

## BAB II

### DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Salah satu komponen mesin yang penting dalam sebuah *fan* industri adalah bantalan. Bantalan berfungsi sebagai penunpu pada poros *fan* agar dapat berputar dan tidak menimbulkan gesekan yang berlebih. Kerusakan bantalan tentunya akan menimbulkan masalah yang fatal, bahkan dapat menyebabkan sebuah mesin berhenti bekerja. Oleh karena itu, kinerja bantalan haruslah dijaga atau diawasi dengan baik. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian mendeteksi kerusakan sebuah komponen mesin menggunakan metode yang berbasis sinyal getaran salah satunya adalah analisis *cepstrum*.

Satyam, dkk (1994) melakukan penelitian tentang perbandingan metode *cepstrum* dengan *spectrum* yang diaplikasikan untuk menganalisis kerusakan bantalan pada sebuah rangkaian gear box dengan kompresor. Kecepatan putar dari kompresor adalah 13000 RPM dengan kecepatan dari gearbox step up 1500 RPM. *Vibration analyser*, IBM PCAT Computer, Dot matrix printer digunakan sebagai bantuan untuk menganalisa menggunakan metode *cepstrum*. Metode *cepstrum* dapat memisahkan antara efek jalur transmisi dari sumber getaran dan dapat memberikan gambar analisa getaran yang sebenarnya.

Dari hasil penelitian tersebut, metode *spectrum* sering terjadi error dikarenakan kontaminasi dari noise di area sekitar dan dari efek jalur transmisi dari mesin. Dalam mendeteksi kerusakan bantalan pada rangkaian *gearbox* dan kompresor tersebut, menggunakan metode *spectrum* sulit mengidentifikasi kerusakan tersebut dikarenakan banyak jenis *sideband* yang muncul pada mesin. Sedangkan untuk metode *cepstrum* keberagaman *sideband* diindikasikan sebagai hanya satu komponen. Oleh karena itu, *cepstrum* cocok digunakan untuk mesin-mesin yang memiliki *sideband* dan *harmonic* yang cukup kompleks.

Vernekar dkk (2015) melakukan penelitian mendeteksi kerusakan roda gigi dengan menggunakan metode analisis *spectrum* dan *cepstrum*. Penelitian tersebut menggunakan dua buah roda gigi yaitu roda gigi normal dan roda gigi yang dirusak

pada giginya. Penelitian ini dilakukan pada kecepatan putar poros 1100 RPM. Hasil penelitian tersebut pada grafik *spectrum* frekuensi poros muncul di ikuti dengan beberapa harmoniknya dan puncak dari frekuensi *gearmesh* juga terlihat. Sedangkan pada grafik *cepstrum*, getaran periodic pada grafik spectrum dapat dianalisa dengan baik menggunakan metode ini.

Adhitya dan Amoghavarsha (2018) melakukan penelitian mendeteksi kerusakan bantalan pada gearbox dengan menggunakan analisis *cepstrum*. Penelitian tersebut menggunakan bantalan SKF dengan diameter dalam 20 mm dan memiliki kerusakan pada bagian *roller* yang dioperasikan pada sebuah *test rig* yang menggunakan motor bertenaga 0,5 HP. Kecepatan putar poros yang digunakan adalah 1440 RPM dengan frekuensi 24 Hz, *sampling rate* yang digunakan adalah 25600 Hz dengan panjang perekaman 10 detik. Pada grafik *cepstrum* menunjukkan puncak pada *quefrency* 24 Hz (0.041166 sec) yaitu kerusakan pada komponen *bearing* dan harmoniknya dengan beberapa *noise*. Analisis *cepstrum* memberikan indikasi kerusakan yang lebih jelas pada mesin yang kompleks seperti *gearbox* dan bantalan.

Morsy dan Achtenova (2015) mengaplikasikan dan membandingkan metode analisis *cepstrum* dan *envelope* pada proses deteksi kerusakan roda gigi. Penelitian tersebut menggunakan dua variasi kecepatan putar poros yaitu 2000 RPM dan 3000 RPM dengan beban torsi masing-masing sebesar 130 Nm. Sampling rate yang digunakan adalah 6,4 kHz. Hasil dari peneitian tersebut metode envelope dan metode *cepstrum* dapat mendeteksi kerusakan pada roda gigi. Akan tetapi, ada kelebihan utama yang dimiliki metode *cepstrum* yaitu dapat mendeteksi gejala kerusakan awal karena dapat membedakan antara getaran yang periodik dalam hal ini adalah gejala kerusakan dan getaran yang tidak periodik (*noise*) dengan mudah dan jelas.

Nacib, dkk (2013) melakukan penelitian kerusakan *gearbox* pada helicopter yang sedang digunakan pada saat mengudara dengan jumlah gigi masing-masing adalah 36 dan 141. Roda gigi yang berjumlah 36 memiliki frekuensi sebesar 73.18 Hz sedangkan untuk roda gigi berjumlah 141 memiliki frekuensi 18.68 Hz dan

frekuensi *gearmesh* dari gearbox tersebut adalah 2634.6 Hz. Penelitian ini menggunakan analisa *spectrum* dan *cepstrum* sebagai perbandingan.

Hasil penelitian menjelaskan bahwa dengan menggunakan metode spectrum amplitudo dari frekuensi *gearmesh* tidak dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan roda gigi karena operasi parameter lain seperti beban dapat mempengaruhi amplitudo *gearmesh* tersebut. Pada analisis *cepstrum*, *harmonic* dan *sideband* yang ada pada *spectrum* muncul pada grafik *cepstrum* sebagai nilai kecil yang jelas terdefinisi sebagai puncak harmonik. Oleh karena itu, lebih mudah mendeteksi perubahan yang ada pada sistem *gearbox* tersebut. Jarak 73 Hz dan amplitudo tinggi disekitar rotasi *pinion* adalah indikasi kerusakan retak gigi pada *pinion*.

Widodo, dkk (2015) melakukan penelitian tentang mendeteksi kerusakan pada roda gigi lurus dengan kecepatan putar 1000 RPM menggunakan analisis sinyal getaran termasuk FFT dan *cepstrum*. Penelitian tersebut menggunakan empat variasi kondisi dari roda gigi yaitu roda gigi dengan kondisi normal, roda gigi patah satu gigi, roda gigi patah setengah gigi dan roda gigi aus. Pada plot grafik *spectrum* atau FFT tersebut, tanda-tanda kerusakan dari patah setengah gigi patah satu gigi sampai dengan keausan yang merupakan frekuensi *gearmesh* dari roda gigi masih cukup terlihat. Namun, amplitudo tinggi dari frekuensi lain dapat mengganggu proses deteksi dari cacat tersebut. Akan tetapi pada hasil plot grafik *cepstrum*, puncak amplitudo dari *quefreny gearmesh* terlihat jelas, sehingga perubahan nilai amplitudo dari keempat *quefreny* variasi kondisi roda gigi tersebut juga dapat diamati dengan mudah. Jadi, dengan menggunakan analisis *cepstrum* ini dapat memperbaiki kualitas diagnosa kerusakan roda gigi jika dibandingkan analisis *spectrum*.

Dari beberapa tinjauan penelitian yang telah dilakukan, metode deteksi kerusakan menggunakan analisis *cepstrum* memiliki beberapa keunggulan dibanding analisis yang lain. Kemampuannya mengolah *harmonic* dan *sideband* yang muncul dalam getaran suatu komponen menjadi lebih mudah untuk mendeteksi perubahan atau indikasi kerusakan pada komponen sistem mesin yang kompleks.

## 2.2. Fan atau Kipas

*Fan* adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan sebuah aliran pada sebuah fluida. *Fan* pada industri berfungsi sebagai pendukung proses produksi, yaitu berperan sebagai operasi proses pembakaran dan pendinginan dan sistem ventilasi. *Fan* terdiri dari beberapa komponen antara lain bilah, rumah *fan*, bantalan, poros dan motor penggerak. Tentunya *fan* memiliki beberapa jenis sesuai dengan kegunaannya, berikut merupakan jenis dari *fan* tersebut :

### 2.2.1. Kipas Aksial

Kipas jenis ini sangat sering ditemui pada kehidupan sehari-hari. Kemudahan desain dan harga yang lebih ergonomis menjadi sebab jenis *fan* ini banyak digunakan di sekitar kita. Kipas aksial menghasilkan arah aliran fluida searah dengan poros *fan* tersebut. Oleh karena itu, *fan* ini banyak digunakan sebagai kipas pendingin pada berbagai macam komponen mesin baik itu pada kendaraan, perangkat komputer dan juga pada mesin-mesin industri. Kipas ini juga sering digunakan untuk sirkulasi udara dalam sebuah ruangan dan pada sistem pembuangan. (Kamiel dkk, 2018)



**Gambar 2.1** Kipas Aksial

Sumber : <http://anugerahtekniksby.com/>

### 2.2.2. Kipas Sentrifugal

Sesuai dengan namanya, kipas ini memanfaatkan gaya sentrifugal untuk mengalirkan fluida yang hampir sama dengan prinsip kerja dari pompa sentrifugal. Fluida masuk ke dalam pusat putaran kipas dan tentunya akan terdorong keluar akibat gaya sentrifugal yang disebabkan oleh putaran kipas. Blower merupakan istilah yang sering dipakai pada kipas jenis ini.



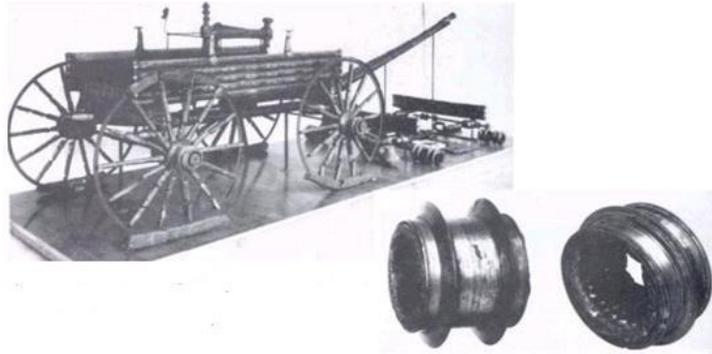
**Gambar 2.2** Kipas Sentrifugal

Sumber : <http://anugerahtekniksby.com/>

### **2.3. Bantalan**

Bantalan berfungsi sebagai penunpu sebuah poros yang memiliki beban dalam hal ini adalah poros pada *fan* agar poros dapat bekerja dengan baik. Konstruksi dari bantalan haruslah kuat dikarenakan fungsinya sebagai penahan. Apabila bantalan tersebut tidak bekerja dengan baik tentu akan mempengaruhi kerja dari semua komponen yang ada pada sebuah mesin.

Menurut sejarah penggunaan bantalan pertama kali ditemukan di Euphrates tepatnya di dekat sungai Tigris. Bantalan tersebut digunakan pada sebuah kereta sederhana yang telah berumur 5000 tahun. Bantalan yang lebih modern ditemukan pada kereta Celtic yang telah berumur kurang lebih 2000 tahun. Leonardo Davinci menggunakan bantalan roller pada kincir air di penggilingan gandum, desain penggunaan bantalan tersebut telah terdokumentasi dengan baik. Paten pertama didaftarkan di perancis 400 tahun berselang. Pada tahun 1900, diterbitkan sebuah katalog bantalan pertama di Inggris. Hingga saat ini bantalan banyak dijumpai dan digunakan pada banyak komponen mesin dengan variasi jenis, ukuran, beban dan putaran yang lengkap.



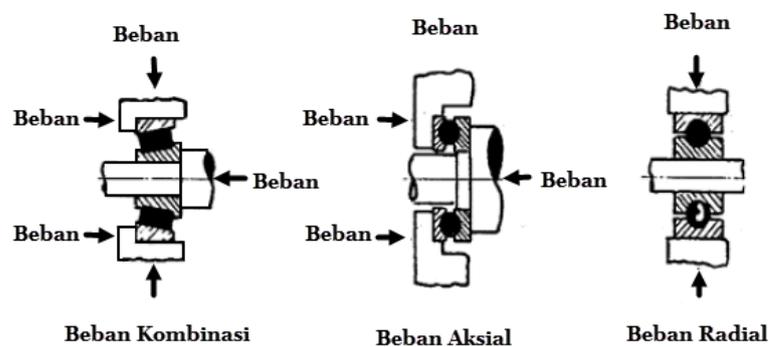
**Gambar 2.3** Bantalan pada kereta celtic

Sumber : <http://terazkadri.blogspot.com/2013/05/bantalan-bearing-bahan-ajar.html>

### 2.3.1. Klasifikasi Bantalan

Bantalan dapat diklasifikasikan menurut arah pembebanannya dan mekanisme atau konstruksi bantalan tersebut.

1. Klasifikasi berdasarkan arah pembebanan
  - a. Thrust bearing/Bantalan Aksial : Bantalan dengan arah pembebanan aksial
  - b. Journal bearing : Bantalan yang menahan beban dalam arah radial yaitu tegak lurus dengan poros.
  - c. Bantalan Kombinasi : Bantalan yang dapat menahan beban dalam arah aksial maupun radial.



**Gambar 2.4** Arah beban bantalan

Sumber : <http://www.mikirbae.com/2016/09/jenis-dan-spesifikasi-bearing.html>

## 2. Klasifikasi berdasarkan mekanisme atau konstruksi

### a. Bantalan Luncur (Slider Bearing)

Bantalan ini sering juga disebut plain bearing. Sesuai dengan namanya bantalan luncur atau sliding, bantalan ini menggunakan mekanisme sliding. Dua permukaan dari komponen bearing ini saling bergerak relatif yang diantara kedua komponen permukaan tersebut terdapat pelumas yang tentunya digunakan untuk mengurangi gesekan yang terjadi pada saat bantalan tersebut beroperasi. Bantalan luncur ini dapat digunakan untuk beban dalam arah radial dan juga aksial. Journal bearing adalah nama untuk bantalan jenis ini yang dapat menahan beban dalam arah radial sedangkan *thrust bearing* menahan dalam arah aksial. Dalam operasi kerjanya, terjadi gesekan luncur antara bantalan dan poros yang disebabkan oleh penumpuan poros pada bantalan yang terdapat pelumas diantaranya.



**Gambar 2.5** Bantalan luncur

Sumber : <https://www.schaeffler.de/>

### b. Bantalan gelinding

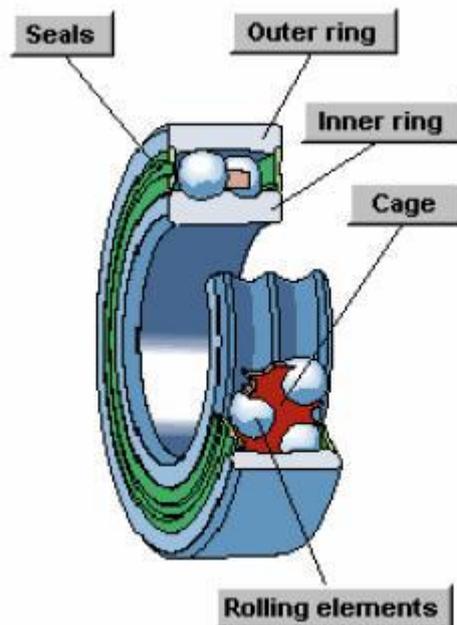
Bantalan gelinding menggunakan elemen gelinding seperti bola, rol taper dan yang lainnya untuk mengurangi atau mengatasi gesekan yang terjadi pada saat dua komponen mesin bekerja. Pada saat bantalan ini bekerja tidak ada gerak relatif seperti pada bantalan luncur dikarenakan kontak yang terjadi pada elemen bantalan dengan komponen lain. Bantalan gelinding ini memiliki kelebihan gesekan yang ditimbulkan relatif kecil disbanding dengan jenis bantalan yang lain. Bantalan ini

memiliki dua jenis klasifikasi berdasarkan dengan elemen gelindingnya yaitu bantalan bola dan bantalan rol. Pada penelitian ini bantalan yang difokuskan adalah bantalan bola berjenis single row ball bearing, yang memiliki satu baris bola yang solid dan tidak dapat berindah tempat.



**Gambar 2.6** Bantalan gelinding

Sumber : <http://precise-bearing.es/3-1-single-contact-ball-bearing.html>



**Gambar 2.7** Bagian Bantalan

Sumber : Wahyudi dkk (2016)

### 2.3.3. Kerusakan pada Bantalan

Bantalan memiliki peranan yang penting pada sebuah mesin agar tetap bekerja dengan baik. Fungsinya sebagai penahan sebuah komponen mesin agar bergerak linier sesuai jalur yang telah ditentukan. Kerusakan yang ditimbulkan akibat kerusakan pada bantalan ini dapat menyebabkan mesin pada sebuah proses produksi berhenti secara total. Oleh karena itu, kerusakan bantalan ini sangatlah penting untuk diperhatikan.

Penelitian ini menggunakan metode berdasarkan analisa sinyal getaran yang membutuhkan frekuensi dari sebuah komponen untuk dianalisa. Tentunya, dalam bantalan terdapat frekuensi tersendiri yang berupa rumus-rumus yang mewakili frekuensi kerusakan yang terjadi pada sebuah bantalan, antara lain :

#### 1. Cacat Lokal pada Lintasan Dalam (*Inner Race*)

*Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI) adalah frekuensi yang muncul ketika cacat atau kerusakan terjadi pada lintasan dalam bantalan yang menyebabkan timbulnya dampak, yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \times fr \times \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots\dots\dots(2.1)$$

#### 2. Cacat Lokal pada Lintasan Luar (*Outer Race*)

*Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO) adalah frekuensi yang muncul ketika cacat atau kerusakan terjadi pada lintasan luar bantalan yang menyebabkan timbulnya dampak, yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \times fr \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots\dots\dots(2.2)$$

#### 3. Cacat Lokal pada Bola (*rolling Element*)

*Ball Spin Frequency* (BSF) adalah frekuensi yang muncul ketika cacat atau kerusakan terjadi pada bola bantalan (*rolling element*). Besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

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

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

*Fundamental Train Frequency* (FTF) adalah frekuensi yang muncul ketika cacat atau kerusakan terjadi pada pemisahnya (*cage*). Besarnya FTF dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana :

$N_b$  = Jumlah bola (*Number of ball*),

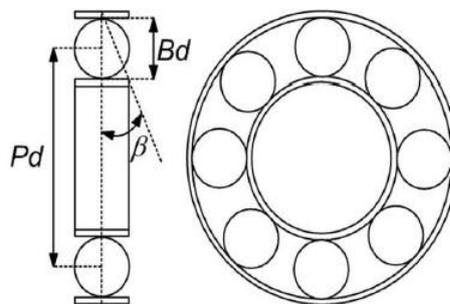
$Fr$  = Frekuensi putaran kerja relatif lintasan dalam dan luar (*Hz*),

$Bd$  = Diameter bola (*Ball diameter*) mm,

$Pd$  = Diameter Pitch (*Pitch diameter*) mm dan

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

Gambar 2.8 dimensi-dimensi yang dipergunakan dalam perhitungan frekuensi cacat bantalan baik itu cacat dalam, luar, cacat pada bola dan cacat pada sangkar.



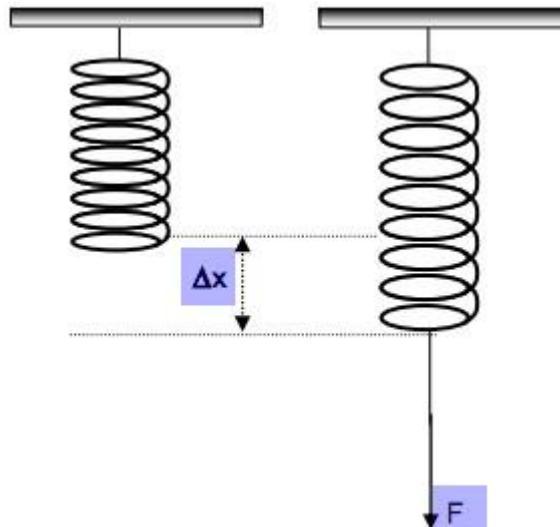
**Gambar 2.8** Dimensi bantalan

Sumber : <https://www.repository.umy.ac.id/>

#### 2.4. Pengertian Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik secara teratur pada suatu benda yang melalui satu titik seimbang. Getaran ini sering juga disebut dengan gerak periodik dikarenakan gerakannya yang terjadi secara teratur. Getaran dipengaruhi oleh besar energi yang diberikan, semakin besar energi yang diberikan semakin kuat juga getaran yang ditimbulkan begitu juga sebaliknya. Satu gerakan bolak-balik penuh

suatu benda sama dengan satu getaran yang dilakukan oleh benda tersebut. Sebagai contoh pada peristiwa pegas di gambar 2.8



**Gambar 2.9** Getaran pegas

Sumber : <https://www.softilmu.com/2015/12/Pengertian-Konsep-Rumus-Besaran-Aplikasi-Hukum-Hooke-Adalah.html>

Sebelum diberikan gaya pada pegas tersebut, pegas akan tetap diam. Gerakan bolak-balik akan terjadi apabila sistem pegas tersebut diberi sejumlah gaya sebesar  $F$ . Gerakan bolak-balik tersebut terjadi pada sekitar posisi netral dari pegas.

### **2.5. Karakteristik Getaran**

Sinyal getaran yang dihasilkan oleh sebuah mesin memiliki beberapa karakteristik yang dapat digunakan untuk mendeteksi dan menganalisa kondisi dari mesin tersebut. Karakteristik getaran tersebut antara lain adalah :

- Perpindahan getaran
- Kecepatan getaran
- Percepatan getaran
- Frekuensi getaran
- Phase getaran

Gerakan satu siklus getaran adalah satu siklus periode. Periode yang dihasilkan dalam suatu interval waktu tertentu disebut frekuensi. Dalam metode analisis sinyal getaran, karakteristik getaran yang umumnya digunakan untuk menganalisis

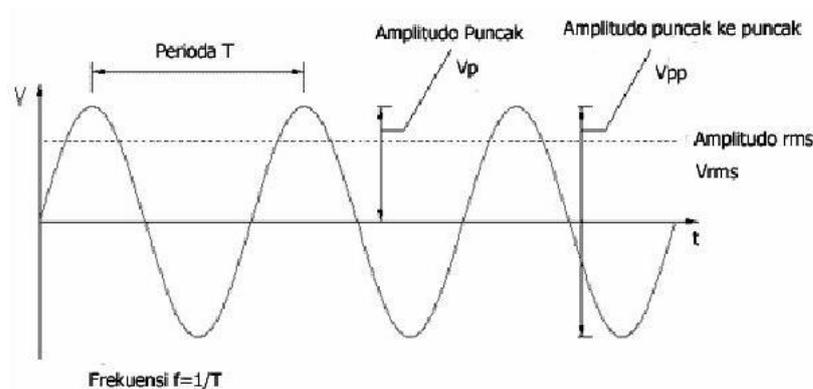
kerusakan sebuah mesin adalah frekuensi dikarenakan frekuensi ini berhubungan dengan putaran dalam sebuah komponen mesin.

### 2.5.1. Frekuensi Getaran

Frekuensi getaran merupakan banyaknya gerakan bolak-balik (getaran) yang terjadi pada satu kali putaran waktu. Gangguan pada sebuah sistem yang beroperasi dapat diketahui menggunakan perbedaan besar nilai frekuensi tersebut. Gangguan atau masalah yang terjadi pada sebuah mesin tersebut biasanya memiliki frekuensi yang berbeda sehingga dapat dianalisa untuk mengetahui penyebab masalah dan juga sumber dari masalah tersebut. Frekuensi dapat ditunjukkan dalam *cycle per minute* (CPM) atau *Hertz* (Hz). (Negara, 2017)

### 2.5.2. Amplitudo Getaran

Amplitudo getaran merupakan besarnya getaran yang terjadi pada sebuah sistem. Besarnya nilai amplitudo pada sebuah mesin tergantung pada spesifikasi mesin tersebut. Semakin besar fisik maka semakin besar pula amplitudo yang muncul dan sebaliknya. Perubahan besar nilai amplitudo yang terjadi pada sebuah sistem menandakan gangguan atau masalah juga relatif besar. (Negara, 2017)



**Gambar 2.10** Amplitudo getaran

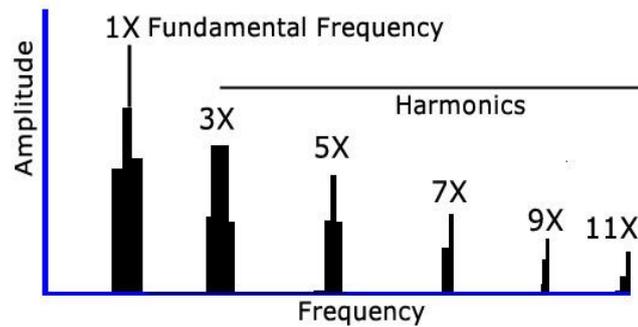
Sumber : <https://masnasir.wordpress.com/bahan-kuliah/teknik-modulasi/modulasi/>

Amplitudo merupakan besar simpangan yang terjadi dari titik kesetimbangan atau netral massa.

### 2.5.3. Harmonik

Harmonik getaran adalah suatu fenomena yang muncul akibat distorsi gelombang sinusoidal yang disebabkan penggunaan beban listrik yang nonlinier.

Gelombang harmonik tersebut dianggap berbentuk sebagai frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasarnya. Misal pada suatu sistem memiliki frekuensi dasar sebesar 20 Hz, maka harmonik selanjutnya adalah 40 Hz dan seterusnya. Gambar 2.11 merupakan gambar dari contoh harmonik.



**Gambar 2.11** Harmonik

## 2.6. Analisa Vibrasi

Karakteristik getaran yang dihasilkan oleh komponen-komponen mesin memiliki karakteristik yang berbeda. Analisa getaran berfungsi untuk mengetahui kondisi sebuah mesin baik itu dari segi mekanis dan operasionalnya. Metode ini dapat mendeteksi masalah yang terjadi pada mesin tersebut sebelum kerusakan yang lebih serius terjadi sehingga dapat menyebabkan berhentinya kerja dari mesin tersebut. Monitoring harus dilakukan secara kontinyu ataupun terjadwal agar hal tersebut dapat tercapai. Analisa vibrasi ini dapat mendeteksi cacat pada bantalan, kehilangan mekanis (*mechanical looseness*) dan gigi-gigi yang rusak atau aus. Analisa vibrasi dapat juga mendeteksi *misalignment* dan ketidakseimbangan (*unbalance*) sebelum kondisi ini menyebabkan kerusakan pada bantalan dan poros.

Analisa getaran dapat menggunakan unit perpindahan, kecepatan dan percepatan yang divisualkan sebagai waktu waveform (TWF), Fast Fourier Transform merupakan spectrum yang paling sering digunakan dari TWF tersebut. *Spectrum* getaran dapat mengetahui informasi frekuensi penting yang dapat menentukan rusak atau tidaknya sebuah komponen mesin. (Negara, 2017)

## 2.7. Sinyal Getaran

Sinyal getaran adalah sinyal yang memuat informasi-informasi tertentu dari kondisi suatu komponen mesin yang merupakan besaran fisik terhadap waktu. Hasil

dari perekaman getaran dari suatu komponen mesin menghasilkan informasi yang kompleks, oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan data perekaman tersebut agar indikasi kerusakan yang terjadi dapat terdeteksi dengan mudah. Data dari getaran mesin memuat informasi yang dibutuhkan untuk menentukan kondisi mesin tersebut baik berupa informasi tentang kondisi mesin, informasi letak indikasi kerusakan dan penyebab kerusakan komponen mesin tersebut.

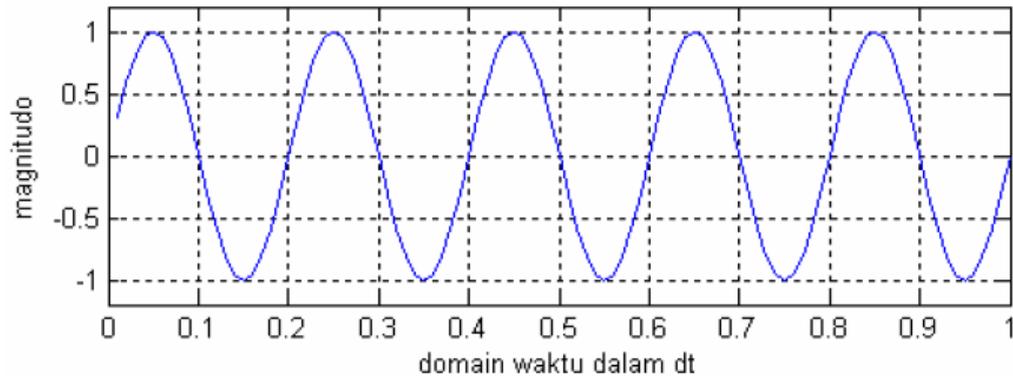
Dalam proses pengolahan data sinyal getaran yang kompleks, penguraian sinyal tersebut memiliki dua proses dasar yaitu domain waktu dan domain frekuensi. Dari kedua proses dasar inilah, dapat terlihat indikasi kerusakan pada suatu komponen mesin walaupun memang dalam suatu kondisi tidak dapat terlihat dengan jelas.

1. **Domain waktu (*time domain*):** yang melihat getaran sebagai simpangan dengan waktu, dimana memberikan gambaran fenomena getaran secara fisik.
2. **Domain frekuensi (*frequency domain*):** yang melihat getaran berupa amplitudo sebagai fungsi frekuensi, dimana merupakan cara yang cocok untuk mengidentifikasi komponen-komponennya.

### **2.7.1. Domain Waktu**

Domain waktu (*time domain*) adalah grafik yang menunjukkan bentuk juga ukuran dari sinyal getaran berdasarkan waktu per detik. *Waveform* adalah istilah lain yang digunakan dalam dunia analisis getaran. Bentuk grafik yang ditampilkan oleh domain waktu ini adalah gelombang sinusoidal, tergantung dari bentuk sinyal masuk. Gambar adalah contoh gelombang sinusoidal yang ditampilkan oleh domain waktu tersebut. Pada grafik tersebut, sumbu y menunjukkan besar nilai amplitudo dari sinyal getaran, sedangkan pada sumbu x menunjukkan nilai waktu.

Sinyal impuls dan fasa antara sinyal satu dengan yang lainnya sangat berguna untuk proses analisis. Grafik yang ditunjukkan pada domain waktu tersebut tidak dapat secara langsung menunjukkan kerusakan pada suatu komponen mesin secara jelas karena banyak sinyal data yang berimpitan. Akan tetapi, hasil dari domain waktu tersebut dapat digunakan untuk proses analisa tingkat lanjut.

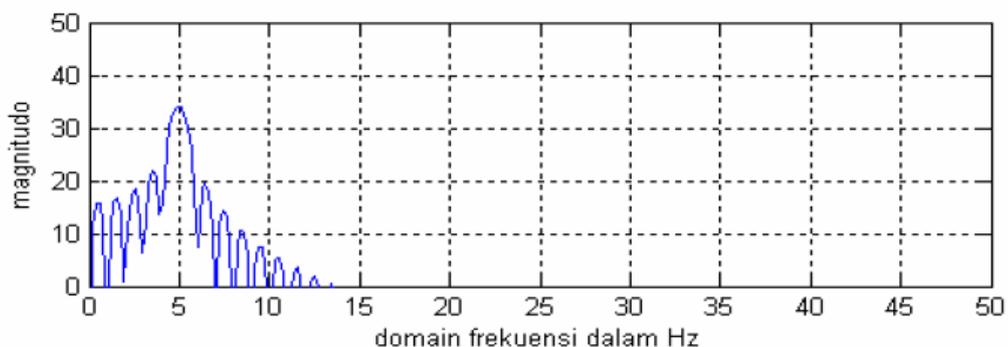


**Gambar 2.12** Grafik domain waktu dalam gelombang sinus

Sumber : <https://docslide.net/documents/prak-sinyalsistem-1.html>

### 2.7.2. Domain Frekuensi

Domain frekuensi merupakan grafik yang menunjukkan hasil plot antara frekuensi dengan magnitudo. Spektrum frekuensi sinyal adalah komponen frekuensi sinyal yang menunjukkan frekuensi apa yang muncul. Frekuensi menunjukkan tingkat perubahan, jika suatu variabel sering berubah maka frekuensi dari variabel tersebut adalah frekuensi tinggi dan sebaliknya. Apabila variable tersebut tidak berubah sama sekali aka disebut dengan nol frekuensi. Magnitudo pada domain frekuensi ini menunjukkan tinggi rendahnya sinyal getaran yang diterima, sedangkan untuk frekuensi tidak terpengaruh dengan keras lemahnya sinyal getaran yang diterima. Contoh hasil plotting sebuah sinyal getaran menggunakan domain frekuensi ditunjukkan pada gambar 2.12.



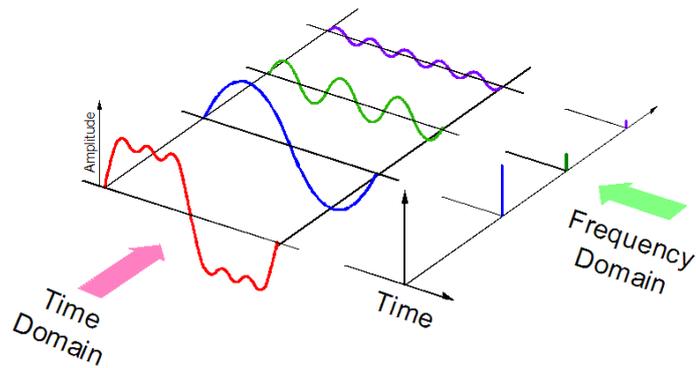
**Gambar 2.13** Grafik domain frekuensi

Sumber : <https://docslide.net/documents/prak-sinyalsistem-1.html>

## **2.8. Fast Fourier Transform (FFT)**

*Fast fourier transform* adalah analisis teknik penyelesaian untuk mengubah bentuk gelombang dari domain waktu ke domain frekuensi yang sangat teliti. FFT dianggap metode yang banyak diterapkan untuk mengetahui kompoen frekuensi yang diinginkan. FFT mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi yang menghasilkan grafik spectrum yang kompleks dari data sinyal. Mengukur tingkat daya *spectrum* dan fase sinyal dari rentang frekuensi nol sampai setengah frekuensi yang disampel. Salah satu keuntungan FFT dari teknik frekuensi domain adalah mempertahankan tahap informasi sinyal yang mungkin membuat transformasi inverse dan relatif sederhana. Keuntungan lainnya adalah FFT dapat mengevaluasi pengukuran *multi-channel* dan analisis sistem seperti fungsi respon frekuensi, kohersi, dan korelasi.

Data hasil pemrosesan dari domain frekuensi umumnya dapat menunjukkan indikasi kerusakan atau masalah yang terjadi pada mesin secara langsung apabila dibandingkan dengan domain waktu. Karakteristik komponen frekuensi seperti resonansi yang cukup mudah diamati apabila ada masalah menjadi penyebabnya. Prinsip pengolahan data dilakukan dengan mengkonversi data domain waktu dengan menggunakan metode *fast fourier transform* (FFT). FFT dapat mempercepat proses pengolahan data yaitu dalam proses konversi data domain waktu menjadi domain frekuensi yang menampilkan banyak komponen frekuensi dalam sinyal. Dasar teknik FFT untuk diagnosis kesalahan meliputi, menyajikan dan menganalisis data getaran yang hanya dari getaran *spectrum*. Dengan konsep FFT maka sinyal getaran ini dapat dianalisis menjadi komponen dalam bentuk sinyal sinus yang frekuensinya merupakan frekuensi-frekuensi dasar dan harmoniknya. Tujuan dilakukannya pengolahan data FFT ini adalah untuk mengetahui dan mendeteksi kondisi komponen mesin dalam kondisi baik atau rusak juga batas kerja dari komponen yang sesuai dengan standar.



**Gambar 2.14** *Fast Fourier Transform*

Sumber : <https://towardsdatascience.com/ok-google-how-to-do-speech-recognition-f77b5d7cbe0b>

## 2.9. Analisis *Envelope*

Analisis *envelope* adalah sebuah metode yang dapat digunakan untuk mengetahui amplitudo rendah yang berasal dari hasil dampak yang terjadi pada cacat awal sebuah komponen dengan cara memfilter amplitudo tinggi yang berasal dari komponen lain termasuk amplitudo dari noise. *High pass filter* digunakan pada metode *envelope* ini yang bertujuan untuk memblokir sinyal frekuensi rendah yang umumnya memuat frekuensi yang tidak terkait dengan komponen mesin. (Kamiel dkk, 2018)

Analisis *envelope* menggunakan proses pengolahan data dengan *fast fourier transform* (FFT) dalam tahap terakhirnya. Sebelum masuk ke pengolahan data menggunakan FFT, data sinyal getaran disaring menggunakan teknik high pass filter terlebih dahulu. Setelah melewati proses penyaringan menggunakan high pass filter, sinyal data diproses lagi dengan transformasi *Hilbert* yaitu membesarkan amplitudo dari data sinyal yang telah melewati proses pemfilteran. Berikut adalah skema dari proses analisis *envelope*.

## 2.10. Analisis *Cepstrum*

Penerapan *cepstrum* awalnya adalah untuk mendeteksi gema dari sinyal seismic. *Cepstrum* memiliki dua jenis yaitu *power cepstrum* dan *complex cepstrum*. Definisi dari *power cepstrum* adalah *inverse fourier transform* dari logaritma power spectrum. Persamaan umum dari (power) *cepstrum* adalah sebagai berikut :

$$C_p(T) = P \{ \log F_{xx}(f) \} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana  $C_p$  adalah hasil dari transformasi power spectrum menjadi power cepstrum.  $F_{xx}(f)$  adalah power spectrum dan P adalah inverse fourier transform yang digunakan untuk mengubah spectrum menjadi cepstrum. Sedangkan untuk persamaan dari complex cepstrum adalah berikut :

$$C_p(T) = P^1 \{ \log F_x(f) \} \dots\dots\dots(2.6)$$

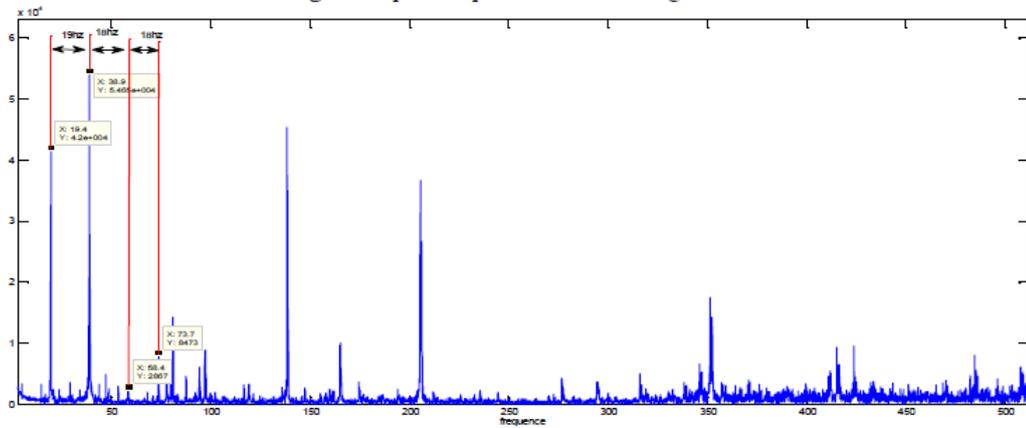
Dimana  $F_x(f)$  adalah besar nilai frekuensi atau amplitudo yang ada pada power spectrum. (Satyam dkk, 1994)

Penelitian pertama tentang ceptrum, penulis membuat kata “cepstrum” yang didapat dari membalik silabus pertama dari “spectrum”. Sama halnya dengan kata “quefreny” yang didapat dari “frequency”. Beberapa istilah yang ada dalam analisis cepstrum adalah sebagai berikut :

Rahmonic	dari	harmonic
Lifter	dari	filter
Gamnitude	dari	magnititude
Saphe	dari	phase
Darius	dari	radius
Dedomulation	dari	demodulation

Cepstrum, quefreny, rahmonic berguna untuk mengklarifikasi bahwa sistem kerja atau operasi tersebut milik analisa cepstrum, daripada domain waktu dan domain frekuensi. Terminology tersebut juga menunjukkan ciri khas dari cepstrum yaitu konversi log dari spectrum. (Randall, 2017)

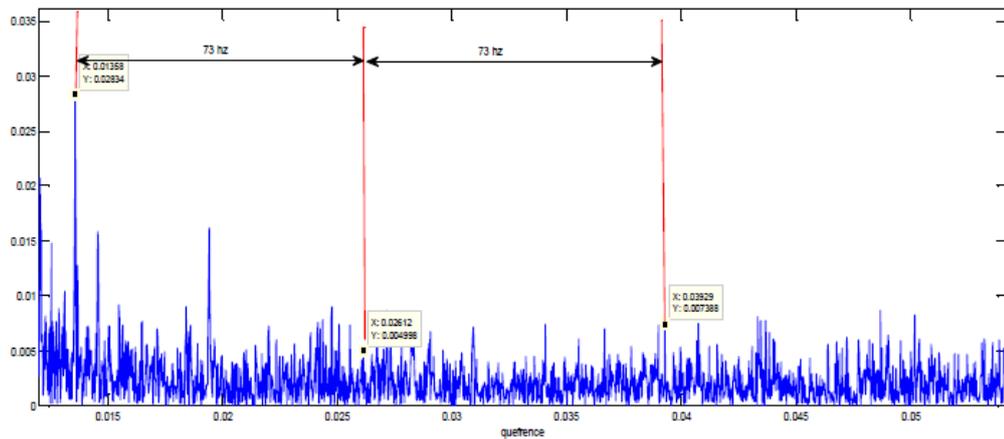
Sebagai contoh perbandingan analisa kerusakan komponen mesin menggunakan analisa getaran dengan dua metode yang berbeda, yaitu dengan menggunakan metode spectrum dan metode cepstrum. Hasil plotting perekaman getaran dengan menggunakan metode spectrum ditunjukkan pada gambar 2.13 berikut.



**Gambar 2.15** Plotting metode spectrum

Sumber : Nacib dkk (2013)

Pada grafik hasil plotting perekaman data getaran dengan metode *spectrum* menunjukkan banyaknya frekuensi-frekuensi yang memiliki amplitudo tinggi. Hal tersebut menyebabkan kesulitan dalam menentukan *harmonic*, *sideband* dan frekuensi kerusakan yang ditimbulkan oleh komponen yang mengalami kerusakan. Berbeda dengan hasil plotting dengan metode *cepstrum* yang ditunjukkan pada gambar 2.14 berikut.



**Gambar 2.16** Plotting metode *cepstrum*

Sumber : Nacib dkk (2013)

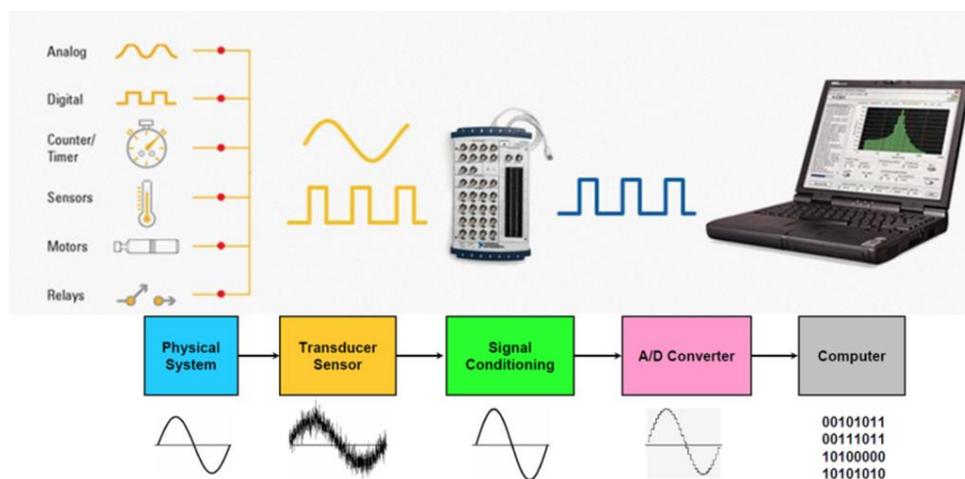
Hasil plotting menggunakan metode *cepstrum* dapat mempermudah identifikasi rahmonik dan sideband yang dihasilkan oleh komponen mesin.

Sehingga metode ini cocok dalam penggunaan deteksi mesin-mesin yang memiliki kerumitan yang kompleks.

### 2.11. Akuisisi Data

Akuisisi data atau disebut juga dengan *Data Acquisition* (DAQ) merupakan rangkaian sistem yang bertujuan untuk mengambil, mengumpulkan, mempersiapkan data sampai dengan proses pengolahan data tersebut yang menghasilkan sebuah data yang diinginkan. Akuisisi data adalah proses sampling dari sinyal yang berasal dari kondisi fisik suatu objek menjadi sinyal digital yang dapat diproses lebih lanjut dalam program computer. DAQ memiliki beberapa komponen yang akan membantu proses pengubahan sinyal analog menjadi sinyal digital, beriku adalah komponen tersebut :

1. Sensor : mengubah parameter-parameter sinyal fisik menjadi sinyal elektrik.
2. *Signal conditioning circuitry* : Pengkondisian sinyal digital.
3. *Analog to Digital Converter* : Mentransformasi sinyal analog dari sensor menjadi sinyal digital.



**Gambar 2.17** Sistem DAQ

Sumber : <https://medium.com/daqifi-data-acquisition/types-of-data-acquisition-systems-6ce3d997a2ce>

## 2.12. Accelerometer

*Accelerometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur getaran dan percepatan yang terjadi di permukaan bumi. Alat ini dapat mengukur percepatan dinamis dan percepatan statis. Pengukuran percepatan dinamis dilakukan terhadap objek yang bergerak sedangkan pengukuran pada percepatan statis dilakukan terhadap gravitasi bumi. Gaya yang disebabkan oleh perubahan gerak (percepatan) dan getaran ini akan menghasilkan massa yang menekan bahan piezoelektrik yang menghasilkan muatan listrik sebanding dengan gaya yang diterima oleh bahan tersebut.

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. Sensor accelerometer memiliki beberapa jenis dan tipe yang sesuai dengan spesifikasi yang diberikan oleh perusahaan pembuatnya. Banyak sensor accelerometer yang berbentuk digital ada dipasaran daripada dalam bentuk mekanik sehingga cara kerjanya berdasarkan temperature yang diolah dalam satu chip.

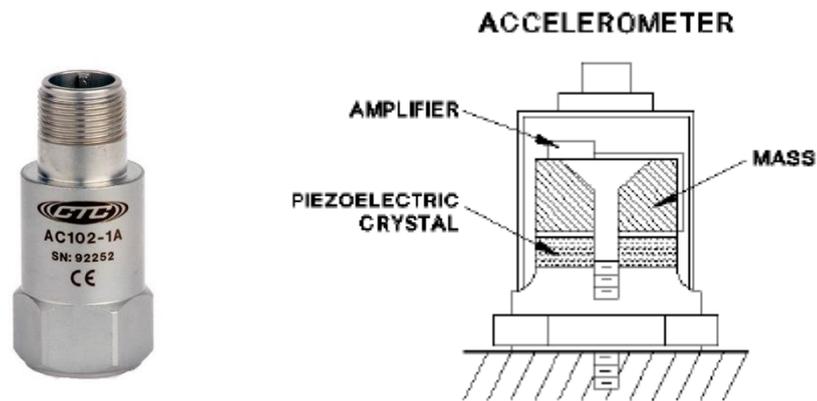
Kelebihan :

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. Terdapat 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 luaran 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.



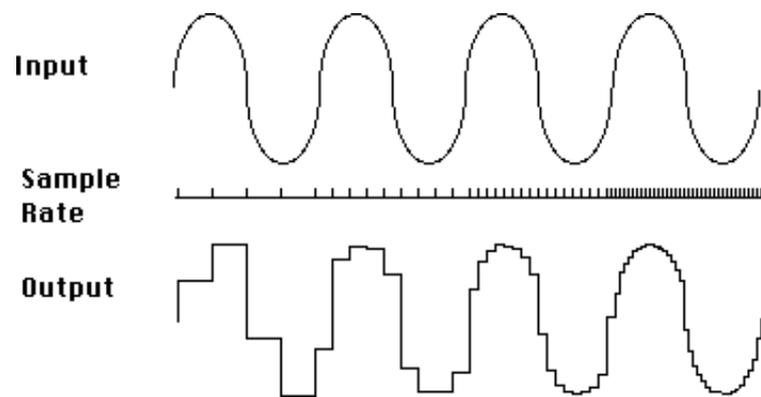
**Gambar 2.18** Accelerometer

Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/ctc-100mv-g-multipurpose-industrial-accelerometer-20506264833.html>

[https://www.reliabilitydirectstore.com/kb\\_results.asp?ID=26](https://www.reliabilitydirectstore.com/kb_results.asp?ID=26)

### 2.13. *Sampling Rate*

*Sampling rate* merupakan jumlah titik (sample) yang diukur dalam satuan hertz (Hz) yang diambil dalam satuan waktu (detik) dari sinyal yang diterima secara kontinyu atau dalam istilah lain adalah batas frekuensi (jumlah titik) yang dapat dikirim per satuan waktu. Nilai sampling rate dari setiap jenis data memiliki nilai sampling ratenya masing-masing.



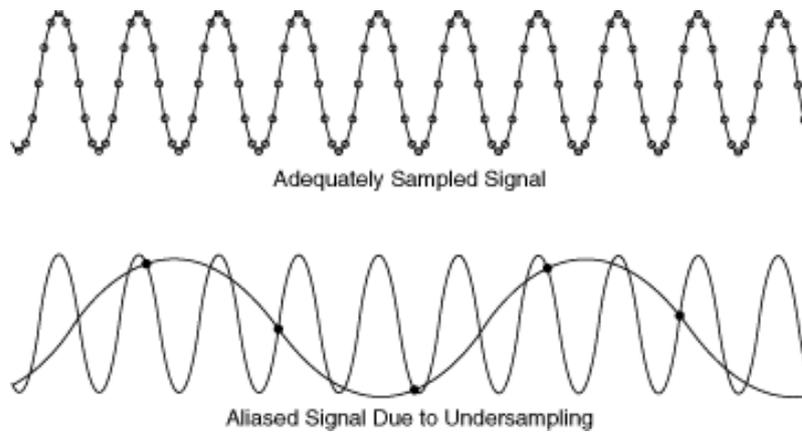
**Gambar 2.19** Sampling rate

Sumber : <http://monicandreatic.blogspot.com/2016/05/digital-sound.html>

Gambar 2.15 merupakan contoh dari sampling rate. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak titik sampling yang digunakan maka hasil output akan hampir menyerupai dari gelombang aslinya. Akan tetapi semakin sedikit titik sampling yang digunakan maka hasil output jauh dari bentuk gelombang aslinya.

#### **2.14. Aliasing**

Aliasing merupakan fenomena terbentuknya gelombang frekuensi rendah yang disebabkan oleh undersampling. Secara teoritis, apabila frekuensi lebih dari setengah tingkat sampling maka nilai vibarasi tidak ada. Berikut adalah contoh dari fenomena aliasing :



**Gambar 2.20** Fenomena Aliasing

Sumber : <https://steemit.com/cryptocurrency/@ryryguy/why-using-the-daily-charts-is-giving-you-false-signals>

Fenomena *aliasing* adalah kesalahan yang harus dihindari dari proses perekaman data secara kontinyu. Filter anti-aliasing adalah metode yang tepat untuk mencegah terjadinya fenomena ini. Filter ini bekerja dengan menghilangkan plot frekuensi tinggi yang bisa jadi ada pada laju proses sampling. Agar metode filter anti-aliasing berjalan dengan lancar, maka penerapannya sebelum proses konversi dari sinyal analog ke digital.

