

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Salah satu komponen dalam *fan* industri adalah roda gigi pada rangkaian transmisi. Roda gigi berfungsi untuk mendapatkan variasi momen dan kecepatan sesuai dengan yang dibutuhkan. Dengan menggunakan perbandingan-perbandingan roda gigi dan mereduksi putaran, sehingga diperoleh kesesuaian tenaga motor dengan *fan* industri.

Kerusakan pada roda gigi tentunya dapat menimbulkan permasalahan yang cukup fatal, bahkan dapat menyebabkan suatu mesin berhenti beroperasi dan dapat memakan biaya perawatan yang cukup mahal. Oleh karena itu, kondisi dan kinerja dari roda gigi harus dijaga atau dimonitor secara kontinyu dengan baik. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian terhadap cacat roda gigi menggunakan metode berbasis sinyal getaran dan mengklasifikasikan kondisi kerusakan atau cacat menggunakan metode *SVM*.

Penelitian yang menggunakan metode *SVM* dalam mendeteksi cacat roda gigi telah dilakukan, diantaranya Ramahandran dkk., (2009) yaitu pendeteksian cacat roda gigi tipe *spur bevel gear* dengan menggunakan metode *Artificial Neural Network (ANN)* dan *Proximal Support Vector Machine (PSVM)* dengan hasil 97% efisiensi lebih baik untuk *PSVM*, penelitian dilakukan dengan setiap kondisi vektor 100 set nilai fitur dikumpulkan dari percobaan pada 2000rpm.

Dejie Yu dkk., (2008) melakukan pengujian dengan pemotongan laser pada bagian roda gigi, dengan lebar 0,15-0,25mm, dengan kedalamannya 0,1-0,3mm. Sensor percepatan digunakan memonitoring gear, disampel dengan frekuensi sampel 1024 Hz. Hasilnya *SVM* dapat diterapkan dengan sukses pada pengenalan pola, dan dapat mengklasifikasikan kondisi dua roda gigi secara akurat.

Tao Song dkk., (2012) mendeteksi cacat rangkaian roda gigi pada *wind turbine* menggunakan metode *SVM*, menggunakan fungsi karnel dengan *Radial Basis Function (RBF)* dengan faktor penalti adalah  $g \frac{1}{4} 2$ , dan parameter kernel *RBF* s  $\frac{1}{4} 10$ . Akurasi metode ini dapat mencapai 92%.

Likun Chao dkk., (2017) melakukan penelitian dengan menggunakan dataset dari *2009 PHM Conference Data Analysis Competition*. 3 kelompok gigi heliks dengan keadaan normal berbeda dipilih untuk klasifikasi pengenalan pola. Kelompok 1 dalam kondisi baik, kelompok 2 dan kelompok 3 memiliki bagian cacat yang berbeda. Terdapat 816 data sampel yang diekstraksi dan dibagi menjadi dua bagian dan diklasifikasi menggunakan *SVM*, bagian yang memiliki 612 data sampel sebagai dataset pelatihan klasifikasi *SVM* dan bagian lainnya yang memiliki 204 data sampel sebagai dataset pengujian klasifikasi *SVM*. Dengan hasil *SVM* memiliki efek diagnostic yang stabil tingkat akurasi 97%. Meskipun roda gigi berada pada beban dan kecepatan yang berbeda.

Yangdalian dkk., (2015) melakukan penelitian getaran roda gigi dilakukan pada simulator gangguan mesin. Memperoleh hasil *SVM* yang dioptimalkan oleh algoritma optimasi berbeda secara terpisah dapat dikenali dengan baik untuk sampel gigi normal, tetapi sedikit lebih rendah untuk sampel gigi serpihan dan sampel gigi rusak. Dengan tingkat akurasi sampel pengujian mencapai 94,67%.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, metode *Support Vector Machine* dapat mengklasifikasikan kondisi cacat atau kerusakan pada komponen, dengan metode pencocokan pola. Akan tetapi metode *SVM* ini belumlah sempurna, karena data *input* masih berupa data yang mengandung *noise*. Oleh karena itu, peneliti akan mencoba menggunakan *TSA* untuk mengurangi *noise* pada data yang dijadikan data input untuk *SVM*.

Dari penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa parameter statistik domain waktu sangat berpengaruh pada hasil klasifikasi *SVM*. Pemilihan parameter statistik domain waktu yang efektif akan dipaparkan berdasarkan beberapa tinjauan penelitian sebelumnya, khususnya pada kerusakan roda gigi, dengan mempertimbangkan juga *Kernel Function* yang pernah digunakan oleh peneliti sebelumnya. Pada tabel 2.1 ditunjukkan beberapa penelitian yang menggunakan parameter statistik domain.

Tabel 2.1 Penggunaan parameter statistik domain waktu

<b>Tahun</b>	<b>Author (s)</b>	<b>Objek</b>	<b>Parameter Statistik</b>	<b>Karnel Function</b>
2008	Dejie Yu, dkk.	Roda Gigi	<i>Variance, Peak Value</i>	<i>RBF</i>
2009	Ramahandran, dkk.	<i>Bevel</i> <i>Gear</i>	<i>Mean, median, RMS,</i> <i>Kurtosis, Skewness,</i> <i>Maximum, Variance,</i> <i>Standard Deviation</i>	<i>RBF</i>
2009	Ali Soleimani, dkk.	<i>Gearbox</i>	<i>Mean, Standard</i> <i>Deviation, Peak Value,</i> <i>Crest Factor, Skewness,</i> <i>Kurtosis</i>	<i>RBF</i>
2012	Huan Yin	<i>Helix</i> <i>Gear</i>	<i>Mean, Kurtosis,</i> <i>Variance, Skewness,</i> <i>Maximum, RMS, Crest</i> <i>Factor</i>	<i>RBF</i>
2013	D.J. Bordoli dan Ravij Tiwari	Roda Gigi	<i>Standard deviasi,</i> <i>skewness, kurtosis</i>	<i>RBF</i>
2014	Praveenkumar	<i>Spur Gear</i>	<i>Mean, median, mode,</i> <i>RMS, Kurtosis,</i> <i>Skewness, Peak Value</i>	<i>RBF</i>
2017	Yong Li, dkk.	<i>Planetary</i> <i>Gear</i>	<i>Entropy, Variance</i>	<i>RBF</i>
2018	Li-Ming Wang dan Yi-Min Shao	<i>Gearbox</i>	<i>Mean, Variance, RMS,</i> <i>Skewness, Kurtosis,</i> <i>Crest Factor</i>	<i>RBF</i>
2018	Jungho Park, dkk.	<i>Planetary</i> <i>Gear</i>	<i>Kurtosis, Variance</i>	<i>RBF</i>

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 *Fan* atau Kipas

*Fan* atau kipas adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan sebuah aliran pada sebuah fluida. *Fan* pada industri berfungsi sebagai pendukung proses

produksi, yaitu berperan sebagai operasi proses pembakaran dan pendinginan dan sistem ventilasi. *Fan* terdiri dari beberapa komponen antara lain bilah, rumah *fan*, bantalan, poros dan motor penggerak. Tentunya *fan* memiliki beberapa jenis sesuai dengan kegunaannya, berikut merupakan jenis dari *fan* tersebut :

### 1. *Fan* Aksial

*Fan* aksial memakai gaya poros untuk menggerakkan udara atau gas, berputar dengan poros utama dengan kipas yang dipasang secara tegak lurus dari diameter luar poros. *Fan* aksial biasa digunakan pada sistem ventilasi. *Fan* ini terkenal di industry karena murah, bentuknya yang kompak dan ringan.



Gambar 2.1 *Fan* Aksial

(<http://id.jssjfan.com/fan/axial-flow-fan/low-noise-ac-axial-flow-exhaust-extractor-fan.html>)

### 2. *Fan* Sentrifugal

*Fan* sentrifugal mempercepat aliran udara secara linier, merubah arah aliran biasanya  $90^\circ$  dan dibuat kokoh, relatif tidak berisik, dan dapat beroperasi di berbagai kondisi. *Fan* sentrifugal lebih murah dan lebih mudah pada pembangunan. *Fan* sentrifugal digunakan untuk memindahkan gas pada sistem ventilasi di gedung-gedung. *Fan* sentrifugal juga biasa digunakan sebagai sistem pendingin/pemanas dan juga cocok untuk proses industri dan sistem kontrol polusi udara.



Gambar 2.2 *Fan* Sentrifugal

(<http://artikel-teknologi.com/macam-macam-kipas-fan/>)

### 2.2.2 Transmisi

Transmisi adalah sebuah rangkaian dari beberapa roda gigi yang menjadi satu kesatuan yang kompak. Transmisi adalah sistem yang berfungsi untuk konversi torsi dan kecepatan (putaran) dari suatu mesin sesuai dengan yang dibutuhkan. Konversi ini mengubah kecepatan putar yang tinggi menjadi lebih rendah tetapi lebih bertenaga, atau sebaliknya.

Berikut adalah jenis-jenis sistem transmisi:

#### 1. Transmisi Gearbox

Transmisi gearbox menggunakan serangkaian roda gigi yang diatur sedemikian rupa sehingga dapat mentransmisikan putaran mesin pada berbagai rasio percepatan.

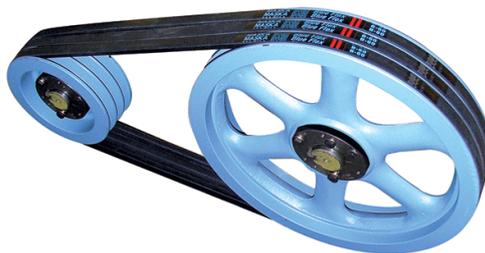


Gambar 2.3 Transmisi gearbox

(<https://www.transmissionrepaircostguide.com/wpcontent/uploads/2015/04/manual-transmission.jpg>)

## 2. V-Belt

Belt adalah suatu elemen fleksibel yang dapat di gunakan dengan mudah mentransmisikan torsi dan gerakan berputar dari suatu komponen ke komponen lainnya, dimana belt tersebut dililitkan pada puli yang melekat pada poros yang akan berputar. Dalam hal ini digunakan transmisi V-Belt. Sabuk digunakan untuk mentransmisi daya dari satu poros ke poros lainnya melalui puli yang berputar pada kecepatan yang sama atau tidak sama.



Gambar 2.4 Transmisi V-Belt

(<http://anugerahjayabearing.com/penjelasan-v-belt-dan-pulley-sudah-tau.html>)

## 3. Sprocket

Rantai sebagian besar digunakan untuk meneruskan putaran dan daya dari satu poros ke poros yang lain. Jarak antar poros transmisi rantai lebih besar dari transmisi roda gigi tetapi lebih pendek dari transmisi sabuk. Rantai mengait pada roda gigi (sprocket) dan meneruskan dayatanpa slip, jadi menjamin putaran tetap sama.



Gambar 2.5 Transmisi Sprocket

([https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/418JzvgeA2L.\\_SX425\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/418JzvgeA2L._SX425_.jpg))

### 2.2.3 Roda Gigi

Roda gigi mempunyai prinsip kerja berdasarkan pasangan gerak, bentuk gigi dibuat untuk menghindari slip sehingga putaran dan daya dapat berlangsung dengan baik, selain itu dapat dicapai keliling yang sama pada lingkaran singgung sepasang roda gigi. Lingkaran singgung ini disebut lingkaran pitch.

Jenis-jenis roda gigi :

a. *Spur Gear*

Roda gigi yang paling sederhana yang terdiri dari silinder dengan gigi-gigi yang terbentuk secara radial. Ujung roda gigi-gigi lurus dan tersusun paralel terhadap aksis rotasi. Roda gigi ini hanya bisa dihubungkan secara paralel.



Gambar 2.6 Jenis roda gigi *Spur Gear*  
([indiamart.com/proddetail/spur-gear-15890246548.html](http://indiamart.com/proddetail/spur-gear-15890246548.html))

b. *Helix Gear*

Roda gigi yang ujung roda gigi-giginya tersusun miring pada derajat tertentu, gigi-gigi yang bersudut menghasilkan pergerakan roda gigi menjadi halus dan sedikit getaran.



Gambar 2.7 Jenis roda gigi *Helix Gear*  
(<https://www.motioncontroltips.com/helical-gears-what-are-they-and-where-are-they-used/>)

c. *Bevel Gear*

Roda gigi yang ujung roda gigi-giginya berbentuk seperti kerucut terpotong. Bevel gear dapat berbentuk lurus seperti spur gear atau spiral seperti helix gear. Keutungan menggunakan bevel gear pergerakan roda gigi halus dan sedikit getaran.



Gambar 2.8 Jenis roda gigi *Bevel Gear*

(<https://www.indiamart.com/proddetail/straight-bevel-gears-16382042491.html>)

d. *Worm Gear*

Bentuk dari worm gear menyerupai screw berbatang yang dipasangkan dengan spur gear. Worm gear pada umumnya digunakan untuk mendapatkan rasio torsi yang tinggi dan kecepatan yang rendah. Kerugian menggunakan worm gear adalah adanya gesekan yang menyebabkan efisiensi yang rendah sehingga membutuhkan pelumasan.



Gambar 2.9 Jenis roda gigi *Worm Gear*

([www.indiamart.com/proddetail/worm-wheel-gear-15320181955.html](http://www.indiamart.com/proddetail/worm-wheel-gear-15320181955.html))

e. *Pinion Gear*

Pasangan pinion gear terdiri dari roda gigi yang disebut pinion dan batang bergeririgi yang disebut rack. Perpaduan rack dan pinion menghasilkan mekanisme transmisi torsi yang berbeda, ketika pinion berputar, rack akan bergerak lurus. Mekanisme ini digunakan pada beberapa jenis kendaraan untuk mengubah rotasi dari setir kendaraan menjadi pergerakan ke kanan dan kiri dari rack sehingga roda berubah arah.



Gambar 2.10 Jenis roda gigi *Pinion Gear*

(<https://vietnamese.alibaba.com/product-detail/outboard-steering-helical-starter-small-crown-wheel-rack-pinion-gear-60770595792.html>)

#### 2.2.4 Maintenance

Maintenance (perawatan) merupakan pekerjaan yang dilakukan agar kondisi suatu mesin dapat sesuai seperti yang telah ditentukan. Kebutuhan akan perawatan sangat penting bagi setiap mesin, karena jika terjadi kerusakan maka akan mengakibatkan kerugian. Kategori pendekatan maintenance berdasarkan pengertiannya sebagai berikut (Alsalaet, 2012) :

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

#### 2.2.5 Condition Based Maintenance (CBM)

CBM atau predictive maintenance didasarkan pada pengawasan kondisi terhadap gangguan yang dialami oleh suatu mesin ketika pengoperasiannya.

Pemantauan kondisi pada pendekatan ini dilakukan secara berkala. Apabila ditemukan indikasi kerusakan, maka bagian – bagian dari mesin tersebut diidentifikasi dan dijadwalkan untuk kegiatan perawatan selanjutnya. Kerusakan pada suatu komponen mesin tentunya terjadi umumnya dimulai dengan adanya gejala kerusakan ringan, sehingga pendekatan ini merupakan langkah awal dalam proses perawatan untuk menghindari terjadinya tingkat kerusakan yang semakin tinggi.

Secara umum terdapat beberapa teknik pemantauan kondisi yang menerapkan sistem CBM, diantaranya (Scheffer dan Ghirdar, 2004) :

1. Acoustic Emission

Analisa yang dilakukan dengan menemukan kerusakan berupa crack pada komponen mesin dan saluran sistem perpipaan. Pendekatan ini dapat mendeteksi, menumukan titik kerusakan, serta memantau kondisi secara kontinyu.

2. Oil Analysis

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

3. Particle Analysis

Pada umumnya komponen 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 ultrasonik. Umumnya pendekatan ini digunakan untuk mengecek tingkat korosi yang dialami pada komponen mesin, terutama pada sistem perpipaan.

5. Thermography

Pemantauan terhadap temperatur suatu komponen dengan menggunakan infra red. Pendekatan ini biasa dilakukan untuk kerusakan pada alat – alat elektrik 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.

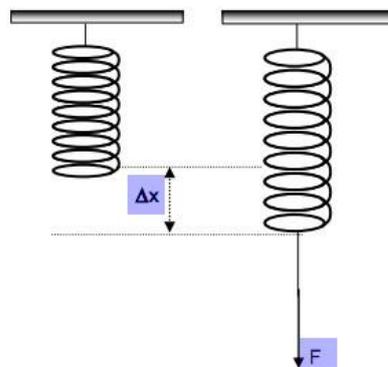
## 7. Vibration Analysis

Vibration analysis (analisa sinyal vibrasi) merupakan teknik pemantauan kondisi berdasarkan nilai vibrasi yang dihasilkan. Tinggi atau rendahnya nilai vibrasi yang dihasilkan oleh suatu mesin akan berpengaruh terhadap kondisi mekanisnya.

Keuntungan yang didapatkan dengan penerapan jenis perawatan ini salah satunya dapat menjadwalkan seluruh kegiatan perawatan secara teratur. Semakin teratur kegiatan perawatan suatu mesin, maka akan dapat memperpanjang usia pemakaiannya. Hal ini tentunya akan sangat menguntungkan, serta dapat menghemat pemakaian biaya. Pada dunia industri, penerapannya dapat mengakibatkan peningkatan dalam kapasitas produksi. Dengan menerapkan pendekatan CBM, setiap industri tentunya dapat menggunakan hasil diagnosa untuk menyediakan komponen sebelum terjadinya kerusakan serta menghemat biaya perawatan mesin.

### **2.2.6 Pengertian Getaran**

Getaran adalah gerakan bolak-balik secara teratur pada suatu benda yang melalui satu titik seimbang. Getaran ini sering juga disebut dengan gerak periodik dikarenakan gerakannya yang terjadi secara teratur. Getaran dipengaruhi oleh besar energi yang diberikan, semakin besar energi yang diberikan semakin kuat juga getaran yang ditimbulkan begitu juga sebaliknya. Satu gerakan bolak-balik penuh suatu benda sama dengan satu getaran yang dilakukan oleh benda tersebut. Sebagai contoh pada peristiwa pegas di gambar 2.11



Gambar 2.11 Getaran pegas

(<https://rumushitung.com/2013/04/06/gaya-pegas-fisika/>)

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

### 2.2.7 Karakteristik Getaran

Getaran memiliki beberapa karakteristik yang dapat digunakan untuk membantu proses analisa kerusakan pada sebuah komponen mesin. Beberapa karakteristik yang digunakan dalam analisa tersebut adalah :

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

Gerakan satu siklus getaran adalah satu siklus periode. Periode yang dihasilkan dalam suatu interval waktu tertentu disebut frekuensi. Dalam metode analisis sinyal getaran, karakteristik getaran yang umumnya digunakan untuk menganalisis kerusakan sebuah mesin adalah frekuensi dikarenakan frekuensi ini berhubungan dengan putaran dalam sebuah komponen mesin. Setiap getaran memiliki karakter masing-masing.

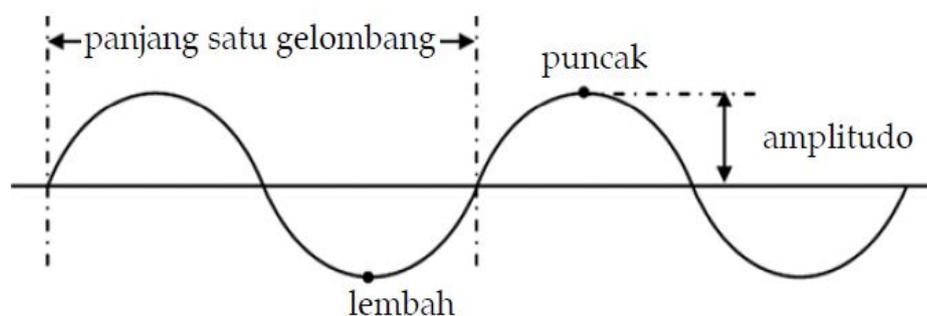
Beriku adalah jenis-jenis karakteristik getaran:

### 1. Frekuensi Getaran

Banyaknya periode getaran yang terjadi dalam satu putaran waktu disebut dengan frekuensi. Besarnya frekuensi yang timbul pada saat terjadinya vibrasi dapat mengidentifikasi jenis-jenis gangguan yang terjadi. Gangguan yang terjadi pada mesin sering menghasilkan frekuensi yang jelas atau menghasilkan contoh frekuensi yang dapat dijadikan sebagai bahan pengamatan. Dengan diketahuinya frekuensi pada saat mesin mengalami vibrasi, maka peneliti atau pengamatan secara akurat dapat dilakukan untuk mengetahui penyebab atau sumber dari permasalahan. Frekuensi biasanya ditunjukkan dalam bentuk Cycle Per Menit (CPM), yang biasanya disebut dengan istilah Hertz (dimana  $\text{Hz} = \text{CPM}$ ). Biasanya singkatan yang digunakan untuk Hertz adalah Hz.

### 2. Amplitudo Getaran

Ukuran atau besarnya sinyal vibrasi yang dihasilkan disebut dengan amplitudo. Amplitudo dari sinyal vibrasi mengidentifikasi besarnya gangguan yang terjadi disebut amplitudo. Makin tinggi amplitudo yang ditunjukkan menandakan makin besar gangguan yang terjadi, besarnya amplitudo bergantung pada tipe mesin yang ada. Pada mesin yang masih bagus dan baru, tingkat vibrasinya biasanya bersifat relative.



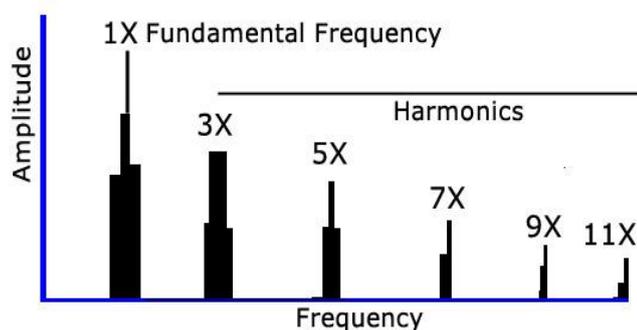
Gambar 2.12 Amplitudo getaran

(<http://fatzi16.blogspot.com/2016/10/gelombangradio-assalamualaikum-okee.html>)

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

### 3. Harmonik

Fenomena yang timbul akibat distorsi gelombang sinusoidal secara periodik yang disebabkan oleh penggunaan beban listrik yang bersifat nonlinier disebut dengan fenomena harmonik. 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 harmonik. Bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut dengan angka urutan harmonik, misalnya suatu sistem tenaga listrik memiliki frekuensi dasar 50 Hz, maka harmonik keduanya ialah 100 Hz dan seterusnya.



Gambar 2.13 Harmonik  
(Ghirdhar, 2004)

#### 2.2.8 Analisa Vibrasi

Karakteristik getaran yang dihasilkan oleh komponen-komponen mesin memiliki karakteristik yang berbeda. Analisa getaran berfungsi untuk mengetahui kondisi sebuah mesin baik itu dari segi mekanis dan operasionalnya. Metode ini dapat mendeteksi masalah yang terjadi pada mesin tersebut sebelum kerusakan yang lebih serius terjadi sehingga dapat menyebabkan berhentinya kerja dari mesin tersebut. Monitoring harus dilakukan secara kontinyu ataupun terjadwal agar hal tersebut dapat tercapai.

Analisa vibrasi ini dapat mendeteksi cacat pada bantalan, kehilangan mekanis (mechanical looseness) dan gigi-gigi yang rusak atau aus. Analisa vibrasi dapat juga mendeteksi misalignment dan ketidakseimbangan (unbalance) sebelum kondisi ini menyebabkan kerusakan pada bantalan dan poros. Analisa getaran dapat menggunakan unit perpindahan, kecepatan dan percepatan yang divisualkan sebagai waktu waveform (TWF), Fast Fourier Transform merupakan spectrum yang paling sering digunakan dari TWF tersebut. Spektrum getaran dapat mengetahui informasi frekuensi penting yang dapat menentukan rusak atau tidaknya sebuah komponen mesin.

### 2.2.9 Sinyal Getaran

Sinyal getaran adalah sinyal yang memuat informasi-informasi tertentu dari kondisi suatu komponen mesin yang merupakan besaran fisik terhadap waktu. Hasil dari perekaman getaran dari suatu komponen mesin menghasilkan informasi yang kompleks, oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan data perekaman tersebut agar indikasi kerusakan yang terjadi dapat terdeteksi dengan mudah. Data dari getaran mesin memuat informasi yang dibutuhkan untuk menentukan kondisi mesin tersebut baik berupa informasi tentang kondisi mesin, informasi letak indikasi kerusakan dan penyebab kerusakan komponen mesin tersebut.

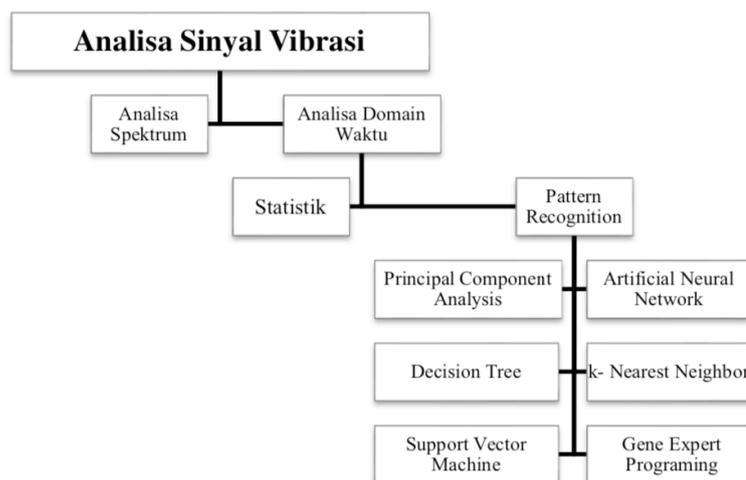
Dalam proses pengolahan data sinyal getaran yang kompleks, penguraian sinyal tersebut memiliki dua proses dasar yaitu domain waktu dan domain frekuensi. Dari kedua proses dasar inilah, dapat terlihat indikasi kerusakan pada suatu komponen mesin walaupun memang dalam suatu kondisi tidak dapat terlihat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

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

Berikut metode analisa pengolahan sinyal:

### 1. Analisa Domain Waktu (*Time Domain*)

Beberapa mode analisa sinyal *vibrasi* berbasis domain waktu yang diterapkan, diantaranya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Metode analisa sinyal *vibrasi* berbasis domain waktu

Pada dasarnya data sinyal *vibrasi* yang direkam akan menghasilkan kelompok data yang berbasis domain waktu, seperti *displacement*, *velocity*, dan *acceleration*. Fitur data sinyal *vibrasi* ini kemudian dapat diekstraksi ke dalam parameter statistik seperti *PDF*, *RMS*, standar deviasi, *mean*, dan lainnya.

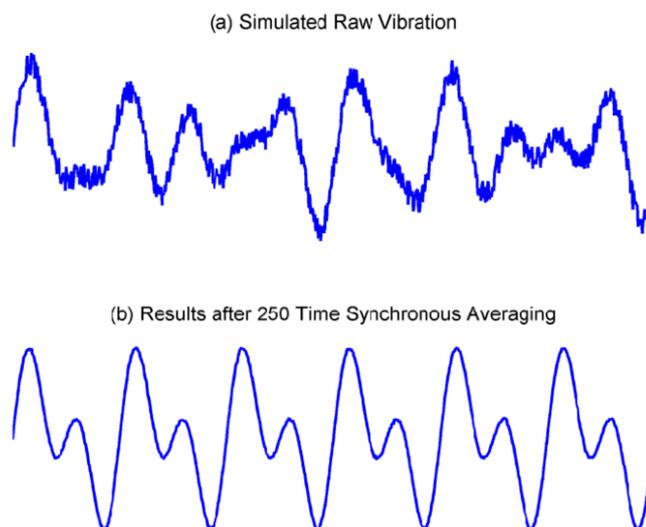
#### 2.2.10 Analisa Spektrum (*Frequency Domain*)

Analisis spektrum dilakukan dengan mentransformasikan sinyal *vibrasi* domain waktu ke dalam domain frekuensi. Umumnya transformasi dilakukan dengan menggunakan metode fast fourier transform (FFT). Pada metode ini spektrum akan memunculkan frekuensi fundamental (frekuensi dasar) dan frekuensi harmoniknya. Analisis yang dilakukan adalah dengan melihat indikasi kerusakan berdasarkan karakteristik spektrum yang sinyal frekuensi komponen seperti frekuensi impeller, shaft, bearing serta komponen lainnya.

### 2.2.11 *Time Synchronous Averaging (TSA)*

*Time Synchronous Averaging (TSA)* adalah proses yang secara fundamental berbeda dari rata-rata spektrum biasa umumnya digunakan dalam analisis FFT. Walaupun konsepnya serupa, TSA menghasilkan sinyal domain waktu dengan *noise* lebih rendah daripada hasil dengan sampel tunggal. FFT kemudian dapat dihitung dari sinyal waktu rata-rata.

TSA digunakan untuk mengurangi atau mereduksi efek *noise* yang tidak diinginkan dalam pengukuran. Apabila menggunakan TSA, blok-blok waktu rekaman dipicu oleh *tachometer* dari sinyal referensi yang diinginkan dan rata-rata terjadi dalam domain waktu. Bentuk gelombang yang sinkron dengan referensi akan cenderung diperkuat, sedangkan yang tidak sinkron akan diminimalisir. Setelah rata-rata yang cukup dalam domain waktu, FFT tunggal kemudian dilakukan dan hasilnya sering disebut dengan spektrum sinkronasi dimana kelipatan bilangan tidak bulat dari kecepatan berjalan dihilangkan seperti pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 *Time Synchronous Averaging (TSA)*  
([https://www.researchgate.net/figure/Time-synchronous-averaging\\_fig5\\_255001535](https://www.researchgate.net/figure/Time-synchronous-averaging_fig5_255001535))

### 2.2.12 Pencocokan Pola (*Pattern Recognition*)

Pattern recognition merupakan suatu metode yang bekerja mengklasifikasikan data kedalam sejumlah kelompok atau kelas (Theodoritis, 2003). Metode ini dapat digolongkan sebagai bagian dari sistem kecerdasan buatan yang dibangun untuk pengambilan keputusan. Input data yang digunakan bermacam – macam, seperti angka, gambar, suara, maupun suatu gelombang sinyal. Metode ini sangat populer digunakan pada bidang statistik.

Namun seiring perkembangan teknologi, penggunaan metode berbasis pattern recognition semakin banyak diterapkan pada beberapa bidang. Lingkup penerapan yang menggunakan metode ini diantaranya seperti pada bidang medikal, industri, elektronik, bahkan penelitian yang mencakup analisa kerusakan berbasis sinyal vibrasi. Dalam hal ini, terdapat beberapa metode berbasis pattern recognition yang biasa digunakan untuk mengklasifikasikan sinyal vibrasi. Metode – metode tersebut diantaranya seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 2.14.

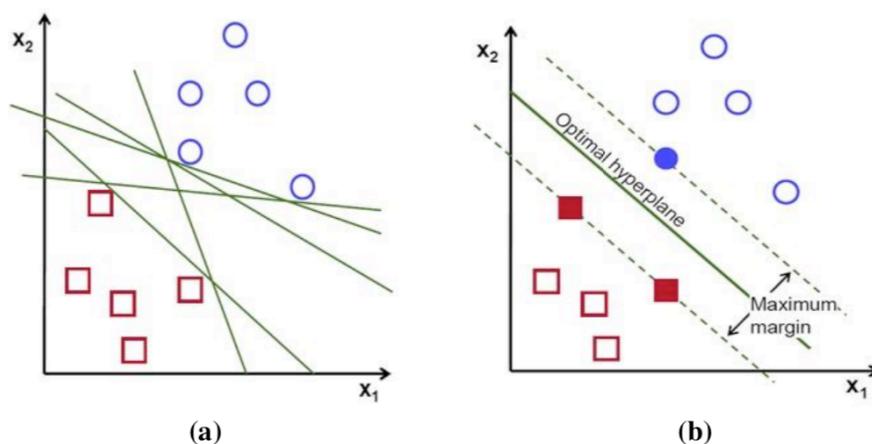
Hingga saat ini penerapan metode analisa sinyal vibrasi berbasis pattern recognition terus mengalami perkembangan. Hal ini mengakibatkan semakin bertambahnya metode baru yang berbasis pattern recognition. Kemunculan metode baru ini menandakan bahwa tingkat popularitasnya di masa mendatang akan semakin baik.

### 2.2.13 *Support Vector Machine (SVM)*

*SVM* merupakan metode yang digunakan untuk klasifikasi biner. Pertama kali *SVM* dikemukakan oleh Vapnik pada tahun 1992 dengan menggabungkan beberapa rangkaian konsep di bidang pattern recognition. Pada dasarnya, metode ini bekerja dengan menemukan hyperplane terbaik yang memisahkan kelompok data pada suatu dimensi dengan sempurna ke dalam dua kelas (Gunn, 1998).

Pada Gambar 2.16 (a) menunjukkan beberapa pattern dari dua kelas (pattern dalam kelas a ditandai dengan simbol kotak merah dan pattern dalam kelas b ditandai dengan simbol lingkaran biru) yang selanjutnya akan diproses pencarian hyperplane terbaiknya dengan memunculkan beberapa discrimination boundaries (alternatif garis pisah). Dalam menentukan hyperplane terbaik dilakukan dengan

mencari titik maksimal dan mengukur margin nya. Gambar 2.16 (b) memperlihatkan hyperplane terbaik yang terletak ditengah antara kedua kelas, dan pattern yang berada di dekat hyperplane merupakan Support Vector.



Gambar 2.16 Penentuan hyperplane terbaik yang memisahkan kedua kelas (Gunn, 1998)

Pattern dari kedua kelas tersebut diasumsikan telah terpisah sempurna oleh hyperplane dalam suatu dimensi yang didefinisikan dengan persamaan (2.1).

$$\vec{w} \cdot \vec{x} = 0 \dots\dots\dots(2.1)$$

jika  $\vec{x}_i$  pada kelas -1, maka seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.2)

$$\vec{w} \cdot \vec{x} + b \leq -1 \dots\dots\dots(2.2)$$

Sedangkan nilai  $\vec{x}_i$  pada kelas +1, ditunjukkan pada persamaan (2.3)

$$\vec{w} \cdot \vec{x} + b \geq +1 \dots\dots\dots(2.3)$$

Quadratic Programming (QP) problem merupakan usaha dalam memaksimalkan nilai jarak antara hyperplane dan titik terdekatnya dengan mencari titik minimalnya seperti persamaan (2.4).

$$\min_{\vec{w}} \tau(w) = \frac{1}{2} \|\vec{w}\|^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

$$y_i(\vec{x}_i \cdot \vec{w} + b) - 1 \geq 0, \forall_i \dots\dots\dots(2.5)$$

Permasalahan pada persamaan (2.4) dan (2.5) dapat diselesaikan dengan Teknik Lagrange Multiplier ( $\alpha_i$ ), seperti pada persamaan berikut (2.6).

$$L(\vec{w}, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|\vec{w}\|^2 - \sum_{i=1}^l \alpha_i (y_i(\vec{x}_i \cdot \vec{w} + b) - 1); (i = 1, 2, \dots, l) \dots\dots\dots(2.6)$$

Selanjutnya persamaan (2.4) dioptimalisasi dengan memaksimalkan *problem* yang hanya mengundang nilai ( $a_i$ ), seperti pada persamaan berikut (2.6).

$$\sum_{i=1}^l a_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^l a_i a_j y_i y_j x_i x_j \dots \dots \dots (2.6)$$

Sehingga, didapat persamaan (2.7) :

$$a_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, l) \sum_{i=1}^l a_i y_i = 0 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dari persamaan (2.6) menunjukkan bahwa nilai ( $a_i$ ) kebanyakan positif, dan *support vector* berkorelasi dengan nilai ( $a_i$ ) yang bernilai positif ini.

**2.2.14 Kernel Function**

*Kernel Function* adalah metode yang berfungsi untuk memetakan sejumlah data kedalam kinerja fitur dimensi yang lebih tinggi. Dengan demikian data hasil yang didapatkan tidak memerlukan evaluasi lanjut kedalam ruang kerja berdimensi tinggi, hal tersebut dapat menjadi solusi dalam keterbatasan dimensi. Dengan melakukan pendekatan *Kernel Function* hasil data dalam fitur dimensi tinggi akan ekuivalen dengan data dalam ruang input, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (2.1).

$$K(x, x') = \langle \Theta(x), \Theta(x') \rangle \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana  $x$  adalah variabel input,  $x'$  adalah “inti“ yang dipilih dari data pelatihan dan  $\Theta(\cdot)$  adalah fungsi pemetaan dari ruang input ke ruang fitur.

1. Radial Basis Function (RBF)

RBF merupakan kernel function yang paling banyak diterapkan dalam mengklasifikasi kelompok data non linear. Penerapan fungsi Gaussian pada kernel function ini seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.9).

$$K(x, x') = \exp\left(-\frac{\|x-x'\|^2}{2\sigma^2}\right) \dots \dots \dots (2.9)$$

**2.2.15 Parameter Statistik Domain Waktu**

1. *Root Mean Square (RMS)*

RMS merupakan salah satu parameter statistik domain waktu yang dapat digunakan dalam analisa kerusakan berbasis sinyal vibrasi. Nilai RMS dapat dihitung seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.10).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

Menurut Kamiel dan Ramadhan (2017), parameter ini sangat sensitif dalam menunjukkan indikasi awal terjadinya fenomena kavitasi pada pompa sentrifugal. Besar nilai RMS menunjukkan intensitas energi pada nilai vibrasi yang dihasilkan.

## 2. *Standar Deviation*

Parameter *standar deviation (SD)* digunakan untuk mengukur hubungan laju aliran fluida dan kecepatan operasi pada pompa terhadap histogramnya. Perhitungan nilai standar deviasi dapat dilihat pada persamaan (2.11).

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \dots \dots \dots (2.11)$$

Menurut Al – Hasymi (2009) nilai parameter *SD* dapat menunjukkan penyebaran data terhadap nilai rata – rata nya. Dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai parameter *SD*, maka susunan datanya akan semakin mendekati nilai rata – ratanya begitu pula sebaliknya.

## 3. *Variance*

Parameter *variance* merupakan nilai kuadrat dari nilai standar deviasi nya. Nilai *variance* menunjukkan banyaknya variasi kelompok data. Perhitungannya dapat ditunjukkan pada persamaan (2.12).

$$Variance = \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N-1} \dots \dots \dots (2.12)$$

Pada analisa kerusakan berbasis sinyal *vibrasi*, parameter ini memberikan hasil yang akurat dalam mengklasifikasikan kondisi mesin baik dan rusak (Kamiel dan Ramadhan, 2017).

## 4. *Kurtosis*

Secara matematis, perhitungan nilai *kurtosis* dijabarkan pada persamaan (2.13).

$$Kurtosis = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{(N-1)\sigma^4} \dots \dots \dots (2.13)$$

Kurtosis menyerupai variance yang mana nilai yang didapat merupakan pangkat empat dari variance dari pada pangkat dua pada variance sehingga akan membuat semua nilai menjadi positif (Ahmed dkk, 2011). Dibandingkan dengan variance nilai kurtosis menekankan nilai besar dan menekan nilai kecil pada sinyal  $x$ .

#### 5. *Minimum Value*

Menurut Sakhtivel dkk. (2010) parameter *minimum value* dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada mesin. Nilai parameter ini menunjukkan titik minimum dari nilai vibrasi yang dihasilkan. Apabila kinerja pompa menurun yang disebabkan oleh kerusakan komponen seperti bearing, seal, atau impeller, maka nilai vibrasi yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini tentunya akan berdampak terhadap kenaikan nilai minimum yang dihasilkan.

#### 6. *Crest Factor*

*Crest factor* ( $C_f$ ) merupakan salah satu parameter berbasis domain waktu yang sangat umum digunakan dalam analisa kerusakan berbasis sinyal vibrasi. Perhitungan  $C_f$  seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.14).

$$C_f = \frac{\max(|x(n)|)}{\sigma} \dots \dots \dots (2.14)$$

Nilai  $C_f$  menunjukkan ukuran ketajaman dan jumlah peak yang ada di dalam sinyal. Semakin besar nilai  $C_f$  yang dihasilkan, maka semakin banyak terdapat impuls yang berulang di dalam sinyal yang dihasilkan (Luo dkk., 2015).

#### 7. *Peak Value*

Nilai *peak value* menunjukkan indeks intensitas energi pada sinyal vibrasi, tren parameter ini terhadap laju aliran bersifat konstan. Persamaan (2.15), merupakan perhitungan dalam menentukan nilai peak.

$$Peak = \max|x(N)| \dots \dots \dots (2.15)$$

Luo, dkk. (2015) menyatakan bahwa nilai peak jauh lebih sensitif daripada nilai *RMS* sebagai indikator ketidakstabilan aliran. Hal ini

dibuktikan pada data tren nilai peak mengalami kenaikan yang lebih ekstrim dibanding *RMS*.

8. *Entropy*

Nilai *entropy* (*S*) dalam klasifikasi kerusakan menandakan adanya indikasi kerusakan serta turbulensi aliran dalam rentang kecepatan tertentu. Dengan tingginya kondisi kerusakan pada suatu mesin, maka klasifikasi menggunakan parameter ini akan menunjukkan perbedaan yang semakin besar juga. Untuk menghitung nilai *entropy*, dapat digunakan persamaan (2.16).

$$S = \sum_{i=1}^N p(x_i) \log_{10} p(x_i) \dots \dots \dots (2.16)$$

Jenis kerusakan yang terdapat pada mesin dapat diklasifikasi dengan baik, terutama dengan penggunaan parameter *entropy* yang dapat mengklasifikasikan dengan jelas terhadap kondisi baik dan rusak (Rapur dan Tiwari, 2016).

9. *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 seperti pada persamaan (2.17).

$$Mean = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x(k) \dots \dots \dots (2.17)$$

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).

10. *Skewness*

*Skewness* adalah rumus statistik yang merupakan ukuran dari variabel positif. Perhitungan persamaan *skewness* dilakukan atas dasar rata-rata distribusi, jumlah variabel dan standar deviasi distribusi. Secara matematis, rumus *skewness* seperti persamaan (2.18)

$$Skewness = \frac{\sum_i^N (x_i - \bar{X})^3}{(N-1)\sigma^3} \dots \dots \dots (2.18)$$

11. *Maximum*

Nilai parameter ini menunjukkan titik maksimal dari nilai *vibrasi* yang dihasilkan. Apabila kinerja kipas menurun yang disebabkan oleh kerusakan komponen seperti roda gigi, bearing, seal, atau blade, maka nilai *vibrasi* yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini tentunya akan berdampak terhadap kenaikan nilai maksimal yang dihasilkan.

12. *Median*

Median adalah nilai tengah dari suatu set data statistik. Secara matematis, rumus median seperti persamaan (2.19).

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \dots \dots \dots (2.19)$$