

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Deteksi kerusakan berbasis getaran telah banyak digunakan pada berbagai jenis mesin *rotary*. Metode PCA memiliki kelebihan yaitu mudah digunakan dan tidak membutuhkan operator dengan keahlian khusus. Berikut merupakan hasil penelitian yang menggunakan metode PCA untuk mendeteksi kerusakan pada mesin :

Pudyastuti, dkk. (2016) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa hasil yang didapat dari deteksi bantalan bola menggunakan proses reduksi PCA dan data diklasifikasi menggunakan metode klasifikasi *Naive Bayes* diperoleh tingkat akurasi yang mencapai 100%.

Dong, dkk. (2013) melakukan penelitian untuk mendeteksi kerusakan bantalan bola. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kerusakan bantalan bola menggunakan analisis getaran PCA. Jenis bantalan yang digunakan yaitu SKF 6205-2 RS JEM dengan kecepatan putar motor 1797 rpm. Kerusakan bantalan bola dengan kedalaman 0,18 mm, 0,36 mm, 0,53 mm, dan 0,71 mm. Data yang dikumpulkan sebanyak 48.000 sampel/detik. Sebanyak 50 data set diuji dengan masing-masing variasi kerusakan bantalan. Hasilnya yaitu sinyal getaran yang menggunakan PCA dapat mengidentifikasi akurasi kesalahan yang sangat tinggi.

Fathurrohman (2017) melakukan penelitian diagnosa kerusakan bantalan bola. Penelitian dilakukan pada rig uji bantalan dengan empat variasi kondisi bantalan bola, yaitu: cacat lintasan dalam, cacat pada bola, cacat lintasan luar, serta bantalan normal. Data sinyal didapatkan dari pengukuran sinyal getaran dengan frekuensi *sampling* 20 kHz pada putaran konstan 1400 rpm. Ekstraksi fitur dilakukan pada sinyal getaran domain waktu menggunakan beberapa fitur statistik, yaitu: *RMS*, *variance*, standar deviasi, *crest factor*, *shape factor*, *skewness*, dan *kurtosis*. Transformasi PCA diterapkan untuk memanfaatkan hasil ekstraksi dari parameter statistik

tersebut. Klasifikasi PCA diselesaikan menggunakan perangkat lunak MATLAB 2016a akurasi model pelatihan didapatkan 97,5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode klasifikasi PCA mampu digunakan untuk diagnosis kerusakan pada bantalan bola.

Guifeng (2011), melakukan penelitian tentang diagnosa kerusakan bantalan bola dengan PCA dan MSVM. Penelitian ini dilakukan pada bantalan bola seri 6205-2RS JEM SKF dengan kondisi normal dan cacat pada *inner race*. Ekstraksi fitur dilakukan dalam domain waktu dan domain frekuensi menggunakan beberapa fitur statistik, yaitu : *peak value*, *mean*, *standard deviation*, *sample variance*, *kurtosis*, *skewness*, *frekuensi*. PCA diterapkan untuk mereduksi data hasil ekstraksi fitur dan klasifikasi dilakukan dengan MSVM. Dari hasil pengujian didapat bahwa PCA dapat mereduksi data yang didapat tanpa mengurangi informasi parameter aslinya sehingga PCA dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan bantalan bola.

Pirra, dkk. (2011), melakukan penelitian mengenai deteksi kerusakan bantalan *gearbox*. Penelitian ini dilakukan pada bantalan dalam dengan variasi kerusakan 150, 250, dan 450 μm dan pada variasi putaran 18.000, 24.000, 30.000 rpm. Metode PCA diterapkan untuk mereduksi dan mengklasifikasi dengan menggunakan beberapa fitur ekstraksi statistik, yaitu *Root Mean Square* (RMS). Hasilnya, PCA dapat mendeteksi bantalan yang cacat dengan benar sesuai dengan kerusakan bantalan yang telah ditetapkan.

Wang, dkk. (2015), melakukan penelitian klasifikasi kerusakan bantalan bola. Penelitian dilakukan pada bantalan bola dengan frekuensi sampling 24 kHz dengan variasi putaran poros pada *bearing* normal (1000, 2500, 4500 rpm) dan *bearing* cacat pada lintasan luar (2000, 3000, 4500 rpm). Ekstraksi dilakukan dalam domain waktu dan PCA dilakukan untuk mereduksi dan mengklarifikasi. Dari hasil pengujian PCA sangat efektif dalam mengklasifikasikan cacat pada bantalan bola dan analisis data. Klasifikasi lebih efektif jika pada putaran yang tinggi.

Dari beberapa penelitian tersebut maka dapat disimpulkan bahwa analisis deteksi dini menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) dapat mereduksi dan mengklasifikasi kerusakan bantalan bola. Pada umumnya input yang digunakan oleh PCA adalah parameter statistik. Banyak penelitian yang memilih variasi parameter statistik tersebut. Beberapa diantaranya ditunjukkan pada tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Parameter Fitur Ekstraksi Statistik

Referensi	Objek	Tipe Kerusakan	Teknik	Fitur	Ekstraksi
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Malhi dan Gao (2004)	Bantalan bola	Deteksi pada <i>inner race</i> , <i>outer race</i>	Domain waktu, domain frekuensi, <i>wavelet</i>	Minimal, RMS, <i>standard deviation</i> , CRF, IMF, <i>kurtosis</i>	<i>PCA</i> , <i>neural network</i>
Shuang dan Meng (2007)	<i>Rolling bearing</i>	Cacat bantalan pada <i>inner race</i> , <i>outer race</i>	Domain waktu	<i>Peak value</i> , <i>mean</i> , <i>standard deviation</i> , <i>sample variance</i> , <i>kurtosis</i> , <i>skewness</i>	<i>PCA</i> , <i>SVM</i>
Sakhtivel, dkk. (2010)	Sentrifugal	Bantalan, <i>impeller</i> , dan kavitasi	Domain waktu	<i>deviation</i> , <i>standard mean</i> , <i>median</i> , <i>variance</i> , <i>skewness</i> , <i>kurtosis</i> , <i>range</i> , <i>minimum</i> , <i>maximum</i> , <i>sum</i>	C4.5 <i>decision bayes net</i> dan <i>naive bayes</i>
Guifeng, dkk. (2011)	Bantalan bola	Deteksi <i>inner race</i> , <i>outer race</i> , dan elemen bola	Analisis domain time-frekuensi	<i>Peak value</i> , <i>mean</i> , <i>standard deviation</i> , <i>sample variance</i> , <i>kurtosi</i> ,	<i>PCA</i> , <i>multi-class SVM</i> , FFT

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
				<i>skewness, frequency 1</i>	
Pirra, dkk. (2011)	<i>Roll bearing</i>	Kerusakan <i>inner race, elemen roll</i>	Domain waktu	<i>Absolute mean, RMS, peak value</i>	<i>PCA</i>
Xi, dkk. (2013)	Bantalan bola	Deteksi pada elemen bola, <i>inner race, outer race</i>	Domain waktu dan domain waktu-frekuensi	<i>Mean value, kurtosis, wavelet packet</i>	<i>PCA, neural network</i>
Pudyastuti, dkk (2016)	Bantalan bola	Deteksi cacat <i>inner race, outer race</i> dan elemen bola	Domain waktu	<i>Mean, Root Mean Square (RMS) Shape Factor (SP) Skewness (c3), Curtosis (c4), Crest Factor, Estimation, Error, Histogram Upper, Histogram Root Mean Square Frequency (RMSF), Frequency Center (FC), Root Varian Frequency (RVF), Auto Regression (Ar) 2, Ar 3, Ar 4, Ar 5, Ar 6, Ar 7, Ar 8, Ar 9</i>	<i>PCA, wavelet, naïve bayes</i>

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Yao, dkk. (2017)	Cacat pada bantalan	<i>Inner race, outer race</i>	Domain waktu dan domain frekuensi	<i>Variance, kurtosis, mean, standard deviation, skewness, peak, median, RMS, crest faktor, K factor</i>	<i>PCA, wavelet transform, FFT, neural network</i>

Dari tabel 2.1 terdapat banyak fitur ekstraksi statistik yang dapat diterapkan dalam metode PCA. Dari penelitian sebelumnya fitur ekstraksi statistik yang sering digunakan dan terbukti dapat digunakan secara efektif yaitu : *Standard Deviation, Root Mean Square (RMS), kurtosis, skewness, Peak Value, Variance, Crest Factor.*

2.2. Dasar Teori

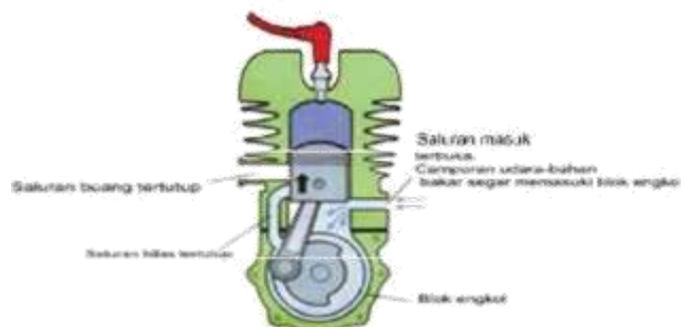
2.2.1. Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu mesin kalor atau mesin konversi energi yang merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Motor bakar ada dua macam yaitu motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan motor pembakaran luar (*external combustion engine*). Motor pembakaran dalam adalah motor yang sistem pembakarannya terjadi didalam mesin itu sendiri dan hasil pembakarannya diubah menjadi tenaga mekanik contohnya; mesin diesel, mesin bensin. Motor pembakaran luar adalah motor yang sistem pembakarannya terjadi di luar sistem (silinder). Dari ruang pembakaran, energi panas dialirkan ke konstruksi mesin melalui media penghubung contohnya: turbin uap dan turbin nuklir.

2.2.2. Motor Bakar 2 Langkah

Pada motor bensin 2 langkah yaitu satu putaran engkol dan satu kali kerja. Proses masuknya bahan bakar berlangsung dibawah torak dan diatas torak melalui saluran bilas. Tekanan pembakaran diatas torak tidak seluruhnya digunakan untuk menggerakkan poros engkol, tetapi menggerakkan sebagian digunakan untuk menekan bahan bakar yang ada didalam crankcase untuk tujuan pembilasan.

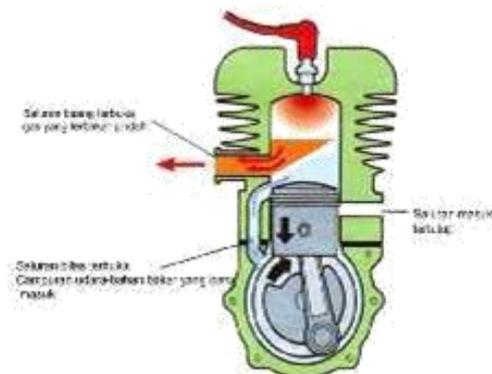
1) Langkah Hisap dan Kompresi



Gambar 2.1 Langkah Hisap dan Kompresi (Jaluis Jama dan Wagito 2008)

Piston akan bergerak menuju (Titik Mati Atas) TMA ruang engkol akan membesar dan menjadikan ruang tersebut hampa, katup masuk terbuka. Dengan adanya perbedaan tekanan ini, maka udara diluar dapat mengalir masuk dan bercampur dengan bahan bakar dikarburator yang selanjutnya masuk ke ruang engkol (langkah ini disebut langkah hisap). Disisi lain katup masuk dan katup buang tertutup piston, sehingga terjadi proses kompresi. Dengan gerakan keatas piston mendesak gas baru yang telah masuk sebelumnya, dan membuat tekanan gas meningkat. Sebelum piston sampai ke TMA busi akan mengeluarkan percikan bunga api dan membakar campuran gas yang disebut dengan langkah kompresi.

2) Langkah Kerja dan Buang



Gambar 2.2 Langkah Usaha dan Buang
(Julius Jama dan Wagino 2008)

Pada saat piston sampai TMA maka campuran gas baru yang dikompresikan kemudian dibakar oleh busi. Gas yang terbakar akan mengakibatkan ledakan untuk menghasilkan tenaga menekan piston untuk memutar poros engkol melalui *connecting rod* pada saat menuju ke (Titik Mati Bawah) TMB (langkah kerja). Setelah piston bergerak ke TMB katupakan terbuka oleh kepala piston, gas sisa pembakaran keluar melalui saluran buang (langkah buang). Selanjutnya saluran bilas mulai membuka oleh tepi piston. Ketika

piston membuka saluran bilas langkah pembuangan telah dimulai. Gas baru yang berada dibawah piston terdesak, campuran yang dikompesikan tersebut mengalir melalui saluran bilas menuju puncak ruang bakar seiring membantu gas sisa hasil pembakaran keluar.

2.2.3. Sepeda Motor Vespa



Gambar 2.3 Sepeda Motor Vespa

Vespa adalah salah satu kendaraan bermotor roda dua, yang diproduksi di negara Italy oleh Piaggio bermerkkan “VESPA” yang dalam bahasa indonesia artinya TAWON. Pada tahun 1946 , prototipe MP6 ini mulai diproduksi masal di pabrik Piaggio di Pontedera, Italia. Pada Akhir 1949, sudah di produksi 35.000 unit dan dalam 10 tahun telah memproduksi 1 Juta unit dan pada pertengahan tahun 1950.

2.2.4. Komponen Mesin Vespa

1. Poros Engkol (*Crank Shaft*)

Poros engkol vespa berfungsi untuk mengubah gerak bolak-balik (*reciprocating*) dari piston menjadi gerak putar dan mengatur timing intake bahan bakar atau udara ke *crankcase*. Pada bagian crankcase terdapat sebuah lubang intake tepat berada dibawah karburator atau yang disebut lubang hisap. *Timing intake* bekerja sesuai putaran poros engkol yang berbentuk coakan. pada saat lubang intake terbuka menciptakan kevakuman pada ruang *crankcase* sehingga bahan

bakar mengalir kedalam *crankcase* dan selanjutnya dialirkan ke ruang bakar melalui lubang inlet. Beban yang diterima poros engkol adalah beban puntir (torsi), lengkung (bengkok) dan sentrifugal.



Gambar 2.4 Poros engkol

2. Silinder

Silinder merupakan tempat bergerak piston. Silinder ini dilapisi bahan khusus agar tidak cepat aus akibat gesekan. Meskipun telah mendapat pelumasan yang mencukupi tetapi keausan lubang silinder tetap tak dapat dihindari.



Gambar 2.5 Silinder

3. Piston

Piston berfungsi untuk melakukan langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha, dan langkah buang. Piston juga berfungsi sebagai penerima tekanan hasil pembakaran dan meneruskan tekanan untuk memutar poros engkol.



Gambar 2.6 Piston

4. Head Silinder

Head Silinder berfungsi sebagai penutup ujung silinder, tempat kedudukan busi.



Gambar 2.7 *Head silinder*

5. Bantalan poros engkol (*Bearing*)

Bantalan pada poros engkol menggunakan jenis Ball bearing dan berfungsi untuk menjadi tumpuan utama ketika poros engkol berputar.



Gambar 2.8 Bantalan poros engkol

6. Blok Silinder (*Crankcase*)

Blok silinder berfungsi sebagai tempat silinder dan poros engkol bertumpu dan juga sebagai tempat penyimpanan minyak pelumas.



Gambar 2.9 Blok silinder

7. Busi (*Spark Plug*)

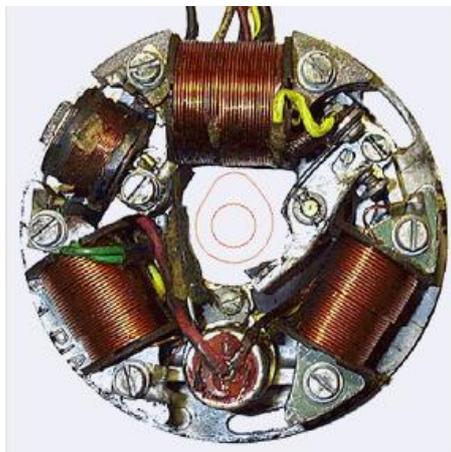
Busi berfungsi mengeluarkan arus listrik tegangan tinggi menjadi loncatan bunga api melalui elektrodanya. Loncatan bunga api terjadi disebabkan adanya perbedaan tegangan diantara kedua kutub elektrodabusi (± 10.000 volt).



Gambar 2.10 Busi

8. Spul Pengapian

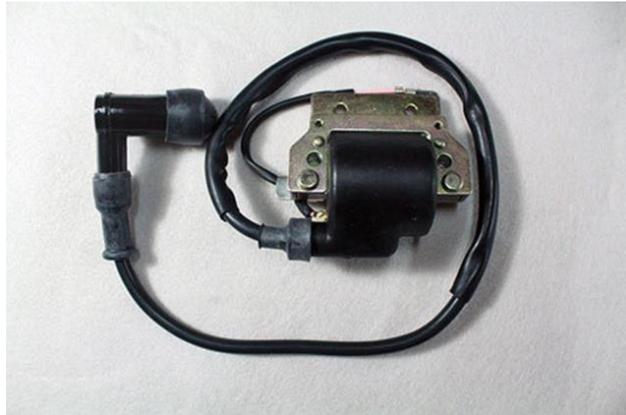
Spul pengapian berfungsi menghasilkan aliran listrik pada kumparan medan magnet. Aliran listrik ini kemudian dikirimkan ke coil untuk dinaikkan tegangannya. Besar kecil percikan api yang keluar dari spul ini tergantung juga dengan magnet. Lemahnya medan magnet akan membuat pembakaran kurang sempurna.



Gambar 2.11 Spul pengapian

9. *Coil* (Kumparan pengapian)

Coil berfungsi untuk mengubah tegangan primer dari spul pengapian menjadi tegangan sekunder sebesar 15.000–30.000 volt yang cukup kuat untuk membantu pengapian motor. Tegangan tersebut disalurkan ke busi untuk memercikan api diruang bakar.



Gambar 2.12 *Coil*

10. Kipas Pendingin

Kipas berfungsi untuk mendinginkan silinder dan kepala silinder dengan cara mengalirkan udara. Pada teknik pendinginan jenis ini, udara masuk dan mengalir melalui rusuk pendingin mesin yang dilakukan oleh kipas blower.



Gambar 2.13 Kipas pendingin

11. Karburator

Karburator berfungsi mengatur suplai bahan bakar ke ruang bakar.



Gambar 2.14 Karburator

Karburator merupakan bagian terpenting dari sepeda motor. Hampir semua sepeda motor menggunakan karburator karena umumnya sepeda motor menggunakan bensin sebagai bahan bakar.

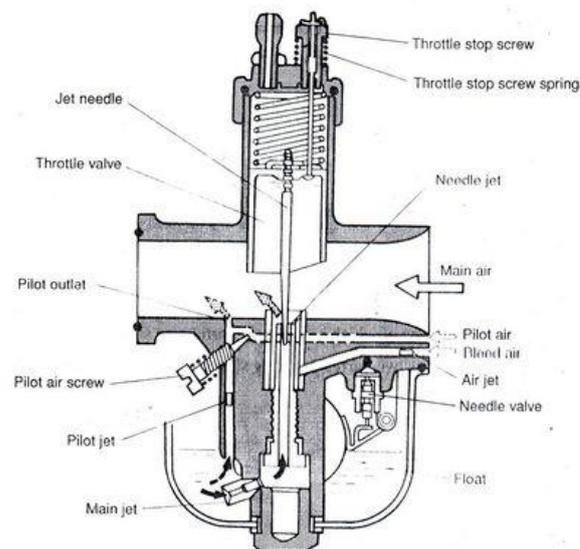
Karena itu karburator yang baik harus mampu membuat gas yang sempurna dan sesuai dengan kebutuhan mesin. Untuk mendapatkan pembakaran sempurna di butuhkan perbandingan mesin dan udara dalam pencampuran gas, menurut teoritis adalah 1:15 artinya 1g bensin di campur dengan 15g udara. Apabila perbandingan campurannya lebih dari 1:15 misal 1:18 dikatakan campuran miskin 1:12 di katakan campuran kaya.

a) Fungsi Karburator

Fungsi karburator secara umum ada dua yakni untuk mengatur kecepatan rotasi mesin dalam satuan *rotary per minute* (rpm) dan mencampur udara dan bahan bakar sesuai dengan perbandingan. Karburator memiliki komponen berupa katup gas yang tersambung ke stang untuk kita tarik ulur agar rpm mesin bisa berubah. Selain itu, karburator juga harus mampu menyuplai bensin dengan perbandingan yang ideal pada segala rpm.

b) Komponen Karburator

Komponen didalam karburator motor beserta fungsinya :



Gambar 2.15 Komponen Karburator

Pada ilustrasi diatas bisa kita lihat konstruksi karburator pada sepeda motor. Fungsi dari komponen diatas adalah sebagai berikut :

1. Jarum pelampung

Jarum pelampung adalah sebuah jarum berbentuk lancip seperti katup yang menekan sebuah lubang. Lubang yang ditekan adalah lubang penyalur bensin, sehingga ketika lubang ini tertekan katup otomatis suplai bensin akan terhenti. Hal ini bertujuan untuk mengatur volume didalam ruang pelampung agar tidak berlebihan, sehingga campuran yang keluar menuju intake manifold bisa berlangsung normal.

2. Pelampung

Pelampung adalah sebuah komponen yang terbuat dari plastik ringan yang mengambang pada zat cair khususnya bensin. Pelampung akan menggerakkan ujung jarum pelampung agar tertutup. Mekanismenya ketika

volume bensin diruang pelampung meningkat, otomatis pelampung juga semakin naik. Kenaikan pelampung akan menggerakkan jarum pelampung sehingga menutup aliran bensin. Ini akan membuat suplai bensin terhenti hingga volume bensin diruang pelampung berkurang.

3. *Main Jet*

Main jet adalah saluran utama didalam karburator motor yang menghubungkan bensin didalam ruang pelampung ke dalam venturi di tengah saluran udara ke intake. Disinal bensin akan tersuplai ke luar.

4. *Needle Jet*

Needle jet adalah jarum berbentuk tirus dengan ujung lancip, jarum ini dipakai untuk mengatur volume bensin yang keluar dari main jet. Jarum ini digerakan oleh skep atau katup gas, di mana gerakan naik turun skep akan menggerakkan needle jet untuk bergerak naik turun. Sesuai dengan bentuknya, gerakan naik turun needle jet akan mempengaruhi besar kecilnya ujung saluran main jet.

5. Skep/Katup Gas

Katup gas pada motor bukan berbentuk koin seperti karburator mobil tapi berbentuk tabung yang bergerak naik turun. Gerakan naik turun ini membuat diameter venturi bervariasi, itulah sebabnya karburator pada motor masuk ke dalam tipe *Variable Ventury* kecepatan konstan. Saat posisi skep ada dibawah maka aliran udara akan terhambat sehingga menyebabkan rpm mesin menjadi rendah, ketika posisi katup gas ini dinaikan maka saluran udara semakin membesar sehingga rpm mesin semakin naik.

6. Pegas katup gas

Pegas ini terletak dibagian atas karburator tepat pada tutup pengatur katup gas. Fungsi pegas ini adalah untuk menjaga katup tetap tertutup ketika kita tidak menarik pedal gas dan membalikan posisi katup ketika kita melakukan deselerasi.

7. *Pilot Jet*

Pilot jet merupakan saluran yang menghubungkan bensin pada ruang pelampung dengan ruang setelah katup gas sebelum *intake manifold*. Fungsi *pilot jet* adalah untuk mengakirkan bensin ketika mesin bekerja pada *idle rpm*.

8. *Air Pilot*

Saluran ini terletak memanjang dari ruang sebelum katup gas menuju ruang setelah katup gas. Output dari *air pilot* ini akan menyatu dengan saluran *pilot jet*, sehingga ketika ada aliran udara melewati *air jet* secara otomatis bensin akan tercampur didalam saluran ini dan material yang keluar dari saluran *pilot jet* setelah katup sudah berbentuk campuran udara bahan bakar. Fungsi air pilot adalah menyuplai udara ketika katup gas tertutup rapat atau saat *idle*.

9. *Choke Valve*

Komponen ini dipakai untuk memperkecil volume udara yang masuk ke mesin agar hisapan mesin mengangkat bahan bakar. Dengan demikian, campuran bensin dan bahan bakar menjadi kaya. Sistem *choke* ini bekerja dengan menutup saluran udara yang mengarah ke karburator menggunakan katup. Sistem ini dipakai ketika kondisi mesin dingin, di mana banyak bahan bakar yang mengendap di

dinding intake dan menyebabkan sedikit bensin yang masuk ke ruang bakar.

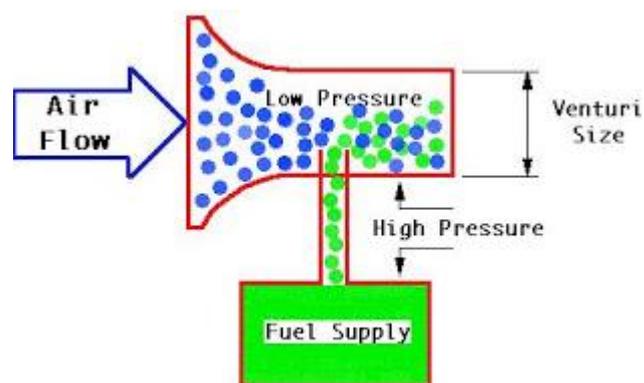
10. Mangkuk karburator

Mangkuk ini berfungsi untuk menampung bensin yang akan disuplai ke *venturi*. Selain itu, mangkok ini juga dijadikan *cover* pelindung komponen karbu seperti pelampung dan *main jet*. Mangkuk karbu diharuskan bisa menampung bensin tanpa bocor dengan tekanan yang stabil.

11. Sekrup penyetel

Ada dua buah sekrup penyetel pada karburator, yang pertama sekrup pengatur udara *pilot jet*. Ini dipakai untuk menentukan jumlah udara yang masuk saat idle tanpa memakai sistem *choke*. Sekrup kedua yakni sekrup gas yang dipakai untuk mengatur idle rpm mesin.

c) Cara Kerja Karburator



Gambar 2.16 Cara kerja karburator (*goecities.ws*)

1) Saat Mesin *Idle*

Ketika mesin berjalan pada rpm idle atau kondisi *throttle* gas masih tertutup, akan ada aliran udara dari filter masuk ke *idle* udara *hole*. Disisi lain, hisapan dari piston

juga membuat bahan bakar dari ruang pelampung terhisap ke dalam *pilot jet*. Udara dari *idle* udara *hole* akan bertemu dengan bensin pada saluran *pilot jet*. Sehingga material yang keluar dari *pilot jet* sudah berupa AFM (udara-fuel-mixture). Ujung dari *pilot jet* ada pada *intake manifold*, sehingga AFM keluar langsung menuju intake manifold. Pada rpm *idle* maka aliran udara bisa digambarkan sebagai berikut :

- Filter udara - *Idle air hole* - *Pilot jet* - *Intake manifold*

Sementara aliran bensin saat rpm *idle* digambarkan sebagai berikut :

- *Fuel tank* - *Fuel filter* - Ruang pelampung karburator - *Pilot jet* - *Intake manifold*.

Jika diaktifkan sistem *choke* dengan menarik tuas *choke* maka udara yang masuk ke *pilot jet* akan tertahan (*choke valve* akan menutup sebagian saluran udara dari filter udara) sehingga hisapan piston lebih banyak mengangkat bensin dari ruang pelampung, hal itu membuat campuran bensin menjadi lebih kaya.

2) Saat gas ditarik

Ketika *handle* gas ditarik, otomatis *throttle* gas terangkat. Sehingga lebar venturi menjadi lebih besar. Ini membuat aliran udara dari filter menuju *intake manifold* menjadi lebih cepat, sehingga langkah piston menjadi lebih cepat dan rpm menjadi lebih cepat pula. Saat *idle* rpm bensin disuplai melalui *pilot jet*, maka saat rpm tinggi bensin disuplai dari *main jet*. Artinya, dalam karburator sepeda motor terdapat dua buah saluran *fuel*. Pertama *pilot*

jet dan yang kedua *main jet*, yang merupakan saluran utama di mana ujung *main jet* ada didalam *venturi*.

Ketika *throttle* gas terangkat, maka aliran udara pada *venturi* akan lebih cepat. Sesuai hukum Bernoulli, ketika aliran udara lebih cepat maka tekanannya menurun. Penurunan tekanan didalam *venturi* akan menghisap bensin dari ruang pelampung melalui *main jet*. Jika digambarkan, maka aliran udaranya :

- Filter udara - *Venturi* - *Intake manifold*

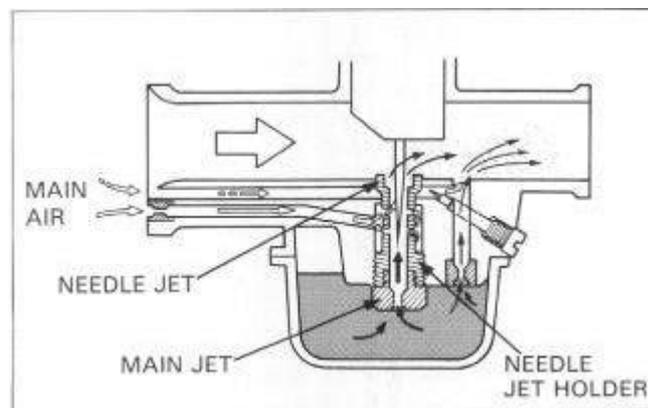
Sementara aliran *fuel* :

- *Fuel tank* - *Fuel filter* - Ruang pelampung - *Main jet* - *Venturi* - *Intake manifold*.

Saat *idle fuel* dan udara tercampur didalam *pilot jet* sementara ketika rpm dinaikan *fuel* dan udara tercampur didalam *venturi*. Itu dikarenakan ada satu komponen tambahan bernama jarum skep. Jarum ini berbentuk tirus, di mana semakin runcing kebawah. Ketika *throttle* gas tertutup, jarum ini akan menutup saluran *main jet*. Hal itulah yang membuat bensin tidak keluar dari *main jet* saat *idle*. Bensin tidak keluar dari *pilot jet* saat rpm tinggi, karena tidak ada hisapan didalam *pilot jet*. Ketika *idle* rpm, *venturi* tertutup sehingga hisapan piston bisa menghisap material dari dalam *pilot jet*. Tapi ketika *venturi* sudah terbuka, maka tidak ada hisapan didalam *pilot jet* sehingga bensin tidak keluar dari *pilot jet* saat *high rpm*.

d) Cara main jet menyuplai bensin dengan perbandingan yang pas :

Desain *needle jet* adalah seperti jarum dengan ujung lancip dan bentuk tirus. Bentuk tirus ini membuat *needle valve* bisa menentukan kerapatan suatu saluran, dalam sistem karbu ujung lancip *needle* diletakan mengarah ke *main jet*. Sehingga semakin terangkat *needle jet* ini semakin kecil juga diameter jarum yang berada pada ujung *main jet* hal tersebut membuat suplai bensin juga bertambah seiring ditariknya kabel gas.



Gambar 2.17 Cara main jet menyuplai bahan bakar
(*steinborn.org*)

2.2.5. Kesalahan Campuran Bahan Bakar

a. Campuran miskin bahan bakar

Campuran antara bahan bakar dengan udara yang campurannya lebih banyak udara daripada bahan bakar. Secara teoritis perbandingan campuran miskin bahan bakar adalah 1g bahan bakar berbanding lebih dari 17g udara (1: >17). Adapun penyebabnya adalah :

- 1) Saluran bahan bakar pada karburator kotor atau tersumbat
- 2) Setelan angin pada karburator terlalu besar
- 3) Adanya kebocoran saluran angin pada karburator

Akibat dari campuran miskin bahan bakar adalah sebagai berikut :

- 1) Mesin susah hidup
- 2) Tenaga motor berkurang pada rpm tinggi
- 3) Suara knalpot lebih bising
- 4) Getaran mesin menjadi lebih keras

b. Campuran kaya bahan bakar

Campuran antara bahan bakar dengan udara yang campurannya lebih banyak bahan bakar daripada udara. Secara teoritis perbandingan campuran kaya bahan bakar adalah 1g bahan bakar berbanding kurang dari 12g udara ($1: <12$). Adapun penyebabnya adalah :

- 1) Saluran masuk bahan bakar pada karburator tidak tertutup rapat sehingga terjadi kebocoran.
- 2) Setelan pelampung (*floating*) pada karburator tidak maksimal, terlalu condong kebawah.
- 3) Saluran udara pada karburator kotor atau tersumbat sehingga udara yang mengalir tidak optimal.

Akibat dari campuran kaya bahan bakar adalah sebagai berikut :

- 1) Penggunaan bahan bakar yang lebih boros
- 2) Mesin tersendat-sendat
- 3) Mesin susah hidup
- 4) Akselerasi lambat
- 5) Knalpot mengeluarkan asap hitam dan berbau bensin
- 6) Busi yang menjadi basah
- 7) Karburator banjir bahan bakar

2.2.6. Perawatan Berbasis Getaran

Suatu mesin dikatakan ideal atau sempurna pada prinsipnya tidak akan menimbulkan getaran sama sekali, karena seluruh energi yang dihasilkan akan diubah menjadi kerja. Sebagian energi salah satunya yaitu terbuang menjadi sebuah getaran. Getaran timbul akibat adanya gaya melalui yang elemen-elemen mesin, di mana elemen-elemen tersebut saling beraksi satu sama lain. Cacat atau keausan dan deformasi akan mengubah karakteristik dinamik sistem dan akan meningkatkan energi getaran. Pada dahulu metode yang digunakan untuk mengetahui kerusakan sebuah elemen mesin yaitu melalui mendengarkan suara mesin dan menyentuh atau meraba (*hearing and touching*), akan tetapi metode klasik tersebut tidak lagi andal untuk saat ini, karena dua faktor berikut ini: (Scheffer dan Girdhar, 2004).

1. Pada jaman moderen mesin dirancang agar berjalan secara otomatis, sehingga interaksi antara manusia (operator) dan mesin tidak lagi efektif dan ekonomis.
2. Mesin modern beroperasi pada putaran dengan kecepatan tinggi, sehingga getaran yang timbul banyak yang mempunyai frekuensi tinggi dan tidak dapat dibedakan jika hanya menggunakan indra manusia saja, sehingga diperlukan alat untuk mendeteksi dan mengukurnya.

2.2.7 Getaran

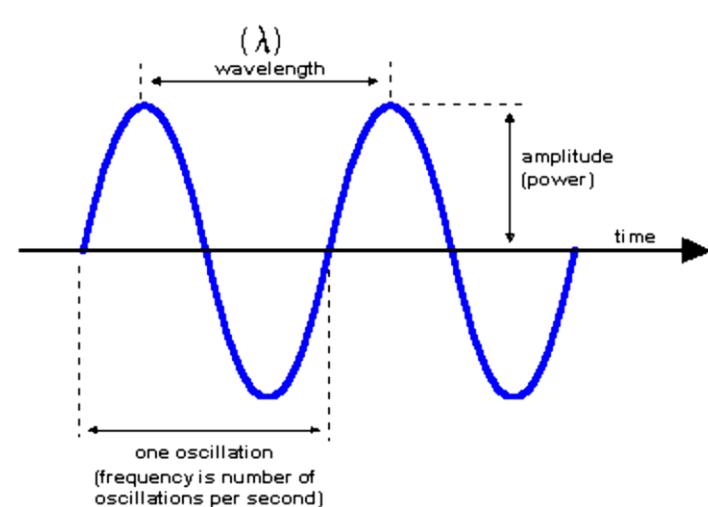
Getaran adalah gerakan bolak-balik (osilasi) dari suatu sistem, gerakan tersebut dapat berupa gerakan yang harmonis sederhana dapat pula kompleks. Setiap mesin umumnya menghasilkan getaran ketika beroperasi, sehingga perancangan suatu mesin selalu memiliki pertimbangan yang dilandasi sifat osilasinya.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

a) Amplitudo

Amplitudo adalah jarak terjauh simpangan dari titik keseimbangan. Semakin tinggi nilai amplitudo artinya semakin besar getaran yang terjadi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.18, jika getaran pada suatu mesin tinggi maka kemungkinan kerusakan juga semakin parah, karena umumnya kondisi mesin yang masih bagus tingkat getarannya relatif rendah.

b) 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 2.18 menunjukkan nilai frekuensi pada sebuah getaran.



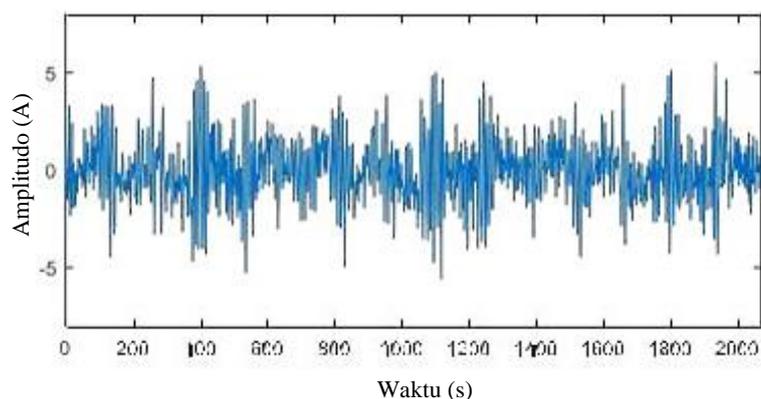
Gambar 2.18 Amplitudo dan Frekuensi
(jsati.com)

2.2.8 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*).

a) Domain Waktu

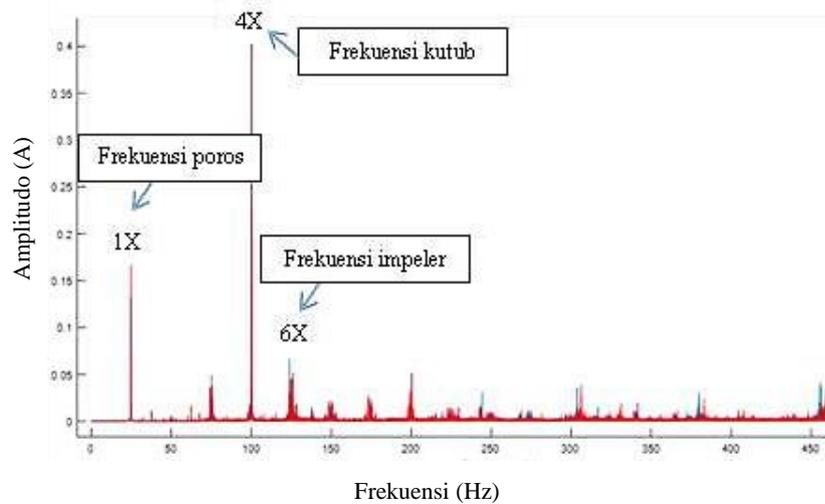
Domain waktu dari sinyal vibrasi merupakan data rekaman yang terkandung dalam sinyal seperti halnya sinyal getaran dan biasanya didominasi oleh elemen-elemen yang menimbulkan suara berisik (Thobiani et al. 2011). Berdasarkan pada Gambar 2.19 merupakan tipikal plotting data getaran pada domain waktu yang biasanya berupa nilai dari ketinggian gelombang (amplitudo) terhadap waktu atau kadang juga disebut nilai puncak (*peak*) terhadap waktu.



Gambar 2.19 Plot Getaran Domain Waktu
(Syafutra, 2017)

b) 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).



Gambar 2.20 Plot Getaran Domain Frekuensi
(Syafutra, 2017)

Pada gambar 2.20 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.

2.2.9 Parameter Statistik Domain Waktu

1. *Root mean square* (RMS)

Seperti yang telah disebutkan pada kajian pustaka, nilai dari *Root Mean Square* (RMS) dari sinyal getaran dapat digunakan sebagai parameter dari machine condition monitoring. Nilai pada RMS merupakan sebuah indikator dari level energi dari sinyal getaran yang dirumuskan pada persamaan.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N x_j^2}{N}} \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Variance

Dalam bidang statistika, *variance* merupakan nilai kuadrat dari standar deviasi yang dirumuskan pada persamaan :

$$\text{Var} (X) = \sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} (x - \bar{x})^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

3. Standar deviasi

Ketika pengukuran data getaran dilakukan, hubungan antara variasi kecepatan aliran maupun kecepatan operasi terhadap histogram dapat dihasilkan lebih akurat dengan menggunakan kenaikan parameter standar deviasi. Adapun standar deviasi dirumuskan persamaan :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x - \bar{x})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Di mana N merupakan jumlah dari titik sinyal data, \bar{x} adalah rata-rata dari nilai total sinyal dan x_j merupakan kolom data.

4. 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.

$$C_f = \frac{\max(|x(n)|)}{\sigma} \dots\dots\dots (2.4)$$

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 menyiratkan bahwa ada setidaknya satu puncak bernilai tinggi positif maupun *negative* pada sinyal.

5. Mean

Nilai *mean* merupakan rata-rata dari besaran nilai terhadap objek. Nilai parameter ini memiliki perhitungan dengan cara membagi jumlah nilai data dengan banyaknya data. Parameter ini dapat memberikan hasil klasifikasi yang baik terhadap perbedaan kondisi pada suatu mesin (Rapur dan Tiwari, 2016).

$$Mean = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x(k) \dots\dots\dots (2.5)$$

6. Kurtosis

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. Dibandingkan dengan *variance* nilai kurtosis menekankan nilai besar dan menekan nilai kecil pada sinyal x.

$$K = \frac{\sum_{j=1}^N (x-\bar{x})^4}{(\sigma^2)^2} - 3 \dots\dots\dots (2.6)$$

7. 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. Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai puncak, salah satunya pada persamaan:

$$peak\ value = \frac{\max(x) - \min(x)}{2} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.2.10 Principal Component Analysis (PCA)

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).

2.2.11 Perhitungan PCA

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:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.8)$$

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,

$$\mu_{w_j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}, \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\sigma_{w_j} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \mu_{w_j})^2}, \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_{w_j}}{\sigma_{w_j}}, \dots \dots \dots (2.11)$$

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

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

$$\mathbf{C}_x = \frac{1}{m-1} \mathbf{X}^T \mathbf{X} \dots \dots \dots (2.12)$$

yang dapat ditulis sebagai berikut, melalui persamaan (2.13)

$$\mathbf{C}_x = \frac{1}{m-1} \begin{pmatrix} \mathbf{w}_1^T \mathbf{w}_1 & \mathbf{w}_1^T \mathbf{w}_2 & \dots & \mathbf{w}_1^T \mathbf{w}_j & \dots & \mathbf{w}_1^T \mathbf{w}_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_1 & \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_2 & \dots & \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_j & \dots & \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{w}_n^T \mathbf{w}_1 & \mathbf{w}_n^T \mathbf{w}_2 & \dots & \mathbf{w}_n^T \mathbf{w}_j & \dots & \mathbf{w}_n^T \mathbf{w}_n \end{pmatrix}$$

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 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,

$$\sigma_{\mathbf{w}_j}^2 = \frac{1}{m-1} \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_j, \dots\dots\dots (2.14)$$

yang dapat dinyatakan sebagai berikut,

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

sedangkan *covariance* dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$\sigma_{\mathbf{w}_j, \mathbf{w}_k} = \frac{1}{m-1} \mathbf{w}_j^T \mathbf{w}_k, j \neq k, \dots\dots\dots (2.16)$$

dapat ditulis sebagai berikut,

$$\sigma_{\mathbf{w}_j, \mathbf{w}_k} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m X_{ij} X_{ik} \dots\dots\dots (2.17)$$

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 terdiri dari dimensi ruang dengan n basis basis ortonormal. PCA berusaha mengubah vektor 1 menjadi basis ortonormal yang berbeda yang dapat mengungkapkan fitur tersembunyi.

PCA mendekomposisi matriks ke dalam matriks skor dan matriks *loading* melalui dekomposisi nilai singular (SVD) sebagai berikut,

$$\mathbf{X} = \mathbf{t}_1 \mathbf{p}_1^T + \mathbf{t}_2 \mathbf{p}_2^T + \dots + \mathbf{t}_n \mathbf{p}_n^T, \dots\dots\dots (2.18)$$

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 *PC*. Vektor $\mathbf{t}_i \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ 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,

$$\mathbf{P} = (\mathbf{p}_1 \cdots \mathbf{p}_2 \mathbf{p}_j \cdots \mathbf{p}_n), \dots \dots \dots (2.19)$$

dan memenuhi properti eigenvalue-eigenvector,

$$\mathbf{C}_x \mathbf{P} = \mathbf{P} \Lambda \dots \dots \dots (2.20)$$

$$\text{dimana } \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_n \end{bmatrix} (\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0) \quad (2.21)$$

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,

$$\mathbf{T} = \mathbf{X} \mathbf{P} \dots \dots \dots (2.22)$$

Lebih detailnya sebagai berikut, dengan persamaan (2.23)

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

Setiap kolom matriks kemudian dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$\mathbf{t}_j = \mathbf{X} \mathbf{p}_j, \dots \dots \dots (2.24)$$

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

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

atau bisa ditulis sebagai berikut,

$$\sigma_{\mathbf{t}_j}^2 = \mathbf{p}_j^T \mathbf{C}_X \mathbf{p}_j = \lambda_j \dots\dots\dots (2.26)$$

sementara kovariannya nol, karenanya,

$$\sigma_{\mathbf{t}_j \mathbf{t}_k}^2 = \frac{1}{m-1} \mathbf{t}_j^T \mathbf{t}_k = \frac{1}{m-1} (\mathbf{X}\mathbf{p}_j)^T (\mathbf{X}\mathbf{p}_k), \dots\dots\dots (2.27)$$

dan menjadi,

$$\sigma_{\mathbf{t}_j \mathbf{t}_k}^2 = \mathbf{p}_j^T \mathbf{C}_X \mathbf{p}_k = \lambda_j \mathbf{p}_j^T \mathbf{p}_k = 0 \dots\dots\dots (2.28)$$

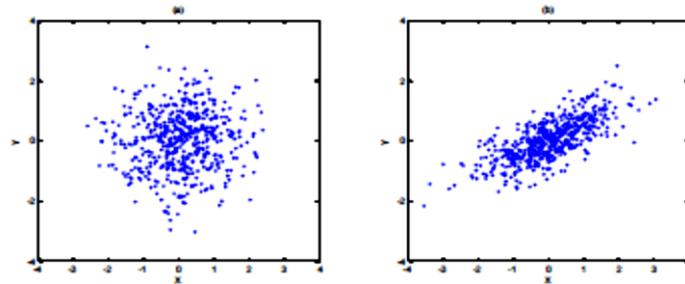
Proyeksi data asli ke PC menghasilkan skormatriks \mathbf{T} yang memiliki vektor kolom tidak berkorelasi. Setiap vektor kolom menjelaskan variabel dalam satu set orientasi baru yang variasinya sesuai dengan nilai eigen dari matriks \mathbf{C}_X .

Vektor kolom \mathbf{p}_j dalam pemuatan matriks \mathbf{P} berhubungan dengan vektor eigen dari matriks \mathbf{C}_X yang disortir dalam urutan terendah berdasarkan nilai eigennya. Vektor \mathbf{p}_j dengan nilai eigen tertinggi menyampaikan jumlah informasi terbesar dalam dataset. Secara geometris, matriks data \mathbf{X} diproyeksikan melalui eigenvector \mathbf{p}_j dan menghasilkan vektor \mathbf{t}_j dari matriks skor \mathbf{T} .

Matriks data yang diubah \mathbf{T} mewakili representasi baru dari dokumen data asli dalam orientasi set baru. Beberapa PC yang tidak berkorelasi memiliki variasi paling penting dengan demikian menyimpan informasi paling penting dalam data.

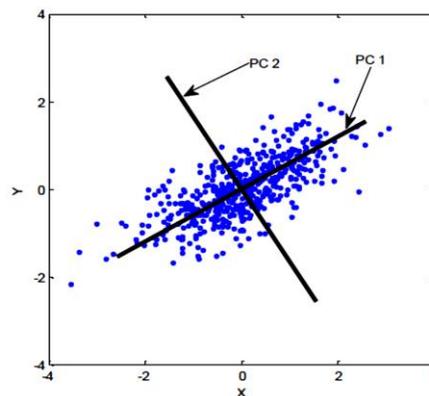
Contoh aplikasi PCA dijelaskan di sini menggunakan data buatan yang memiliki korelasi signifikan. Plot dua dimensi (X dan Y

axis) buatan ditunjukkan pada Gambar 2.21. Pada Gambar 2.21 (a), kumpulan data tidak berkorelasi, tetapi pada gambar kedua (b), secara signifikan berkorelasi.

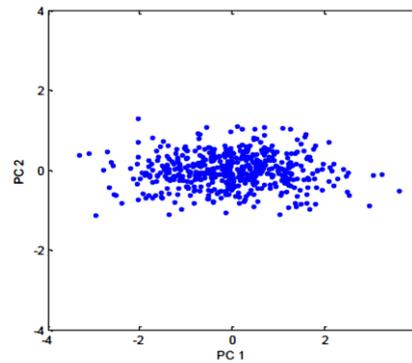


Gambar 2.21 Dua dimensi data buatan, (a) tidak berkorelasi, (b) berkorelasi (Kamiel, 2015)

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 2.22 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 2.23.



Gambar 2.22 Plot *Principal Component*, PC1 dan PC2 (Kamiel, 2015)



Gambar 2.23 Data yang ditransformasikan pada 2 *Principal Component* (Kamiel, 2015)

2.2.12 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.

2.2.13 Sensor Getaran

1) Sensor *Displacement*

Sensor *displacement* (perpindahan) pada Gambar 2.22 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. 24 Sensor *Displacement*

2) Sensor *Velocity*

Sensor *velocity* (kecepatan) pada Gambar 2.23 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 2.25 Sensor *Velocity*

3) *Accelerometer*

Accelerometer ditunjukkan pada Gambar 2.24 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. 26 Sensor *Accelerometer*
(www.spectrumscientific.com)

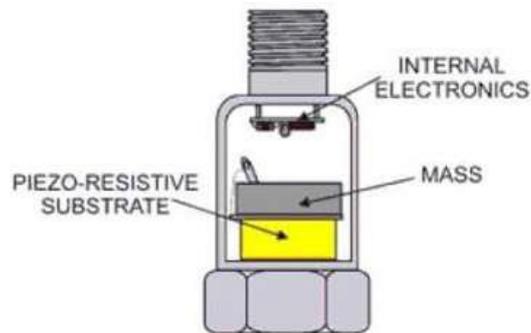
2.2.14 Sensor *Accelerometer*

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.

2.2.13.1. Berikut adalah jenis-jenis sensor *accelerometer* :

1) *Accelerometer Compression*

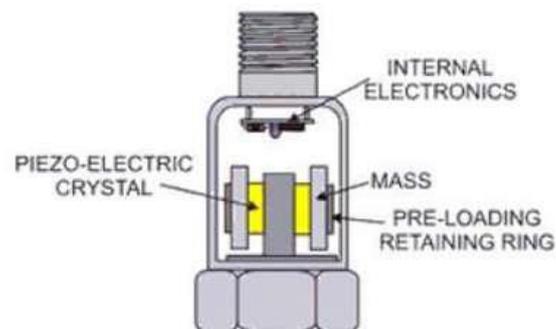
Jenis *Compression* biasanya digunakan untuk mengukur objek yang menghasilkan getaran yang sangat tinggi, sehingga nilai voltase yang dihasilkan juga tinggi. *Accelerometer* jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.24 dibawah ini.



Gambar 2.27 *Accelerometer Compression*
(Syafutra, 2017)

2) *Accelerometer Shear*

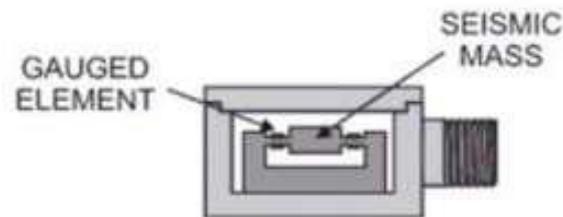
Accelerometer ini memiliki ukuran yang sangat kecil. Keuntungan dari *accelerometer* pada Gambar 2.25 ini yaitu dapat mengukur getaran pada desain struktur tempat yang sangat kecil. Biasanya digunakan untuk pengukuran getaran perangkat elektronik.



Gambar 2. 28 *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 2.26 berikut



Gambar 2. 29 *Accelerometer Strain Gauge*
(Syafutra, 2017)

2.2.13.2. 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*.

2.2.13.3. 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.

2.2.13.4. 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 transducer. 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*.

2.2.15 Matlab

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

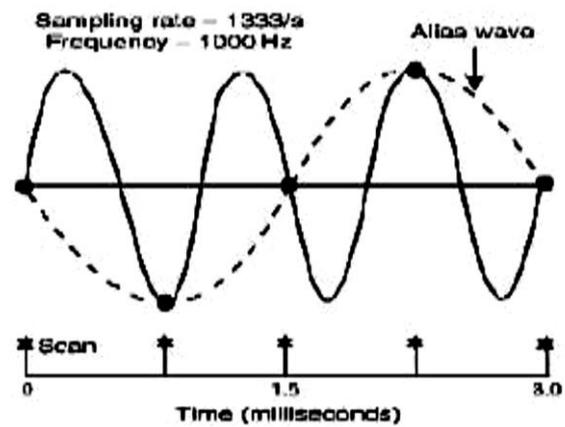
Matlab adalah bahasa pemrograman level tinggi (ingat dalam dunia pemrograman semakin tinggi level semakin mudah cara menggunakannya) yang dikhususkan untuk komputasi teknis. Bahasa ini mengintegrasikan kemampuan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam sebuah lingkungan yang tunggal dan mudah digunakan.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

2.2.16 Sampling

Sampling adalah proses perekaman amplitudo gelombang secara otomatis, dan kemudian menghasilkan kurva dari titik yang sudah direkam. Proses di mana 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 2.27 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. 30 Sampling Rate dengan Aliasing
(Scheffer & Girdhar, 2004)