

## BAB II

### TINJUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Bantalan merupakan salah satu komponen dari *fan* yang berfungsi sebagai tumpuan pada poros agar dapat berputar dan dapat mengurangi gesekan yang berlebih. Kerusakan yang timbul pada bantalan dapat mengakibatkan dampak yang fatal pada *fan*, bahkan dapat menghentikan kerja mesin. Oleh karena itu penting adanya perawatan untuk mencegah kerusakan pada bantalan. Beberapa peneliti melakukan penelitian untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan dengan berbagai metode.

Sirajuddin (2010) meneliti tentang kerusakan pada roda gigi lurus dengan 4 variable yang berbeda. Basis penelitian menggunakan metode analisis spektrum getaran. Variable pertama adalah roda gigi dengan kondisi normal, variable kedua roda gigi dengan kondisi pecah sebagian, ketiga dengan kondisi roda gigi aus dan yang terakhir dengan kondisi roda gigi patah. Dari plotting spektrum getaran muncul *side band* yang biasa digunakan untuk mendeteksi kerusakan roda gigi. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan *side band* rendah maupun *side band* yang tinggi. Apabila amplitudo *side band* tersebut rendah maka menunjukkan roda gigi tersebut tidak mengalami kerusakan, sebaliknya apabila amplitudo *side band* tinggi maka menandakan bahwa roda gigi tersebut mengalami kerusakan. Dari hasil tersebut metode analisis spektrum getaran masih efektif untuk mendeteksi kerusakan pada roda gigi.

Kamiel, dkk (2017) meneliti cacat bantalan pada pompa sentrifugal dengan menggunakan metode spektrum getaran. Pada penelitian tersebut kecepatan putar sebesar 1200 rpm, 1600 rpm, 2000 rpm dan 2400 rpm. Pada hasil spektrum *envelope*, puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan terlihat jelas dan berbeda dengan amplitudo frekuensi lain, hal ini hamper terjadi pada masing-masing variasi kecepatan putar. Berbeda dengan spektrum frekuensi yang dimana amplitudonya masih berhimpitan dengan amplitudo frekuensi komponen lain, meskipun tidak terjadi pada semua variasi. Deteksi kerusakan bantalan menggunakan metode

*envelope* memiliki akurasi lebih tinggi dengan ditunjukkannya level amplitudo antara *envelope* dan spektrum frekuensi berbeda jauh.

Morsy, Acthenova (2015) dalam penelitiannya yang mengkomparasikan antara *envelope* dan *cepstrum* pada sebuah *gear* yang disengaja dibuat rusak atau cacat. Dengan kecepatan putaran roda gigi sebesar 2000 rpm dan 3000 rpm. Pada analisis *cepstrum* muncul beberapa kali rahmonik dan menunjukkan amplitudo pada kerusakan roda gigi pada 22.2 ms (45 Hz) dan 14.8 ms (67.56 Hz). Untuk analisis *envelope* juga terlihat kerusakan roda gigi pada frekuensi 45 Hz dan 67.6 Hz. Dari hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa kedua metode tersebut masih relevan untuk mendeteksi kerusakan pada roda gigi.

Penelitian lain dilakukan Vernekar, dkk(2014) yang melakukan penelitian menggunakan metode *spectrum* dan *cepstrum* untuk mendeteksi cacat pada *gear*. Penelitian tersebut menggunakan *gear* normal dan *gear* sengaja dibuat cacat dengan parameter frekuensi rotasi gigi 4.87 Hz, frekuensi rotasi pinion 5 Hz, frekuensi jala gigi 117 Hz dan frekuensi rotasi poros engkol 18 Hz. Percobaan pertama menggunakan *gear* normal frekuensi puncak jala gigi 117 Hz dan rotasi poros engkol 18 Hz dapat terlihat sementara itu pada rotasi gigi 4.87 Hz *spectrum* belum dapat melihat. Sedangkan *cepstrum* dengan gigi normal dapat menunjukkan puncak pada 0.055 detik sesuai dengan harmonik 18 Hz. Pada gigi yang sengaja dibuat cacat *cepstrum* menunjukkan pada puncak jala gigi 0.0085 detik dengan frekuensi jala gigi 117 Hz dan dapat menunjukkan suatu kesalahan.

Penelitian dengan metode *cepstrum* pada bantalan dilakukan oleh Adhitya dan Amoghavarsha (2018). Penelitian tersebut dilakukan untuk mendeteksi bantalan pada *gearbox*. Dengan motor bertenaga 0.5 Hp dengan kecepatan maksimum 1440 rpm. Bantalan yang digunakan tipe SKF dengan diameter 20 mm dan panjang 50 mm kecepatan yang digunakan 1440 rpm dengan frekuensi 24 Hz dan *sampling rate* yang digunakan 25600 Hz. Waktu pengambilan data selama 10 detik mendeteksi kerusakan bantalan dan harmonik dipuncak *quefrequency* pada 24 Hz (0.041166 sec) dengan menunjukkan beberapa *noise*. Demikian metode analisis *cepstrum* dapat menunjukkan indikasi kerusakan pada komponen yang kompleks seperti *gear box*.

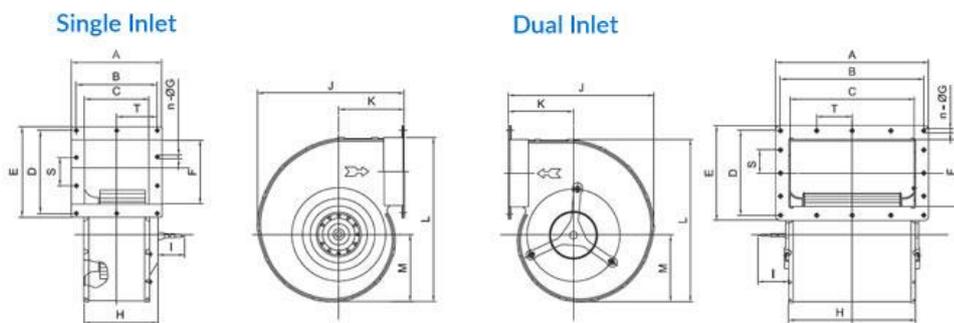
Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, metode deteksi kerusakan menggunakan analisis *cepstrum* memiliki beberapa keunggulan dibanding analisis *spectrum*. Kemampuannya dalam mengolah harmonik dan *sideband* yang muncul dalam getaran suatu komponen menjadi lebih mudah untuk mendeteksi indikasi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

## 2.2 Fan

*Fan* (Kipas) merupakan alat yang berfungsi sebagai penghasil aliran fluida, biasanya pada dunia industri *fan* digunakan untuk menghasilkan suatu aliran fluida dalam jumlah yang besar sesuai dengan kebutuhan dalam industri tersebut. *Fan* terdiri dari beberapa bagian, diantaranya : *case* sudu(*blade*) dan penggeraknya. Berdasarkan prinsip kerjanya *fan* dibagi menjadi 2 yaitu *fan* sentrifugal dan *fan axial*

### 2.2.1 Fan Sentrifugal

*Fan* sentrifugal menggunakan gaya sentrifugal untuk menghasilkan aliran fluida. Seperti halnya dengan pompa sentrifugal, udara masuk melawati sisi *inlet* yang berada dipusat putaran *fan* sentrifugal lalu terdorong menjauh poros kipas akibat dari gaya sentrifugal sudu-sudu kipas yang berputar. *Fan* sentrifugal dapat didesain dengan *single inlet* ataupun dengan *double inlet*, tergantung kebutuhannya.



**Gambar 2. 1** Fan Sentrifugal Single Inlet & Double Inlet

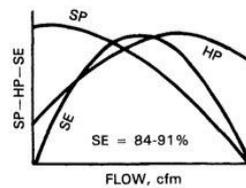
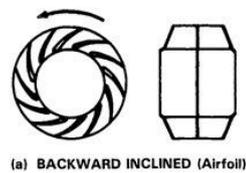
(sumber: <https://artikel-teknologi.com>)

Secara umum sudu dari *fan* sentrifugal dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

a. *Backward Curved Blades*.

Dengan bentuk sudu ini memiliki beberapa keuntungan :

- Efisiensi tinggi diatas 90%
- Beroperasi sangat stabil.
- Tidak berisik.
- Tidak memiliki daya *overload*.
- Baik digunakan dengan kecepatan tinggi.



SE - STATIC EFFICIENCY  
SP - STATIC PRESSURE  
HP - HORSEPOWER  
cfm - CUBIC FEET PER MINUTE

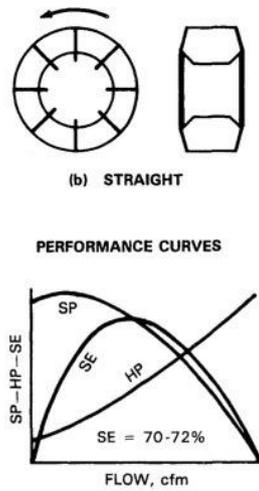
**Gambar 2. 2** Sudu Tipe *Backward Curved Blades*

(sumber: <https://artikel-teknologi.com>)

b. *Straight Blade*.

Sudu ini memiliki keuntungan sebagai berikut :

- Tahan abrasi.
- Perawatan sederhana.
- Kapasitas yang luas.

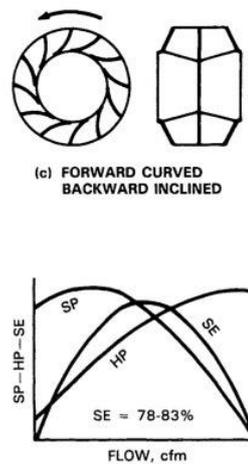


**Gambar 2. 3** Sudu Tipe *Straight Blades*  
 (sumber: <https://artikel-teknologi.com>)

c. *Radial Tip Blades.*

Keuntungan dari sudu ini adalah :

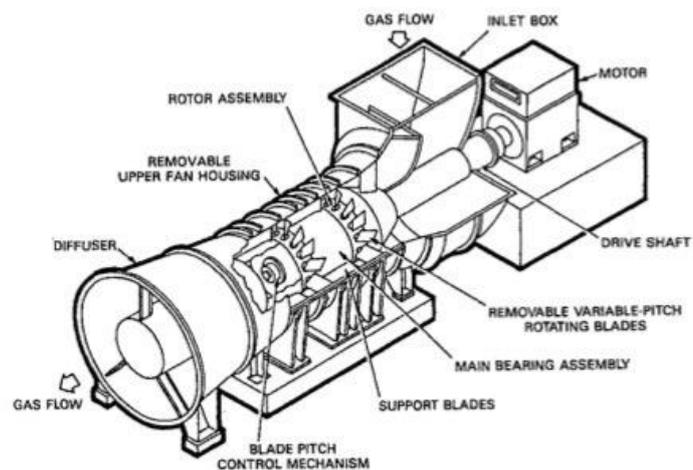
- Tidak memiliki karakter daya *overload*.
- Menghasilkan kapasitas yang besar.
- Beroperasi sangat stabil.
- Dapat membersihkan permukaan sudu dengan sendirinya.



**Gambar 2. 4** Sudu Tipe *Radial Tip Blades*  
 (sumber: <https://artikel-teknologi.com>)

### 2.2.2 Fan Axial

*Fan Axial* atau kipas aksial menghasilkan aliran fluida sesuai dengan arah poros kipas yang bekerja. Kipas aksial paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dikarenakan kipas tipe ini memiliki desain yang tidak rumit dan memiliki harga yang lebih murah dibandingkan kipas sentrifugal. Selain dari desain yang tidak rumit kipas ini memiliki kelebihan untuk menghasilkan aliran yang besar sehingga kipas ini banyak digunakan sebagai pendingin dari pendingin CPU sampai dengan pendingin mesin kendaraan bermotor.



**Gambar 2. 5** *Fan Axial*

(sumber:<https://industrialdirect.com>)

### 2.3 Bantalan (*Bearing*)

Bantalan (*bearing*) merupakan elemen mesin yang mampu menumpu poros yang memiliki beban sehingga putaran ataupun gerakan bolak-balik dapat berjalan dengan baik dan mempunyai umur yang Panjang. Bantalan dalam ilmu mekanika berfungsi sebagai pembatas antara gerak relatif dua atau lebih komponen mesin agar dapat bergerak pada arah yang diinginkan. Bantalan menjaga putaran poros (*shaft*) agar tetap pada sumbu porosnya atau menjaga suatu komponen agar tetap bergerak secara linier pada jalurnya.

### 2.3.1 Klasifikasi Bantalan

Berdasarkan arah beban dan konstruksinya bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

- a. Berdasarkan dari arah dan pembebanannya terdiri atas.
  - *Journal bearing* : Bantalan yang menahan beban dalam arah radial tegak lurus dengan poros.
  - *Thrust bearing* : Bantalan yang bebannya ditahan dalam arah aksial.
  - Bantalan kombinasi : Bantalan yang dapat menahan arah beban dari arah aksial dan arah radial.
  
- b. Berdasarkan dari konstruksinya.
  - Bantalan Luncur

Bantalan luncur atau yang biasa disebut *slide bearing* atau *plain bearing* mekanisme yang digunakan adalah mekanisme *sliding*, dengan dua permukaan komponen mesin saling bergerak relatif dan diantara dua permukaan terdapat pelumas yang berfungsi untuk mengurangi gesekan. Untuk beban dengan arah radial disebut dengan *journal bearing* sedangkan untuk beban aksial disebut *thrust bearing*. Gesekan luncur pada bantalan ini terjadi antara poros dan bantalan hal tersebut terjadi akibat permukaan poros yang ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantara lapisan pelumas. Bantalan luncur ditunjukkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2. 6** Bantalan Luncur

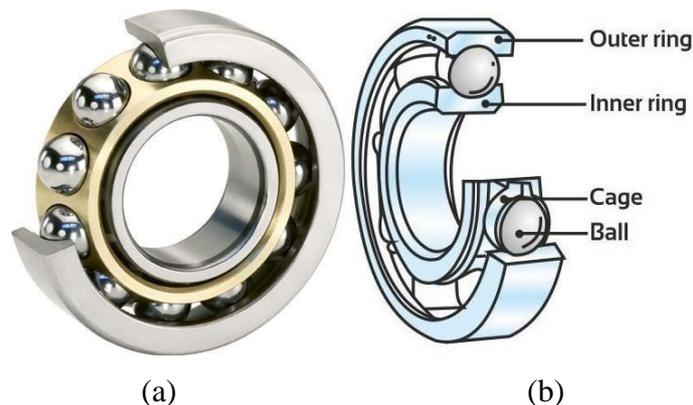
(sumber:<https://slideshare.net>)

- Bantalan Gelinding

Bantalan gelinding dalam mengatasi gesekan antara dua komponen yang bergerak menggunakan elemen *rolling*. Kontak gelinding yang terjadi diakibatkan antara elemen ini dengan komponen lain, berarti pada permukaan kontak terjadi gerak relatif. Berdasarkan bentuk elemen gelindingnya bantalan gelinding diklasifikasikan menjadi dua yaitu bantalan bola (*ball bearing*) dan bantalan rol (*roll bearing*). Bantalan gelinding memiliki kelebihan gesekan yang relatif kecil dibandingkan dengan bantalan yang lainnya.

### 2.3.2 Bantalan Bola

Bantalan bola merupakan jenis bantalan rol dengan bola sebagai pemisah antar sisi bantalan. Bantalan bola berfungsi untuk mengurangi gesekan radial dan aksial. Terdapat dua sisi dalam aplikasi bantalan yaitu sebagai stasioner atau bersifat diam dan bersifat gerak atau berputar. Bantalan bola terdiri dari beberapa elemen yaitu lintasan dalam (*inner race*), lintasan luar (*outer race*), elemen gelinding (*ball*) dan sanggar (*cage*). Gambar 2.8(a) Bantalan Bola, Gambar 2.8(b) Elemen Bantalan bola.



**Gambar 2. 7 (a)** Bantalan Bola, **(b)** Elemen Bantalan Bola

(sumber: <https://areabelajarku.blogspot.com>)

### 2.3.3 Single Row Groove Ball Bearings

Bantalan jenis ini memiliki alur pada bagian dalam di kedua cincinnya sebagai lintasan bola. Sehingga bantalan jenis ini mampu menahan beban secara ideal pada arah radial maupun aksial. Contoh bantalan tipe *single row groove ball bearings* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2. 8** *Single Row Groove Ball Bearings*  
(sumber: <http://id.cme-cq.net>)

### 2.3.4 Jenis - Jenis Cacat Pada Bantalan

Bantalan merupakan elemen mesin yang memiliki peran yang sangat penting. Karenan perannya yang sangat penting tersebut maka ketika terjadi cacat atau keausan pada bantalan akan berakibat fatal pada mesin. Hal tersebut dapat diantisipasi dengan mendeteksi bantalan.

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

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

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

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

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

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

**c. Cacat Lokal pada Bola (*Rolling Element*)**

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

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

**d. 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:

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

Dimana :

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

*Fr* = Frekuensi putaran kerja pompa (*Hz*),

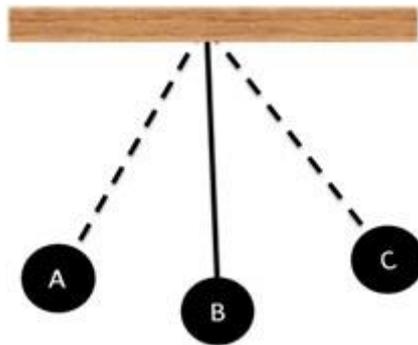
*Bd* = Diameter bola (*Ball diameter*) mm,

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

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

**2.4 Pengertian Geteran**

Getaran adalah gerakan bolak-balik pada suatu benda yang melewati satu titik seimbang. Satu getaran disebut getaran penuh apabila bergerak dari titik awal bergerak dan kembali kepada titik tersebut. Seperti yang ditunjukkan pada suatu bandul Gambar 2.9. Ketika bandul bergerak dari titik A dan kembali ke titik A maka itu disebut satu getaran penuh.



**Gambar 2. 9** Bandul

(sumber : <http://kudunku.blogspot.com/2016/01/laporan-praktikum-periode-pada-bandul.html>)

Waktu yang digunakan untuk menempuh satu getaran disebut dengan periode (T) dan untuk banyaknya getaran perdetik disebut frekuensi (F). Rumus hubungan antara frekuensi dan periode dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots 2.5$$

Keterangan :

T = Periode (s)

F = banyaknya getaran perdetik (Hz)

Dalam mengidentifikasi kerusakan pada mesin, karakteristik getaran dapat membantu mengidentifikasi kerusakan pada tersebut. Beberapa karakteristik yang digunakan untuk membantu dalam analisa kerusakan pada komponen mesin yaitu :

- Perpindahan getaran
- Kecepatan getaran
- Percepatan getaran
- Frekuensi getaran
- Tahap getaran

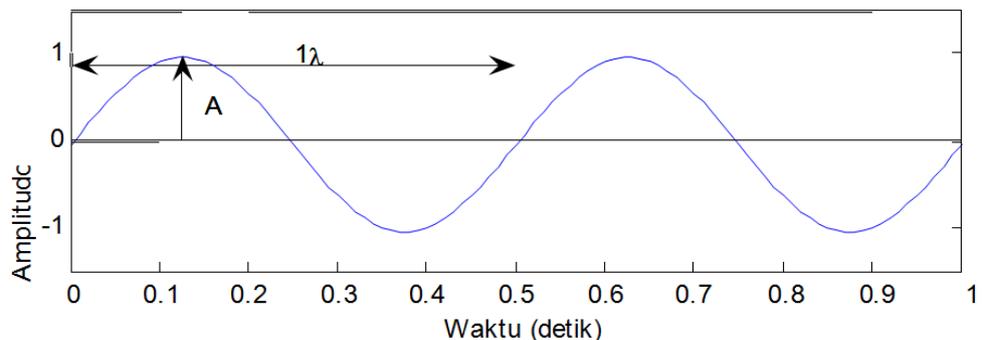
Karakteristik getaran tersebut dapat untuk membantu memudahkan untuk menganalisis kerusakan pada komponen mesin.

### 2.4.1 Frekuensi Getaran

Jumlah getaran yang terjadi pada satu putaran dalam satuan waktu disebut frekuensi. Beberapa jenis gangguan yang terjadi pada mesin dapat dideteksi dengan melihat besarnya frekuensi yang muncul saat yang terjadinya suatu getaran. Dalam penelitian gangguan yang terjadi pada mesin dapat dijadikan contoh bahan penelitian. Pada saat mesin mengalami vibrasi frekuensi dapat diketahui, maka penelitian dapat dilakukan untuk mengetahui penyebab dari gangguan pada mesin. Frekuensi secara umum ditunjukkan dengan bentuk *circle per minute* (CPM), atau biasa disebut dengan Hertz(dimana  $\text{Hz} = \text{CPM}$ ).

### 2.4.2 Amplitudo Geteran

Secara umum ukuran besarnya sinyal vibrasi yang dihasilkan disebut dengan amplitudo. Amplitudo dari sinyal vibrasi dapat digunakan untuk mengidentifikasikan besarnya gangguan yang terjadi pada mesin. Semakin besar gangguan yang terjadi pada mesin semakin tinggi juga amplitudo yang tunjukkan, besar amplitudo dipengatuhi tipe mesin yang digunakan. Contoh gelombang amplitudo dapat dilihat pada Gambar 2.10



**Gambar 2. 10** Ampitudo

(Sumber : <http://mti.binus.ac.id/icasce2013/single/sinyal-analog/>)

Amplitudo adalah besar simpangan yang terjadi pada titik kesetimbangan atau netral massa.

### **2.4.3 Harmonik**

Harmonik merupakan fenomena yang terjadi akibat terdistorsi gelombang sinusoidal secara amplitudo, yang disebabkan dari penggunaan beban listrik yang bersifat nonlinier. Bentuk gelombang yang terdistorsi dapat dianggap sebagai penjumlahan dari frekuensi dasar gelombang sinusoidal dan frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasarnya. Frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar ini disebut dengan frekuensi amplitudo. Bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut dengan angka urutan amplitudo, perumpamaan suatu sistem tenaga listrik memiliki frekuensi dasar 50 Hz, maka amplitudo keduanya adalah 100 Hz dan seterusnya.

## **2.5 Analisis Vibrasi**

Getaran yang dihasilkan dari komponen mesin memiliki karakteristik yang berbeda. Kondisi mekanis maupun operasional suatu mesin dapat diketahui menggunakan analisis vibrasi. Analisa vibrasi memiliki kelebihan yaitu dapat mendeteksi kerusakan yang terjadi pada mesin tanpa harus menghentikan atau mematikan mesin terlebih dahulu. Hal ini dilakukan dengan cara memonitoring secara regular terhadap getaran mesin baik secara rutin atau berkala. Analisa vibrasi dapat mendeteksi *misalignment* dan ketidak seimbangan (*unbalance*) sebelum menyebabkan kerusakan pada bantalan.

Analisa vibrasi dapat menggunakan unit pemindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*) dan percepatan (*accelerometer*), ditampilkan sebagai waktu *waveform* (TWF), pada umumnya spektrum yang digunakan berasal dari *Fast Fourier Transform* dari TWF. Komponen mesin yang mengalami masalah frekuensi kerusakannya akan ditampilkan oleh *spectrum*.

## **2.6 Sinyal Getaran**

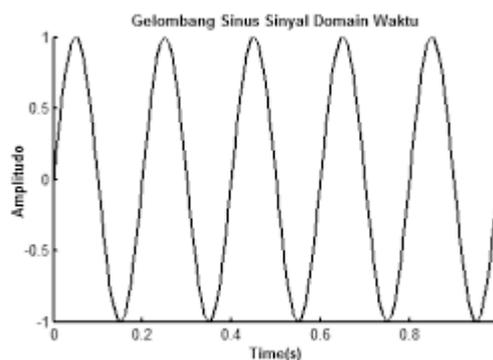
Sinyal getaran merupakan informasi tertentu dari suatu komponen mesin yang memuat besaran fisik terhadap waktu yang nilainya bervariasi. Perekaman getaran dari suatu komponen mesin menghasilkan informasi yang kompleks, oleh karena itu diperlukan pengolahan data dari hasil perekaman tersebut agar indikasi

kerusakan yang terjadi dapat terdeteksi dengan mudah. Data dari getaran mesin memuat informasi yang dapat digunakan untuk menentukan kondisi mesin tersebut. Informasi berupa kondisi mesin, informasi letak indikasi kerusakan dan penyebab kerusakan komponen mesin tersebut.

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

### 2.6.1 Domain Waktu

Domain waktu merupakan grafik yang menunjukkan informasi mengenai bentuk serta ukuran sinyal gelombang berdasarkan waktu per sekon. Dalam analisis getaran domain waktu biasa disebut dengan *waveform*. Bentuk yang ditunjukkan adalah wujud dari gelombang sinus/kosinus. Contoh bentuk domain waktu terlihat pada Gambar 2.11 dengan bentuk gelombang ditunjukkan dalam grafik sinus. Grafik arah y menunjukkan nilai amplitudo gelombang, dan arah x menunjukkan nilai waktu.



**Gambar 2. 11** Gelombang Sinus Sinyal Domain Waktu

(sumber:[https://:repository.usu.ac.id](https://repository.usu.ac.id))

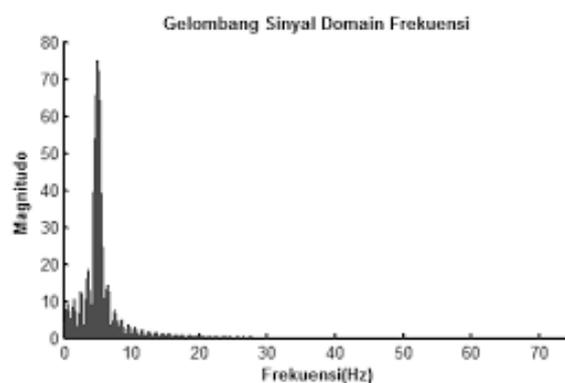
Pada Gambar 2.11 menunjukkan hasil sinyal getaran suatu mesin yang alamiah. Sehingga proses analisis dapat dilakukan dengan baik akibat sinyal impuls

yang dihasilkan dari getaran mesin. Walaupun sinyal domain waktu tidak dapat secara langsung mengidentifikasi kerusakan suatu elemen mesin, yang disebabkan karena terdapat beberapa data yang saling berhimpitan. Akan tetapi data yang didapat sangat bermanfaat sebagai dasar proses yang akan dianalisa lebih lanjut.

### 2.6.2 Domain Frekuensi

Sinyal domain frekuensi merupakan sinyal yang menampilkan frekuensi terhadap magnitudo yang berupa *spectrum* ketika diplot. Didalam frekuensi sinyal terdapat informasi penting. Pada dasarnya frekuensi sinyal *spectrum* merupakan komponen frekuensi (*spectral* frekuensi) sinyal yang menunjukkan frekuensi yang muncul. Tingkat perubahan ditunjukkan oleh frekuensi. Variable yang sering berubah-ubah dinamakan dengan frekuensi tinggi. Sedangkan variable yang jarang berubah-ubah dinamakan frekuensi rendah. Apabila variabel tersebut tidak mengalami perubahan sama sekali, maka dinamakan tidak mempunyai frekuensi (nol frekuensi).

Pada domain frekuensi tinggi rendahnya sinyal ditunjukkan oleh magnitudo. Kuat lemahnya sinyal tidak mempengaruhi frekuensi yang ada didalamnya. Sinyal domain frekuensi dapat dikembalikan ke sinyal domain waktu. Gelombang sinyal getaran domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 2.12



**Gambar 2. 12** Domain Frekuensi

(sumber:<https://repository.usu.ac.id>)

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

Metode analisis untuk merubah domain waktu ke domain frekuensi dengan ketelitian yang tinggi disebut dengan *fast fourier transform* (FFT). FFT merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengetahui komponen frekuensi yang diinginkan. FFT mengubah domain waktu ke domain frekuensi dengan hasil grafik *spectrum* yang kompleks dari data sinyal. Dengan mengukur tingkat daya *spectrum* dan fase sinyal dari rentang frekuensi nol sampai dengan setengah frekuensi yang disampel. Salah satu keuntungan dari FFT dibandingkan dengan teknik frekuensi domain adalah FFT mampu mempertahankan tahap informasi sinyal yang dapat membuat transformasi *inverse* dan relatif sederhana. Keuntungan lain dari FFT adalah mampu mengevaluasi pengukuran *multi-channel* dan analisis sistem seperti fungsi respon frekuensi, kohersi, dan korelasi.

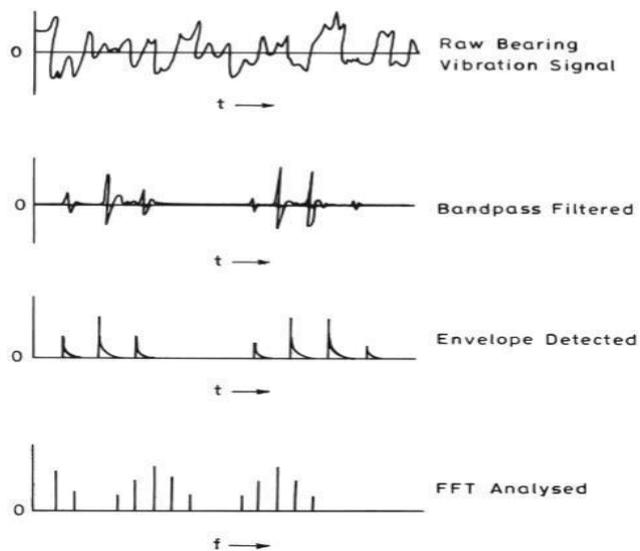
Dibandingkan dengan domain waktu data hasil dari pemrosesan domain frekuensi umumnya dapat menunjukkan indikasi kerusakan yang terjadi pada mesin secara langsung. Karakteristik komponen frekuensi mudah diamati apabila terjadi masalah seperti resonansi. Pengolahan data dilakukan dengan mengkonversi data domain waktu dengan menggunakan metode *fast fourier transform* (FFT). FFT mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi dengan cepat dan menampilkan banyak komponen frekuensi dalam sinyal. Dasar dari teknik FFT untuk diagnosis kesalahan adalah menyajikan dan menganalisis data getaran dari getaran *spektrum*. Dengan menggunakan konsep FFT maka sinyal getaran dapat dianalisis menjadi komponen dalam bentuk sinyal sinus yang frekuensinya merupakan frekuensi-frekuensi dasar dan harmonik. Tujuan pengolahan data menggunakan FFT ini adalah untuk mendeteksi kondisi komponen mesin dalam kondisi baik maupun rusak dan juga batas kerja dari komponen yang sesuai dengan standar.

### **2.6.4 Analisis Envelope**

Analisis *Envelope* merupakan metode khusus yang digunakan untuk menganalisis pada bantalan dan *gearbox*. Metode ini dapat menghilangkan frekuensi rendah dan memfilter frekuensi tinggi menggunakan *high pass filter*,

sehingga pada grafik hanya akan muncul frekuensi-frekuensi tinggi yang merupakan frekuensi dari cacat bantalan (Muhammad Adib,2018).

Proses pengolahan data pada analisis *envelope* menggunakan proses *fast fourier transform* (FFT) dalam tahap terakhirnya. Sebelum masuk pada pengolahan data menggunakan FFT, data sinyal getaran disaring menggunakan teknik *high pass filter*. Setelah melewati proses penyaringan menggunakan *high pass filter*, sinyal data diproses lagi dengan transformasi Hilbert yaitu untuk membesarkan amplitudo dari data sinyal yang telah melewati proses pemfilteran. Skema proses analisis *envelope* ditunjukkan pada Gambar 2.13.



**Gambar 2. 13** Skema *Envelope*

(Sumber : Zin, dkk, 2008)

### 2.6.5 Analisis *Cepstrum*

*Cepstrum* merupakan transformasi *fourier* dari logaritma *spectrum* dari sebuah sinyal *spectrum*. Awal mula penerapan *cepstrum* adalah untuk mendeteksi gema dari sinyal seismic. Persamaan umum dari (*power*) *cepstrum* adalah sebagai berikut :

$$C_p(\tau) = |\Im\{\log(F_{xx}(f))\}|^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana  $F_{xx}(f)$  adalah *power spectrum* atau *amplitude spectrum* dari perekaman tunggal. Sedangkan untuk persamaan yang kompleks dari *cepstrum* adalah berikut :

$$C_p(\tau) = \mathfrak{S}^{-1}\{\log(F(f))\} = \mathfrak{S}^{-1}\{\ln(A(f)) + j\phi(f)\} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana,

$$F(f) = \mathfrak{S}\{f(t)\} = A(f)e^{j\phi(f)}. \dots\dots\dots(2.8)$$

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

<i>Rahmonic</i>	dari	<i>harmonic</i>
<i>Lifter</i>	dari	<i>filter</i>
<i>Gamnitude</i>	dari	<i>magnitude</i>
<i>Saphe</i>	dari	<i>phase</i>
<i>Darius</i>	dari	<i>radius</i>
<i>Dedomulation</i>	dari	<i>demodulation</i>

*Cepstrum*, *quefreny*, *rahmonic* memiliki fungsi untuk mengklarifikasi bahwa sistem kerja atau operasi tersebut milik analisa *cepstrum*. Terminology tersebut juga menunjukkan ciri khas dari *cepstrum* yaitu konversi log dari *spectrum* (Randal, 2013)

## 2.7 Accelerometer

*Accelerometer* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur getaran dan percepatan yang terjadi. *Accelerometer* dapat mengukur percepatan dinamis maupun percepatan statis. Pengukuran terhadap percepatan dinamis dilakukan pada objek yang bergerak sedangkan pengukuran terhadap percepatan statis dilakukan pada gravitasi bumi.

Prinsip kerja dari tranduser ini sesuai dengan hukum fisika bahwa jika 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 pada permukaan bumi dapat

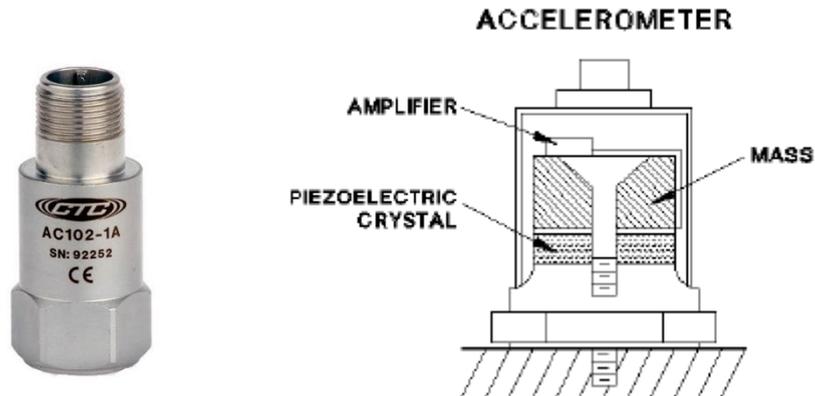
mendeteksi percepatan 1g (ukuran gravitasi bumi) pada titik vertikal, untuk percepatan yang disebabkan oleh pergerakan horizontal maka *accelerometer* akan mengukur percepatannya secara langsung ketika bergerak secara horizontal. Sensor *accelerometer* memiliki berbagai jenis dan tipe yang sesuai dengan 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 :

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

Kekurangan :

- Sensitif terhadap teknik pemasangan dan kondisi permukaan.
- Tidak mampu mengukur getran atau posisi poros.
- Sumber daya eksternal yang dibutuhkan.
- Respon sinyal dinamis rendah dibawah 600 cpm (10 Hz).
- Kabel *transducer* yang peka terhadap kebisingan, gerak, dan gangguan listrik (terutama pada *accels charge-mode*).
- Pembatasan temperature 250 F untuk icp transduser.
- Jangkauan frekuensi yang diperluas seringkali membutuhkan penyaringan sinyal.
- Integrasi ganda seringkali mengalami gangguan frekuensi rendah.

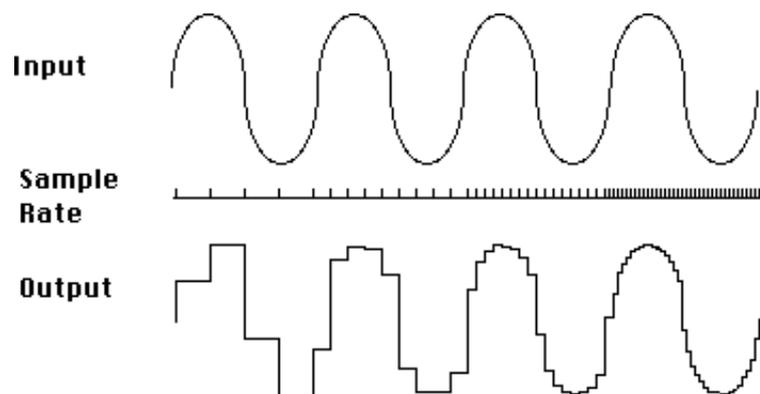


**Gambar 2. 14 Accelerometer**

(sumber: <https://www.researchgate.net>)

## 2.8 Sampling Rate

*Sampling rate* adalah jumlah titik (sample) yang diukur dalam satuan hertz (Hz) yang diambil dalam satuan waktu (detik) dari sinyal yang diterima secara berkelanjutan 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 rate* masing-masing.



**Gambar 2. 15 Sampling rate**

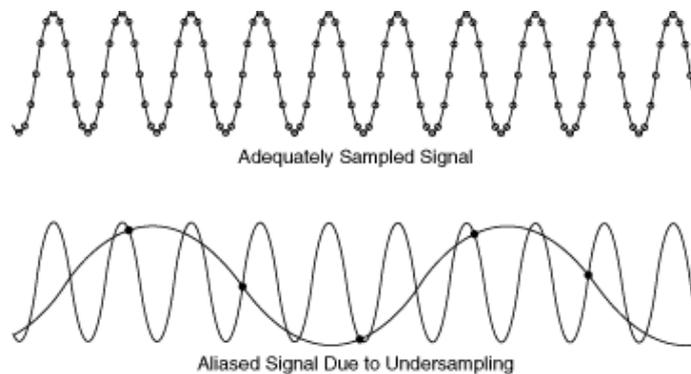
(sumber: <https://electronics.stackexchange.com>)

Gambar 2.15 adalah contoh dari *sampling rate*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak titik *sampling* yang digunakan maka hasil

*output* akan menyerupai dari gelombang aslinya. Akan tetapi semakin sedikit titik *sampling* yang digunakan maka hasil *output* jauh dari bentuk gelombang aslinya.

## 2.9 Aliasing

*Aliasing* adalah sebuah fenomena terbentuknya gelombang frekuensi rendah yang disebabkan oleh *under sampling*. Secara teoritis, apabila nilai vibrasi tidak ada maka frekuensi lebih dari setengah tingkat *sampling*. Gambar 2.16 adalah contoh dari fenomena *aliasing* :



**Gambar 2. 16** Fenomena *Aliasing*

(sumber: <http://zone.ni.com>)

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