

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Penunjang

1. Getaran Mekanis

Getaran mekanis merupakan gerak bolak-balik suatu objek secara teratur (*osilasi*) dalam satu sistem mekanis terhadap posisi keseimbangan yang terjadi akibat gaya dinamis yang ada atau eksitasi dari dalam maupun luar sistem. Getaran yang terjadi pada mesin umumnya dihasilkan oleh gerakan komponen yang berputar, gaya inersia, ketidakseimbangan massa, maupun hubungan antar komponen mekanis. Getaran yang melebihi batas yang diizinkan dapat menurunkan kinerja serta mempercepat kerusakan komponen mesin (Sanam et al., 2023).

a. Parameter Getaran

Menurut Zaira, (2025), terdapat beberapa parameter utama yang digunakan untuk menyatakan karakteristik getaran, yaitu : perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*).

1) Percepatan Getaran

Percepatan getaran merupakan parameter yang menyatakan laju perubahan kecepatan terhadap waktu dan mencerminkan respons dinamis sistem terhadap gaya eksitasi. Dalam analisis getaran, percepatan digunakan karena memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan kondisi mekanis, khususnya dalam mendeteksi gangguan awal dan komponen berfrekuensi tinggi. Secara matematis, percepatan merupakan turunan kedua dari perpindahan terhadap waktu dan dinyatakan dalam satuan mm/s^2 (*Mechanical Vibrations; Vibration-based Condition Monitoring*).

$$a(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

dimana:

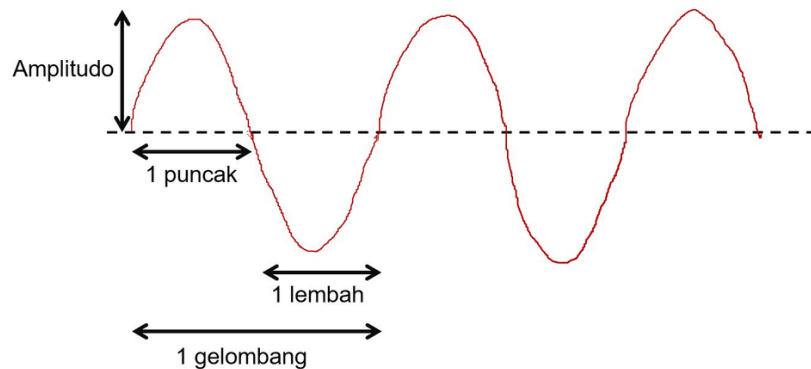
$a(t)$ = percepatan (mm/s^2)

$x(t)$ = perpindahan (m)

t = waktu (s)

Peningkatan nilai percepatan getaran di atas kondisi normal dapat mengindikasikan adanya gangguan mekanis, seperti ketidakseimbangan, *misalignment*, atau penurunan kinerja komponen mesin, sehingga parameter percepatan getaran digunakan sebagai indikator penting dalam pemantauan kondisi dan deteksi dini kerusakan (Ramadhan et al., 2024). Selain percepatan, amplitudo getaran merupakan parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat getaran pada sistem mekanis.

2) Amplitudo Getaran



Gambar II. 1 Amplitudo

Amplitudo merupakan nilai simpangan maksimum suatu sinyal getaran terhadap posisi keseimbangannya dalam periode tertentu. Dalam analisis getaran mesin, amplitudo merepresentasikan tingkat intensitas getaran yang terjadi pada suatu sistem mekanis. Nilai amplitudo digunakan sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kondisi komponen, karena peningkatan amplitudo menunjukkan peningkatan respons dinamis sistem yang berkorelasi dengan peningkatan energi getaran yang ditransmisikan ke struktur, yang dapat mengindikasikan penurunan kemampuan peredaman, keausan, atau kerusakan komponen seperti *engine mounting*, *bearing*, dan rangka mesin.

Secara matematis, amplitudo dapat dijelaskan melalui persamaan sinyal getaran sinusoidal:

$$x(t) = A \sin(\omega t)$$

di mana:

A = amplitudo getaran

x(t) = simpangan terhadap waktu (m)

ω = frekuensi sudut (rad/s)

t = waktu (s)

Analisis getaran menggunakan amplitudo merupakan metode yang efektif untuk mendeteksi kondisi mesin karena perubahan karakteristik amplitudo getaran dapat digunakan sebagai indikator awal terjadinya kerusakan. Menurut Shah et al., (2025), peningkatan amplitudo getaran secara signifikan menunjukkan adanya ketidaksesuaian kondisi operasional yang dapat menyebabkan kegagalan komponen jika tidak segera dilakukan tindakan perawatan.

b. Pengukuran Arah Getaran

Pengukuran getaran pada sistem mesin dilakukan pada tiga arah ortogonal, yaitu sumbu X (*horizontal*), Y (*vertikal*), dan Z (*aksial*), untuk memperoleh representasi respons dinamis secara menyeluruh. Hal ini karena gaya dinamis pada mesin bekerja secara simultan dalam berbagai arah, sehingga pengukuran multi-sumbu diperlukan untuk meningkatkan akurasi karakterisasi getaran.

Nilai getaran total selanjutnya diperoleh melalui perhitungan magnitudo percepatan resultan dari ketiga sumbu, yang dinyatakan sebagai:

$$a_{total} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

di mana:

a_x = percepatan sumbu X (m/s²)

a_y = percepatan sumbu Y (m/s²)

a_z = percepatan sumbu Z (m/s²)

Nilai magnitudo percepatan tersebut merepresentasikan tingkat getaran total yang dialami sistem dan digunakan sebagai parameter utama dalam analisis kondisi mesin dan deteksi dini gangguan mekanis.

2. Engine Mounting

a. Definisi dan Fungsi *Engine Mounting*

Engine mounting merupakan komponen yang berfungsi sebagai penopang dan penghubung antara *engine* dan rangka kendaraan (*chassis*), sekaligus sebagai peredam getaran yang dihasilkan mesin selama beroperasi. *Engine mounting* harus memiliki struktural yang memadai untuk mampu menahan beban *engine*, serta memiliki sifat yang elastis untuk meredam getaran yang ditimbulkan oleh mesin (Raditya et al., 2021).

Pada sistem kendaraan, *engine* menghasilkan getaran akibat proses pembakaran, gerakan komponen yang berputar, serta gaya dinamis yang terjadi pada saat operasi. *engine mounting* bertujuan untuk mampu mengurangi transmisi getaran tersebut ke rangka kendaraan, sehingga dapat menjaga stabilitas mesin, meningkatkan kenyamanan operasional, serta melindungi komponen lain dari kerusakan akibat getaran yang ditimbulkan (Adrian et al., 2024).

Selain sebagai penopang dan peredam, *engine mounting* juga berperan dalam menjaga mesin agar tetap stabil dari gaya dinamis yang ditimbulkan selama percepatan, perlambatan maupun perubahan beban ketika kendaraan digunakan. Dengan demikian, *engine mounting* menjadi bagian penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan sistem kendaraan (Hosseini et al., 2022).

b. Prinsip Isolasi dan Getaran

Engine mounting bekerja dengan menggunakan prinsip isolasi getaran (*vibration isolation*), yaitu meredam energi getaran yang ditransmisikan dari *engine* ke rangka dengan memanfaatkan material elastis yang memiliki kemampuan atau sifat redaman (*damping*). Material *elastomer* pada *engine mounting* mampu menyerap sebagian energi getaran yang

diubah menjadi energi *disipasi*, sehingga amplitudo getaran yang ditransmisikan ke struktur dapat dikurangi (Priyandoko et al., 2021).

Dikutip dari Triswandi et al., (2023) penggunaan *engine mounting* terbukti efektif dalam mengurangi percepatan getaran yang ditransmisikan dari *engine* ke struktur kendaraan. *engine mounting* berfungsi sebagai isolator getaran yang memisahkan sumber getaran dengan struktur pendukung melalui material *elastomer* yang memiliki karakteristik elastis dan redaman. Dengan demikian energi getaran dapat diredam, sehingga mampu melindungi komponen serta meningkatkan kenyamanan dan keandalan operasional.

Oleh karena itu, prinsip isolasi getaran ini sangat penting dalam sistem kendaraan, karena *engine* merupakan salah satu sumber utama getaran. Tanpa adanya sistem isolasi yang baik, getaran dapat langsung ditransmisikan ke rangka kendaraan dan menyebabkan penurunan kinerja serta kerusakan komponen mekanis.

c. Karakteristik Material Elastomer pada *Engine Mounting*

Engine mounting umumnya menggunakan material *elastomer*, seperti karet alam atau karet sintetis, yang memiliki sifat elastis dan kemampuan redaman yang baik untuk mengurangi transmisi getaran dari *engine* ke struktur kendaraan. Material *elastomer* mampu mengalami deformasi elastis ketika menerima gaya dinamis dan kembali ke bentuk semula setelah gaya dihilangkan, sehingga dapat menyerap dan meredam energi getaran secara efektif.

Karakteristik mekanis material, seperti kekuatan, kekerasan, dan struktur mikro, mempengaruhi kemampuan *engine mounting* dalam menopang beban *engine* sekaligus meredam getaran. Oleh karena itu, material *engine mounting* harus memiliki keseimbangan antara kekuatan struktural dan fleksibilitas elastis agar dapat berfungsi secara optimal sebagai isolator getaran (Raditya et al., 2021).

d. Dampak Kerusakan *Engine Mounting* terhadap Sistem *Engine*

Kerusakan *engine mounting* dapat mengakibatkan peningkatan

amplitudo getaran yang ditransmisikan dari *engine* ke rangka kendaraan, kondisi ini dapat menyebabkan penurunan kenyamanan operasional, peningkatan kebisingan, serta mempercepat proses keausan pada berbagai komponen mekanis yang terhubung dengan sistem *engine*.

Selain itu, kondisi *engine mounting* yang tidak optimal dapat mengganggu kestabilan posisi mesin selama beroperasi serta mempengaruhi kinerja sistem mekanis lainnya, seperti sistem transmisi dan struktur pendukung. Berdasarkan hasil pengukuran getaran, *engine mounting* yang masih dalam kondisi baik mampu menjaga tingkat getaran dalam rentang normal, sedangkan *engine mounting* yang mengalami degradasi menunjukkan peningkatan nilai percepatan getaran secara signifikan.

e. Parameter Keandalan *Engine Mounting*

Keandalan *engine mounting* merupakan kemampuan sistem *mounting* dalam menopang mesin sekaligus meredam getaran yang dihasilkan selama operasi. Fungsi utama *engine mounting* adalah mengurangi getaran yang diteruskan dari mesin ke rangka kendaraan sehingga meningkatkan kenyamanan dan mencegah kerusakan komponen lainnya (Triswandi et al., 2023).

1) *Transmissibility*

Transmissibility merupakan rasio antara amplitudo getaran yang diteruskan ke struktur kendaraan terhadap amplitudo getaran dari sumber getaran (mesin). Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas isolasi getaran pada sistem *mounting*. Nilai *transmissibility* yang lebih kecil dari satu menunjukkan bahwa sistem mampu meredam getaran dengan baik, sedangkan nilai lebih besar dari satu menunjukkan terjadinya penguatan getaran (Chen et al., 2025).

2) Nilai RMS

Nilai RMS digunakan untuk menggambarkan besarnya energi getaran dalam suatu periode waktu dan merupakan parameter umum dalam analisis getaran mesin. Evaluasi kondisi mesin dan *mounting*

sering dilakukan dengan membandingkan nilai RMS terhadap standar tertentu seperti ISO 10816, di mana nilai getaran yang tinggi mengindikasikan adanya potensi kerusakan atau penurunan performa sistem (Feriadi et al., 2019).

3) Frekuensi Natural

Frekuensi natural adalah frekuensi alami sistem ketika beresilasi tanpa pengaruh gaya luar. Dalam sistem *engine mounting*, frekuensi natural harus dirancang lebih rendah dibandingkan frekuensi eksitasi mesin untuk menghindari fenomena resonansi yang dapat memperbesar amplitudo getaran dan menurunkan keandalan sistem (Rao, 2018).

4) *Damping Ratio*

Rasio redaman menunjukkan kemampuan sistem mounting dalam meredam getaran setelah terjadi eksitasi. Nilai redaman yang baik akan mempercepat penurunan amplitudo getaran sehingga meningkatkan kenyamanan dan mengurangi beban dinamis pada struktur kendaraan. Karakteristik redaman ini sangat dipengaruhi oleh material *engine mounting*, seperti karet atau fluida pada *mounting* hidrolik (Jiang et al., 2025).

3. Karakteristik Getaran Mesin Mounting

a. Frekuensi Natural Engine Mounting

Engine mounting merupakan sistem mekanik yang dapat dimodelkan sebagai sistem massa–pegas–peredam (*mass–spring–damper system*). Dalam sistem ini, mesin berperan sebagai massa (m), karet mounting sebagai elemen pegas (k), dan sifat viskoelastik material atau fluida sebagai peredam (c). Menurut *Mechanical Vibrations*, model massa–pegas–peredam digunakan untuk menganalisis respons dinamis serta transmisi getaran pada sistem mekanik. Hal ini juga didukung oleh buku *Engineering Vibration* yang menyatakan bahwa sistem isolasi getaran pada kendaraan umumnya dimodelkan menggunakan pendekatan tersebut.

Frekuensi natural merupakan parameter penting yang menunjukkan kecenderungan sistem untuk bergetar secara alami, yang dirumuskan sebagai:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Berdasarkan *Mechanical Vibrations*, frekuensi natural dipengaruhi oleh rasio kekakuan (k) terhadap massa (m), di mana peningkatan kekakuan akan meningkatkan frekuensi natural, sedangkan peningkatan massa akan menurunkannya.

Dalam praktik otomotif, sistem isolasi getaran dirancang agar frekuensi natural lebih rendah dari frekuensi eksitasi utama, sehingga sistem dapat bekerja sebagai isolator getaran. Menurut *Engineering Vibration*, apabila frekuensi eksitasi mendekati frekuensi natural, maka akan terjadi resonansi yang menyebabkan amplitudo getaran meningkat secara signifikan. Sebaliknya, jika frekuensi eksitasi lebih tinggi dari frekuensi natural, maka getaran yang ditransmisikan akan berkurang.

Pada kendaraan, frekuensi eksitasi mesin dapat diperkirakan dari putaran mesin (rpm), di mana frekuensi (Hz) merupakan hasil pembagian rpm terhadap 60. Oleh karena itu, pada kondisi idle (600–900 rpm), frekuensi eksitasi berada pada kisaran 10–15 Hz, sehingga desain engine mounting harus mempertimbangkan kondisi tersebut agar tidak terjadi resonansi.

b. Karakteristik Getaran mesin *Mounting*

Getaran yang ditransmisikan melalui engine mounting memiliki karakteristik sebagai berikut:

1) Frekuensi rendah (*low frequency*)

Getaran dominan berada pada rentang 5–30 Hz, yang berasal dari putaran mesin dan harmoniknya.

2) Amplitudo relatif besar

Karena bersifat getaran global dari mesin, amplitudo cenderung lebih besar dibandingkan getaran komponen kecil.

3) Spektrum frekuensi lebar (*broadband*)

Tidak berbentuk puncak tajam, melainkan distribusi energi yang menyebar pada frekuensi rendah.

4) Dipengaruhi kondisi mounting

Kerusakan pada engine mounting akan meningkatkan nilai getaran dan menyebabkan transmisi getaran ke bodi kendaraan menjadi lebih besar.

c. Perbedaan Karakteristik Getaran mesin *Mounting* dan Komponen Lain

Perbedaan karakteristik getaran antar komponen mesin dapat diidentifikasi berdasarkan parameter frekuensi, sifat getaran, dan pola spektrum. Menurut *Machinery Vibration: Measurement and Analysis*, getaran frekuensi rendah umumnya berasal dari struktur dan sistem mounting, sedangkan frekuensi lebih tinggi dihasilkan oleh komponen rotating seperti *pulley* dan *bearing*. Selain itu, *Vibration-based Condition Monitoring* menyatakan bahwa setiap komponen memiliki *frequency signature* yang berbeda, sehingga dapat dibedakan melalui analisis spektrum frekuensi.

Berdasarkan prinsip tersebut, perbedaan karakteristik getaran mesin mounting, pulley dan belt, serta bearing dirangkum pada Tabel II.1 berdasarkan rentang frekuensi, sifat getaran, pola spektrum, dan sumber eksitasi.

Tabel II. 1 Perbedaan Karakteristik Getaran Komponen

NO	KOMPO NEN	PERBEDAAN KARAKTERISTIK			
		FREKUE NSI	SIFAT	SPEKTRU M	PENYEBAB
1	<i>Engine Mounting</i>	5 – 30 Hz	Getaran Global	Cenderung Lebar (<i>Broadband</i>)	Gerakan Mesin Secara Keseluruhan
2	<i>Pulley dan Belt</i>	30 – 300 Hz	Getaran Periodik	Memiliki Puncak (<i>peak</i>) pada Frekuensi Tertentu	Putaran dan Ketidakseimbangan Sistem Transmisi

3	<i>Bearing</i>	>300 Hz	Getaran Lokal	Tajam dan Spesifik (<i>fault frequency</i>)	Kerusakan Elemen Gelinding
---	----------------	---------	---------------	---	----------------------------

4. Konsep Analisis Getaran untuk Diagnosis Kerusakan

a. Getaran sebagai Indikator Kondisi Mesin

Getaran merupakan respons dinamis sistem mekanis terhadap gaya eksitasi yang dihasilkan oleh proses pembakaran, rotasi komponen, dan interaksi antar elemen mekanis. Karakteristik getaran, seperti percepatan, amplitudo, dan frekuensi, merepresentasikan kondisi operasional mesin dan dapat digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi kesehatan sistem mekanis. Perubahan karakteristik getaran menunjukkan adanya perubahan kondisi struktural atau penurunan kinerja komponen, sehingga analisis getaran digunakan sebagai indikator kondisi mesin dalam sistem pemantauan berbasis kondisi (Wahid et al., 2025).

Analisis getaran merupakan metode utama dalam *vibration condition monitoring* yang digunakan untuk mendeteksi gangguan mekanis secara *non-destructive* dan *real-time* tanpa memerlukan pembongkaran sistem. Metode ini memungkinkan identifikasi dini terhadap gangguan seperti ketidakseimbangan (*unbalance*), *misalignment*, keausan, dan penurunan kinerja komponen pendukung mesin, sehingga dapat meningkatkan efektivitas diagnosis dan keandalan operasional sistem (Sanam et al., 2023).

Peningkatan amplitudo atau nilai RMS percepatan getaran menunjukkan peningkatan energi dinamis yang ditransmisikan dalam sistem mekanis. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya peningkatan respons dinamis akibat gangguan atau degradasi komponen. Oleh karena itu, parameter percepatan getaran, khususnya dalam bentuk amplitudo dan RMS, digunakan secara luas sebagai indikator kuantitatif dalam pemantauan kondisi mesin dan diagnosis dini kerusakan komponen mekanis, termasuk *engine mounting*.

b. Klasifikasi Tingkat Kerusakan Berdasarkan Amplitudo Getaran

Amplitudo getaran merupakan indikator utama dalam mengevaluasi kondisi mekanis mesin. Semakin besar nilai amplitudo getaran, semakin besar kemungkinan terjadi kerusakan seperti ketidakseimbangan (*unbalance*), *misalignment*, keausan *bearing*, atau kerusakan *engine mounting*.

Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh *International Organization for Standardization* dalam ISO 20816, tingkat getaran mesin dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa zona kondisi, yaitu:

- a) Zona A : kondisi sangat baik (normal)
- b) Zona B : kondisi masih dapat diterima
- c) Zona C : kondisi mulai tidak normal (perlu pemantauan)
- d) Zona D : kondisi berbahaya (perlu tindakan perbaikan segera)

Dengan demikian, peningkatan amplitudo getaran dapat digunakan sebagai indikator dini untuk mendeteksi penurunan kinerja komponen mekanis, termasuk *engine mounting*.

c. Prinsip Non-Destruktif dalam Pemantauan Kondisi Mesin

Prinsip non-destruktif (*non-destructive*) merupakan salah satu metode pengujian yang memungkinkan evaluasi kondisi struktur atau komponen mekanis tanpa harus merusak atau menghancurkan objek yang diperiksa. Pendekatan ini banyak digunakan dalam *condition monitoring* dan *structural health monitoring* untuk mendeteksi potensi kerusakan secara dini tanpa perlu melakukan pembongkaran sistem. Berbagai teknik *non-destructive testing* (NDT) seperti inspeksi visual, emisi akustik, pengujian ultrasonik, termografi inframerah, dan pemantauan getaran digunakan untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik struktural maupun mekanis pada suatu sistem.

Dengan pendekatan ini, kondisi operasional komponen dapat dianalisis secara berkelanjutan sehingga kerusakan dapat dideteksi lebih awal dan proses pemeliharaan dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien (Civera & Surace, 2022).

d. *Condition-Based Maintenance* (CBM)

CBM merupakan pendekatan pemeliharaan yang dilakukan dengan memantau kondisi aktual suatu sistem melalui pengamatan berbagai parameter operasional yang mencerminkan kesehatan peralatan. Pemantauan kondisi dilakukan menggunakan sensor untuk mengukur variabel tertentu, seperti getaran, temperatur, tekanan, maupun parameter lainnya yang berkaitan dengan performa sistem. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik operasi yang dapat mengindikasikan terjadinya penurunan kinerja atau potensi kerusakan.

Dengan pendekatan ini, tindakan perawatan dapat dilakukan secara tepat waktu sebelum terjadi kegagalan sistem, sehingga mampu meningkatkan keandalan peralatan serta mengurangi biaya pemeliharaan operasional (Ali & Abdelhadi, 2022).

5. Perhitungan Magnitudo dan RMS Getaran

Analisis getaran merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengetahui kondisi suatu sistem mekanik melalui pengukuran parameter getaran yang dihasilkan selama operasi mesin. Getaran yang berlebihan pada suatu sistem mekanik dapat menyebabkan penurunan kinerja maupun kerusakan pada komponen mesin sehingga diperlukan analisis untuk mengidentifikasi sumber getaran tersebut.

Penelitian mengenai analisis getaran pada sistem drum roller menunjukkan bahwa getaran yang tinggi dapat mempengaruhi kinerja mesin dan berpotensi merusak komponen penting sehingga diperlukan metode analisis sinyal getaran untuk mengidentifikasi sumber permasalahan tersebut (Ilhamullah et al., 2023).

Dalam sistem pengukuran getaran berbasis sensor akselerometer, data percepatan yang diperoleh dari sensor biasanya terdiri dari tiga komponen percepatan yang diukur pada sumbu x, y, dan z. Sensor *accelerometer* berbasis MEMS seperti ADXL-345 mampu mengukur percepatan pada ketiga sumbu tersebut sehingga dapat digunakan untuk melakukan analisis

karakteristik getaran pada suatu sistem mekanik (Feriadi et al., 2019).

a. Perhitungan Magnitudo Getaran

Nilai percepatan yang diperoleh dari masing-masing sumbu akselerometer belum menggambarkan besarnya getaran secara keseluruhan. Oleh karena itu diperlukan proses penggabungan komponen percepatan pada ketiga sumbu tersebut untuk memperoleh nilai percepatan total atau magnitudo getaran. Perhitungan magnitudo ini digunakan untuk mengetahui besar getaran yang terjadi pada sistem tanpa memperhatikan arah getarannya (Feriadi et al., 2019).

Perhitungan magnitudo percepatan dapat dilakukan menggunakan persamaan resultan vektor tiga dimensi sebagai berikut.

$$A_{total} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

Keterangan:

A = magnitudo percepatan total

A_x = percepatan pada sumbu x

A_y = percepatan pada sumbu y

A_z = percepatan pada sumbu z

Nilai magnitudo percepatan ini digunakan untuk merepresentasikan intensitas getaran total yang terjadi pada objek pengukuran. Parameter ini sering digunakan dalam analisis getaran untuk mengetahui tingkat getaran yang terjadi pada suatu mesin atau struktur sebelum dilakukan analisis lanjutan menggunakan metode pengolahan sinyal seperti FFT atau STFT (Ilhamullah et al., 2023).

b. Perhitungan *Root Mean Square* (RMS)

Selain magnitudo percepatan, parameter lain yang sering digunakan dalam analisis getaran adalah RMS. Nilai RMS digunakan untuk menggambarkan nilai efektif dari suatu sinyal getaran yang diukur selama periode waktu tertentu. Parameter ini sering digunakan dalam sistem pemantauan kondisi mesin karena mampu merepresentasikan energi getaran yang terkandung dalam sinyal getaran.

Perhitungan RMS dari sinyal getaran dapat dinyatakan dengan

persamaan berikut.

$$RMS = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{N}}$$

Keterangan:

RMS = nilai Root Mean Square getaran

x_i = nilai percepatan getaran pada sampel ke-i

N = jumlah sampel data

Nilai RMS diperoleh dengan mengkuadratkan setiap data getaran, kemudian menghitung nilai rata-rata dari hasil kuadrat tersebut, dan selanjutnya diambil akar kuadratnya. Metode ini memberikan representasi nilai efektif dari sinyal getaran sehingga sering digunakan dalam analisis kondisi mesin untuk mendeteksi adanya perubahan kondisi mekanik seperti kerusakan *bearing* atau ketidakseimbangan komponen.

Dalam analisis getaran mesin, nilai RMS umumnya dinyatakan dalam satuan percepatan (m/s^2) atau kecepatan (mm/s), bergantung pada tujuan pengukuran. Penggunaan RMS percepatan banyak diterapkan pada sistem berbasis accelerometer karena sensor tersebut secara langsung mengukur percepatan getaran (Griffin & Erdreich, 1991).

Dalam penelitian ini, standar yang digunakan sebagai acuan utama dalam evaluasi tingkat getaran mesin adalah ISO 20816. Standar ini merupakan pengembangan sekaligus pengganti dari ISO 10816 yang sebelumnya digunakan untuk penilaian kondisi getaran pada mesin berputar. Oleh karena itu, seluruh interpretasi nilai RMS dan kategori kondisi getaran pada penelitian ini mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam ISO 20816 agar sesuai dengan standar internasional yang lebih mutakhir.

Berdasarkan ISO 20816, tingkat getaran mesin dalam bentuk kecepatan RMS dapat dikategorikan sebagai berikut:

Tabel II. 2 Kategori Nilai RMS pada Mesin

Nilai RMS Kecepatan (mm/s ²)	Kondisi Mesin
< 2,8	kondisi sangat baik (normal)
2,8 – 4,5	kondisi masih dapat diterima
4,5 – 7,1	kondisi mulai tidak normal (perlu pemantauan)
> 7,1	kondisi berbahaya (perlu tindakan perbaikan segera)

Hasil penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa nilai RMS getaran dapat digunakan sebagai indikator kondisi mekanis suatu sistem. Pada penelitian analisis getaran pompa sentrifugal, nilai getaran pada kondisi normal berada pada rentang 1,7–2,7 mm/s², sedangkan peningkatan nilai getaran hingga lebih dari 6,5 mm/s² menunjukkan adanya gangguan mekanis seperti *misalignment* dan *unbalance* (Fahlovi et al., 2025).

Dalam konteks penelitian ini, nilai RMS digunakan sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kinerja *engine mounting* dalam meredam getaran mesin. Semakin kecil nilai RMS yang diteruskan ke struktur kendaraan, maka semakin baik kemampuan redaman dari *engine mounting*. Sebaliknya, peningkatan nilai RMS menunjukkan adanya penurunan kemampuan redaman yang dapat mengindikasikan kerusakan atau keausan pada *engine mounting*.

c. Interpretasi Energi Getaran

Nilai RMS memiliki hubungan langsung dengan energi getaran yang dihasilkan oleh suatu sistem mekanik. Semakin besar nilai RMS yang diperoleh, maka semakin besar energi getaran yang terjadi pada sistem tersebut. Oleh karena itu, parameter RMS sering digunakan dalam sistem pemantauan kondisi mesin untuk mendeteksi perubahan kondisi mesin secara dini.

Dengan menggunakan kombinasi perhitungan magnitudo percepatan dan RMS getaran, sistem pengukuran getaran dapat memberikan informasi mengenai tingkat intensitas getaran serta energi getaran yang terjadi pada suatu mesin sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam proses evaluasi kondisi mesin.

6. Transmissibility

Transmissibility merupakan parameter utama dalam sistem isolasi getaran yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu sistem dalam mereduksi getaran yang ditransmisikan dari sumber ke struktur. Pada sistem *engine mounting*, *Transmissibility* digunakan untuk mengukur seberapa besar getaran dari mesin yang diteruskan ke rangka kendaraan.

Secara matematis, *Transmissibility* dinyatakan sebagai rasio antara respons *output* terhadap *input*, yang dalam penelitian ini menggunakan percepatan getaran:

$$T = \frac{a_{output}}{a_{input}}$$

dimana a_{input} adalah percepatan getaran pada *engine* dan a_{output} adalah percepatan getaran pada struktur kendaraan.

a. Prinsip Isolasi Getaran

Pada sistem satu derajat kebebasan *Single Degree of Freedom* (SDOF), *transmissibility* dipengaruhi oleh rasio frekuensi dan rasio redaman. Secara umum, hubungan tersebut dinyatakan sebagai fungsi dari rasio frekuensi $r = \frac{\omega}{\omega_n}$ dan rasio redaman ζ . Berdasarkan analisis sistem dinamis, kondisi isolasi getaran efektif terjadi frekuensi eksitasi lebih besar dari $\sqrt{2}$ kali frekuensi natural sistem.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem mulai bekerja sebagai isolator ketika:

$$r > \sqrt{2}$$

Pada kondisi ini, nilai *transmissibility* akan lebih kecil dari satu, sehingga getaran yang diteruskan ke struktur mengalami reduksi.

b. Interpretasi Nilai *Transmissibility*

Nilai *Transmissibility* digunakan sebagai indikator utama dalam menilai performa sistem isolasi getaran. Secara teoritis, interpretasi nilai *Transmissibility* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$T > 1 \rightarrow$ terjadi amplifikasi getaran

$T = 1 \rightarrow$ tidak terjadi perubahan

$T < 1 \rightarrow$ terjadi isolasi getaran

Kriteria tersebut merupakan dasar umum dalam analisis sistem isolasi getaran berbasis model satu derajat kebebasan (SDOF), dimana nilai *transmissibility* yang lebih kecil dari satu menunjukkan bahwa sistem mampu mereduksi getaran yang diteruskan ke struktur (Puzyrov et al., 2024).

Dalam praktik rekayasa, nilai *transmissibility* juga dapat diinterpretasikan sebagai persentase getaran yang diteruskan. Sebagai contoh, nilai *transmissibility* sebesar 0,15 menunjukkan bahwa hanya 15% getaran yang diteruskan, sehingga sistem mampu mereduksi sekitar 85% getaran.

Hasil penelitian Ramos, (2008) menunjukkan bahwa nilai *transmissibility* pada sistem *engine mounting* dapat berada di bawah 15% ($T < 0,15$) pada kondisi operasi tertentu, yang mengindikasikan performa isolasi getaran yang sangat baik. Selain itu, studi eksperimental oleh Beldar & Patil, (2024) melaporkan bahwa sistem damper yang dioptimasi mampu mereduksi getaran hingga 62%, yang ekuivalen dengan nilai *transmissibility* sebesar 0,38. Meskipun kedua penelitian tersebut dilakukan pada objek dan kondisi operasi yang berbeda dengan kendaraan operasional bandara, temuan tersebut digunakan dalam penelitian ini sebagai acuan komparatif atau pendekatan praktis untuk menginterpretasikan efektivitas isolasi getaran pada sistem *engine mounting*. Hingga saat ini, belum terdapat standar khusus yang menetapkan batas nilai *transmissibility* untuk

engine mounting pada kendaraan operasional bandara.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, evaluasi kinerja *engine mounting* tidak didasarkan pada batasan kategori yang kaku, melainkan pada prinsip bahwa semakin kecil nilai *transmissibility*, maka semakin baik kemampuan sistem dalam mereduksi getaran yang ditransmisikan.

c. Relevansi terhadap Penelitian

Dalam penelitian ini, *transmissibility* digunakan sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kinerja *engine mounting* pada kendaraan operasional bandara. Nilai *transmissibility* dihitung berdasarkan perbandingan nilai RMS percepatan getaran antara sisi engine dan struktur kendaraan menggunakan sensor *accelerometer*.

Pendekatan ini memungkinkan penilaian kondisi sistem secara kuantitatif, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi penurunan performa *engine mounting* secara dini.

7. Kendaraan Operasional Ringan Bandara

Kendaraan operasional ringan bandara merupakan bagian dari sistem pendukung operasional yang digunakan untuk menunjang kegiatan pelayanan, pengawasan, pemeliharaan, dan keselamatan di area bandara. Kendaraan ini umumnya memiliki kapasitas angkut kecil hingga sedang, fleksibel dalam mobilitas, serta digunakan pada area *airside* maupun *landside*.

Secara umum, kendaraan operasional ringan termasuk dalam kategori kendaraan ringan yang digunakan untuk transportasi personel, peralatan ringan, maupun kegiatan operasional harian. Kendaraan ringan ini memiliki karakteristik berupa dimensi yang relatif kecil, konsumsi bahan bakar lebih efisien, serta kemampuan manuver yang tinggi dibandingkan kendaraan berat (Adi, 2019).

Dalam operasional bandara, kendaraan ringan memiliki peran penting, antara lain:

- 1) Kendaraan patroli keamanan

- 2) Kendaraan operasional teknisi
- 3) Kendaraan inspeksi runway (*follow me car*)
- 4) Kendaraan pendukung pemeliharaan fasilitas
- 5) Kendaraan komando dan koordinasi

Berdasarkan dokumen jadwal pemeliharaan yang dimiliki oleh pihak bandara internasional juanda, kendaraan operasional bandara terdiri dari berbagai jenis, di mana sebagian besar termasuk kategori kendaraan ringan seperti *pick up*, *minibus*, *ambulance*, dan kendaraan *utility*.

a. Klasifikasi Kendaraan Operasional Ringan Bandara

Berdasarkan hasil identifikasi terhadap checklist jadwal pemeliharaan yang disajikan pada **LAMPIRAN A**, kendaraan operasional ringan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori sesuai dengan kondisi dan karakteristik operasionalnya.

Tabel II. 3 Klasifikasi Kendaraan Operasional Ringan Bandara

No	Jenis Kendaraan	Contoh Unit pada Checklist	Fungsi Operasional	Kategori
1	Pick Up Double Cabin	Toyota Hilux, Nissan Navara, Mitsubishi Strada	Patroli, operasional teknisi, FOD finder, follow me car	Kendaraan Operasional
2	Pick Up Single Cabin	Toyota Hilux Single Cabin, Kijang Pick Up	Angkut barang ringan, maintenance	Kendaraan Utility
3	Minibus / Station Wagon	Toyota Avanza	Transportasi personel	Kendaraan Penumpang
4	Ambulance	Toyota Hiace, Isuzu Elf Ambulance	Evakuasi medis darurat	Kendaraan Khusus
5	Equipment Car	Kia Pregio	Transportasi peralatan teknis	Kendaraan Pendukung
6	Command Car	Daihatsu Feroza, Hilux Komando	Kendaraan komando lapangan	Kendaraan Operasional

7	Follow Me Car	Hilux, Navara	Panduan pesawat di airside	Kendaraan Operasi Airside
8	Patroli Security	Strada, Hilux Patrol	Keamanan bandara	Kendaraan Keamanan
9	Kendaraan Operasional Umum	Panther Pick Up, Kijang Box	Dukungan operasional umum	Kendaraan Utility
10	Backup Vehicle	Isuzu Panther	Kendaraan cadangan operasional	Kendaraan Pendukung

Tabel II. 4 Jumlah dari Kendaraan Operasional Ringan Bandara Juanda

No	Kategori	Jumlah
1	Pick Up (Hilux, Strada, Navara, Kijang, Panther)	24 unit
2	Kendaraan Patroli & Command Car	6 unit
3	Follow Me Car	3 unit
4	Ambulance	3 unit
5	Minibus (Avanza)	2 unit
6	Equipment Car (Pregio, dll)	1 unit
TOTAL		39 unit

b. Karakteristik Kendaraan Operasional Ringan

Kendaraan operasional ringan memiliki beberapa karakteristik utama sebagai berikut:

1) Mobilitas tinggi

Kendaraan mampu menjangkau area operasional yang sempit dan kompleks, baik pada sisi *airside* maupun *landside*, sehingga mendukung kelancaran aktivitas operasional bandara.

2) Fleksibilitas fungsi

Kendaraan dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan operasional, seperti patroli, inspeksi fasilitas, serta transportasi personel dan peralatan.

3) Beban kerja variatif

Kendaraan beroperasi dengan beban yang bervariasi, mulai dari ringan hingga semi-berat, tergantung pada jenis tugas dan kondisi operasional di lapangan.

4) Rentan terhadap getaran mesin

Tingginya intensitas penggunaan menyebabkan komponen mesin mengalami beban dinamis secara berulang, sehingga meningkatkan paparan getaran selama operasional.

Kondisi tersebut berdampak pada komponen kendaraan, khususnya *engine mounting*, yang berfungsi sebagai peredam getaran antara mesin dan rangka. Paparan getaran yang terus-menerus dapat menyebabkan penurunan kinerja *engine mounting*.

Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kondisi *engine mounting* berbasis parameter getaran, seperti nilai RMS dan *transmissibility*, untuk menilai kemampuan sistem dalam mereduksi getaran serta mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan yang lebih akurat.

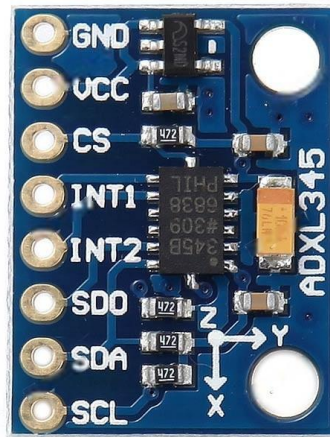
8. Preventive Maintenance pada Kendaraan Operasional Ringan

Dalam konteks pemeliharaan, pendekatan *preventive maintenance* merupakan strategi yang dilakukan secara terjadwal untuk menjaga keandalan dan kinerja peralatan agar tetap optimal. Kegiatan ini meliputi inspeksi kondisi, pemantauan performa, serta perencanaan perawatan secara sistematis.

Pada lingkungan bandara, penerapan *preventive maintenance* sangat penting dalam menjaga keandalan kendaraan operasional ringan yang memiliki intensitas penggunaan tinggi. Namun, efektivitas pemeliharaan preventif sangat bergantung pada ketersediaan data kondisi aktual peralatan yang bersifat objektif dan terukur.

Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengukuran yang mampu menyediakan informasi kondisi *engine mounting* secara kuantitatif sebagai dasar dalam mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan, khususnya dalam penerapan *preventive maintenance* yang lebih tepat dan efektif.

9. Sensor *Accelerometer* ADXL-345



Gambar II. 2 ADXL345

Sensor *accelerometer* merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur percepatan akibat perubahan gerak atau getaran pada suatu sistem mekanis. Salah satu sensor yang banyak digunakan dalam sistem pengukuran getaran adalah ADXL-345, yang merupakan sensor berbasis *Micro Electro Mechanical System* (MEMS). Teknologi MEMS memungkinkan integrasi elemen mekanik mikro dengan rangkaian elektronik dalam satu chip sehingga sensor memiliki ukuran kecil, konsumsi daya rendah, serta sensitivitas yang cukup tinggi terhadap perubahan percepatan.

Sensor ADXL345 merupakan accelerometer digital tiga sumbu berbasis MEMS yang mampu mengukur percepatan pada sumbu X, Y, dan Z. Sensor ini menghasilkan data percepatan dalam bentuk sinyal digital yang dapat diakses melalui komunikasi *Inter-Integrated Circuit* (I2C), sehingga memudahkan proses integrasi dengan mikrokontroler pada sistem monitoring getaran.

Accelerometer pada ADXL345 memiliki beberapa rentang pengukuran percepatan yang dapat dipilih, yaitu ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g, dan ± 16 g, sehingga sensor dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengukuran pada berbagai tingkat intensitas getaran. Selain itu, sensor ini memiliki resolusi digital tinggi yang memungkinkan deteksi perubahan percepatan dengan tingkat sensitivitas yang baik untuk analisis getaran mekanis.

Dalam aplikasi pengukuran getaran, Akselerometer pada ADXL345 digunakan untuk membaca perubahan percepatan yang terjadi pada struktur mesin. Sensor akan mendeteksi percepatan pada sumbu X, Y, dan Z, kemudian mengubahnya menjadi data digital yang dikirimkan ke mikrokontroler melalui komunikasi I2C. Data percepatan tersebut selanjutnya dapat diolah untuk memperoleh parameter getaran seperti magnitudo percepatan, amplitudo, maupun nilai RMS getaran, yang digunakan sebagai indikator kondisi mekanis suatu sistem.

Penelitian yang dilakukan oleh Rodrigues et al., (2021), menunjukkan bahwa sensor ADXL345 memiliki respons yang stabil dan konsisten ketika digunakan untuk mengukur sinyal getaran mekanis dengan intensitas rendah hingga sedang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data percepatan yang dihasilkan sensor mampu merepresentasikan karakteristik getaran secara cukup akurat, sehingga sensor ini dinilai layak digunakan sebagai perangkat pengukuran getaran dalam sistem monitoring kondisi mesin.

Dengan karakteristik tersebut, sensor ADXL-345 banyak digunakan dalam sistem *vibration monitoring* berbasis mikrokontroler karena memiliki ukuran yang kompak, biaya relatif rendah, serta kemampuan pengukuran percepatan tiga dimensi yang memadai untuk analisis kondisi mekanis.

10. Mikrokontroler Arduino Mega 2560

a. Konsep Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sistem komputasi terintegrasi yang digunakan untuk mengendalikan perangkat elektronik secara otomatis melalui pemrograman tertentu. Dalam sistem instrumentasi modern, mikrokontroler berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima data dari sensor, melakukan pemrosesan sinyal, serta menghasilkan keluaran berupa informasi pengukuran maupun sinyal kendali ke perangkat lain.

Pada berbagai sistem monitoring berbasis sensor, mikrokontroler sering digunakan sebagai unit akuisisi data yang menghubungkan sensor dengan sistem pemrosesan dan penyimpanan data. Implementasi tersebut memungkinkan proses pengukuran suatu parameter fisik dilakukan

secara kontinu serta hasil pengukuran dapat direkam dan dipantau secara real-time dalam sistem monitoring berbasis perangkat elektronik.

b. Arduino Mega 2560



Gambar II. 3 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler yang menggunakan ATmega2560 sebagai unit pemroses utama. Papan ini dirancang untuk aplikasi sistem tertanam yang membutuhkan jumlah pin input dan output yang relatif banyak serta kemampuan integrasi dengan berbagai sensor dan modul elektronik. Arduino Mega 2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 14 pin diantaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM, serta 16 pin input analog yang dapat digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor. Selain itu, papan ini juga dilengkapi dengan empat port komunikasi serial (UART) yang memungkinkan komunikasi data dengan berbagai perangkat eksternal dalam satu sistem kontrol (Rahmawati et al., 2022).

Arduino Mega 2560 juga dilengkapi dengan osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, power jack, ICSP header, serta tombol reset yang mendukung proses pemrograman dan pengoperasian mikrokontroler melalui komputer maupun sumber daya eksternal. Dengan konfigurasi tersebut, Arduino Mega 2560 dapat langsung dihubungkan ke komputer menggunakan kabel USB atau diberi suplai tegangan melalui adaptor maupun baterai untuk memulai pengoperasian sistem (Rahmawati et al., 2022).

Dalam pengembangan sistem instrumentasi berbasis sensor, Arduino Mega 2560 sering digunakan sebagai pusat pengendali yang mengintegrasikan beberapa sensor dalam satu sistem monitoring. Pada penelitian mengenai sistem data logger temperatur berbasis *Internet of Things*, mikrokontroler Arduino Mega digunakan sebagai pengendali utama yang menghubungkan sensor *thermocouple*, modul komunikasi jaringan, serta sistem penyimpanan data sehingga hasil pengukuran temperatur dapat direkam dan dipantau secara jarak jauh melalui jaringan internet (Wibowo & Prasetya, 2021).

c. Peran Arduino Mega 2560 dalam Sistem *Engine Vibration Analyzer*

Pada penelitian ini, Arduino Mega 2560 digunakan sebagai unit pengendali utama dalam sistem EVA. Mikrokontroler ini berfungsi untuk membaca data percepatan yang diperoleh dari sensor *accelerometer*, melakukan pemrosesan data pengukuran, serta mengirimkan hasil pengolahan data ke perangkat tampilan atau sistem monitoring.

Pemilihan Arduino Mega 2560 dalam penelitian ini didasarkan pada kemampuannya dalam menangani berbagai perangkat input-output secara simultan serta kemudahan integrasi dengan berbagai modul sensor dan komunikasi yang umum digunakan pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler.

B. Hasil Penelitian Yang Relevan

Penelitian ini diawali dengan kajian literatur terkait analisis getaran mesin dan sistem *engine mounting* untuk mengidentifikasi metode pengukuran, teknik analisis, serta teknologi sensor yang digunakan pada penelitian terdahulu. Kajian tersebut juga digunakan untuk menemukan *research gap* dan menjadi dasar dalam menentukan metode penelitian serta menegaskan kontribusi ilmiah penelitian ini dalam evaluasi kondisi engine mounting berbasis parameter getaran.

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini disajikan pada Tabel II.5 berikut.

Tabel II. 5 Kajian Penelitian Yang Relevan

No	Penulis, Judul dan Tahun Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1	(Maulana Rizaldi et al., 2022), <i>IoT-Based Car Monitoring Engine Mounting Design: PERANCANGAN Monitoring Engine mounting (Bantalan Mesin) Mobil Berbasis IoT</i>	Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan yaitu sama-sama membahas analisis kondisi <i>engine mounting</i> kendaraan menggunakan sensor getaran <i>accelerometer</i> untuk mengetahui tingkat getaran yang terjadi pada mesin kendaraan.	Penelitian terdahulu mengembangkan sistem monitoring engine mounting berbasis IoT dengan memanfaatkan sensor ADXL345, MLX90614, dan KY-037 serta algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) untuk klasifikasi kondisi. Sementara itu, penelitian ini berfokus pada perancangan engine vibration analyzer berbasis sensor ADXL-345 dan Arduino Mega 2560 untuk mengevaluasi keandalan engine mounting melalui analisis getaran.
2	(Triswandi et al., 2023), Analisa Getaran Menggunakan Bantalan Mesin (<i>Engine mounting</i>) Berbahan Dasar Kombinasi Dua Per Spiral Dan Karet Alami Pada Toyota Avanza	Penelitian ini memiliki kesamaan yaitu sama-sama melakukan analisis getaran pada sistem <i>Engine mounting</i> kendaraan untuk mengetahui pengaruh getaran mesin terhadap struktur kendaraan.	Penelitian tersebut berfokus pada analisis desain dan material <i>Engine mounting</i> menggunakan kombinasi pegas spiral dan karet alami. Sedangkan penelitian ini berfokus pada perancangan alat pengukur getaran (<i>Engine vibration analyzer</i>) berbasis sensor MEMS untuk mengevaluasi kondisi <i>Engine mounting</i> kendaraan operasional.

No	Penulis, Judul dan Tahun Penelitian	Persamaan	Perbedaan
3	(Ilhamullah et al., 2023) Analisis Getaran Displacement Drum Roller Menggunakan FFT dan STFT	Penelitian ini memiliki persamaan yaitu sama-sama menggunakan analisis getaran sebagai metode untuk mengevaluasi kondisi sistem mekanik pada mesin.	Penelitian tersebut menganalisis getaran pada drum roller menggunakan metode FFT dan STFT, sedangkan penelitian ini mengembangkan prototype <i>Engine vibration analyzer</i> berbasis sensor ADXL-345 dan Arduino Mega 2560 untuk mengevaluasi kondisi <i>Engine mounting</i> kendaraan operasional.
4	(Harindah, 2024), Implementasi Pemeliharaan Prediktif Berbasis Analisis Getaran Menggunakan Standar Iso 10816 Pada Mesin Diesel di PLTD Tobelo	Penelitian ini memiliki persamaan yaitu sama-sama menggunakan analisis getaran untuk mengevaluasi kondisi mesin dan mendeteksi potensi kerusakan pada sistem mekanis.	Penelitian tersebut menggunakan standar ISO 10816 untuk evaluasi getaran mesin diesel pada pembangkit listrik, sedangkan penelitian ini berfokus pada pengembangan prototype <i>Engine vibration analyzer</i> berbasis sensor MEMS untuk menganalisis getaran mesin kendaraan dan mengevaluasi kondisi <i>Engine mounting</i> .
5	(Ahmed et al., 2023), <i>Application of MEMS Accelerometers in Dynamic Vibration Monitoring of a Vehicle</i>	Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan yaitu sama-sama menggunakan sensor MEMS <i>accelerometer</i> untuk mengukur karakteristik getaran kendaraan dan menganalisis dinamika getaran pada beberapa bagian kendaraan.	Penelitian tersebut mengevaluasi performa beberapa sensor MEMS <i>accelerometer</i> pada berbagai titik kendaraan, sedangkan penelitian ini berfokus pada perancangan prototype <i>Engine vibration analyzer</i> untuk mengevaluasi keandalan <i>Engine mounting</i> kendaraan operasional.

No	Penulis, Judul dan Tahun Penelitian	Persamaan	Perbedaan
6	(BÖĞREK & SÜMBÜL, 2022), <i>A Novel Engine Vibration Measurement System based on the MEMS Sensor</i>	Penelitian ini memiliki kesamaan yaitu sama-sama menggunakan sensor <i>accelerometer</i> berbasis MEMS untuk mengukur getaran pada mesin dan melakukan analisis sinyal getaran menggunakan metode pengolahan sinyal.	Penelitian tersebut mengembangkan sistem pengukuran getaran mesin diesel menggunakan sensor ADXL345 dengan analisis FFT, sedangkan penelitian ini merancang <i>Engine vibration analyzer</i> berbasis sensor ADXL-345 dan metode RMS untuk evaluasi kondisi <i>Engine mounting</i> kendaraan operasional.