

Jurnal Artikel

**DESAIN DAN SIMULASI *SPRING AIR CUP* UNTUK
MENINGKATKAN PERFORMA SISTEM SUSPENSI UDARA
KENDARAAN**

**Thaha Yassin Ramadhan Utomo^{1*}, Ariyo Nurachman Satiya Permata², Mariyan Maritza
Ramadhan³, Muhammad Rizky⁴, Rahmat Hidayat⁵**

Progam Studi Teknik Mesin, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

¹thaha.utomo@tm.idu.ac.id , ²ariyo.satiya@idu.ac.id

*Corresponding author – Email : thaha.utomo@tm.idu.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan sistem suspensi kendaraan dengan teknologi Air Cup Suspension dengan fokus penelitian pada desain pegas dan balon pada suspensi udara, sistem ini ditujukan untuk kenyamanan dan pengendalian yang lebih baik pada saat berkendara, sistem ini menggabungkan elemen suspensi udara dengan pegas yang disesuaikan dengan ketinggian dinamis dan kekakuan tambahan, analisis menggunakan CAD dan simulasi untuk memodelkan perilaku fisik struktur dan distribusi tekanan yang ditujukan untuk pengendalian dan kekakuan, yang berkontribusi pada stabilitas kendaraan, inovasi yang melibatkan pembesaran ukuran cup untuk penelitian selanjutnya dan penambahan ukuran pegas meningkatkan umur pakai dan kinerja suspensi, penelitian ini menyediakan solusi inovatif untuk kendaraan roda empat, namun penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan efisiensi material dan mengurangi keterbatasan pada kondisi jalan yang bergelombang.

Kata kunci: suspensi, kendaraan, stabilitas, simulasi, desain

Abstract

This research develops a vehicle suspension system using Air Cup Suspension technology, focusing on the design of springs and balloons in air suspension. This system is intended to provide greater comfort and control while driving. This system combines air suspension elements with springs that are adjusted to dynamic height and additional stiffness. Analysis using CAD and simulation models the physical behavior of the structure and pressure distribution for control and stiffness, which contributes to vehicle stability. This new design utilizes the principle of hydrostatics, which can adjust height and stiffness more flexibly than conventional suspensions, which contributes to vehicle stability. Innovations involving enlarging the cup size for further research and adding spring size increase the service life and performance of the suspension. This research provides innovative solutions for four-wheeled vehicles. however, further research is needed to optimize material efficiency and reduce limitations on uneven road conditions.

Keywords: suspension, vehicle, stability, simulation, design

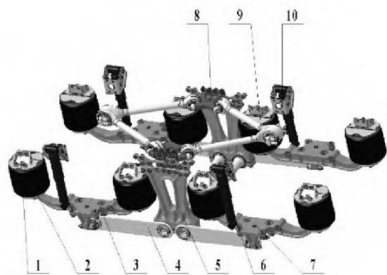
1. PENDAHULUAN

Suspensi udara digunakan sebagai pengganti fungsi pegas, suspensi udara banyak diaplikasikan pada berbagai mobil, bus dan trailer (Imansyah, Haris, & Nata, 2021). Kompresor akan menyuplai udara

bertekanan ke tabung penyimpanan, saat mesin hidup, tenaga mesin menggerakkan kompresor, kemudian udara dimasukkan kedalam kantong udara yang berada pada kaki-kaki melalui katup *solenoid*, kantong udara layaknya sebuah *shock absorber* dapat bergerak naik turun namun didesain lebih rapat karena berisi udara bertekanan

(Imansyah et al., 2021). Pada suspensi udara, kompresibilitas udara dalam pegas pneumatik atau pegas udara digunakan untuk menyediakan kekakuan suspensi (Imansyah et al., 2021).

Suspensi udara dapat mentransmisikan gaya dan momen antara roda dan rangka, menyangga gaya tumbukan yang diberikan oleh permukaan jalan selama berkendara, dan meredam getaran. Ketika gaya diterapkan antara roda dan bodi, gaya redaman atau kekakuan sistem suspensi disesuaikan, dan dikontrol untuk secara efektif menahan getaran bodi dan mengurangi amplitudo getaran roda. Saat ini, banyak mobil kelas atas menggunakan suspensi udara sebagai sistemnya karena dapat dengan bebas mengubah ketinggian sasis, dengan bebas menyesuaikan kelembutan dan kekerasan penyerapan guncangan, dan meredam getaran, yang membuat mobil berjalan lebih lancar dan memiliki kinerja mekanis yang sangat baik (Cheng, Kang, & Zeng, 2023).



Gambar 1.1 Sistem Suspensi Udara (Cheng et al., 2023)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1 bagian-bagian dari sistem suspensi udara terdiri dari *bracket*, baut penyetel, katup, ruang udara utama, kantung udara, batang penyetel, gulungan katup penyetel, piston, *throttle*, dan perangkat lainnya (Cheng et al., 2023). Struktur suspensi tidak hanya mendukung kemudi kendaraan agar berfungsi dengan baik saat pengereman, tetapi juga sering membuat penumpang kendaraan merasa santai dan memberikan pengalaman berkendara yang menyenangkan dan mudah (Pradhan & Singh, 2021).

Pada suspensi ini kita memfokuskan pada *handling* yang mana mengenai untuk membangun suspensi yang baik diharuskan untuk mengukur banyak parameter. Getaran yang dihasilkan oleh permukaan jalan yang tidak rata memiliki efek buruk tidak hanya pada kesehatan fisik dan mental pengemudi tetapi juga pada kendaraan itu sendiri. Getaran yang berkepanjangan dapat menyebabkan berbagai tingkat kehausan dan kerusakan pada komponen utama, termasuk sistem suspensi, ban, sasis, dan komponen lainnya, hingga melemahkan kinerja dan umur kendaraan (Okunribido, Magnusson, & Pope, 2008).

Tabel 1.1 Suspensi Dinamika Non Linier

<i>Parameters</i>	<i>Values</i>
<i>Sprung mass</i> m_s (kg)	250
<i>Unsprung mass</i> m_u (kg)	35
<i>Secondary spring</i> k_1 (kN/m)	25
<i>Damping coefficient</i> c_1 (Ns/m)	1000
<i>Primary spring stiffness</i> k_2 (kN/m)	50
<i>Tyre stiffness</i> k_t (kN/m)	150
<i>Damping coefficient</i> (Ns/m)	10
<i>Road profile amplitude</i> q_0	0.01
<i>Bar length</i> l_0 (m)	0.1

Tabel 1.1 ditujukan untuk menentukan pada analisis gerak sistem suspensi serta merepresentasikan karakteristik fisik kendaraan, dari parameter ini bisa dianalisis respons getaran vertikal *body* kendaraan, stabilitas serta pengaruh *road profile* yang ditunjukkan dengan amplitudo untuk validasi desain.

Penelitian ini fokus pada desain dan pengembangan *spring* yang digunakan, *spring* bertujuan untuk menyimpan energi dan kemudian melepaskannya, menyerap guncangan, atau mempertahankan gaya antara permukaan yang bersentuhan (Ratekhar et al., 2022). Sehingga material dan desain *spring* menjadi parameter penting agar menghasilkan prototipe yang *durable*, serta memiliki *safety factor* yang baik sesuai dengan kebutuhan penggunaan.

2. METODE

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka pada penelitian ini mencakup kajian mengenai sistem suspensi udara, prinsip kerja *spring air cup*, serta penelitian terdahulu terkait perancangan dan simulasi komponen suspensi. Kami mencari studi literatur dari berbagai sumber terkait sistem suspensi udara dan pengembangan komponen.

Kami mencari dari berbagai jurnal nasional dan internasional mengenai referensi desain dan material yang digunakan pada *spring* sesuai dengan spesifikasi.

Hasil penelitian mengenai optimasi geometri dan material serta desain *spring* dapat mempengaruhi kenyamanan dan keamanan, stabilitas kendaraan, serta umur komponen. Studi lanjutan berupa pembesaran pada *cup suspension*. Hasil dari inovasi ini diharapkan memiliki performa yang baik.

2.2 Computer Aided Design (CAD)

CAD digunakan untuk menghasilkan model geometri *spring* yang sesuai dengan kebutuhan sistem suspensi udara kendaraan. Tahap pertama penelitian adalah pengumpulan data spesifikasi teknis yang mencakup dimensi ruang pemasangan, kapasitas beban, serta material yang direncanakan serta data ini menjadi dasar dalam menentukan ukuran awal dan batasan desain.

Pada tahap ini dibuat rancangan *spring* sesuai data spesifikasi kebutuhan, kemudian dikembangkan beberapa variasi desain dengan ketebalan dinding *spring*, diameter luar dalam, pemodelan dilakukan dengan memperhatikan prinsip desain untuk dijadikan acuan dan pengujian lebih lanjut.

2.2 Finite Element Method (FEM)

FEM digunakan untuk menganalisis perilaku struktural *spring* pada sistem suspensi udara kendaraan, pengumpulan data geometri dan material, data geometri diperoleh dari rancangan CAD yang telah dibuat.

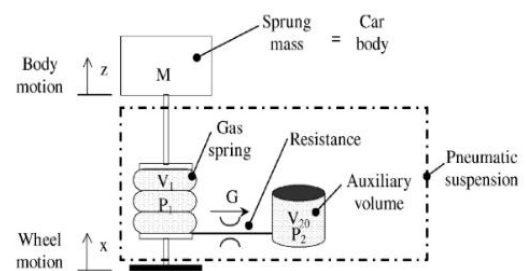
FEM digunakan untuk memperoleh distribusi tegangan, regangan, deformasi total serta faktor keamanan ketika geometri diberi pembebanan, untuk studi lanjutan dapat dilakukan analisis harmonik, *fatigue* guna memprediksi umur pakai komponen di bawah siklus pembebanan serta uji eksperimental sederhana seperti uji tekan atau uji siklus pada geometri *spring*.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Sistem Suspensi

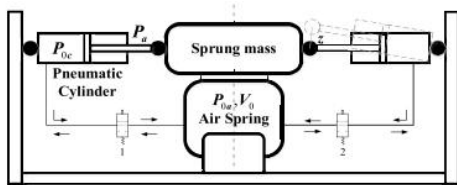
Tipe suspensi yang akan digunakan adalah tipe air cup dengan bantuan sedikit suspensi pegas udara dikombinasikan dengan tipe suspensi spiral yang telah dirancang. Suspensi pegas udara khususnya memiliki beberapa fitur yang tidak mudah diperoleh dengan suspensi mekanis.

Fitur pegas seperti ini akan kita kombinasikan dengan tipe spring guna meningkatkan durabilitas serta sangat baik pada penggunaan frekuensi tinggi dan rendah pada setiap gerakan suspensi secara dinamis (Quaglia & Sorli, 2001).



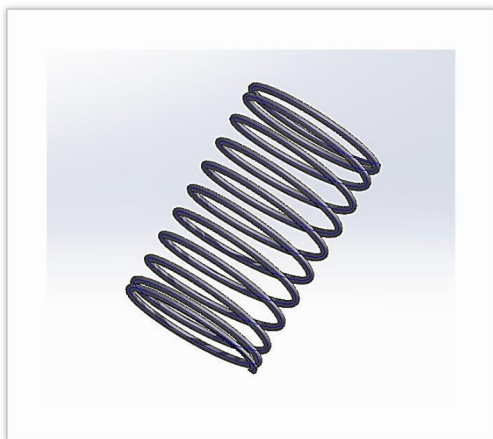
Gambar 3.1 Skema Suspensi Pneumatik (Quaglia & Sorli, 2001)

Kemudian lanjut ke dalam sistem model *suspension* yang akan diterapkan yaitu GIQZPS dengan beberapa penopang antara lain pegas udara, dua pasang silinder kerja dua arah, saluran pipa sambungan, dan katup solenoid. Pegas udara memberikan gaya kekakuan positif guna mendukung beban sistem. Silinder kerja arah ganda diatur di kedua sisi pegas udara guna memberikan gaya kekakuan negatif. Posisi yang ditunjukkan pada gambar 3.2 adalah posisi kesetimbangan statis. Dengan merancang parameter struktur dengan tepat. Kekakuan dinamis guna mendekati hasil yang tepat. (Jiang, Xu, Shi, & Atindana, 2024).



Gambar 3.2 Skema Suspensi GIQZPS (Quaglia & Sorli, 2001)

3.2 Desain dan Simulasi



Gambar 3.3 Hasil Desain *Spring*

Gambar 3.3 memperlihatkan spring yang digunakan pada *air cup*, dengan spesifikasi geometri serta sifat mekanik yang cukup lengkap, *spring* memiliki total 11 lilitan dengan 9 lilitan aktif yang berfungsi untuk menerima beban.

Diameter rata-rata pegas adalah 44,30 cm, dengan diameter kawat 8 mm, sementara itu diameter dalam sebesar 15,2

cm dan diameter luar 16 cm, serta jarak antar lilitan atau pitch sebesar 30 mm, pegas didesain untuk ukuran relatif besar dengan kekakuan yang moderat, cocok untuk aplikasi pada sistem suspensi atau penahan beban dinamis.

Tabel 3.1 Spesifikasi Teknis *Spring*

Material	Stainless Steel ASTM-A36
Total Number Of Coils, n'	11
Number Of Active Coils, n'	9
Mean Diameter	44.30 cm
Wire Diameter	8 mm
Inner Diameter	15, 2 cm
Outer Diameter	16 cm
Pitch, P	30 mm

Tabel 3.1 menunjukkan spesifikasi *spring*, geometri ini menghasilkan sekitar 5,5 dengan tegangan nyata pada kawat kira-kira 29% lebih tinggi daripada perhitungan geser ideal tanpa efek melengkung.

Perhitungan rasio pegas (*spring index*) :

$$C = \frac{D}{d} = \frac{44,30}{8} = 5,5375$$

Perhitungan faktor *wahl* K

$$K = \frac{4(5,54) - 1}{4(5,54) - 4} + \frac{0,615}{5,54}$$

$$\frac{20,16}{17,16} = 1,1747$$

$$\frac{0,615}{5,54} = 0,1110$$

$$K = 1,1747 + 0,1110 = 1,2857 = 1,29$$

Nilai K = 1.29 artinya tegangan geser pada kawat pegas sebenarnya sekitar 29% lebih tinggi dibanding perhitungan tegangan geser sederhana dengan nilai C = 5.54 dan K = 1.29, ini masih dalam rentang aman untuk desain pegas suspensi, karena umumnya desain praktis menghasilkan K antara 1.2 – 1.4, desain ini seimbang antar

kekuatan, kemudahan manufaktur, dan umur lelah.

Nilai yang wajar untuk pegas heliks karena memberi kompromi antara kekakuan dan tegangan *bending* kawat, diameter kawat 8 mm berpengaruh, sehingga sedikit perubahan diameter akan mengubah kekakuan secara drastis, Jumlah lilitan aktif 9 dan *pitch* 30 mm menentukan defleksi maksimum dan linearitas.

Tabel 3.2 *Spring Material* ASTM A36

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2e+11	N/m ²
Poisson's Ratio	0.26	N/A
Shear Modulus	7.93e+10	N/m ²
Mass Density	7850	Kg/m ³
Tensile Strength	400000000	N/m ²
Compressive Strength		
Yield Strength	250000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient		/K
Thermal Conductivity		W/(m.k)
Specific Heat		J/(Kg.K)
Material Damping Ratio		N/A

Tabel 3.2 menunjukkan material yang digunakan pada *spring*, material ini mendukung kinerja geometri desain untuk diaplikasikan pada *spring*, dengan *yield strength* 250 MPa dan *tensile strength* 400 MPa yang membuat kawat pegas berdiameter 8 mm tetap aman dari deformasi permanen meskipun bekerja pada beban siklik berulang.

Dengan modulus elastisitas dan modulus geser diatas, *spring* memiliki kekakuan tinggi sehingga mampu menahan deformasi berlebih saat menerima beban dinamis. Densitas 7850 kg/m³ memberikan kestabilan struktural tanpa menambah massa berlebih pada sistem suspensi.

Dengan nilai *Poissons's Ratio* sebesar 0.26 menunjukkan perilaku elasts yang stabil saat lilitan bekerja dalam kondisi torsi, dikombinasikan dengan dengan geometri pegas yang memiliki *spring index* dan faktor *wahl* diatas, kombinasi antara dimensi geometri dan sifat material membuat pegas memiliki kelebihan utama

berupa kekuatan, ketahanan terhadap beban dinamis, dan kemampuan redaman stabil.

Kombinasi antara geometri dan material ASTM A36 menghasilkan pegas dengan konstanta kekakuan tinggi mencapai 51,9 kN/m.

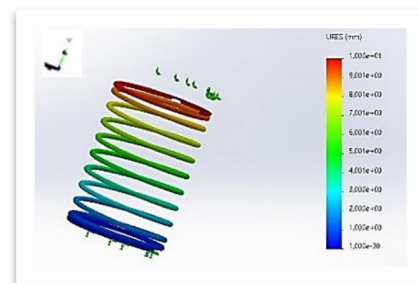
Perhitungan konstanta kekakuan pegas :

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3n}$$

$$k = \frac{324,94}{6,260 \times 10^{-3}} = 51,9 \times 10^3 \text{ N/m}$$

$$k = 51,9 \text{ kN/m}$$

Pegas ini memiliki kekakuan sekitar 51,9 kN/m, sehingga setiap tambahan gaya 100 N hanya akan menghasilkan defleksi sekitar 1,93 mm, pegas tidak terlalu lunak dan tidak terlalu kaku, ini ideal untuk *air cup*, karena suspensi harus mampu menahan beban kendaraan sekaligus menyerap ketidakrataan jalan.



Gambar 3.4 Hasil Simulasi

Hasil simulasi yang telah dilakukan pada gambar 3.4 terlihat jelas bahwa hasil menunjukkan nilai tertinggi mendekati 10 mm (warna merah) dan nilai terendah mendekati 0 mm (warna biru), pemanjangan maksimum pegas akibat beban.

Pertambahan panjang (*elongation*) arah sumbu pegas ke atas dan adanya sedikit pelebaran (*radial displacement*), efek samping dari deformasi, terlihat dari

distribusi warna tidak hanya vertikal, tetapi juga melingkar.

Pemanjangan cukup besar dan masih ada ruang gerak dan perlu *clearence* setidaknya 0,6 mm, apabila ada beban lebih lanjut ada kemungkinan besar deformasi yang mungkin mempengaruhi perilaku pegas terutama pada saat pegas bergerak secara dinamis dalam kondisi medan tertentu.

Perhitungan defleksi :

$$\delta = \frac{p}{k}$$

$$\delta = \frac{100}{51.900} = 0.00193 \text{ m} = 1.39 \text{ mm}$$

Pada beban kecil 100 N, defleksi hanya sekitar 1,93 mm, ketika beban ditingkatkan ke 500 N, defleksi bertambah menjadi 9,63 mm, dan untuk 1000 N defleksinya 19,3 mm, tetap dalam batas aman, pada gambar simulasi adanya *displacement* total di sekitar 9-10 mm untuk beban 500 N, nilai ini sangat dekat dengan hasil perhitungan teoritis yaitu 9,63 mm.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan dengan adanya penambahan serta pembesaran pegas dengan rincian yang sudah disebutkan pada spesifikasi tabel diatas dapat dilihat bahwa penambahan panjang dan lebar *spring*, diameter *ring*, diameter kawat, jarak antar lilitan, diameter dalam dan diameter luar ,serta lebar *pitch* dan dikombinasikan dengan pemilihan material yang sesuai dan kebutuhan aplikasinya pada *air cup*, sangat mempengaruhi performa daya tahan, pengendalian, serta kekakuan. daya tahan yang dihasilkan dari pembesaran pegas semakin meningkat dan juga lebih menambah masa umur pegas dalam hal pemakaian. Dalam hal pengendalian, pembesaran dan penambahan pegas akan menjadi lebih kaku sehingga akan cenderung meningkatkan kontrol stabilitas

kendaraan, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk pengembangan desain *spring* dan teknologi suspensi udara khususnya pada bidang otomotif.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, L., Kang, Z., & Zeng, J. (2023). Analysis of the application of the air suspension system of pure electric vehicle, *0*, 18–24. doi:10.54254/2753-8818/12/20230424
- Imansyah, Haris, O., & Nata, Y. (2021). Desain Dan Analisa Sistem Air Suspension Pada Sepeda Motor Yamaha Xeon Gt125. *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, *6*(2), 41–47. doi:10.52005/rekayasa.v6i2.66
- Jiang, X., Xu, X., Shi, T., & Atindana, V. A. (2024). Nonlinear Characteristic Analysis of Gas-Interconnected Quasi-Zero Stiffness Pneumatic Suspension System: A Theoretical and Experimental Study. *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, *37*(1). doi:10.1186/s10033-024-01039-z
- Okunribido, O. O., Magnusson, M., & Pope, M. H. (2008). The role of whole body vibration, posture and manual materials handling as risk factors for low back pain in occupational drivers. *Ergonomics*, *51*(3), 308–329. doi:10.1080/00140130701637262
- Pradhan, P., & Singh, D. (2021). Review on air suspension system. *Materials Today: Proceedings*, *81*(2), 486–488. doi:10.1016/j.matpr.2021.03.640
- Quaglia, G., & Sorli, M. (2001). Air suspension dimensionless analysis and design procedure. *Vehicle System Dynamics*, *35*(6), 443–475. doi:10.1076/vesd.35.6.443.2040
- Ratekhar, A., Gulhane, S., Meshram, S.,

Borker, M., Khan, A. R., & Shelke, R. S. (2022). Development of Coil Spring Suspension System with Air Bellows. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1259(1), 012026. doi:10.1088/1757-899x/1259/1/012026