

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Bantalan (*bearing*) merupakan komponen penting didalam sebuah mesin, yaitu sebagai pendukung gerakan poros yang berfungsi meredam gesekan antar komponen dan juga menahan beban aksial dan radial. Cacat pada bantalan, akan mengakibatkan kerusakan fatal pada komponen-komponen utama mesin. Oleh sebab itu sangatlah penting mengetahui kerusakan bantalan sedini mungkin dengan cara memonitoring agar bantalan pada kondisi yang baik. Sudah ada beberapa peneliti yang melakukan penelitian tentang mendeteksi kerusakan bantalan menggunakan sinyal getaran.

Suhardjono (2005) Metode yang paling mutakhir untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan bola adalah dengan mengukur karakteristik getarannya baik dalam domain waktu maupun domain frekuensi yang terjadi pada arah radial. Percobaan untuk mengetahui dan mempelajari spektrum getaran akibat kerusakan bantalan bola ini dilakukan pada mesin gerinda bangku dengan mengganti beberapa jenis bantalan yang sengaja dirusak. Analisis perbandingan sinyal getaran antara bantalan bola yang berkondisi baik (normal) dan yang dibuat cacat pada komponennya secara bertingkat sedemikian rupa sehingga dapat ditentukan jenis dan tingkat kerusakan bantalan bola tersebut.

Sukendi, dkk (2015) melakukan penelitian tentang bagaimana memprediksi kondisi bearing dengan menganalisa karakteristik getaran pada kondisi bearing normal dan kondisi bearing rusak dengan variasi putaran. Hasil pengolahan sinyal getaran menunjukkan indikasi bahwa bearing yang bagus, akan menghasilkan gelombang yang halus, selain itu juga tidak terlihat puncak amplitudo pada kisaran frekuensi tinggi. Sedangkan bearing yang mengalami kerusakan akan menghasilkan gelombang dengan amplitudo tinggi pada kisaran frekuensi tersebut. Ini merupakan indikasi pertama untuk mendeteksi adanya kerusakan pada *bearing*. Selanjutnya untuk menentukan jenis kerusakan bearing, kita bisa mencari amplitudo yang dominan pada daerah frekuensi masing-masing komponen bearing.

Aji (2007) melakukan penelitian tentang kerusakan bantalan bola, penelitian ini dilakukan pada mesin pompa sentrifugal. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sinyal getaran bantalan baik dengan bantalan rusak. Metode yang digunakan adalah analisa frekuensi. Hasil penelitian menunjukkan cacat bantalan lintasan luar, amplitudo getaran yang

dominan pada daerah frekuensi sebesar (197,5 Hz). cacat bantalan lintasan dalam, amplitudo getaran yang dominan pada daerah frekuensi sebesar (435 Hz). sedangkan kerusakan pada elemen bola, amplitudo getaran yang dominan pada daerah frekuensi sebesar (197,5 Hz). Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa analisis frekuensi memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mendeteksi dengan jelas amplitudo frekuensi cacat bantalan, karena frekuensi tertutup oleh amplitudo dari frekuensi yang lain.

Wahyudi, dkk (2016) melakukan penelitian tentang mendeteksi kerusakan bantalan dengan menggunakan sinyal vibrasi. Peneliti melakukan analisis kerusakan pada bantalan seri 2205-K-2RSR-C3 dengan kondisi bantalan baik dan bantalan cacat (*outer race, inner race, roll*) menggunakan analisis domain frekuensi. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa bantalan cacat pada *outer race* dan *rolling* memberikan nilai amplitudo yang cenderung bervariasi. Bantalan yang cacat pada *outer race* dan *rolling* akan menghasilkan spektrum FFT dengan garis puncak frekuensi berimpitan masing-masing dengan garis frekuensi impuls BPFO dan BSF.

Sujana, dan Abidin (2014) melakukan penelitian tentang deteksi kerusakan bearing pada condensate pump dengan analisis sinyal vibrasi. Peneliti melakukan pengambilan sinyal vibrasi menggunakan *CSI Analyzer 2130* pada sisi vertikal, horizontal dan peakvue condensate pump. Dalam penelitian ini menghasilkan sinyal vibrasi pada bantalan dalam kondisi normal dan bantalan kondisi rusak sangat berbeda, perbedaan tersebut dapat dilihat pada bentuk sinyal spektrum dan *waveform vibrasi*. Selain itu perbedaan juga terjadi pada nilai overall pada bantalan rusak yaitu sebesar 3,491 G-s dan pada bantalan normal sebesar 0,187 G-s. Nilai overall bantalan rusak sudah melampaui batas baik vibrasi yaitu 1,80 G-s.

Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa analisis spektrum banyak digunakan untuk mendeteksi cacat pada bantalan. Analisis spektrum dianggap unggul, karena sinyal frekuensi langsung dapat dianalisis. Secara umum hasil penelitiannya menyatakan bahwa sinyal getaran bantalan bola yang baik mendekati harmonik (sinusoidal). Sedangkan yang rusak sinyal getarannya berbentuk stokastik (random). (Aji, 2007).

Akan tetapi Analisis spektrum memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mendeteksi dengan jelas amplitudo spektrum cacat bantalan, karena spektrum tertutup oleh amplitudo dari spektrum yang lain. Salah satu cara mengatasi kelemahan tersebut adalah menggunakan metode analisis envelope, Analisis envelope adalah metode yang difokuskan pada wilayah spektrum tinggi dengan menghilangkan spektrum rendah menggunakan filter yaitu *high-pass filter* (Tan dan Leong, 2008)

Kamiel, dkk (2017) melakukan penelitian deteksi cacat bantalan bola pada pompa sentrifugal menggunakan spektrum frekuensi dan spektrum envelope. Penelitian ini menggunakan tiga kondisi bantalan yaitu normal, cacat lintasan dalam, dan cacat lintasan luar. Peneliti menggunakan sensor akselerometer yang hasilnya diperoleh dari DAQ (*DataAcquisition*) dan kemudian diolah menggunakan Matlab. Penelitian ini menunjukkan hasil Pada spektrum frekuensi, amplitudo frekuensi cacat bantalan dapat terlihat yang diikuti dengan harmoniknya. Namun amplitudo pada frekuensi tersebut sering tertutupi oleh amplitudo frekuensi lain yang lebih tinggi, dengan demikian hal tersebut tidak dapat mendeteksi cacat bantalan yang masih awal. Peneliti menyatakan bahwa spektrum envelope lebih baik dibandingkan dengan spektrum frekuensi. Hal ini dikarenakan frekuensi rendah yang dihasilkan dari komponen lain diblok dan difiltrasi menggunakan *high-pass filter*. Sehingga mempermudah untuk mendeteksi amplitudo rendah dari sinyal getaran frekuensi tinggi dari bantalan yang cacat.

Dari beberapa penelitian diatas menunjukkan bahwa analisis spektrum bayak digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan. Analisis spektrum dianggap unggul dalam mendeteksi kerusakan pada bantalan karena sinyal frekuensi langsung dapat dianalisis. Akan tetapi metode spektrum frekuensi memiliki beberapa kekurangan. Kekurangannya adalah hasil sinyal frekuensi masih bercampur antara sinyal frekuensi rendah dengan sinyal frekuensi tinggi, dan masih banyak sinyal frekuensi yang muncul dari komponen lainnya. Sehingga hal ini akan mempersulit proses pembacaan. Analisis envelopedianggap paling handal dan banyak digunakan karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan sepektrum frekuensi. Analisis *envelope* hanya fokus pada frekuensi yang tinggi dan menghilangkan frekuensi rendah dengan cara di filter menggunakan (*high-pass filter*), hal tersebut mempermudah dalam melakukan analisis apakah terjadinya kerusakan atau tidak dengan melihat sinyal frekuensi yang tertinggi.

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*). Secara umum motor pembakaran dalam ada dua jenis, yaitu motor bakar diesel, motor bakar bensin. Selanjutnya mesin bensin dibedakan menjadi dua jenis, yaitu motor bakar 4 langkah dan motor bakar 2 langkah.

2.2.2 Sepeda Motor Vespa

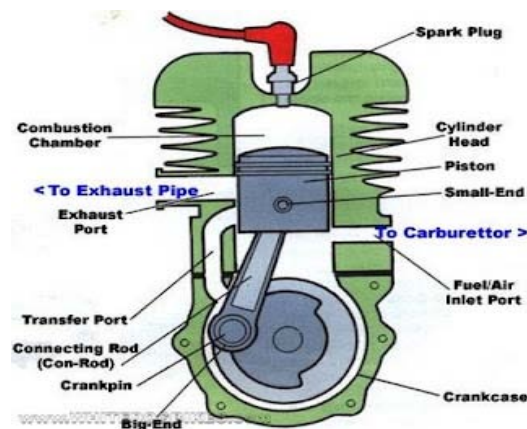
Vespa adalah salah satu kendaraan bermotor roda dua, yang diproduksi di negara Italy oleh Piaggio bermerkkan VESPA. ‘Vespa’ (dalam bahasa Indonesia Tawon). Pada April 1946, prototip MP6 ini mulai diproduksi masal di pabrik Piaggio di Pontedera, Italia. Pada Akhir 1949, telah di produksi 35000 unit dan dalam waktu 10 tahun telah memproduksi sebanyak 1 Juta unit.



Gambar 2.1 sepeda motor vespa

2.2.2.1 Prinsip Kerja Mesin Vespa

Prinsip kerja mesin vespa yaitu berbasis 2 langkah, Pada motor bensin 2 langkah hanya memerlukan satu putaran engkol dan dua kali langkah piston dalam proses pembakarannya.



Gambar 2.2 Mesin dua langkah

1). Langkah Hisap dan kompresi

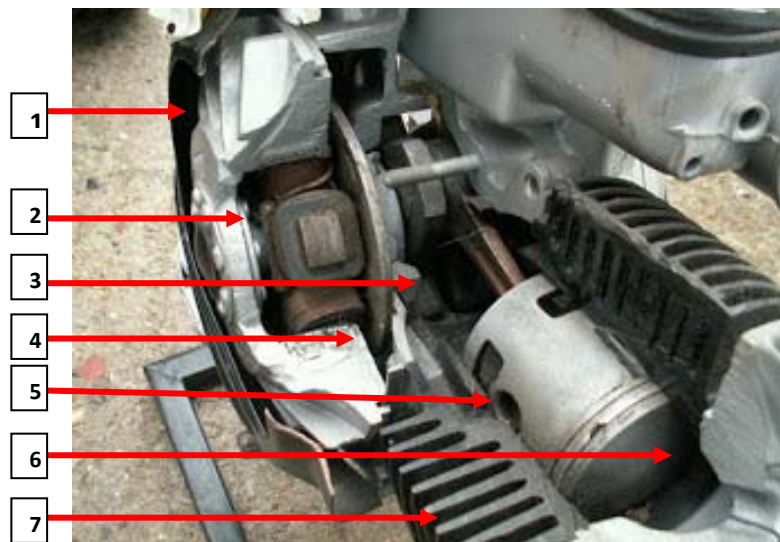
Piston bergerak dari TMB menuju Ke TMA : di bawah torak terjadi langkah Isap (pemasukan bahan bakar dari karburator ke ruang poros engkol). Sedangkan diatas torak terjadi langkah kompresi dan langkah pembakaran

2). Langkah Kerja dan Buang

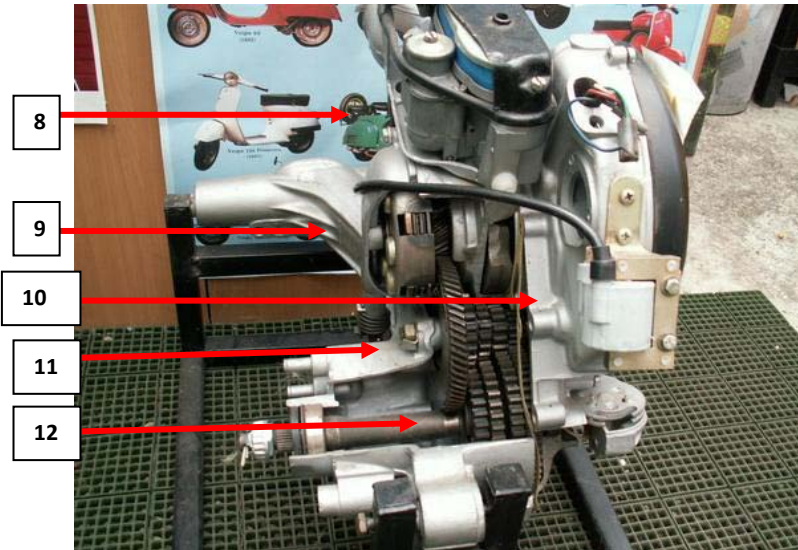
Piston Bergerak dari TMA menuju Ke TMB : diatas torak terjadi langkah buang dan usaha, Sedangkan dibawah torak terjadi langkah pembilasan(pemasukan bahan bakar baru yang ditampung dari ruang poros engkol menuju ke ruang bakar melalui saluran bilas)

2.2.2.2 Komponen Mesin Vespa

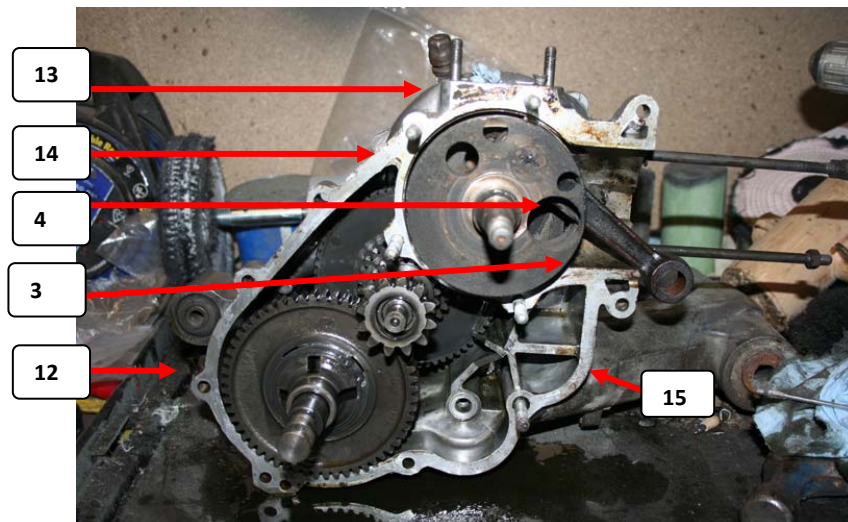
Berikut merupakan komponen-komponen yang terdapat pada mesin Vespa



(A)



(B)



(C)

Gambar 2.3 (a) komponen mesin vespa tampak depan,

(b) komponen mesin vespa tampak belakang,

(c) komponen mesin vespa tampak samping

1. *Flywheel* magnet dan kipas pendingin udara.

Sistem pengapian di vespa menggunakan *flywheel generator* yang menggunakan magnet sebagai pembangkit arus listrik. magnet memiliki komponen seperti rotor yang berisi magnet permanen dan stator yang isinya adalah koil pengapian dan spul lampu. Rotor

tersebut diikat pada salah satu ujung poros engkol dan berputar bersama poros engkol,. Flywheel magnet inilah yang menghasilkan arus listrik dan disebut juga sebagai alternator. Arus listrik yang dihasilkan flywheel magnet berupa arus listrik bolak-balik atau AC. Pada mesin vespa, Flywheel ini ditambahkan kipas pada permukaan luarnya, berfungsi untuk mendinginkan silinder dan kepala silinder dengan cara mengalirkan udara.

2. Spul Pengapian

Spul pengapian adalah komponen elektronika yang terdiri dari lilitan kawat tembaga dalam jumlah tertentu, yang memiliki inti berupa besi. Spul berfungsi menghasilkan aliran listrik pada kumparan medan magnet. Aliran listrik ini kemudian dikirimkan ke coil untuk dinaikkan tegangannya.

3. Stang poros engkol

Stang poros engkol merupakan penghubung piston ke poros engkol. Bersama dengan crank, sistem ini membentuk mekanisme sederhana yang mengubah gerak lurus/linear menjadi gerak melingkar

4. Lubang transfer

Lubang Transfer adalah lubang yang dilalui oleh bahan bakar, yaitu hasil pengkabutan antara bensin dan oksigen yang berasal dari ruang *crankcase*.

5. 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.

6. Head cylinder

Head cylinder memiliki dua fungsi yakni sebagai penutup rongga silinder dan sebagai tempat terjadinya pembakaran. Secara teori, pembakaran mesin memang terjadi pada ruang bakar, tapi posisi ruang bakar ini ada di kepala silinder. Sehingga bisa dikatakan bahwa kepala silinder merupakan komponen terjadinya pembakaran mesin.

7. *cylinder*

cylinder merupakan tempat untuk melakukan perubahan energi dari proses pembakaran hingga menghasilkan energi putar. Fungsi utama blok silinder ini yakni sebagai tempat piston untuk naik turun. Silinder ini dilapisi bahan khusus agar tidak cepat aus akibat gesekan. Meskipun telah mendapat pelumas yang mencukupi tetapi keausan lubang silinder tetap tak dapat dihindari.

8. Karburator

Karburator merupakan bagian dari mesin yang bertugas dalam sistem pengabutan (pemasukan bahan bakar ke dalam silinder). fungsi dari karburator adalah untuk mengatur udara dan bahan bakar ke dalam saluran isap dan mengatur perbandingan bahan bakar-udara pada berbagai beban kecepatan motor.

9. Kopling (*Clutch*)

Fungsi kopling adalah untuk mengatur daya yang dihasilkan dari mesin ke transmisi, kemudian transmisi mengubah kecepatan mesin sesuai dengan yang diinginkan.

10. Koil (Coil)

Koil berfungsi untuk mengubah tegangan primer dari spul pengapian menjadi tegangan sekunder sebesar 15000 – 30000 volt yang cukup kuat untuk membantu pengapian motor. Tegangan tersebut disalurkan ke busi untuk memercikan api di ruang bakar

11. Gigi rasio

Gear rasio berfungsi untuk mengubah percepatan dari putaran mesin.

12. Gigi Transmisi (*Transmission Gear*)

Gear transmisi adalah komponen yang berfungsi untuk mengubah percepatan dari gigi rasio menuju ke roda yang dapat bergerak.

13. Lubang inlet (*Inlet Port*)

Lubang inlet berfungsi sebagai tempat untuk masuknya campuran udara dan bensin menuju ruang engkol. pada siklus dua tak, campuran bensin dan udara akan disalurkan ke

ruang bakar ketika selesai proses pembakaran. Gerakan piston ke arah bawah akan mendorong gas ini bergerak ke atas melalui saluran transfer.

14. Poros Engkol

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.

15. Blok silinder (*Crankcase*)

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

2.2.3 Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang mampu menumpu poros berbeban, sehingga gesekan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang usia pemakaiannya. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros suatu mesin bekerja dengan baik. (Sularso, 2002). Demikian juga dengan mesin vespa, bantalan digunakan untuk menumpu gerakan poros engkol dan elemen mesin lainnya. Bantalan / bearing dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis berdasarkan arah dan pembebanannya:

1. Bantalan radial/ *journal bearing*

Bantalan radial adalah bantalan yang menahan beban tegak lurus dengan poros.

2. Bantalan aksial/ *thrust bearing*

Bantalan aksial adalah bantalan yang menahan beban sejajar dengan poros

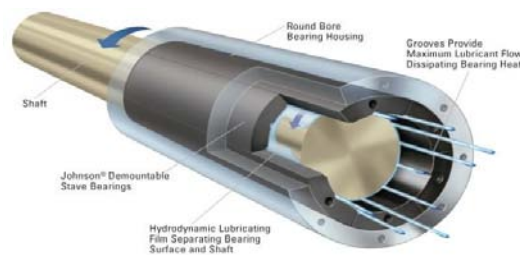
3. Bantalan kombinasi

Bantalan kombinasi adalah bantalan yang mampu menahan kombinasi beban pada arah aksial dan arah radial.

Dalam mengatasi gesekan bantalan dibedakan berdasarkan konstruksi dan mekanisme, bantalan dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

1. Bantalan luncur (*slider bearing*)

Cara kerja Bantalan luncur yaitu menggunakan mekanisme sliding, yang dimana dalam hal ini dua permukaan komponen mesin saling bergerak relatif. Diantara kedua permukaan tersebut terdapat pelumas yang dapat berfungsi untuk mengurangi gesekan antara kedua permukaan. *Slider bearing* ini berfungsi untuk beban arah radial disebut *journal bearing* sementara untuk beban arah aksial disebut dengan *thrust bearing*. Contoh konstruksi bantalan luncur ditunjukkan pada Gambar 2.5

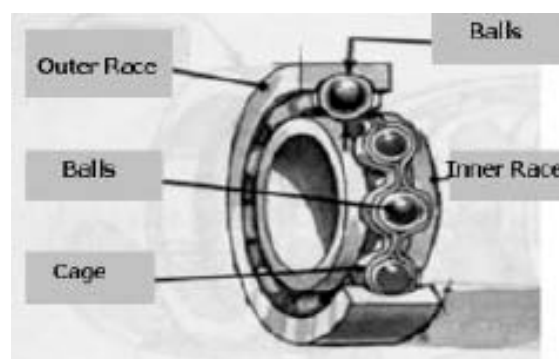


Gambar 2.5 Bantalan Luncur

(<http://www.duramaxmarine.com/advanced-stave.html>)

2. Bantalan gelinding (*roller bearing*)

Bantalan gelinding adalah bantalan yang menggunakan elemen rolling untuk mengatasi gesekan antara dua komponen yang bergerak. Diantara kedua permukaan tersebut terdapat elemen gelinding seperti, taper, bola, rol dan lain-lain. Oleh sebab itu kontak gelinding terjadi diantara elemen ini dengan komponen lainnya, dalam hal ini maka tidak ada pergerakan relatif pada permukaan kontak.



Gambar 2.6 Bantalan Gelinding

(<https://student.unud.ac.id/elgaprayoga/news/1346>)

<i>Inner race</i>	: Lintasan dalam bantalan
<i>Outer race</i>	: Lintasan luar bantalan.
<i>Ball</i>	: Penahan gaya tekanan dan gesek bantalan.
<i>Cage</i>	: Merupakan sangkar atau tempat bola bantalan.

2.2.3.1 Kerusakan Pada Bantalan

Cacat yang terjadi pada bantalan dapat di kalompokkan menjadi dua kategori, yang pertama cacat lokal dan cacat terdistribusi.

1. Cacat terdistribusi

Bantalan dapat dikategorikan sebagai cacat terdistribusi ketika bantalan mengalami ketidaksejajaran sumbu (*misalignment*), ketidaksejajaran dimensi bola, dan ketidak bulatan antara lintasan dalam dan lintasan luar. Jika bantalan mengalami cacat terdistribusi, maka gaya kontakannya akan berubah secara periodik.

2. Cacat lokal

Bantalan dapat dikategorikan sebagai cacat lokal ketika bantalan mengalami goresan ataupun lubang pada lintasan dalam, lintasan luar, maupun pada bola. jika elemen bantalan berotasi dan mengalami kontak dengan cacat tersebut, maka akan membangkitkan sinyal impuls.

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

$$\text{BPFO} = \frac{N_b}{2} \times f_r \times \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \times \cos \alpha\right) \quad 2.1$$

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

$$\text{BPFI} = \frac{N_b}{2} \times f_r \times \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \times \cos \alpha\right) \quad 2.2$$

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

$$\text{BSF} = \frac{P_d}{2B_d} \times f_r \times \left(1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \times \cos \alpha\right)^2\right) \quad 2.3$$

2.2.4 Pemeliharaan berbasis getaran

Salah satu cara yang handal untuk mendeteksi awal gejala kerusakan komponen mesin yaitu dengan melakukan *predictive maintenance* menggunakan metode analisa getaran (Scheffer,2004). *Predictive Maintenance* merupakan perawatan yang bersifat prediksi, dalam hal ini merupakan evaluasi dari perawatan berkala.

Sebuah mesin dikatakan ideal atau sempurna pada prinsipnya tidak akan menimbulkan getaran sama sekali, karena seluruh energi yang dihasilkan akan diubah menjadi kerja. Getaran terjadi akibat rotasi komponen mesin yang saling beraksi satu sama lain. Akan tetapi pada kenyataannya getaran tersebut hanya dapat diminimalkan.

2.2.5 Getaran

Getaran adalah gerakan bolak balik yang berada di antara titik keseimbangan. Gerakan bolak balik ini dipengaruhi oleh gaya yang diberikan. gerakan bolak balik ini disebut osilasi mekanis. Getaran yang sering kita rasakan berasal dari mesin-mesin yang kita gunakan. Mesin-mesin tersebut menghasilkan getaran dengan karakteristik yang berbeda-beda. Motor bakar merupakan suatu struktur mesin yang memiliki massa dan kekakuan, dengan demikian massa mesin tersebut memiliki kemampuan untuk bergetar atau *free vibration* (Risa, 2016). Getaran mesin dari dalam disebabkan oleh komponen mesin yang bergerak secara berputar (rotasi) atau translasi dapat menimbulkan getaran (Sunarko, 2010).

2.2.6 Sinyal Getaran

Sinyal getaran merupakan besaran fisik terhadap waktu yang variasi nilainya memuat informasi-informasi tertentu kondisi suatu komponen mesin. Pengukuran getaran terhadap komponen suatu mesin memberikan informasi yang berbeda-beda, untuk itu perlu dilakukan

proses pengolahan data agar proses analisis sinyal getaran yang ditampilkan oleh komponen mesin yang mengalami kerusakan akan mudah dibaca. Analisis terkait data-data getaran mesin mengandung banyak informasi yang dibutuhkan untuk menentukan kondisi suatu kompoen mesin seperti, informasi terkait kondisi mesin, informasi terkait letak kerusakan suatu mesin dan penyebab kerusakan suatu komponen mesin.

2.2.7 Frekuensi

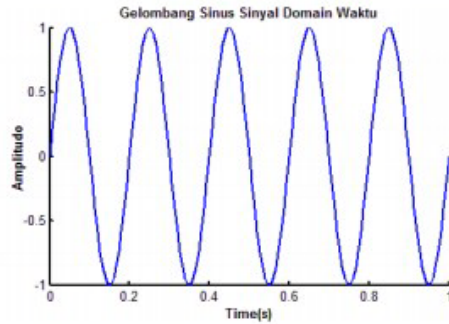
Frekuensi dapat diartikan sebagai banyaknya jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik, dengan satuan ukuran yang disebut hertz (Hz). Frekuensi getaran penting diketahui dalam analisa getaran mesin untuk mengidentifikasi bagian mesin mana yang rusak (*fault*) dan sekaligus masalah yang menyebabkannya. Gaya yang menyebabkan getaran dihasilkan dari gerak berputar elemen mesin. Getaran yang dihasilkan akan mempunyai frekuensi yang bergantung pada kecepatan putar elemen yang telah mengalami kerusakan. Oleh karena itu, dengan mengetahui frekuensi getaran, akan dapat mengidentifikasi bagian dari mesin yang bermasalah.

2.2.8 Amplitudo

Amplitudo merupakan titik puncak dan lembah suatu gelombang. Setiap titik puncak memiliki ketinggian yang berbeda-beda. Ukuran titik tertinggi dari suatu gelombang dinamakan amplitudo. Apabila terdapat dua gelombang yang memiliki ukuran panjang gelombang yang sama, salah satunya akan memiliki nilai puncak lebih tinggi atau bahkan lebih rendah dari gelombang lainnya (Scheffer dan Girdhar, 2004).

2.2.9 Domain Waktu

Domain waktu merupakan perubahan simpangan suatu getaran terhadap waktu. Domain waktu dapat memberikan gambaran yang alamiah dari fenomena getaran, yang sangat berguna untuk menganalisa sinyal *impuls* yang dihasilkan oleh bantalan atau roda gigi yang rusak, atau sinyal dari bagian mesin yang kendor. Domain waktu berguna untuk menunjukkan fase antara satu sinyal dengan lainnya. Walaupun analisa sinyal dalam domain waktu untuk berbagai sinyal getaran dalam praktek sulit untuk dilakukan namun terdapat beberapa gejala getaran yang bermanfaat diamati dalam domain waktu. Yaitu analisa sinyal impuls yang berasal dari cacat pada gigi ataupun bantalan. Dan analisa sinyal getaran yang berasal dari bagian struktur yang longgar, misalnya tutup bantalan.



Gambar 2.7 Gelombang sinus sinyal domain waktu
(Lyons, 1997)

2.2.10 Fast Fourier Transform (FFT)

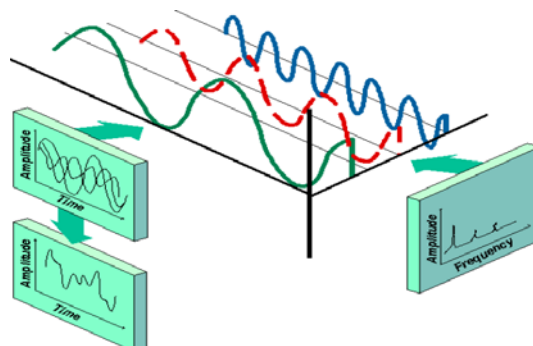
Transformasi fourier adalah transformasi yang dapat merubah suatu sinyal dari domain waktu $S(t)$ kedalam domain frekuensi $S(f)$. transformasi ini bertujuan untuk mendapatkan informasi apakah suatu sinyal memiliki frekuensi tertentu atau tidak.

Caranya dapat didefinisikan ke dalam persamaan berikut:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft} df$$

Persamaan diatas dapat dikatakan bahwa $X(f)$ adalah *transformasi Fourier* dari $x(t)$ yang mengubah $x(t)$ dari domain waktu ke domain frekuensi, dan untuk persamaan ke2 adalah kebalikan dari persamaan ke1 atau bisa di sebut dengan invers transformasi fourier. Dibawah ini dapat dilihat gambar dari transformasi fourier dan bentuk sinyal dari domain waktu dan domain frekuensi.



Gambar 2.8 Gelombang domain waktu dan domain frekuensi

(http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/YEPE-Mengapa_Kita_Butuh_FFT_2016.ppt)

- Kelebihan Transformasi Fourier

Transformasi Fourier ini memiliki kelebihan Mampu menunjukkan kandungan dan berapa banyak frekuensi yang terkandung di dalam sinyal.

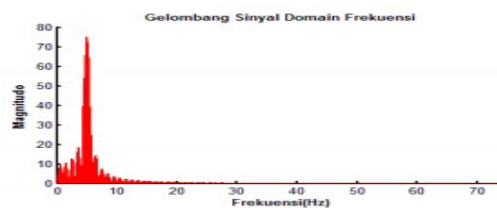
- Kekurangan Transformasi Fourier

Transformasi Fourier tidak dapat menangkap dimana frekuensi itu terjadi.

2.2.11 Domain Spektrum

Domain frekuensi berpedoman pada prinsip bahwa semua sinyal (bukan sinyal ideal) dapat dibangkitkan dengan penjumlahan gelombang sinus. Prinsip ini dirumuskan oleh J.B. Fourier satu abad yang lalu. Sebaliknya sembarang sinyal dapat diuraikan atas komponen-komponennya yang berupa gelombang sinus, penting untuk dikemukakan bahwa spektrum frekuensi sepenuhnya mewakili sinyal getaran.

Tetapi pada prakteknya sinyal getaran selalu terjadi dalam domain waktu. Untuk keperluan analisis, sinyal getaran yang terdapat dalam domain waktu dikonversikan kedalam domain frekuensi. Tidak ada informasi yang hilang karena konversi dari domain waktu ke domain frekuensi, bila beda fase antar komponen juga disertakan.



Gambar 2.9 Gelombang sinyal domain spektrum

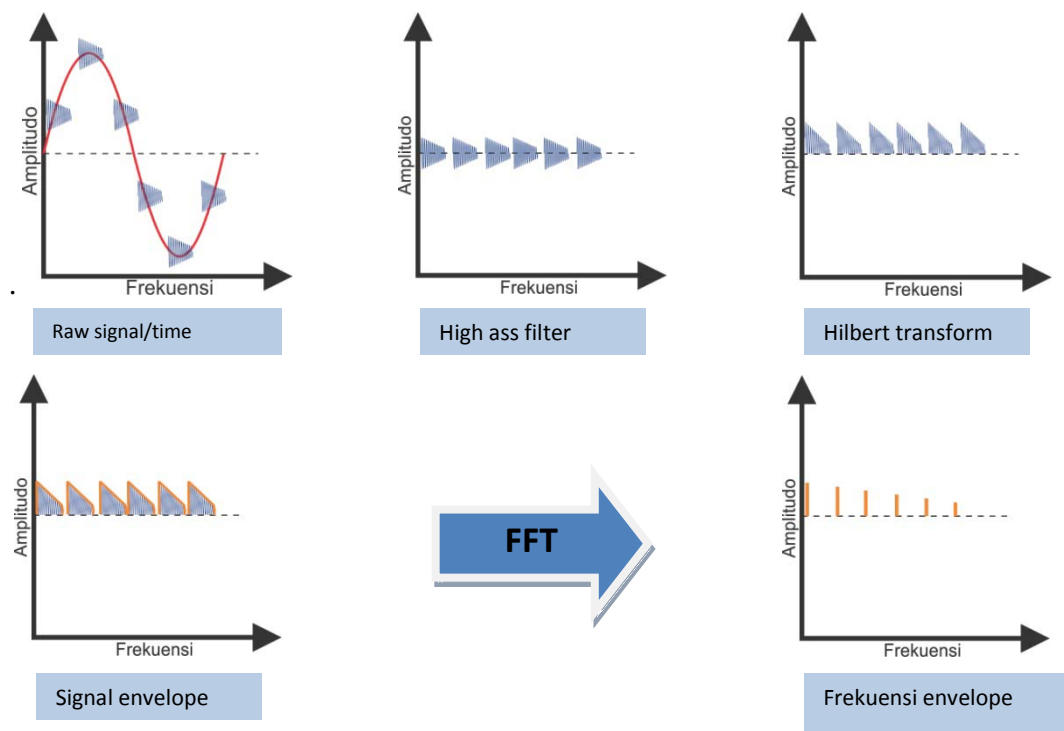
(Lyons, 1997)

2.2.12 Envelope Analysis

Analisis envelope adalah salah satu teknik untuk mengekstrak sinyal modulasi dari sebuah amplitudo sinyal yang termodulasi oleh karena itu teknik ini disebut juga *amplitude demodulation* (Radhi Maldzi, 2017). Metode ini khusus digunakan pada analisis kerusakan

bantalan dan roda gigi melalui sinyal getarannya, dimana metode ini fokus pada wilayah spektrum yang memiliki frekuensi tinggi, dengan filter yang digunakan yaitu *high-pass filter*. (Girdhar, 2004). Pada data spektrum, terdapat bermacam-macam frekuensi dari berbagai sumber sinyal gelombang yang terekam oleh alat *accelerometer*. Tidak hanya frekuensi dari kerusakan komponen bantalan yang muncul, namun harmonik dari frekuensi fundamental pun juga muncul di awal grafik. Perlu dilakukan penyaringan sinyal frekuensi tersebut, karena pada umumnya data frekuensi yang tidak dilakukan proses penyaringan atau filtrasi, memiliki spektrum yang bergerombol dan rumit, dimana hal ini akan mempersulit proses analisis data. (Scheffer dan Girdhar, 2004). Dengan adanya *band-pass filter/high-pass filter* pada analisis envelope, kemunculan harmonik dari frekuensi fundamental dapat dihilangkan. Sehingga frekuensi yang memiliki amplitudo kecil dapat dimunculkan lebih detail dalam grafik.

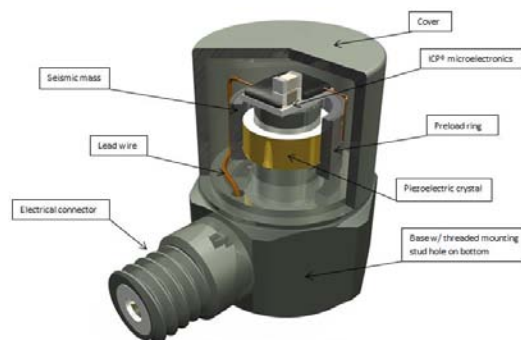
proses analisis envelope. Dimulai dengan raw vibration signal yang bisa juga disebut data mentah berupa domain waktu, kemudian dilanjutkan pada proses penyaringan menggunakan *band-pass filter/high-pass filter*. Setelah dilakukan proses penyaringan, dilanjutkan dengan envelope dan diakhiri dengan proses FFT. Data yang didapatkan dari proses analisis envelope berupa spektrum envelope.



Gambar 2.10 Skema proses *Envelope*

2.2.13 Accelerometer

Accelerometer adalah sebuah transduser yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. *Accelerometer* juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin, dan juga bisa digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di dalam bumi, getaran mesin, jarak yang dinamis, dan kecepatan dengan ataupun tanpa pengaruh gravitasi bumi. Pada penelitian ini, *Accelerometer* digunakan untuk mengukur besarnya getaran yang terjadi akibat kerusakan bantalan pada mesin vespa.



Gambar 2.11 Komponen *Accelerometer*

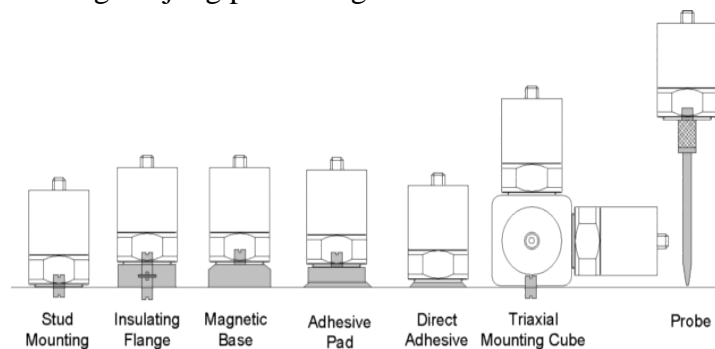
Prinsip kerja dari transduser ini berdasarkan hukum fisika bahwa apabila suatu konduktor digerakkan melalui suatu medan magnet, atau jika suatu medan magnet digerakkan melalui suatu konduktor, maka akan timbul suatu tegangan induksi pada konduktor tersebut. Saat ini hampir semua sensor/transduser *accelerometer* sudah dalam bentuk digital (bukan dengan sistem mekanik) sehingga cara kerjanya hanya berdasarkan temperatur yang diolah secara digital dalam satu chip. Ada beberapa jenis *accelerometer*, masing-masing memiliki karakter yang berbeda. Berikut ini merupakan jenis-jenis *Accelerometer*:

- *Capacitive*, dengan lempengan logam pada sensor menghasilkan sejumlah kapasitansi yang dipengaruhi oleh besarnya percepatan yang terjadi.
- *Piezoelectric*, dengan kristal *piezoelectric* yang terdapat pada *accelerometer* jenis ini mengeluarkan tegangan yang selanjutnya dapat dijadikan referensi untuk mengukur nilai percepatan.
- *Piezoresistive*, dengan lempengan yang memiliki nilai hambatan yang akan berubah sesuai dengan perubahan tingkat percepatan.

- *Hall effect*, perubahan nilai percepatan diubah menjadi signal listrik berdasarkan pada setiap perubahan pergerakan yang terjadi pada daerah yang terinduksi magnet.
- *Magnetoresistive*, perubahan percepatan diketahui berdasarkan besarnya nilai hambatan material karena adanya daerah yang terinduksi oleh magnet.
- *Heat transfer*, nilai percepatan dapat diketahui dari lokasi sebuah benda yang dipanaskan dan diukur ketika terjadi percepatan dengan sensor suhu.

Ada beberapa metode pemasangan untuk accelerometer, antara lain:

1. Dipasang dengan baut stud, flens pengikat atau bantalan perekat.
2. Dasar magnetik.
3. Perekat dengan *wax*, *cianoacrylate* (misalnya gel-like Loctite 454) atau lem epoksi.
4. Pemasangan kubus untuk pengukuran triaksial dengan tiga *akselerometer uniaksial*.
5. *Accelerometer probe* dengan tekanan tangan.
6. *Accelerometer* dengan ujung probe bergerak.



Gambar 2.12 Metode Pemasangan Pada Accelerometer

2.2.14 Data Akuisisi

Data akuisisi merupakan proses sampling dari sinyal-sinyal yang berasal dari kondisi fisik suatu objek yang akan mengubah sampel-sampel kedalam bentuk digital yang kemudiandiolah lebih lanjut oleh komputer. Data akuisisi pada umumnya akan mengubah sinyal analog kedalam bentuk digital dengan bantuan beberapa komponen berikut:

1. Sensor: mengubah parameter fisis kedalam sinyal elektrik.
2. Signal conditioning circuitry: mengubah sinyal yang berasal dari sensor kedalam bentuk yang sinyal digital.
3. Analog to *Digital Converter*: menghasilkan sinyal digital yang sebelumnya sudah dikondisikan terlebih dahulu. Pada gambar 2.13 dapat dilihat komponen *DAQ System*

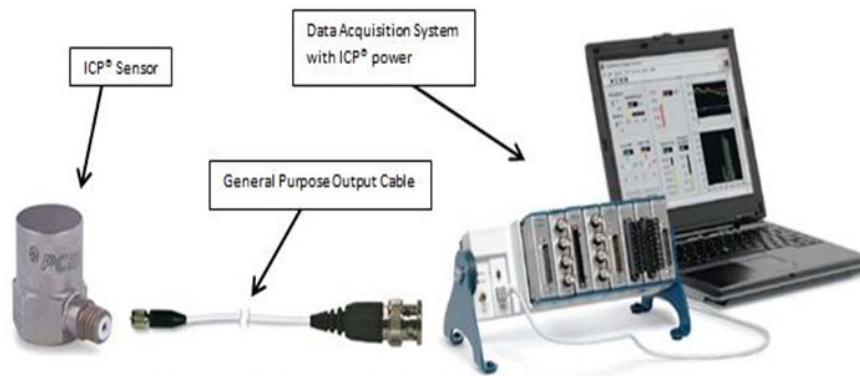


Figure 3: ICP[®] Sensor and Data Acquisition System with ICP[®] Power

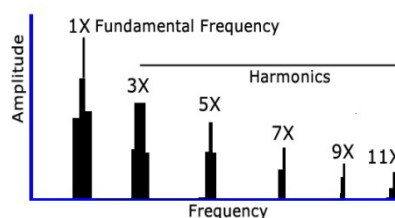
Gambar 2.13 Komponen *DAQ System*

(http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech_Accel)

2.2.15 Harmonik

Harmonik merupakan fenomena yang timbul akibat terdistorsi gelombang sinusoidal secara periodik yang disebabkan oleh penggunaan beban listrik yang bersifat nonlinier. Bentuk gelombang yang terdistorsi dapat dianggap sebagai penjumlahan dari frekuensi dasar gelombang.

sinusoidal dan frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasarnya. Frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar ini disebut dengan frekuensi harmonik. Bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut dengan angka urutan harmonik, misalnya suatu sistem tenaga listrik memiliki frekuensi dasar 50Hz, maka harmonik keduanya ialah 100Hz dan seterusnya. Pada gambar 2.10 dapat dilihat harmonik getaran.



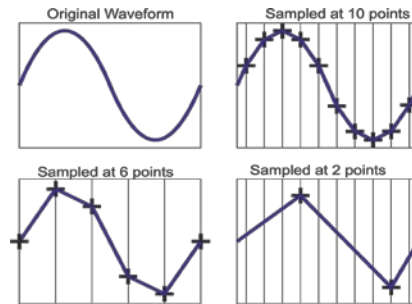
Gambar 2.14 Harmonik Getaran

(Girdhar, 2004)

2.2.16 Sampling Rate

Sample rate adalah banyaknya jumlah sample (bentuk frekuensi) yang diambil dalam satuan waktu (detik) dari signal yang diterima dalam bentuk terus-menerus (Continuous

Signal) menjadi signal yang terpisah (Discrete Signal), atau dalam bahasa sederhana adalah batas frekuensi yang dapat dikirim perdetiknya. Setiap jenis data akuisisi mempunyai nilai sampling rate masing-masing. Pada gambar 2.23 dapat dilihat contoh sampling rate.



Gambar 2.15 Sampling rate

<https://labtronix.co.uk/drupal/content/about-oscilloscope-sample-rate>