pengukuran triaksial dengan tiga akselerometer uniaksial.
5. *Accelerometer probe* dengan tekanan tangan.

6. *Accelerometer* dengan ujung *probe* bergerak.



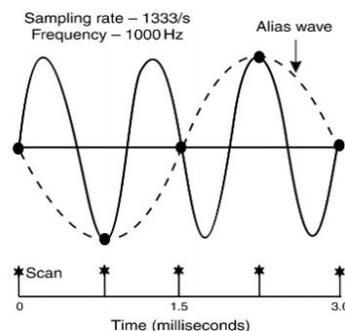
Gambar 2.27 Metode Pemasangan Pada *Accelerometer* (Girdhar, 2004)

### 2.2.12 Sampling Rate

*Sample rate* adalah banyaknya jumlah *sample* (bentuk frekuensi) yang diambil dalam satuan waktu (detik) dari signal yang diterima dalam bentuk terus-menerus (*Continuous Signal*) menjadi signal yang terpisah (*Discrete Signal*), atau dalam bahasa sederhana adalah batas frekuensi yang dapat dikirim perdetiknya. Setiap jenis data akuisisi mempunyai nilai *sampling rate* masing-masing

### 2.2.13 Aliasing

Aliasing merupakan fenomena atau suatu efek yang terjadi akibat dari rekonstruksi signal yang tidak sesuai dengan signal aslinya yang saat pencuplikan, frekuensi pencuplikan dibawah standar ketentuan nyquits. Efek aliasing dapat dilihat pada gambar 2.28.



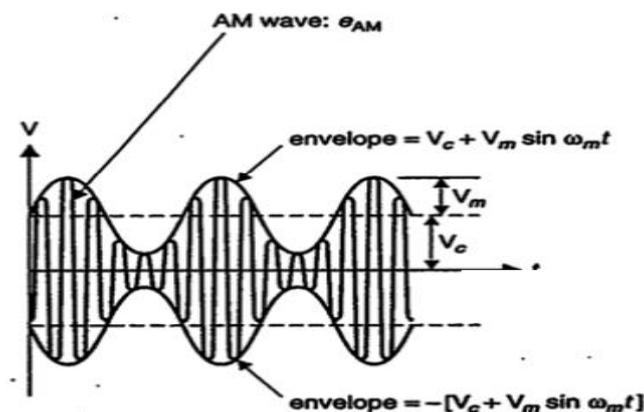
Gambar 2.28 Aliasing (Girdhar, 2004)

Nyquits memberikan standar dalam pencuplikan dimana frekuensi pencuplikan (*sampling*) adalah minimum 2x kali dari batas maksimum frekuensi sinyal analog yang akan dikonversi. Bila sinyal analog yang akan dikonversi memiliki nilai frekuensi sebesar 100 Hz maka frekuensi sampling (pencuplikan) minimum dari ADC adalah 200 Hz.

#### 2.2.14 Amplitudo Modulasi (AM)

Modulasi yaitu proses mengubah-ubah parameter suatu sinyal (sinyal pembawa atau carrier) dengan menggunakan sinyal yang lain (yaitu sinyal pemodulasi yang berupa sinyal informasi). Sinyal informasi dapat berbentuk sinyal audio, sinyal video, sinyal getaran atau sinyal yang lain.

Pada modulasi amplitudo, sinyal pemodulasi atau sinyal informasi mengubah-ubah amplitudo sinyal pembawa. Besarnya amplitudo sinyal pembawa akan berbanding lurus dengan amplitudo sinyal pemodulasi seperti pada gambar 2.28.



Gambar 2.29 Sinyal Amplitudo Modulasi (Susilawati, 2009)