

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Metode pendeteksian kerusakan komponen pompa sentrifugal secara umum dapat dilakukan dengan menggunakan sinyal getaran. Mengenai hal ini, telah dilakukan penelitian di beberapa tahun terakhir diantaranya diuraikan pada paragraf sebagai berikut.

Ari dkk (2013) menggunakan sinyal getaran untuk mendeteksi kerusakan yang terjadi pada impeler pompa sentrifugal. Pada penelitian ini kerusakan impeler yang diteliti mencakup pada kerusakan ujung sudu impeler dan kerusakan salah satu sudu impeler. Dengan menggunakan sinyal getaran dapat mendeteksi kerusakan tanpa pembongkaran pada pompa sentrifugal. Hasilnya peningkatan amplitudo frekuensi pada pompa mengindikasikan adanya kerusakan pada impeler.

Astriyanto dkk (2013) melakukan penelitian tentang aplikasi respon getaran untuk fenomena kavitasi dengan menggunakan variasi kerusakan impeler. Penelitian ini dilakukan menggunakan impeler dengan level kerusakan yang berbeda-beda. Dengan kerusakan impeler variasi I, variasi II, variasi III, dan variasi IV yang berturut-turut semakin besar level kerusakannya. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur getaran dan saluran isap pada pompa. Pada penelitian ini amplitudo frekuensi menunjukkan kenaikan pada kerusakan variasi I hingga variasi IV. Namun, kavitasi yang diinginkan tidak terpenuhi dikarenakan tekanan pada sisi isap masih lebih besar dengan tekanan uap jenuhnya. Semakin besar kerusakan yang terjadi pada impeler akan berdampak pada tekanan isap pada pompa.

Sumarno dkk (2015) menyatakan bahwa dengan menggunakan sinyal getaran adalah salah satu cara untuk mengenali kerusakan mekanis pada pompa. Kerusakan mekanis yang terjadi diantaranya kerusakan bantalan, impeler atau

katup kaki. Dengan mengamati sinyal-sinyal getaran secara visual pada amplitudo frekuensi dapat memperlihatkan perbedaan antara pompa dalam kondisi baik dan pompa dalam kondisi rusak.

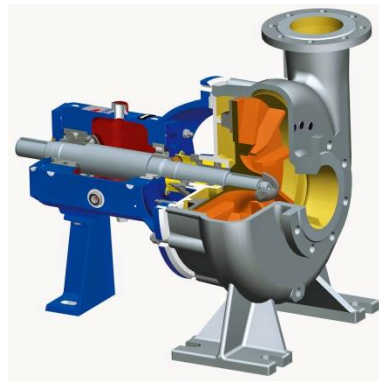
Susilo (2008) melakukan penelitian kerusakan bantalan gelinding pada pompa sentrifugal dengan sinyal getaran. Pada penelitian ini menfokuskan komponen bantalan gelinding dengan mengamati frekuensi amplitude pada *outer race*, *inner race*, *ball* dan *cage*. Percobaan dilakukan dengan menggunakan pompa sentrifugal berkecepatan 1495 rpm. Kemudian dilakukan dengan mengambil frekuensi getaran bantalan gelinding pada kondisi baik dan bantalan gelinding pada kondisi cacat. Hasilnya peningkatan amplitudo terlihat pada 4 x BPFi yaitu sekitar 1.2 volt, 3 x BPFO yaitu 1.66 volt dan 2 x BSF yaitu 2 volt. Berdasarkan peningkatan amplitudo frekuensi tersebut maka dapat diindikasikan bahwa bantalan gelinding dinyatakan rusak.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu seperti yang didiskripsikan diatas metode deteksi kerusakan menggunakan domain frekuensi menunjukkan hasil yang menjanjikan. Kerusakan yang terjadi pada komponen pompa sentrifugal dapat terlihat pada peningkatan amplitudo frekuensi sinyal getaran tertentu.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal seperti terlihat pada gambar 2.1. adalah pompa yang mempunyai sebuah *impeller* (baling-baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi (Sularso, 1996). Impeler pada pompa sentrifugal berfungsi memberikan tekanan kepada fluida sehingga energy yang terkandung menjadi lebih besar. Pompa sentrifugal memiliki keuntungan karena memiliki bentuk yang sederhana dan harga yang relatif murah.



Gambar 2.1. Pompa Sentrifugal

(Sumber : <http://www.insinyoer.com>)

Pompa sentrifugal dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria antara lain :

1. Bentuk arah aliran yang terjadi di impeler. Arah aliran fluida dalam impeler dapat berupa aliran aksial (*axial flow*), aliran campur (*mixed flow*), atau aliran radial (*radial flow*).
2. Kontruksi dari impeller. Impeller yang digunakan dalam pompa sentrifugal dapat berupa impler terbuka, impeler setngah terbuka, atau impeler tertutup.
3. Banyaknya jumlah *suction inlet*. Beberapa pompa sentrifugal memiliki *suction inlet* lebih dari dua buah. Pompa yang memiliki satu *suction inlet* disebut *single – suction pump* sedangkan untuk pompa yang memiliki dua *suction inlet* disebut *double – suction pump*.

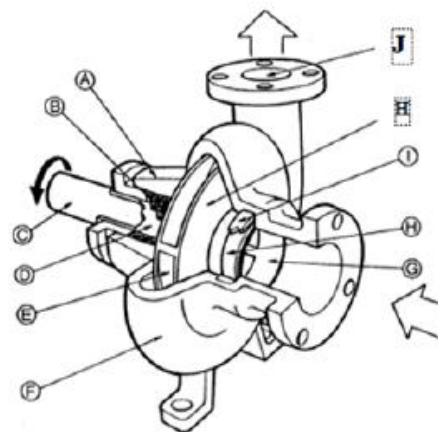
4. Banyaknya *impeller*. Pompa sentrifugal khusus memiliki beberapa impeler bersusun yaitu pompa memiliki satu impeler (*single – stage pump*) dan pompa yang memiliki lebih dari satu impeler (*multi – stage pump*).

2.2.2. Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal

Prinsip kerja pompa sentrifugal daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeler yang terpasang pada poros tersebut. Sudu-sudu yang terdapat dalam impeler akan mendorong zat cair yang ada didalam. Dengan adanya gaya sentrifugal zat cair akan mengalir meninggalkan dan akan keluar melalui saluran pada sudu-sudu impler dengan kecepatan tinggi. Zat cair yang keluar dari impeler dengan kecepatan tinggi ini kemudian akan keluar melalui saluran yang penampangnya makin membesar (*volute/difuser*) sehingga terjadi perubahan dari *head* kecepatan menjadi head tekanan.

2.2.3. Bagian-Bagian Pompa Sentrifugal

Secara umum komponen-kompenen pada pompa sentrifugal dapat dilihat pada gambar 2.2. dibawah ini :



Gambar 2.2. Komponen Pada Pompa Sentrifugal.

(Sumber : Setiabudi,2014)

A. *Stuffing Box*

Stuffing Box berfungsi untuk menerima kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus casing.

B. *Packing*

Packing berfungsi untuk mengurangi dan mencegah adanya bocoran fluida dari casing pompa melalui poros.

C. *Shaft* (poros)

Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan impeler dan bagian – bagian berputar lainnya.

D. *Shaft sleeve*

Shaft sleeve berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada *stuffing box*.

E. *Vane*

Sudu dari impeler sebagai tempat berlalunya cairan pada impeler.

F. *Casing*

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

G. *Eye of Impeller*

Eye of impeler merupakan bagian sisi masuk pada arah isap impeler.

H. Impeler

Impeler berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada

sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.

I. *Chasing Wear Ring*

Chasing Wear Ring berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan impeler maupun bagian belakang impeler, dengan cara memperkecil celah antara casing dengan impeler.

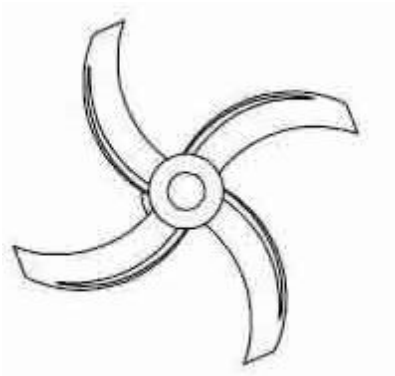
J. *Discharge Nozzle*

Discharge Nozzle berfungsi untuk mengeluarkan cairan dari impeler. Di dalam nosel ini sebagian head kecepatan aliran diubah menjadi head tekanan.

2.2.4. *Impeller*

Impeller adalah salah satu bagian penting yang terdapat pada pompa sentrifugal dimana terjadi perubahan energi mekanis berupa putaran menjadi kecepatan, aliran impeler akan diputar oleh motor penggerak pompa, menyebabkan aliran akan berputar dan gerakan aliran akan mengikuti impeller dan keluar dengan kecepatan yang besar. impeler terbuat dari besi, baja, aluminium, kuningan, perunggu ataupun plastik. Bentuk impeler dapat mempengaruhi kinerja pada pompa sentrifugal. Berikut ini jenis-jenis impeler pompa sentrifugal :

1. Impeler Terbuka .

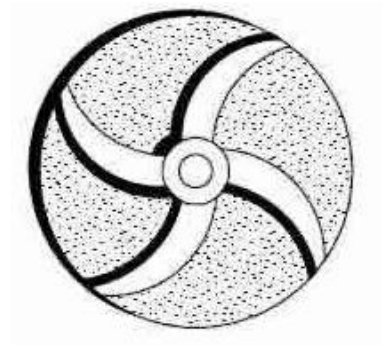


Gambar 2.3. Impeler Terbuka

(sumber : <https://logamceper.com>)

impeler terbuka terlihat pada gambar 2.3. adalah jenis impeler yang terdiri dari baling-baling yang menempel pada satu titik pusat tanpa adanya dinding. Biasanya impeler jenis ini digunakan untuk memompa fluida yang mempunyai tingkat kontaminasi tinggi dan lumpur yang melekat.

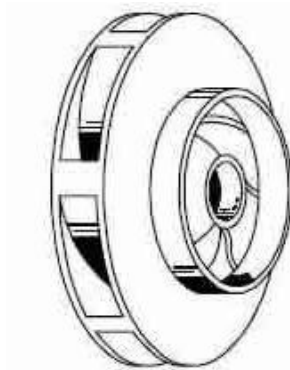
2. Impeler Setengah Terbuka.



gambar 2.4. Impeler Setengah Terbuka
(sumber : <https://logamceper.com>)

impeler setengah terbuka pada gambar 2.4. merupakan impeler yang memiliki baling-baling yang menempel pada salah satu bagian dindingnya. Impeler jenis ini biasanya digunakan untuk mengalirkan cairan yang mengandung pasir dan lumpur ringan.

3. Impeler Tertutup.



Gambar 2.5. Impeler Tertutup
(sumber : <https://logamceper.com>)

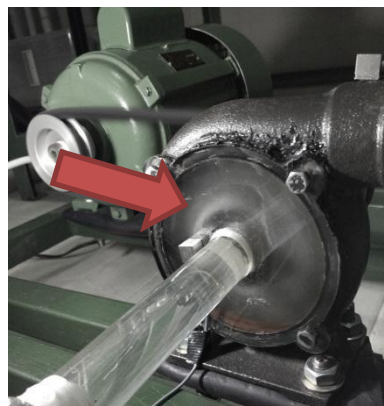
Impeler tertutup terlihat pada gambar 2.5. merupakan impeler yang memiliki baling-baling tertutup pada kedua sisi. Impeler ini digunakan untuk mengalirkan cairan bersih atau sedikit kotor.

2.2.5. Kerusakan Umum Pada Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan jenis pompa yang sering digunakan pada industri. Kerusakan pada pompa sentrifugal umumnya seperti adanya kavitasi, kerusakan bearing dan kerusakan impeller.

1. Fenomena Kavitasi

Kavitasi dapat dilihat 2.6. merupakan terjadinya penguapnya fluida yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuh. Apabila kavitasi terjadi pada pompa maka akan menimbulkan suara berisik dan getaran. Selain itu, akan menurunkan kinerja pompa secara tiba-tiba, sehingga pompa tidak dapat bekerja dengan baik. Bagian yang mudah mengalami kavitasi adalah pada sisi isap. Permukaan dinding akan mengalami kerusakan sehingga menjadi berlubang-lubang atau bopeng (Sularso, 1996).

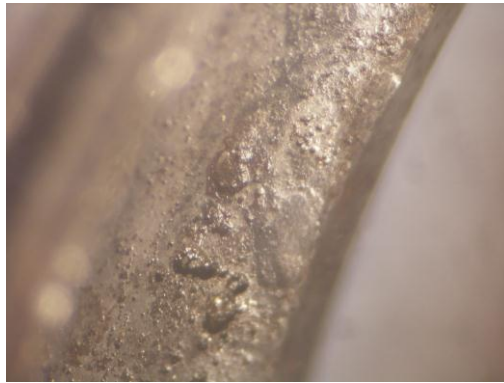


Gambar 2.6. Fenomena Kavitasi

2. Kerusakan *Bearing*

Adapun kerusakan pada *bearing* terjadi diantaranya adalah keretakan bearing, keausan, pemasangan yang tidak sesuai, kurangnya pelumasan dan diameter bola yang tidak sama (Sukendi, 2015). Kerusakan pada *bearing* dapat digolongkan menjadi tiga bagian sesuai komponennya yaitu kerusakan *outer race*,

kerusakan *inner race* dan kerusakan bola (Jufrizel, 2012). Getaran yang timbul disebabkan oleh adanya gaya kontak pada kerusakan bearing. Pada *bearing* ideal, besarnya gaya kontak akan sama pada setiap bola dan pada setiap posisi bola. Bila pada *bearing* bola terjadi kerusakan maka besarnya gaya kontak tidak akan sama lagi. Hal inilah yang menyebabkan getaran yang tidak beraturan. Terlihat pada gambar 2.7. kerusakan pada *outer race bearing* dibawah ini.



Gambar 2.7. Cacat pada *Outer Race Bearing*.

(Sumber : Susilo,2008)

3. Kerusakan impeler

Impeler merupakan komponen pompa sentrifugal yang sangat penting yang digunakan untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ke tempat lain. Impeler biasanya terbuat dari besi, baja, aluminium, kuningan, perunggu ataupun plastik. Kerusakan pada impeler bisa disebabkan oleh kavitasi, erosi asam, erosi bahan kimia dan lain-lain (Ari ,2013). Kerusakan yang terjadi pada impeler akan menyebabkan impeler tersebut menjadi tak seimbang yang akan berakibat pada meningkatnya getaran pada pompa. Impeler yang rusak akan mengakibatkan kinerja suatu pompa menjadi tidak stabil. Dapat dilihat pada gambar 2.8. kerusakan impeler akibat kavitasi.



Gambar 2.8. Kerusakan Impeler Akibat Kavitasi
(sumber : <https://www.slideshare.net>)

2.2.6. Maintenance

Maintenance merupakan suatu kegiatan yang penting bertujuan untuk mempertahankan dan mengembalikan mesin atau peralatan kerja pada kondisi yang baik sehingga dapat bekerja secara optimal. Menurut Djunaidi dan Sufa (2007) perawatan mesin secara umum dapat dikelompokkan sebagai berikut :

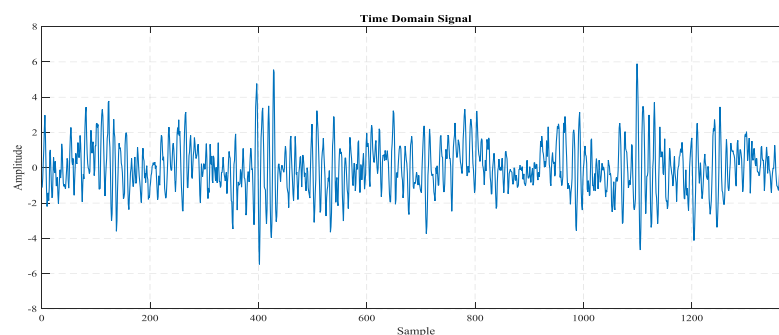
1. *Preventive maintenance*, yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan secara terjadwal yang bertujuan untuk mencegah kerusakan pada mesin atau peralatan kerja.
2. *Corrective maintenance*, yaitu kegiatan perawatan mesin yang telah direncanakan dengan didasarkan pada waktu kelayakan penggunaan mesin sesuai dengan buku petunjuk alat tersebut.
3. *Predictive maintenance/condition based monitoring*, yaitu suatu tindakan perawatan mesin yang dilakukan berdasarkan atas kondisi tertentu dari peralatan (*condition based*).
4. *Breakdown maintenance*, yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan tanpa adanya jadwal namun didasarkan pada kerusakan yang terjadi mendadak.

2.2.7. Condition based monitoring (CBM)

Condition based monitoring (CBM) merupakan suatu metode yang digunakan untuk memonitor kondisi sistem pada waktu tertentu dengan memprediksi kondisi mesin pada waktu yang akan datang melihat pada getaran, temperatur, lingkungan dan analisa lubricant. Salah satu metode CBM yang populer yaitu *vibration based monitoring*. Pada metode ini akan tanda tanda getaran akan terlihat apabila terjadi kejanggalan pada mesin. Analisa sinyal getaran sangat penting pada metode *vibration based monitoring* ini. Kategori utama dari analisis sinyal getaran diantaranya domain waktu dan domain frekuensi.

1. Time domain analysis

Time domain analysis adalah analisa sinyal getaran dengan mengubah getaran menjadi amplitude terhadap waktu. pada umumnya, data getaran yang diperoleh akan berbentuk domain waktu dengan menunjukkan data perpindahan, kecepatan dan percepatan. Pada analisa domain waktu memungkinkan untuk dapat mengetahui fitur sementara seperti impact. Berikut dapat dilihat pada gambar 2.9. contoh sinyal *time domain* yang diambil dari sinyal pada pompa sentrifugal.

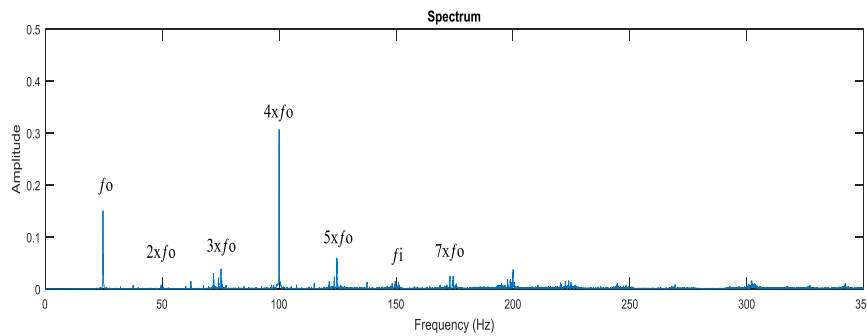


Gambar 2.9. *Time Domain Signal*

2. Frekuensi Domain

Frekuensi domain gambar 2.10 merupakan analisa sinyal getaran dengan mengubah sinyal gelombang dari domain waktu ke domain frekuensi. Metode

yang paling umum digunakan untuk mengkonversi domain waktu ke domain frekuensi yaitu dengan menggunakan *fast fourier transform (FFT)*. Pada sinyal frekuensi domain akan menghasilkan beberapa sinyal getaran pompa sentrifugal seperti gambar 2.11 (Bebe, 2004).



Gambar 2.10. *Frekuensi Domain signal.*

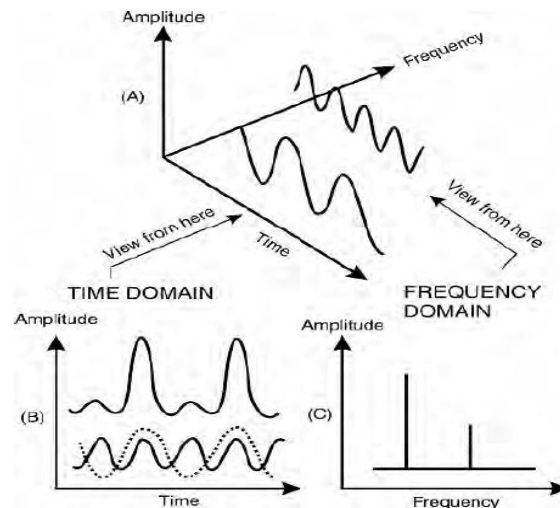
Frekuensi (Rotation Speed=1x)	Penyebab
1x	Unbalance (Ketidakseimbangan)
0.05x To 0.25x	Aliran Terganggu
2x	Kelonggaran Mekanik
3x	Ketidaklurusan
1.1x Sampai 1,2x	Perputaran Kavitasi
5x Sampai 50x	Elemen Bantalan Berputar
1 Khz Sampai 20 Khz	Noise Kavitasi
Zx (Z=Jumlah Sudu Impeler	Misaligment Pada Impeler
Frekuensi Sumber Tenaga Listrik	Masalah Elektrik

Table 2.1. Sinyal Getaran Pada Pompa Sentrifugal.

a. *Fast fourier transform (FFT)*

Fast fourier transform adalah salah satu metode yang digunakan untuk mempercepat konversi dari domain waktu ke domain frekuensi dari *Discrete Fourier Transform (DFT)* (Anta, 2013). DFT merupakan metode transformasi untuk mengubah sinyal dalam domain waktu ke domain frekuensi. Metode FFT banyak digunakan untuk keperluan analisa sinyal getaran seperti analisa

kolerasi, analisa spektrum dan pemfilteran. Untuk mengubah sinyal diskrit $g(i)$ menjadi sinyal dalam domain frekuensi $G(i)$ digunakan formula DFT. Terdapat beberapa proses *fast fourier transform* (FFT) yang dapat dilihat pada gambar 2.11. sebagai berikut :



Gambar 2.11. Proses *Fast Fourier Transform*
(Sumber : Scheffer,2004)

2.2.8. Transduser

Transduser adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah suatu energi ke bentuk energi lainnya. Contohnya energi listrik, energi cahaya, energi panas dan sebagainya. Pada umum nya transduser yang sering digunakan yaitu *velocity transducers*, *accelerometer* dan *proximity probes*.

2.2.8.1. *Velocity transducers*

Velocity transducers terlihat pada 2.12. adalah suatu alat yang digunakan untuk medeteksi gerakan suatu benda yang akan diubah menjadi bentuk sinyal elektrik. Alat ini baik untuk mengetahui getaran yaitu kerusakan *bearing*, *unbalance*, *misalignment*. *velocity transducers* dapat mengukur kecepatan getaran tanpa proses utuh. Dengan rentan frekuensi respon pada daerah 15 sampai 1000 hz

dan tidak dapat digunakan pada frekuensi 10 hz kebawah. *Velocity* dapat ditunjukan pada satuan mm/secon.



Gambar 2.12. *Velocity Transduser*
(Sumber : <http://www.vitec-inc.com>)

2.2.8.2. *Accelerometer*

Accelerometer merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur sebuah getaran. *Accelerometer* memiliki sensitivitas yang sangat tinggi terhadap getaran dan frekuensi. *Accelerometer* berukuran kecil dan ringan sehingga dapat menjangkau area yang terbatas. Pada industri *accelerometer* memiliki respon frekuensi yaitu pada daerah 1 sampai 5000 hz seperti pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. *Accelerometer*
(sumber : <https://www.bksv.com>)

1. Kategori *Accelerometer*

Terdapat beberapa tipe *accelerometer* diantaranya sebagai berikut :

a. *Shear Type Accelerometer*

Pada tipe *accelerometer* ini memiliki kelebihan yaitu berukuran sangat kecil. Dengan ukurannya yang sangat kecil *accelometer* ini dapat dipergunakan diruangan yang terbatas misalnya pada peralatan listrik.

b. *Delta Shear Accelerometer*

Accelerometer tipe ini dapat digunakan hampir pada semua aplikasi. Kelebihan pada *delta shear accelerometer* memiliki spesifikasi yang sangat baik dan memiliki sensitivitas sangat kecil terhadap lingkungan sekitar.

c. *Compression Type Accelerometer*

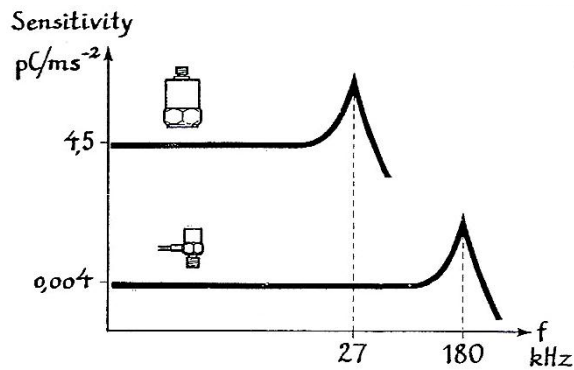
Tipe *accelerometer* ini biasanya digunakan untuk mengukur getaran yang sangat tinggi dan dengan tujuan tertentu. Aplikasi *accelerometer* ini umumnya digunakan pada *core drill* aspal.

2. Karakteristik *accelerometer*

Terdapat karakteristik yang terdapat pada *accelerometer* adalah sebagai berikut :

a. Sensitivitas dan Rentang Frekuensi

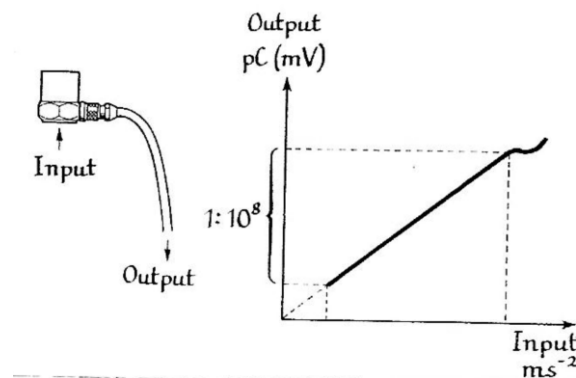
Apabila *accelerometer* mengenai tingkat akselerasi konstan. maka, *accelerometer* tersebut akan memberikan sinyal keluaran konstan melalui rentan frekuensi yang sangat lebar hingga mendekati frekuensi resonansinya. Pada umumnya semakin besar ukuran *accelerometer* maka semakin tinggi pula sensitivitasnya, dan semakin kecil rentang frekuensi penggunaannya. Namun sebaliknya apabila ukuran *accelerometer* semakin kecil maka semakin redah pula sensitivitasnya, dan semakin besar rentan frekuensi penggunaannya dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Sensitivitas
(Sumber : Courrech, 1990)

b. Rentang dinamis

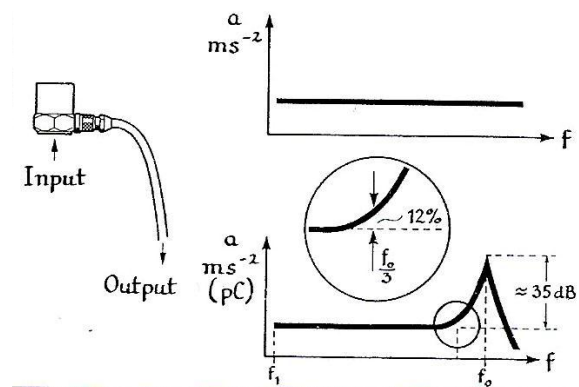
Accelerometer memberikan output listrik secara langsung ke percepatan pada rentang dinamis yang sangat lebar (sekitar $1:10^8$) seperti terlihat pada gambar 2.15. Rentang dinamik bawah pada *accelerometer* hanya dibatasi oleh kebisingan pada kabel dan preamplifiernya.



Gambar 2.15. Rentan Dinamis
(Sumber : Courrech, 1990)

c. Rentang frekuensi yang dipergunakan.

Accelerometer akan memberikan sinyal output yang konstan untuk akselerasi dari frekuensi yang sangat rendah sampai batas yang ditentukan oleh kenaikan yang diakibatkan resonansi *accelerometer* tersebut terlihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Rentang Frekuensi Yang Digunakan.

(Sumber : Courrech, 1990)

3. Metode Pemasangan *Accelerometer*

Terdapat banyak cara yang digunakan untuk pemasangan *accelerometer* pada alat yang ingin diukur. Namun, pemasangan *accelerometer* yang salah dapat merusak sinyal getaran yang telah direkam. Berikut ini metode yang digunakan saat memasang *accelerometer* :

a. Pemasangan dengan Sambungan (*stud mounting*)

Pemasangan *accelerometer* dengan menggunakan sambungan baja adalah metode pemasangan yang baik dan dapat digunakan pada semua aplikasi. Pada metode ini resonansi frekuensi tinggi *accelerometer* tidak dapat dihindari yang akan menyebabkan kekeliruan pada sinyal dan output *accelerometer*.

b. Pemasangan dengan Sambungan yang Dilem (*cementing studs*)

Metode pemasangan *accelerometer* ini memiliki respon frekuensi hampir baiknya dengan metode *stud mounting*. Metode ini mempunyai kesamaan dengan *stud mounting* namun adanya tambahan lem untuk memperkuat *accelerometer* pada alat yang ingin diukur.

c. Pemasangan Dengan Perekat Lilin (*beeswax*)

Pada metode ini menggunakan perekat seperti lilin yang dapat menempelkan *accelerometer* dengan kuat pada alat. Namun, metode ini hanya dibatasi pada suhu sekitar 40°C.

d. Pemasangan dengan Magnet Permanen (*mounting with the aid of a permanent magnet*).

Metode pemasangan *accelerometer* yang mudah dan cepat dengan menggunakan bantuan magnet permanen. Metode ini memudahkan menggeser *accelerometer* dari satu sisi ke sisi lain. Metode ini hanya dapat digunakan pada objek ferro-magnetik dan dapat digunakan untuk rentang frekuensi terbatas pada 2.5 kHz.

2.2.8.3. *proximity probes*

proximity probes seperti gambar 2.17. merupakan sensor tanpa adanya kontak fisik untuk mendeteksi sebuah objek yang berada disekitarnya. Alat ini biasanya digunakan dalam pemantauan mesin seperti turbin dan pompa berukuran besar. Dengan respon frekuensi pada daerah 0 sampai 2000 hz. Transduser ini terdiri dari probe, kabel ekstensi dan osilator.



Gambar 2.17. *Proximity Probes*

(Sumber : <http://www.azosensors.com>)

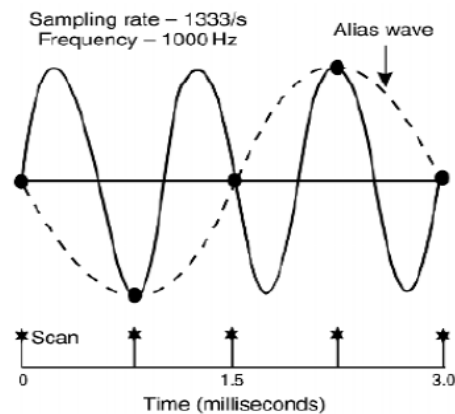
2.2.9. *Sampling Rate*

Sampling adalah proses perekaman amplitudo secara otomatis yang akan kemudian menghasilkan kurva dari titik yang direkam. Dengan demikian, dari data sampel yang terkumpul akan digunakan untuk merekonstruksi gelombang yang pada awalnya ialah berbentuk sinyal analog. Jika gelombang digital direkonstruksi harus terlihat mirip dengan gelombang asli, seberapa cepat harus direkam amplitudonya, atau dengan kata lain, mengambil sampel sehingga gelombang *digitized* merupakan bagian dari sinyal analog.

Penyelesaian ini terletak pada teori *Nyquist sampling*, yang menyatakan bahwa untuk tidak terjadi kesalahan rekonstruksi, maka harus menyeleksi pada minimal dua kali frekuensi yang direkam.

Pada gambar 2.18. memperlihatkan laju sampling kurang dari dua kali lipat frekuensi. Empat interval sampel yang dikumpulkan dalam waktu 3 ms akan menghasilkan titik gelombang. Gelombang ini memiliki frekuensi lebih rendah yang bukan representasi dari gelombang sebenarnya. Pembentukan frekuensi rendah ini dikarenakan undersampling disebut *aliasing*. Agar aliasing tidak terjadi data yang tersimpan secara otomatis memilih tingkat *built-in sampling*. Secara teori, tidak ada getaran dengan frekuensi lebih dari setengah dari tingkat sampling.

Oleh karena itu, semua analisa data dilengkapi *anti-aliasing filter* yang memungkinkan untuk frekuensi rendah agar bisa terdeteksi dengan frekuensi yang lebih tinggi. *Filter* menghapus semua getaran pada sinyal analog yang memiliki frekuensi lebih besar dari setengah *sampling rate*. *Filter* ini secara otomatis dipindahkan ke nilai-nilai yang tepat sebagai frekuensi *sampling* atau berubah (hal ini terjadi ketika rentang frekuensi *Analyzer* diubah oleh pengguna). Sangat penting untuk dicatat bahwa penyaringan telah terjadi sebelum digitalisasi analog dimulai. (Anta, 2013)



Gambar 2.18. *Sampling Rate*

(Sumber : Felly,2013)

2.2.10. Program MATLAB

Matrix laboratory atau *matlab* adalah perangkat lunak untuk komputasi teknik dan saintifik. Suatu integrasi pemrograman semuanya ada didalam lingkungan yang mudah untuk digunakan, karena permasalahan dan pemecahannya dinyatakan dalam bentuk notasi matematika. Pada umumnya matlab digunakan pada matematika, komputasi, pengembangan, algoritma, analisa data dan sebagainya. *Matlab* adalah salah satu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang berbasis pada matriks. Ada beberapa operasi yang dapat dilakukan oleh matlab scalar (bilangan real atau kompleks), matriks dan vector, teks.