

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sukendi, dkk, (2015) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mendeteksi cacat dini pada bearing. Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan putar (400 rpm, 600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm dan 1200 rpm). Metode yang digunakan adalah domain frekuensi dengan coding dari program Matlab. Penelitian menggunakan 8 unit bantalan dengan 2 kondisi, yaitu 4 bantalan (A, B, C dan D) dengan kondisi normal dan 4 bantalan (1, 2, 3 dan 4) dengan kondisi cacat/rusak, bantalan yang mengalami cacat multi jenis adalah bantalan no. 3 dan no. 4. Bantalan no. 3 mengalami cacat pada lintasan luar (BPFO) dengan frekuensi 200,5667 Hz (4xBPFO) akibat dari cacat bola (6xBSF) dan cacat sangkar (FTF), bantalan no. 4 mengalami cacat pada lintasan dalam (BPFI) dengan frekuensi 167,7667 Hz (2xBPFI) dan cacat bola (5xBSF) terlihat dari grafik frekuensi yang ada.

Wahyudi, dkk, (2016) meneliti tentang mendeteksi kerusakan pada bantalan menggunakan sinyal vibrasi. Penelitian ini dilakukan dengan *rig tool* menggunakan bantalan seri 2205-K-2RS-TVH-C3 dengan 4 macam kondisi yaitu 1 bantalan dengan kondisi normal dan 3 bantalan dengan cacat 30% (*outer race, inner race, roll*) menggunakan analisis domain frekuensi. Hasil yang didapat bahwa bantalan cacat pada *outer race* dan *rolling* menghasilkan nilai amplitude yang bervariasi. Bantalan cacat pada *outer race* dan *rolling* akan menghasilkan spektrum FFT dengan puncak frekuensi berimpitan masing-masing dengan garis frekuensi implus BPFO dan BSF.

Abidin (2017) yang melakukan penelitian untuk mendeteksi cacat bantalan pada *condensate pump* menggunakan analisis sinyal vibrasi. Pompa dengan sistem mekanik menggunakan elemen bantalan, mengindikasikan permasalahan pada pompa dapat ditentukan frekuensi getaran yang dihasilkan oleh bantalan. Adapun masalah yang dibahas yaitu getaran dengan frekuensi tidak stabil pada bearing *condensate pump*

perlu dianalisa untuk mengetahui kerusakannya dengan analisis sinyal vibrasi. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah pengambilan sinyal vibrasi dengan menggunakan CSI Analyzer 2130 pada sisi vertikal dan horizontal. Hasil dari penelitian menunjukkan karakteristik kerusakan pada bearing 6224/C3 adalah kerusakan *unbalance* dan *bearing defect*. Kerusakan terdeteksi dikarenakan muncul sinyal amplitude tinggi pada 1XRPM dan ketidak harmonikan pada frekuensi tinggi dan analisa dari kerusakan adalah munculnya nilai overall tinggi, yaitu 3,491 G-s. Nilai yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan nilai vibrasi bearing normal yaitu 0,187 G-s.

Aji (2007) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mendeteksi cacat bantalan gelinding pada pompa sentrifugal menggunakan analisis sinyal getaran, dilakukan penelitian menggunakan bantalan seri 6305. Penelitian difokuskan pada frekuensi komponen bantalan, yaitu: lintasan dalam, lintasan luar dan elemen bola. Penelitian menggunakan pompa dengan daya 5,5 HP dengan kecepatan 24,91 Hz. Pengambilan data menggunakan *accelerometer piezeelectric*. Sedangkan perangkat lunak MATLAB digunakan untuk memproses data untuk mendapatkan sinyal getaran. Analisis spektrum menunjukkan bahwa bantalan dengan kondisi baik memiliki amplitudo 0,8 Volt. Sedangkan bantalan bola yang cacat terjadi peningkatan amplitudo pada komponen bantalan bola frekuensi harmonik. Peningkatan amplitudo adalah 1,2 Volt dalam 4xBPFI, 1,66 Volt dalam 3xBPFO, dan 2 Volt dalam 2xBSF). Bantalan bola yang cacat akan mengalami peningkatan frekuensi.

Pada uraian di atas, metode spektrum frekuensi mampu mendeteksi cacat pada bantalan, namun selalu tidak berhasil mendeteksi cacat dini pada bantalan. Hal tersebut dikarenakan amplitudo yang dihasilkan oleh cacat dini bantalan masih sangat lemah. Sehingga berpotensi tertutup dari frekuensi getaran lainnya. Metode *envelope* adalah metode penyempurnaan yang dapat digunakan dalam mendeteksi cacat awal pada bantalan. Penelitian yang berhasil mendeteksi cacat dini pada bantalan berbasis analisis *envelope* sebagai berikut.

Maladzi, dkk, (2017) melakukan penelitian tentang kerusakan gelinding dengan variasi kecepatan putar berdasarkan pola getaran menggunakan metode *envelope analysis*. Tujuan penelitian adalah membandingkan sinyal getaran dalam kondisi normal dengan kondisi kerusakan, membandingkan sinyal getaran pada bantalan gelinding sebelum dan setelah dilakukannya *envelope analysis*, dan mengetahui perbandingan sinyal gaya yang terjadi pada berbagai macam kondisi bantalan gelinding. Setelah itu melakukan metode *envelope analysis* yaitu melakukan *bandpass* filter rentang 500 Hz – 2000 Hz, rektifikasi, dan FFT, bahwa metoda tersebut belum terlalu jelas untuk memperlihatkan *peak-peak* yang ditimbulkan oleh kerusakan yang terjadi pada bantalan gelinding. Bantalan gelinding yang mengalami kerusakan lintasan luar, lintasan dalam, dan elemen gelinding memperlihatkan adanya peak pada frekuensi 120 Hz memiliki amplitudo yang lebih besar dibanding peak lainnya. Untuk kondisi kerusakan kombinasi memiliki pola peak yang berbeda di mana peak pada frekuensi 100 Hz memiliki amplitudo yang lebih besar dibanding peak lainnya, Tidak terlihat adanya perbedaan yang signifikan dengan dilakukannya variasi kecepatan putar.

Tiwari and Jatola (2013) melakukan penelitian tentang *Fault Detection in Bearing Using Envelope Analysis*, penelitian menggunakan bantalan tipe SKF 6002-2Z. Pengujian dilakukan dengan merusak bantalan pada lintasan luar, lintasan dalam dan bola bantalan. Analisis *envelope* digunakan karena metode ini mampu mendeteksi kerusakan level dini pada bantalan, metode ini mampu menghilangkan frekuensi rendah yang menyebabkan tertutupnya amplitudo. Dari hasil penelitian ditemukan frekuensi kerusakan pada nilai 7,43 Hz pada lintasan luar BPFO, 10,83 Hz pada lintasan dalam BPF1 dan 5,70 Hz pada bola bantalan BSF. Proses *high pass filter* yang terdapat pada analisis *envelope* merupakan cara akurat untuk menghilangkan frekuensi-frekuensi rendah yang memiliki amplitudo yang tinggi pada spektrum. Dengan menghilangkan frekuensi-frekuensi rendah pada spektrum, maka frekuensi tinggi yang memiliki nilai amplitudo yang rendah seperti BPFO, BPF1 dan BSF akan mudah terdeteksi.

Dari hasil beberapa penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa metode analisis *envelope* lebih mendominasi untuk mendeteksi kerusakan level dini pada bantalan dibandingkan dengan analisis spektrum frekuensi.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Turbin Angin

Turbin angin pada mulanya dibuat untuk memenuhi kebutuhan petani dalam melakukan kegiatan seperti irigasi dll, kincir angin dahulu banyak dibangun di negara Eropa yang dikenal dengan *windmill*. Pada saat ini kincir angin banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Kincir angin merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik menjadi energi gerak yang disebabkan oleh tiupan angin. Energi gerak yang berupa putaran selanjutnya akan diteruskan oleh poros untuk menggerakkan generator sehingga energi gerak berubah menjadi energi listrik. Angin menggerakkan baling-baling turbin yang berputar pada poros, yang akan menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

Cara kerja pembangkit listrik tenaga angin ini terjadi dikarenakan tiupan angin angin memutar baling-baling turbin angin. Prinsip kerja turbin angin merupakan kebalikan dari kipas angin, Kipas angin memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan angin, sedangkan turbin angin digunakan untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Hembusan angin akan memutar turbin, akan diteruskan untuk memutar rotor pada generator bagian belakang kincir angin. Generator berfungsi untuk mengubah suatu energi gerak menjadi energi listrik dengan menggunakan teori medan elektromagnetik, poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Pada sekeliling poros terdapat stator yang berupa kumparan-kumparan kawat tembaga yang membentuk *loop*. Ketika poros generator berputar maka akan terjadi perubahan tegangan pada stator yang menghasilkan tegangan dan arus listrik.

2.2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin dimana sumbu putarnya sejajar dengan tanah (Arwoko, 1999). Biasanya turbin jenis ini memiliki sudu berbentuk airfoil seperti bentuk sayap pada pesawat. Pada turbin ini, putaran rotor terjadi karena adanya gaya *lift* (gaya angkat) pada sudu yang ditimbulkan oleh aliran udara. Turbin ini cocok digunakan pada tipe angin sedang dan tinggi dan banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar. Turbin angin sumbu horizontal dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Turbin Angin Sumbu Horizontal
(<http://etcgreen.com/wp-content/uploads/2009>)

2.2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TAV)

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Namun sudunya berputar dalam bidang yang paralel dengan tanah. Jika dikaitkan dengan sumber daya angin, turbin angin dengan jumlah sudu banyak lebih cocok digunakan pada daerah dengan potensi energi angin yang rendah karena kecepatan rotasi angin tercapai pada putaran rotor dan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi, Sedangkan turbin angin dengan sudu sedikit (untuk pembangkit listrik) tidak akan beroperasi secara efisien pada daerah dengan kecepatan rata-rata kurang dari 4 m/s. dengan demikian daerah dengan potensi energi angin rendah cocok untuk dikembangkan turbin angin keperluan mekanikal. Jenis turbin

angin yang cocok untuk keperluan ini antara lain tipe multi blade dan savonius. Turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat pada Gambar 2.2.



(a)

(b)

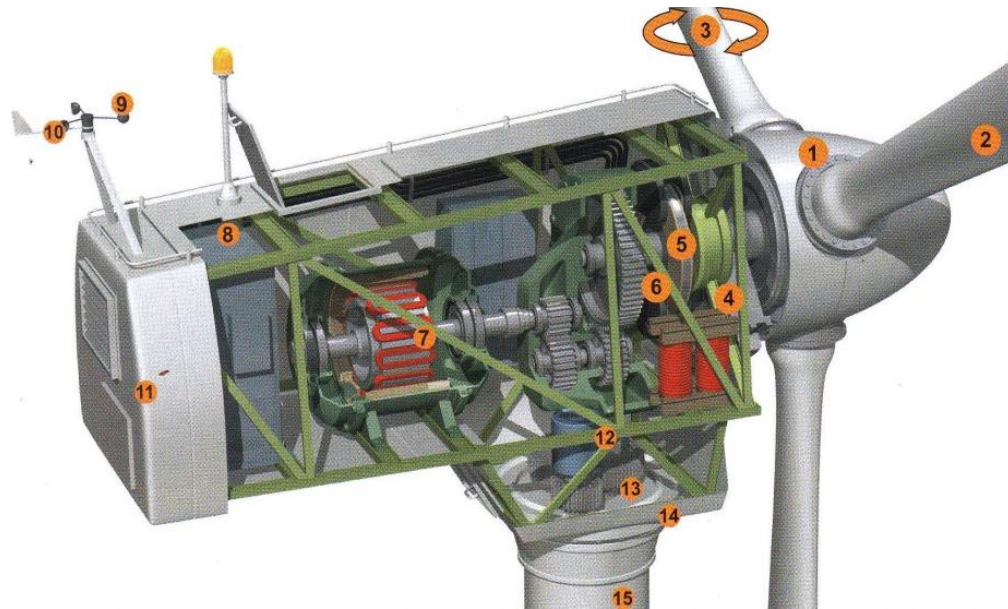
(c)

Gambar 2. 2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (a) Savonius Rotor, (b) Darrieus Rotor, (c) H Rotor

<http://etcgreen.com/wp-content/uploads/2009>

2.2.4 Komponen Utama Turbin Angin

Komponen utama dari sebuah turbin angin adalah baling-baling (*blade*) berukuran besar yang bisa berputar ketika angin berhembus. Turbin angin memiliki beberapa komponen yang dapat bekerja secara maksimal serta menghasilkan energi listrik. Komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Komponen Turbin Angin
(Burton, 2011)

1. Rotor

Rotor merupakan bagian utama dari komponen fisik sebuah turbin angin yang bisa nampak dari luar. Bagian rotor sebenarnya juga meliputi beberapa komponen lainnya, yaitu *blade* yang juga meliputi sistem pengarah sudut dari sudut *blade* terhadap tiupan angin dengan istilah *pitch control*..

2. Baling-baling (*blade*)

Komponen ini bagian terlihat paling jelas dalam turbin angin. fungsi utama baling-baling adalah menangkap energi angin yang melewatinya, dan mentransfer energi gerak ini menjadi gerak putaran melalui poros.

3. *Pitch control* (Pengatur Sudut Baling-baling)

Turbin angin didesain untuk bekerja secara optimal pada kecepatan angin tertentu. Bila angin bertiup pada kecepatan rendah maka kincir angin tidak akan bekerja dengan rendah, begitu sebaliknya pada saat angin berhembus dengan kecepatan terlalu tinggi maka akan merusak konstruksi pada turbin angin. Oleh karena itu kecepatan putar baling-baling perlu dikontrol dengan menggunakan

pitch control. *Pitch control* sendiri didesain untuk memenuhi tugas tersebut. Apabila angin yang berhembus dengan kecepatan rendah maka baling-baling akan diputar sehingga berada pada sudut tegak lurus terhadap arah datangnya angin. sebaliknya, jika angin yang berhembus dengan kecepatan tinggi maka baling-baling akan diputar dengan sudut lebih kecil dari 90^0 sehingga tenaga angin sebagian akan berkurang.

4. Rem (*brake*)

Rata-rata turbin angin komersial yang beroperasi memiliki komponen yang berfungsi sebagai rem (*brake*) untuk mengurangi kecepatan hingga menghentikan putaran baling-baling jika mendapatkan tekanan angin yang terlalu besar. Putaran yang terlalu tinggi akan merusak turbin angin. Oleh sebab itu, rem (*brake*) sangat dibutuhkan untuk sebuah turbin angin.

5. Poros (*As*)

Poros (*as*) berfungsi sebagai penerus putaran baling-baling yang dihasilkan dari tekanan angin.

6. Roda gigi

Roda gigi merupakan sebuah komponen yang berfungsi untuk merubah kecepatan rotasi dari cepat menjadi lambat atau dari lambat menjadi cepat. Perubahan kecepatan ini disebabkan perbedaan ukuran diameter dari roda gigi yang digunakan.

7. Generator Pembangkit Listrik

Generator listrik atau dinamo yang dipasang pada turbin angin berfungsi untuk mengkonversi energi gerak menjadi energi listrik dikarenakan adanya putaran dari baling-baling yang dihasilkan oleh tiupan angin.

8. Kontrol Elektronik

Kontrol elektronik adalah salah satu bagian yang penting pada turbin angin agar turbin angin terhindar dari kerusakan. Alat ini akan memberikan izin sistem untuk bekerja apabila kecepatan angin mencapai 12-25 km/jam. Namun apabila kecepatan

angin melebihi 88-100 km/jam, maka sistem kontrol akan memberikan perintah otomatis agar berhenti bekerja. Dalam kondisi ini baling-baling akan berputar terlalu cepat dan turbin mengalami *overheating* dan apabila dibiarkan maka turbin angin akan mengalami kerusakan pada salah satu komponen turbin angin.

9. Anemometer

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang dipasangkan pada turbin-turbin angin modern yang memiliki sistem kontrol yang cukup kompleks. Dengan adanya anemometer ini akan memudahkan untuk mengetahui apabila ada kondisi yang perlu diperhatikan, terutama jika angin bertiup sangat kencang dan akan membahayakan turbin angin dengan cara memberikan sinyal kepada sistem kontrol.

10. Pendeteksi Arah Angin (*Wind Vane*)

Alat ini berfungsi untuk mengirimkan sinyal data pada kontrol untuk memberikan data arah tiupan angin. Sistem kontrol kemudian akan mengirimkan perintah pada pemutar rotor arah baling-baling (*Yaw Drive*) untuk mengarahkan baling-baling turbin agar bergerak mengikuti arah angin untuk memaksimalkan tekanan angin yang dapat diterima oleh turbin angin.

11. Pengungkung Sistem (*Nacelle*)

Nacelle merupakan komponen yang berfungsi untuk melindungi komponen lain yang berada didalamnya. *Nacelle* ini biasanya terbuat dari komposit sebagai bahan utamanya. Bahan ini dipilih karena kekuatannya serta bobotnya yang ringan. Selain itu bahan ini tahan terhadap serangan kimiawi karena kondisi cuaca seperti panas, hujan, dan salju.

12. Poros Pemutar Dinamo Kecepatan Tinggi

Alat ini digunakan untuk mengubah putaran rotasi poros yang berkecepatan rendah menjadi putaran dengan RPM tinggi dengan memanfaatkan roda gigi. Putaran yang telah dirubah menjadi putaran yang lebih tinggi ini ditransfer ke generator melalui sebuah poros (*as*) yang berputar dengan kecepatan yang telah diatur sehingga mencapai kecepatan ideal untuk generator yang digunakan.

13. Pemutar Arah Rotor Baling-baling (*Yaw Drive*)

Turbin angin bekerja dengan maksimal apabila dapat menangkap angin secara maksimal. Untuk menangkap kecepatan angin secara maksimal maka muka dari sebuah baling-baling harus menghadap tegak lurus dengan arah angin, oleh karena itu diperlukan adanya *yaw drive* yang berfungsi untuk hal tersebut. *Yaw drive* bekerja dengan memanfaatkan sinyal yang didapat dari wind vane yang dikontrol oleh perangkat elektronik.

14. Motor Penggerak *Yaw Drive*

Yaw drive memerlukan bantuan motor listrik serta sistem hidraulik dikarenakan beban yang diberikan saat memutar *nacelle* dan rotor sangat berat. Kontrol terhadap sistem ini dilakukan dengan sistem elektronik sehingga semua dapat beroperasi secara otomatis.

15. Penyangga Turbin Angin

Menara atau *tower* penyangga turbin angin berfungsi sebagai dudukan, sehingga komponen ini memerlukan desain serta bahan yang kuat untuk menghindari terjadinya kecelakaan yang bisa terjadi dikarenakan penyangga tidak kuat menahan beban.

2.2.5 Metode Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan mesin merupakan hal yang sangat penting pada sebuah industri, hal ini dilakukan demi menghindari kerugian yang bisa saja terjadi akibat kerusakan mesin pada saat beroperasi, untuk menghindari hal tersebut maka perawatan mesin harus dilakukan secara berkala, sistem perawatan mesin terbagi dalam beberapa jenis:

a. *Breakdown Maintenance*

Breakdown maintenance yaitu kegiatan perawatan mesin yang dilakukan tanpa terencana. Yang diakibatkan terjadinya kerusakan mesin secara mendadak pada saat mesin beroperasi, sehingga dilakukan perbaikan dan mengganti komponen-komponen yang rusak, Kerusakan biasanya terjadi di karenakan kurangnya perawatan pada mesin.

b. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance yaitu perawatan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan secara mendadak, atau perawatan yang sudah direncanakan, perawatan ini biasanya berupa perbaikan kecil, pelumasan, penggantian komponen yang perlu diganti agar mesin dapat bekerja secara optimal pada saat beroperasi dapat terhindar dari kerusakan. Ada beberapa jenis-jenis pemeliharaan secara *preventive maintenance* sebagai berikut: 1). *Routine maintenance* yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin, dan 2). *Periodic maintenance* yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan secara *periodic* atau dalam jangka waktu tertentu.

c. *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance yaitu perawatan yang hampir sama dengan *preventive maintenance* hanya saja *predictive maintenance* tidak dilakukan secara teratur. Perawatan jenis ini dilakukan dengan mengantisipasi kerusakan pada tahap awal mesin sebelum terjadi kerusakan. Biaya perawatan jenis *predictive maintenance* lebih kecil jika dibandingkan dengan *preventive maintenance* maupun *breakdown maintenance*. *Predictive maintenance* dilakukan berdasarkan hasil monitoring kondisi mesin dan juga dari hasil analisis kerusakan.

2.2.6 *Conditional Based Maintenance (CBM)*

Condition-based maintenance (CBM) diperkenalkan untuk mencoba memelihara peralatan yang benar di saat/waktu yang tepat. CBM didasarkan pada penggunaan *real-time* data untuk memprioritaskan dan mengoptimalkan sumber daya pemeliharaan. Pengamatan status dari sebuah sistem dikenal sebagai *condition monitoring*. Sistem yang demikian akan mampu dengan sempurna menentukan kesehatan peralatan, dan bertindak hanya ketika pemeliharaan benar-benar perlu.

2.2.7 *Metode-Metode Condition Monitoring*

Pada metode *condition monitoring*, terdapat beberapa metode-metode yang telah digunakan untuk mendapatkan data-data operasional sebuah mesin. Metode-metode tersebut digunakan pada berbagai bidang seperti: tribologi, dinamika,

industrial vibration and noise dan *non-destructive testing* (NDT). Metode-metodenya adalah sebagai berikut:

- a) *Mechanical vibration signature analysis,*
- b) *Lubrican analysis or oil particle density rate analysis,*
- c) *Acaustics emission signature analysis, and*
- d) *Non-destructive testing and analysis.*

Namun dalam penelitian ini hanya difokuskan pada *condition monitoring* berbasis getaran (*mechanical vibration signature analysis*). Karenanya analisis berbasis getaran ini mampu mendeteksi adanya kerusakan sebelum terjadinya permasalahan yang serius yang dapat mengakibatkan perbaikan secara tiba-tiba (Girdhar and Scheffer, 2004).

2.2.8 Condition Monitoring (CM) untuk metode CBM

Memonitor kondisi mesin dapat diidentifikasi sebagai proses yang dijalankan bersamaan dengan aktivitas operasi mesin yang biasanya. Cara yang dilakukan yaitu mengumpulkan informasi dari beberapa data operasi aktivitas mesin, dengan maksud untuk menentukan kondisi operasional dan integritas mesin. Hal tersebut menunjukkan kemampuan pengamatan kondisi mesin saat diamati sehingga mampu memprediksi kondisi mesin untuk yang akan datang.

Maka disimpulkan, metode memonitor kondisi mesin untuk pengamatan kerusakan, terjadi dari lima tahapan yaitu: deteksi kerusakan, doagnosis kerusakan, prognosis terkait perkembangan kerusakan, menentukan tempat kerusakan yang akan diperbaiki, evaluasi.

2.2.9 Condition Based Maintenance (CBM) Berbasis Getaran

Keunggulan yang dimiliki CBM berbasis getaran yaitu mampu mengidentifikasi perkembangan kerusakan sebelum masuk pada tahap yang berat. Semua mesin yang berputar, akan menghasilkan getaran. Analisis vibrasi merupakan metode yang tidak mengganggu selama mesin beroperasi secara normal. Dalam analisis getaran terdapat 4 sistem pokok yang mendasari yaitu:

- a. Penangkapan sinyal/*transducer*

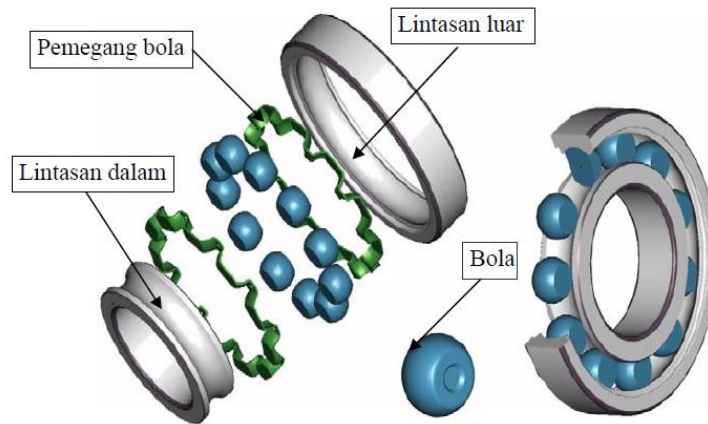
- b. *Signal analyzer*
- c. Software analisis
- d. Komputer/PC

Dari pokok dasar di atas inilah proses analisis getaan dapat dilakukan. Adapun pada *software* analisis memiliki serangkaian metode-metode yang nantinya dapat dikombinasikan, sehingga hasil inilah akan semakin akurat.

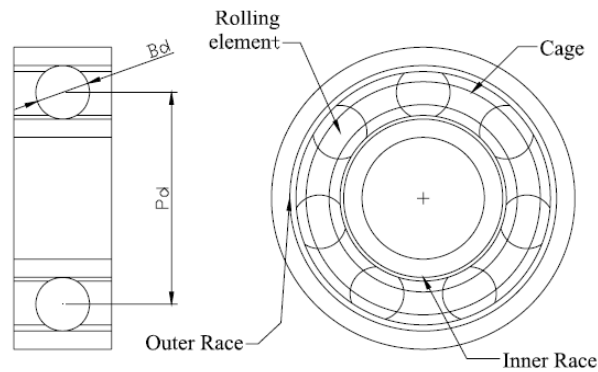
2.3 Kerusakan Bantalan

2.3.1 Definisi Bantalan Bola

Bantalan sebagai pendukung gerakan poros sangat besar perannya dalam operasi kerja suatu mesin. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa setiap desain kincir angin mempunyai spesifikasi dalam bentuk dan posisi masing-masing komponen. Demikian juga dengan bantalan, yang banyak sekali jenis kincir angin meletakkan bantalan pada berbagai posisi hal ini disesuaikan dengan fungsi utama bantalan yaitu untuk mendukung gerakan relatif poros. Bantalan digunakan untuk mendukung gerakan relatif diantara komponen mesin dan memungkinkan berbagai posisi pada masing-masing komponen tersebut. *Rolling bearing* atau bantalan gelinding adalah salah satu jenis bantalan yang memungkinkan gerakan relatif secara radial pada sumbu geraknya. Elemennya terdiri dari bola, pemisah atau pemegang bola, lintasan dalam, lintasan luar seperti Gambar 2. 4 dan Gambar 2. 5.

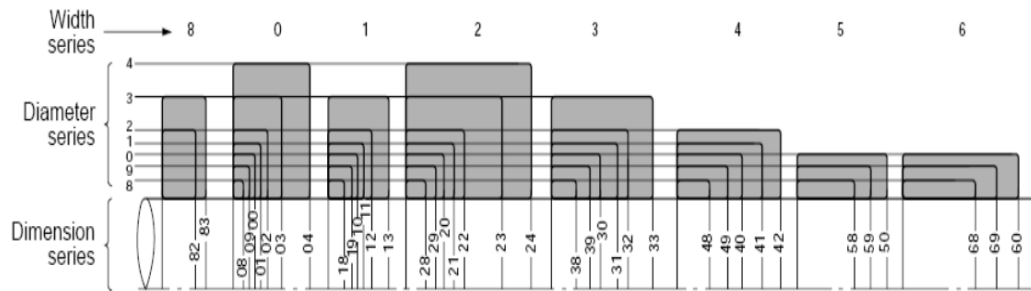


Gambar 2. 4 Elemen Bantalan Gelinding



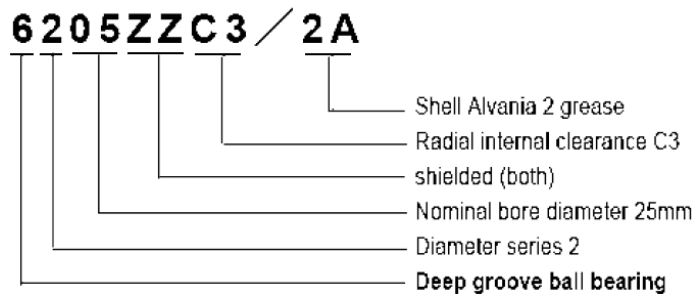
Gambar 2. 5 Sket Bantalan Bola Gelinding

Material bola pada umumnya menggunakan material paduan kromiun dengan baja karbon tinggi, dengan proses pengerasan baja. Untuk pemisah digunakan material jenis baja karbon rendah dengan proses stamping. Bantalan gelinding dibuat dengan berbagai jenis dan ukuran. Bantalan satu baris radial misalnya, dibuat dengan 4 seri, yaitu *extra light*, *light*, *medium light* dan *heavy*. Seri *heavy* ditunjukkan dengan angka 400.



Gambar 2. 6 Seri Bantalan Gelinding NTN

Sebagian pabrik manufaktur menggunakan penomoran dan melakukan penentuan bahwa, 2 digit terakhir dikali 5 menunjukkan ukuran *bore* atau diameter dalam dalam satuan mm. Digit ketiga dari kanan menunjukkan nomor seri bantalan.

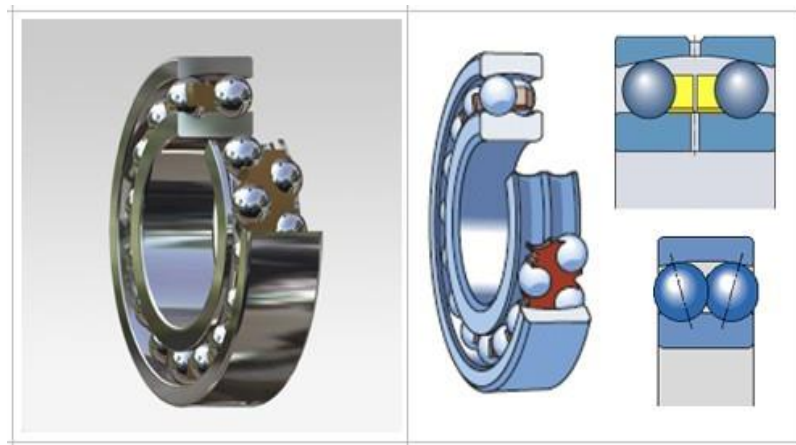


Gambar 2. 7 Nomor Seri Bantalan Bola

Cara membaca seri bantalan bola yang terdapat pada Gambar 2.7 misal bantalan dengan seri 6305 berarti bantalan tersebut adalah jenis bantalan untuk beban medium 3 dengan ukuran diameter dalam 25 mm , diameter luar 60 mm dan merupakan jenis *deep groove ballbearing*. Digit lainnya merupakan tambahan dari masing-masing manufaktur untuk nomor katalog. Bantalan bola juga mempunyai beberapa jenis, diantaranya yaitu : *single row groove ball bearing*, *double row self ball bearing*, *single row angular contact ball bearings*, *double row contact ball bearings*, *double row barrel roller bearing*, dll.

2.3.2 *Double Row Self Aligning Ball Bearings*

Bantalan ini termasuk dalam bantalan bola gelinding. Pada bantalan gelinding terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti bola, rol atau rol jarum, dan rol bulat. Bantalan gelinding menggunakan *rolling* untuk mengurangi gesekan antara dua buah komponen yang bergerak. Perbedaan *Double Row Aligning Self Ball Bearings* dengan bantalan bola jenis lainnya yaitu, pada *Double Row Aligning Self Ball Bearings* mempunyai dua baris bola. Bola yang terdapat pada bantalan mempunyai alur sendiri-sendiri pada cincin bagian dalamnya. Pada umumnya mempunyai cincin pada bagian luarnya. Cincin bagian bantalan ini mampu bergerak sendiri menyesuaikan posisinya. Inilah kelebihan bantalan *Double Row Self Ball Bearings* mengatasi masalah poros yang tidak sebaris *Double Row Self Ball Bearings* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Double row self aligning ball bearings
(<http://www.deinabearing.com/images/self-aligning-ball-bearing1.jpg>)

2.3.3 **Jenis-Jenis Kerusakan Bantalan**

Suhardjono (2005), frekuensi yang dihasilkan oleh masing-masing komponen bantalan akibat kerusakan lokal dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut:

- a. Cacat Lokal pada Lintasan Luar (*Inner Race*)

Informasi yang berhubungan dengan kerusakan pada lintasan dalam, dimunculkan dengan adanya frekuensi eksitasi impuls yang disebut *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO), dinyatakan pada persamaan berikut:

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \times fr \times \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha \right) \dots\dots\dots 2.1$$



Gambar 2. 9 Kerusakan Lokal pada Lintasan Luar
<https://m0103.files.wordpress.com/2014/08/images6.jpg>

b. Cacat Lokal pada Lintasan Dalam (*Outer Race*)

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

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \times fr \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha \right) \dots\dots\dots 2.2$$



Gambar 2. 10 Kerusakan Lokal pada Lintasan Dalam
<https://m0103.files.wordpress.com/2014/08/images6.jpg>

c. Cacat Lokal pada Bola (*Rolling Element*)

Apabila terdapat kerusakan pada bola, maka munculnya frekuensi *impuls* yang terjadi dinamakan *Ball Spin Frequency* (BSF). Sehingga besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$BSF = \frac{Nb}{2Bd} \times fr \times (1 - (\frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha)^2) \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

Nb : Jumlah bola

Fr : Frekuensi relatif antara lintasan dalam dan lintasan luar (Hz)

Bd : Diameter bola (mm)

Pd : Diameter pitch

A : Sudut kontak (derajat)



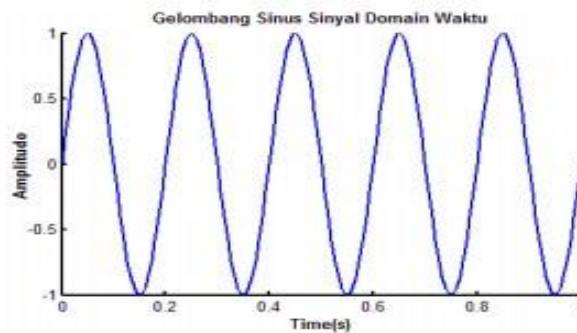
Gambar 2. 11 Kerusakan pada bola

2.3.4 Sinyal Getaran

Sinyal merupakan besaran fisik yang nilai dan variasi nilainya terhadap waktu, memuat informasi-informasi tertentu. Bentuk sinyal getaran pada umumnya berupa keadaan, laju perubahan, level bentuk, serta frekuensi. Pengukuran getaran terhadap komponen suatu mesin memberikan informasi yang berbeda-beda, oleh karena itu perlu dilakukan proses pengolahan data agar proses analisis sinyal getaran yang ditampilkan oleh komponen mesin yang mengalami cacat atau kerusakan akan mudah

dibaca. Analisis terkait data-data getaran mesin mengandung banyak informasi yang dibutuhkan untuk menentukan kondisi suatu komponen mesin seperti, informasi terkait kondisi mesin, informasi terkait letak kerusakan suatu mesin dan penyebab kerusakan suatu komponen mesin. Ada dua pandangan dalam persoalan analisa getaran yaitu domain waktu dan domain frekuensi.

Perubahan simpangan suatu getaran terhadap waktu bisa diamati secara detail dengan grafik domain waktu. Gelombang sinyal getaran domain waktu. Gelombang sinyal getaran domain waktu dapat dilihat pada Gambar 2.12 dimana kebanyakan dari sinyal dalam prakteknya adalah sinyal domain waktu. Oleh karena itu, sinyal yang diukur yaitu fungsi waktu, dimana ketika diplot salah satu sumbu dengan variabel waktu maka variabel lainnya adalah amplitudo. Amplitudo pada sinyal domain waktu menunjukkan terjadinya keras lemahnya sinyal yang diterima. Sehingga sinyal yang diterima tidak memiliki karakteristik yang berbeda.

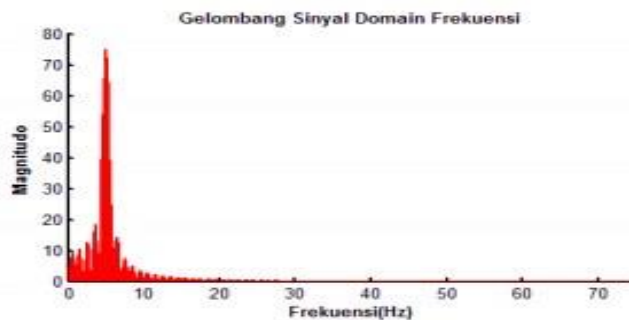


Gambar 2. 12 Gelombang sinyal sinus domain waktu
(<http://www.cbcity.de/wp-content/uploads/2014/04/FFT1.png>)

Sedangkan pada sinyal domain frekuensi, ketika diplot berupa spektrum dengan penyajian frekuensi terhadap magnitudo. Spektrum frekuensi sinyal pada dasarnya yaitu komponen frekuensi sinyal yang menunjukkan frekuensi apa yang muncul. Frekuensi yang memperlihatkan tingkat perubahan, jika pada suatu varabel sering berubah, maka disebut frekuensi tinggi, begitu sebaliknya jika tidak sering berubah, maka disebut

frekuensi rendah dan apabila variabel tidak berubah sama sekali, karenanya tidak mempunyai frekuensi (nol frekuensi).

Pada sinyal domain frekuensi, ketika diplot berupa spektrum dengan penyajian frekuensi terhadap magnitudo. Informasi yang penting tersembunyi di dalam frekuensi sinyal. Spektrum frekuensi sinyal pada dasarnya adalah komponen frekuensi (spektral frekuensi) sinyal yang menunjukkan frekuensi apa yang muncul. Frekuensi memperlihatkan tingkat perubahan. Jika suatu variabel sering berubah, maka disebut berfrekuensi tinggi, ataupun sebaliknya jika tidak sering berubah, maka disebut berfrekuensi rendah dan apabila variabel tersebut tidak berubah sama sekali, maka disebut tidak mempunyai frekuensi atau nol frekuensi. Magnitudo pada sinyal domain frekuensi memperlihatkan tinggi rendahnya sinyal yang diterima. Dengan kata lain, keras lemahnya sinyal tidak mempengaruhi frekuensi yang ada di dalamnya. Sinyal domain frekuensi dapat dikembalikan ke sinyal domain waktu. Gelombang sinyal getaran domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 2.13.

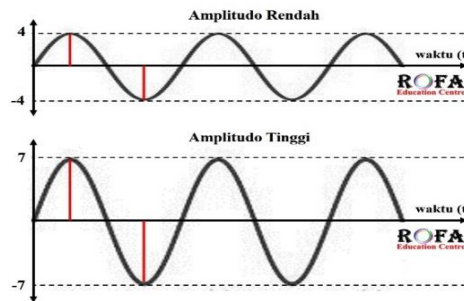


Gambar 2. 13 Gelombang sinyal domain frekuensi

2.3.5 Amplitudo

Amplitudo adalah gelombang selalu memiliki titik puncak dan lembah. Pada titik puncak memiliki ketinggian yang berbeda-beda, untuk ukuran titik tertinggi dari suatu gelombang dinamakan amplitudo. Apabila terdapat dua gelombang memiliki nilai puncak lebih tinggi atau lebih rendah dari gelombang lainnya (Girdhar and Scheffer, 2004). Suatu amplitudo memberikan indikasi relatif terkait besar nilainya

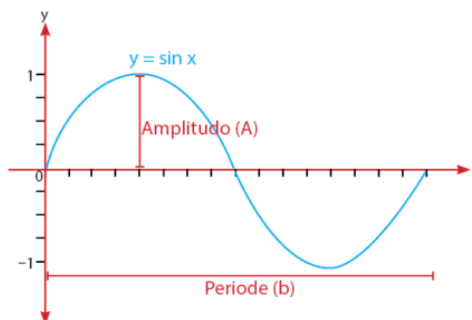
energi yang tersebar pada suatu gelombang. Terlihat pada Gambar 2.14 terdapat 2 macam gelombang yang memiliki amplitudo yang berbeda, gelombang diatas memiliki amplitudo yang rendah dibandingkan gelombang yang bawah.



Gambar 2. 14 Bentuk dari ukuran amplitudo (<https://rofainstitute.com/wp-content/uploads/2018/03/Perbedaan-Amplitudo-Rendah-dan-Tinggi-pada-Frekuensi-yang-Sama-1.jpg>)

2.3.6 Periode

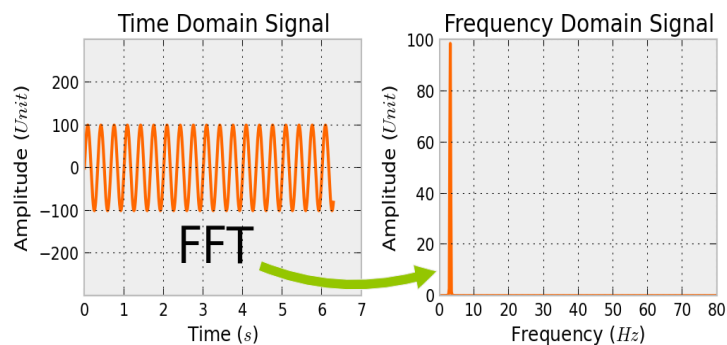
Periode adalah waktu yang digunakan untuk melakukan satu kali getaran. Pengertian yang digunakan untuk menggambarkan berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh suatu getaran ketika melakukan satu kali getaran atau bahkan lebih. Untuk menghitung periode maka digunakan frekuensi sebagai faktor pembagi angka satu. Jika suatu benda melakukan getaran, maka getaran tersebut membutuhkan waktu untuk menempuh satu kali putaran. Pada Gambar 2.15, dapat dilihat ilustrasi dari grafik periode.



Gambar 2. 15 Grafik Periode

2.3.7 Fast Fourier Transform (FFT)

Pada tahun 1960, Cooley dan Tukey, berhasil merumuskan suatu teknik perhitungan algoritma *Fourier Transform* yang efisien. Teknik perhitungan algoritma ini dikenal dengan sebutan *Fast Fourier Transform* atau lebih populer dengan istilah *FFT* yang diperkenalkan oleh Bendat dan Piersol pada 1986. *Fast Fourier Transform* dalam bahasa Indonesia adalah Transformasi *Fourier*. Cepat adalah sumber dari suatu algoritma untuk menghitung *Discrete Fourier Transform* (Transformasi *Fourier Diskrit* atau DFT) dengan cepat, efisien dan inversnya. Agar memperjelas proses transformasi *fourier*, dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Transformasi Fourier

(<http://www.cbccity.de/wp-content/uploads/2014/04/FFT1.png>)

Algoritma pada *Fast Fourier Transform* (FFT) memeriksa ketidاكلancaran modulasi frekuensi yang terdapat pada gelombang spektrum, dimana hal ini terjadi ketika sinyal non frekuensi muncul pada sinyal gelombang (Girdhar, 2004).

a. Kelebihan *Fast Fourier Transform* (FFT)

Definisi *Fast Fourier Transform* sebagai alat/tool untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi, menjelaskan kepada kita bahwa transformasi *fourier* ini mempunyai kelebihan:

1. Mampu menunjukkan berapa banyak komponen frekuensi yang ada di dalam sinyal

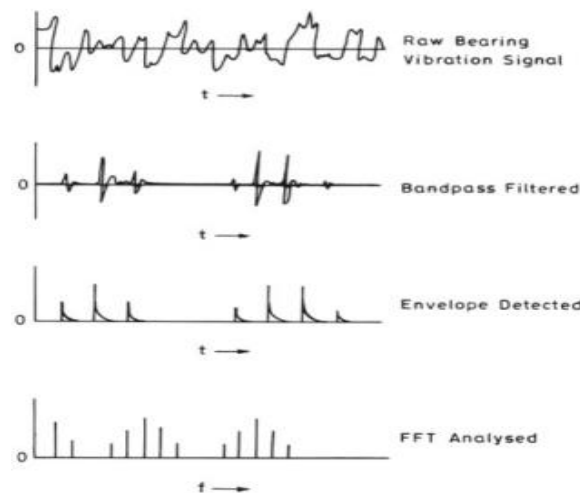
2. Mampu menunjukkan kandungan frekuensi yang terkandung di dalam sinyal.

b. Kekurangan *Fast Fourier Transform* (FFT)

Fast Fourier Transform ini hanya memberikan informasi berupa semua kandungan frekuensi yang terdapat pada sinyal, akan tetapi tidak bisa memperlihatkan waktu terjadinya frekuensi tersebut secara bersamaan.

2.3.8 Analisis *Envelope*

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*. Metode ini sering digunakan juga untuk mendeteksi kerusakan-kerusakan pada mesin melalui sinyal getarannya. Oleh karena itu metode ini adalah metode yang paling populer dibandingkan metode pemeliharaan yang lainnya. Pada Gambar 2.17 ini merupakan sinyal *envelope*.



Gambar 2. 17 Sinyal Envelope
(Tandon, 1999)

Kerusakan bantalan adalah salah satu kerusakan yang paling sering terjadi pada mesin industri. Analisis *envelope* banyak digunakan untuk mendeteksi dan mendiagnosis kerusakan pada *Rolling Element Bearing* (REB). Apabila terjadi

kerusakan, sinyal getaran diubah menjadi amplitudo yang di modulasi karena adanya perubahan gaya secara berskala. Sehingga akan nampak bahwa pada frekuensi rendah, merupakan gejala kerusakan REB. Analisa *envelope* telah menunjukkan beberapa keunggulan utama dibandingkan dengan metode lain dalam deteksi dini gejala kerusakan bantalan atau *bearing*. Skema *envelope* dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Skema Envelope

Analisis *envelope* merupakan metode yang khusus digunakan pada analisis kerusakan pada *bearing* dan *gearbox*. Dimana metode ini fokus pada wilayah spektrum yang memiliki frekuensi tinggi, dengan filter yang digunakan yaitu *high-pass filter* (Girdhar and Scheffer, 2004).

High-pass filter hanya menyaring frekuensi-frekuensi yang tinggi dan menghilangkan frekuensi rendah. Menghilangkan *peaks* rendah terlebih dahulu, agar mempermudah proses pembacaan sinyal data frekuensi. 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 (Girdhar and Scheffer, 2004).

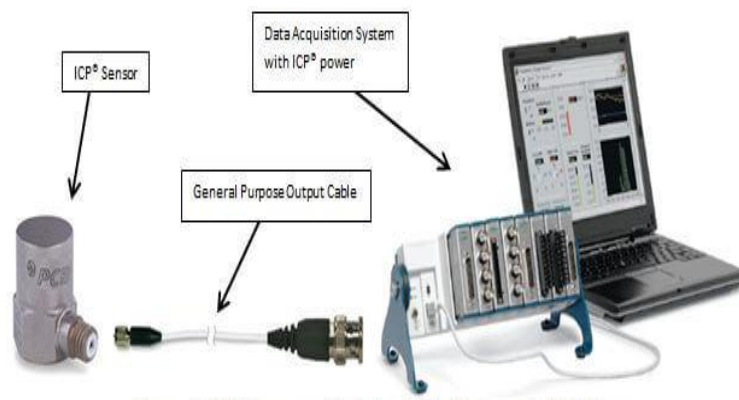
2.3.9 Data Akuisisi

Data akuisisi atau yang disebut juga *Data Acquisition (DAQ)* didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data, hingga memprosesnya untuk menghasilkan data yang dikehendaki. Data akuisisi menurut Kirianaki (2002) adalah pengukuran sinyal elektrik dari transduser dan peralatan pengukuran kemudian memasukkannya ke komputer untuk

diproses. Ada juga yang mendefinisikan akuisisi data adalah semua besaran fisik yang akan diukur, diamati, disimpan, dan dikontrol dapat berupa suhu, tekanan, suara getaran dll.

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

1. Sensor: mengubah parameter fisik ke dalam 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 2.19 dapat dilihat komponen *DAQ System*.

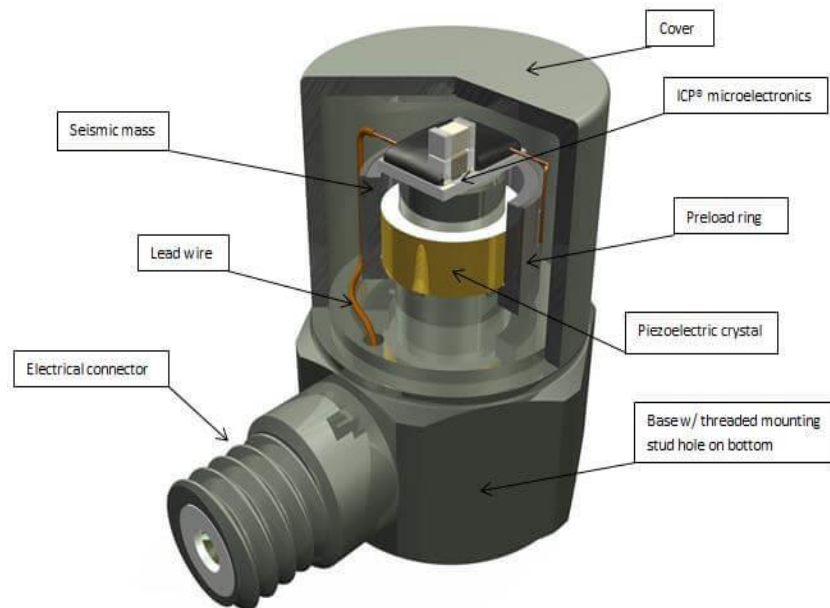


Gambar 2. 19 Komponen DAQ System
(http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech_Accel)

2.3.10 Accelerometer

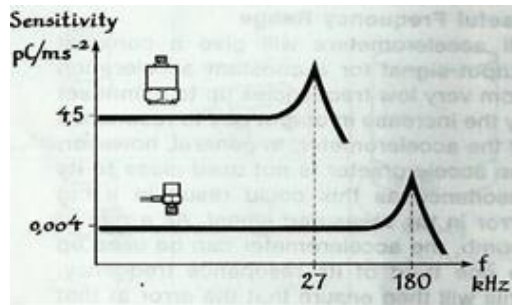
Accelerometer adalah perangkat yang mengukur getaran, atau percepatan gerak struktur. Gaya yang disebabkan oleh getaran atau perubahan gerak (percepatan) menyebabkan massa "meremas" bahan *piezoelektrik* yang menghasilkan muatan listrik

yang sebanding dengan gaya yang diberikan padanya. Karena muatannya sebanding dengan gaya dan massanya konstan, maka muatannya juga sebanding dengan percepatan. Pada Gambar 2.20 dapat dilihat komponen-komponen *accelerometer*.

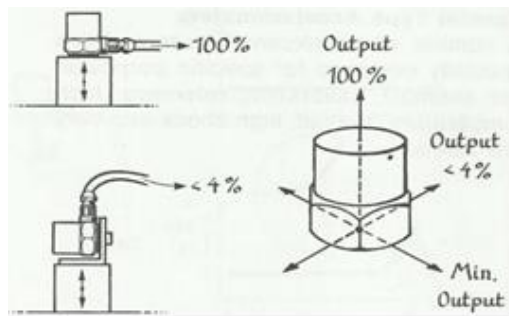


Gambar 2. 20 Komponen Accelerometer
(http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/Tech_Accel)

Ketika akselerometer terkena tingkat akselerasi konstan, maka akan memberikan sinyal keluaran konstan melalui rentang frekuensi yang sangat luas - sampai frekuensi mendekati frekuensi resonansinya. Secara umum semakin besar *accelerometer* semakin tinggi sensitivitasnya, dan semakin kecil rentang frekuensi yang berguna dan sebaliknya. Pada Gambar 2.21 dan Gambar 2.22 dapat dilihat sensitivitas *accelerometer*.



Gambar 2. 21 Sensivitas Accelerometer



Gambar 2. 22 Sensivitas Transfer
(Courrech, 1990)

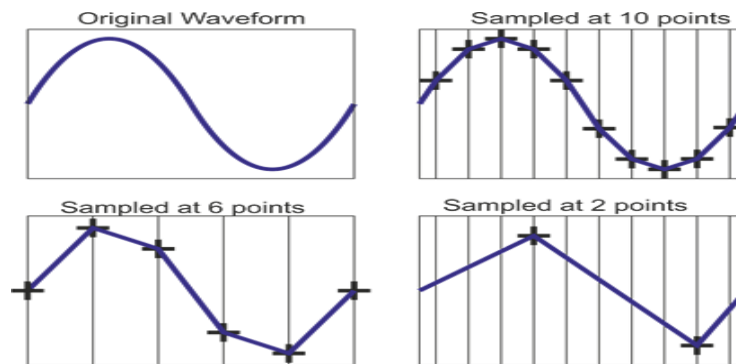
Kelebihan yang terjadi pada *Accelerometer* yaitu a). Respon sinyal yang baik antara 900 sampai 600.000 cpm (15.>10.000 Hz). b). Respon fase datar sepanjang rentang operasi transducer. c). Beroperasi di bawah *mount* frekuensi resonansi alami. d). Elektronik *solid state* dengan konstruksi yang kokoh dan andal. e). Tersedia unit khusus untuk aplikasi suhu tinggi.

Kekurangan pada *Accelerometer* yaitu a). Sensitif terhadap teknik pemasangan dan kondisi permukaan. b). Tidak mampu mengukur getaran atau posisi poros. c). Sumber daya eksternal yang dibutuhkan. d). Respon sinyal dinamis rendah di bawah 600 cpm (10 Hz). e). Kabel *transducer* yang peka terhadap kebisingan, gerak, dan gangguan listrik (terutama pada *accels charge-mode*). f). Pembatasan *temperature* 250 F untuk icp transduser. g). Jangkauan frekuensi yang diperluas seringkali

membutuhkan penyaringan sinyal. h). Integrasi ganda seringkali mengalami gangguan frekuensi rendah.

Sampling Rate adalah banyaknya jumlah *sample* (titik) yang diukur dalam hertz (Hz) diambil dalam satuan waktu (detik) dari sinyal yang diterima dalam bentuk terus-menerus (*continuous*) atau dalam bahasa sederhana adalah batas frekuensi atau jumlah titik yang dapat dikirim perdetiknya. Setiap jenis data akuisisi mempunyai nilai *sampling rate* masing-masing.

Gambar 2.23 merupakan contoh *sampling rate*, terlihat bahwa semakin sedikit jumlah titik *sampling rate* yang diterima akan mempengaruhi hasil yang semakin kaku tidak sempurna dari grafik yang sebenarnya. Sedangkan, semakin banyak *sampling rate* yang diterima, maka hasil grafik akan mendekati grafik yang sebenarnya.

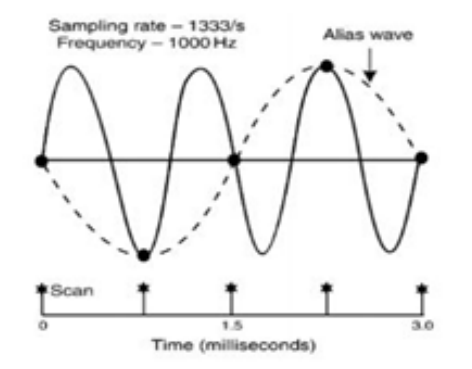


Gambar 2. 23 Sampling Frekuensi
(<https://labtronix.co.uk/drupal/content/about-oscilloscope-sample-rate>)

2.3.11 Fenomena *Aliasing*

Dengan pemrosesan sinyal dan hubungan terkait, *aliasing* adalah suatu efek yang menyebabkan sinyal berbeda menjadi tidak dapat dibedakan saat dijadikan stempel. Ini juga mengacu pada distorsi atau artefak yang dihasilkan sinyal yang direkonstruksi dari sampel berbeda dari sinyal kontinyu asli. *Aliasing* dapat terjadi dalam sinyal yang diambil sampel pada waktunya, misalnya audio digital, dan disebut *aliasing temporal*. *Aliasing* merupakan fenomena atau suatu efek yang terjadi akibat

rekonstruksi sinyal yang tidak sesuai dengan aslinya. Efek *aliasing* dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2. 24 Fenomena Aliasing
(Girdhar, 2004)

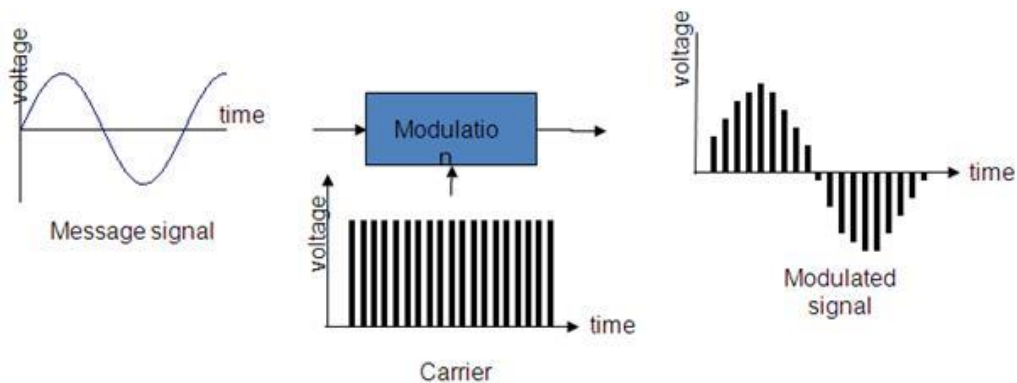
2.3.12 Amplitudo Modulasi (AM)

Modulasi adalah proses pencampuran dua sinyal menjadi satu sinyal. Biasanya sinyal yang dicampur adalah sinyal berfrekuensi tinggi dan sinyal berfrekuensi rendah. Dengan memanfaatkan karakteristik masing-masing sinyal, maka modulasi dapat juga digunakan untuk mentransmisikan sinyal informasi pada daerah yang luas atau jauh. Sebagai contoh sinyal informasi (suara, gambar, data), agar dapat dikirim ketempat lain, sinyal tersebut harus ditumpangkan pada sinyal lain. dalam konteks radio siaran, sinyal yang menumpang adalah sinyal suara, sedangkan yang ditumpang adalah sinyal radio yang disebut sinyal membawa (*carrier*). Jenis dan cara penumpangan sangat beragam, yaitu untuk jenis penumpangan sinyal analog akan berbeda dengan sinyal digital. Penumpangan sinyal suara juga akan berbeda dengan penumpangan sinyal gambar, sinyal film, atau sinyal lainnya.

Dalam pengertian lain yaitu modulasi adalah proses perubahan suatu gelombang periodik sehingga menjadikan suatu sinyal mampu membawa suatu informasi. Dengan proses modulasi, suatu informasi (biasanya berfrekuensi rendah) bisa dimasukkan ke dalam suatu gelombang pembawa, biasanya berupa gelombang sinus berfrekuensi tinggi. Terdapat tiga parameter kunci pada suatu gelombang

sinusoidal yaitu: amplitudo, fase dan frekuensi. Ketiga parameter tersebut dapat dimodifikasi sesuai dengan sinyal informasi (berfrekuensi rendah) untuk membentuk sinyal yang termodulasi. Modulasi ini adalah modulasi yang paling sederhana, dimana frekuensi pembawa atau *carrier* diubah amplitudonya sesuai dengan *signal* informasi atau *messagesignal* yang akan dikirimkan.

Amplitudo modulasi adalah modulasi yang mana amplitudo dari sinyal pembawa (*carrier*) berubah karakteristinya sesuai dengan amplitudo sinyal informasi. Modulasi ini disebut juga linier modulation, artinya bahwa pergeseran frekuensinya bersifat linier mengikuti signal informas yang akan ditransmisikan. Proses modulasi antara sinyal informasi dengan sinyal pembawa dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.25.



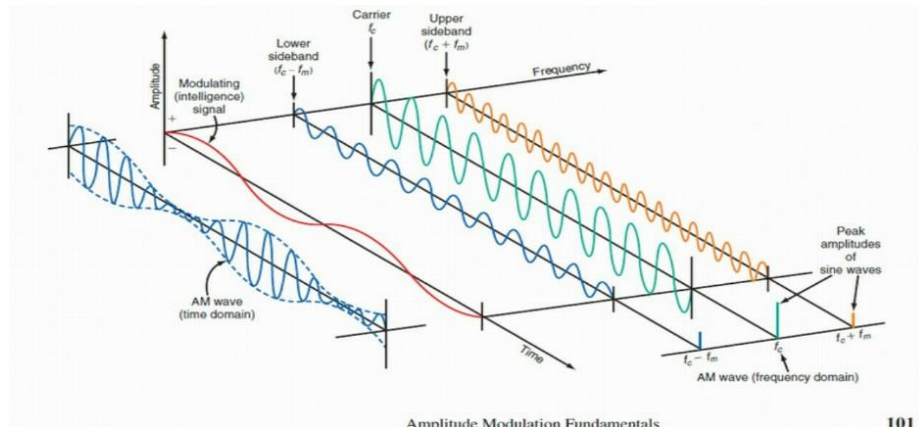
Gambar 2. 25 Amplitudo Modulasi

<https://fahmizaleeits.files.wordpress.com/2011/02/51.jpg>

Jenis-jenis *Amplitudo Modulation* (AM) ada beberapa jenis yaitu:

1. AM SSB (*Single SideBand*)

Adalah salah satu jenis modulasi amplitudo dimana spektrum frekuensi yang dipancarkan hanya salah satu dari spektrum frekuensi AM yaitu frekuensi LSB (*Lower Sideband*) atau frekuensi USB (*Upper Sideband*) saja. Untuk memeperjelas dapat dilihat pada Gambar 2.26.



Gambar 2. 26 Bentuk Sinyal Side Band

2. AM DSBFC (*Double sideband full carrier*)
 Disebut juga full AM dimana spektrum yang dipancarkan adalah spektrum frekuensi AM yaitu frekuensi LSB dan frekuensi USB. Bandwidth sinyal termodulasi adalah sama dengan dua kali sinyal informasi.
3. AM DSBSC (*Double sideband suppressed carrier*)
Double sideband suppressed carrier adalah jenis modulasi amplitudo dimana spektrum frekuensi carrier ditekan mendekati nol.
4. AM VSB (*Vestigial sideband*)
 Sering digunakan pada industri *teledan* siskomersial untuk transmisi dan penerimaan sinyal video. Pada VSB sebagian komponen LSB ikut ditransmisikan dengan kompone USB dan komponen pembawa.