

Desain dan Analisis Karakteristik Pegas Koil Sistem Suspensi Belakang untuk Kendaraan Ringan Sepeda Motor Listrik

Nur Akhlis Sarihidaya Laksana^{1*}, Bayu Aji Girawan², Joko Setia Pribadi³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

^{1,2,3}Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail: akhlissl@pnc.ac.id¹, bayuajigirawan@pnc.ac.id², joko.setia.p@pnc.ac.id³

Info Naskah:

Naskah masuk: 7 Oktober 2021

Direvisi: 9 Januari 2022

Diterima: 18 Januari 2022

Abstrak

Sistem suspensi pada kendaraan berfungsi meredam getaran yang diakibatkan oleh benturan antara roda dengan jalan. Penelitian yang ada sebelumnya hanya membahas simulasi pembebanan pegas dengan variasi material. Pada penelitian ini berfokus pada desain dan analisis pegas yang akan digunakan pada Sepeda Motor Listrik (SEMOLI). Analisis pegas antara material *cast stainless steels* dan *carbon stainless steels* dengan menghitung *displacement transmissibility*. Metode analisis yang digunakan yaitu metode harmonik *Single Degree of Freedom* untuk mengetahui respon sistem. Hasil dari analisis dipertimbangkan untuk pemilihan pegas dengan mempertimbangkan *displacement transmissibility* dan respon dari sistem suspensi. Hasil analisis karakteristik material *cast stainless steels* dan *carbon stainless steels* untuk pegas aktif 6, 7, dan 8 pada kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, 40 km/jam, 80 km/jam menunjukkan ada penurunan *displacement transmissibility*. Karakteristik untuk material *stainless steels* pada kondisi *steady state* dengan pegas aktif 6 adalah 0,3 sekon, sedangkan 7 dan 8 adalah 0,25 sekon. Karakteristik dari *overshoot* untuk material *cast stainless steel* dengan pegas aktif 6 adalah 55,3 %, 7 adalah 52,7 % dan 8 adalah 50,3 %. Material *stainless steels* memiliki karakteristik *overshoot* pada pegas aktif 6 adalah 55,8 %, pada pegas aktif 7 adalah 53,3 %, dan pada pegas aktif 8 adalah 51 %. Dilihat dari semua karakteristik material yang terbaik *cast stainless steel* dengan nilai *displacement* lebih kecil dan respon yang baik

Keywords:

suspension system;

coil spring;

displacement transmissibility.

Abstract

The vehicle's suspension system have function to reduce vibrations from the shock between the wheels and the road. Previous research discussed the simulation of spring loading with material variations. This research focuses on the design and analysis of springs that will be used in Electric Motorbikes (SEMOLI). Spring analysis between cast stainless steels and carbon stainless steels is done by calculating displacement transmissibility. The analytical method used is the SDOF harmonic method to determine the system response. The results of the analysis are considered for the selection of springs by determining the displacement transmissibility and the response of the suspension system. The results of the analysis of the characteristics of cast stainless steels and carbon stainless steels for active springs 6, 7, and 8 at speeds of 10 km/hour, 20 km/hour, 40 km/hour, 80 km/hour showed a decrease in displacement transmissibility. Characteristics for stainless steel material at steady state condition with active spring 6 is 0.3 second, while 7 and 8 are 0.25 second. The characteristics of overshoot for cast stainless steel material with active spring 6 are 55.3%, 7 are 52.7% and 8 are 50.3%. Stainless steel material has the characteristics of overshoot on active spring 6 is 55.8%, active spring 7 is 53.3%, and active spring 8 is 51 From the characteristic analysis, the best material obtained is cast stainless steel with a smaller displacement value dan good respon.

*Penulis korespondensi:

Nur Akhlis Sarihidaya Laksana

E-mail: akhlissl@pnc.ac.id

1. Pendahuluan

Getaran umumnya terjadi karena campur tangan manusia atau efek dari kegiatan manusia, mesin yang sedang beroperasi, dan bisa terjadi karena alamiah seperti gempa. Getaran umumnya juga terjadi pada mesin ataupun kendaraan seperti mobil, motor, kereta dan bahkan setiap kendaraan mengalami getaran karena faktor tertentu. Getaran yang terlalu berlebihan akan mempengaruhi kenyamanan pada pengendara. Naiknya kecepatan kendaraan mengakibatkan getaran meningkat, terkhusus pada bodi kendaraan [1].

Kenyamanan dalam kendaraan salah satunya dipengaruhi oleh sistem peredam kejut atau sistem suspensi. Sistem Suspensi terdiri dari komponen utama pegas dan peredam kejut atau *absorbers*. Dalam peredam kejut terdapat komponen seperti piston penekan, poros, dan fluida. Secara umum fungsi dari suspensi adalah mengurangi efek getaran yang diakibatkan oleh benturan kendaraan dengan jalan. Efek dari benturan menimbulkan getaran yang disebarkan ke seluruh komponen – komponen kendaraan. Sistem suspensi memiliki peran yang sangat krusial pada kendaraan. Suspensi yang bagus harus memberikan kenyamanan dalam berkendara [2].

Pada kendaraan sepeda motor untuk mengurangi efek getaran akibat benturan antara kendaraan dengan jalan maka digunakan sistem suspensi yang menopang rangka yang dihubungkan pada *swing arm* roda belakang dengan rangka motor. Komponen sistem suspensi terdiri dari peredam kejut dan pegas pengembali. Pada kendaraan *offroad* pegas menggunakan tipe *torsonal bar* dimana untuk membuat kenyamanan dalam berkendara. Secara umum tipe pegas ini didesain untuk menerima beban dan menyerak getaran [3].

Pegas pengembali memiliki peran untuk mengembalikan posisi dari peredam kejut ke posisi awal dengan cepat. Peredam kejut (*absorber*) berfungsi untuk mengurangi getaran yang ditimbulkan oleh benturan kendaraan dengan jalan. Pegas pada sistem suspensi juga berfungsi untuk meredam kejutan karena perubahan atau komponen kendaraan bergetar (roda, rem, dan sistem suspensi). Analisis struktur untuk pegas banyak yang menggunakan metode elemen hingga atau FEM (*Fenite Elemen Metode*), karena merupakan paling cocok dan baik dalam analisis struktur pada pegas [4]. Analisis dan simulasi FEM (*Fenite Element Method*) untuk mengetahui karakteristik dari pegas koil [4][5]. Desain dan proses manufaktur merupakan elemen yang sangat penting dalam pembuatan pegas koil yang akan berpengaruh pada kekuatan dari material. Pada umumnya tipe pegas diantaranya adalah pegas helikal, pegas konikal, pegas berbentuk piringan dan pegas daun. Tipe pegas yang umum digunakan pada kendaraan umumnya adalah pegas daun dan pegas helikal.

Evaluasi terkait dengan pegas koil untuk sistem suspensi dengan menggunakan metode data akuisisi dan regresi. Evaluasi berupa memprediksi kelelahan pada pegas koil dengan basis gerakan vertikal pada kendaraan dan *natural frequencies* dari suspensi kendaraan. Data hasil akuisisi yang di validasi dengan standar getaran untuk kendaraan [6]. Kualitas dari kondisi jalan mempengaruhi

umur dari pegas koil pada sistem suspensi yang mempengaruhi kualitas dari pengendara [7].

Pengaplikasian pegas pengembali dengan bentuk helikal adalah yang sering digunakan pada kendaraan bermotor. Alasan pegas helikal digunakan karena dari segi kenyamanan saat terjadi getaran dibandingkan dengan pegas daun terutama untuk kendaraan kecil seperti sepeda motor. Jenis pegas ini yang akan digunakan pada sistem suspensi. Dalam hasil penelitian terkait dengan analisis kegagalan pada pegas sistem suspensi dipengaruhi oleh korosi. Penulis memberikan saran terkait pemilihan bahan atau material yang tahan terhadap korosi [8][9].

Sistem suspensi memiliki fungsi untuk mengurangi efek *bump* agar memberikan kenyamanan dan keselamatan untuk penumpang dan kendaraan. Pada papernya berfokus pada simulasi pegas tipe helical untuk jenis material baja, paduan tembaga dan *carbon composit* dengan variasi pembebanan dengan metode *fenite element* [10]. Hasil studi menggunakan simulasi dan analisis menunjukkan bahwa material komposit lebih banyak keuntungan untuk pegas pada sistem suspensi.

Pegas helikal yang diterapkan pada kendaraan ringan dengan menggunakan material *Carbon fiber* dan analisis pada perbedaan pembebanan untuk mencari jenis yang baik digunakan untuk kendaraan ringan [11]. Material yang digunakan yaitu komposit yaitu SAE 9254 dan *carbon fiber reinforced plastic*. Dari hasil simulasi menunjukkan terjadinya kenaikan diameter. Tujuan menggantikan material pegas koil SAE 9254 dengan material *carbon fiber reinforced plastic*. Namun pengaplikasian dibatasi pada kendaraan ringan.

Sistem suspensi juga mengurangi amplitudo atau osilasi dari gangguan yang dihasilkan oleh ketidak stabilan kondisi jalan. Penelitian berfokus pada desain dan osilasi pada pegas jenis helikal dengan material berbeda dan dengan metode elemen hingga [12]. Hasil penelitian didapatkan bahwa diameter pegas mempengaruhi performa. Material yang digunakan memilih material yang tahan terhadap korosi. Selain korosi juga mempertimbangkan ketahanan terhadap oksidasi dan tahan terhadap suhu yang tinggi.

Pegas pada sistem suspensi di desain untuk dapat selembut dan se nyaman mungkin menghilangkan kejutan dan juga menghilangkan energi kinetik yang ditimbulkan [13]. Pada artikel berfokus redesain dan optimisasi pegas dengan mengurangi jumlah *pitch* dengan metode elemen hingga pada material IS 4454. Mencari secara detail terkait pembebanan dan defleksi pada pegas. Penelitian [14] berfokus pada komparasi perhitungan dengan formulasi matematik, dan fisika serta metode elemen hingga dengan parameter sudut, *pitch* dan diameter pada pegas helical untuk mengetahui perubahan dari defleksi pada proses pembebanan. Sehingga dapat mengetahui penurunan defleksi akibat pembebanan.

Penelitian [15] melakukan investigasi sistem suspensi dengan sistem SDOF (*Single Degree of Freedom*) dan 2 Dof untuk mengetahui getaran *transmibiliti* dengan variasi redaman dan jenis simulasinya. Hasil dari investigasi redaman dan kekakuan mempengaruhi transmisi getaran. Pada kasus SDOF (*Single Degree of Freedom*) menunjukkan

bahwa kekakuan yang besar menyebabkan kondisi *steady state* nilai *peak* lebih kecil tetapi lebih besar pada transmibiliti gayanya. Sedangkan pada kasus 2DOF nilai kekakuan (*stiffness*) yang lebih besar pada gangguan yang linier meningkatkan transmibiliti gaya.

Naiknya transmisi dari getaran pada sistem suspensi dipengaruhi oleh resonansi internal pada pegas. [16] mengidentifikasi kenaikan transmisi getaran disebabkan oleh resonansi internal pada sistem suspensi dengan melibatkan komponen *pivot arm* dan *pivot bushing*. Dengan parameter koefisien kekakuan pada *pivot bushing* dengan pembebanan yang dinamis. hasil menunjukkan karateritik dari pegas suspensinya. Karateritik yang ditunjukkan dalam penelitian sebelumnya hanya berfokus pada pembebanan pegas koil dengan variasi ukuran dan jumlah pegas yang aktif.

Pada penelitian sebelumnya fokus desain pegas menggunakan metode elemen hingga atau FEM untuk analisis struktur dengan mensimulasi pembebanan pada pegas mengetahui nilai kritis dari hasil pembebanan serta tanpa mempertimbangkan efek jalan yang bergelombang. Pemilihan material yang disarankan dalam penelitian sebelumnya berjenis komposit yang sulit dicari dipasaran, sedangkan umumnya yang dipasaran adalah berbahan *steels*. Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain pegas untuk sistem suspensi untuk kendaraan ringan yaitu sepeda motor listrik (SEMOLI) dengan mempertimbangkan karakteristik *Displacement transmissibility* dan respon sistem dari pegas dengan jenis material dan jumlah pegas yang aktif dengan mengasumsikan kendaraan berjalan dengan kecepatan tertentu dan terjadi osilasi karena getaran yang diakibatkan jalan yang terjal.

2. Metode

2.1. Material

Dalam pemilihan material harus memperhatikan jenis material yang digunakan yang cocok dengan fungsinya nanti. Dalam memilih material harus mempertimbangkan *mechanical properties* dari material yang akan digunakan. Material yang digunakan adalah *cast stainless steels* dan *carbon stainless steel*. *Mechanical properties* ditunjukkan pada Tabel 1 material mempertimbangkan yang ada dan mudah didapatkan serta merujuk pada Tabel 2 penerapan material pada otomotif. Dari Tabel 2 menunjukkan material baja atau *steel* digunakan pada komponen suspensi. Material baja atau *steel* sudah banyak digunakan dalam komponen otomotif. Dengan alasan bahan yang memiliki harga yang lebih murah dan nilai modulus yang tinggi. Kekuatan dan keuletan yang sangat panjang rangnya sehingga cocok untuk banyak pengerjaan, seperti perlakuan panas dan pengerjaan pengerasaan.

Pada Tabel 2. Material *steel* atau baja 55 % diterapkan diberbagai komponen dikendaraan. Material baja digunakan karena memiliki keuntungan yaitu, bahan murah, mudah untuk dibentuk, tidak mudah berkarat, mudah dalam proses manufaktur, mudah didaur ulang, baik dalam menyerap energi. Sangat tepat untuk diterapkan pada komponen suspensi dimana salah satunya berfungsi menyerap energi yang dihasilkan oleh hentakan ketika kendaraan berjalan.

Tabel 1. *Mechanical Properties*

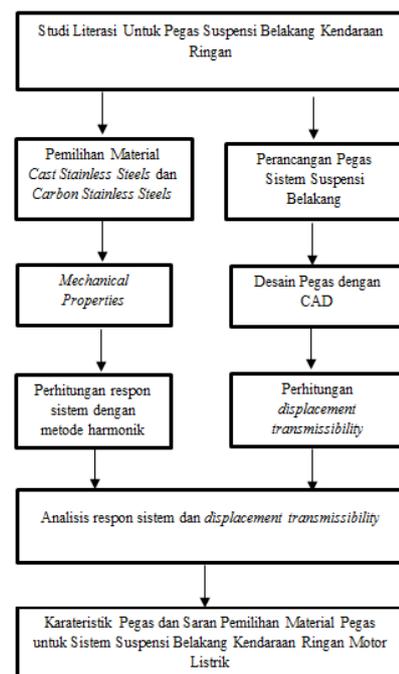
Material	Modulus Elastisitas	Poisson Ratio	Density
Cast stainless steels	20000 N/mm ²	0,32	7800 kg/m ³
Carbon Stainless Steel	19000 N/mm ²	0,26	7700 kg/m ³

Tabel 2. *Mechanical Properties Distribusi Material Pada Kendaraan* [17]

Material	Presentasasi dari berat kendaraan	Mayor area pengaplikasian
Steel	55 %	Engine, komponen transmisi, komponen suspensi, komponen penerus daya
Cast Iron	9 %	Komponen mesin, pengereman
Aluminium	8,5 %	Block mesin (<i>engine</i>)
Copper	1,5 %	Wiring, komponen kelistrikan
Polymer	9 %	Komponen elektronik, selang bhana bakar, fillter bahan bakar
Elastomer	4 %	Ban, gasket
Yang lain	10 %	Minyak pelumas, cairan pendingin

2.2. Frame Work Penelitian

Gambar 1 alur penelitian desain dan analisis pegas untuk kendaraan ringan motor listrik dimulai dengan studi literasi penelitian sebelumnya. Tahap selanjutnya perancangan dan pemilihan material, dilanjutkan perhitungan dan analisis yang digunakan sebagai dasar desain dan pemilihan pegas yang tepat untuk sepeda motor listrik.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.3. Desain Pegas

Dalam mendesain pegas perlu mempertimbangkan tegangan yang terjadi pada pegas dan mempertimbangkan jenis pegas yang dibuat. Untuk mendesain adapun persamaan yang dibutuhkan adalah

$$C = \frac{D}{d} \tag{1}$$

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \tag{2}$$

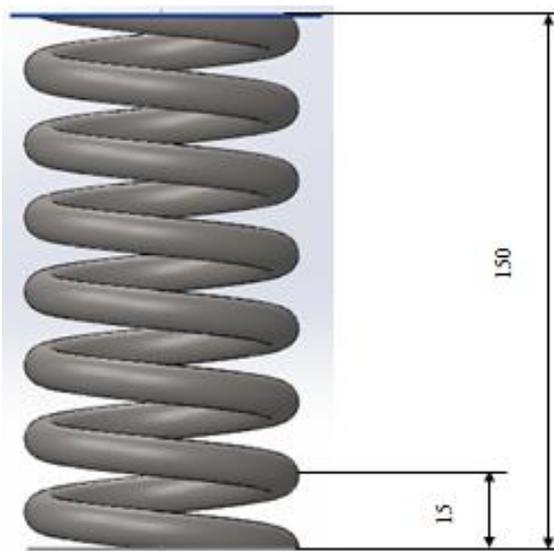
$$k = \frac{(G * d^4)}{(8 * D^3 * N)} \tag{3}$$

$$\tau = \frac{(K * 8 * P * D)}{(\pi * d^3)} \tag{4}$$

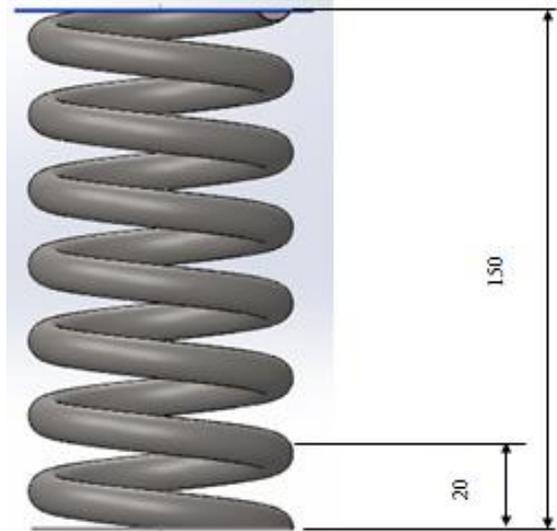
$$\delta = \frac{P}{K} \tag{5}$$

Persamaan (1) adalah untuk mencari indek pegas, persamaan (2) untuk mencari *Wahls factor*, persamaan (3) untuk mencari koefisien kekakuan dari pegas, persamaan (4) untuk mencari tegangan geser, dan persamaan (5) untuk menghitung defleksi, dimana D = diameter dari pegas (mm), d = diameter dari benang pegas (mm), G = *modulus of elasticity for material*, P = Beban aksial pada pegas (N atau Kg).

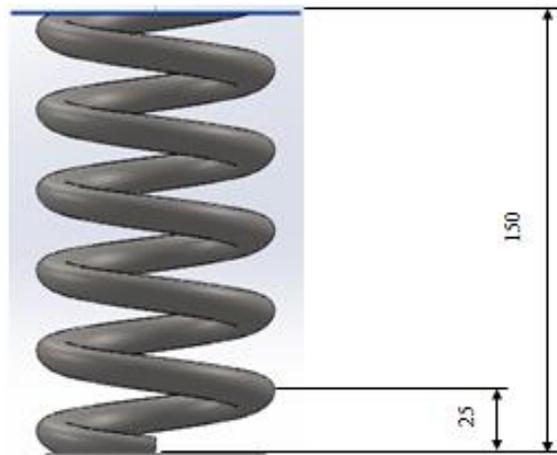
Jenis pegas yang digunakan yaitu pegas helikal atau coil yang umum pada kendaraan sepeda motor. Bentuk pegas helikal atau coil ditunjukkan pada Gambar 2, 3 dan 4 yang digambar dengan *computer aided design*. Gambar 2 pegas dengan jumlah pegas yang aktif dengan tinggi 150 mm dan jarak *pitch* adalah 15 mm. Gambar 3. menunjukkan jenis pegas dengan tinggi 150 mm dan jarak *pitch* adalah 20 mm. Gambar 4 adalah pegas dengan jenis pegas yang aktif 6 dengan panjang 150 mm dan jarak *pitch* adalah 25 mm.



Gambar 2. Desain Pegas dengan Jumlah Pegas Aktif 8



Gambar 3. Desain Pegas Dengan Jumlah Aktif 7



Gambar 4. Desain Pegas Dengan Jumlah Aktif 6

Pada Tabel 3. Menunjukkan spesifikasi dari pegas coil. Spesifikasi berupa diameter dan jumlah pegas yang aktif.

Uraian	Keterangan
Diameter <i>Spring Wire</i>	10 mm
Diameter <i>Coil Spring</i>	60 mm
Jumlah Pegas yang Aktif	6,7 dan 8

Diasumsikan bobot kendaraan adalah 100 kg, dengan *unsprung weight* 65% penumpang maksimal 2 orang dengan bobot maksimal 1 orang 80 kg. Damping ratio dari pegas yaitu 0,5 dengan kondisi alam bergelombang dengan tinggi amplitudo 20 mm. Untuk menganalisa pembebanan ketika kecepatan tertentu menggunakan “Persamaan (6) hingga (9). Pada penelitian ini mempertimbangkan kecepatan kendaraan yang berbeda dengan variasi 10 km/jam, 20 km/jam, 40 km/jam dan 80 km/jam.

$$\omega = 2\pi f \tag{6}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{7}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} \tag{8}$$

$$r = \frac{\omega}{\omega n} \tag{9}$$

$\omega = 1$ siklus pada jalan yang bergelombang, $\omega n =$ natural frekuensi, $f =$ frekuensi satu siklus pada kondisi kendaraan yang terjal, $v =$ kecepatan kendaraan, $m =$ massa yang diterima oleh pegas, dan $\lambda =$ satu siklus pada kondisi jalan terjal.

$$X = \frac{\sqrt{1 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega n}\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega n}\right)^2\right]^2 + \left[2\xi \frac{\omega}{\omega n}\right]^2}} * y \tag{10}$$

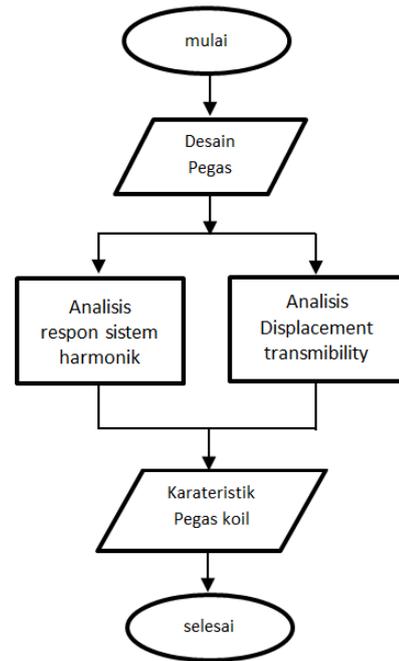
Persamaan (10) [9] digunakan untuk mencari *displacement transmissibility* dari pegas dengan mempertimbangkan kecepatan kendaraan yang melaju. $\xi =$ damping ratio dan $y =$ amplitudo.

2.4 Metode harmonic

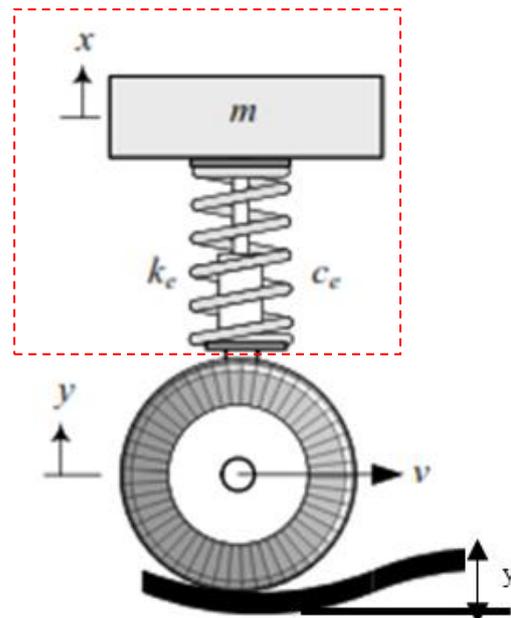
Metode analisis menggunakan metode perhitungan dan pemodelan matematika dengan mengasumsikan terjadi gerak harmonik pada sistem pegas. Sistem suspensi mengalami osilasi yang berulang ulang. Jika gerakan itu secara berulang ulang maka dapat disebut sebagai gerakan periodik. Tipe paling mudah dari gerak periodik adalah gerak harmonis. Pendekatan metode harmonik digunakan untuk mengetahui respon dari sistem suspensi. Dengan menggunakan parameter yang sudah ada pada Tabel 2. dan menarik hubungan dengan persamaan koefisien kekakuan pada pegas. Pada persamaan (11) adalah persamaan yang digunakan untuk mencari karakteristik pegas dengan perbedaan material dan perbedaan jumlah pegas aktif. Persamaan yang digunakan metode harmonik mengasumsikan bahwa hanya terjadi pada sistem suspensi saja, untuk roda dan ban diabaikan. sehingga yang digunakan menggunakan *Single Degree of Freedom* (SDOF) dalam kondisi yang linier.

Pada Gambar 5 menunjukan diagram *flowchart* untuk penelitian ini. Desain pegas diantaranya adalah perhitungan dasar perancangan pegas. Analisis respon sistem dengan metode harmonik pada sistem suspensi dengan mengasumsikan *Single Degree of Freedom* dalam kondisi yang linier. Analisis *displacement transmissibility* dari pegas dalam sistem suspensi kendaraan saat kondisi berjalan.

Ilustrasi dari sistem suspensi belakang sepeda motor listrik (SEMOLI) ditunjukkan pada Gambar 6. analisis karakteristik dari pegas dengan perbedaan material, jumlah pegas yang aktif dan kondisi *steady state* pada sistem suspensi. Metode harmonik dengan pemodelan sistem suspensi menggunakan *Single-degree of freedom* untuk mengetahui respon sistemnya. Pada persamaan (11) koefisien m adalah massa dari penumpang, koefisien c adalah nilai dari redaman atau *damping*, dan koefisien k adalah nilai dari kekakuan atau *stiffness*. Fokus dari penelitian pada sistem suspensi kendaraan yang diberi garis merah putus - putus. Pada Gambar 5 diasumsikan terjadi gerak osilasi maka akan membentuk sinusoidal $A \sin \omega t$.



Gambar 5. Flowchart Analisis Karakteristik Pegas Koil



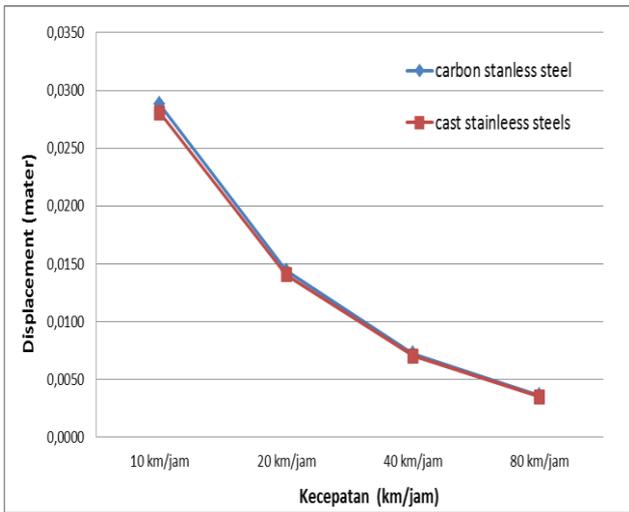
Gambar 6. Model Sistem Suspensi SEMOLI

$$A \sin \omega t = m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx \tag{11}$$

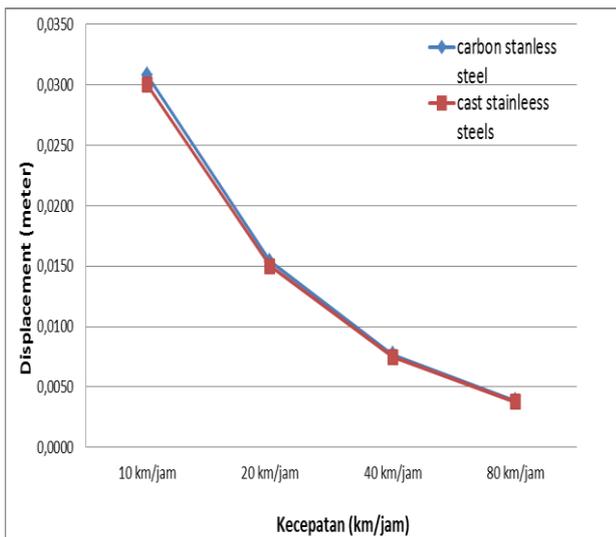
3. Hasil dan Pembahasan

Metode harmonik digunakan untuk mengetahui karakteristik respon dari pegas koil yang dilihat dari material dan jumlah pegas yang aktif. Pada artikel ini mengabaikan komponen pada kejadian harmonik orde tinggi. Hasil perhitungan dan analisis *displacement transmissibility* diasumsikan bahwa kecepatan maksimal dari kendaraan

adalah maksimal 80 km / jam dengan bobot atau beban maksimal 160 kg. Bobot atau beban diasumsikan dua orang yang berboncengan dengan berat masing – masing 80 kg.



Gambar 7. Displacement Transmissibility Untuk Pegas Aktif 8

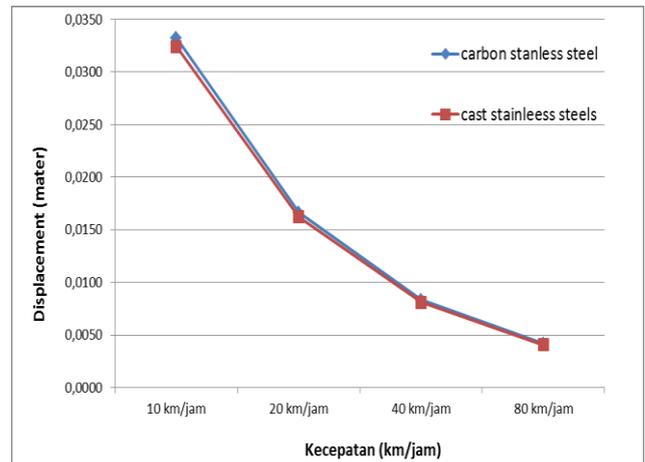


Gambar 8. Displacement Transmissibility Untuk Pegas Aktif 7

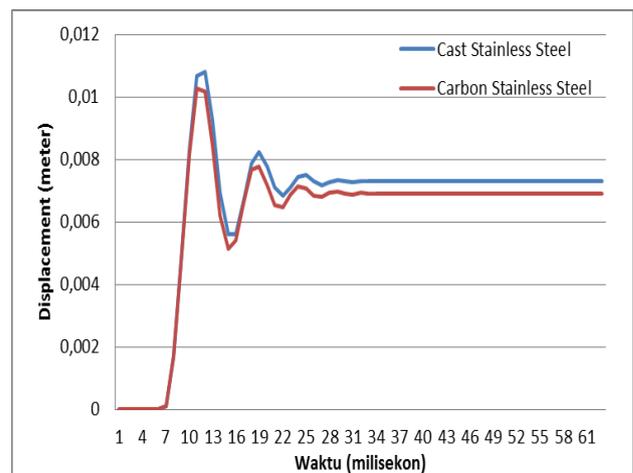
Hasil perhitungan dan analisis untuk *Displacement transmissibility* pada pegas dengan jumlah pegas aktif delapan untuk material *carbon stainless steels* dengan kecepatan kendaraan 10 km/jam menunjukkan nilai *displacement* 0,0288 meter dan untuk material *cast stainless steels* 0,0281 meter. Pada kecepatan 80 km/jam untuk material *carbon stainless steels* 0,0036 meter dan untuk material *cast stainless steels* 0,0038 meter. Dari Gambar 7. Perubahan pegas yang semakin kecil seiring naiknya kecepatan. *Displacement* yang semakin kecil saat perubahan kecepatan dipengaruhi oleh gaya pembebanan yang ditimbulkan saat terjadi saat perubahan kecepatan. Pada material *carbon stainless steels* mengalami penurunan *displacement* sebesar 0,0252 meter dari kecepatan 10 km/jam hingga 80 km/jam. Pada material *cast stainless steel* mengalami penurunan *displacement* sebesar 0,0246

mater. Dilihat dari hasil perhitungan *displacement transmissibility* pada pegas aktif 8 untuk material *cast stainless steel* lebih baik dari menunjukkan nilai perubahan terkecil *carbon stainless steels*

Hasil analisis pada pegas dengan jumlah pegas aktif tujuh yang ditunjukkan pada Gambar 8. dengan material *carbon stainless steels* pada kecepatan kendaraan 10 km/jam menunjukkan nilai *displacement* 0,0308 meter dan pada material *cast stainless steels* 0,0300 meter. Pada kecepatan 80 km/jam untuk material *carbon stainless steels* menunjukkan nilai *displacement* 0,0038 meter dan pada material *cast stainless steels* 0,0038 meter. Pada material *carbon stainless steels* mengalami penurunan *displacement* sebesar 0,0269 meter dari kecepatan 10 km/jam hingga 80 km/jam. Pada material *cast stainless steel* mengalami penurunan *displacement* sebesar 0,0263 meter dari kecepatan 10 km/jam hingga 80 km/jam. Dilihat dari hasil perhitungan *displacement transmissibility* pada pegas aktif 7 untuk material *cast stainless steel* lebih baik dari menunjukkan nilai perubahan terkecil *carbon stainless steels*.



Gambar 9. Displacement Transmissibility Untuk Pegas Aktif 6



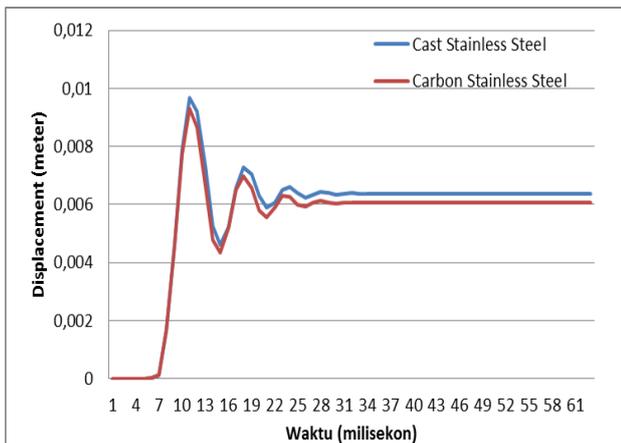
Gambar 10. Respon dan Kondisi Steady State Pada sistem Peredam Kejut dengan Pegas Aktif 8

Hasil analisis pada pegas dengan jumlah pegas aktif enam yang ditunjukkan pada Gambar 9. dengan material

carbon stainless steels pada kecepatan kendaraan 10 km/jam menunjukkan nilai *displacement* 0,0333 meter dan pada material *cast stainless steels* 0,0324 meter. Pada kecepatan 80 km/jam untuk material *carbon stainless steels* menunjukkan nilai *displacement* 0,0042 meter dan pada material *cast stainless steels* 0,0041 meter. Pada material *carbon stainless steel* mengalami penurunan *displacement* sebesar 0,0269 meter dari kecepatan 10 km/jam hingga 80 km/jam. Pada material *cast stainless steel* mengalami penurunan *displacement* sebesar 0,0263 meter dari kecepatan 10 km/jam hingga 80 km/jam. Dilihat dari hasil perhitungan *displacement transmissibility* pada pegas aktif 6 untuk material *cast stainless steel* lebih baik dari menunjukkan nilai perubahan terkecil *carbon stainless steels*.

Selanjutnya dengan metode harmonik SDOF untuk menganalisis karakteristik dari masing - masing material *carbon stainless steels* dan *cast stainless steel* serta jumlah pegas aktif. Karakteristik yang digunakan yaitu *steady state* dan *overshoot*. kondisi *steady state* menunjukkan waktu yang dibutuhkan menuju stabil tanpa terjadi osilasi. Pada Gambar 10. Menunjukkan grafik respon dengan material *carbon stainless steels* dan *cast stainless steels* dengan pegas yang aktif berjumlah delapan. Dari gambar tersebut menunjukkan karakteristik dari pegas mengalami kenaikan atau yang disebut dengan *peak* maksimum pada material *carbon stainless steels* adalah 0,0101 meter. Sedangkan pada material *cast stainless steel* adalah 0,0107 meter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Nilai *peak* dari material *cast stainless steel* lebih tinggi dari *carbon stainless steels*. Dari dua material tersebut materi yang baik yaitu *carbon stainless steels* dilihat dari nilai *peak* yang lebih rendah dibandingkan dengan material *cast stainless steel*.



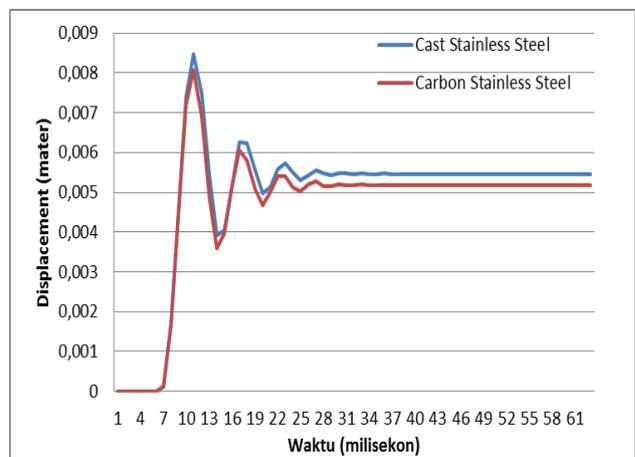
Gambar 11. Respon dan Kondisi *Stedy State* Pada sistem Peredam Kejut dengan Pegas Aktif 7

Karakteristik dari pegas aktif yang berjumlah tujuh ditunjukkan pada Gambar 11. Dari gambar tersebut menunjukkan karakteristik dari material *cast stainless steel* dan *carbon stainless steels*. Hasil Pada Gambar 10 pada posisi puncak *peak* pada grafik. Nilai *peak* maksimum pada material *cast stainless steel* menunjukkan nilai sebesar 0,00967 meter dan material *carbon stainless steel* menunjukkan nilai *peak* maksimum sebesar 0,00929 meter.

Dari hasil tersebut menunjukkan karakteristik dari pegas dengan materi *carbon stainless steel* yang lebih baik dari segi nilai *peak* atau puncak yang lebih kecil dari *cast stainless steels*.

Pada Gambar 12. menunjukkan hasil grafik yang diperjelas pada posisi *peak* maksimum. Nilai *peak* maksimum pada material *cast stainless steels* menunjukkan nilai sebesar 0,00848 meter dan material *carbon stainless steels* menunjukkan nilai *peak* maksimumnya adalah 0,0807 meter. Dari garfik tersebut menunjukkan karakteristik material *cast stainless steels* yang lebih tinggi nilai *peak* dibandingkan dengan material *carbon stainless steels*.

Pada Tabel 4. menunjukkan kondisi *steady state* pada material *cast stainless steel* pada pegas yang aktif 6, 7, dan 8 menunjukkan nilai 0,25 s. Pada material *carbon stainless steel* menunjukkan nilai 0,25 s pada pegas yang aktif 7, dan 8, sedangkan untuk pegas yang berjumlah 6 menunjukkan nilai 0,3 s. Dari Tabel 4. Menunjukkan karakteristik nilai yang sama pada kondisi *steady state*.



Gambar 12. Respon dan Kondisi *Stedy State* Pada sistem Peredam Kejut dengan Pegas Aktif 6

Tabel 4. *Stedy State*

Pegas Aktif	Material	
	Cast stainless steels	Carbon Stainless Steel
8	0,25 s	0,25 s
7	0,25 s	0,25 s
6	0,25 s	0,3 s

Tabel 5. *Overshoot*

Pegas Aktif	Material	
	Cast stainless steels	Carbon Stainless Steel
8	50,3 %	51 %
7	52,7 %	53,3 %
6	55,3 %	55,8 %

Pada Tabel 5. Menunjukkan karakteristik dari *overshoot* untuk masing – masing material antara *cast stainless steel* dan *carbon stainless steels*. *Overshoot* yang lebih tinggi jika diterapkan pada sistem hal tersebut tidak baik. Dari tabel tersebut menunjukkan nilai *overshoot* lebih dari 50 % dari garis stabil.

Karakteristik dari hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5 digunakan sebagai pertimbangan dalam desain dan pemilihan pegas pada sistem suspensi belakang untuk sepeda motor listrik (SEMOLI). Dari Tabel 4 dan 5 menunjukkan tabel *steady state* dan *overshoot* untuk pemilihan material dan jumlah pegas yang baik yaitu material *cast stainless steels* dengan jumlah pegas aktif 8.

4. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan untuk desain dan karakteristik pegas suspensi dengan material *cast stainless steel* dan *carbon stainless steel* dengan jumlah pegas aktif yang berbeda yaitu 6, 7 dan 8 dapat disimpulkan, pada bagian hasil dan pembahasan dari analisis pegas menunjukkan bahwa *displacement* pegas mengalami penurunan atau pengurangan seiring dengan perubahan kecepatan dari kendaraan. Nilai *peak* tertinggi terjadi pada pegas aktif yang berjumlah delapan dengan material *cast stainless steel* dengan nilai 0,0107 mater. Karakteristik pada kondisi *steady state* antara material *cast stainless steels* dan *carbon stainless steel* untuk jumlah pegas aktif 7, dan 8 menunjukkan nilai yang sama yaitu 0,25 s. Karakteristik pada *overshoot* menunjukkan nilai yang lebih kecil ditunjukkan pada material *cast stainless steel* dengan nilai 50,3 %. Pemilihan material yang baik untuk pegas sebagai salah satu komponen sistem suspensi yaitu *cast stainless steel* dengan jumlah pegas aktif 8 dilihat dari *steady state* dan *overshoot*. Dilihat dari *displacement transmissibility* material yang terbaik *cast stainless steel* dengan nilai *displacement* lebih kecil.

Hasil dari analisis karakteristik pada pegas jenis koil memberikan gambaran dalam pemilihan tipe pegas koil dengan mempertimbangkan jumlah koil yang aktif, materialnya serta efek dari respon sistem yang dihasilkan. pemilihan sistem suspensi yang tepat dapat mengurangi kegagalan dalam struktur rangka dan juga meningkatkan kenyamanan. Kedepannya dilakukan pengembangan model dinamis *nonlinear* dari keseluruhan sistem sepeda motor khususnya sepeda motor listrik untuk mengetahui respon sistem yang ada.

Daftar Pustaka

- [1] T. Jin *et al.*, "Development and evaluation of a versatile semi-active suspension system for high-speed railway vehicles," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 135, p. 106338, 2020, doi: 10.1016/j.ymsp.2019.106338.
- [2] V. R. Varude, A. A. Mathew, A. Y. Diwan, N. Banerjee, and A. C. Mitra, "Effect of Induced Geometric Non-Linearity in a Spring on Vehicle Ride Comfort and Road Holding," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 9, pp. 20177–20185, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.06.387.
- [3] K. Radhakrishnan, A. Godwin Antony, K. Rajaguru, and B. Sureshkumar, "Torsional vibration analysis of torsion bar spring for off road vehicle driver seat," *Mater. Today Proc.*, vol. 21, no. xxxx, pp. 669–672, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.06.736.
- [4] T. Nabagło, A. Jurkiewicz, and J. Kowal, "Modeling verification of an advanced torsional spring for tracked vehicle suspension in 2S1 vehicle model," *Eng. Struct.*, vol. 229, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.111623.
- [5] D. Gaska, B. Łazarz, T. Matyja, and A. Wittek, "Coil springs in passenger cars – general theoretical principles and structural requirements," *Arch. Motoryz.*, vol. 72, no. 2, pp. 141–159, 2016, doi: 10.14669/AM.VOL72.ART9.
- [6] Y. S. Kong, S. Abdullah, D. Schramm, M. Z. Omar, and S. M. Haris, "Development of multiple linear regression-based models for fatigue life evaluation of automotive coil springs," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 118, pp. 675–695, 2019, doi: 10.1016/j.ymsp.2018.09.007.
- [7] Y. S. Kong, D. Schramm, M. Z. Omar, S. Mohd Haris, and S. Abdullah, "The Significance to Establish a Durability Model for an Automotive Ride," *SAE Tech. Pap.*, vol. 2017-March, no. March, 2017, doi: 10.4271/2017-01-0347.
- [8] G. Vukelic, M. Brcic, and D. Pastorcic, "Experimental and numerical analysis of a helical spring failure," *Proc. 14th Int. Conf. Comput. Plast. - Fundam. Appl. COMPLAS 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 545–555, 2017.
- [9] K. V. Kumar, "Design and Analysis of Helical Springs in Two Wheeler Suspension," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 9, pp. 128–137, 2017, [Online]. Available: <https://irjet.net/archives/V4/i9/IRJET-V4I9131.pdf>.
- [10] A. Alsahlani, M. K. Khashan, and H. H. Khaleel, "Design and analysis of coil spring in vehicles using finite elements method," *Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev.*, vol. 8, no. 4, pp. 615–624, 2018, doi: 10.24247/ijmperdaug201864.
- [11] M. M. C. Bahalkar, "Modelling & Analysis of Helical Coil Spring Under Different," vol. 6, no. 7, pp. 444–450, 2017, doi: 10.5281/zenodo.829049.
- [12] S. Pankaj, A. Rushikesh, W. Sanket, J. Viraj, and P. Kaushal, "Design and Analysis of Helical Compression Spring Used in Suspension System By Finite Element Analysis Method," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 4, pp. 2959–2969, 2017, [Online]. Available: <https://www.irjet.net/archives/V4/i4/IRJET-V4I4718.pdf>.
- [13] H. B. Pawar and D. D. Desale, "Optimization of Three Wheeler Front Suspension Coil Spring," *Procedia Manuf.*, vol. 20, pp. 428–433, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.062.
- [14] V. Yıldırım, "Exact determination of the global tip deflection of both close-coiled and open-coiled cylindrical helical compression springs having arbitrary doubly-symmetric cross-sections," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 115–116, pp. 280–298, 2016, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2016.06.022.
- [15] W. Dai, J. Yang, and B. Shi, "Vibration transmission and power flow in impact oscillators with linear and nonlinear constraints," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 168, p. 105234, 2020, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2019.105234.
- [16] W. Sun, D. Thompson, and J. Zhou, "A mechanism for overcoming the effects of the internal resonances of coil springs on vibration transmissibility," *J. Sound Vib.*, vol. 471, p. 115145, 2020, doi: 10.1016/j.jsv.2019.115145.
- [17] P. K. Mallick, *Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles*. 2010.