

ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN PADA SISTEM SUSPENSI DEPAN MINIBUS DENGAN BEBAN BERVARIASI

ANALYSIS OF STRESS DISTRIBUTION IN THE FRONT SUSPENSION SYSTEM OF A MINIBUS WITH VARYING LOADS

Jagodang Harahap^{1)*}, Khairol Mizan²⁾, Pribadyo^{3)*}

¹⁾ Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Lhokseumawe,

²⁾ Teknologi Industri, Politeknik Negeri Lhokseumawe,

Jalan Medan-Banda Aceh Km 280 Buketrata-Kota Lhokseumawe.

³⁾ Jurusan Teknik Mesin, Universitas Teuku Umar,

Jalan Alue Peunyareung, Kabupaten Aceh Barat

*email corresponding: pribadyo@utu.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
24/03/2024

Diterima:
Accepted
07/05/2024

Publikasi Online:
Online-Published
31/05/2024

ABSTRAK

Sistem suspensi ketika meredam kejutan coil spring mengalami tegangan yang dapat mempengaruhi umur pemakaian coil spring tersebut. Tujuan penelitian ini menganalisis distribusi tegangan yang terjadi pada coil spring roda depan minibus pada beban angkut divariasikan yaitu sebesar 1.185 kg, 1.395 kg dan 1.735 kg. Data regangan direkam menggunakan strain gauge pada coil spring, selanjutnya sinyal regangan tersebut diubah menjadi tegangan kemudian digunakan untuk menganalisis distribusi tegangan dengan Finite Elemen Method. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai distribusi tegangan meningkat seiring bertambahnya beban, artinya bahwa distribusi tegangan pada beban angkut 1.735 kg mengalami peningkatan sebesar 63 %. Selanjutnya untuk beban angkut 1.395 kg adalah sebesar 61 % dan pada beban angkut 1.185 kg adalah sebesar 39 % dari yield strength material SAE 5160. Dari ketiga variasi pembebanan yang diberikan didapati lokasi yang rawan terjadinya fatigue pada sisi dalam lilitan kedua bagian dalam dari atas coil spring.

Kata Kunci: pegas koil, sistem suspensi minibus, distribusi tegangan

ABSTRACT

The suspension system when dampening coil spring shocks experiences stress which can affect service life. The aim of this research is to analyze the stress distribution that occurs in the coil springs of the front wheels of minibuses at varying carrying loads, namely 1,185 kg, 1,395 kg and 1,735 kg. Strain data is recorded using a strain gauge on the coil spring, then the strain signal is converted into stress and then used to analyze the stress distribution using the Finite Element Method. The research results show that the stress distribution value increases as the load increases, meaning that the stress distribution at a carrying load of 1,735 kg increases by 63%. Furthermore, for a carrying load of 1,395 kg it is 61% and at a carrying load of 1,185 kg it is 39% of the yield strength of the SAE 5160 material. From the three variations in loading given, it was found that locations prone to fatigue occur on the inner side of the inner second winding from the top of the coil spring.

Keywords: coil spring, minibus suspension system, stress distribution.

©2024 The Authors. Published by
AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:

[10.53893/austenit.v16i1.8558](https://doi.org/10.53893/austenit.v16i1.8558)

1 PENDAHULUAN

Sistem suspensi pada mobil yang menghubungkan antara rangka dengan roda selain

sebagai tumpuan atau penahan berat kendaraan juga berfungsi untuk kestabilan dan meminimalkan perpindahan beban kejutan ke rangka dan bodi kendaraan (Taksande dan Vanalkar, 2015). Pegas

ulir adalah bagian dari sistem suspensi kendaraan merupakan elemen mesin *flexible* yang berfungsi menerima gaya dan torsi, menyimpan dan melepaskan energi dari gaya-gaya berupa nilai pantulan akibat beban yang diterima sehingga dapat memberikan keselamatan dan kenyamanan. (Iswordo, 2018), karenanya pegas ulir harus kuat terutama untuk menerima defleksi elastik, mengingat pegas ulir umumnya bekerja pada tegangan tinggi dan beban yang berbeda secara terus menerus (Associated Spring, Barnes Group Inc., 2005).

Namun dalam aplikasinya, ketika pegas ulir yang mengalami pembebanan secara terus menerus memungkinkan terjadinya kegagalan *fatigue* dan berakibat pada umur pemakaiannya (Imoro et al., 2023). Selain itu, apabila pegas ulir mengalami kegagalan secara tiba-tiba saat kendaraan melaju dengan kencang dapat menyebabkan hilangnya keseimbangan dan terjadinya kecelakaan yang tentunya sangat membahayakan bagi pengemudi dan pengguna jalan lainnya (Prawoto et al., 2008). Untuk itu, pemilihan material, *redesign* ataupun melakukan kajian baik secara eksperimen maupun komputasi terhadap ketangguhan komponen suspensi kendaraan penting dilakukan (Bash, 2011).

Penelitian pegas ulir sebelumnya telah dilakukan untuk kondisi jalan menurun maupun menanjak (Jagodang et al., 2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi jalan mempengaruhi prediksi kegagalan yaitu kondisi jalan menurun memberikan nilai distribusi tegangan sebesar 622 MPa. Pada penelitian yang dilakukan (Azhar et al., 2023) dengan memprediksi kecepatan kendaraan juga mempengaruhi nilai distribusi tegangan pada sistem suspensi pegas ulir yakni sebesar 649 MPa pada kecepatan 70 km/jam menggunakan metode FEM.

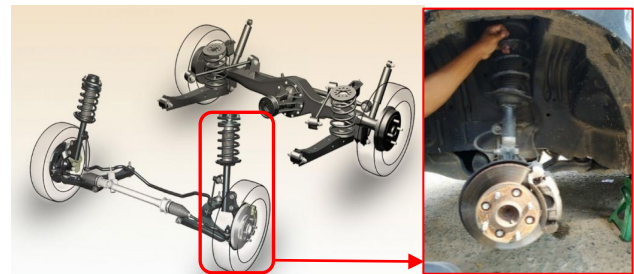
Pada penelitian (Putra et al., 2020), telah menganalisis tegangan pada pegas ulir. Dalam penelitian pegas ulir yang terbuat dari baja karbon SAE 5160 (nCode Glipworks, 2019), diberikan beban statis sebesar 3600 N. Pada lokasi tegangan maksimum yang dihasilkan dengan simulasi metode elemen hingga dengan menggunakan beban statis untuk beban kosong yang ditempelkan sebuah *strain gauge* pada *coil spring*. Pada beban angkut divariasikan sebesar 1.185 kg, 1.395 kg dan 1.735 kg. Beban 1.185 kg adalah berat yang didapatkan dari beban kosong kendaraan 1.045 kg ditambah 2 orang penumpang dengan perkiraan 70 kg/orang, selanjutnya beban 1.395 kg adalah berat yang didapatkan dari beban kosong kendaraan 1.045 kg ditambah 5 orang penumpang dengan perkiraan 70 kg/orang, kemudian beban 1.735 kg adalah berat yang didapatkan dari beban kosong kendaraan 1.045 kg ditambah 7 orang penumpang dengan perkiraan 70 kg/orang dan ditambah berat dari bagasi 200 kg. Hasil penelitian menyimpulkan

bahwa sinyal regangan memiliki panjang 60 detik dengan jumlah data sebanyak 30,000,

Mengingat pentingnya fungsi *coil spring* pada sistem suspensi kendaraan, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi beban angkut pada *coil spring* sistem suspensi minibus sebesar 1.185 kg, 1.395 kg dan 1.735 kg. Adapun distribusi tegangan dilakukan dengan metode elemen hingga dengan harapan tingkat kegagalan pada *coil spring* dapat diprediksi sehingga dapat meningkatkan umur pemakaian.

2. BAHAN DAN METODA

Dalam penelitian ini sistem suspensi pegas ulir pada minibus ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Sistem suspensi depan minibus (Toyota, 2021)

2.1 Komposisi kimia dan sifat mekanis material

Dalam penelitian pegas ulir depan minibus yang terbuat dari baja karbon SAE 5160 diberikan beban statis sebesar 3600 N. komposisi kimia dan Sifat mekanis dari baja karbon SAE 5160 ditampilkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon SAE 5160 (NCode, 2018)

Carbon	Chrome	Manganese	Molybdenum	Silicon	Vanadium
0.56	0.70	0.75 – 1.0 %	0.15 – 0.25 %	0.15	0.15 %
–	–			–	
0.64 %	0.90 %			0.30 %	

Tabel 2. Sifat mekanis baja karbon SAE 5160 (nCode Glipworks, 2019)

Properties	Values
Ultimate tensile strength, S_u [MPa]	1,584
Material modulus of elasticity, E [GPa]	207
Yield strength [MPa]	1,487
Fatigue strength coefficient, σ_f [MPa]	2,063

Fatigue strength exponent, <i>b</i>	-0.08
Fatigue ductility exponent, <i>c</i>	-1.05
Fatigue ductility coefficient, ϵ'_f	9.56
Cyclic strain-hardening exponent	0.05
Cyclic strength coefficient [MPa]	1,940
Poisson ratio	0.27

2.2 Perhitungan Tegangan

Hubungan panjang pegas dengan gaya yang dihasilkan sangat penting. Dimana panjang bebas L_f , adalah ketika pegas diasumsikan tidak diberi beban. Kemudian *solid*, L_s , didapatkan ketika pegas diberi beban penuh yang mengakibatkan semua lilitan pegas bersinggungan. Pada analisis yang dilakukan haris setiawan (Setiawan et al., 2022) menggunakan *software Geomagi* pada roda gigi heliks sangat optimal dengan membandingkan hasil eksperimen dan analisis secara simulasi, sementara analisis tegangan menggunakan FEM yang dilakukan (Chandra et al., 2021) hasil simulasi juga sangat akurat. Untuk material pegas ulir yang memiliki modulus elastisitas dan modulus geser rendah mempunyai 0,90 % sampai 1 % karbon (Robert 2004). secara teori tegangan utama dilambangkan dengan $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ dan untuk tegangan *equivalent* adalah σ_e , dengan demikian secara matematis σ_e dinyatakan dalam Pers 1.

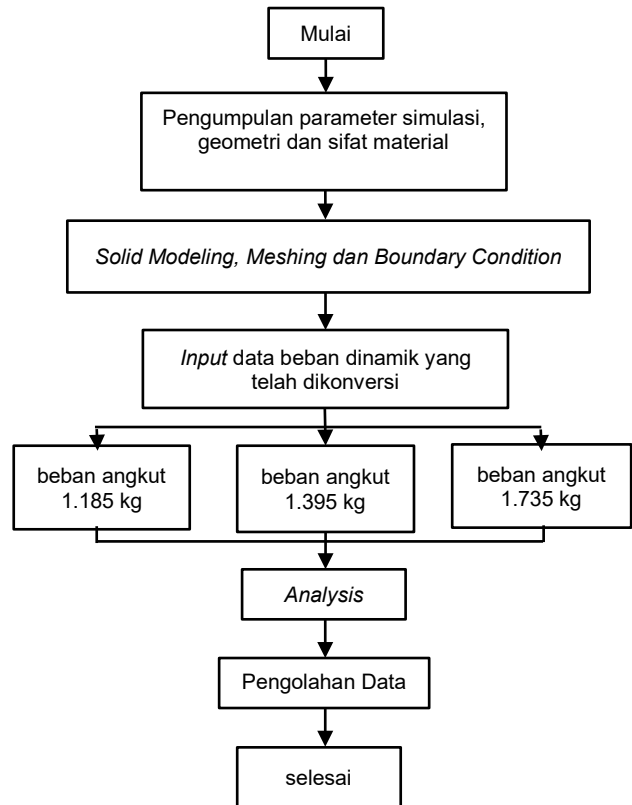
$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (1)$$

Menurut kriteria *von mises yield* terjadi ketika $\sigma_3 = \sigma_{ys}$ (tegangan luluh), dimana $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ merupakan tegangan utama dengan masing-masing pada arah x, y dan z, adapun arah x, y dan z diperoleh dengan mencari tiga buah akar seperti yang dinyatakan pada Pers 2.

$$\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\sigma^2 + (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2)\sigma - (\sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2) = 0 \quad (2)$$

dimana: $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ = komponen tegangan geser (N/m²)
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ = komponen tegangan normal pada arah sumbu x, y dan z (N/m²)

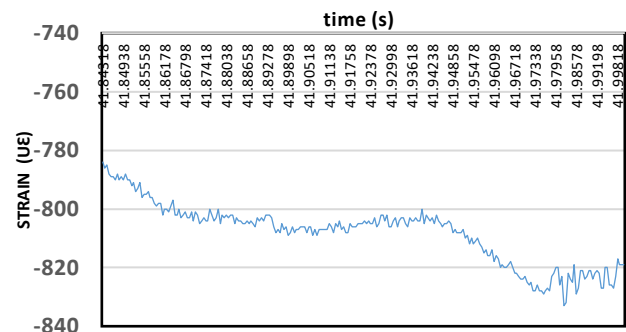
2.3 Proses Analisis



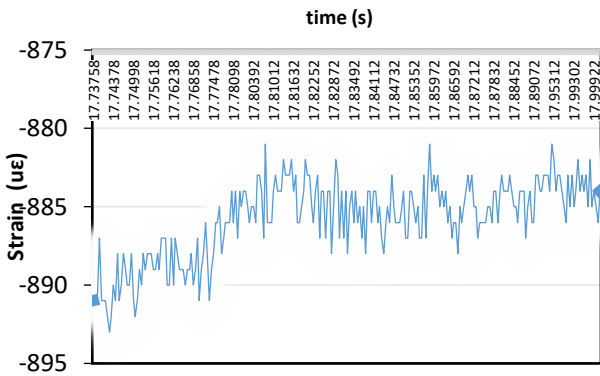
Gambar 2. Diagram alir proses analisis

2.4 Metode Analisis

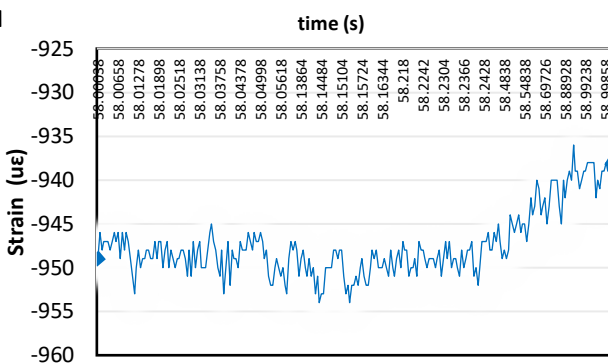
Analisis distribusi tegangan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan sinyal regangan yang diperoleh dari *strain gauge* yang ditempelkan pada *coil spring* sistem suspensi roda depan minibus tersebut yang telah ditunjukkan pada Gambar 3,4 dan 5 yang digunakan sebagai beban dinamik.



Gambar 3. Sinyal regangan dari beban angkut 1.185 Kg



Gambar 4. Sinyal regangan dari beban angkut 1.395 kg



Gambar 5. Sinyal regangan dari beban angkut 1.735 kg

Strain gauge dihubungkan ke National Instrument 9237 untuk merekam sinyal regangan yang diukur. Frekuensi untuk pengukuran sinyal regangan harus lebih besar dari 400 Hz. Oleh karena itu, sinyal regangan diukur pada frekuensi 500 Hz yang cukup untuk mendeteksi dan menyimpan semua siklus beban yang merusak.

Sinyal regangan tersebut sebelumnya harus diubah menjadi tegangan menggunakan persamaan (Ramberg & Osgood, 1943), yang dinyatakan sebagai berikut:

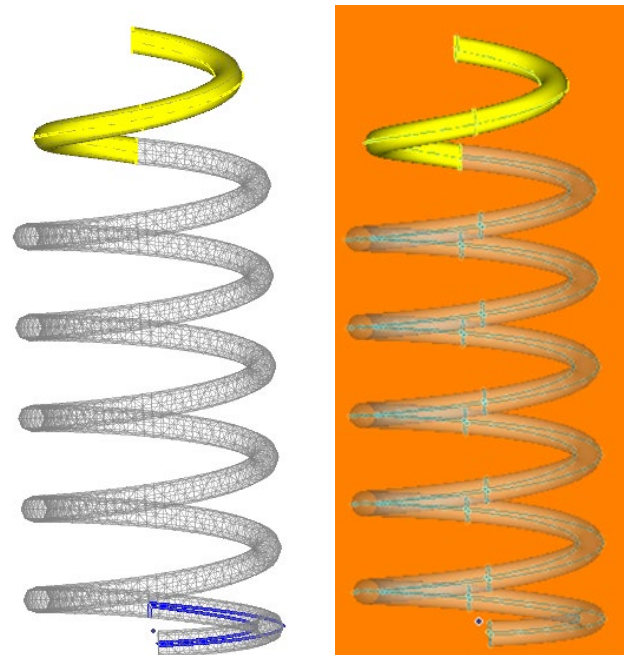
$$e = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K'}\right)^{1/n} \quad (3)$$

dimana ϵ adalah regangan yang berasal dari strain gauge, σ adalah tegangan, K' adalah koefisien kekuatan siklik, n adalah eksponen pengerasan regangan siklik dan E adalah modulus elastisitas, Nilai modulus elastisitas, eksponen pengerasan regangan siklik dan koefisien kekuatan siklik diambil dari Tabel 2. Tegangan kemudian dikonversi menjadi gaya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (4)$$

dimana σ adalah tegangan, P adalah gaya dan A_0 adalah luas penampang pegas ulir, 13 mm^2 .

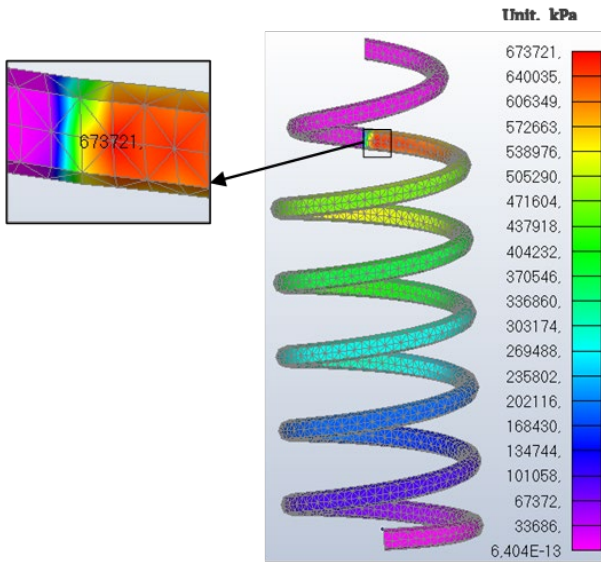
Gaya yang diperoleh dari Persamaan 3, diinput ke dalam aplikasi finite element method (FEA) FEMAP. Model coil spring dalam simulasi ini sama seperti model pada penelitian Putra et al. (Putra et al., 2020) digambar menggunakan solidwork. Dalam simulasi metode elemen hingga, model coil spring dibagi menjadi jaring-jaring atau elemen-elemen kecil (Aykan & Mehmet, 2009). Metode ini dapat digunakan untuk menganalisa beban statis dan dinamis serta linier dan non linier yang berbentuk jaring-jaring (mesh) dengan berbentuk kondisi batas dan besaran fisik tertentu (Putra & Husaini, 2018). Bentuk elemen yang digunakan dalam simulasi ini adalah tetrahedral. Untuk ukuran mesh yang digunakan adalah 0,2 mm. Setelah proses meshing dilakukan, diperoleh jumlah elemen sebanyak 16,447 dan nodal sebanyak 30,925. Gambar 6 menunjukkan meshing dan boundary condition (berwarna kuning) pada bagian atas, sementara force diberikan pada bagian bawah secara vertikal.



Gambar 6. Meshing dan boundary condition

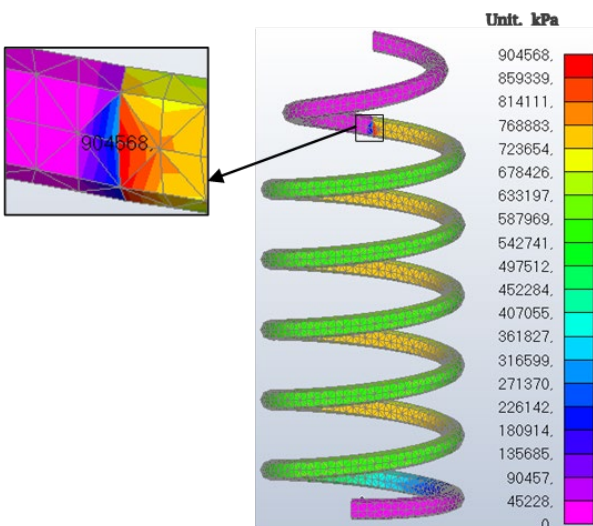
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi tegangan untuk masing-masing beban angkut 1.185 kg, 1.395 kg, dan 1.735 kg ditunjukkan pada Gambar 7, 8 dan 9 di bawah.



Gambar 7. Kontur distribusi tegangan pada beban angkut 1.185 kg

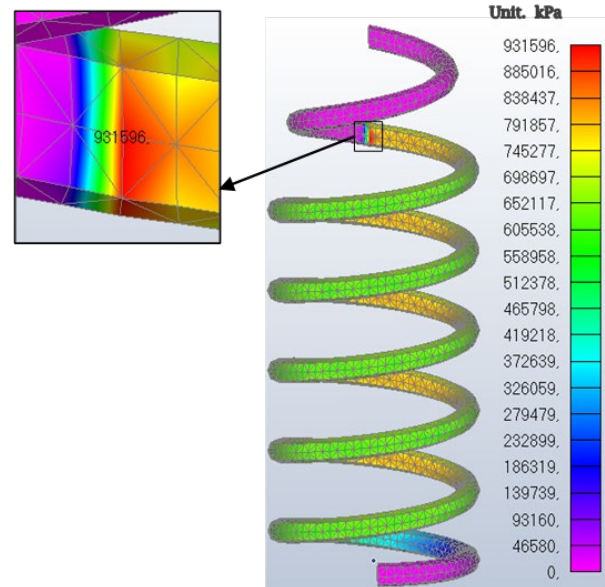
Titik kritis akibat beban dinamis berada pada bagian dalam lilitan kedua bagian dalam dari atas yang ditunjukkan dengan warna merah. Pada proses simulasi tersebut beban yang telah dikonversikan diberikan pada bagian bawah lilitan pertama *coil spring* kemudian *constraint* diberikan pada bagian atas lilitan pertama *coil spring*. Lokasi konsentrasi terjadinya tegangan sama dengan Simulasi FEA dilakukan oleh (Andoko, 2023), (Kumar, 2021) dimana untuk memperkuat hasil eksperimen berdasarkan nilai siklus pertumbuhan retak pada material.



Gambar 8. Kontur distribusi tegangan pada beban angkut 1.395 kg

Pegas kumparan menerima beban dinamis sebesar 1148,3 MPa yang dapat menyebabkan tumbuhnya retak hingga mencapai patah pada panjang retak (kritis) tertentu. Begitu juga dengan

hasil dari analisis yang dilakukan (Marjuni et al., 2023) dimana titik konsentrasi tegangan tertinggi juga berada pada lilitan kedua pada coil spring sebesar 542,8 MPa atau 36,5 % dari nilai kekuatan luluh material tersebut.

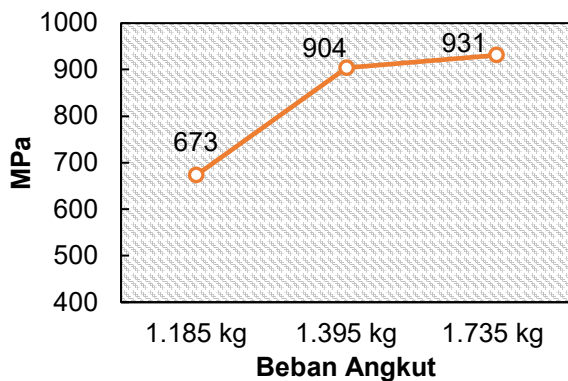


Gambar 9. Kontur distribusi tegangan pada beban angkut 1.735 kg.

Nilai distribusi tegangan maksimum yang terjadi setelah dilakukan analisis dengan *Finite Elemen Methode* hasilnya berbeda-beda. Untuk beban angkut 1.185 kg, tegangan maksimum yang terjadi sebesar 673.721 kPa atau 673 MPa. Untuk beban angkut 1.395 kg, tegangan maksimum adalah 904.558 kPa atau 904 MPa. Beban angkut 1.735 kg memberikan tegangan paling tinggi, yaitu 931.596 kPa atau 931 MPa. Dilihat dari ketiga kondisi variasi beban angkut tersebut adanya kenaikan nilai distribusi tegangan yang signifikan akibat jumlah beban angkut pada minibus tersebut. Hal ini tentunya tidak bisa dianggap remeh, meskipun pada beban angkut 1.185 dan 1.395 masih tergolong aman, sementara pada kondisi pembebanan 1.735 kg nilai distribusi tegangan yang terjadi sudah sangat mendekati dari nilai *yield strength* material SAE 5160 tersebut yaitu sebesar 931 MPa. Meskipun nilai distribusi tegangan yang terjadi masih berada di bawah *yield strength* material, akan tetapi nilai distribusi tegangan tersebut dapat menyebabkan kerusakan akibat *fatigue* pada *coil spring*. Alasan ini dapat dikatakan karena kerusakan *fatigue* dapat terjadi pada suatu komponen yang mengalami pembebanan secara terus menerus walaupun nilai tegangan yang terjadi masih berada di bawah nilai *yield strength* material tersebut.

Tabel 3. Nilai distribusi tegangan yang terjadi pada 3 variasi beban angkut

Beban Angkut (Kg)	Solid Von Mises Stress (kPa)	Solid Von Mises Stress (MPa)	Yield Strength material (MPa)	Factor of Safety
1.185	673.721	673	1,487	2,2
1.395	904.558	904	1,487	1,6
1.735	931.596	931	1,487	1,5

**Gambar 10.** Grafik hubungan distribusi tegangan terhadap beban angkut

Pada Gambar 10 terlihat bahwa tegangan yang terjadi pada sistem suspensi *coil spring* roda depan minibus pada beban angkut dengan variasi 1.185 kg, 1.395 kg, dan 1.735 kg, maka pengaruh pemberian beban angkut yang berlebih dari yang telah dianjurkan pabrikan minibus tersebut yaitu seharusnya, 1.585 kg, akan tetapi diberikan beban angkut sebesar 1.735 kg maka sudah jelas sekali muatannya berlebih sebesar 150 kg dari yang ditetapkan. Besaran nilai distribusi tegangan yang terjadi dari beban angkut 1.735 kg sebesar 931,596 MPa, atau sebesar 63 % dari *yield strength* material SAE 5160 sebesar 1,487 MPa. Namun demikian, bila ditinjau dari *yield strength* material nilai distribusi tegangan masih berada dibawah 1,487 MPa akan tetapi jika terjadi secara terus menerus akan mengakibatkan *fatigue* pada *coil spring* tersebut sehingga hal-hal buruk bisa terjadi jika tiba-tiba terjadi seperti retak dan patah pada *coil spring* tersebut. Maka dapat disimpulkan pemberian beban angkut berlebih berpengaruh terhadap peningkatan nilai distribusi tegangan yang terjadi pada *coil spring* dan berpotensi menyebabkan kegagalan maka hasil dari analisis ini menganjurkan agar pengemudi harus menjaga agar muatan tidak mengangkut beban lebih dari yang dianjurkan pabrikan tersebut demi menjaga keselamatan pengendara minibus tersebut serta mencegah terjadinya kerugian secara ekonomi.

4. KESIMPULAN

Nilai distribusi tegangan meningkat seiring bertambahnya beban. Hal ini menunjukkan dimana kondisi pemberian beban angkut bervariasi sangat berpengaruh terhadap nilai distribusi tegangan yang terjadi pada *coil spring*, artinya bahwa semakin banyak jumlah beban yang diangkut minibus tersebut maka semakin besar nilai distribusi tegangan pada *coil spring*. Setelah dilakukan analisis kondisi pemberian beban angkut berlebih dari yang dianjurkan pabrikan minibus tersebut berdampak pada usia pakai komponen serta sangat membahayakan bagi keselamatan penumpang. Jika hal tersebut terjadi secara terus menerus akan mengakibatkan *fatigue* yang nantinya berpotensi menyebabkan kegagalan yang tidak dapat diprediksi nantinya, sehingga sangat merugikan secara ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andoko, R. R. D. A. (2023). Coil Spring Failure Analysis Reviewed from Residual Stress, Crystal Orientation, and Texture. *Automotive Experiences*, 6(3), 8.
- Associated Spring, Barnes Group Inc., 1981 - Technology & Engineering. (2005). *Engineering Guide to Spring Design*.
- Aykan, M., & Mehmet, C. (2009). *Vibration fatigue analysis and multi-axial effect in testing of aerospace structures*. 23, 897–907. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2008.08.006>
- Azhar, Husaini, & Edisah Putra, T. (2023). *Stress Analysis on an Automotive Coil Spring Due to Speed Effect BT - Proceedings of the 3rd International Conference on Experimental and Computational Mechanics in Engineering* (Akhyar, S. Huzni, & M. Iqbal (eds.); pp. 148–153). Springer Nature Singapore.
- Bash, A. M. (2011). Design lower arm using optimum approach. *Modern Applied Science*, 5(1), 56–67. <https://doi.org/10.5539/mas.v5n1p56>
- Chandra, H., Pratama Putra, D., Studi Magister, P., Teknik Mesin, J., Sriwijaya, U., Negeri Sriwijaya Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang, P., & Selatan, S. (2021). Investigasi Tegangan Pada Poros Bertingkat Menggunakan Metode Elemen Hingga Berbasis Computer Aided Engineering. *Jurnal Austenit*, 13(1), 23–27. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4747728>
- Imoro, I., Nkrumah, J. K., Ziblim, B., & Mohammed, A.-H. (2023). Analysis of the Material Properties of Vehicle Suspension Coil Spring.

- World Journal of Engineering and Technology*, 11(04), 827–858. <https://doi.org/10.4236/wjet.2023.114056>
- Isworo, H. (2018). *Mekanika Kekuatan Material I*. 149.
- Jagodang, H., Husaini, H., Putra, T. E., & Schramm, D. (2021). Stress Analysis on an Automotive Coil Spring Driven on Flat, Uphill, and Downhill Road Surfaces. *Advanced Technologies in Material Processing II*, 892, 124–128. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KE.M.892.124>
- Kumar, D. (2021). *Durability Analysis of Helical Coil Spring in Vehicle Suspension Systems*.
- Marjuni, T., Husaini, & Edisah Putra, T. (2023). Stress Analysis on the Lower Arm and Coil Spring of an Automotive Due to Dynamic Loadings. In Akhyar, S. Huzni, & M. Iqbal (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Conference on Experimental and Computational Mechanics in Engineering* (pp. 154–160). Springer Nature Singapore.
- Mott Robert L. (2004). *Timur 1*. Elemen-elemen Mesin Dalam Perancangan Mekanis.
- NCode, G. (2018). *nCode International, Ltd., Sheffield*. 1–3.
- nCode Glipworks. (2019). *Core Functionality for Durability Analysis*.
- Prawoto, Y., Ikeda, M., Manville, S. K., & Nishikawa, A. (2008). Design and failure modes of automotive suspension springs. *Engineering Failure Analysis*, 15(8), 1155–1174. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanalysis.2007.11.003>
- Putra, T. E., & Husaini. (2018). Identifying strain signal characteristics of automotive suspension system subjected to road surface vibrations. *AIP Conference Proceedings*, 1983. <https://doi.org/10.1063/1.5046239>
- Putra, T. E., Husaini, & Prakasa, H. (2020). *Prediction of the Fatigue Life of the SAE 5160 Carbon Steel Coil Spring Based on Strain-Life Approach*. 841, 381–386.
- Ramberg, W., & Osgood, W. R. (1943). (31)_Ramberg_1943.pdf.
- Setiawan, H., Pratama, A., Rina, & Diratama, M. Y. (2022). Model 3D Roda Gigi Heliks Berbasis Script Menggunakan Software Autodesk Fusion 360. *Rotasi*, 24(1), 8–15.
- Taksande, S. P., & Vanalkar, A. V. (2015). Design, Modeling and Failure Analysis of Car Front Suspension Lower Arm. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 2(01), 235–249.
- Toyota-Astra Motor. (2021). *PROJECT . B Sistem Suspensi Mobil (Car Suspension*. 1–8.