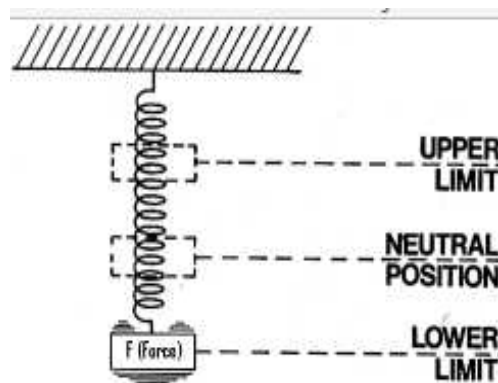


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Getaran Mesin

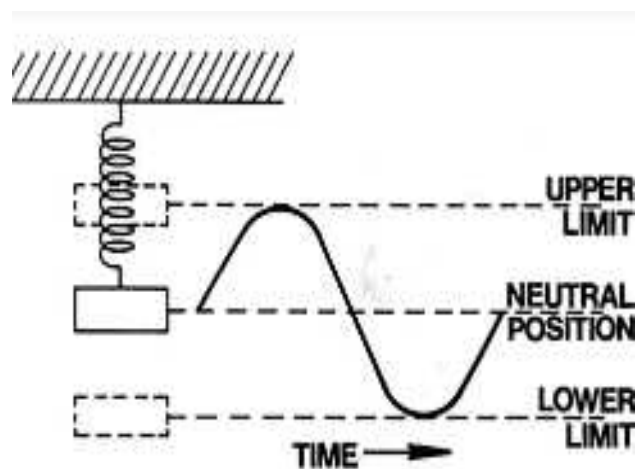
Getaran mesin adalah gerakan suatu bagian mesin maju dan mundur (bolak-balik) dari keadaan diam /netral, ($F=0$). Contoh sederhana untuk menunjukkan suatu getaran adalah pegas.



(Sumber : www.testindo.com/article/48/vibration)

Gambar 2.1 Pegas pada saat netral / $F=0$

Dan pegas tersebut tidak akan bergerak/bergetar sebelum ada gaya yang diberikan kepadanya. Setelah gaya tarik (F) dilepas maka pegas akan bergetar, bergerak bolak-balik disekitar posisi netral. Yang diilustrasikan pada gambar dibawah:



(Sumber : www.testindo.com/article/48/vibration)

Gambar 2.2 Pegas setelah diberi F atau gaya

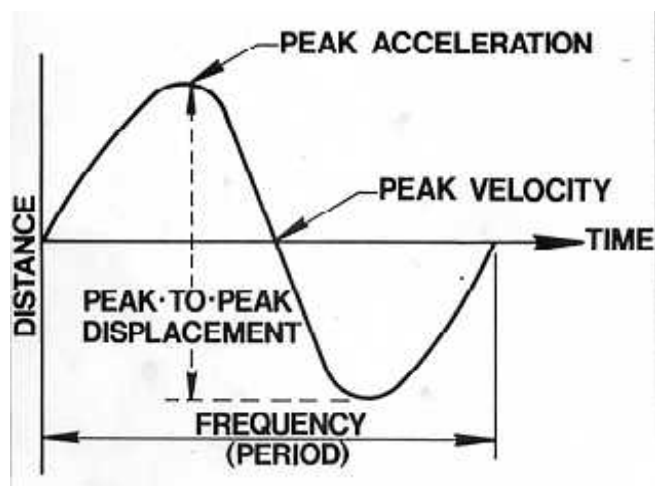
2.1.1 Frekuensi Getaran

Gerakan periodik atau getaran selalu berhubungan dengan frekuensi yang menyatakan banyaknya gerakan bolak-balik (satu siklus penuh) tiap satuan waktu. Hubungan antara frekuensi dan periode suatu getaran dapat dinyatakan dengan rumus sederhana: $\text{frekuensi} = 1/\text{periode}$. Frekuensi dari getaran tersebut biasanya dinyatakan sebagai jumlah siklus getaran yang terjadi tiap menit (CPM = *Cycles per minute*). Sebagai contoh sebuah mesin bergetar 60 kali (siklus; dalam 1 menit maka frekuensi getaran mesin tersebut adalah 60 CPM. Frekuensi bisa juga dinyatakan dalam CPS (*cycles per second*) atau Hertz dan putaran dinyatakan dalam *revolution per minute* (RPM). Gerakan bandul pegas dari posisi netral ke batas atas dan kembali lagi ke posisi netral dan dilanjutkan ke batas bawah, dan kembali lagi ke posisi netral, disebut satu siklus getaran.

2.1.2 Amplitudo

Amplitudo merupakan besar simpangan vibrasi dimana amplitudo menggambarkan seberapa besar vibrasi terjadi pada suatu peralatan. Amplitudo dapat di ukur dalam tiga cara antara lain adalah:

- a. Perpindahan Getaran. (*Vibration Displacement*)
- b. Kecepatan Getaran (*Vibration Velocity*)
- c. Percepatan Getaran (*Vibration Acceleration*)



(Sumber : www.testindo.com/article/48/vibration)

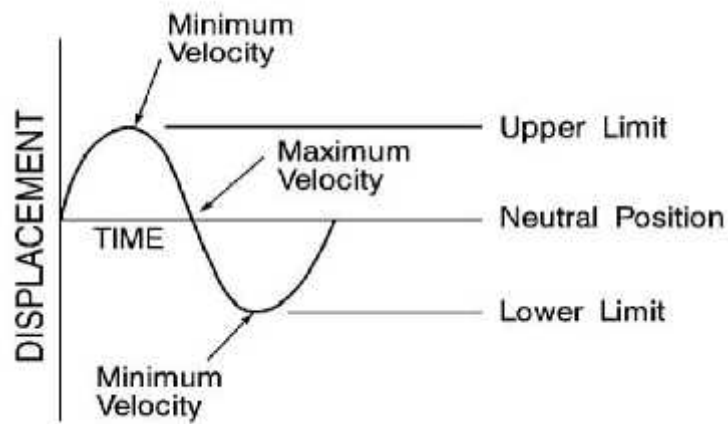
Gambar 2.3 Siklus Getaran

a. Perpindahan Getaran. (*Vibration Displacement*)

Jarak yang ditempuh dari suatu puncak (A) ke puncak yang lain (C) disebut perpindahan dari puncak ke puncak (*peak to peak displacement*). Perpindahan tersebut pada umumnya dinyatakan dalam satuan mikron (μm) atau mils. $1 \mu\text{m}$ sama dengan 0.001 mm dan 1 mils sama dengan 0.001 inch .

b. Kecepatan Getaran (*Vibration Velocity*)

Kecepatan pada getaran digunakan untuk mengukur seberapa cepat sebuah objek dari titik nol (*zero*) ke puncaknya (*peak*). Karena getaran merupakan suatu gerakan, maka getaran tersebut pasti mempunyai kecepatan. Kecepatan getaran ini biasanya dalam satuan mm/det (*peak*). Karena kecepatan ini selalu berubah secara sinusoidal, maka seringkali digunakan pula satuan mm/sec (rms). Nilai *peak* = $1,414 \times$ nilai rms. Kadang-kadang digunakan juga satuan inch/sec (*peak*) atau inch/sec (rms) $1 \text{ inch} = 25,4 \text{ mm}$.

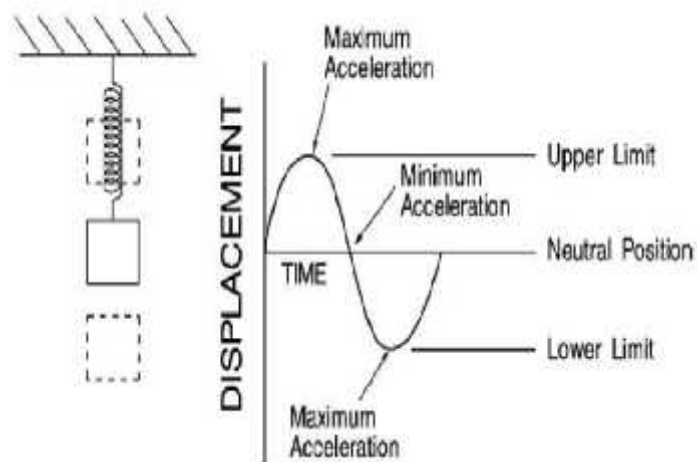


(Sumber : www.testindo.com/article/48/vibration)

Gambar 2.4 Amplitudo Kecepatan

c. Percepatan Getaran (*Vibration Acceleration*)

Percepatan digunakan untuk mengukur perubahan kecepatan (*velocity*) dari titik nol (*zero*) ke *peak*. Sama dengan halnya *displacement*, dimana nilai *acceleration* pada suatu frekuensi berbeda dengan frekuensi lainnya. Pada gambar 2.5, posisi *upper limit* dan *lower limit* akan mengalami percepatan yang maksimum. Sedang pada posisi netral percepatan getaran adalah nol. Secara teknis percepatan adalah laju perubahan dari kecepatan. Percepatan getaran pada umumnya dinyatakan dalam satuan in/s^2 dan mm/s^2 atau Gravitasi (*g*) dimana "*g*" adalah percepatan yang disebabkan oleh gaya gravitasi pada permukaan bumi. Sesuai dengan perjanjian internasional satuan gravitasi pada permukaan bumi adalah 9807 mm/det^2 .

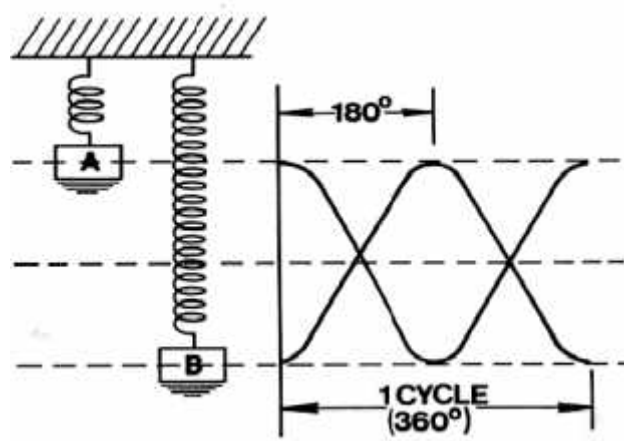


(Sumber : www.testindo.com/article/48/vibration)

Gambar 2.5 Amplitudo Akselerasi

2.1.3 Phase Getaran

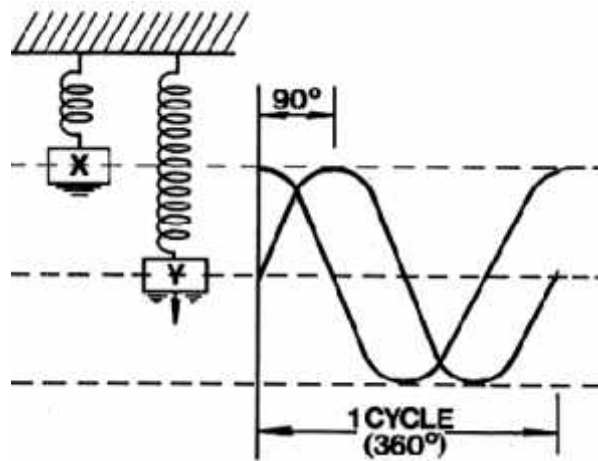
Pengukuran *phase* getaran memberikan informasi untuk menentukan bagaimana suatu bagian bergetar relatif terhadap bagian yang lain, atau untuk menentukan posisi suatu bagian yang bergetar pada suatu saat, terhadap suatu referensi atau terhadap bagian lain yang bergetar dengan frekuensi yang sama. Beberapa contoh pengukuran *phase* :



(Sumber : www.testindo.com/article/48/vibration)

Gambar 2.6 Contoh pengukuran fasa dua bandul

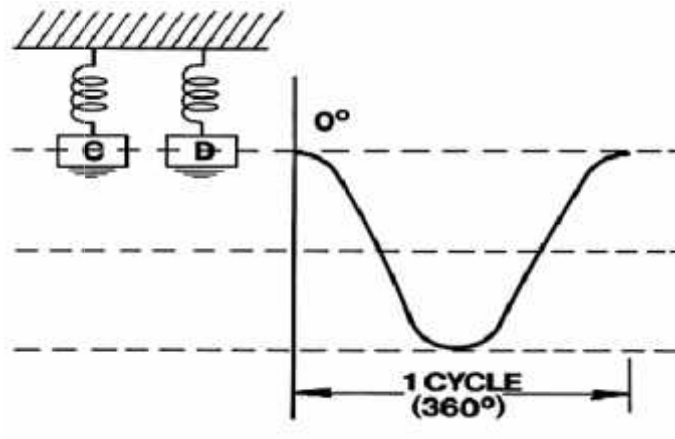
Dua bandul pada Gambar 2.6 bergetar dengan frekuensi dan *displacement* yang sama, bandul A berada pada posisi batas atas dan bandul B pada waktu yang sama berada pada batas bawah. Kita dapat menggunakan *phase* untuk menyatakan perbandingan tersebut. Dengan memetakan gerakan kedua bandul tersebut pada satu siklus penuh, kita dapat melihat bahwa titik puncak *displacement* kedua bandul tersebut terpisah dengan sudut 180 (satu siklus penuh = 360). Oleh karena itu kita dapat mengatakan bahwa kedua bandul tersebut bergetar dengan beda *phase* 180.



(Sumber : www.testindo.com/article/48/vibration)

Gambar 2.7 Pengukuran phase dengan waktu yang sama.

Pada gambar 2.7 bandul X berada pada posisi batas atas dan bandul Y pada waktu yang sama berada pada posisi netral bergerak menuju ke batas bawah. Sehingga kita dapat mengatakan bahwa kedua bandul tersebut bergetar dengan beda *phase* 90.



(Sumber : www.testindo.com/article/48/vibration)

Gambar 2.8 Pengukuran fasa dengan waktu yang sama

Pada gambar 2.8 pada waktu yang sama kedua bandul A dan B berada pada batas atas. Oleh karena itu kita dapat mengatakan bahwa kedua bandul tersebut bergetar dengan sudut *phase* 0 atau *in-phase*.

2.1.4 Satuan-satuan Pengukuran Getaran

Ada beberapa satuan-satuan yang digunakan dalam suatu pengukuran getaran. Harga *Peak-to-peak* : adalah harga amplitudo dari gelombang sinusoida mulai dari batas atas sampai ke batas bawah. Pengukuran *displacement* suatu getaran biasanya menggunakan harga *peak-to-peak* dengan satuan mils atau mikron. Harga *Peak* : adalah harga *peak-to-peak* dibagi dua atau setengah dari harga *peak-to-peak*. Harga RMS (*root-means-square*) : harga ini sering digunakan untuk mengklasifikasikan keparahan getaran dari suatu mesin. Harga RMS ini mengukur harga energi efektif yang dipakai untuk menghasilkan getaran pada suatu mesin. Untuk gerak sinusoidal harga RMS adalah $0.707 \times \text{peak}$. Sedangkan Harga *average* dari suatu gelombang sinusoidal adalah $0.637 \times \text{harga peak}$.

Tabel 2.1 Satuan Pengukur Getaran

<i>CONVERSION FACTOR</i>	<i>PEAK TO PEAK</i>	<i>PEAK</i>	<i>RMS</i>	<i>AVERAGE</i>
<i>PEAK TO PEAK</i>	1	0.5	0.354	0.318
<i>PEAK</i>	2	1	0.71	0.64
<i>RMS</i>	2.83	1.414	1	0.90
<i>AVERAGE</i>	3.14	1.571	1.111	1

2.2 Sensor Vibrasi

Informasi vibrasi diperoleh melalui sensor atau biasa disebut dengan probe atau *transducer* yang merupakan alat untuk mengubah gerakan mekanik menjadi sinyal elektronik. Sinyal tersebut selanjutnya diproses oleh instrumen untuk mendapatkan hasil yang dapat dianalisis. Ada beberapa macam sensor, dipilih berdasarkan sensitivitas, ukuran, respon frekuensi, desain. Respon dari sensor menentukan baik tidaknya sensor, bagaimana sensor merespon setiap stimulus yang dialaminya pada suatu frekuensi. Sensor getaran dipilih sesuai dengan jenis getaran yang akan dipantau. Karena itu sensor getaran dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu ;

2.2.1 *Displacement Transducer (Proximity Probe)*

Displacement transducer atau sering disebut dengan *Proximity probe* digunakan untuk mengukur perpindahan (*displacement*) poros (*shaft*). *Displacement transducer* terdiri dari kabel koil yang dibungkus oleh plastik *non-conductive* atau material keramik dan terdapat sebuah *oscillator-demodulator* yang biasa disebut proximitor.

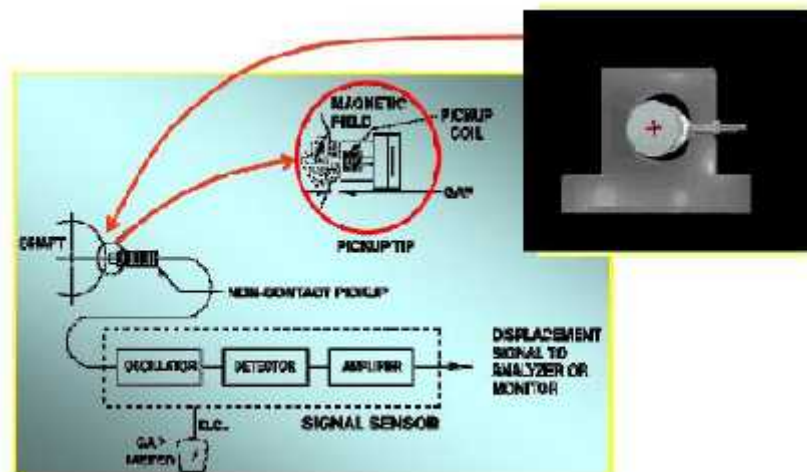
Displacement probe umumnya digunakan pada pengukuran:

- a. Vibrasi *shaft* dalam arah radial
- b. Posisi *shaft* pada arah axial
- c. *Differential expansion* antara *casing* dan rotor.



Sumber : PT PLN (Persero)

Gambar 2.9 *Displacement Transducer*

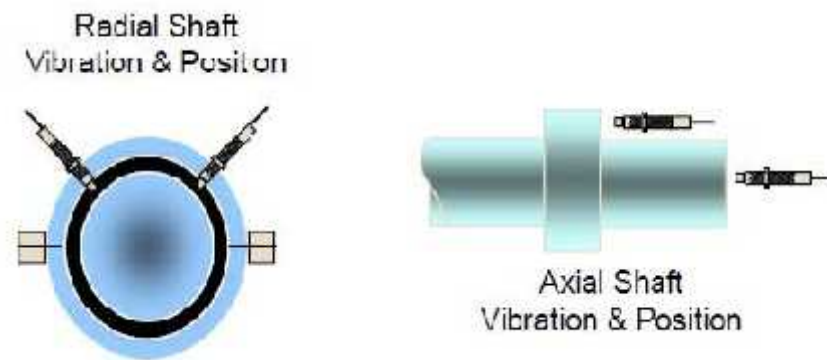


Sumber : PT PLN (Persero)

Gambar 2.10 *Displacement probe & signal condition system*

Prinsip kerja dari *displacement transducer*, proximitor mengeksitasi probe yang menghasilkan *magnetic field* pada ujung probe ketika *shaft* mendekati probe, maka terbentuklah *eddy current* pada *shaft*. Dengan

terbentuknya *eddy-current*, energi yang dibangkitkan proximitor diabsorpsi/diserap dan amplitudo *carrier signal* akan berkurang. Fluktuasi amplitudo *carrier signal* dijadikan *output* sinyal AC yang secara langsung proporsional dengan nilai vibrasi (mV/mils).

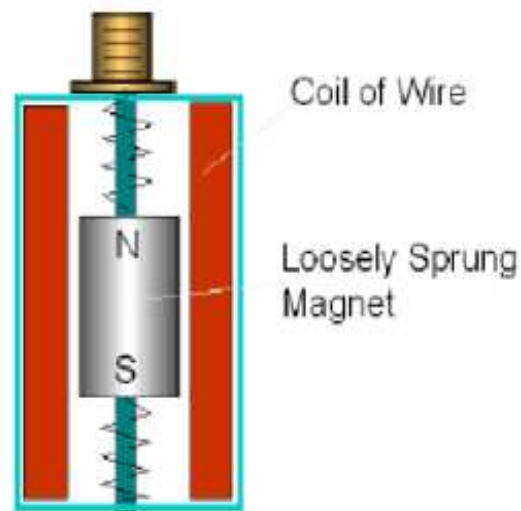


Sumber : PT PLN (Persero)

Gambar 2.11 Posisi pemasangan dari displacement *transducer*

2.2.2 Velocity *Transducer*

Velocity transducer terdiri dari sebuah masa pemberat dan dililit oleh kabel koil yang ditumpu oleh pegas, diletakan dalam sebuah silinder yang dibungkus oleh magnet permanen. *Velocity transducer* dipasang pada *casing* atau *housing bearing* yang bergetar, vibrasi pada *casing* atau *housing bearing* mengakibatkan *transducer* ikut bergetar, sedangkan masa pemberat yang dililit kabel koil cenderung mempertahankan posisi. Pada kabel koil terjadi perbedaan medan magnet sehingga akan timbul beda potensial (*voltage*) yang berubah ubah dan proporsional dengan vibrasi yang terjadi pada *casing* atau *housing bearing*. *Noise* pada sensor ini relatif kecil, beberapa kerugian dari sensor ini adalah banyak manufaktur dari sensor yang menyatakan produknya *absolute* walaupun pada kenyataannya masih banyak penggunaan sensor ini di lapangan.

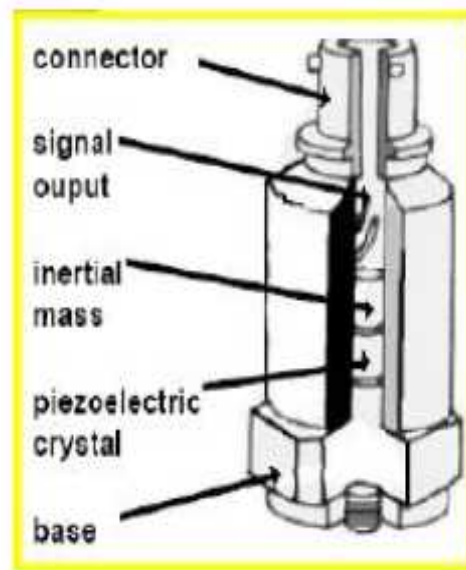


Sumber : PT PLN (Persero)

Gambar 2.12 Velocity Transducer

2.2.3 Accelerometer

Sensor ini digunakan untuk mengukur level vibrasi ada *casing* dan housing *bearing*, sensor ini adalah sensor yang paling banyak digunakan pada *analyzer vibration*. Accelerometer terdiri dari sebuah massa yang kecil pada material piezoelektrik kristal yang menghasilkan tegangan ketika gaya dikenakan pada massa tersebut. Biasanya accelerometer digunakan equipment yang *shaftnya* ditopang dengan rolling element *bearing*. Pada rolling element *bearing* vibrasi dari *shaft* yang terjadi ditransferkan kepada housing *bearing* dimana *transducer* diletakan.



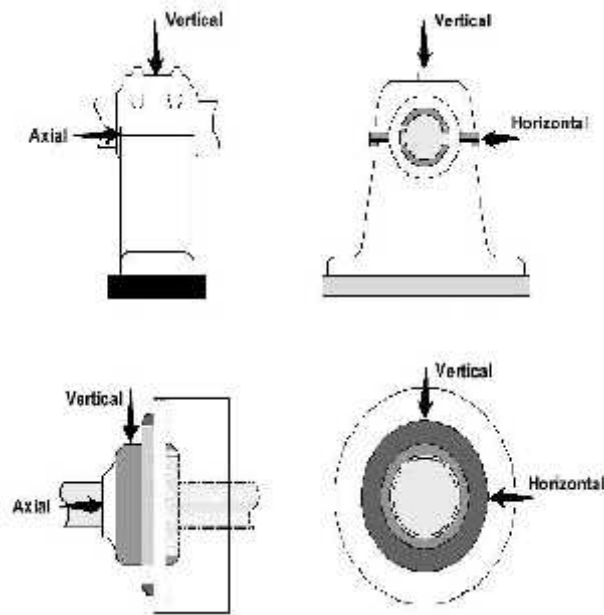
Sumber : PT PLN (Persero)

Gambar 2.13 Accelerometer internal construction

2.2.4 Titik Peletakkan sensor

Pengukuran vibrasi dilakukan pada 3 titik yaitu Horizontal, Vertikal dan Aksial. Untuk mendapatkan analisa yang akurat maka sebaiknya pengukuran dilakukan pada titik yang sama. Hal ini bertujuan agar data yang dibandingkan merupakan data yang sama, yaitu data pengukuran pada titik dan kondisi yang sama. Untuk itu perlu memberikan tanda berupa lingkaran di setiap titik pengukuran agar mendapatkan titik pengukuran yang sama.

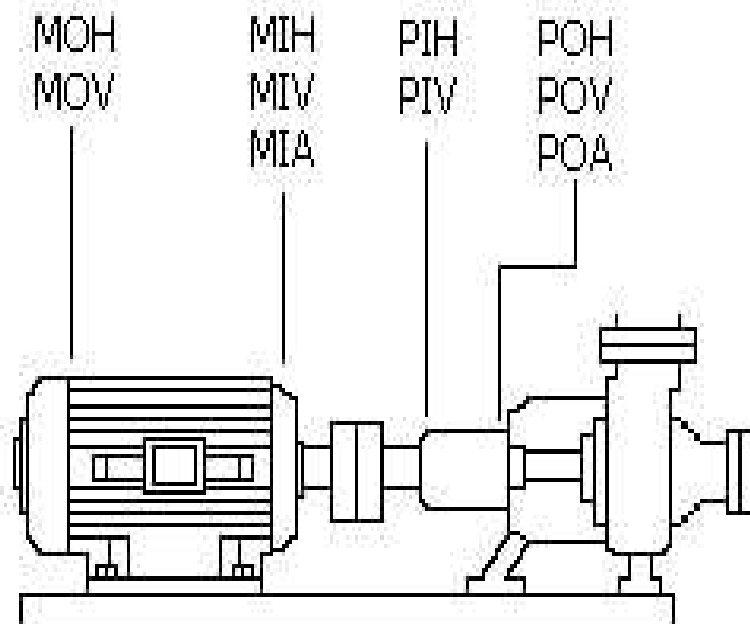
Lokasi peletakan *transducer* sangat mempengaruhi keakuratan data pengukuran. Idealnya sensor diletak sedekat mungkin dengan posisi *bearing*, dan antara titik Horizontal dan Vertikal harus tegak lurus dan berjarak 90°. Untuk menentukan arah Horizontal dan Vertikal adalah arah yang tegak lurus dengan poros peralatan, sedangkan arah axial adalah arah yang sejajar dengan poros peralatan.



Sumber : PT PLN (Persero)

Gambar 2.14 Titik Pengukuran Vibrasi

Pengukuran vibrasi dilakukan di beberapa titik dari motor dan pompa/fan, identifikasi titik pengukuran tersebut seperti gambar 2.15.



Sumber : PT PLN (Persero)

Gambar 2.15 Identifikasi Titik Pengukuran

MOH	:	Motor <i>Outboard</i> Horizontal
MOV	:	Motor <i>Outboard</i> Vertikal
MIH	:	Motor <i>Inboard</i> Horizontal
MIV	:	Motor <i>Inboard</i> Vertikal
MIA	:	Motor <i>Inboard</i> Aksial
POH	:	Pump <i>Outboard</i> Horizontal
POV	:	Pump <i>Outboard</i> Vertikal
POA	:	Pump <i>Outboard</i> Aksial
PIH	:	Pump <i>Inboard</i> Horizontal
PIV	:	Pump <i>Inboard</i> Vertikal

2.3 Standart Vibrasi

Amplitudo vibrasi (*displacement*, *velocity* dan *acceleration*) merupakan suatu ukuran tentang parah atau tidaknya ketidaknormalan / *defect* yang ada pada mesin atau peralatan.

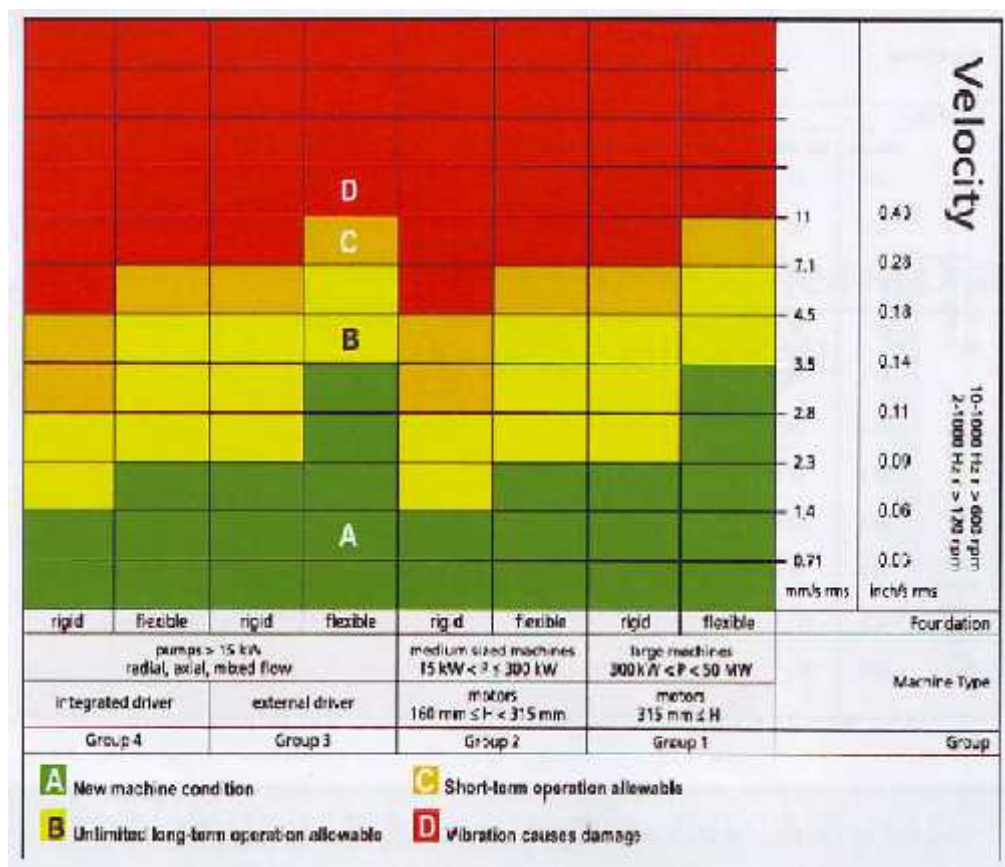
Yang perlu diingat bahwa sasaran utama bukanlah menentukan sampai batas berapa mesin masih bisa menerima level vibrasi yang terjadi sebelum terjadinya *failure*, tetapi mendapatkan karakter vibrasi yang dapat menjadi “*warning*” terhadap masalah yang sedang berlangsung, sehingga dapat direncanakan tindakan antisipatif yang bisa dilakukann sebelum kegagalan terjadi.

Problem yang dihadapi oleh analis vibrasi adalah menentukan atau membuat penilaian apakah level vibrasi yang terjadi masih dapat diterima dan memungkinkan mesin terus dioperasikan secara aman. Sejumlah institusi menetapkan standar yang dimaksudkan sebagai panduan umum/generik dalam menggunakan vibrasi sebagai indikator kondisi mesin.

Pada umumnya semakin tinggi amplitudo vibrasi semakin buruk kondisi mesin. Akan tetapi harus dipertimbangkan bahwa :

- Terdapat berbagai macam tipe mesin
- Mesin beroperasi pada berbagai macam kondisi
- Mesin mempunyai tingkat kekritisannya yang berbeda-beda tergantung dari plant yang bersangkutan.
- Mesin tersusun dari berbagai macam tipe komponen.

Untuk alasan berikut maka sangat sulit untuk membuat garis batas dimana mesin mengalami kegagalan. Ada beberapa standar untuk tingkat severity vibrasi. Apabila tidak ada standar dari pabrikan maka dapat menggunakan standar ISO 10816-3 berikut ini.



(Sumber : Mobius Institute, Hal F-7)

Gambar 2.16 Standart ISO 10816-3

2.4 Diagnosa Vibrasi

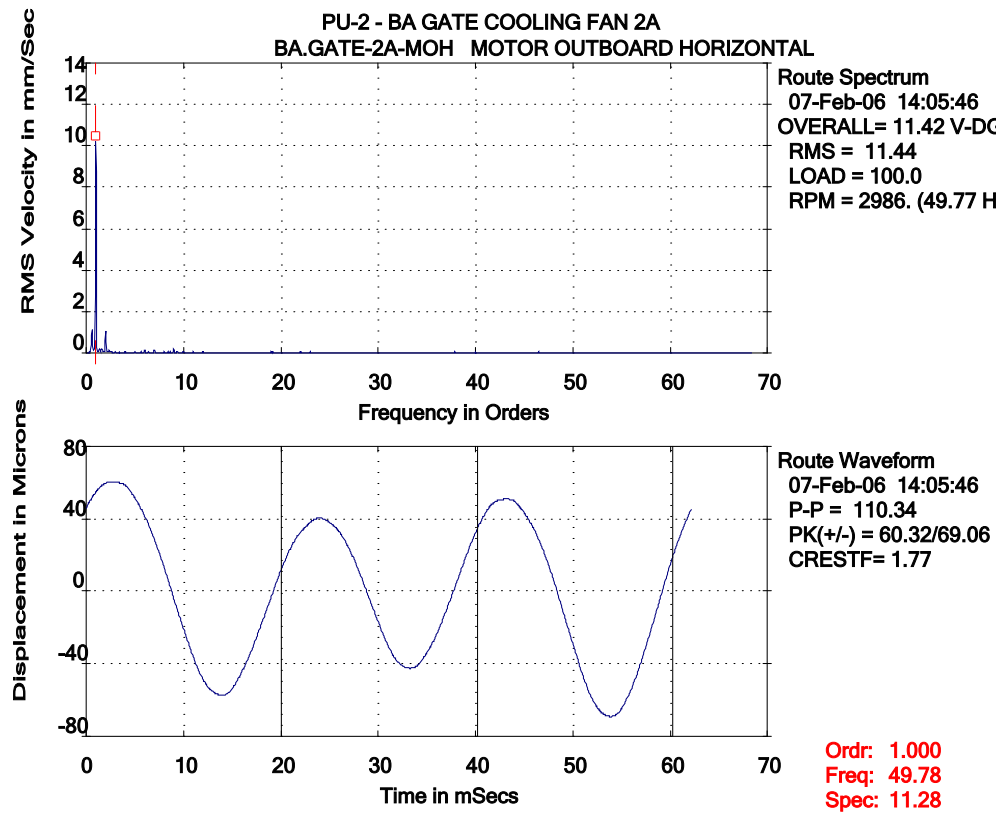
Analisa spektrum vibrasi yang dilakukan dapat mengetahui berbagai permasalahan yang terjadi pada mesin dengan melihat pola – pola spektrum vibrasi yang terjadi. Permasalahan yang dapat disimpulkan dari analisis vibrasi ini antara lain *unbalance*, *misalignment*, poros yang melengkung (*Bent Shaft*), kelonggaran mekanikal (*looseness*) kerusakan pada *bearings*, resonansi dan *oil whirl*.

2.4.1 *Unbalance*

Unbalance merupakan permasalahan yang paling sering terjadi yaitu hampir 40% dari masalah yang menyebabkan vibrasi adalah dikarenakan oleh *Unbalance*, *Unbalance* adalah kondisi dimana pusat masa tidak sesumbu dengan sumbu rotasi. Solusinya untuk *unbalance* yaitu dengan proses *balancing* / mesin tidak di operasikan atau diganti.

Karakteristik *Unbalance*:

1. Amplitudo dominan pada 1X RPM
2. Vibrasi dominan pada arah Radial (Horizontal)
3. Time *Waveform* dari *Unbalance* sangat sinusoidal
4. Beda fasa antara pembacaan horizontal dan vertikal pada *bearing* yang sama adalah $90^\circ (\pm 30^\circ)$ *Out of Phase*
5. Fasa pembacaan horizontal atau vertikal pada kedua *bearing* sefasa/ *in phase* ($\pm 30^\circ$).

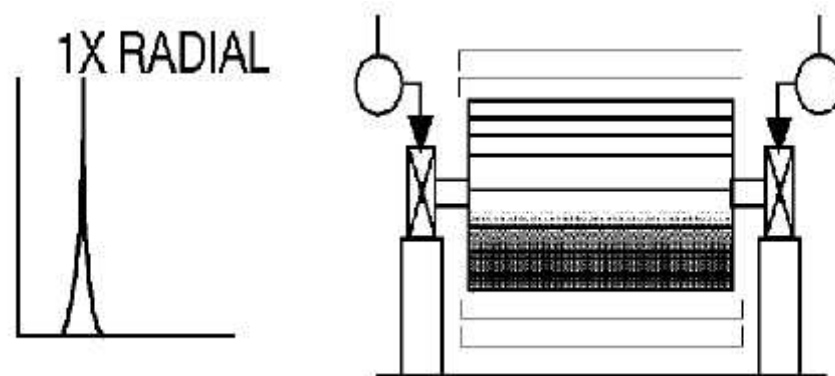


Sumber : PT PLN (Persero)

Gambar 2.17 Spektrum dan Time Waveform dari Unbalance

Jenis Unbalance:

1. Force Unbalance

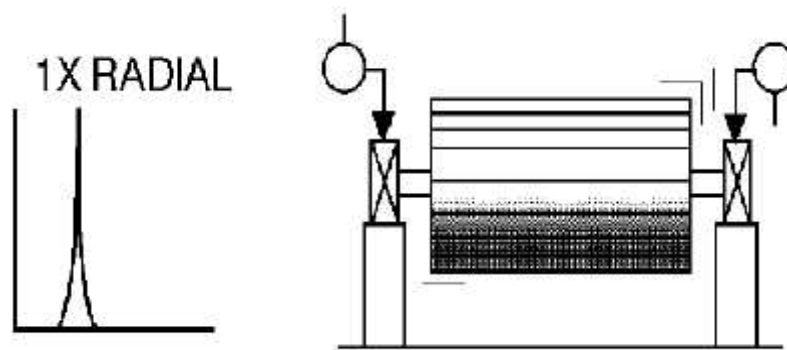


(Sumber : Illustrated Vibration Diagnostic, Hal. 1)

Gambar 2.18 Force Unbalance

Force Unbalance, dimana ada dua gaya yang sama besar dan memiliki arah yang sama. *Force Unbalance* akan *in-phase* dan stabil. Spektrum akan dominan pada 1x RPM. Dapat dikoreksi dengan menempatkan satu *balance weight* (beban penyimpangan) dengan menggunakan metode satu plane. Ada perbedaan *phase* pada sisi *inboard* dan *outboard horizontal*, juga pada sisi *inboard* dan *outboard* vertikal dan ada perbedaan *phase* 90° antara sisi vertikal dan horizontal dalam satu *bearing* ($\pm 30^\circ$).

2. *Couple Unbalance*



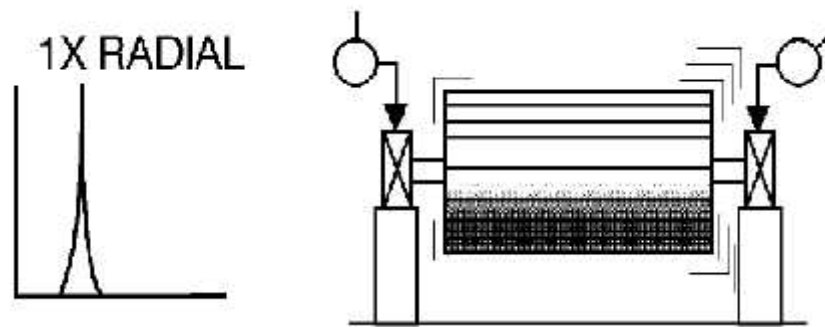
(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic*, Hal. 1)

Gambar 2.19 *Couple Unbalance*

Couple Unbalance, dimana ada ada dua gaya yang sama besar tapi memiliki arah yang berlawanan. *Couple unbalanced* menimbulkan 180° out – of *phase* dalam 1 *shaft*. Spektrum akan dominan pada 1x RPM. Amplitudo akan bervariasi dengan kuadrat kecepatan pada saat di bawah putaran kritis pertama rotor. Dapat juga menimbulkan vibrasi arah axial dan radial tinggi. Dapat dikoreksi menggunakan metode dua plane. Terdapat perbedaan *phase* 180° antara *outboard* dan *inboard* horizontal, begitu juga antara *outboard*

dan *inboard* vertikal. Bisa juga perbedaan *phase* 90° antara arah vertikal dan horizontal pada satu *bearing* ($\pm 30^\circ$).

3. *Dynamic Unbalance*

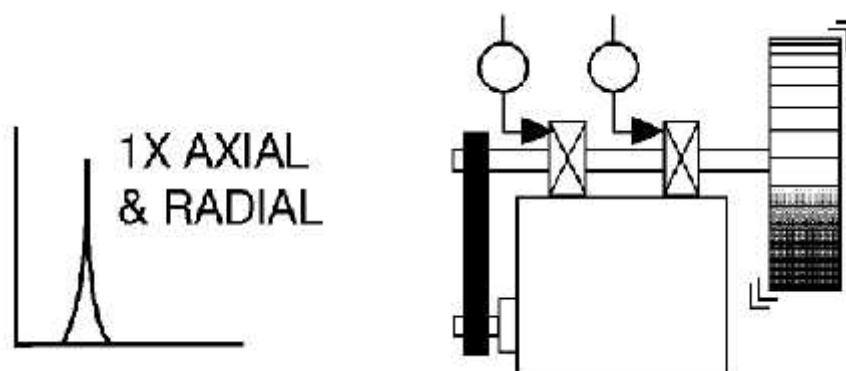


(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic, Hal. 1*)

Gambar 2.20 *Dynamic Unbalance*

Dynamic Unbalance, dimana ada dua gaya yang tidak sama besar dan memiliki arah yang berlawanan. *Dynamic Unbalance* sering muncul dalam masalah *unbalance* yaitu merupakan kombinasi antara *couple unbalance* dan *force unbalance*. Spektrum dominan pada 1x RPM, dan dikoreksi dengan menggunakan metode dua plane. Perbedaan *phase* arah radial antara *bearing outboard* dan *inboard* berkisar antara $0^\circ - 180^\circ$. Dimana perbedaan *phase* arah horizontal hampir sama dengan perbedaan fase vertikal pada saat membandingkan pengukuran pada *bearing outboard* dan *inboard* ($\pm 30^\circ$). Kedua, jika *unbalance* dominan, menghasilkan beda fasa 90° biasanya antara pengukuran arah vertikal dan horizontal pada masing – masing *bearing* ($\pm 30^\circ$).

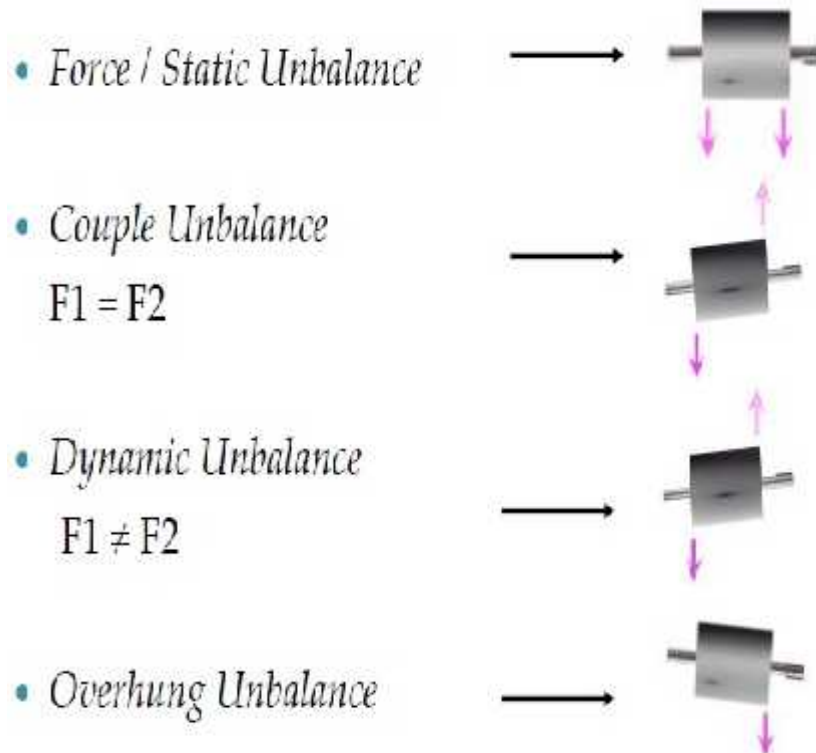
4. Overhung Unbalance



(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic, Hal. 1*)

Gambar 2.21 Overhung Unbalance

Overhung Unbalance, dimana hanya ada satu gaya dan biasanya terjadi pada mesin yang gantung. *Overhung rotor unbalance* menyebabkan spektrum tinggi pada 1x RPM arah aksial dan radial. Pada pembacaan arah axial cenderung *in-phase* sedangkan pembacaan beda fasa arah radial kemungkinan tidak stabil. Akan tetapi beda fasa arah horizontal dan vertikal akan sama pada *unbalance* rotor ($\pm 30^\circ$). Overhung rotor mempunyai keduanya yaitu *force unbalance* dan *couple unbalance*, begitu juga dengan metode koreksinya. *Correction weight* biasanya ditempatkan pada dua plane untuk melawan *force* dan *couple unbalance*.



(Sumber : PT PLN (Persero))

Gambar 2.22 Jenis *Unbalance*

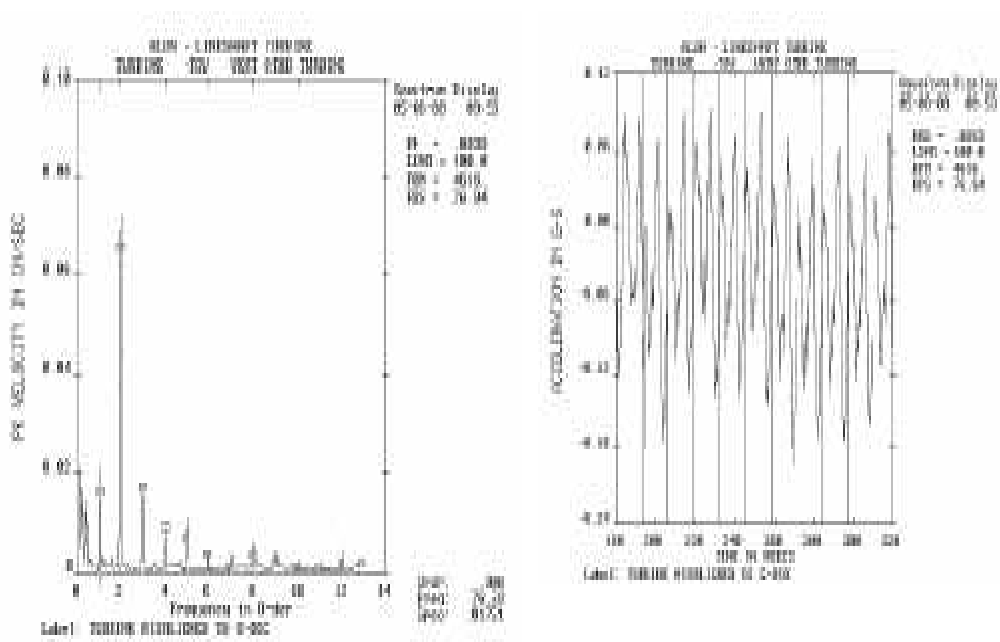
2.4.2 *Misalignment*

Misalignment merupakan kondisi dimana sumbu aksial poros penggerak dengan poros yang digerakkan tidak segaris. Jika posisi dari sumbu aksial poros penggerak dengan poros yang digerakkan dalam keadaan tidak sejajar dengan ketinggian yang berbeda maka disebut *parallel misalignment*. Jika sumbu aksial poros penggerak dengan poros yang digerakkan posisinya saling menyudut, sedangkan kedua ujung (pada kopling) mempunyai ketinggian yang sama maka disebut *angular misalignment*.

Kebanyakan kasus *misalignment* merupakan gabungan antara *Parallel* dan *Angular misalignment*.

Karakteristik dari *misalignment* campuran:

1. Vibrasi dominan pada 2x running speed pada arah axial dan radial.
2. Muncul harmonik dari running speed.
3. Pada *waveform* akan terjadi pengulangan pola dengan 1 atau 2 gelombang tiap putaran.

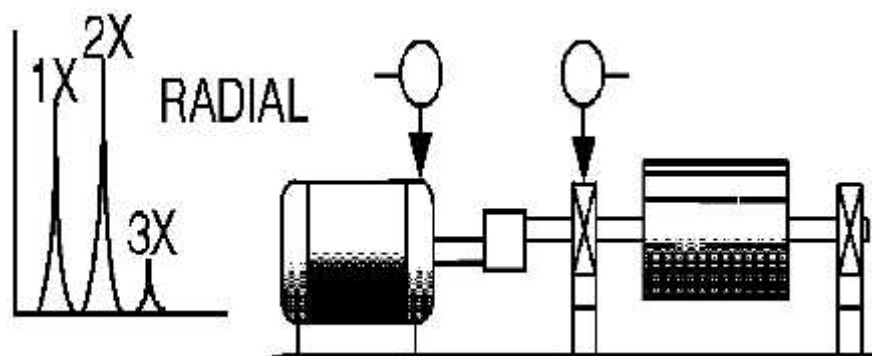


(Sumber : PT PLN (Persero))

Gambar 2.23 Spektrum dan *Time Waveform* dari *Misalignment*

Pada dasarnya *misalignment* ada dua jenis, yaitu:

1. *Offset* atau *Misalignment Parallel*

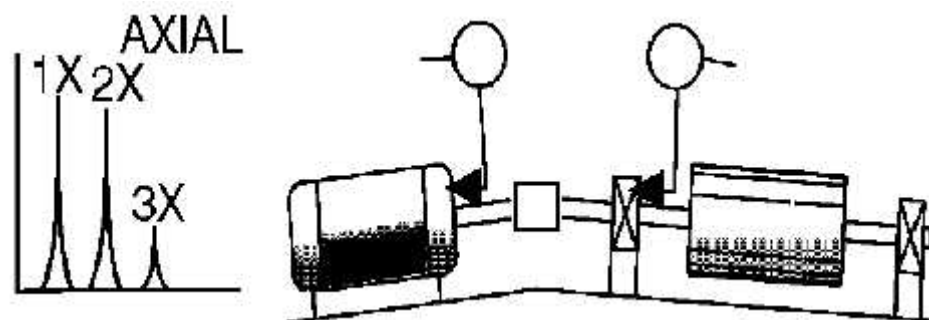


(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic, Hal. 1*)

Gambar 2.24 *Parallel Misalignment*

Misalignment Offset, juga disebut sebagai *misalignment parallel* ini mirip dengan *angular misalignment*, tetapi vibrasi tinggi pada arah radial 180° out of phase dekat dengan kopling. Sering muncul 2x RPM lebih tinggi daripada 1x RPM, tetapi tingginya *relative* terhadap 1x RPM sering ditentukan oleh jenis kopling dan konstruksi. Meskipun begitu bisa juga muncul dominan 1x lebih tinggi, diikuti munculnya 2x dan 3x RPM pada arah radial. Ketika kerusakan angular atau radial *misalignment* bertambah parah, akan muncul amplitudo yang tinggi harmonik (4x – 8x), atau bahkan seluruh amplitudo harmonik mirip dengan *mechanical looseness*. Jenis kopling dan material sangat mempengaruhi spektrum ketika *misalignment* bertambah parah akan tetapi tidak muncul *raised noise floor*.

2. Angular Misalignment



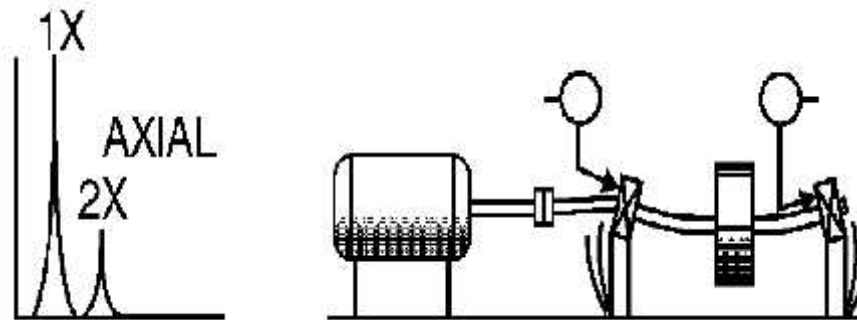
(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic*, Hal. 1)

Gambar 2.25 Angular Misalignment

Karakteristik dari angular *misalignment* ditandai vibrasi tinggi pada arah aksial, *out of phase* 180° dekat dengan kopling. Biasanya akan sering muncul vibrasi tinggi arah aksial pada 1x dan 2x RPM dimana 1x RPM lebih tinggi dari 2x RPM. Meskipun begitu bisa juga muncul dominan 1x, 2x dan 3x RPM, ini bisa juga merupakan indikasi kerusakan pada kopling. *Angular misalignment* yang sudah parah bisa memunculkan harmonik 1x RPM. Tidak seperti *mechanical looseness type B*, harmonik pada *misalignment* tidak memiliki *noise floor*.

2.4.3 Bent Shaft

Bent shaft menyebabkan munculnya amplitudo pada 1X dan 2X RPM di arah aksial. Amplitudo akan dominan pada 1X RPM di arah Aksial jika posisi bengkoknya dekat dengan posisi tengah *shaft* atau 2X RPM jika posisi bengkoknya dekat dengan kopling. Dalam mengidentifikasi masalah ini gunakan dial indicator untuk memastikan adanya *bent shaft* tersebut.



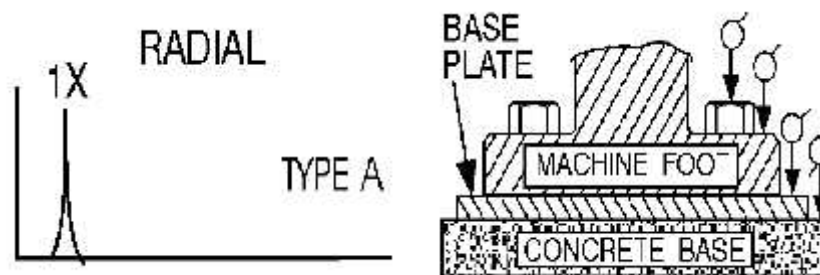
(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic, Hal. 1*)

Gambar 2.26 Bent Shaft

2.4.4 Mechanical Looseness

Mechanical Looseness terdiri dari tiga tipe yaitu :

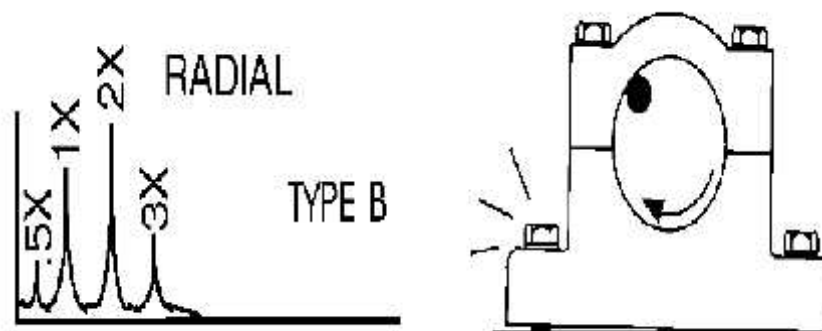
Type A disebabkan oleh *structural looseness* dari kaki-kaki, *baseplate* atau pondasi, atau *grouting* yang jelek bisa juga pemasangan baut yang masih longgar, dan perubahan posisi *frame/casing* atau landasan (*soft foot*). Tahap analisa dapat dilihat dengan beda fasa $90^\circ - 180^\circ$ pada pengukuran arah vertikal pada baut, kaki mesin, plat dasar atau landasan itu sendiri.



(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic, Hal. 2*)

Gambar 2.27 Mechanical Looseness Tipe A

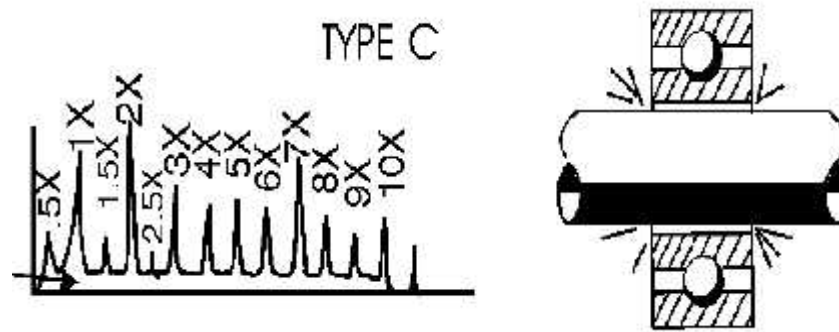
Type B disebabkan oleh longgarnya *pillow block/ring/cincin* baut, struktur rangka atau bantalan *bearing* yang retak.



(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic, Hal. 2*)

Gambar 2.28 *Mechanical Looseness Tipe B*

Tipe C biasanya dihasilkan oleh ketidak tepatan kesesuaian antar komponen yang akan menyebabkan banyak harmonik akibat dari respon *nonlinier* bagian yang longgar terhadap gaya dinamis dari rotor. Hal ini menyebabkan *time waveform* yang terpotong dan *raise noise floor* pada spektrum tersebut. Tipe C sering disebabkan oleh longgarnya lapisan penutup *bearing*, *bearing* longgar dan berputar pada poros, *clearance* yang berlebihan pada salah satu sleeve *bearing* atau *rolling element bearing*, impeller yang longgar pada *shaft*. Fase pada tipe C juga sering tidak stabil dan sangat bervariasi dari satu pengukuran ke pengukuran berikutnya, terutama jika ada pergeseran posisi poros dari *start up* ke *start up* selanjutnya. *Mechanical looseness* sering sangat terarah dan dapat menyebabkan pembacaan yang berbeda dengan perbandingan 30° pada arah radial pada satu rumah *bearing*. Juga perlu diingat, *looseness* sering muncul sub-harmonik tepat pada 1/2 atau 1/3 RPM (0,5x, 1,5x, 2,5x, dll)

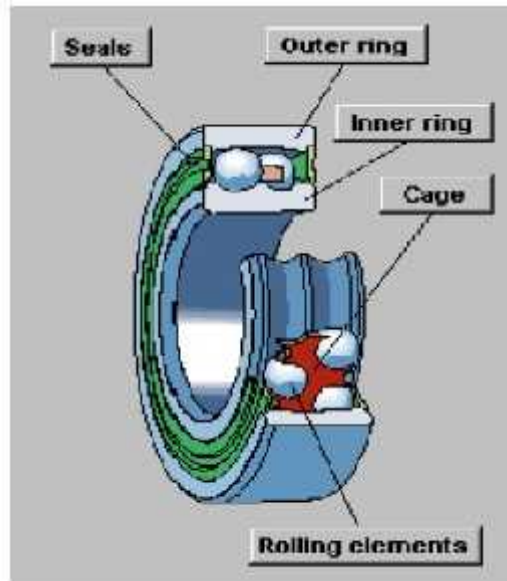


(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic*, Hal. 2)

Gambar 2.29 *Mechanical Looseness Tipe C*

2.4.5 *Rolling Element Bearing*

Rolling element bearing terdiri dari beberapa komponen yaitu, *cage*, *rolling element*, *inner ring*, *outer ring*, dan *seal*. Kerusakan *bearing* biasanya terjadi pada *inner ring* ataupun *outer ring*, hal ini tergantung dari jenis penggunaannya. Jika yang berputar adalah bagian *outer ring*, maka bagian *inner ring* yang rentan akan kerusakan dan sebaliknya. Kerusakan pada *outer ring* ataupun *inner ring* dapat diketahui dengan munculnya frekuensi dari *outer ring*, *Bearing Pass Frequency Outer*, (BPFO) atau *inner ring Bearing Pass Frequency Outer* (BPFI).



Frekuensi kerusakan *bearings* :

BPFI : *Ball Pass Frequency Inner Race*

BPFO : *Ball Pass Frequency Outer Race*

BSF : *Ball Spin Frequency*

FTF : *Fundamental Train Frequency*

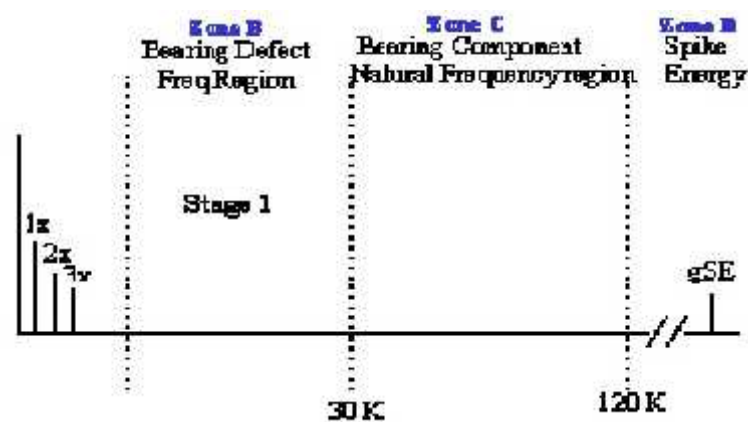
(Sumber : PT PLN (Persero))

Gambar 2.30 *Rolling Element Bearing*

Kerusakan *Rolling Element Bearings* dapat diidentifikasi dalam empat tahap, yaitu tahap pertama hingga tahap keempat. Berikut pola spektrum vibrasi yang terjadi pada tiap tahapannya.

1. Stage 1 (*Ultrasonic Frequency*)

Kerusakan pada stage 1 memiliki karakteristik berupa; level vibrasi dari peralatan masih rendah dengan temperatur normal, *noise* masih rendah, dan pada tahap ini terlihat spektrum pada frekuensi tinggi.

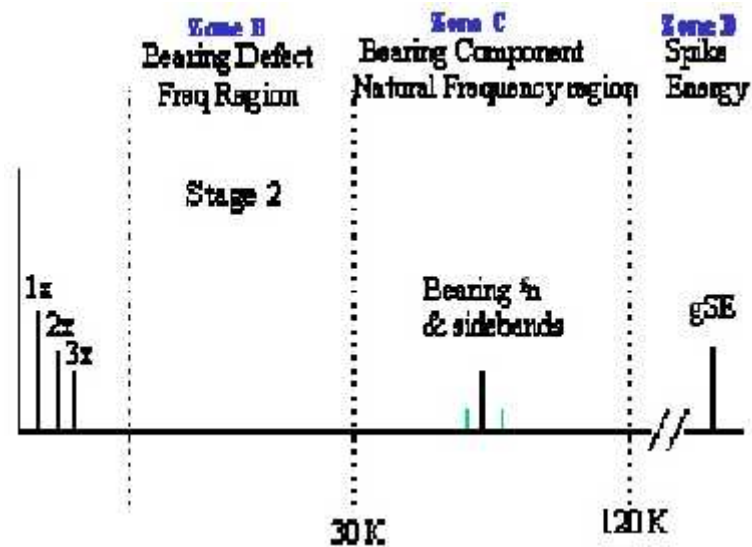


(Sumber : PT PLN (Persero))

Gambar 2.31 *Kerusakan Rolling Element Bearing Stage 1*

2. Stage 2 (*Natural Frequency*)

Kerusakan pada tahap ini memiliki karakteristik berupa adanya kenaikan pada *overall* level vibrasi, adanya kenaikan temperatur, terjadinya kenaikan level *noise* dari peralatan dan amplitudo spektrum pada spike energi meningkat tajam, dan *bearing* frekuensi mulai terlihat (BPFI atau BPFO)

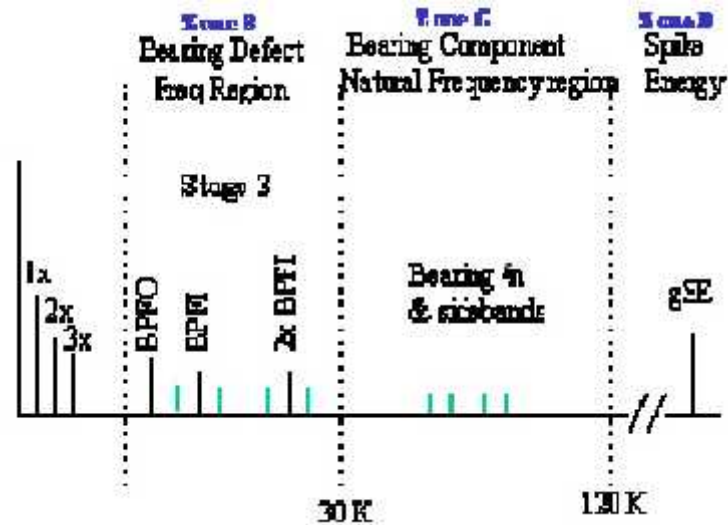


(Sumber : PT PLN (Persero))

Gambar 2.32 Kerusakan *Rolling Element Bearing* Stage 2

3. Stage 3 (*Defect Frequency & Harmonik*)

Kerusakan pada tahap ini memiliki karakteristik berupa terdengarnya bungi kasar dari *bearing*, terjadinya kenaikan temperatur *bearing*, *Bearing Frequency* dan harmonik yang diikuti dengan *side band* terlihat jelas, dan pengukuran menggunakan spike energi sangat tinggi.

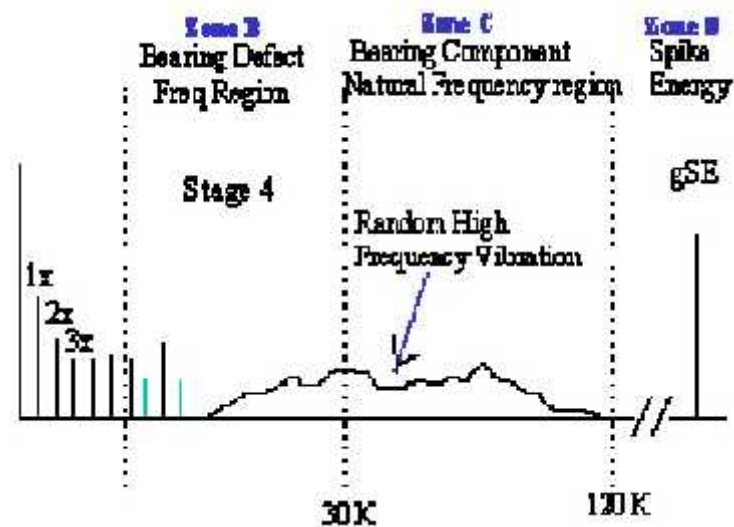


(Sumber : PT PLN (Persero))

Gambar 2.33 Kerusakan *Rolling Element Bearing* Stage 3

4. Stage 4 (*Random Broadband*)

Kerusakan tahap ini memiliki karakteristik berupa level *noise* terdengar jelas dan bervariasi, temperatur meningkat drastis, spike energi pada pengukuran dengan ultrasonik tiba tiba meningkat drastis, *overall vibration* pada *velocity* dan *Displacement* meningkat drastis namun pada *Acceleration* mengaloi penurunan, dan *noise floor* sangat dominan.

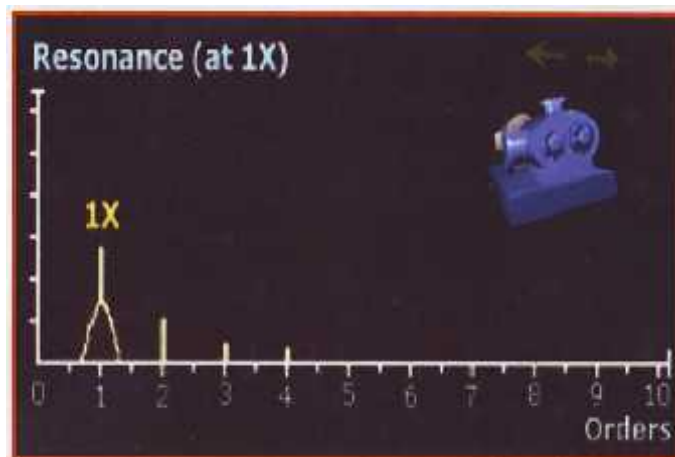


(Sumber : PT PLN (Persero))

Gambar 2.34 Kerusakan *Rolling Element Bearing* Stage 4

2.4.6 Resonansi

Resonansi terjadi jika sistem dieksitasi oleh sumber vibrasi lain yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi pribadi system. Resonansi bukanlah suatu jenis kerusakan karena tidak mengakibatkan terjadinya vibrasi tetapi hanya memperkuat amplitudo vibrasi suatu sistem. Besarnya frekuensi pribadi dan amplitudo resonansi ditentukan oleh masa, kekakuan dan redaman.

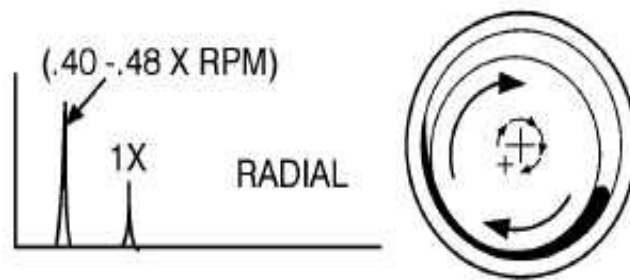


(Sumber : Mobius Institute, Hal. D-25)

Gambar 2.35 Resonansi

2.4.7 Oil Whirl

Oil Whirl adalah kondisi dimana suatu mesin atau peralatan mengalami kekurangan pada pelumasan. *Oil Whirl* dapat dideteksi dengan pengukuran vibrasi, dimana spektrum akan muncul pada frekuensi *Sub Synchronous* (0,4X - 0,6X RPM).



(Sumber : *Illustrated Vibration Diagnostic, Hal. 2*)

Gambar 2.36 Oil Whirl

Keterangan :

- 30 K : 30.000 Hertz
- 120 K : 120.000 Hertz
- 1 Order : 1 x RPM
- 1 Order : Putaran : 60 (cps)