

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Analisis kavitasasi pada pompa sentrifugal menggunakan metode sinyal getaran telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Berikut beberapa hasil penelitian yang pernah dilakukan.

Scheffer & Girdhar (2004) memaparkan tentang bagaimana struktur *predictive maintenance* dilakukan. Disebutkan bahwa salah satu teknik yang tidak diragukan lagi dalam mendeteksi kesalahan mekanik pada pemesinan rotasional adalah dengan memonitoring getaran (*vibration monitoring*). Dalam *vibration monitoring* terdapat beberapa metode analisis yang umum digunakan diantaranya analisis sinyal getaran pada domain frekuensi (*spectrum analysis*) dan domain waktu (*time waveform analysis*).

Mendeteksi kesalahan yang terjadi pada pompa sentrifugal dan metode analisis yang dapat digunakan. Disebutkan bahwa pada pompa sentrifugal, sumber getaran dan suara yang mengganggu dapat disebabkan oleh aspek mekanik maupun hidrolis. Sehingga mudah dalam mendeteksi kerusakan mekanik, namun tidak dengan kerusakan hidrolis (Birajdar *et al*, 2009). Cara menganalisis dibagi menjadi dua langkah, yaitu dengan pengukuran intensitas getaran dan *noise* yang dihasilkan kemudian menganalisis nilai level getaran. Dengan teknik tertentu, sinyal getaran dapat digunakan untuk mendeteksi dan menganalisa permasalahan yang terjadi pada pompa sentrifugal seperti *unbalance*, *misalignment*, turbulensi, kavitasasi dan lainnya.

Karakter statistik getaran pompa sentrifugal saat beroperasi dengan kondisi aliran yang tidak stabil, akan mengubah karakteristik dinamik pada pompa. Perubahan tersebut akan terlihat pada data statistik pada getaran. Luo *et al*. (2015) dengan memvariasikan kecepatan aliran, parameter statistik yang digunakan meliputi *peak value*, *root mean square (RMS)*, *standard deviation*, *crest factor*, *variance*, *kurtosis* dan *probability density function (PDF)*. Dari hasil penelitian, dengan membandingkan karakteristik yang dihasilkan dari setiap parameter

statistik menunjukkan bahwa perubahan grafik mulai terjadi antara kecepatan aliran 50-60 l/m yang mengindikasikan mulai terjadinya kavitasi. Disebutkan nilai *peak value* memiliki sensitifitas yang lebih baik dibanding nilai RMS pada indikator aliran tidak stabil. Hasil perhitungan *crest factor*, menghasilkan grafik pada fluktuasi data serta kurva yang dihasilkan sesuai dengan kondisi tertentu operasi mesin seperti, aliran yang tidak stabil, kavitasi awal dan titik efisiensi maksimum yang dapat dihasilkan pompa. Kemudian, nilai yang dihasilkan PDF dan *kurtosis* juga dapat digunakan sebagai indikator yang efektif dalam mendeteksi kavitasi.

Kamiel (2015) mengkombinasikan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dan *Principal Component Analysis* (PCA), dengan menggunakan 6 parameter statistik yaitu *energy level*, *standard deviation*, *RMS*, *kurtosis*, *variance* dan *crest factor*. DWT dengan *Multi Resolution Analysis* (MRA) digunakan untuk mengekstrak fitur statistik yang digunakan sebagai input ke model PCA. Dengan metode kombinasi DWT-PCA ini menunjukkan hasil bahwa metode tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi *single and multi-fault* pada pompa sentrifugal, dengan tingkat sensitivitas deteksi terendah 0,3% dan akurasi identifikasi tertinggi mencapai 99,2%.

Untuk menentukan dengan efektif parameter statistik domain waktu dan domain frekuensi yang akan digunakan, akan dilakukan dengan cara mengobservasi beberapa kajian penelitian sebelumnya dan menjadi rujukan dalam pemilihan parameter statistik yang akan digunakan. Tabel 2.1 menunjukkan beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan parameter statistik domain waktu dan domain frekuensi untuk mendeteksi kerusakan pada berbagai macam komponen.

Tabel 2. 1 Penggunaan parameter statistik domain waktu dan domain frekuensi

Author (s)	Object	Technique	Extraction Method	Statistical Parameters
Sakhtivel (2010)	Centrifugal Pump	Time domain analysis	PCA, C4.5 decision tree algorithm, and rough set methods	<i>mean, median, standard deviation, standard error, variance, skewness, kurtosis, sum, range, minimum, maximum</i>
Farokhzad (2013)	Centrifugal Pump	Frequency Domain Analysis	Fast Fourier Transform and Adaptive Neuro-Fuzzy	<i>mean, standard deviation, kurtosis, sample variance, skewness, root mean square</i>
Sakhtivel et.al. (2014)	Centrifugal Pump	Time Domain Analysis	PCA, C4.5 decision tree, Bayes Net and Naïve Bayes classifier	<i>standard deviation, standard error, mean, median, variance, skewness, kurtosis, range, minimum, maximum, sum</i>
Kamiel (2015)	Impeller Fault	Time, Frequency and Time-Frequency Domain	DWT & PCA	<i>energy level, standard deviation, root mean square, kurtosis, variance, crest factor</i>
Luo et.al (2015)	Centrifugal Pump	Time Domain Analysis	Statistical Analysis	<i>root mean square, crest factor, peak, probability density function, variance, standard deviation, kurtosis</i>
Al-Tobi & Al-Sabari (2016)	Centrifugal Pump	Time Domain Analysis	Statistical Analysis	<i>Root mean square, peak</i>

Berdasarkan beberapa tinjauan hasil penelitian yang pernah dilakukan, penggunaan parameter statistik dari domain waktu dan domain frekuensi untuk mendeteksi kerusakan pada pompa sentrifugal menggunakan sinyal getaran yang berbasis proses seleksi data PCA membuktikan bahwa metode ini dapat mendeteksi kesalahan secara akurat. Tingkat akurasi tersebut ditentukan berdasarkan parameter statistik dan optimalisasi algoritma lainnya.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah tipe pompa yang memanfaatkan energi kecepatan yang

kemudian diubah menjadi energi tekan sehingga dapat menggerakkan fluida cair dari lokasi sumber menuju lokasi target dengan menggunakan impeler. Jadi pompa sentrifugal pada prinsipnya dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida oleh gerakan sudu – sudu yang ada dalam rumah volute. Energi yang dihasilkan dapat menghasilkan *head* tekanan, *head* kecepatan dan *head* potensial pada fluida cair yang mengalir secara kontinu.



Gambar 2. 1 Pompa Sentrifugal (Anta, 2013)

2.2.2 Klasifikasi Pompa Sentrifugal

Pompa yang tersedia di pasaran tentunya mempunyai banyak klasifikasi yang beragam, oleh sebab itu pengguna harus mengerti dan memahami hal tersebut untuk menentukan penggunaan pompa yang tepat dalam segmen industri yang dijalaninya, agar tidak terjadi *over-specification* atau *under-specification* dan akan mengerucut ke pengeluaran biaya yang lebih efisien.

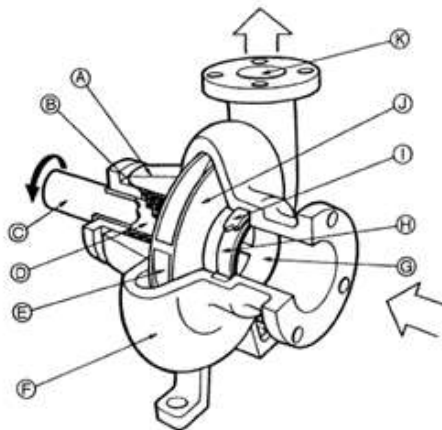
Menurut Olesen & Bech (2004), pompa sentrifugal diklasifikasikan ke dalam beberapa karakteristik berikut :

1. Jumlah/ Tingkatan *Impeller*
2. *Single stage*
3. *Multi Stage*
1. Posisi Poros Pompa
2. *Vertical*
3. *Horizontal*
- a. Konstruksi *Impeller*

1. *Single Suction Impeller*
 2. *Double Suction Impeller*
- b. *Tingkatan Coupling*
1. *Seri*
 2. *Paralel*
- c. *Konstruksi Rumah Pompa*
1. *Volute Casing*
 2. *Return Channel*

2.2.3 Komponen Pompa Sentrifugal

Satu unit pompa sentrifugal terdiri dari beberapa komponen yang dirangkai, dan setiap bagian memiliki fungsi masing-masing (Gambar 2.2).



Gambar 2. 2 Komponen Pompa Sentrifugal

Keterangan

- a. *Stuffing Box*
Stuffing Box berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus casing.
- b. *Packing*
Digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros. Biasanya terbuat dari asbes atau teflon.
- c. *Shaft*
Shaft/poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak

selama beroperasi dan tempat kedudukan impeler dan bagian-bagian berputar lainnya.

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 sleever*.

e. *Vane*

Sudu dari impeler sebagai tempat berlalunya cairan pada impeler.

f. *Casing*

Casing merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan difuser (*guide vane*), *inlet* dan *outlet nozzle* serta tempat memberikan arah aliran dari impeler dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (*single stage*).

g. *Eye of Impeller*

Bagian sisi masuk pada arah isap impeler.

h. *Impeller*

Impeller berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara berkelanjutan, sehingga cairan pada sisi isap secara terus-menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.

i. *Casing Wearing Ring*

Wearing ring berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan impeler maupun bagian belakang impeler, dengan cara memperkecil celah antara casing dengan impeler.

j. *Bearing*

Bearing (bantalan) berfungsi untuk menumpu dan 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.

k. *Discharge Nozzle*

Saluran cairan keluar dari pompa dan berfungsi juga untuk meningkatkan

energi tekanan keluar pompa.

2.3 Kavitas

Kavitas adalah peristiwa ketika tekanan fluida cair turun dan berada dibawah tekanan uap jenuhnya, sehingga menguap menimbulkan gelembung-gelembung udara (*bubble*) yang dapat meledak seketika. Kavitas apabila dibiarkan terlalu lama dapat menyebabkan rusaknya komponen pada pompa.

Ketika pompa beroperasi dan mengalami kavitas umumnya akan menimbulkan suara *noise* dan getaran yang tinggi, hal ini terjadi dikarenakan *bubble* yang meletus secara kontinu di dalam sistem. Akibatnya peristiwa tersebut dapat menyebabkan material impeler terkikis karena efek dari kavitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Kerusakan impeler pompa karena kavitas

2.3.1 Jenis-jenis Kavitas

Kavitas merupakan fenomena yang dapat menurunkan performa pompa. Kavitas dikelompokkan menjadi beberapa jenis, diantaranya (Kamiel, 2015) :

a. *Incipient* Kavitas

Kavitas yang terjadi pada tahap awal, dimana kavitas baru mulai terdeteksi. *Incipient* kavitas umumnya terjadi saat turbulensi awal pada *impeller*, sehingga menyebabkan tekanan berada dibawah tekanan uap fluida pada pompa.

b. *Travelling* Kavitas

Kavitas dimana *bubble* mulai terbentuk dan bergerak bersamaan pada

fluida dan kemudian meletus. Umumnya terjadi saat batas titik terendah pada aliran turbulensi.

c. *Vortex* Kavitasi

Kavitasi ini terjadi pada titik pusat pusaran turbulensi.

2.3.2 Penyebab Kavitasi

Kavitasi yang terjadi saat pompa beroperasi dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Berikut beberapa faktor yang dapat menyebabkan kavitasi (Bachus & Custodio, 2003)

1. *Evaporation*

Zat cair menguap dikarenakan tekanannya sangat rendah atau temperaturnya menjadi sangat tinggi. Setiap pompa sentrifugal memerlukan head (tekanan) pada sisi isap untuk mencegah penguapan.

2. *Air Ingestion*

Udara dapat masuk ke dalam sistem melalui beberapa sebab, antara lain :

- a. Dari *packing stuffing box*, terjadi jika pompa dari kondensor, *evaporator* atau peralatan lainnya yang bekerja pada kondisi vakum.
- b. Letak *valve* di atas garis permukaan air (*water line*).
- c. *Flens* (sambungan pipa) yang bocor.
- d. Tarikan udara melalui pusaran cairan (*vortexing fluid*).
- e. Terlalu dekatnya '*bypass line*' dengan sisi isap, yang mengakibatkan menambahnya suhu udara pada sisi isap.
- f. Zat cair pada sisi isap berkurang, hal ini dapat terjadi jika level cairan terlalu rendah.

Penguapan maupun masuknya udara ke dalam sistem memberikan pengaruh yang besar terhadap kinerja pompa yaitu pada saat gelembung- gelembung udara pecah ketika melewati '*eye impeller*' sampai pada sisi keluar (sisi dengan tekanan yang lebih tinggi). Pengaruh terbesar dari adanya jebakan udara ini adalah berkurangnya kapasitas pompa. Terkadang, dalam beberapa kasus dapat merusak impeler atau casing bagian dalam pompa.

3. *Internal Recirculation*

Kondisi dimana biasanya terjadi di sudut terluar (*leading edge*) impeler dekat dengan diameter luar yang berbalik menuju bagian tengah impeler. Dapat terjadi pada sisi awal isap pompa. Efek dari putaran balik ini dapat menyebabkan menambahnya kecepatan aliran sampai ia menguap dan pecah ketika melalui tekanan yang lebih tinggi. Biasanya terjadi pada pompa yang memiliki head tekan tersedianya rendah.

Kavitasi akan timbul bila tekanan isap terlalu rendah. Gelembung uap yang terbentuk dalam proses ini mempunyai siklus yang sangat singkat. Gelembung akan terbawa aliran fluida sampai akhirnya berada pada daerah yang mempunyai tekanan cairan lebih besar daripada tekanan uap jenuh cairan. Pada daerah tersebut gelembung ini akan pecah dan akan menyebabkan kerusakan pada dinding di dekatnya. Cairan akan masuk secara tiba-tiba ke ruangan yang terbentuk akibat pecahnya gelembung uap tadi sehingga mengakibatkan tumbukan yang terus-menerus.

4. *Turbulence*

Aliran fluida diinginkan pada kecepatan yang konstan. Korosi dan hambatan yang ada pada sistem perpipaan dapat merubah kecepatan fluida dan setiap ada perubahan kecepatan, tekanannya juga berubah. Untuk menghambat hal tersebut, perlu dilakukan perancangan sistem perpipaan yang baik. Antara lain memenuhi kondisi jarak minimum antara suction pompa dengan elbow yang pertama minimal sepuluh kali diameter pipa.

5. *Vane Passing Syndrome*

Kerusakan akibat kavitasi jenis ini terjadi karena diameter luar impeler terlalu dekat dengan cutwater pompa. Kecepatan aliran fluida bertambah ketika alirannya melalui lintasan sempit tersebut, tekanan berkurang dan menyebabkan penguapan lokal. Gelembung udara yang terbentuk kemudian pecah pada tempat yang memiliki tekanan yang lebih tinggi, sedikit diluar alur cutwater. Hal inilah yang menyebabkan kerusakan pada volute (rumah keong) pompa.

2.4 *Maintenance*

Maintenance (perawatan) dapat diartikan sebagai serangkaian bentuk kegiatan atau pekerjaan yang dilakukan untuk mengembalikan suatu peralatan ke kondisi dimana ia

dapat menjalankan fungsi sesuai dengan yang ditentukan (Ahmad & Kamarudin, 2012). Kegagalan sistem sering sekali mengakibatkan kerugian. Dibutuhkan sebuah pemeliharaan yang menjaga suatu komponen/ peralatan dan sistem dapat berjalan dengan lancar. Kebutuhan pemeliharaan idealnya dilakukan demi menjaga suatu aktivitas dari suatu sistem kerja agar tetap aman dan handal sesuai fungsinya

1. *Breakdown* atau *run to failure maintenance*
2. *Preventive* atau *time based maintenance*
3. *Predictive* atau *condition based maintenance*
4. *Proactive* atau *prevention maintenance*

2.5 Condition Based Maintenance (CBM)

CBM adalah sistem perawatan yang termasuk dalam kelompok *Predictive Maintenance*. CBM didasarkan pada pemantauan kondisi berdasarkan adanya tanda *abnormal* pada komponen yang dipantau. Jika hasil pengawasan menandakan adanya kesalahan pada sistem, maka bagian-bagian dari mesin yang teridentifikasi tersebut selanjutnya akan dijadwalkan untuk kegiatan perawatan.

Umumnya kerusakan yang terjadi pada sebuah komponen mesin diawali dengan tanda adanya kerusakan ringan, sehingga metode CMB digunakan sebagai langkah awal untuk merekomendasikan tindakan perawatan selanjutnya agar tidak menyebabkan kerusakan yang semakin lanjut.

Scheffer & Ghirdar (2004) megemukakan beberapa teknik penerapan sistem CBM untuk sistem perawatan :

1. *Accoustic Emission*

Analisa yang dilakukan dengan menemukan kerusakan berupa *crack* pada komponen mesin dan saluran system perpipaan. Pendekatan ini bisa mendeteksi titik kerusakan, serta memantau kondisi secara berkala.

2. *Oil Analysis*

Analisa kerusakan yang dilakukan terhadap komponen mesin seperti beraing dan gear. Analisa ini dilakukan berdasarkan partikel-partikel mikroskopik yang terdapat pada minyak pelumas.

3. *Particle Analysis*

Pada umumnya kompone mesin yang bergerak akan menghasilkan partikel atau serpihan. Analisa ini dilakukan dengan mengumpulkan informasi terhadap partikel tersebut dan membandingkannya dengan performa mesin.

4. *Corrosion Monitoring*

Pemantauan yang dilakukan dengan menggunakan gelombang ultrasonic. Umumnya pendekatan ini digunakan untuk mengecek tingkat korosi yang dialami pada komponen mesin, terutama pada system perpipaan.

5. *Thermography*

Pemantauan terhadap temperatur suatu komponen dengan menggunakan *infra red*. Pendekatan ini biasa dilakukan untuk kerusakan pada alat-alat elektrikal pendukung kegiatan mekanik.

6. *Performance Monitoring*

Salah satu pendekatan yang paling efektif dalam melakukan pemantauan terhadap kondisi mesin . Analisa ini berbasis terhadap hubungan antara kondisi mekanik dengan performa yang dihasilkan.

7. *Vibration Analysis*

Vibration Analysis (analisis sinyal getaran) merupakan Teknik pemantauan kondisi berdasarkan nilai getaran yang dihasilkan. Tinggi atau rendahnya nilai getaran yang dihasilkan oleh suatu mesin akan berpengaruh terhadap kondisi mekanisnya.

Dari beberapa teknik penerapan CBM diatas salah satu yang populer digunakan dalam industri adalah *vibration analysis* (analisis sinyal getaran). Metode analisis berdasarkan sinyal getaran adalah teknik yang efektif digunakan dalam CBM (Deng & Zhao, 2013). Tingkat tingginya getaran pada komponen mesin dan pola yang dihasilkan memiliki hubungan yang kuat dengan kondisi kesehatan mesin.

2.6 Getaran

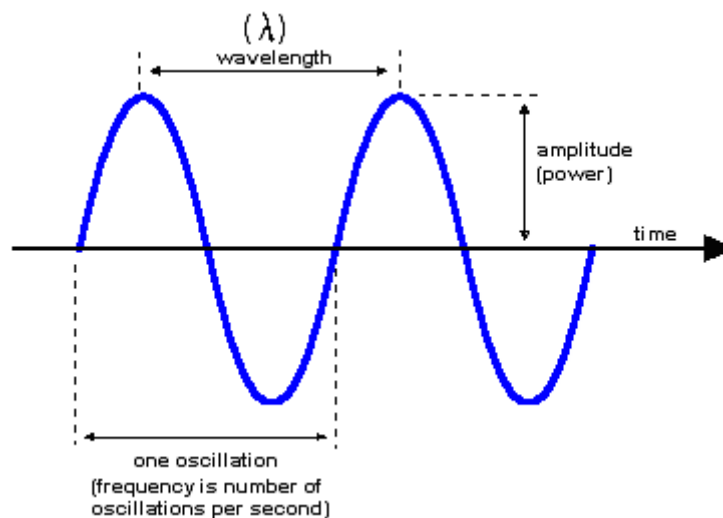
Getaran adalah gerakan bolak-balik (osilasi) dari suatu sistem, gerakan tersebut dapat berupa gerakan yang harmonis sederhana dapat pula kompleks. Setiap mesin umumnya menghasilkan getaran ketika beroperasi, sehingga perancangan suatu mesin selalu memiliki pertimbangan yang dilandasi sifat osilasinya. Terdapat dua parameter penting dalam getaran, yaitu :

1. Amplitudo

Amplitudo adalah jarak terjauh simpangan dari titik keseimbangan. Semakin tinggi nilai amplitudo artinya semakin besar getaran yang terjadi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4, jika getaran pada suatu mesin tinggi maka kemungkinan kerusakan juga semakin parah, karena umumnya kondisi mesin yang masih bagus tingkat getarannya relatif rendah.

2. Frekuensi

Frekuensi adalah banyaknya getaran yang terjadi dalam kurun waktu satu detik. Rumus frekuensi adalah jumlah getaran dibagi jumlah detik waktu. Frekuensi memiliki satuan hertz (Hz). Pada analisa yang berbasis domain frekuensi, jenis kerusakan ditandai dengan karakteristik frekuensi yang di hasilkan. Parameter dasar yang biasa digunakan dalam pengukuran sinyal getaran meliputi *displacement*, *velocity* dan *acceleration*. Gambar 2.4 menunjukkan nilai frekuensi pada sebuah getaran



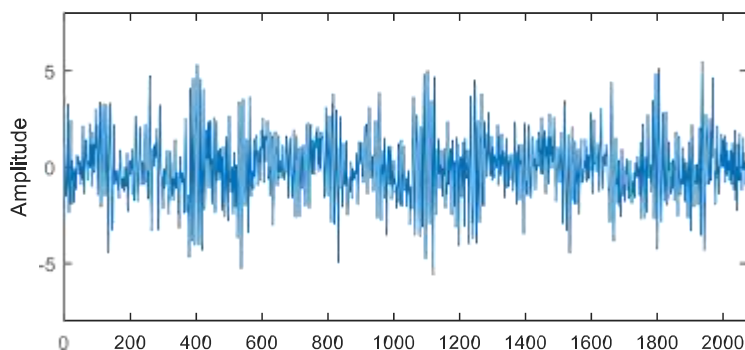
Gambar 2. 4 Amplitudo dan frekuensi
(jsati.com)

2.7 Analisis Sinyal Getaran

Dalam proses analisis menggunakan sinyal getaran terdapat dua metode yang paling umum digunakan, yaitu domain waktu (*time domain*) dan domain frekuensi (*frequency domain*).

2.7.1 Domain waktu

Domain waktu dari sinyal vibrasi merupakan data rekaman yang terkandung dalam sinyal seperti halnya sinyal getaran dan biasanya didominasi oleh elemen-elemen yang menimbulkan suara berisik (Thobiani et al. 2011). Berdasarkan pada Gambar 2.5 merupakan tipikal 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.

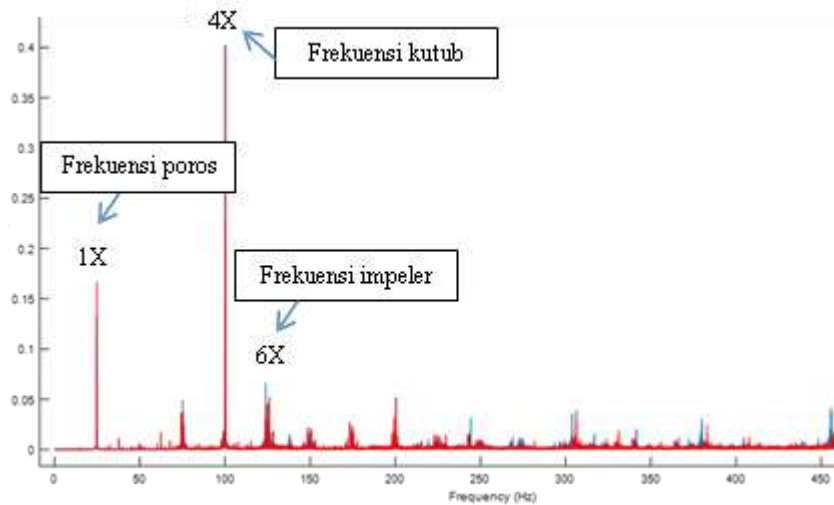


Gambar 2. 5 Plot getaran domain waktu
(Syafutra, 2017)

2.7.2 Domain Frekuensi

Domain frekuensi dilakukan dengan mengubah sinyal gelombang domain waktu ke dalam domain frekuensi. Metode paling umum yang digunakan untuk mengkonversikan domain waktu ke domain frekuensi adalah dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Pada gambar 2.6 format plot getaran berdasarkan domain frekuensi menunjukkan frekuensi dasar (frekuensi fundamental) dan frekuensi-frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar yang disebut sebagai harmonik. Kemunculan harmonik tersebut menunjukkan sinyal

frekuensi komponen seperti frekuensi poros, frekuensi impeler, dan frekuensi motor.



Gambar 2. 6 Plot Getaran Domain Frekuensi
(Syafutra, 2017)

2.7.3 Parameter Statistik Domain Waktu

1. Mean

Nilai *mean* merupakan rata – rata dari besaran nilai terhadap objek. Dapat diartikan bahwa nilai mean umumnya dijadikan sebagai ukuran data yang mendominasi keseluruhan data. Nilai parameter ini memiliki perhitungan dengan cara membagi jumlah nilai data dengan banyaknya data.

$$Mean = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x(k) \quad (2.1)$$

Sama halnya seperti SD dan *entropy*, parameter ini merupakan salah satu parameter yang dapat memberikan hasil klasifikasi yang baik terhadap perbedaan kondisi pada suatu mesin (Rapur dan Tiwari, 2016).

2. Standard Deviation

Standard deviation (σ) menunjukkan seberapa besar penyebaran data sampel dari mean nya. Penyimpangan standar yang rendah menunjukkan bahwa sampel mendekati mean, sedangkan standar deviasi tinggi menunjukkan bahwa sampel tersebut tersebar

dari mean. Standar deviasi juga dapat dianggap sebagai ukuran dari isi daya sinyal (Sakhtivel, 2010)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (2.2)$$

misalkan $x = x_1, x_2, \dots, x_N$, maka x_1 adalah elemen dari x , \bar{x} mewakili mean dari x dan N adalah jumlah elemen. Ahmed dkk (2012) menggunakan fitur ini sebagai salah satu fitur getaran gelombang waktu untuk klasifikasi kesalahan pada kompresor.

3. Kurtosis

Kurtosis menunjukkan apakah bentuk data atau sinyal itu datar atau runcing. Komponen normal (tidak ada kesalahan) ditunjukkan dengan *kurtosis* yang sangat rendah. Sedangkan komponen yang rusak memiliki *kurtosis* yang tinggi karna disebabkan oleh minyak *spikiness*.

$$Kurtosis = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{(N-1)\sigma^4} \quad (2.3)$$

dimana x_i adalah elemen dari x , N adalah jumlah elemen, \bar{x} mewakili rata-rata x dan σ menunjukkan standar deviasi. Penggunaa kurtosis sebagai fitur diagnosis kesalahan dapat ditemukan di beberapa literatur, salah satunya Lin dan Zuo (2003)

4. RMS

Root Mean Square (RMS) adalah sebuah indikator level energi dari sinyal getaran yang dirumuskan pada persamaan 2.4

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.4)$$

dimana N adalah jumlah elemen, \bar{x} mewakili rata - rata elemen dan x_i adalah unsur x . Contoh implementasi *RMS* sebagai fitur deteksi kesalahan pompa sentrifugal dapat ditemukan di Sakhtivel dkk (2010)

5. Variance

Dalam bidang statistika, *variance* merupakan nilai kuadrat dari standar deviasi σ^2 yang dirumuskan pada persamaan 2.5.

$$\text{Variance} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N-1} \quad (2.5)$$

dimana \bar{x} adalah mean dari sinyal, x_i menunjukkan elemen x dan N menunjukkan jumlah elemen. Penggunaan metode ini dalam mendeteksi kavitas telah dibuktikan dapat dilakukan oleh Luo dkk (2015).

6. *Peak Value*

Analisis nilai puncak (*peak value*) merupakan analisis yang dilakukan dengan melihat intensitas energi yang dihasilkan oleh getaran pada puncak-puncak data domain waktu maupun domain frekuensi (Luo dkk, 2015). Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai puncak, salah satunya dirumuskan pada persamaan 2.6.

$$\text{Peak Value} = \frac{\max(x) - \min(x)}{2} \quad (2.6)$$

Diagnosis yang dilakukan pada nilai puncak yaitu dengan melihat perubahan amplitudo yang dihasilkan pada variasi statistik yang digunakan.

7. *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 2.7 berikut,

$$C_f = \frac{\max(|x(n)|)}{\sigma} \quad (2.7)$$

Nilai dari *crest factor* sering kali digunakan sebagai parameter penting karena nilai yang didapat mengindikasikan seberapa memuncak (*peaky*) data yang dihasilkan. Nilai *crest factor* yang tinggi menunjukkan bahwa ada setidaknya satu puncak bernilai tinggi positif maupun negatif pada sinyal (Brandt 2010:71)

2.7.4 Parameter Statistik Domain Frekuensi

1. Mean Frequency (MNF)

Mean Frequency (MNF) adalah frekuensi rata-rata. MNF dihitung sebagai penjumlahan dari produk spektrum amplitudo dan frekuensi, dibagi dengan jumlah total intensitas spektrum.

$$MNF = \frac{\sum_{j=1}^M f_j P_j}{\sum_{j=1}^M P_j} \quad (2.8)$$

2. Median Frequency

Median frequency adalah frekuensi di mana spektrum dibagi menjadi dua wilayah dengan amplitudo yang sama.

$$\sum_{j=1}^{MDF} P_j = \sum_{j=MDF}^M P_j = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M P_j \quad (2.9)$$

3. Root mean square frequency

Root Mean Square frequency adalah sebuah indikator level energi dari sinyal getaran pada domain frekuensi

$$RMS = \sqrt{2 \sum_{f=0}^{f=SR/2} |X(f)|} \quad (2.10)$$

Dimana $|X(f)|$ merupakan modulus dari komponen kompleks FFT pada masing-masing garis spektrum.

4. Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR biasa digunakan secara metafora untuk merujuk pada rasio informasi yang berguna untuk data palsu atau yang kurang relevan. untuk menentukan kekuatan sinyal.

Semakin tinggi rasio, semakin mudah untuk mendeteksi sinyal yang sebenarnya atau mengekstrak informasi yang berguna dari sinyal mentah.

$$SNR = 10 \log_{10} 10 \left(\frac{S}{N} \right) \quad (2.11)$$

5. *Signal to Noise Ratio and Distortion (SINAD)*

SINAD yaitu suatu ukuran untuk menentukan kualitas dari sebuah sinyal yang terganggu oleh *noise* dan getaran. SINAD hamper identik sama dengan SNR.

$$SINAD = 10 \log \left(\frac{SND}{ND} \right) \quad (2.12)$$

2.8 *Principal Component Analysis*

Principal Component Analysis (PCA) adalah sebuah metode statistik dengan *pattern recognition* (pengenalan pola) yang digunakan untuk mengurangi data multidimensi ke sejumlah dimensi yang lebih kecil. PCA mulai diterima secara umum sebagai teknik untuk mengurangi dimensi data multivariat setelah pada tahun 1902 Pearson dan Hotelling pada tahun 1933 mengusulkan teknik tersebut.

Prinsip dasar kerja PCA adalah dengan cara mengkonversi sekelompok data observasi yang saling berkorelasi, kemudian dipisahkan dengan data yang tidak saling berelasi satu sama lain yang disebut sebagai *principal component* (PC). PC akan diurutkan dari data yang dianggap paling penting sampai data yang kurang penting. Sederhananya, data pada baris pertama hasil konversi adalah PC pertama dan yang paling berpengaruh terhadap variasi data asli. PCA juga dapat dipakai untuk mewakili kesamaan pola dalam sebuah observasi dan variabel dengan melakukan plot dan ditampilkan sebagai titik pada grafik (Kamiel, 2015).

2.9 *Perhitungan Principal Component Analysis*

Penyelesaian dengan PCA seringkali cukup hanya dengan beberapa *principal component* (PC) untuk menjelaskan struktur data asli. Jika data dalam dimensi asli sulit untuk direpresentasikan melalui grafik, maka dengan dua PC atau satu PC bisa dicitrakan melalui grafik (Santosa 2007). Misalkan terdapat data dengan susunan sebagai berikut:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

atau dalam bentuk kolom seperti berikut,

$$\mathbf{X} = (\mathbf{w}_1 \mathbf{w}_2 \cdots \mathbf{w}_j \cdots \mathbf{w}_n)$$

Row vector \mathbf{x}_i mewakili semua pengukuran variabel pada waktu tertentu, sementara vektor kolom \mathbf{w}_j merepresentasikan satu pengukuran variabel selama waktu eksperimen.

Secara umum, karena besaran dan skala yang berbeda dari variabel, matriks \mathbf{X} perlu diskalakan sebelum diproses lebih lanjut. Salah satu teknik penskalaan adalah penskalaan otomatis yang menskalakan kembali data asli untuk memiliki rata-rata 0 dan varians 1 dengan mengubah *column vector* \mathbf{w}_j seperti berikut,

$$\mu_{\mathbf{w}_j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}, \quad (2.14)$$

$$\sigma_{\mathbf{w}_j} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \mu_{\mathbf{w}_j})^2}, \quad (2.15)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_{\mathbf{w}_j}}{\sigma_{\mathbf{w}_j}}, \quad (2.16)$$

di mana $\mu_{\mathbf{w}_j}$ mewakili mean dan $\sigma_{\mathbf{w}_j}$ menunjukkan standar deviasi dari variabel w_j sedangkan x_{ij} adalah titik data yang diubah ke $\mu_{\mathbf{w}_j} = 0$ dan $\sigma_{\mathbf{w}_j} = 1$.

Matriks *covariance* \mathbf{X} kemudian didefinisikan sebagai berikut,

$$\mathbf{C}_x = \frac{1}{m-1} \mathbf{X}^T \mathbf{X}$$

yang dapat ditulis sebagai berikut,

$$\mathbf{C}_x = \frac{1}{m-1} \begin{pmatrix} \mathbf{w}_1^T \mathbf{w}_1 & \mathbf{w}_1^T \mathbf{w}_2 & \cdots & \mathbf{w}_1^T \mathbf{w}_j & \cdots & \mathbf{w}_1^T \mathbf{w}_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_1 & \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_2 & \cdots & \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_j & \cdots & \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbf{w}_n^T \mathbf{w}_1 & \mathbf{w}_n^T \mathbf{w}_2 & \cdots & \mathbf{w}_n^T \mathbf{w}_j & \cdots & \mathbf{w}_n^T \mathbf{w}_n \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

Matriks *covariance* \mathbf{X} adalah matriks persegi dan simetris dengan ukuran $n \times n$. Matriks ini mengkuantifikasi jumlah hubungan linear antara semua kombinasi dari dua variabel dalam kumpulan data. Istilah-istilah dalam diagonal utama matriks \mathbf{X} adalah varians dari variabel-variabel yang terkait, sementara itu *covariance* antara semua kombinasi dua variabel berada dalam istilah di luar-diagonal. Varians nya didefinisikan sebagai berikut,

$$\sigma_{\mathbf{w}_j}^2 = \frac{1}{m-1} \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_j, \quad (2.18)$$

yang dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$\sigma_{\mathbf{w}_j}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m x_{ij}^2$$

sedangkan *covariance* dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$\sigma_{\mathbf{w}_j, \mathbf{w}_k}^2 = \frac{1}{m-1} \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_k, \quad j \neq k, \quad (2.19)$$

dapat ditulis sebagai berikut,

$$\sigma_{\mathbf{w}_j, \mathbf{w}_k}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m X_{ij} X_{ik}$$

Secara umum, nilai varians yang lebih besar menunjukkan informasi yang lebih penting yang terkandung dalam variabel, sementara nilai-nilai kovarian besar mewakili redundansi tinggi antara dua variabel dalam kumpulan data (Kamiel, 2015). Matriks \mathbf{X} terdiri dari n dimensi ruang dengan n basis basis ortonormal. PCA berusaha mengubah vektor x_1 menjadi basis ortonormal yang berbeda yang dapat mengungkapkan fitur tersembunyi.

PCA mendekomposisi matriks \mathbf{X} ke dalam matriks skor \mathbf{T} dan matriks pemuatan \mathbf{P} melalui dekomposisi nilai singular (SVD) sebagai berikut,

$$\mathbf{X} = \mathbf{t}_1\mathbf{p}_1^T + \mathbf{t}_2\mathbf{p}_2^T + \dots + \mathbf{t}_n\mathbf{p}_n^T, \quad (2.20)$$

dapat ditulis sebagai berikut,

$$\mathbf{X} = \mathbf{TP}^T,$$

di mana $\mathbf{p}_i \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ mewakili vektor eigen dari matriks \mathbf{C}_X dan \mathbf{P} menunjukkan matriks *principal component* (PC). Vektor $\mathbf{t}_i \in \mathbb{R}^{m \times 1}$ adalah proyeksi dari data asli ke vektor \mathbf{p}_i dan \mathbf{T} mewakili matriks skor dari *principal component*. Setiap vektor eigen \mathbf{p}_i sesuai dengan nilai eigen λ_i yang mewakili varian dari vektor \mathbf{t}_i .

Matriks \mathbf{P} adalah matriks transformasi yang memiliki vektor eigen di kolomnya, yaitu,

$$\mathbf{P} = (\mathbf{p}_1 \ \dots \ \mathbf{p}_2 \ \mathbf{p}_j \ \dots \ \mathbf{p}_n), \quad (2.21)$$

dan memenuhi properti eigenvalue-eigenvector,

$$\mathbf{C}_X\mathbf{P} = \mathbf{P}\Lambda \quad (2.22)$$

$$\text{dimana } \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_n \end{bmatrix} (\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0)$$

adalah matriks diagonal yang memiliki eigenvalues yang positif dari yang terbesar hingga yang terkecil.

Matriks transformasi dapat digunakan untuk mengubah data asli menjadi ruang baru yang secara matematis didefinisikan sebagai berikut,

$$\mathbf{T} = \mathbf{XP} \quad (2.23)$$

Lebih detailnya sebagai berikut,

$$(\mathbf{t}_1 \mathbf{t}_2 \cdots \mathbf{t}_j \cdots \mathbf{t}_n) = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \times (\mathbf{p}_1 \mathbf{p}_2 \cdots \mathbf{p}_j \cdots \mathbf{p}_n) \quad (2.24)$$

Setiap kolom matriks \mathbf{T} kemudian dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$\mathbf{t}_j = \mathbf{X} \mathbf{p}_j,$$

dan varians dari vektor \mathbf{t}_j dapat dihitung sebagai berikut,

$$\sigma_{\mathbf{t}_j}^2 = \frac{1}{m-1} \mathbf{t}_j^T \mathbf{t}_j = \frac{1}{m-1} (\mathbf{X} \mathbf{p}_j)^T (\mathbf{X} \mathbf{p}_j), \quad (2.25)$$

atau bisa ditulis sebagai berikut,

$$\sigma_{\mathbf{t}_j}^2 = \mathbf{p}_j^T \mathbf{C}_X \mathbf{p}_j = \lambda_j$$

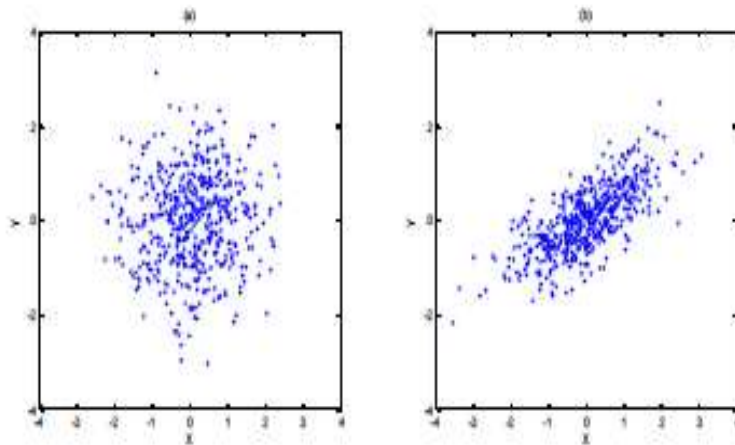
sementara kovariannya nol, karenanya,

$$\sigma_{\mathbf{t}_j \mathbf{t}_k}^2 = \frac{1}{m-1} \mathbf{t}_j^T \mathbf{t}_k = \frac{1}{m-1} (\mathbf{X} \mathbf{p}_j)^T (\mathbf{X} \mathbf{p}_k), \quad (2.26)$$

dan menjadi,

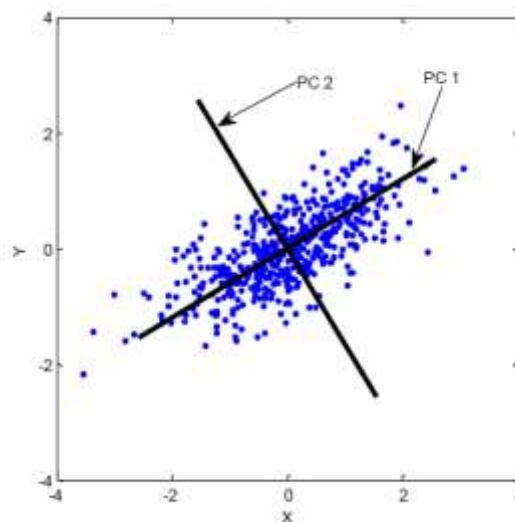
$$\sigma_{\mathbf{t}_j \mathbf{t}_k}^2 = \mathbf{p}_j^T \mathbf{C}_X \mathbf{p}_k = \lambda_j \mathbf{p}_j^T \mathbf{p}_k = 0$$

Contoh aplikasi PCA dijelaskan di sini menggunakan data buatan yang memiliki korelasi signifikan. Plot dua dimensi (X dan Y axis) buatan ditunjukkan pada Gambar 2.7. Pada Gambar 2.7 (a), kumpulan data tidak berkorelasi, tetapi pada gambar kedua (b), secara signifikan berkorelasi.

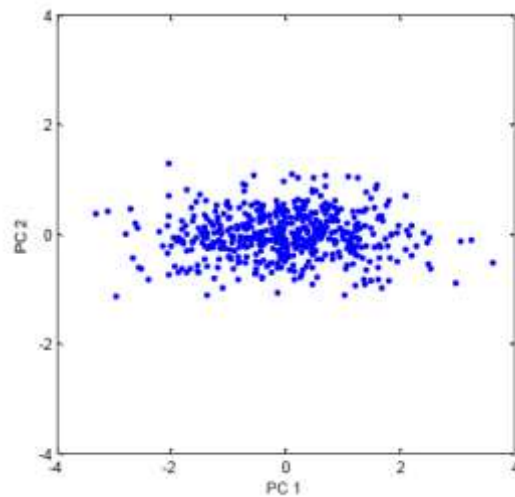


Gambar 2. 7 Dua dimensi data buatan, (a) tidak berkorelasi, (b) berkorelasi PC2
(Kamiel, 2015)

Hasil yang diharapkan dari langkah di atas adalah terciptanya koordinat baru atau yang disebut dengan *principal component*. Sumbu-sumbu koordinat baru ini nantinya harus orthogonal (saling tegak lurus) karena mengandung informasi variabel yang tidak saling berkorelasi. Dapat dilihat pada gambar 2.8 *plotting principal component*, PC1 dan PC2. Dari kedua principal komponen yang terpilih, kemudian dilakukan transformasi dengan PC1 dan PC2 sebagai sumbu koordinat baru yang ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2. 8 *Plotting principal component*, PC1 dan PC2
(Kamiel, 2015)



Gambar 2. 9 Data yang ditransformasikan pada dua *principal component* PC2

(Kamiel, 2015)

2.10 Akuisisi Data Sinyal Getaran

Pada proses *predictive maintenance* dalam penggunaannya sebagai indikator untuk mendiagnosis kondisi mesin, terdapat banyak cara yang digunakan, diantaranya seperti analisis getaran, emisi akustik, analisis minyak, analisis partikel, dan pemantauan korosi. Teknik yang populer dalam analisis mesin atau peralatan berputar adalah analisis getaran. Analisis ini mempunyai keuntungan utama dapat mengidentifikasi perkembangan masalah sebelum masalah itu menjadi sangat serius dan menyebabkan *downtime* yang tidak terjadwal. Sistem analisis getaran pada umumnya terdiri dari 4 bagian utama (Hamid, 2012):

1. Sinyal *pickup*, juga disebut transduser.
2. Sinyal *analyzer*.
3. Software analisis.
4. Komputer untuk analisis dan penyimpanan data.

2.11 Sensor Getaran

1. Sensor *Displacement*

Sensor *displacement* (perpindahan) pada Gambar 2.10 adalah sensor yang mengukur berdasarkan tingkat tinggi-rendahnya getaran yang terjadi. Prinsip dasar kerja sebuah sensor adalah dengan mentransformasikan sinyal energi mekanik menjadi sinyal analog

elektrik kemudian ditampilkan pada monitor.



Gambar 2. 10 Sensor *Displacement*

(www.lionprecision.com)

2. Sensor *Velocity*

Sensor *velocity* (kecepatan) pada Gambar 2.11 merupakan sensor yang mengukur berdasarkan kecepatan getaran. Sensor ini terdapat koil magnet yang digunakan untuk merubah energi mekanik menjadi sinyal analog sesuai kecepatan getaran yang dialami mesin.



Gambar 2. 11 Sensor *Velocity*

(www.quicktimeonline.com)

3. *Accelerometer*

Accelerometer ditunjukkan pada Gambar 2.12 merupakan alat yang digunakan untuk mengukur percepatan. Biasanya *accelerometer* digunakan dalam pengukuran pada mesin bangunan, kendaraan, dan juga bisa digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di dalam bumi dengan ataupun tanpa pengaruh gravitasi.



Gambar 2. 12 Sensor *Accelerometer*
(www.spectrumscientific.com)

2.12 Sensor *Accelerometer*

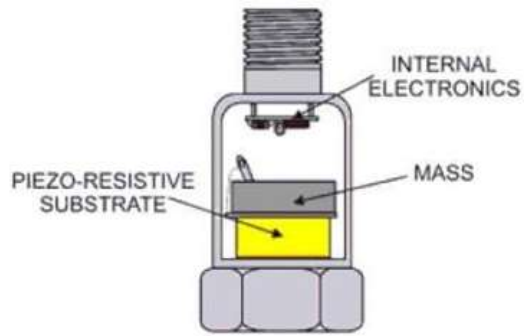
Sensor *Accelerometer* adalah jenis transduser yang paling banyak digunakan dalam aplikasi pemrosesan rotasional karena penggunaannya yang mudah, ukuran yang kompak dan ringan, serta jangkauan frekuensi yang lebar (Scheffer and Girdhar 2004). Material yang dipakai dalam pembuatan accelerometer umumnya adalah kristal piezoelektrik. Bahan piezoelektrik berfungsi mengkonversikan sinyal getaran dengan cara mentransmutasikan elektron dan mendorong atom didalamnya sehingga membentuk muatan listrik pada permukaan terminalnya. Hasil output dari sensor accelerometer dapat didiferensialkan dalam velocity maupun displacement, oleh sebab itu sensor ini dapat digunakan untuk mengukur sinyal getaran berdasarkan perpindahan dan kecepatan pada pompa sentrifugal.

2.12.1 Jenis-jenis Sensor *Accelerometer*

Pada saat ini bermacam tipe *accelerometer* yang telah dikembangkan untuk menganalisis getaran, adapun beberapa tipe *accelerometer* yang ada diantaranya:

1. *Accelerometer Compression*

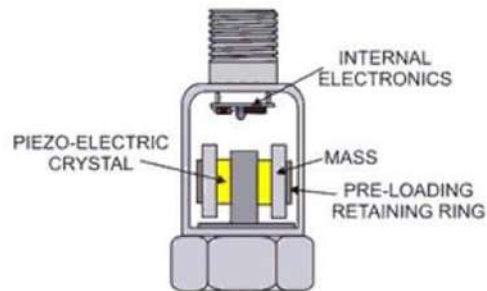
Jenis *Compression* biasanya digunakan untuk mengukur objek yang menghasilkan getaran yang sangat tinggi, sehingga nilai voltase yang dihasilkan juga tinggi. Accelerometer jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2. 13 *Accelerometer Compression*
(Syafutra, 2017)

2. *Accelerometer Shear*

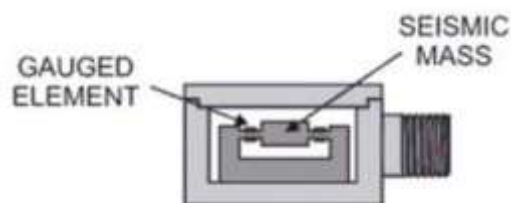
Accelerometer ini memiliki ukuran yang sangat kecil. Keuntungan dari *accelerometer* pada Gambar 2.14 ini yaitu dapat mengukur getaran pada desain struktur tempat yang sangat kecil. Biasanya digunakan untuk pengukuran getaran perangkat elektronik..



Gambar 2. 14 *Accelerometer Shear*
(Syafutra, 2017)

3. *Accelerometer Strain Gauge*

Accelerometer ini digunakan untuk mendeteksi defleksi dari sebuah massa *seismic*. Bahan material jenis ini berupa silikon atau elemen *foil strain gauged* seperti Gambar 2.15 berikut



Gambar 2. 15 *Accelerometer Strain Gauge*
(Syafutra, 2017)

2.12.2 Sensitifitas *Accelerometer*

Sensitifitas *Accelerometer* diartikan sebagai perbandingan nilai *output* sinyal elektrik dengan *input* nilai energi mekanisnya (Chu, 2002). Pada *condition monitoring* biasanya didesain dengan nilai sensitifitas 100 mV/g. Tipe lainnya dari *accelerometer* dengan sensitifitas yang lebih besar digunakan untuk aplikasi khusus seperti analisis struktural dan pengukuran *geophysical*. *Accelerometer* untuk penggunaan frekuensi yang sangat tinggi maupun untuk permesinan dengan kecepatan rendah juga tersedia.

2.12.3 Rentang Frekuensi Operasi

Accelerometer dirancang untuk mengukur getaran pada rentang frekuensi tertentu. Pemilihan *accelerometer* biasanya digunakan setelah rentang frekuensi yang ada pada permesinan telah diketahui. Pada umumnya, *accelerometer* yang digunakan untuk mengukur getaran permesinan mempunyai jangkauan frekuensi dari 1 Hz atau 2 Hz sampai dengan 8 Hz atau 10 kHz, bahkan lebih tinggi.

2.12.4 Metode Pemasangan

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

1. Metode *stud/bolt mounting* merupakan metode yang baik digunakan untuk pemasangan permanen. Metode ini digunakan dengan menyekrupkan sensor pada kancing (*stud*) atau pada blok mesin. Pada metode ini, memungkinkan penggunaan *transducer* untuk mengukur getaran pada kondisi idealnya dan dapat digunakan pada posisi mana saja yang memungkinkan.
2. Metode pemasangan perekat memberikan pemasangan yang aman tanpa adanya langkah yang terlalu intensif seperti penyekrupan. Kelemahan dari penggunaan 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 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 transduser. Dalam pemasangan *accelerometer*, hal yang perlu diperhatikan adalah kebersihan dari permukaan objek pemasangan serta bebas dari pelapisan. Permukaan pemasangan harus pada kontak langsung pada permukaan mesin serta permukaan kontak harus lebih besar dibanding dengan diameter dari permukaan *transducer*.

2.13 Matlab

Data getaran yang telah direkam oleh transduser selanjutnya dianalisis menggunakan komputasi dengan Software Matlab dengan algoritma Fast Fourier Transform (FFT).

Matlab adalah bahasa pemrograman level tinggi (ingat dalam dunia pemrograman semakin tinggi level semakin mudah cara menggunakannya) yang dikhususkan untuk komputasi teknis. Bahasa ini mengintegrasikan kemampuan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam sebuah lingkungan yang tunggal dan mudah digunakan. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep array/matrik sebagai standar variabel elemennya tanpa membutuhkan pendeklarasian array seperti pada bahasa lainnya (Away, 2010).

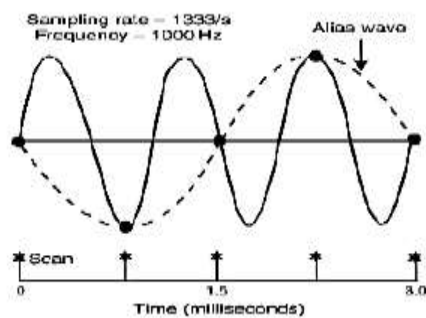
2.14 Sampling

Algoritma FFT yang diproses dengan Software Matlab akan direkam dalam bentuk Amplitudo. Amplitudo dari getaran yang ditunjukkan dalam perpindahan, kecepatan, dan percepatan, akan direkam pada kisaran 17066 sampling rate untuk melihat indikasi terjadinya kavitasi.

Sampling adalah proses perekaman amplitudo gelombang secara otomatis, dan kemudian menghasilkan kurva dari titik yang sudah direkam. Proses dimana data sampel yang direkam atau dikumpulkan *discrete poin* (digital) merekonstruksi gelombang yang

pada awalnya dalam bentuk sinyal analog. Rekonstruksi gelombang digital harus terlihat mirip dengan gelombang asli, seberapa cepat harus direkam amplitudonya, atau mengambil sampel sehingga gelombang digitalisasi merupakan bagian dari sinyal analog.

Proses sampling menerapkan teorema Nyquist sampling agar tidak terjadi aliasing. Teorema tersebut menyatakan bahwa agar tidak kehilangan informasi yang terkandung dalam sampel sinyal, proses sampling dilakukan setidaknya minimal 2 kali frekuensi informasi (Scheffer & Girdhar, 2004). Pada proses sampling seperti Gambar 2.16 terjadi efek aliasing. Oleh karena itu analisis dilengkapi dengan anti-aliasing filter yang merupakan elektronik low-pass filter yang memungkinkan untuk frekuensi rendah bisa terdeteksi dengan frekuensi yang lebih tinggi (Anta, 2013).



Gambar 2. 16 *Sampling Rate* dengan *Aliasing*
(Scheffer & Girdhar, 2004)