

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Getaran

Dalam dunia teknik mesin dan perawatan industri, pemantauan kondisi mesin berputar menjadi sangat krusial untuk mencegah kerusakan dini dan meningkatkan keandalan operasional [6]. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah pengukuran getaran. Getaran merupakan indikator utama dari ketidakseimbangan, kelainan pada bantalan, pelurusan poros yang salah, atau bahkan kegagalan structural [7]. Mesin berputar, seperti pompa, motor listrik, dan turbin, sangat rentan terhadap perubahan kondisi operasional akibat variasi beban. Getaran adalah gerakan osilasi dari suatu benda atau partikel terhadap titik keseimbangannya. Dalam mekanika, getaran dibedakan menjadi dua, yaitu getaran bebas dan getaran paksa [8]. Getaran bebas terjadi saat sistem berosilasi tanpa adanya gaya luar setelah diberikan gangguan awal, sedangkan getaran paksa terjadi saat sistem bergetar di bawah pengaruh gaya luar yang terus-menerus [9].

Secara umum, parameter-parameter penting dalam getaran meliputi:

a) Frekuensi (Hz)

Frekuensi adalah jumlah siklus getaran yang terjadi dalam satu detik dan diukur dalam satuan *Hertz* (Hz). Dalam sistem mekanik, frekuensi menunjukkan seberapa cepat suatu komponen bergetar. Frekuensi yang tinggi biasanya menunjukkan getaran cepat dengan amplitudo kecil, sementara frekuensi rendah dapat berkaitan dengan gerakan lambat namun berdampak besar pada struktur [10].

Frekuensi juga berkaitan langsung dengan frekuensi alami dari suatu sistem, di mana resonansi dapat terjadi jika frekuensi eksitasi mendekati frekuensi alami, yang menyebabkan getaran amplitudo besar dan berpotensi merusak sistem [6].

b) Amplitudo

Amplitudo menunjukkan besarnya simpangan maksimum suatu getaran dari posisi kesetimbangan (*equilibrium*). Amplitudo biasanya

diukur dalam satuan perpindahan (μm atau mm), kecepatan (mm/s), atau percepatan (m/s^2). Nilai amplitudo yang besar menunjukkan tingkat energi getaran yang tinggi [11].

Amplitudo merupakan parameter utama yang digunakan dalam pemantauan kondisi mesin karena menunjukkan tingkat keparahan getaran. Semakin tinggi amplitudo, semakin besar gaya dinamis yang bekerja pada struktur mesin, yang dapat mempercepat keausan dan kerusakan komponen.

c) Fase

Fase merupakan ukuran perbedaan waktu atau sudut antara dua sinyal getaran yang memiliki frekuensi sama. Dalam bentuk gelombang sinus, fase biasanya diukur dalam derajat ($^\circ$) atau radian [12].

Misalnya, jika dua sinyal getaran berada dalam keadaan *in-phase*, puncak dan lembah keduanya terjadi bersamaan. Sebaliknya, jika *out-of-phase*, maka akan terjadi pergeseran waktu antara keduanya [13].

Parameter fase ini sangat penting dalam analisis *balancing*, *misalignment*, dan identifikasi mode shape dalam analisis modal karena membantu menentukan hubungan spasial antar komponen yang bergetar.

d) Redaman (Damping)

Redaman adalah kemampuan sistem untuk menyerap energi getaran dan mengurangi amplitudo dari waktu ke waktu. Redaman menyebabkan amplitudo getaran menurun secara bertahap hingga akhirnya sistem mencapai kondisi diam [7].

Dalam sistem teknik, redaman idealnya cukup besar untuk mencegah resonansi, namun tidak terlalu tinggi hingga menghambat respons dinamis sistem. Redaman biasanya dinyatakan dalam rasio redaman (ζ) atau faktor redaman.

Sumber redaman dapat berasal dari material, gesekan antar komponen, atau media fluida seperti pelumas. Dalam perancangan mesin, redaman harus diperhitungkan untuk menghindari keausan akibat getaran berlebih dan memperpanjang umur pakai sistem [14].

Adapun rumus dasar dalam keterkaitan pada getaran sebagai berikut:

Frekuensi alami sistem sederhana : [15]

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

f_n :Frekuensi alami (Hz)

k : kekakuan pegas (N/m)

m : Massa Sistem (Kg)

Percepatan getaran [15]

$$a(t) = - \omega^2 \cdot x(t) \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

$a(t)$: percepatan (m/s²)

ω^2 : frekuensi sudut (rad/s)

$x(t)$: perpindahan (m)

Kemudian terdapatnya energi potensial dalam sistem bergetar [15]:

$$E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Energi kinetik

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Resonansi pada sistem satu derajat kebebasan [2]: $\omega_r = \omega_n \sqrt{1 - 2\zeta^2}$

dimana ω_r merupakan frekuensi resonansi, ω_n frekuensi alami, dan ζ adalah rasio redaman. Dimana rumus dari rasio redaman adalah $\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$, dengan c adalah koefisien redaman. Serta respon amplitudo resonansi $X_{res} = \frac{F_0}{2k\zeta}$ [16].

2.2 Parameter Getaran Mesin

Beberapa parameter utama yang harus diperhatikan dalam analisis getaran mesin berputar meliputi : [4]

- a. Perpindahan (*Displacement*): Mengukur perubahan posisi komponen mesin akibat getaran.
- b. Kecepatan (*Velocity*): Mengukur kecepatan pergerakan akibat getaran.
- c. Percepatan (*Acceleration*): Mengukur percepatan perubahan kecepatan partikel mesin.

- d. Frekuensi Dominan: Frekuensi yang memiliki amplitudo tertinggi, yang biasanya terkait langsung dengan sumber gangguan.

Konversi antar parameter:

Konversi antar parameter:

1. Dari percepatan ke kecepatan : $v = \frac{a}{\omega}$ (2.5)

2. Dari kecepatan ke perpindahan : $x = \frac{v}{\omega}$ (2.6)

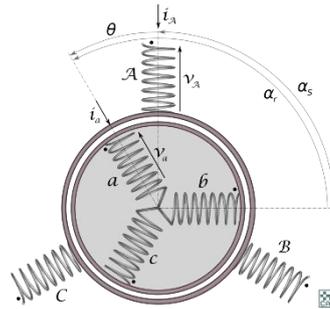
2.3 Dinamika Mesin Berputar

Mesin berputar dapat dianalisis sebagai sistem dinamis dengan karakteristik massa, kekakuan, dan redaman. Komponen kritis dalam dinamika mesin berputar [18]:

Dalam sistem mesin berputar, terdapat beberapa komponen utama yang bekerja secara sinergis untuk menghasilkan gerakan rotasi yang stabil dan efisien. Setiap komponen memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan dinamis serta mencegah terjadinya gangguan mekanis selama operasi. Adapun komponen-komponen utama tersebut meliputi:

1. Rotor

Rotor merupakan elemen inti dari sistem mesin berputar. Komponen ini berfungsi sebagai bagian yang secara langsung mengalami rotasi dan menjadi tempat terjadinya perpindahan energi mekanis. Rotor biasanya dipasang pada poros dan dapat berbentuk silinder, cakram, atau bentuk lainnya tergantung pada jenis mesin. Dalam banyak aplikasi, rotor membawa elemen tambahan seperti kipas, *impeller*, atau cakram rem, yang semuanya berkontribusi pada kinerja keseluruhan mesin. Karena menjadi pusat perputaran, rotor sangat sensitif terhadap ketidakseimbangan massa, yang dapat menyebabkan getaran berlebih jika tidak ditangani dengan baik.



Gambar 2.1 Rotor

(Sumber: Asynchronous Machine with wound rotor Diagram)

2. *Bearing* (Bantalan)

Bearing berfungsi sebagai penyangga rotor, yang memungkinkan rotor dapat berputar dengan lancar dan presisi di dalam *casing*. Komponen ini mengurangi gesekan antara poros yang berputar dan elemen pendukung yang diam. Selain itu, bearing juga membantu menjaga posisi rotor agar tetap sejajar dan stabil dalam sumbu rotasinya. Terdapat berbagai jenis bearing yang digunakan dalam mesin berputar, seperti *ball bearing*, *roller bearing*, dan *plain bearing*, masing-masing memiliki karakteristik tersendiri dalam menahan beban aksial maupun radial. Kerusakan atau keausan pada bearing dapat menjadi sumber utama getaran dalam mesin dan sering kali menjadi indikator awal dari kegagalan mekanis.



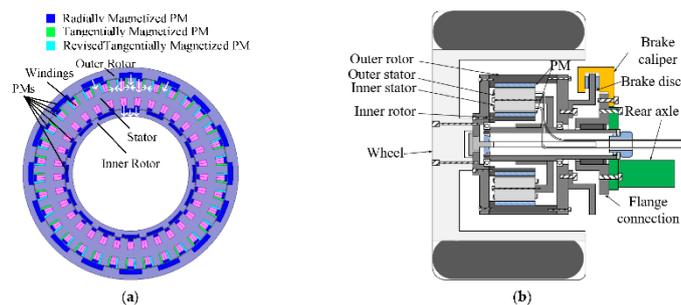
Gambar 2.2 Bearing

(Sumber: <https://www.researchgate.net/figure/The-schematic-diagram-of-the-rotor-spinning-machine>)

3. *Casing*

Casing adalah struktur pelindung yang membungkus dan menopang seluruh komponen internal mesin berputar, termasuk rotor dan bearing.

Fungsinya tidak hanya sebagai penutup fisik, tetapi juga sebagai struktur yang menahan gaya-gaya dinamis yang muncul selama operasi. Casing harus memiliki kekakuan struktural yang cukup untuk meredam getaran dan mencegah deformasi akibat beban berulang. Selain itu, casing juga berfungsi sebagai tempat pemasangan sensor getaran dan jalur distribusi pelumas yang dibutuhkan untuk menjaga kinerja mesin secara optimal. Getaran yang berlebihan pada casing dapat menjadi indikasi adanya ketidakseimbangan dinamis atau masalah struktural di dalam mesin.

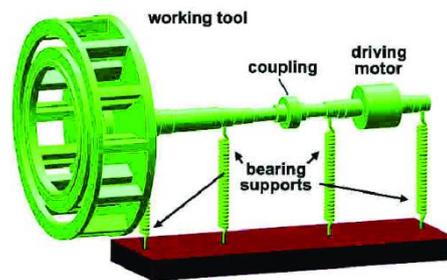


Gambar 2.3 *Casing*

(Sumber: <https://www.mdpi.com>)

4. Kopling (*Coupling*)

Kopling adalah komponen yang menghubungkan rotor dengan sumber tenaga, seperti motor listrik atau turbin. Fungsinya adalah mentransfer energi putar dari sumber penggerak ke rotor secara efisien. Kopling juga memungkinkan adanya sedikit toleransi dalam misalignment antara dua poros yang terhubung, serta menyerap kejutan torsi dan fluktuasi beban. Jenis kopling yang umum digunakan antara lain kopling fleksibel, kopling kaku, dan kopling fluida. Gangguan pada kopling, seperti keausan atau ketidaksejajaran, dapat menyebabkan getaran berlebihan, suara tidak normal, serta mempercepat kerusakan pada bearing dan rotor.



Gambar 2.4 *Coupling*

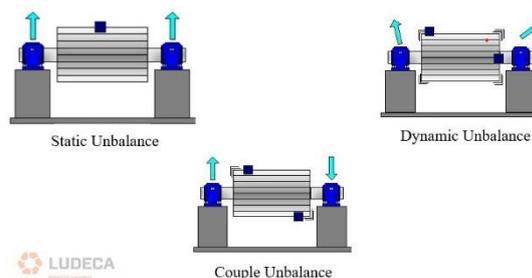
(Sumber: <https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-the-rotor-machine>)

Faktor-faktor yang mempengaruhi dinamika getaran mesin berputar:[19]

- a. Ketidakseimbangan dinamis
- b. Resonansi rotor
- c. Ketidakselarasan (*misalignment*) kopling
- d. Deformasi struktural akibat beban

2.4 Getaran Pada Mesin Berputar

Mesin berputar merupakan sistem mekanik yang umum mengalami getaran karena adanya komponen yang bergerak berputar, seperti rotor, poros, dan bantalan. Getaran pada mesin berputar biasanya timbul karena[8] [2] :



Gambar 2.5 Macam – Macam Getaran Timbul Mesin Beputar

(Sumber: <https://ludeca.com>.)

1. Ketidakseimbangan (*unbalance*)

Ketidakseimbangan terjadi saat pusat massa rotor tidak sejajar dengan pusat geometris rotasi. Ini menghasilkan gaya sentrifugal yang berputar seiring

dengan rotor, menyebabkan getaran berulang di setiap putaran. Secara teknis, ketidakseimbangan dapat dibagi menjadi: [5]

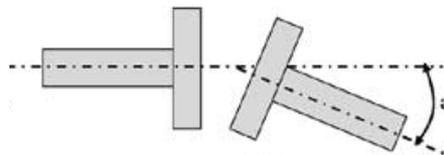
- *Static Unbalance*: Ketidakseimbangan di satu bidang saja, menyebabkan rotor cenderung menggelinding ke arah yang sama bila ditempatkan pada dudukan bebas.
- *Couple Unbalance*: Ketidakseimbangan yang terjadi di dua bidang sejajar, sehingga menyebabkan momen puntir.
- *Dynamic Unbalance*: Kombinasi ketidakseimbangan statis dan kopel, kasus yang paling umum pada mesin nyata.

Akibat ketidakseimbangan ini, getaran memiliki komponen dominan pada frekuensi rotasi mesin (1X RPM). Jika tidak ditangani, ketidakseimbangan dapat mempercepat keausan bantalan dan meningkatkan risiko kerusakan fatal pada mesin [19].

2. *Misalignment* (ketidaksesuaian garis pusat poros)

Misalignment adalah kondisi di mana sumbu putar dua komponen mesin yang terhubung, seperti motor dan pompa, tidak sejajar. Ada dua jenis misalignment: [4], [5].

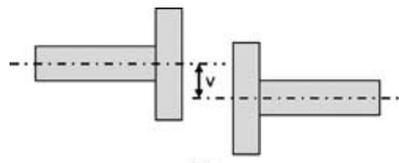
a) *Angular Misalignment*: Sudut antara dua poros berbeda.



Gambar 2.6 *Angular Misalignment*

(Sumber: <https://www.researchgate.net/figure/illustration-of-parallel-angular-and-combined-misalignment-conditions>.)

b) *Parallel Misalignment*: Dua poros sejajar tetapi tidak segaris.



Gambar 2.7 *Parallel Misalignment*

(Sumber: <https://www.researchgate.net/figure/illustration-of-parallel-angular-and-combined-misalignment-conditions>.)

Getaran akibat misalignment biasanya muncul pada kelipatan dua kali frekuensi putaran (2X RPM) atau bahkan lebih tinggi, tergantung tingkat keparahannya. Misalignment menyebabkan tekanan tambahan pada bantalan, sambungan, dan kopling, yang dapat mempercepat kegagalan komponen [12].

Gejala:

- a. Suhu bantalan naik
 - b. Kopling cepat aus
 - c. Getaran radial dan aksial tinggi
3. *Looseness* (kelonggaran mekanis pada sambungan atau struktur)

Looseness mekanis terjadi ketika ada kelonggaran atau sambungan longgar dalam struktur mesin, baik di internal (seperti pada *bearing housing*) maupun eksternal (seperti pada *foundation bolt*). *Looseness* bisa menyebabkan Getaran amplitudo tinggi Getaran non-linear, sering kali muncul pada harmonik frekuensi dasar (1X, 2X, 3X, dll.), Benturan antar komponen [5].

Tanda khas *looseness* adalah pola getaran yang berubah-ubah secara acak dan bisa menyebabkan kerusakan kejut (*impact damage*) pada komponen mesin.[20]

4. Kerusakan bantalan (*bearing defect*)

Bantalan berfungsi mengurangi gesekan antar bagian yang berputar. Seiring waktu, bantalan bisa mengalami:[17]



Gambar 2.8 *Bearing Defect*

(Sumber: <https://www.lily-bearing.com>)

1. Spalling (pecahnya permukaan).
2. Brinelling (cekungan permanen akibat tekanan berlebih).
3. Corrosion (karat).

Getaran akibat kerusakan bantalan biasanya muncul sebagai sinyal periodik dengan komponen frekuensi spesifik seperti:[11], [16]

- a. *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO).
- b. *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI).
- c. *Ball Spin Frequency* (BSF).
- d. *Fundamental Train Frequency* (FTF).

Deteksi dini kerusakan bantalan sangat penting karena kegagalan total bantalan dapat menyebabkan kehancuran mesin.[11]

5. Kegagalan roda gigi (*gear failure*)

Roda gigi dalam sistem transmisi mentransfer tenaga antar komponen mesin[20]. Kegagalan roda gigi dapat disebabkan oleh[21]:

1. *Pitting* (lubang kecil akibat kelelahan material).
2. *Scuffing* (aus akibat gesekan berlebih).
3. *Broken Tooth* (gigi patah).



Gambar 2.9 *Broken Tooth*

(Sumber: <https://www.lily-bearing.com>)

Ciri-ciri getaran akibat kegagalan roda gigi:[6]

1. Getaran pada kelipatan frekuensi *gear mesh* (frekuensi jala roda gigi).
2. Sidebands di sekitar frekuensi mesh akibat ketidakrataan beban.
3. Pola getaran *modulated amplitude* (MA) atau *frequency modulation* (FM) [16].

4. Monitoring kondisi gear secara rutin dapat memperpanjang umur roda gigi dan mencegah kegagalan mendadak.

6. Kavitasasi pada pompa

Kavitasasi adalah pembentukan dan kolaps gelembung uap dalam cairan karena penurunan tekanan lokal di bawah tekanan uap. Dalam pompa, kavitasasi menyebabkan:[5]

1. Suara berisik seperti "kerikil" di dalam pompa.
2. Getaran tinggi dengan frekuensi broadband.
3. Erosi permukaan impeller.



Gambar 2.10 *Cavitation*

(Sumber: <https://www.lily-bearing.com>)

Kavitasasi bukan hanya menyebabkan getaran, tetapi juga mempercepat kerusakan fisik pada impeller dan menurunkan efisiensi pompa secara drastis. Pencegahan kavitasasi biasanya dilakukan dengan menjaga *Net Positive Suction Head* (NPSH) yang cukup.[22]

Kemudian terdapatnya rumus pada gaya akibar ketidakseimbangan [23]

$$F = mr\omega^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangannya:

F : gaya sentrifugal (N)

m : massa tidak seimbang (kg)

r: eksentrisitas (m)

ω : kecepatan sudut (rad/s)

Dengan kecepatan getaran $v = A\omega$ dan percepatan getaran $a = A\omega^2$

2.5 Pengaruh Variasi Pembebanan terhadap Getaran Mesin Berputar

Variasi beban berpengaruh signifikan terhadap karakteristik getaran mesin berputar. Saat beban mesin meningkat: [9]

1. Gaya Inersia Bertambah

Gaya inersia adalah gaya yang timbul akibat massa yang berputar dan cenderung mempertahankan gerakan linier atau rotasi yang telah dimilikinya (hukum Newton pertama). Saat beban tambahan dipasang pada rotor (misalnya baut pada cakram), massa sistem bertambah dan menyebabkan peningkatan momen inersia.

Akibatnya, rotor memerlukan torsi lebih besar untuk mencapai kecepatan tertentu dan akan menghasilkan gaya sentrifugal yang lebih besar. Gaya sentrifugal ini bekerja secara radial dan meningkatkan tekanan pada bearing dan komponen lainnya. Peningkatan gaya inersia juga berkontribusi terhadap tingginya amplitudo getaran, terutama pada kecepatan tinggi [4].

2. Deformasi Struktur Mesin Meningkat

Penambahan beban, apalagi jika tidak merata, menciptakan ketidakseimbangan (*unbalance*) yang memicu getaran dinamis berulang. Getaran ini menyebabkan bagian-bagian dari mesin seperti poros, cakram, atau casing mengalami pembebanan siklik (berulang) secara terus-menerus. Akibatnya, material dapat mengalami deformasi elastis (perubahan bentuk sementara) maupun plastis (perubahan bentuk permanen) tergantung besarnya beban dan sifat bahan. Deformasi ini dapat menyebabkan perubahan bentuk geometri struktur dan bahkan mempercepat kegagalan material melalui kelelahan (*fatigue*) [12].

3. Muncul Kemungkinan Bergesernya Frekuensi Alami

Frekuensi alami (*natural frequency*) suatu sistem mekanis tergantung pada massa dan kekakuan struktur. Penambahan beban menyebabkan meningkatnya massa total sistem, yang berdampak langsung pada penurunan frekuensi alami

Jika frekuensi alami sistem mendekati atau tumpang tindih dengan frekuensi eksitasi (frekuensi operasi mesin), maka terjadi kondisi resonansi, yang sangat berbahaya. Oleh karena itu, perubahan beban harus diperhitungkan dalam desain dan pengoperasian mesin untuk menjaga kestabilan dinamis [20].

4. Risiko Resonansi Meningkat

Resonansi terjadi saat frekuensi eksitasi dari sumber getaran (misalnya rotor yang berputar) mendekati atau sama dengan frekuensi alami sistem. Dalam kondisi ini, amplitudo getaran meningkat drastis meskipun gaya eksitasi tidak berubah [3].

Penambahan beban dapat menurunkan frekuensi alami sistem hingga mendekati frekuensi eksitasi, terutama pada sistem yang tidak dilengkapi dengan peredam (damping) yang cukup. Resonansi yang terjadi terus-menerus dapat menyebabkan kerusakan parah, seperti retak pada poros, keausan bearing, hingga patahnya komponen.

5. Komponen Mesin Mengalami Keausan Lebih Cepat

Getaran berlebih akibat pembebanan yang tidak seimbang mempercepat proses keausan (*wear*) pada komponen-komponen mesin, khususnya pada bagian yang bergerak dan mengalami kontak langsung seperti bantalan (*bearing*), poros, dan sambungan.

Keausan ini bisa berupa pelapukan permukaan, goresan, pelunakan material, bahkan retakan mikro. Jika tidak dimonitor dengan baik, keausan ini akan menurunkan efisiensi mesin, meningkatkan konsumsi energi, dan akhirnya menyebabkan kegagalan sistem secara total [17].

Pada motor listrik perubahan dari kondisi tanpa beban ke beban penuh dapat meningkatkan amplitudo getaran hingga 30%-50% [11]. Kondisi ini menunjukkan bahwa monitoring getaran di berbagai tingkat beban sangat penting untuk mengetahui kondisi kesehatan mesin [12].

2.6 Teknik Pengukuran Getaran

Berikut ini merupakan teknik pengukuran getaran dengan menggunakan alat yakni *Modal Analysis Testing* dan *Vibration Meter*.

2.6.1 Modal Analysis Testing

Modal Analysis Testing adalah metode eksperimental yang digunakan untuk menentukan karakteristik dinamis suatu struktur atau sistem mekanis, seperti frekuensi alami (*natural frequencies*), bentuk mode (*mode shapes*), dan faktor redaman (*damping ratio*) [11]. Teknik ini sangat penting dalam rekayasa mekanik dan struktural untuk memahami respons getaran dari suatu sistem [13].

Tujuan utama dari *Modal Analysis Testing* meliputi:[3]

1. Identifikasi Frekuensi Alami: Menentukan frekuensi di mana struktur cenderung beresonansi.
2. Penentuan Bentuk Mode: Menganalisis pola deformasi struktur pada setiap frekuensi alami.
3. Estimasi Faktor Redaman: Mengukur seberapa cepat getaran mereda setelah eksitasi.

Metode dalam *Modal Analysis Testing*: [26]

1. *Experimental Modal Analysis* (EMA): Melibatkan eksitasi struktur menggunakan alat seperti palu impuls atau shaker, dan mengukur respons getaran dengan akselerometer atau sensor lainnya. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengekstrak parameter modal. [14]
2. *Operational Modal Analysis* (OMA): Digunakan ketika struktur berada dalam kondisi operasional normal tanpa eksitasi buatan. Analisis ini mengandalkan data respons alami dari lingkungan atau operasi normal struktur. [14]
3. *Finite Element Modal Analysis* (FEM): Simulasi numerik yang memodelkan struktur untuk memprediksi karakteristik modal sebelum pembuatan atau pengujian fisik. [7], [19]

2.6.2 Vibration Meter

Vibration Meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur getaran mekanis pada suatu benda atau mesin [19]. Pengukuran getaran ini penting dalam pemeliharaan prediktif untuk mencegah kegagalan mesin

akibat keausan, ketidakseimbangan, misalignment, atau kerusakan komponen lainnya [9]. *Vibration Meter* bekerja berdasarkan sensor akselerometer yang mendeteksi perubahan percepatan akibat getaran. Data yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi parameter getaran seperti: Percepatan (*Acceleration*, m/s^2 atau *g*), Kecepatan (*Velocity*, mm/s atau in/s), dan Perpindahan (*Displacement*, μm atau *mils*). [7], [17]

Sensor ini biasanya menggunakan prinsip piezoelektrik untuk mengubah sinyal mekanik menjadi sinyal listrik, yang kemudian diolah dan ditampilkan dalam satuan tertentu pada layar alat. Pengukuran getaran dengan *Vibration Meter* dapat dilakukan pada berbagai titik di mesin atau struktur tertentu [12].

2.7 Perbandingan *Modal Analysis Testing* dan *Vibration Meter* dalam Studi Getaran

Dapat dilihat tabel dibawah ini merupakan perbandingan dari kedua alat tersebut sebagai berikut: [8], [16]

Tabel 2. 1 Tabel Perbandingan *Modal Analysis Testing* dan *Vibration Meter*

Aspek	<i>Modal Analysis</i>	<i>Vibration Meter</i>
Parameter yang diukur	Frekuensi alami, mode <i>shape</i> , dan redaman	Amplitudo getaran
Kompleksitas	Tinggi	Rendah
Kecepatan pengukuran	Lambat	Cepat
Ketelitian dinamis	Tinggi	Rendah
Kebutuhan alat	<i>Impact Hammer/shaker, Accelerometer, dan analyzer</i>	Sensor getaran sederhana (Probe)