

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Bantalan (*bearing*) mempunyai peran penting dalam menjaga performa sebuah mesin rotari karena bantalan berfungsi sebagai penumpu sebuah poros agar poros dapat berputar pada sumbu poros tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Keusakan pada bantalan akan berakibat fatal pada kinerja mesin seperti menurunnya kinerja mesin, berhentinya mesin beroperasi, menurunnya jumlah produksi dan membengkaknya biaya perawatan. Oleh karena itu penting menjaga bantalan tetap dalam kondisi baik. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang metode deteksi kerusakan bantalan berbasis sinyal getaran.

Sukendi, dkk (2015) meneliti tentang deteksi dini kerusakan *bearing* berdasarkan analisis karakteristik getaran dan *machine learning*. Peneliti menggunakan jenis *bearing unit (pillow block)* NTN UCP 204 DI, dengan melakukan variasi putaran (400 rpm, 600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm, 1200 rpm) dan kondisi bantalan (bantalan kondisi baik dan bantalan kondisi rusak) tanpa memvariasikan beban. Pengukuran dilakukan pada posisi sumbu axial, horizontal, vertikal dan pengolahan data menggunakan software matlab dengan metode analisis domain frekuensi. Hasil yang diperoleh bantalan mengalami kerusakan pada elemen bola (BSF) dengan frekuensi  $167.7667 \text{ Hz} = 10.066 \text{ CPM}$  (5xBSF), maka dapat disimpulkan bahwa bantalan yang bagus, akan menghasilkan gelombang yang halus dan tidak terlihat puncak amplitudo pada kisaran frekuensi tinggi. Sedangkan bantalan yang mengalami kerusakan akan menghasilkan gelombang dengan amplitudo tinggi pada kisaran frekuensi tersebut. Selanjutnya untuk menentukan jenis kerusakan bantalan, kita bisa mencari amplitudo yang dominan pada daerah frekuensi masing-masing komponen bearing. Bantalan dengan kerusakan elemen bola, akan menghasilkan gelombang dengan frekuensi acak,

namun akan terlihat frekuensi BSF-nya atau perkaliannya, yaitu  $6 \times \text{BSF}$ . Hal ini karena elemen bola berhubungan langsung dengan elemen lainnya, efek dari kerusakan bola akan mempengaruhi lintasan dalam dan lintasan luar *bearing*.

Suhardjono (2005) melakukan penelitian tentang analisis sinyal getaran pada bantalan bola untuk menentukan jenis dan tingkat kerusakannya. 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. Pengukuran dilakukan pada arah horizontal dan vertikal 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 amplitudo 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 dan lintasan luar akan muncul getaran pada frekuensi di sekitar BPFI (*Ball Pass Frequency Inner race*) dan 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.

Wahyudi, dkk (2016) meneliti 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. Hasil yang didapat bahwa bantalan cacat pada *outer race* dan *rolling* memberikan nilai amplitude 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.

Susilo (2009) meneliti tentang pemantauan kondisi mesin berdasarkan sinyal getaran. Peneliti melakukan pengujian antara bantalan baik dan bantalan cacat pada lintasan dalam dan bola dengan metode analisis domain waktu dan domain frekuensi. Hasil yang didapat bahwa terlihat amplitude getaran yang tinggi pada frekuensi 435 Hz dan 187,5 Hz. Dua frekuensi ini merupakan 4 x BPFI dan 4 x BSF. Kenaikan amplitude pada *frequency harmonic* ini mengindikasikan adanya cacat yang terjadi pada lintasan dalam dan bola pada bantalan. Hal ini sesuai dengan keadaan bantalan setelah dibongkar. Dari hasil analisis data maka dapat disimpulkan bahwa pemantauan kondisi mesin merupakan metode perawatan prediktif yang sangat bermanfaat untuk menentukan kebutuhan perawatan sebuah mesin atau peralatan. Sinyal getaran dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi adanya kerusakan pada komponen suatu mesin yang bergerak rotasi dengan melakukan analisa spektrum.

Rusli, dkk (2015) meneliti tentang kaji banding prediksi kerusakan bantalan gelinding melalui sinyal getaran dan sinyal suara. Bantalan yang digunakan pada alat uji adalah ASB 6002 2RS (*single rows deep ball bearing*) sebanyak tiga buah dan bantalan SKF 16002 (*single rows deep ball bearing*). Bantalan ASB 6002 2RS (bantalan 2, 3, 4) merupakan bantalan normal dan bantalan SKF 16002 (bantalan 1) merupakan bantalan yang telah mengalami kerusakan. Putaran motor diasumsikan konstan yaitu 2982 rpm. Pengujian menggunakan sensor *accelerometer* pada setiap bantalan dengan metode analisis spektrum frekuensi. Hasilnya secara garis besar masing-masing bantalan cenderung menunjukkan sinyal getaran pada frekuensi

dominan yang hampir sama, namun besar magnitudo pada tiap bantalan berbeda. Nilai sinyal getaran pada frekuensi 86.6 Hz dan 162.9 Hz merupakan nilai sinyal getaran pada bantalan 1 yang merupakan bantalan yang mengalami kerusakan. Nilai-nilai ini dipilih karena memiliki kecenderungan amplitudo yang lebih besar bila dibandingkan dari bantalan yang lainnya.

Dari hasil penelitian diatas maka dapat disimpulkan bahwa sinyal suara dan sinyal getaran dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan melalui frekuensi masing-masing tipe kerusakan. Analisis sinyal suara lebih sulit untuk dilakukan karena rentan terhadap gangguan sinyal suara dari luar suara dari pantulan.

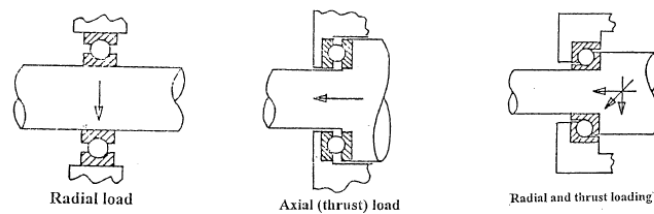
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Bantalan (*Bearing*)

Bantalan adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan. Bantalan juga menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya, atau juga menjaga suatu komponen yang bergerak linier agar selalu berada pada jalurnya.

Berdasarkan arah bebannya bearing diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu:

1. Bantalan radial/ *journal bearing* : bantalan yang menahan beban pada arah radial.
2. Bantalan aksial/*thrust bearing* : bantalan yang menahan beban pada arah aksial.
3. Bantalan kombinasi : bantalan yang mampu menahan kombinasi beban pada arah aksial dan arah radial. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.

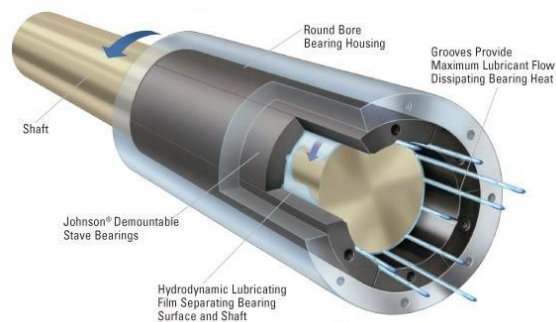


Gambar 2.1 Arah Beban Bantalan

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

Berdasarkan konstruksi dan mekanisme mengatasi gesekan, bantalan dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu bantalan luncur (*slider bearing*) dan bantalan gelinding (*roller bearing*).

1. Bantalan luncur yang sering disebut *slider bearing* atau *plain bearing* menggunakan mekanisme *sliding*, dimana dua permukaan komponen mesin saling bergerak relatif. Diantara kedua permukaan terdapat pelumas yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antara kedua permukaan. *Slider bearing* untuk beban arah radial disebut *journal bearing* dan untuk beban arah aksial disebut *thrust bearing*. Contoh konstruksi bantalan luncur ditunjukkan pada Gambar 2.2

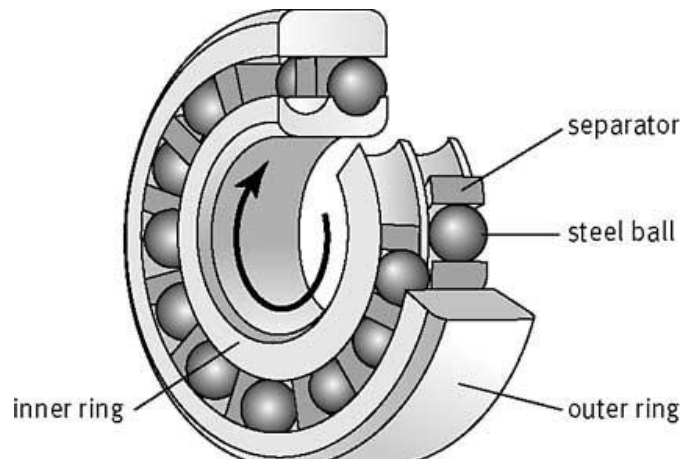


Gambar 2.2 Bantalan Luncur

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

2. Bantalan gelinding merupakan bantalan yang menggunakan elemen *rolling* untuk mengatasi gesekan antara dua komponen yang bergerak. Diantara kedua

permukaan ditempatkan elemen gelinding seperti misalnya taper, bola, rol dan lain-lain. Kontak gelinding terjadi antara elemen ini dengan komponen lain, hal ini berarti tidak ada pergerakan relatif pada permukaan kontak. Contoh konstruksi *roller bearing* ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Bantalan Gelinding  
<https://student.unud.ac.id/elgaprayoga/news/1346>

## 2.2.2 Bantalan Bola (*Ball Bearing*)

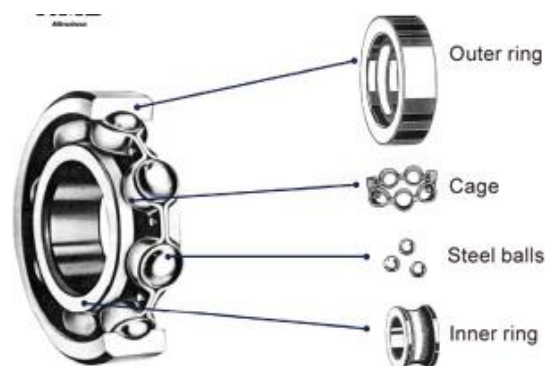
### 2.2.2.1 Pengertian Bantalan Bola (*Ball Bearing*)

Bantalan bola adalah bantalan yang menggunakan bola untuk membawa beban yang diterapkan. Karena ada titik kontak (dibandingkan dengan kontak line untuk bantalan rol [*Roll Bearing*]) beban daya dukung lebih rendah dari pada bantalan rol [*Roll Bearing*]. Bantalan rol dapat mendukung kedua Radial (Tegak Lurus pada poros) dan Aksial beban (Parelel ke poros). Untuk bantalan ringan dimuat, bola menawarkan gesekan lebih rendah dari rol. Self-menyelaraskan bantalan bola juga dapat beroperasi ketika cincin bantalan sejajar. Bantalan bola yang paling umum adalah bantalan bola dalam alur. Bantalan bola dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bantalan Bola  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Ball\\_bearing](https://en.wikipedia.org/wiki/Ball_bearing)

Bantalan bola merupakan bantalan yang banyak menerima beban radial yang besar, namun juga dapat menerima beban aksial yang kecil. Pada gambar 2.5 disebutkan komponen-komponen ball bearing.



Gambar 2.5 komponen bantalan  
<http://www.nmbtc.com/bearings/white-papers/what-is-a-ball-bearing/>

*Inner race* : Lintasan dalam bantalan.

*Outer race* : Lintasan luar bantalan.

*Ball* : Penahan gaya tekanan dan gesek bantalan.

*Cage* : Merupakan sangkar atau tempat bola bantalan.

### 2.2.2.2 Kerusakan Pada Bantalan Bola (*Ball Bearing*)

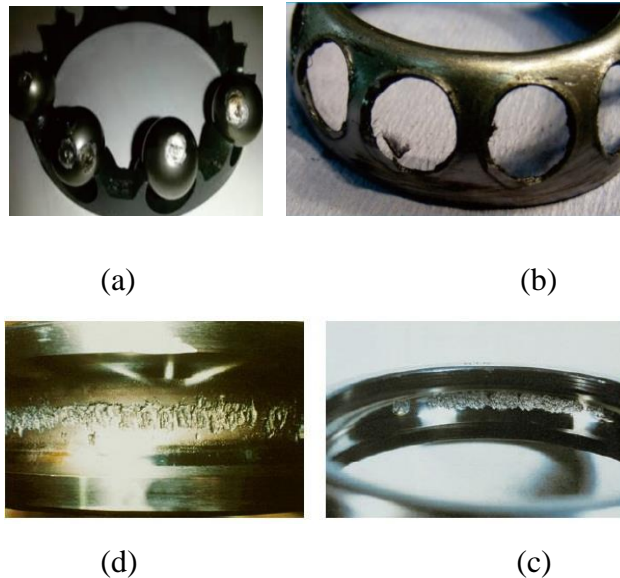
Kerusakan yang terjadi pada bantalan dapat mengganggu performa suatu mesin bahkan dapat membuat mesin berhenti beroperasi. Kerusakan yang sering terjadi pada bantalan adalah :

#### 1. Keausan Dini

Keausan dini merupakan jenis kerusakan yang disebabkan oleh kontaminasi dari lingkungan sekitar dan salah penyimpanan seperti masuknya benda asing, debu, kotoran sebesar 16%.

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

Goresan dan keausan berlebih pada permukaan merupakan jenis kerusakan yang disebabkan oleh teknik pelumasan yang kurang tepat sebesar 36% dan kelebihan beban sebesar 34%. Kerusakan pada bantalan dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 (a) Cacat pada bola, (b) cacat pada sangkar,  
(c) cacat pada inner race, (d) cacat pada outer race.

(<https://m0103.wordpress.com/2014/08/06/1-2-4-cacat-pada-bearing/>)



### 3. Pembengkokan *Bearing*

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

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

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

Frekuensi eksitasi impuls akibat adanya cacat lokal pada lintasan luar bantalan 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 Pada Lintasan Dalam (*Inner Race*).

Frekuensi eksitasi impuls akibat adanya cacat lokal pada lintasan dalam bantalan 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 :

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

#### 4. Cacat Lokal Pada Pemisah (Cage)

Frekuensi akibat adanya cacat pada pemisah (*cage*) disebut *Fundamental Train Frequency* (FTF). Besarnya FTF dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

dimana :

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

fr = Frekuensi relatif antara *inner race* dan *outer race*,

Bd = Diameter bola (*Ball diameter*),

Pd = Diameter Pitch (*Pitch diameter*) dan

$\alpha$  = Sudut kontak (*Contact angle*) derajat.

### 2.2.3 Pemeliharaan

Perawatan menurut Supandi (1990) adalah suatu konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas peralatan agar tetap berfungsi dengan baik seperti dalam kondisi sebelumnya.

Dari pengertian tersebut diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan, bahwa :

- Fungsi perawatan sangat berhubungan erat dengan proses produksi.
- Peralatan yang dapat digunakan terus untuk berproduksi adalah hasil adanya perawatan.
- Aktivitas perawatan banyak berhubungan erat dengan pemakaian peralatan, bahan pekerjaan, cara penanganan dan lain-lain.
- Aktivitas perawatan harus dikontrol berdasarkan pada kondisi yang terjaga.

Secara umum, ditinjau dari saat pelaksanaan pekerjaan perawatan dapat dibagi menjadi dua cara:

1. Perawatan yang direncanakan (*Planned Maintenance*).
2. Perawatan yang tidak direncanakan (*Unplanned Maintenance*).

Jenis-jenis perawatan perawatan yaitu:

1. Perawatan setelah terjadi kerusakan (*Breakdown Maintenance*)

*Breakdown Maintenance* adalah aktivitas perawatan yang dilakukan ketika suatu mesin atau peralatan kerja sudah mengalami kerusakan, sehingga sehingga mesin atau peralatan kerja tersebut tidak dapat beroperasi dengan normal atau terhentinya semua operasional secara mendadak. *Breakdown Maintenance* ini harus dihindari karena akan terjadi kerugian yang sangat besar, seperti tidak tercapainya jumlah atau kualitas produksi serta membengkaknya biaya perawatan.

2. Perawatan Preventif (*Preventive Maintenance*)

*Preventive Maintenance* atau *run time based maintenance* adalah menjadwalkan aktivitas perawatan pada interval waktu yang sudah ditentukan, berdasarkan jam kerja (*running hours*) mesin atau kalender. Perbaikan atau penggantian komponen mesin dilakukan sebelum masalah sebenarnya terjadi. Filosofi ini baik untuk mesin atau peralatan yang tidak bekerja secara kontinu, dan jika personil mempunyai cukup ketrampilan (*skill*) dan waktu untuk melakukan pekerjaan perawatan. Kerugiannya, adalah bahwa aktivitas perawatan mungkin saja dilakukan terlalu cepat atau teralalu lambat. Hal ini sangat mungkin terjadi, meskipun suatu komponen mesin atau peralatan dapat diganti sekalipun masih memiliki sisa umur pemakaian

3. Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Filosofi Prediktif atau *Condition Based Maintenance* adalah bahwa aktivitas perawatan yang dilakukan hanya bila dideteksi ada indikasi kerusakan (kegagalan fungsi). Kondisi operasional dan fungsional suatu

mesin dipantau/ dimonitor secara periodik, jika ditemukan adanya indikasi ke arah yang tidak sehat, maka dilakukan identifikasi pada komponen-komponen mesin yang mengalami kelainan dan dilakukan penjadwalan untuk perawatan. Pada waktu yang paling memungkinkan mesin tersebut akan dimatikan untuk dilakukan penggantian komponen yang rusak.

#### **2.2.4 Condition Based Maintenance (CBM)**

*Condition Based Maintenance* (CBM) adalah Filosofi perawatan yang digunakan oleh industri untuk secara aktif mengelola kondisi kesehatan aset dalam rangka untuk melakukan pemeliharaan hanya ketika diperlukan dan pada waktu yang paling tepat. CBM secara drastis dapat mengurangi operasi biaya dan meningkatkan keamanan aset yang membutuhkan pemeliharaan. Pemeliharaan berbasis kondisi didasarkan pada prinsip menggunakan data *real-time* untuk memprioritaskan dan mengoptimalkan sumber daya pemeliharaan. Seperti sistem akan menentukan kesehatan peralatan ini, dan bertindak hanya ketika pemeliharaan yang sebenarnya diperlukan. Sistem manajemen pemeliharaan berbasis kondisi yang dibangun di sekitar *real-time* sensor pemantauan dan telematika teknologi menawarkan fleksibilitas dan penghematan biaya dalam hal memberikan kontrol yang lebih besar ketika melakukan pemeliharaan, bagian mana untuk pre-order dan bagaimana optimal jadwal kerja.

*Condition Based Maintenance* (CBM) mempunyai banyak fitur antara lain yaitu:

1. Data akuisisi, data akuisisi mungkin melibatkan berbagai jenis informasi:
  - Getaran
  - Suhu
  - Tekanan
  - Kecepatan
  - *Voltage*

- *Stres / regangan / shock*
  - Posisi
  - hitung *Particulate* / komposisi
2. Perhitungan Fitur ekstraksi mungkin melibatkan:
- *Fast Fourier Transform*
  - *data filtering*
  - Suhu rasio / tekanan
  - Efisiensi
  - Aliran massa

*Condition Based Maintenance* (CBM) merupakan jenis perawatan dengan memantau kondisi suatu komponen, karena itu banyak digunakan karena mempunyai banyak kelebihan dan manfaat seperti:

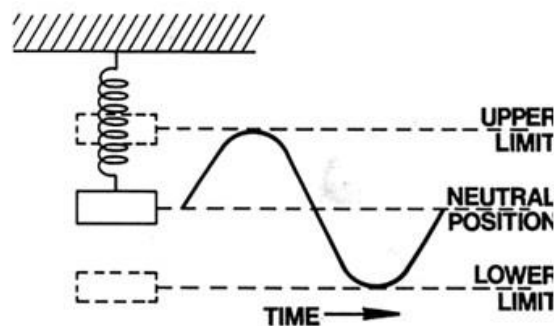
- Peningkatan keandalan sistem
- Mengurangi biaya pemeliharaan
- *Breakdown* tak terduga berkurang atau bahkan dihilangkan
- Hidup Peralatan dimaksimalkan
- Memberikan penghematan dari 8% sampai 12% selama skema pemeliharaan tradisional.
  - Pengurangan biaya pemeliharaan: 25% sampai 30%
  - Penghapusan kerusakan: 70% ke 75%
  - Pengurangan peralatan atau proses *downtime*: 35% sampai 45%
  - Peningkatan produksi: 20% sampai 25%

Selain di atas, peningkatan pekerja dan keselamatan lingkungan, peningkatan komponen ketersediaan, kualitas produk yang lebih baik dll membuat semakin banyak produsen dan operator merangkul solusi manajemen berbasis CBM (Palem,2013). Dari berbagai jenis fitur CBM diatas fitur data akuisisi berbasis sinyal getaran lah yang paling populer dan unggul dari fitur-fitur yang lain. Data getaran

memberikan informasi data yang relevan terkait kerusakan yang berbeda-beda pada suatu mesin.

### 2.2.5 Getaran

Getaran merupakan sebuah peristiwa gerak bolak balik suatu benda melalui titik seimbang secara teratur. Karena terjadi secara teratur, getaran sering disebut sebagai gerak periodik. Energi yang diberikan akan mempengaruhi kuat atau lemahnya gerakan suatu benda. Semakin besar energi yang diberikan maka semakin kuat pula getaran yang terjadi. Satu getaran sama dengan satu kali gerak bolak balik benda secara penuh. Dapat dilihat gambar getaran pegas pada gambar 2.7.

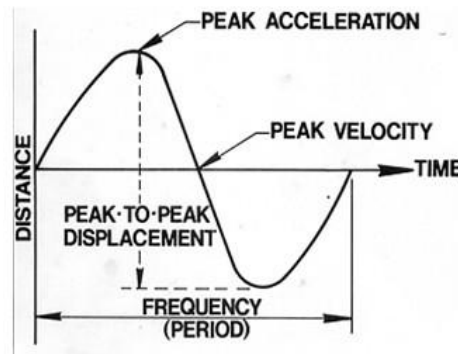


Gambar 2.7 Getaran Pegas

(<http://www.vibrasindo.com/blogvibrasi/detail/21/apa-itu-getaran-vibration>)

Pegas tersebut tidak akan bergerak/bergetar sebelum ada gaya yang diberikan kepadanya. Setelah gaya tarik ( $F$ ) dilepas maka pegas akan bergetar, bergerak bolak-balik disekitar posisi netral.

Kondisi suatu mesin dan masalah-masalah mekanik yang terjadi dapat diketahui dengan mengukur karakteristik getaran pada mesin tersebut. Dengan mengacu pada gerakan pegas, kita dapat mempelajari karakteristik suatu getaran dengan memetakan gerakan dari pegas tersebut terhadap fungsi waktu. Karakteristik getaran suatu mesin dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Karakteristik Getaran  
(Aji, 2007)

Gerakan bandul pegas dari posisi netral ke batas atas dan kembali lagi ke posisi netral dan dilanjutkan ke batas bawah, dan kembali lagi ke posisi netral, disebut satu siklus getaran (satu periode). Jumlah siklus yang dihasilkan dalam satu interval waktu tertentu disebut frekuensi. Dalam analisis getaran mesin, frekuensi lebih bermanfaat karena berhubungan dengan rpm (putaran ) suatu mesin.

### 2.2.6 Vibration Analysis (VA)

Setiap mesin memiliki karakteristik getaran sendiri sebagai akibat dari rotasi bantalan, poros, roda gigi dan impeller dll. Analisis Getaran dapat mendeteksi masalah yang disebabkan oleh kerusakan bantalan, ketidakseimbangan poros, dan *misalignment* serta masalah lainnya. Deteksi dini masalah ini dengan analisis getaran dapat mencegah mahalnya biaya perawatan. Deteksi dini juga dapat memberikan waktu yang cukup untuk memesan komponen baru dan penjadwalan pemeliharaan.

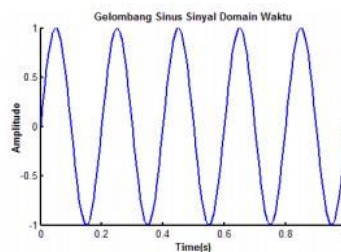
VA dapat menggunakan unit Pemindahan (*Displacement*), *Velocity* (Kecepatan) dan Percepatan (*Accelerometer*), ditampilkan sebagai waktu *Waveform*, tapi paling umum spektrum yang digunakan berasal dari *Fast Fourier Transform* dari TWF. Spektrum getaran menyediakan informasi frekuensi penting yang dapat menentukan komponen yang rusak. Dasar-dasar analisis getaran dapat dipahami dengan mempelajari model massa-pegas-peredam sederhana.

## 2.2.7 Sinyal Getaran

Sinyal getaran merupakan besaran fisik terhadap waktu yang variasi nilainya memuat informasi-informasi tertentu kondisi suatu komponen mesin. Pengukuran getaran terhadap komponen suatu mesin memberikan informasi yang berbeda-beda, untuk itu perlu dilakukan proses pengolahan data agar proses analisis sinyal getaran yang ditampilkan oleh komponen mesin yang mengalami kerusakan akan mudah dibaca. Analisis terkait data-data getaran mesin mengandung banyak informasi yang dibutuhkan untuk menentukan kondisi suatu kompoen mesin seperti, informasi terkait kondisi mesin, informasi terkait letak kerusakan suatu mesin dan penyebab kerusakan suatu komponen mesin.

### 2.2.7.1 Time Domain

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 2.9.



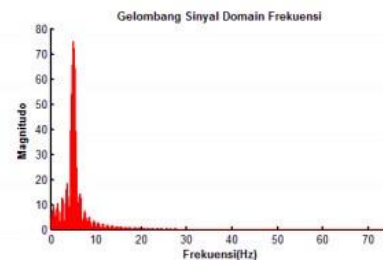
Gambar 2.9 Gelombang sinus sinyal domain waktu

(Lyons, 1997)



### 2.2.7.2 *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 2.10.

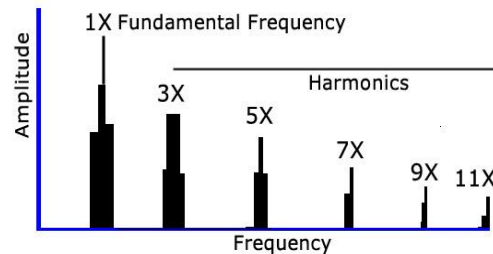


Gambar 2.10 Gelombang sinyal domain frekuensi  
(Lyons, 1997)

### 2.2.7.3 **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

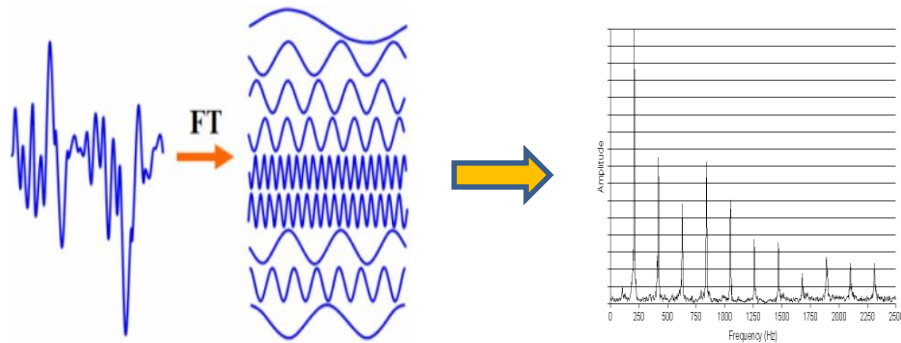
gelombang sinyal getaran adalah 50 Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang sinyal getaran dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang sinyal getaran dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Pada gambar 2.11 dapat dilihat harmonik getaran.



Gambar 2.11 Harmonik Getaran  
(Girdhar, 2004)

### 2.2.8 Fast Fourier Transform (FFT)

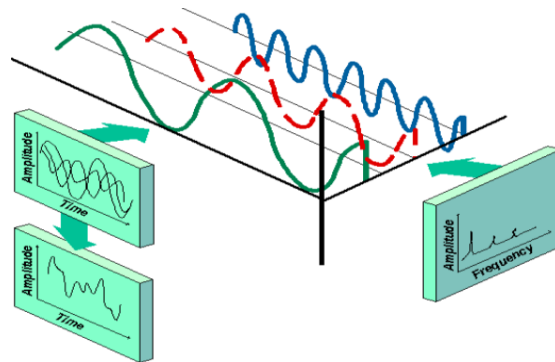
Pada tahun 1960, Cooley dan Tukey, berhasil merumuskan suatu teknik perhitungan algoritma *Fourier Transform* yang efisien. Teknik perhitungan algoritma ini dikenal dengan sebutan *Fast Fourier Transform* atau lebih populer dengan istilah *FFT* yang diperkenalkan oleh Bendat dan Piersol pada 1986. *Fast 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. Pada gambar 2.12 dapat dilihat proses transformasi *fourier*. dan pada gambar 2.13 perbedaan gelombang domain waktu dan gelombang domain frekuensi.



Gambar 2.12 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).

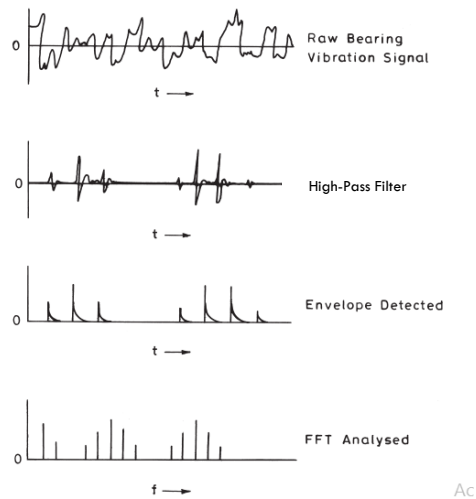


Gambar 2.13 Gelombang domain waktu dan domain frekuensi

([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))

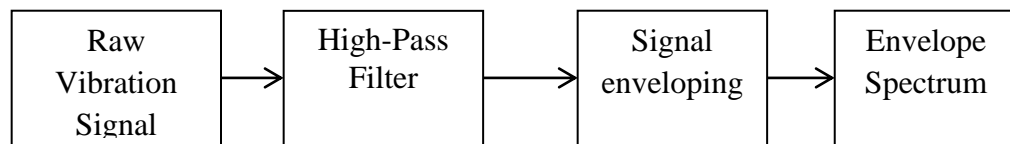
### 2.2.9 *Envelope Analysis*

*Envelope analysis* adalah teknik terkenal untuk mengekstrak dampak periodik dari sinyal getaran mesin. Metode ini dapat mengekstrak dampak dengan energi yang sangat rendah dan yang tersembunyi oleh sinyal getaran lainnya. Oleh karena itu metode ini adalah metode yang paling populer dibandingkan metode yang lain. Pada gambar 2.14 adalah sinyal *envelope* dan gambar 2.15 adalah skema *envelope*.



Gambar 2.14 Sinyal *Envelope*  
(Tendon, 1999)

*Envelope analysis* 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*. (Paresh Girdhar, 2004).



Gambar 2.15 Skema *Envelope*

*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).

### 2.2.10 Data Akuisisi

Data akuisisi atau yang disebut juga *Data Acquisition (DAQ)* didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data, hingga memprosesnya untuk menghasilkan data yang dikehendaki. Data akuisisi menurut Kirianaki (2002) adalah pengukuran sinyal elektrik dari transduser dan peralatan pengukuran kemudian memasukkannya ke komputer untuk diproses. Ada juga yang mendefinisikan akuisisi 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 tadi kedalam bentuk digital yang akan 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 fisik 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 2.16 dapat dilihat komponen *DAQ System*.

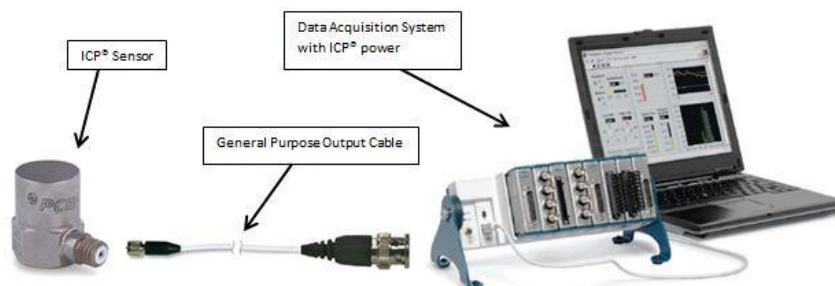


Figure 3: ICP® Sensor and Data Acquisition System with ICP® Power

Gambar 2.16 Komponen *DAQ System*

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

Jenis-jenis *transducer* yang digunakan adalah;

1. *Displacement* (Perpindahan)

Transduser perpindahan, yang juga dikenal sebagai probe adalah transduser non-kontak yang digunakan untuk mengukur pergerakan relatif antara poros dan ujung sensor. Mereka biasanya dibor ke bantalan jurnal atau bantalan lengan. Transduser perpindahan cocok untuk pengukuran frekuensi rendah seperti pada aplikasi turbin dan kompresor. Pada gambar 2.17 adalah *transducer displacement*.



Gambar 2.17 *Transducer Displacement*

([http://www.xyobalancer.com/xyo-balancer-blog/transducers\\_displacement\\_velocity\\_and\\_acceleration](http://www.xyobalancer.com/xyo-balancer-blog/transducers_displacement_velocity_and_acceleration))

Penggunaan *transducer displacement* :

1. Frekuensi rendah, dibawah 600 CPM.
2. Pengukuran getaran *shaft* pada mesin berat dengan rotor yang relatif ringan.

2. *Velocity* (Kecepatan)

Transduser kecepatan adalah transduser kontak, digunakan untuk mengukur kecepatan. Mereka biasanya dipasang pada *bearing housing*. Transduser kecepatan masih digunakan di industri sampai

batas tertentu, kebanyakan dalam pemantauan kondisi seperti kipas industri, pompa, dan lain-lain. Penggunaan transduser kecepatan telah beralih ke akselerometer yang secara internal "terintegrasi" dengan kecepatan. Transduser kecepatan cocok untuk pengukuran frekuensi mid-range. Pada gambar 2.18 adalah *transducer velocity*.



Gambar 2.18 *Transducer Velocity*

([http://www.xyobalancer.com/xyo-balancer-blog/transducers\\_displacement-velocity\\_and\\_acceleration](http://www.xyobalancer.com/xyo-balancer-blog/transducers_displacement-velocity_and_acceleration))

Penggunaan *transducer velocity* :

1. Daerah frekuensi adalah 600-100.000 CPM.
  2. Pengukuran *over all level* getaran mesin.
  3. Untuk melakukan prosedur analisis secara umum.
3. *Acceleration* (Percepatan)

Akselerasi transduser atau akselerometer adalah transduser kontak dan dipasang pada rumah bantalan. *Accelerometer* adalah jenis transduser yang paling umum digunakan di industri untuk analisis getaran mesin seperti, motor listrik, bantalan, *gearbox* dan lain-lain. *Accelerometer* cocok digunakan untuk pengukuran frekuensi tinggi. Pada gambar 2.19 dapat dilihat *transducer accelerometer*.



Gambar 2.19 *Transducer Accelerometer*  
 ([http://www.xyobalancer.com/xyo-balancer-blog/transducers\\_displacement-velocity- and acceleration](http://www.xyobalancer.com/xyo-balancer-blog/transducers_displacement-velocity- and acceleration))

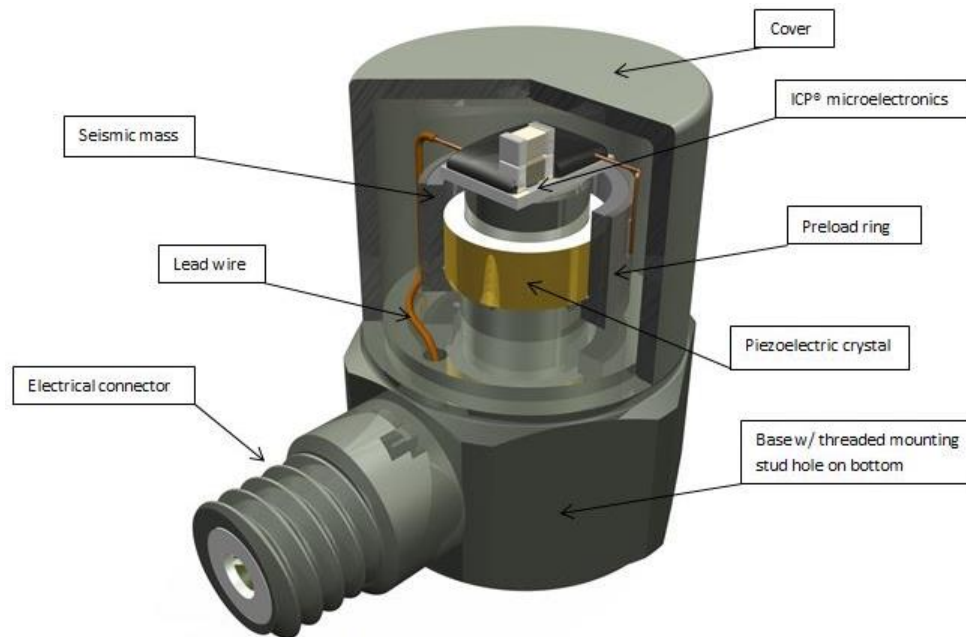
Penggunaan *transducer acceleration*:

1. Daerah frekuensi pengukuran 600-600.000 CPM atau lebih.
2. Pengukuran pada frekuensi tinggi.
3. Untuk pengukuran pada *roll bearing*, *ball bearing*, *gear* dan sumber getaran aerodinamis dengan frekuensi tinggi.

### **2.2.10.1 Accelerometer**

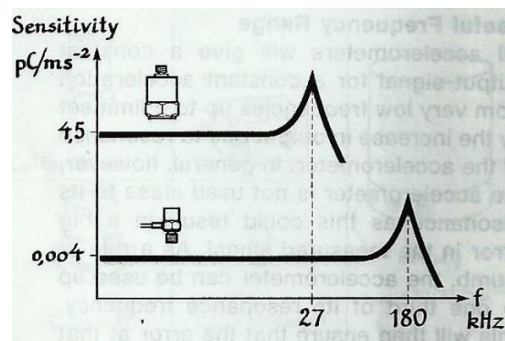
*Accelerometer* merupakan perangkat yang mengukur getaran, atau percepatan gerak struktur. Gaya yang disebabkan oleh getaran atau perubahan gerak (percepatan) menyebabkan massa "meremas" bahan piezoelektrik yang menghasilkan muatan listrik yang sebanding dengan gaya yang diberikan padanya. Karena muatannya sebanding dengan gaya, dan massanya konstan, maka muatannya juga sebanding dengan percepatan. Pada gambar 2.20 dapat dilihat komponen-komponen *accelerometer*.



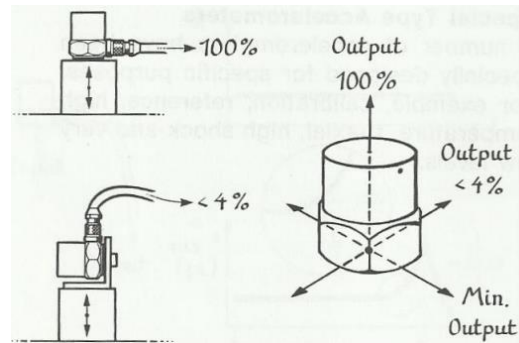


Gambar 2.20 Komponen *Accelerometer*  
[http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech\\_Accel](http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech_Accel)

Ketika akselerometer terkena tingkat akselerasi konstan, ia akan memberikan sinyal keluaran konstan melalui rentang frekuensi yang sangat luas - sampai frekuensi mendekati frekuensi resonansinya. Secara umum semakin besar accelerometer semakin tinggi sensitivitasnya, dan semakin kecil rentang frekuensi yang berguna dan sebaliknya. Pada gambar 2.21 dan gambar 2.22 dapat dilihat sensitivitas *accelerometer*.



Gambar 2.21 Sensivitas *Accelerometer*



Gambar 2.22 Sensivitas transfer

*Kelebihan Accelerometer :*

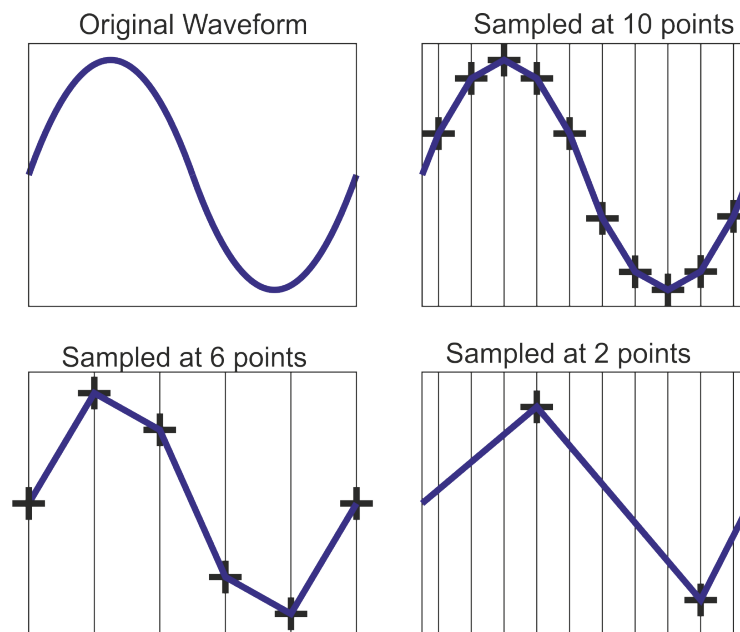
1. Respon sinyal yang baik antara 900 sampai 600.000 cpm (15.>10.000 Hz).
2. Respon fase datar sepanjang rentang operasi transducer.
3. Elektronik solid state dengan konstruksi yang kokoh dan andal.
4. Beroperasi dibawah mount frekuensi resonansi alami.
5. Tersedia unit khusus untuk aplikasi suhu tinggi.

*Kekurangan Accelerometer :*

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.

### 2.2.10.2 Sampling Rate

*Sampling Rate* adalah banyaknya jumlah *sample* (titik) yang diambil dalam satuan waktu (detik) dari signal yang diterima dalam bentuk terus-menerus (*continuous signal*) atau dalam bahasa sederhana adalah batas frekuensi atau jumlah titik yang dapat dikirim perdetiknya. Setiap jenis modul data akuisisi mempunyai nilai *sampling rate* masing-masing. Pada gambar 2.23 dapat dilihat contoh *sampling rate*.

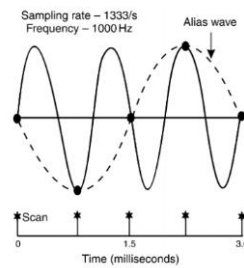


Gambar 2.23 *Sampling Rate*

(<https://labtronix.co.uk/drupal/content/about-oscilloscope-sample-rate>)

### 2.2.10.3 Aliasing

Aliasing merupakan fenomena atau suatu efek yang terjadi akibat dari rekonstruksi sinyal yang tidak sesuai dengan sinyal aslinya yang saat pencuplikan, frekuensi pencuplikan dibawah standar ketentuan nyquits. Efek aliasing dapat dilihat pada gambar 2.34.



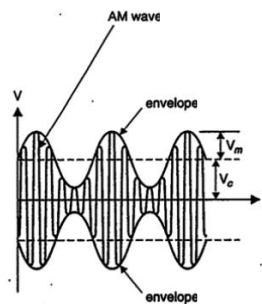
Gambar 2.24 Aliasing  
(Girdhar, 2004)

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.

### 2.2.11 Amplitudo Modulasi (AM)

Modulasi merupakan 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 2.25.



Gambar 2.25 Sinyal Amplitudo Modulasi  
(Susilawati, 2009)