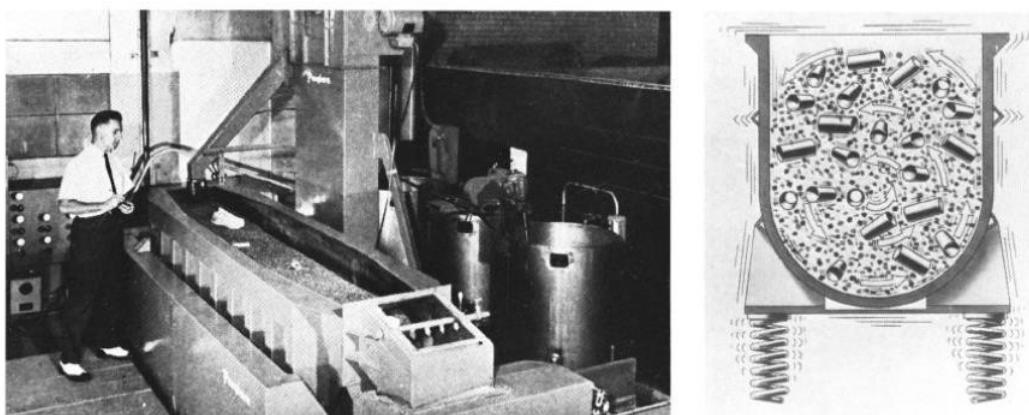


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Prinsip Kerja Mesin Vibrator

Mesin vibrator adalah perangkat yang menghasilkan getaran mekanis untuk berbagai aplikasi, mulai dari pengemasan dan pengolahan material hingga konstruksi dan industri manufaktur. Prinsip kerja mesin vibrator didasarkan pada konversi energi listrik atau mekanis menjadi getaran yang dapat dikontrol (Rao, 2010). Berikut ini salah satu gambar dari mesin vibrator.



Gambar 4. Contoh Mesin Vibrator

Prinsip kerja umum dari mesin vibrator yaitu :

a) Motor Listrik

Kebanyakan mesin vibrator menggunakan motor listrik sebagai sumber tenaga. Motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanis rotasi.

b) Mekanisme Getaran

Motor listrik terhubung ke mekanisme getaran yang dirancang untuk menghasilkan gerakan osilasi atau getaran. Mekanisme ini dapat berupa :

- Eksentris

Sebuah eksentris berputar menghasilkan gaya sentrifugal yang menciptakan getaran.

- Rotor Tidak Seimbang

Rotor yang tidak seimbang berputar menghasilkan gaya sentrifugal yang tidak seimbang, menyebabkan getaran.

- Elektromagnet

Elektromagnet yang berdenyut menghasilkan gaya magnetik yang menarik dan melepaskan benda yang terpasang, menghasilkan getaran.

c) Trasnsmisi Getaran

Getaran dari mekanisme getaran ditransmisikan ke objek atau material yang akan digetarkan melalui berbagai metode, seperti:

- Pelat Getaran

Pelat logam yang terhubung ke mekanisme getaran mentransmisikan getaran ke material yang diletakkan di atasnya.

- Motor Getaran

Motor getaran terpasang langsung ke objek yang akan digetarkan, seperti wadah atau conveyor.

d) Pengaturan getaran

Frekuensi, amplitudo, dan arah getaran dapat diatur untuk mengoptimalkan kinerja mesin vibrator untuk aplikasi tertentu.

2.2. Getaran Pada Mesin Industri

Getaran pada mesin industri adalah fenomena yang umum terjadi dalam berbagai jenis mesin yang digunakan dalam proses produksi. Getaran ini dapat dihasilkan oleh berbagai faktor, seperti ketidakseimbangan massa, gesekan, keausan komponen, atau masalah dalam sistem mekanis mesin itu sendiri. Dalam konteks industri, getaran mesin dapat menjadi indikator penting dari kondisi operasi mesin dan dapat digunakan untuk mendeteksi dini adanya kerusakan atau masalah dalam mesin.

Getaran merujuk pada gerakan berulang, acak, atau konstan yang terjadi pada suatu objek akibat adanya gangguan alami dari struktur serta kerusakan mekanis. Beberapa faktor penyebab getaran pada mesin antara lain adalah ketidakseimbangan elemen yang berputar, ketidak lurusan pada kopling dan bantalan, eksentrisitas, kerusakan pada bantalan antifriction, kerusakan pada bantalan sleeve, kelonggaran mekanis, kerusakan pada roda gigi, gaya aerodinamika dan hidrolik, serta gesekan (Entek, 1996).

Ketidakseimbangan, atau yang sering disebut sebagai unbalance, muncul ketika poros putar mengalami ketidakseimbangan akibat gaya sentrifugal, yang menghasilkan gaya getaran. Gerakan poros serta gaya getaran tersebut akan diteruskan ke bantalan. Besarnya ketidakseimbangan dipengaruhi oleh kecepatan putar poros . Penyebab ketidakseimbangan pada poros meliputi faktor seperti heterogenitas material poros (adanya lubang atau void saat proses pembuatan poros), eksentrisitas poros, adanya alur dan pasak, serta distorsi yang bisa berupa retakan, bekas pengelasan, atau deformasi pada poros. Ketidakseimbangan ini menciptakan distribusi massa yang tidak merata di sepanjang poros, sering disebut sebagai massa ketidakseimbangan (Jabir, 2003).

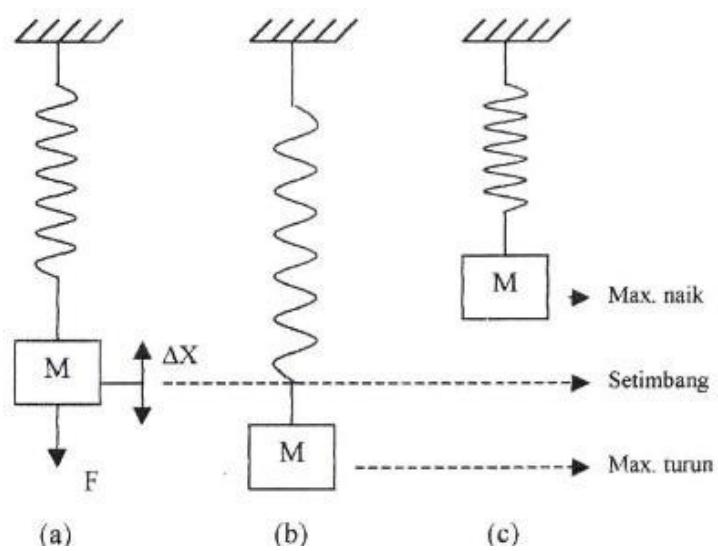
Balancing, atau penyeimbangan, adalah salah satu prosedur perawatan yang bertujuan untuk mengurangi ketidakseimbangan pada mesin, dengan cara mengukur getaran dan menambah atau mengurangi beban guna mengatur distribusi massa. Tujuan dari balancing adalah mencapai keseimbangan mesin putar dan menurunkan getaran yang dihasilkan (Mekanis, 2002). Shi (2005) mengembangkan metode balancing untuk poros berkecepatan tinggi, namun dilakukan pada putaran yang lebih rendah. Saat balancing, putaran poros berada di bawah putaran kritis pertama dari poros yang fleksibel. Metode *Low-Speed Hollow Balancing* yang digunakan dalam penelitian ini berhasil mengurangi getaran pada bantalan lebih dari 50% dibandingkan dengan kondisi awal, menunjukkan efektivitas proses balancing tersebut (Shi, 2005).

Menyeimbangkan poros menjadi lebih kompleks ketika poros tersebut beroperasi mendekati atau melebihi daerah putaran kritis. Ini terjadi karena deformasi elastis poros yang mengakibatkan perubahan distribusi massa terhadap sumbu rotasi. Perubahan distribusi massa tersebut dapat menyebabkan pergeseran pusat massa atau perubahan orientasi sumbu utama inersia terhadap sumbu rotasi (Abidin, 1996).

Nicholas (2000) melakukan penelitian mengenai operasi *turbomachinery* pada atau di dekat putaran kritis kedua, di mana beberapa mesin tidak mengalami masalah signifikan sedangkan yang lain mengalami kerusakan. Analisis terhadap tiga variasi turbin dilakukan, yaitu dengan menggunakan bantalan dan pedestals kaku, bantalan fleksibel dan pedestals kaku, serta bantalan dan pedestals yang

fleksibel. Tujuan dari analisis tersebut adalah untuk mempelajari fenomena ini. Hasil analisis digambarkan dalam bentuk grafik untuk memprediksi letak putaran kritis kedua. Dalam analisis ini, variasi dengan bantalan dan pedestals fleksibel menunjukkan prediksi letak putaran kritis kedua yang lebih akurat dibandingkan dengan pencatatan respon getaran aktual pada bantalan saat perubahan putaran. Hasil ini menunjukkan bahwa mesin-mesin sebelumnya didesain untuk beroperasi di bawah putaran kritis kedua, namun kenyataannya beberapa mesin beroperasi pada atau di dekat putaran kritis kedua karena prediksi yang kurang akurat (Nicholas, 2000).

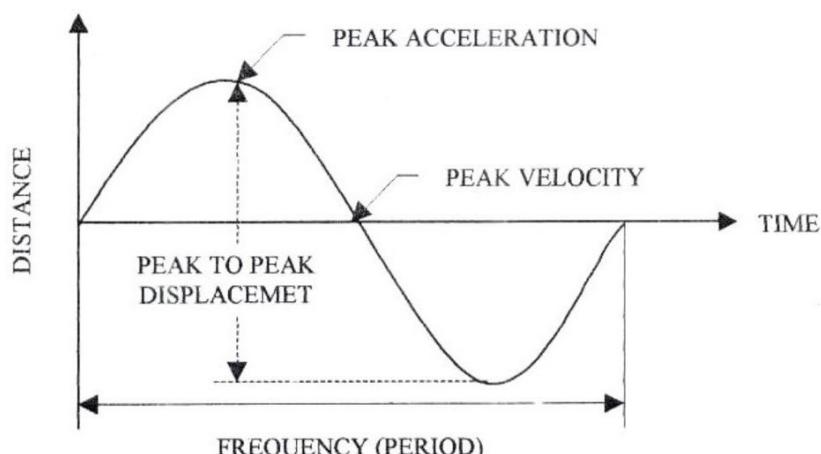
Sebuah contoh sederhana fenomena getaran dapat dilihat pada sebuah pegas dengan salah satu ujungnya dijepit dan ujung lainnya diberi massa M , seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5. Awalnya, sistem berada dalam keadaan setimbang (Gambar 5.a). Ketika gaya F diberikan pada massa, massa akan turun hingga mencapai batas tertentu (Gambar 5.b). Perpindahan maksimum posisi massa tergantung pada besarnya gaya F , massa, dan kekuatan tarik pegas yang melawan gaya F tersebut. Jika gaya F dihilangkan, massa akan ditarik kembali ke atas oleh pegas karena energi potensial yang tersimpan dalam pegas (Gambar 5.c). Massa akan kembali ke posisi kesetimbangan, kemudian bergerak ke atas hingga mencapai batas tertentu. Perpindahan maksimum ke atas dipengaruhi oleh kekuatan tarik pegas dan massa benda. Proses ini akan berulang hingga tidak ada gaya eksternal yang mempengaruhi sistem. Gerakan bolak-balik massa ini dikenal sebagai osilasi mekanis. Dalam konteks mesin, getaran (*machinery vibration*) merujuk pada gerakan bolak-balik mesin atau elemen mesin dari posisi setimbang (istirahat).



Gambar 5. Getaran Pegas Sederhana

Kondisi mesin dan kerusakan mekanis dapat diidentifikasi dengan menganalisis karakteristik getarannya. Pada sistem pegas-massa, karakteristik getaran dapat dipelajari dengan membuat grafik yang menggambarkan pergerakan beban terhadap waktu. Grafik ini akan menunjukkan pergerakan beban dari posisi netral ke batas atas, lalu kembali ke posisi netral (kesetimbangan), bergerak ke batas bawah, dan kembali lagi ke posisi kesetimbangan. Satu siklus gerakan ini diukur dalam satuan waktu yang disebut periode, sedangkan jumlah siklus yang terjadi dalam waktu tertentu dikenal sebagai frekuensi (Arif, 2022).

Dalam konteks analisis getaran mesin, frekuensi sangat penting karena berhubungan dengan putaran mesin per menit (rpm). Ilustrasi pada Gambar 6 menggambarkan karakteristik getaran dari suatu sistem yang dapat diamati.



Gambar 6. Karakteristik Getaran

Karakteristik Getaran diamati dari beberapa aspek meliputi frekuensi getaran, perpindahan, kecepatan dan percepatan, dan fasa. Berikut ini penjelasan masing – masing :

1. Frekuensi Getaran (*Vibration Frequency*)

Frekuensi merupakan jumlah siklus per unit waktu, dinyatakan dalam siklus per detik (*cycles per second/cps*) atau siklus per menit (*cycles per minute/cpm*). Pemahaman tentang frekuensi getaran sangat penting dalam analisis getaran mesin karena dapat mengindikasikan potensi masalah pada mesin, dengan mengetahui

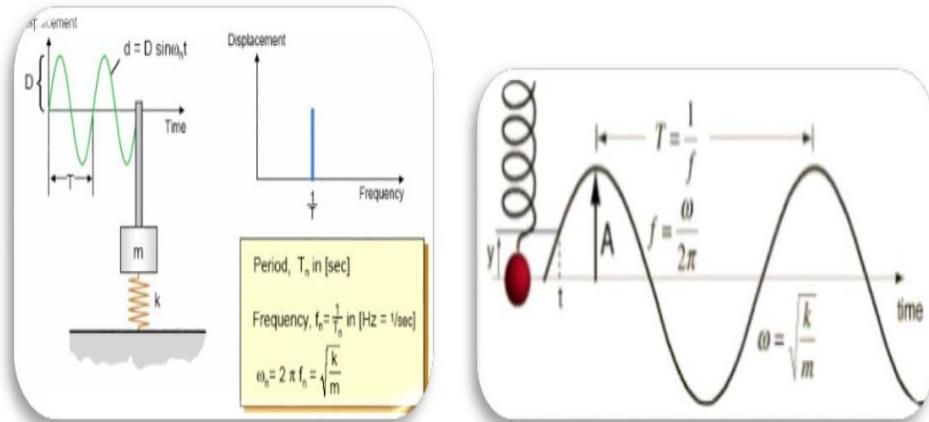
frekuensi getaran, kita dapat mengidentifikasi komponen mesin yang mengalami kerusakan atau gangguan.

Getaran dihasilkan oleh gerakan rotasi elemen mesin yang menyebabkan perubahan dalam besaran dan arah gaya saat elemen tersebut bergerak dari posisi netralnya. Oleh karena itu, frekuensi getaran yang dihasilkan akan bergantung pada kecepatan putaran elemen yang bermasalah. Informasi tentang frekuensi ini memungkinkan kita untuk mendeteksi bagian mesin yang mungkin mengalami kerusakan. Frekuensi biasanya diukur dalam cps atau cpm, dan juga dapat dinyatakan dalam *Hertz*, di mana 1 cps setara dengan 1 Hz (CPS = Hz). Frekuensi merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kondisi mesin, seperti halnya detak jantung yang dapat menunjukkan kondisi kesehatan seseorang.

2. Perpindahan, Kecepatan, dan Percepatan

Pengukuran perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*) digunakan untuk menilai besaran dan intensitas getaran. Amplitudo getaran biasanya dijadikan indikator dari pengukuran tersebut. Perpindahan merujuk pada pergerakan suatu titik dari satu posisi ke posisi lain dengan mengacu pada titik acuan yang tetap. Dalam pengukuran getaran mesin, jarak perpindahan dari puncak positif ke puncak negatif (peak to peak displacement) adalah standar yang digunakan, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3. Misalnya, perpindahan poros akibat gerakan rotasi. Jika perpindahan ini melampaui batas kelonggaran bantalan, hal itu dapat menyebabkan kerusakan pada bantalan.

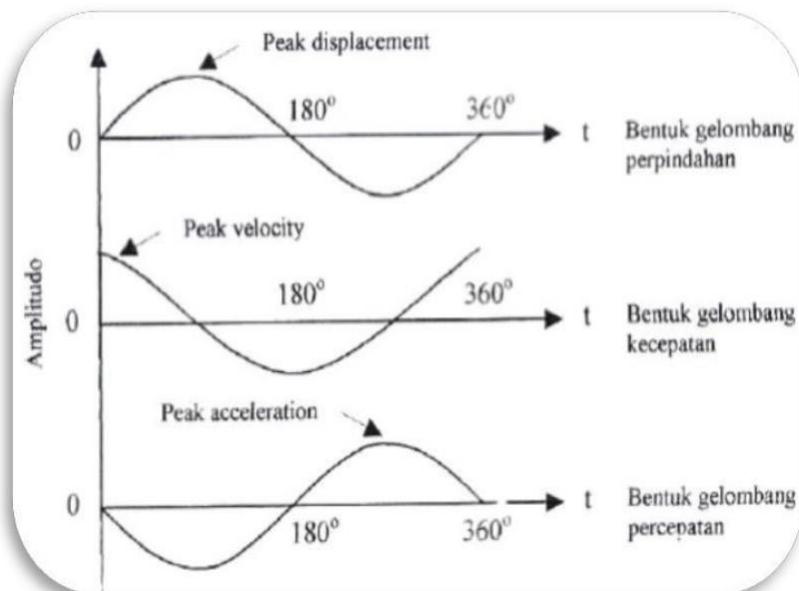
Kecepatan menggambarkan perubahan jarak per satuan waktu, dengan kecepatan puncak terjadi pada simpul gelombang. Dalam analisis getaran, kecepatan adalah parameter penting dan efektif, karena memberikan informasi tentang intensitas getaran yang terjadi. Sementara itu, percepatan adalah perubahan kecepatan per satuan waktu dan berkaitan erat dengan gaya. Mengetahui amplitudo getaran dapat membantu menentukan gaya yang bekerja pada bantalan mesin atau bagian lain. Amplitudo juga dapat menjadi indikasi tingkat kerusakan mesin dan digunakan untuk mengukur masalah getaran tertentu. Namun, respons frekuensi getaran merupakan unit pengukuran yang lebih tepat. Gambar 7 menggambarkan hubungan antara Perpindahan dan Frekuensi.



Gambar 7. Displacement dan Frequency

3. Fasa

Fasa menggambarkan posisi relatif suatu elemen getaran terhadap titik atau elemen getaran lainnya, menunjukkan perbedaan awal dari siklus yang terjadi. Hubungan fasa antara perpindahan, kecepatan, dan percepatan dijelaskan dalam Gambar 8, di mana kecepatan puncak terjadi 90 derajat sebelum puncak perpindahan positif. Artinya, kecepatan mengalami pergeseran sebesar 90 derajat terhadap perpindahan, sementara percepatan mengalami pergeseran sebesar 180 derajat terhadap perpindahan.



Gambar 8. Beda Fasa Antar Perpindahan, Kecepatan dan Percepatan

Pengukuran fasa digunakan untuk menentukan hubungan relatif antara gerakan elemen-elemen dalam sebuah sistem getaran. Membandingkan gerakan relatif antara dua atau lebih elemen mesin sering diperlukan dalam diagnosis kerusakan spesifik suatu mesin. Misalnya, jika analisis menunjukkan bahwa getaran mesin tidak sefase dengan getaran dasar, hal tersebut dapat mengindikasikan adanya kekendoran pada baut atau pemisahan mesin dari dasarnya. Penyebab utama getaran adalah gaya yang mengalami perubahan dalam arah dan besaran. Karakteristik getaran yang muncul bergantung pada cara gaya tersebut dihasilkan, itulah mengapa setiap penyebab getaran memiliki karakteristik yang spesifik.

Teknik keseimbangan dinamik digunakan untuk mengidentifikasi, mengkompensasi, dan mendistribusikan massa yang menyebabkan ketidakseimbangan. Untuk memahami cara memperbaiki ketidakseimbangan dengan benar, penting untuk memahami beberapa istilah terkait keseimbangan. Terdapat beberapa jenis ketidakseimbangan, yaitu:

- (1) Kesetimbangan statis
- (2) Kesetimbangan kopel
- (3) Kesetimbangan kuasi – statis
- (4) Ketidakseimbangan dinamis

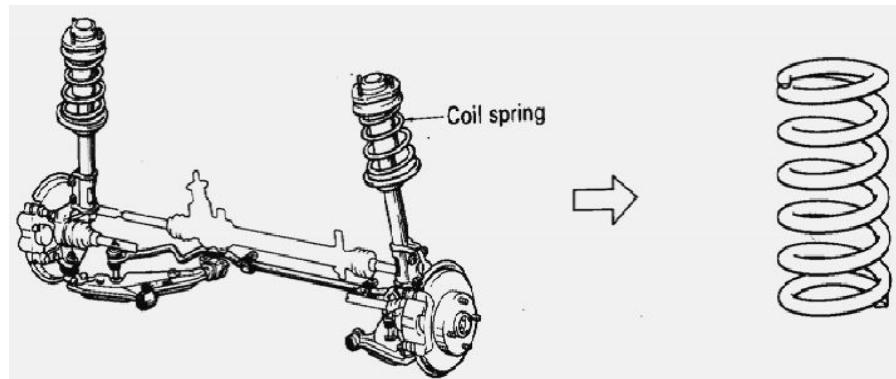
2.3. Sistem Suspensi Pada Mesin

Sistem suspensi merupakan komponen penting dalam berbagai jenis mesin dan alat berat, termasuk kendaraan, peralatan industri, dan mesin yang digunakan dalam proses manufaktur. Sistem ini berperan dalam mengurangi dampak getaran, goncangan, dan gerakan mekanis lainnya yang dapat mempengaruhi kinerja dan umur operasional mesin (Gunawan, 2011).

Astra Motor mengkategorikan sistem suspensi menjadi beberapa komponen utama, termasuk pegas yang digunakan pada kendaraan. Pegas ini dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan bahan pembuatannya, yaitu pegas logam dan non- logam. Pegas yang terbuat dari logam meliputi pegas daun (*leaf spring*), pegas koil (*coil spring*), dan pegas batang torsi (*torsion bar*). Sementara itu, pegas non-logam mencakup pegas karet dan pegas udara. Berikut penjelasan lebih lanjut mengenai jenis-jenis pegas tersebut:

1. Pegas Koil

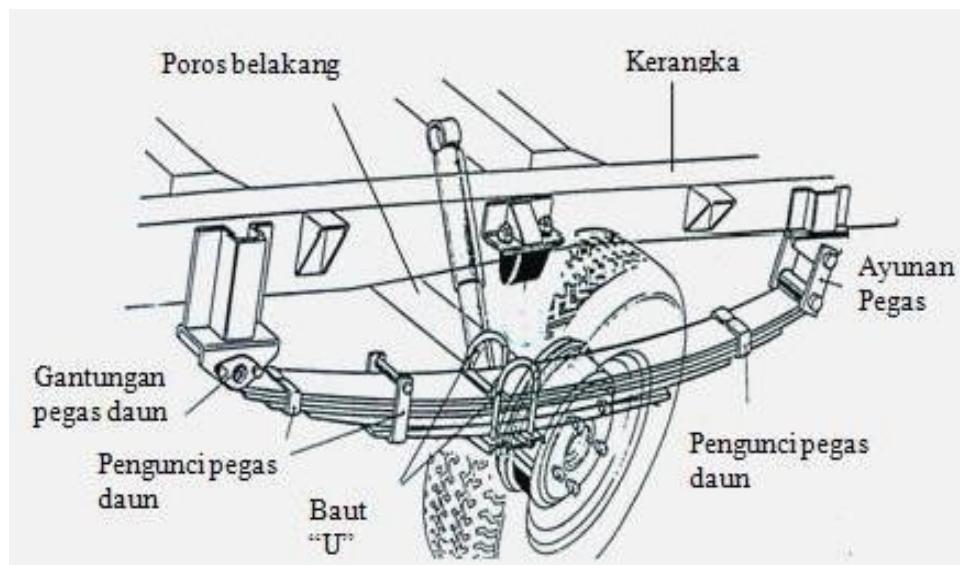
Pegas koil dibuat dari batang baja khusus yang dibentuk menjadi koil. Saat beban diterapkan pada pegas koil, batang baja akan terpuntir, sehingga energi dapat disimpan dan kejutan diredam. Contoh ilustrasi pegas koil ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pegas Koil

2. Pegas Daun

Pegas daun terdiri dari beberapa lembar baja pegas yang diikat bersama, dimulai dari lembar terpendek hingga yang terpanjang. Bagian tengahnya dihubungkan dengan baut atau paku keling, dan beberapa bagian diberi pengikat baja (*metal clips*). Gambar 10 menunjukkan pegas daun.



Gambar 10. Pegas Daun

3. Pegas Batang Torsi

Pegas batang torsi, sering disebut batang torsi, terbuat dari baja pegas yang memanfaatkan elastisitas puntir untuk menahan gaya puntiran. Satu ujung batang torsi dipasang pada bodi, sementara ujung lainnya dipasangkan pada komponen yang menerima beban puntir. Pegas ini mampu menyerap energi lebih besar dibandingkan jenis pegas lainnya, namun tidak memiliki kemampuan untuk meredam getaran secara mandiri. Gambar 11 menunjukkan pegas batang torsi.



Gambar 11. Pegas Batang Torsi

4. Pegas Karet

Pegas karet menyerap kejutan melalui gesekan dalam material karet. Kelebihan dari pegas karet termasuk fleksibilitas dalam bentuk, operasi yang tidak berisik, dan tidak memerlukan pelumasan.

5. Pegas Udara

Pegas udara memiliki karakteristik elastisitas yang serupa dengan pegas logam ketika udara di dalamnya dikompresikan. Untuk berfungsi optimal, pegas udara memerlukan kompresor dan perangkat pengontrol tekanan udara. *Shock absorber* (peredam kejut) berperan dalam meredam gerakan naik-turun pegas saat menerima guncangan dari jalan. Berdasarkan klasifikasinya, seperti yang disebutkan oleh Astra Motor, *shock absorber* dibagi menjadi tiga kategori: berdasarkan cara kerja, konstruksi, dan medium kerjanya.

a) Berdasarkan cara kerjanya, *shock absorber* terbagi menjadi dua tipe:

1) Tipe *Single-action*

Peredaman hanya terjadi saat shock absorber berekspansi, sedangkan saat kompresi tidak ada peredaman yang terjadi.

2) Tipe *Multiple-action*

Peredaman terjadi baik saat ekspansi maupun kompresi, sehingga shock absorber bekerja dalam kedua kondisi tersebut.

b) Berdasarkan konstruksinya, shock absorber juga dibagi menjadi dua tipe:

1) Tipe *Twin-tube*

Terdapat dua tabung di dalam shock absorber, yaitu *pressure tube* dan *outer tube*, yang memisahkan silinder dalam dan silinder luar.

2) b) Tipe *Mono-tube*

Shock absorber ini hanya memiliki satu silinder tanpa reservoir tambahan.

c) Berdasarkan medium kerjanya, *shock absorber* dibagi menjadi dua jenis:

1) Tipe Hidraulis

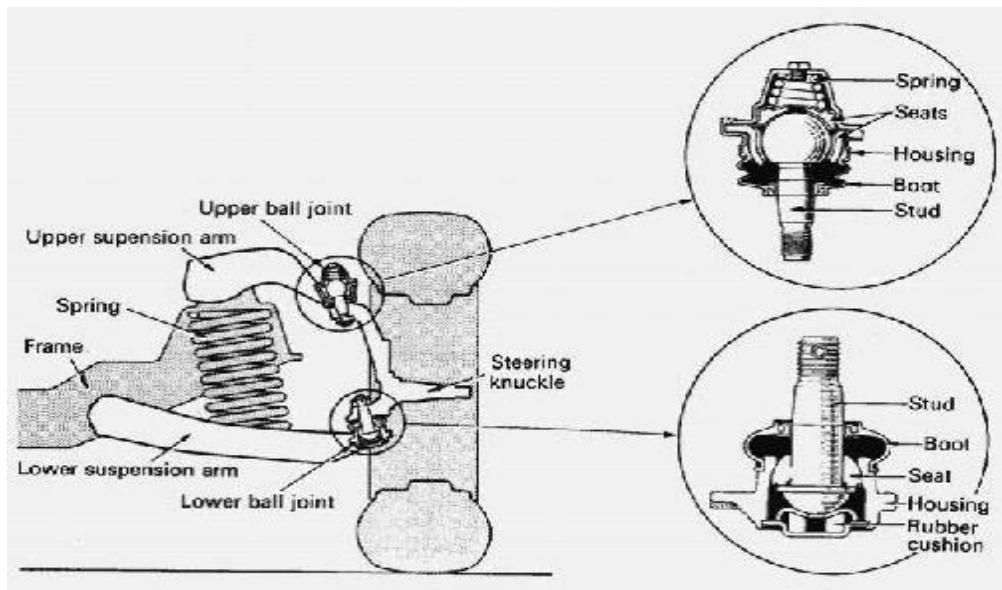
Menggunakan minyak sebagai medium kerja untuk meredam guncangan.

2) Tipe Berisi Gas

Shock absorber hidraulis yang diisi dengan gas, biasanya gas nitrogen. Gas ini disimpan pada tekanan rendah 10-15 kg/cm² atau tekanan tinggi 20-30 kg/cm².

3) *Ball Joint*

Ball joint berfungsi untuk menahan beban vertikal dan lateral, serta menjadi titik sumbu saat roda kendaraan berbelok. Contoh gambar ball joint dapat dilihat pada Gambar 12 di bawah ini (Gunawan, 2011).



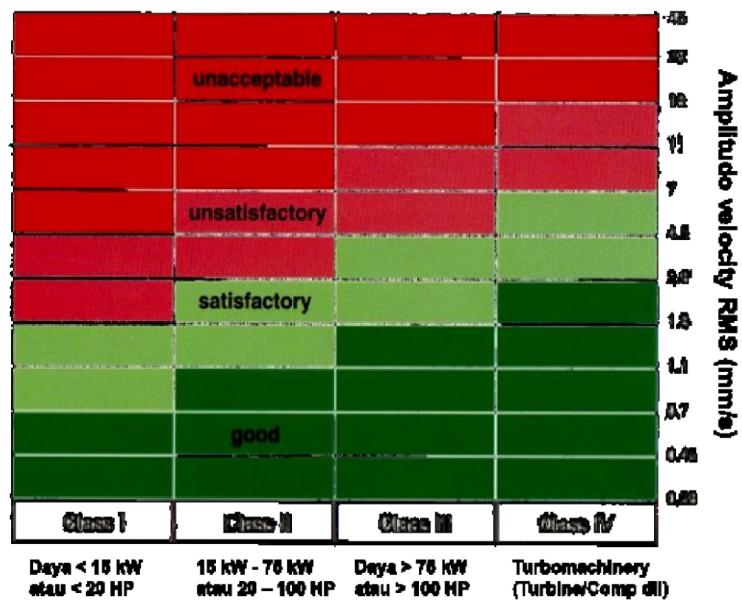
Gambar 12. *Ball Joint*

2.4. Standar Vibrasi

ISO 2372 adalah standar internasional yang menetapkan metode pengukuran untuk menilai keparahan getaran mekanis pada mesin-mesin industri. Standar ini digunakan untuk menentukan tingkat getaran yang dapat diterima pada berbagai jenis mesin dan peralatan, serta memberikan panduan untuk menginterpretasikan hasil pengukuran getaran (ISO 2372 : 2010, 2010).

Metode pengukuran yang diatur dalam ISO 2372 mencakup pemilihan titik pengukuran, arah pengukuran, dan penggunaan alat ukur getaran yang sesuai. Hasil pengukuran kemudian diklasifikasikan berdasarkan skala keparahan getaran yang terdiri dari empat zona: A, B, C, dan D. Zona A menunjukkan getaran yang dapat diterima, sedangkan zona D mengindikasikan tingkat getaran yang tidak dapat diterima dan memerlukan tindakan segera (Mehta & Reddy, 2019).

ISO 2372 menjelaskan bahwa salah satu parameter yang digunakan untuk menganalisis penyebab getaran pada mesin rotasi dengan poros horizontal adalah dengan melakukan pengukuran getaran (Alfarishy, 2022). Gambar 13 menunjukkan indikator getaran berdasarkan ISO 2372.



Gambar 13. Standar ISO 2372

Gambar 13 menunjukkan bahwa standar getaran ISO 2372 membaginya menjadi empat zona (Sanam, Muhdori, & Abdillah, 2023), yaitu sebagai berikut:

a. Keterangan kelas

- 1) Mesin Kecil (0-15 KW) adalah kategori Kelas I.
- 2) Mesin berukuran sedang, Kelas II (15-75KW).
- 3) Kelas III mesin berukuran besar (daya > 75 KW) diperuntukan untuk pada desain/struktur dan pondasi (bantalan kaku).
- 4) Mesin Kelas IV berukuran besar dengan daya lebih dari 75 KW dipasang pada struktur (dengan bantalan fleksibel).

b. Keterangan warna

- 1) Warna hijau tua artinya getaran mesin sangat baik dan lebih rendah dari batas.
- 2) Berwarna hijau muda, memiliki getaran yang baik, dan dapat digunakan tanpa batasan.
- 3) Warna merah muda, mesin masih dalam batas toleransi dan hanya beroperasi dalam waktu singkat.
- 4) Merah menunjukkan bahwa getaran mesin sangat besar dan kerusakan dapat terjadi kapan saja.