

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam mendiagnosis kerusakan pada *impeller* banyak metode deteksi yang telah dikembangkan. Salah satu metode yang telah digunakan dan dikembangkan dalam mendeteksi kerusakan/cacat pada komponen pompa sentrifugal adalah dengan deteksi getaran. Dengan menganalisa karakteristik getaran yang dihasilkan permesinan, metode ini sudah tidak diragukan lagi merupakan metode yang tepat untuk digunakan dalam menganalisa dan mendiagnosis kerusakan seperti halnya cacat *impeller* pada pompa sentrifugal. Menurut Girdhar (2004) disebutkan bahwa salah satu teknik yang tidak diragukan lagi dalam mendeteksi cacat mekanik pada pemmesinan rotasional adalah dengan *vibration monitoring*. Dalam menganalisa data getaran, disebutkan bahwa ada beberapa metode yang umum digunakan diantaranya adalah dengan mempresentasikannya menjadi domain frekuensi dan domain waktu.

Sakthivel (2010), meneliti tentang *Vibration based fault diagnosis of monoblock centrifugal pump using decision tree*. Dalam penelitian ini menggunakan 2 *impeller* yang berdiameter 125 mm terbuat dari besi tuang. *Impeller* yang digunakan yaitu *impeller* baru dan dianggap bebas dari cacat. Sedangkan *impeller* yang satunya menggunakan *impeller* cacat yang dibuat dengan membuang sebagian kecil logam melalui proses pemmesinan. Sinyal *time domain* dapat digunakan untuk melakukan diagnosis kesalahan dengan menganalisis sinyal getaran yang diperoleh dari percobaan. Metode statistik telah mampu memberikan karakteristik fisik data *time domain*. Analisis statistik dari sinyal getaran menghasilkan parameter statistik deskriptif yang berbeda. Parameter yang dipilih sebagai dasar penelitian yaitu *standard error*, *standard deviation*, *sample variance*, *kurtosis*, *skewness*, *range*, *minimum value*, *maximum value*, *sum*. Hasil dari penelitian ini bahwa sinyal getaran adalah kandidat yang baik untuk aplikasi praktis diagnosis kesalahan pompa sentrifugal.

Abdulkareem (2014), meneliti efektivitas dari parameter statistik domain waktu yang mendeteksi kerusakan impeller. Awalnya, getaran pompa sentrifugal diukur pada kondisi sehat dan dibandingkan dengan sembilan retakan buatan yang berbeda yang berada pada setiap *blades* impeller. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya ukuran retak impeller, nilai indeks parameter domain waktu meningkat.

Deore (2014), menggunakan *time domain analysis* pada data percepatan motor listrik 2 HP untuk mendapatkan informasi yang membantu membedakan sinyal dari kondisi normal ke kondisi yang rusak. Lima parameter yang digunakan yaitu peak value, RMS value, skewness, crest factor dan kurtosis. Hasil dari percobaan ini adalah bahwa melalui analisis domain waktu, kita dapat dengan mudah membedakan sinyal dari kondisi normal menjadi rusak.

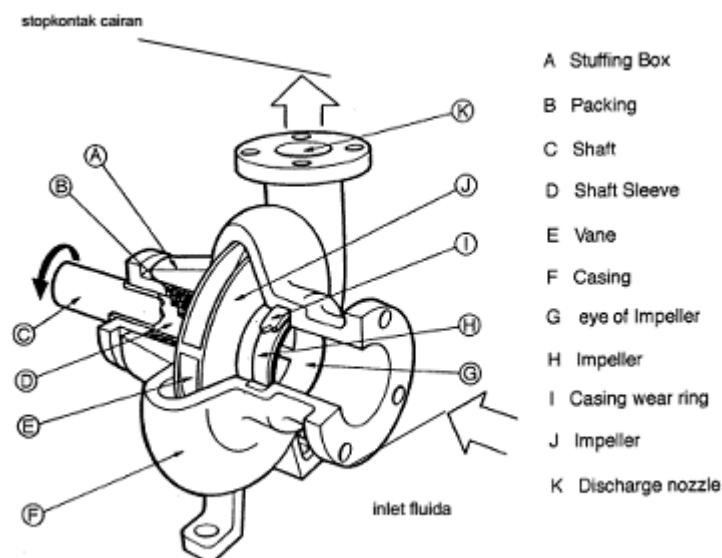
Kamiel (2013) , mendeteksi kesalahan impeller dengan menggunakan *multi sensor data collection* dan *principal component analysis*. Getaran dari *impeller* normal dan rusak dikumpulkan dari *Spectra Quest Machinery Fault Simulator*. *Impeller* dirusak dengan cara memotong dua slot pada *blade* di dua lokasi dibagian tengah *blade*, dan empat akselerometer dipasang dibagian *volute* pompa. Empat fitur statistik yang digunakan yaitu (kurtosis, RMS, skewness, dan varians). Dari hasil penelitian menunjukkan hasil yang konsisten dalam mendeteksi kondisi impeller yang salah yang ditunjukkan oleh nilai yang melebihi batas kontrol.

Berdasarkan uraian dari penelitian terdahulu maka dasar penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis getaran berbasis parameter statistik domain waktu sebagai metode yang digunakan untuk mengetahui kerusakan *impeller* yang terjadi pada simulasi kerusakan pompa sentrifugal.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah bentuk yang paling umum dari pompa kinetik. Pompa sentrifugal menggunakan prinsip dinamis mempercepat cairan, melalui kegiatan sentrifugal, dan mengubah energi kinetik menjadi tekanan melalui suatu *impeller* yang berputar dalam *casing*. Pompa volute seperti pada Gambar 2.1 adalah jenis pompa sentrifugal yang paling umum yang secara luas diterapkan dalam industri.

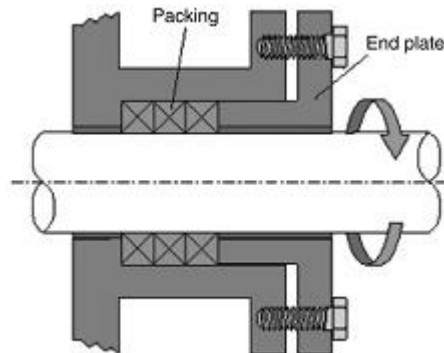


Gambar 2.1 Komponen pompa sentrifugal  
([http://www.pumpfundamentals.com/pump\\_glossary.htm](http://www.pumpfundamentals.com/pump_glossary.htm).)

Sebuah pompa sentrifugal terdiri dari beberapa komponen seperti elemen berputar yang terdiri dari poros dan impeller dan elemen lainnya seperti *casing*, *casing box*, dan rumah *bearing*.

### A. *Stuffing Box (Mechanical Seal)*

*Stuffing Box* berfungsi menyegel poros yang dilewati *casing* pompa untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus *casing*. Adapun bentuk dari *stuffing box* dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 *Stuffing Box (Mechanical Seal)* (Girdhar *et al.* 2005)

### B. *Packing*

Seperti pada Gambar 2.3 *packing* digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros. Biasanya terbuat dari abses atau Teflon.



Gambar 2.3 *Packing* (Girdhar *et al.* 2005)

C. *Shaft* (poros)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 poros berfungsi untuk meneruskan momen punter dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan impeller dan bagian-bagian berputar lainnya.



Gambar 2.4 *Shaft* (poros)  
(<http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-pompa-centrifugal/>)

D. *Shaft-sleeve*

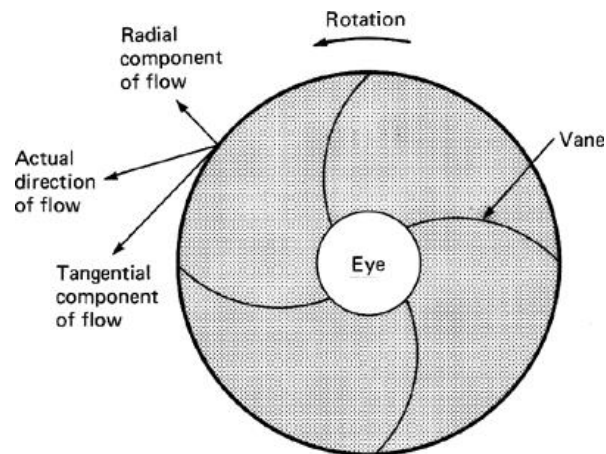
*Shaft sleeve* berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada *stuffing box*. Pada pompa *multi stage* dapat sebagai *leakage joint*, internal *bearing* dan *interstage* atau *distance sleeve*. Adapun bentuk dari *shaft-sleeve* dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 *Shaft-sleeve*  
(<http://interpratama.co.id/product/>)

E. *Vane*

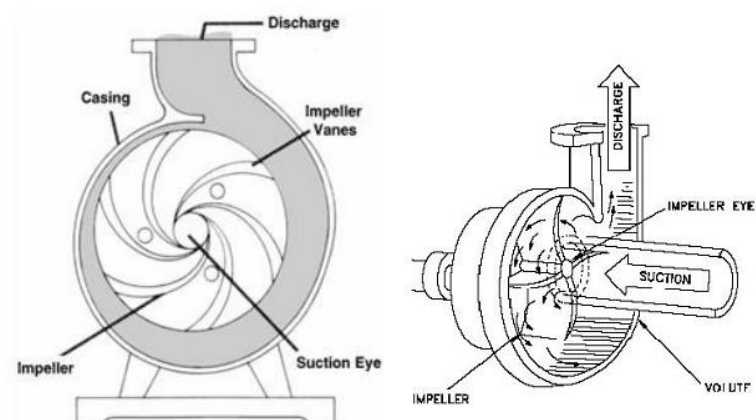
*Vane impeller* berfungsi sebagai tempat berlalunya cairan pada *impeller* seperti yang terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 *Vane*  
(<https://www.globalspec.com/>)

#### F. *Casing*

*Casing* merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan diffuser (*guide vane*), inlet dan outlet nozel serta tempat memberikan arah aliran dari *impeller* dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (*single stage*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.6 *Casing*  
(<https://www.klikteknik.com/>)

### G. *Eye of Impeller*

Bagian sisi masuk pada arah isap *impeller*. Adapun bentuk dari *eye of impeller* dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 *Eye of Impeller*  
(<http://www.castingquality.com/>)

### H. *Impeller*

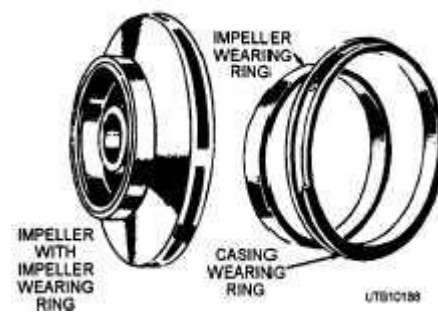
*Impeller* berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontiniu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya. Adapun bentuk dari *impeller* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Impeller*  
(<http://www.malvinexports.com/>)

### I. *Wearing Ring*

*Wearing ring* berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan *impeller* maupun bagian belakang *impeller*, dengan cara memperkecil celah antara *casing* dengan *impeller*. Adapun bentuk dari *wearing ring* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Wearing ring*  
(<http://www.tpub.com/>)

### J. *Bearing*

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.11 *bearing* (bantalan) berfungsi untuk menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun beban axial. *Bearing* juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek menjadi kecil.

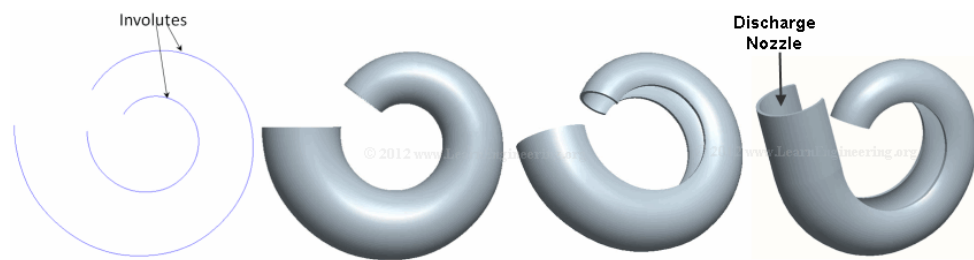


Gambar 2.11 *Bearing*  
(<https://www.pumpsandsystems.com/>)



### K. *Discharge Nozzle*

*Discharge nozzle* adalah saluran cairan keluar dari pompa dan berfungsi juga untuk meningkatkan energi tekanan keluar.



Gambar 2.12 *Discharge nozzle*  
(<https://www.learnengineering.org/2013/03/centrifugal-pump.html>)

### 2.2.2 Cara Kerja Pompa Sentrifugal

Sebuah pompa sentrifugal merupakan salah satu peralatan yang paling sederhana dalam berbagai proses pabrik. Tujuannya adalah untuk mengubah energi dari penggerak utama (motor listrik atau turbin) dalam kecepatan atau energi kinetik dan kemudian menjadi energi tekanan fluida yang sedang dipompa. Perubahan energi terjadi berdasarkan dua bagian utama dari pompa, *impeller* dan *volute* atau *diffuser*. *Impeller* adalah bagian berputar yang mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik. *Volute* atau *diffuser* adalah bagian stasioner yang mengubah energi kinetik menjadi energi tekanan.

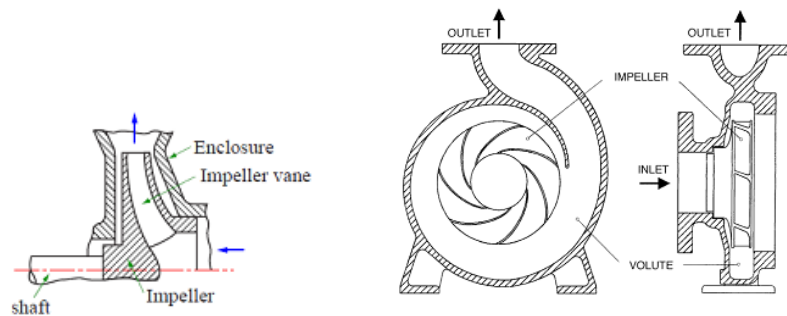
### 2.2.3 Klasifikasi pompa sentrifugal

Pompa sentrifugal bisa dikategorikan dengan berbagai cara. Salah satu kategorinya adalah sebagai berikut:

a. Menurut jenis aliran dalam *impeller*

1. Pompa sentrifugal aliran radial

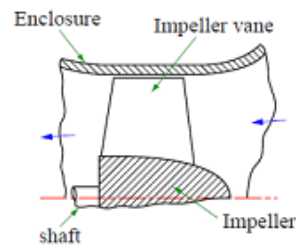
Pompa sentrifugal aliran radial adalah jenis pompa sentrifugal yang paling sering digunakan di banyak area aplikasi. Jenis pompa ini memiliki konstruksi sedemikian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 sehingga aliran zat cair yang keluar dari *impeller* akan tegak lurus poros pompa (arah radial). Pompa aliran radial memiliki gaya sentrifugal yang lebih tinggi karena defleksi di *impeller*. Hal ini membuat pompa aliran radial memiliki head tekanan yang lebih tinggi.



Gambar 2.13 pompa sentrifugal aliran radial (Kamiel, 2015)

2. Pompa sentrifugal aliran aksial

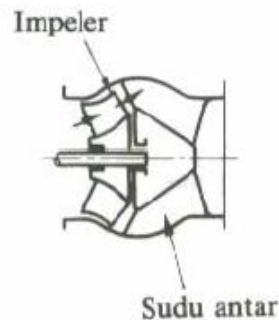
Pompa aksial seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14 merupakan salah satu jenis pompa yang masuk ke dalam kelompok pompa dinamik. Pompa jenis ini berfungsi untuk mendorong fluida kerja dengan arah yang sejajar terhadap sumbu atau poros *impellernya*. Pompa aksial digunakan pada sistem-sistem yang membutuhkan debit aliran fluida tinggi, dengan besar head yang rendah. Pompa jenis ini banyak digunakan pada sistem irigasi, pompa penanggulangan banjir, dan di pembangkit listrik tenaga uap digunakan untuk mensupply air laut sebagai media pendingin kondensor.



Gambar 2.14 pompa sentrifugal aliran aksial (Kamiel, 2015)

### 3. Pompa sentrifugal aliran campuran

Pompa aliran campuran memiliki desain yang unik yang ada diantara pompa aliran radial dan aliran aksial yang memberikan karakteristik operasi kombinasi keduanya. Pada pompa ini fluida yang masuk sejajar dengan sumbu poros dan keluar sudu dengan arah miring. Pompa ini mempunyai head yang lebih rendah namun mempunyai kapasitas yang lebih besar.



Gambar 2.15 pompa sentrifugal aliran campuran (Sularso, 2000)

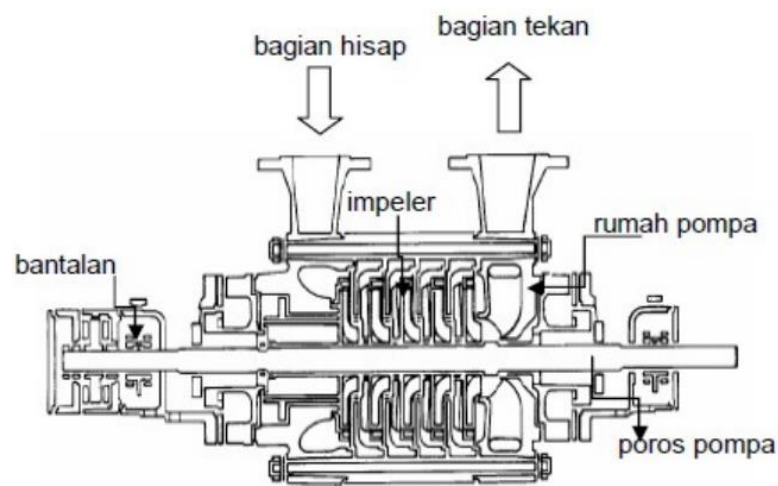
#### b. Menurut jumlah tingkat

##### 1. Pompa satu tingkat

Pompa ini hanya mempunyai satu *impeller* seperti yang diperlihatkan Gambar 2.13, Gambar 2.14, dan Gambar 2.15. Head total yang ditimbulkan berasal dari satu *impeller*, relatif rendah.

## 2. Pompa bertingkat banyak

Pompa ini menggunakan beberapa *impeller* yang dipasang secara berdekatan (seri) pada satu poros. Zat cair yang keluar dari *impeller* pertama dimasukkan ke *impeller* berikutnya dan seterusnya hingga *impeller* yang terakhir (Gambar 2.16). Head total pompa ini merupakan jumlahan dari head yang ditimbulkan oleh masing-masing *impeller* sehingga relatif tinggi.



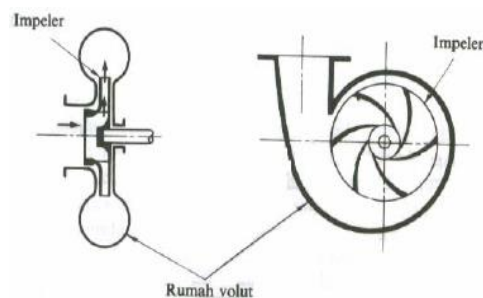
Gambar 2.16 Pompa bertingkat banyak (Sularso, 2000)

### c. Klasifikasi menurut bentuk rumah

Pompa sentrifugal memiliki beberapa jenis bentuk rumah diantaranya adalah pompa volut, pompa difuser, dan pompa aliran campur jenis volut. Masing-masing jenis pompa ini akan dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Pompa Volut

Sebuah pompa sentrifugal dimana zat cair dari *impeller* secara langsung dibawak kerumah volut. Pompa volute ditunjukkan pada Gambar 2.17 dibawah ini.

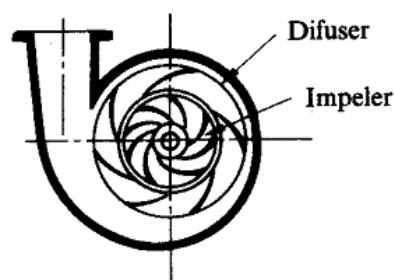


Gambar 2.17 Pompa volut (Sularso, 2000)

## 2. Pompa Difuser

Sebuah pompa sentrifugal yang dilengkapi dengan sudu difuser dikelilingi luar impellernya. Kontruksi bagian-bagian lain pompa ini adalah sama dengan pompa volut.

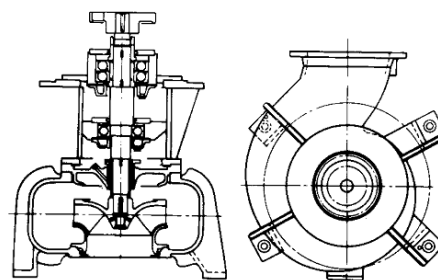
Karena sudu-sudu difuser, disamping memperbaiki efisiensi pompa, juga menambah kokoh rumah, maka kontruksi ini sering dipakai pada pompa besar dengan *head* tinggi. Pompa difuser dapat dilihat seperti Gambar 2.18 dibawah ini.



Gambar 2.18 Pompa diffuser  
(Sularso, 2000)

## 3. Pompa Aliran Campur Jenis Volut

Pompa ini memiliki jenis aliran campur dan sebuah rumah volut. Pada pompa jenis ini tidak dipergunakan sudu-sudu diffuser melainkan dipakai saluran yang lebar untuk mengalirkan zat cair. Adapun *impeller* yang dipergunakan adalah jenis setengah terbuka, yaitu tidak mempunyai tutup depan. Pompa aliran campur jenis volut dapat dilihat pada Gambar 2.19.

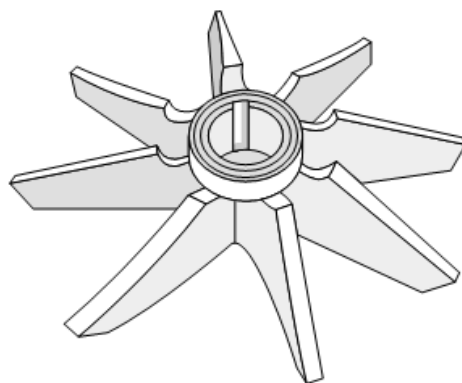


Gambar 2.19 Pompa aliran campur jenis volut  
(Sularso, 2000)

### 2.2.4 *Impeller*

*Impeller* adalah bagian yang berputar dalam pompa sentrifugal yang mengubah energi listrik dari motor menjadi energi kinetik dalam cairan. *Impeller* biasanya terbuat dari baja, alumunium, plastik, kuningan, atau perunggu. Bentuk, ukuran, dan kecepatan *impeller* adalah faktor-faktor yang berpengaruh yang menentukan kinerja pompa. Sebagai konsekuensi, setiap jenis kesalahan *impeller* dapat menyebabkan kinerja yang buruk dan penurunan efisiensi pompa. Pada umumnya, *impeller* dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu, *impeller* terbuka, *impeller* semi terbuka, dan *impeller* tertutup.

*Impeller* terbuka, seperti yang terlihat pada gambar 2.20, *impeller* hanya terdiri dari *blades* yang melekat langsung ke poros. *Blades* biasanya pendek dan lebih lemah secara struktural daripada *impeller* semi terbuka atau tertutup. Jenis *impeller* ini memiliki efisiensi rendah dan umumnya hanya digunakan pada pompa energi kecil dan rendah. Keuntungan dari *impeller* ini adalah bahwa hal itu cocok untuk aplikasi dimana ketahanan menyumbat diperlukan atau kemungkinan mendapat sumbatan kecil.



Gambar 2.20 *Impeller* terbuka (Chesterton, 2000)

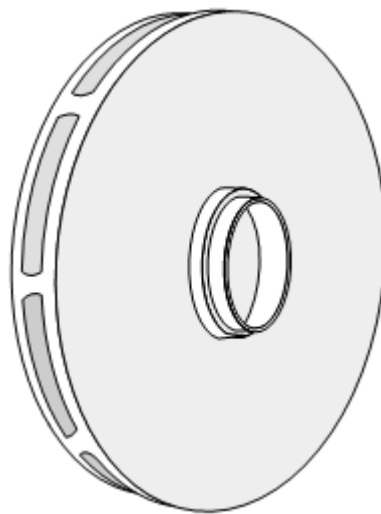
Gambar 2.21 menunjukkan *impeller* semi terbuka yang memiliki piring(penutup) melekat pada salah satu sisi pisau. Penutup yang digunakan untuk memperkeras dan menambah kekuatan structural. *Impeller* semi terbuka biasanya digunakan dalam pompa berdiameter sedang dan dengan cairan yang mengandung

jumlah kecil padatan tersuspensi. *Impeller* jenis ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada *impeller* terbuka.



Gambar 2.21 *impeller* semi terbuka (Chesterton, 2000)

*Impeller* tertutup, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22, memiliki piring melingkar yang melekat pada kedua sisi pisau. *Impeller* tertutup ini digunakan dalam pompa besar dan dapat dioperasikan dengan cairan yang mengandung padatan tersuspensi untuk operasi tanpa tersumbat. Jenis *impeller* ini banyak digunakan pada pompa sentrifugal untuk memompa fluida jernih dan yang paling efisien.



Gambar 2.22 *impeller* tertutup (Chesterton, 2000)

### 2.2.5 Kerusakan Impeller

*Impeller* adalah salah satu elemen berputar paling penting dalam pompa sentrifugal yang mengubah energi listrik dari motor menjadi energi kinetik dari impeller untuk mempercepat keluar cairan dari pusat rotasi. *Impeller* biasanya dibuat dari besi, baja, alumunium, kuningan, atau perunggu.

Selama beroperasi, *impeller* dapat menjadi cacat yang merubah kondisi operasi pompa menjadi terganggu seperti mengurangi kinerja hidrolis, mengurangi tekanan pemompaan, dan mengurangi laju aliran. Penyebab utama keausan *impeller* adalah kavitasi. Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan jenuhnya. Misalnya, air pada tekanan 1 atm akan mendidih dan menjadi uap jenuh pada temperature 100°C. Tetapi jika tekanan direndahkan maka air akan mendidih pada temperature yang lebih rendah. Jika tekanan yang ada cukup rendah, maka pada temeperatur kamar pun air dapat mendidih. Apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir di dalam pompa maupun dalam pipa. Pada pompa, bagian yang mudah mengalami kavitasi adalah pada sisi isapnya. Jika pompa mengalami kavitasi maka akan timbul suara berisik dan getaran (Sularso, 2000). Gambar 2.23 menunjukkan contoh dari *impeller* cacat yang disebabkan oleh kavitasi. *Impeller* yang cacat juga dapat menyebabkan ketidakseimbangan (*unbalance*) sehingga menghasilkan getaran yang tinggi.



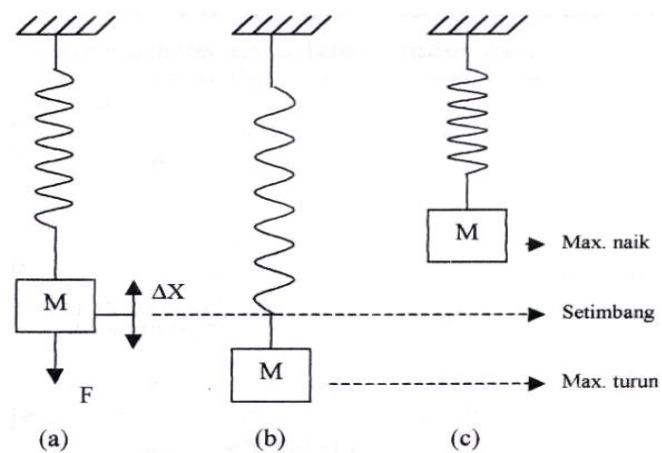


Gambar 2.23 *Impeller* cacat yang disebabkan kavitasi (Kamiel, 2015)

Sumber getaran di pompa juga dapat berasal dari komponen yang lain, dari getaran mekanik dan gerak hidrodinamik. Gesekan pada *bearing* adalah yang paling sering menyebabkan getaran mekanis sedangkan gangguan pada aliran fluida merupakan penyebab umum terjadinya getaran hidrodinamik.

### 2.2.6 Teori Getaran

Getaran adalah osilasi periodik dari suatu sistem mekanis. Contoh sederhana fenomena getaran dapat dilihat pada sebuah pegas yang salah satu ujungnya dijepit dan ujung lainnya diberi massa  $M$  seperti gambar 2.24 berikut.

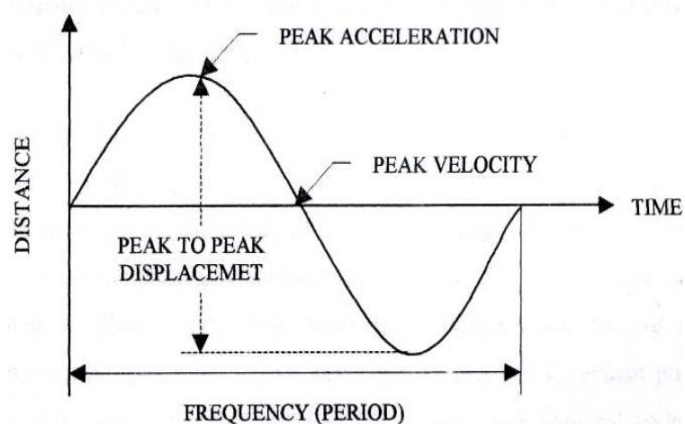


Gambar 2.24 Getaran pada sistem pegas-massa sederhana (Aji, 2007)

Mula-mula sistem dalam keadaan setimbang (gambar 2.24.a). Jika massa diberi gaya  $F$  maka massa akan turun sampai batas tertentu (gambar 2.24.b). Perpindahan maksimum posisi massa tergantung pada besarnya gaya  $F$ , massa dan kekuatan tarik pegas melawan gaya  $F$  tersebut. Jika gaya sebesar  $F$  tidak dikenakan lagi pada massa, maka massa akan ditarik keatas oleh pegas karena tenaga potensial yang tersimpan dalam pegas (gambar 2.24.c). Massa akan kembali ke posisi kesetimbangan, selanjutnya bergerak keatas sampai batas tertentu. Perpindahan maksimum keatas dipengaruhi oleh kekuatan tarik pegas dan massa benda. Proses tersebut akan berulang sampai tidak ada pengaruh gaya luar pada sistem. Pergerakan massa naik turun ini disebut osilasi mekanis. Berkaitan dengan mesin, getaran (*machinery vibration*) didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik dari mesin atau elemen mesin dari posisi setimbang (diam). (Aji, 2007)

### 2.2.7 Karakteristik Getaran

Kondisi mesin dan masalah mekanik dapat diketahui dengan mempelajari karakteristik getarannya. Pada suatu sistem pegas-massa, karakteristik getaran dapat dipelajari dengan memplot pergerakan massa terhadap waktu.



Gambar 2.25 Karakteristik Getaran (Aji, 2007)

Gerak massa dari posisi netralnya ke abates atas kemudian kembali ke posisi netral (kesetimbangan) dan bergerak lagi ke atas bawah kemudian kembali ke posisi kesetimbangan, menunjukkan gerakan satu siklus. Waktu untuk melakukan gerak

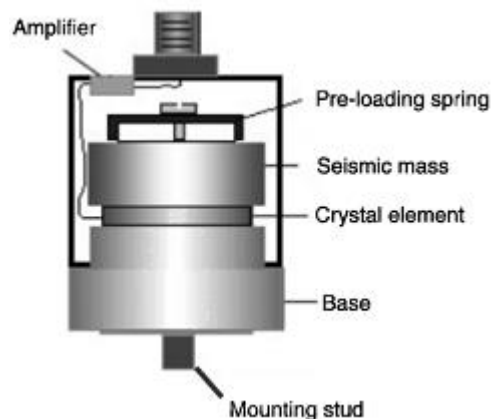
satu siklus ini disebut periode, sedangkan jumlah siklus yang dihasilkan dalam satu interval waktu tertentu disebut frekuensi. Dalam analisis getaran mesin, frekuensi lebih bermanfaat karena berhubungan dengan rpm (putaran) suatu mesin. Karakteristik getaran suatu mesin dapat dilihat pada gambar 2.25. (Aji, 2007)

### 2.2.8 Sensor Getaran

Dalam pengukuran getaran pada permesinan terdapat alat yang digunakan untuk mengambil getaran dan sebagai input dari pengolahan data getaran yaitu *transducer*. *Transducer* merupakan sebuah perangkat yang mengkonversi sebuah jenis energi seperti getaran kedalam jenis energi yang berbeda yang biasanya kedalam bentuk arus listrik atau voltase. *Transducer* memiliki banyak jenis sesuai dengan kebutuhan yang digunakan, salah satunya yaitu jenis *accelerometer transducer*. *Accelerometer transducer* merupakan salah satu *transducer* yang paling banyak digunakan. Dari hal tersebut maka pada bab ini akan membahas tentang alat yang digunakan untuk mengukur getaran, serta karakteristik yang dihasilkannya.

#### a. Accelerometer

*Accelerometer* merupakan jenis transducer yang paling banyak digunakan dalam aplikasi permesinan rotasional karena penggunaannya yang mudah, padu, dan ringan dengan jangkauan frekuensi yang lebar (Girdhar, 2004). Seperti yang terlihat pada Gambar 2.26 umumnya bagian dari *accelerometer* mempunyai elemen kristal (*crystal element*).

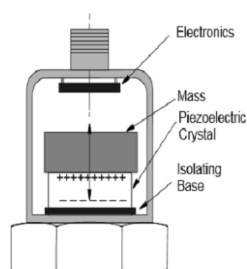


Gambar 2.26 Accelerometer (Girdhar, 2004).

Elemen kristal yang digunakan pada *accelerometer* biasanya menggunakan jenis *piezoelectric* (terbuat dari material ferroelectric seperti zirkonat, titanat, dan barium titanat). Pada saat *accelerometer* digunakan pada getaran, massa akan memberikan gaya yang beragam pada kristal *piezoelectric* yang sebanding dengan percepatan getaran. *Accelerometer* juga memiliki berbagai jenis dan karakter, adapun jenis *accelerometer* sebagai berikut:

1) *Piezoelectric Accelerometer*

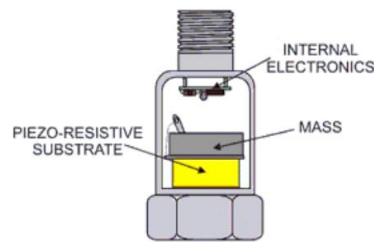
*Piezoelectric accelerometer* adalah sensor yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur tingkat getaran yang terjadi pada pompa sentrifugal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.27. Akselerometer ini terdiri dari kristal dalam kotak dengan massa yang terpasang ke bodi akselerometernya. Kristal *piezoelectric* yang terdapat pada *accelerometer* jenis ini mengeluarkan tegangan yang selanjutnya dikonversi menjadi percepatan. Muatan listrik akan timbul pada permukaan keping kristal *piezoelectric* karena adanya tekanan yang bekerja pada permukaannya.



Gambar 2.27 *piezoelectric accelerometer* (Vogler, 2015)

2) *Single ended compression accelerometer*

Seperti pada Gambar 2.28 *single ended compression accelerometer* merupakan jenis *accelerometer* dimana kristal diletakan pada base *accelerometer* dan massa diletakan diatas kristal dengan mur atau faster.

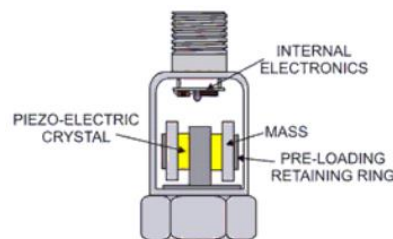


Gambar 2.28 *Single ended compression accelerometer* (Aji, 2007)

*Single ended compression accelerometer* akan sangat rentan terhadap base strain dan untuk menghindari masalah ini kristal diisolasi dari base dengan meletakkan sebuah isolation washer atau dengan mengurangi luas mounting dimana kristal diletakkan pada base.

### 3) *Shear type Accelerometer*

*Shear type accelerometer* ini dirancang untuk aplikasi distorsi base karena pengaruh perubahan panas (*thermal*) yang terjadi, atau digunakan pada struktur yang fleksibel. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.29 *shear type accelerometer* yaitu dimana massa seismic diletakkan ke kristal sehingga massa tersebut akan menimbulkan suatu beban geser (*shear load*) yang lebih dominan pada kristal dari pada beban *compressive* (*compressive load*).

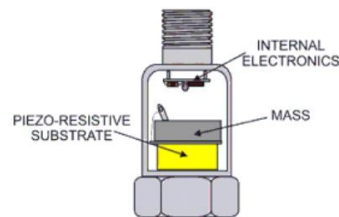


2.29 *Shear type accelerometer* (Aji, 2007)

### 4) *Piezoresistive Accelerometer*

*Piezoresistive accelerometer* yaitu *accelerometer* yang menggunakan substrate *piezoresistive* pada *piezoelectric* kristalnya dan gaya yang ditimbulkan oleh massa seismic mengubah nilai resistansi dari *etched bridge network* kemudian sebuah *wheatstone bridge network* mendeteksi perubahan ini. *Piezoresistive*

*accelerometer* memiliki kelebihan dibandingkan dengan *piezoelectric accelerometer* yaitu mampu mengukur akselerasi didaerah sekitar 0 Hz, karena ketika sensor tidak dapat mengukur sampai dengan 0 Hz maka kemungkinan besar akan muncul *noise* pada sinyalnya. Berikut ini jenis dari *piezoresistive accelerometer* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.30.



Gambar 2.30 *piezoresistive Accelerometer* (Aji, 2007)

#### b. Metode Pemasangan (*mounting*) *Accelerometer*

Terdapat 4 metode yang dapat digunakan dalam pemasangan sensor yaitu dengan menggunakan landasan (stud), perekat, penambahan magnet terpasang dan tidak terpasang (Girdhar, 2004). Berikut merupakan penjelasan masing-masing metode tersebut:

- 1) Metode stud merupakan metode terbaik yang digunakan untuk pemasangan permanen. Metode ini digunakan dengan cara mengaitkan/menempelkan sensor pada stud atau pada blok mesin. Pada metode ini memungkinkan *transducer* untuk mengukur getaran dengan cara yang paling idieal dan dapat digunakan pada posisi mana saja yang memungkinkan.
- 2) Metode pemasangan perekat memberikan pemasangan yang aman dan cepat. Karena pemasangan perekat akan menjadi lunak pada saat temperatur tinggi, batas temperatur yang dapat digunakan pada metode ini sekitar 40 °C. Kelemahan menggunakan metode ini yaitu menyebabkan respon frekuensi operasi atau akurasi dari pengukuran menjadi berkurang.
- 3) Metode pemasangan dengan magnet biasanya digunakan untuk pengukuran berjangka dengan alat pengolahan data portable. Metode ini hanya digunakan untuk survei karena rentang frekuensi terbatas sekitar 2,5 kHz. Metode ini

tidak disarankan untuk pengukuran data permanen karena mungkin secara tidak sengaja *transducer* berpindah sehingga menyebabkan akurasi dari pengukuran tidak akurat

4) Metode pemasangan portable dengan magnet pada *transducer*.

Dalam pemasangan *accelerometer* hal yang perlu diperhatikan yaitu permukaan objek pemasangan harus bersih dan bebas dari pelapisan. Permukaan pemasangan harus pada kontak langsung pada permukaan mesin serta permukaan kontak harus lebih besar dibanding dengan *transducer*.

#### c. Sensitivitas

Sensitivitas yaitu seberapa jauh kepekaan sensor accelerometer terhadap kuantitas yang diukur. Sensor *accelerometer* yang digunakan untuk memantau getaran biasanya didesain dengan sensitivitas 100 mV/g. Tipe lain dari *accelerometer* dengan sensitivitas yang lebih besar digunakan untuk aplikasi khusus seperti analisis struktur dan geofisika. *Accelerometer* untuk penggunaan sensitivitas yang sangat tinggi maupun untuk pemesinan yang dengan kecepatan rendah juga tersedia (Girdhar, 2004).

#### d. Rentang Frekuensi (*frequency range*)

*Accelerometer* dirancang untuk mengukur getaran pada rentang frekuensi tertentu. Setelah rentang frekuensi yang ada pada permesinan telah diketahui, maka dapat dipilih *accelerometer* yang sesuai dengan rentang frekuensi tersebut. Pada umumnya, *accelerometer* yang digunakan untuk mengukur getaran permesinan memiliki rentang frekuensi dari 1 atau 2 Hz sampai dengan 8 atau 10 kHz. Akan tetapi *accelerometer* dengan rentang frekuensi yang lebih tinggi juga tersedia (Girdhar, 2004).

### 2.2.9 Teknik Akuisisi Data

Dalam melakukan pengambilan data, didalamnya terdapat berbagai macam metode pendukung yang mana saling berkaitan satu dengan yang lainnya. Dari hal

tersebut maka pada sub bab ini menjelaskan tentang bagaimana langkah yang dapat digunakan dalam melakukan pengambilan data getaran.

a. Data Akuisisi

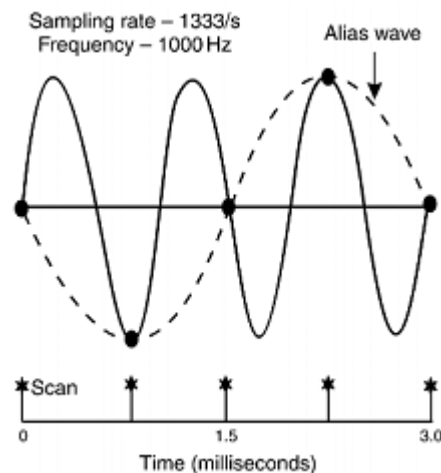
Ketika menggunakan perangkat sensor getaran, dibutuhkan sebuah perangkat yang dibutuhkan untuk menangani kinerja dari sensor tersebut. Perangkat ini disebut dengan akuisisi data (*data acquisition/DAQ*). Data akuisisi ini digunakan untuk data getaran akuisisi. Modul data akuisisi ini telah dilengkapi dengan *accelerometer*, pengondisian sinyal dan anti aliasing filter. Modul data akuisisi ini juga dilengkapi dengan chassis yang terhubung ke Laptop melalui kabel USB. MATLAB R2015a dengan Akuisisi Data Toolbox digunakan untuk mengontrol proses akuisisi data. Selain sensor getaran, akuisisi data juga dapat digunakan untuk jenis sensor-sensor lainnya.

b. Sampling Rate

Sampling merupakan proses dari perekaman amplitudo getaran yang didapat secara instan yang menghasilkan kurva dari poin atau titik perekaman. Data perekaman digunakan untuk merekonstruksi ulang gelombang yang awalnya dari bentuk analog menjadi data digital agar dapat diolah melalui perangkat pemograman. Bentuk dari rekonstruksi data digital ini mempunyai bentuk yang sama dari generasi gelombang yang sesungguhnya. Dalam mendapatkan hasil rekonstruksi gelombang yang sesungguhnya maka perlu untuk mengetahui seberapa cepat perekaman data dilakukan. Sampling dalam pengambilan data pertama kali diperkenalkan oleh Nyquist pada tahun 1928 pada penelitiannya (Girdhar, 2004).

Pada Gambar 2.31 menunjukkan contoh dari rekonstruksi dari data getaran dimana kecepatan sampel kurang dari dua kali frekuensi gelombang.





Gambar 2.31 Contoh gelombang dari rendahnya kecepatan sampel (Scheffer and Girdhar, 2004)

Gelombang ini memiliki frekuensi yang lebih rendah dan tidak mempresentasikan gelombang yang sesungguhnya. Fenomena yang dihasilkan oleh rendahnya kecepatan sampling ini disebut dengan distorsi benda (*aliasing*).

### c. Aliasing

Aliasing adalah suatu kondisi dimana komponen-komponen frekuensi tinggi dapat meniru frekuensi rendah. Ini juga mengacu pada efek yang menyebabkan sinyal berbeda menjadi tidak dapat dibedakan satu sama lain saat dijadikan sampel. Efek aliasing terjadi ketika sampling rate terlalu rendah. Efek aliasing dapat dihilangkan dengan menggunakan sampling frekuensi minimal dua kali frekuensi komponen maksimum dari fungsi yang dijadikan sampel (Kamiel, 2015).

## 2.2.10 Metode Perawatan

Perawatan merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga alat dan mengadakan perbaikan atau penggantian yang diperlukan. Secara umum, teknik pemeliharaan dapat dibagi menjadi 3 kategori yaitu:

### a. *Breakdown Maintenance*

*Breakdown Maintenance* merupakan perbaikan yang dilakukan tanpa adanya rencana terlebih dahulu. Dimana suatu mesin mengalami kegagalan dan

memerlukan perbaikan atau penggantian komponen rusak sebelum mesin tersebut benar-benar berhenti beroperasi akibat kegagalan suatu komponen yang mengakibatkan satu sistem secara penuh (Girdhar, 2004). Dengan teknik ini perawatan tak terjadwal akan sering terjadi yang dapat menyebabkan biaya pemeliharaan yang tinggi.

b. *Preventive Maintenance*

Pemeliharaan ini biasa disebut *calendar based* (terencana), pemeliharaan yang bersifat rutin dan menggunakan teori yang menyebutkan bahwa umur mesin terbatas dan kegagalan akan meningkat seiring meningkatnya umur mesin. Pemeliharaan ini dilakukan untuk mencegah kerusakan komponen dan meminimalisir terjadinya *breakdown maintenance* akibat komponen yang tidak terawat secara baik dan berkala (Girdhar, 2004). *Preventive Maintenance* bertujuan untuk mengurangi frekuensi downtime mesin. Teknik ini mengurangi biaya kegagalan dan kerugian produksi.

c. *Predictive Maintenance*

Metode ini biasa disebut *condition based maintenance* (CBM) adalah pemeliharaan yang disesuaikan dengan kondisi, pada metode ini membutuhkan teknologi dan keahlian orang untuk menggabungkan semua data diagnostic dengan *performance* yang ada, *maintenance histories*, data operasi dan desain untuk membuat suatu keputusan kapan dilakukan tindakan perawatan pada suatu mesin (Girdhar, 2004). Metode ini dianggap metode yang lebih efisien dari dua teknik sebelumnya.

### **2.2.11 Teknik *Predictive Maintenance***

Saat ini metode perawatan yang paling populer adalah *predictive maintenance*. Keuntungan *predictive maintenance* bisa diterima di industri untuk saat ini, karena manfaat yang nyata dalam hal peringatan dini tentang masalah mekanik dan struktur disuatu industri. Metode ini sekarang dipandang sebagai deteksi dan diagnosis alat/mesin yang memiliki dampak tertentu dalam mengurangi

biaya pemeliharaan, operasional maupun *downtime*. Karena metode ini memiliki keuntungan tersendiri dan dapat memberikan kontribusi yang tinggi disebuah industri. Ada banyak teknik yang dapat dilakukan dengan metode *predictive maintenance*, antara lain adalah sebagai berikut:

- a. *Vibration monitoring*  
Teknik yang paling efektif untuk mendeteksi cacat/kerusakan mekanik pada suatu mesin yang berputar adalah dengan menggunakan *vibration monitoring* (Girdhar, 2004).
- b. *Acoustic emission*  
*Acoustic emission* dapat digunakan untuk mendeteksi, mencari, dan memantau secara kontinu adanya keretakan suatu struktur.
- c. *Oil analysis*  
Minyak pelumas dianalisis dan terjadinya partikel mikroskopik tertentu di dalamnya dapat dihubungkan dengan kondisi bantalan dan roda gigi.
- d. *Corrosion Monitoring*  
Pemantauan dengan menggunakan sinyal ultrasonic pada struktur jaringan perpipaan, struktur lepas pantai untuk melacak terjadinya keausan korosif
- e. *Particle analysis*  
Untuk mendeteksi komponen mesin yang aus, baik pada *reciprocating* mesin, *gearboxes* atau indikator hidrolik dapat menyebabkan adanya partikel-partikel yang aus. Analisis partikel ini dapat memberikan informasi penting tentang adanya kerusakan pada suatu komponen.
- f. *Thermography*  
*Thermography* digunakan untuk menganalisis peralatan listrik dan mekanik aktif. Metode ini dapat mendeteksi cacat termal atau mekanis di generator, saluran udara, boiler, dan banyak cacat lainnya. Metode ini juga dapat mendeteksi kerusakan sel pada struktur serat karbon pada pesawat terbang.
- g. *Performance monitoring*  
*Performance monitoring* adalah teknik yang sangat efektif untuk menentukan masalah operasional dalam peralatan. Efisiensi mesin memberikan wawasan dan pengetahuan yang baik pada kondisi internal mereka (Girdhar, 2004).

### 2.2.12 Teknik Analisis Getaran

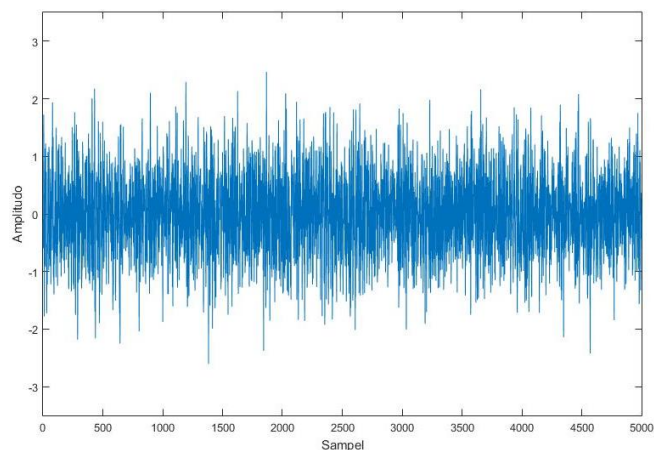
Analisis getaran digunakan untuk mengetahui kondisi operasi dan mekanis peralatan. Keuntungan utama analisis getaran yaitu bahwa analisis getaran dapat mengidentifikasi masalah yang berkembang sebelum menjadi terlalu serius dan menyebabkan downtime yang tidak terjadwal. Hal ini dapat dicapai dengan melakukan pemantauan getaran mesin secara reguler baik secara terus menerus atau pada interval yang dijadwalkan. Pemantauan getaran secara reguler dapat mendeteksi bantalan yang memburuk atau cacat, kelonggaran mekanis dan *impeller* yang aus atau rusak.

Analisis getaran dapat mengidentifikasi praktik pemeliharaan atau perbaikan yang tidak benar. Ini bisa termasuk pemasangan dan penggantian bantalan yang tidak semestinya, penyelarasan poros yang tidak tepat atau penyatuan rotor yang tidak tepat. Karena hampir 80% masalah peralatan rotasi yang umum terkait dengan *misalignment* dan *unbalance*, analisis getaran merupakan sarana penting yang dapat digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan masalah mesin yang berulang.

Pada akhirnya, analisis getaran dapat digunakan sebagai bagian dari keseluruhan program untuk meningkatkan keandalan peralatan secara signifikan. Ini bisa mencakup penyelarasan dan penyeimbangan yang lebih tepat, pemasangan dan perbaikan kualitas yang lebih baik, dan terus menurunkan tingkat getaran rata-rata peralatan di pabrik (Girdhar, 2004).

### 2.2.13 Domain Waktu

Secara umum, data getaran diperoleh dalam domain waktu sebagai rangkaian data yang menunjukkan *displacement*, *velocity*, atau *acceleration*. Berdasarkan pada Gambar 2.31 merupakan plotting data getaran pada domain waktu yang biasanya berupa nilai dari ketinggian gelombang (amplitudo) terhadap waktu atau kadang juga disebut nilai puncak (*peak*) terhadap waktu.



Gambar 2.32 Sinyal domain waktu

Gambar yang ditunjukkan oleh domain waktu tersebut menunjukkan bentuk alamiah dari sinyal getaran yang dihasilkan suatu mesin. Sehingga sinyal impuls yang dihasilkan sangat berguna untuk proses analisis, dan juga fase antara sinyal satu dengan yang lainnya ditunjukkan secara menyeluruh. Jika dilihat pada grafik domain waktu tersebut indikasi dari kerusakan suatu komponen yang dimonitor tidak dapat terlihat, meskipun sinyal yang didapat dari domain waktu tidak dapat secara langsung menunjukkan gejala kerusakan elemen suatu mesin, serta rumitnya analisis data yang saling berhimpitan, namun data tersebut sangat berguna sebagai dasar dari proses yang akan dilakukan nantinya untuk analisis lebih lanjut (Aji, 2007).

Secara umum, sinyal getaran diperoleh dengan menggunakan transduser tertentu, seperti *accelerometer*. Fitur getaran domain waktu dapat diekstraksi dengan menggunakan statistik deskriptif seperti standar deviasi, kurtosis, *Root Mean Square* (RMS), *variance*, dan *crest factor*.

#### a. Standar Deviasi

Standar deviasi menunjukkan berapa banyak dispersi kumpulan data (sampel) dari *mean*-nya. Standar deviasi yang rendah menunjukkan bahwa sampel mendekati mean, sedangkan standar deviasi yang tinggi menunjukkan bahwa sampel yang

tersebar dari mean. Standar deviasi juga dapat dianggap sebagai ukuran isi kekuatan sinyal (Sakthivel, 2010). Standar deviasi didefinisikan sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N-1}\right)} \dots\dots\dots (2.1)$$

**b. Kurtosis**

Kurtosis menunjukkan bentuk data atau sinyal apakah itu datar atau runcing. Sebuah komponen normal ( tidak ada kesalahan ) sering memberikan keruncingan yang sangat rendah, sementara komponen yang rusak memiliki kurtosis yang tinggi yang disebabkan oleh spikiness sinyal (Kamiel, 2015). Kurtosis didefinisikan sebagai berikut:

$$k = \frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^4}{(\sigma^2)^2} - 3 \dots\dots\dots (2.2)$$

**c. Root Mean Square (RMS)**

RMS merupakan indikator tingkat energi atau tingkat daya dari sinyal getaran. Hal ini juga dikenal sebagai mean kuadrat sinyal dan menunjukkan tingkat energy sinyal keseluruhan (Latuny, 2013). RMS didefinisikan sebagai berikut:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N x_j^2}{N}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana  $N$  merupakan jumlah dari titik sinyal data,  $\bar{x}$  adalah rata-rata dari nilai total sinyal dan  $x_j$  merupakan kolom data (Brandt 2010)

**d. Variance**

Dalam bidang statistika, *variance* merupakan nilai kuadrat dari standar deviasi ( $\sigma^2$ ) rumus didefinisikan sebagai berikut :

$$Var(X) = \sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} (x - \bar{x})^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

### e. Crest Factor

*Crest factor* merupakan pengukuran statistika yang cukup banyak digunakan dalam analisis sinyal. Parameter ini didefinisikan sebagai rasio nilai absolut maksimum dari nilai RMS sinyal. Jika sebuah sinyal  $x(n)$ , dengan rata-rata nol maka fungsi *crest factor* dapat didefinisikan sebagai persamaan berikut.

$$C_f = \frac{\max(|x(n)|)}{\sigma} \dots\dots\dots (2.5)$$

#### 2.2.14 Domain Frekuensi

Domain waktu getaran sebagian besar ditransformasikan ke domain frekuensi dan disebut analisa spectral. Hal ini dapat mengungkap informasi tentang sinyal yang mungkin tidak jelas dalam domain waktu. Ia menjelaskan sinyal distribusi kekuasaan atas frekuensi dan memberi kita informasi penting untuk pemantauan kondisi. Randall menunjukan dua manfaat utama menggunakan analisis frekuensi: Pertama, kenaikan fitur domain waktu seperti nilai RMS merupakan indikator adanya gangguan internal namun tidak ada indikasi adanya penyebab gangguan. Kedua, setiap perubahan kecil atau kegagalan baru jadi dapat diidentifikasi dalam analisis spektrum (Randall, 1974).

Dalam *Frequency Domain Analysis*, sinyal getaran yang sudah melewati proses transformasi, dilakukan proses identifikasi dan isolasi untuk memilih komponen-komponen sinyal yang diperlukan untuk melakukan diagnosis kerusakan pada komponen mesin yang dianalisis.

#### 2.2.15 Fast Fourier Transform (FFT)

*Fast Fourier Transform* (FFT) adalah suatu metode yang mentransformasikan sinyal getaran domain waktu menjadi sinyal getaran domain frekuensi yang kompleks. Metode ini mampu menghitung tingkat kemampuan spektrum dan fase sinyal dari rentang frekuensi nol sampai setengah dari frekuensi sampling. Transformasi Fourier (FT) umumnya digunakan untuk menangani sinyal non-periodik yang bervariasi terus menerus dari waktu ke waktu (John & Putman,

2007). Pendekatan yang paling umum untuk mengubah data dari waktu ke domain frekuensi dikenal sebagai *Fast Fourier Transform* (FFT). Ini adalah metode mengambil sinyal waktu bervariasi dan menguraikannya menjadi komponen, masing-masing dengan amplitudo, fase dan frekuensi (Shreve, 1995).