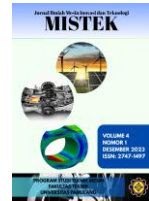




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS KEKUATAN SUSPENSİ BELAKANG DAN PEGAS DAUN DENGAN VARIASI BEBAN STATIS PADA PROTOTİPE MOBİL LISTRIK KTM UNPAM

Wicaksono Iman Triadi¹, Abdul Choliq², Nur Rohmat³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : wicaksonoit28@gmail.com¹, dosen02127@unpam.ac.id², dosen00597@unpam.ac.id³

Masuk : 12 Oktober 2023

Direvisi : 02 November 2023

Disetujui : 24 November 2023

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah untuk menelaah performa sistem suspensi belakang serta daya tahan pegas daun pada prototipe mobil listrik Teknik Mesin Universitas Pamulang (UNPAM) dengan variasi beban statis sebesar 250 kg, 400 kg, 550 kg, dan 700 kg. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan eksperimental dengan menghitung gerak translasi pada suspensi, beban statis kendaraan, serta melakukan analisis kekuatan pada pegas daun berdasarkan berbagai variasi pembebanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan tegangan dan kapasitas kekuatan pegas daun pada tiap variasi beban. Proses penelitian dilakukan melalui analisis dimensi mobil listrik, pemberian variasi beban, pengambilan data, dan perhitungan hasil pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan beban dari 250 kg ke 700 kg berbanding lurus dengan peningkatan gaya dari 33,75 N hingga 90 N. Distribusi beban pada suspensi belakang roda kiri dan kanan menunjukkan keseimbangan dalam menopang muatan. Berdasarkan hasil perhitungan, pada beban 250 kg diperoleh tegangan sebesar 27,463 N/mm, defleksi 72 N/mm, dan *momen bending* 38,677 N/mm. Sedangkan pada beban 700 kg, tegangan meningkat menjadi 73,235 N/mm, defleksi 192 N/mm, dan *momen bending* 103,140 N/mm. Secara keseluruhan, semakin besar variasi beban, semakin tinggi nilai gaya, tegangan, defleksi, dan *momen bending* yang terjadi. Dengan demikian, daya angkut yang meningkat menyebabkan deformasi pada suspensi belakang dan pegas daun, menjauh dari posisi normal antar mata pegas daun.

Kata Kunci: Kekuatan, Gaya, Tegangan, Beban Maksimal, Pegas Daun.

Abstract: The purpose of this study is to examine the performance of the rear suspension system and the durability of the leaf spring on the electric car prototype developed by the Mechanical Engineering Department of Pamulang University (UNPAM) under static load variations of 250 kg, 400 kg, 550 kg, and 700 kg. The research employs an experimental approach by measuring the translational motion of the suspension, the vehicle's static load, and conducting strength analysis of the leaf spring under different loading variations. This study aims to identify the changes in stress and strength capacity of the leaf spring for each load variation. The research process includes dimensional analysis of the electric car, application of varied loads, data collection, and result calculation. The findings indicate that the increase in load from 250 kg to 700 kg is directly proportional to the rise in force from 33.75 N to 90 N. The load distribution on the left and right rear suspensions shows balanced performance in supporting the weight. Based on the calculations, at a 250 kg load, the stress is 27.463 N/mm, the deflection is 72 N/mm, and the bending moment is 38.677 N/mm. Meanwhile, at a 700 kg load, the stress rises to 73.235 N/mm, the deflection to 192 N/mm, and the bending moment to 103.140 N/mm. Overall, greater load variations result in higher values of force, stress, deflection, and bending moment. Therefore, an increase in carrying capacity causes deformation in the rear suspension and leaf spring, deviating from the normal spacing between the leaf spring eyes.

Keywords: Strength, Force, Stress, Maximum Load, Leaf Spring.

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada era globalisasi saat ini telah mendorong berbagai upaya pembaruan dalam bidang rekayasa dan inovasi industri. Kemajuan ini menuntut segala aspek kehidupan manusia untuk bergerak lebih cepat, efisien, dan terintegrasi secara digital. Perubahan tersebut tidak hanya terlihat pada sektor komunikasi dan informasi, tetapi juga pada bidang transportasi, energi, dan manufaktur, di mana teknologi modern menjadi kunci utama

dalam meningkatkan produktivitas serta kualitas hidup masyarakat. Salah satu sektor yang paling terdampak oleh revolusi industri 4.0 atau era digitalisasi adalah industri otomotif, di mana penerapan teknologi modern menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi energi, keselamatan, serta kenyamanan berkendara [1].

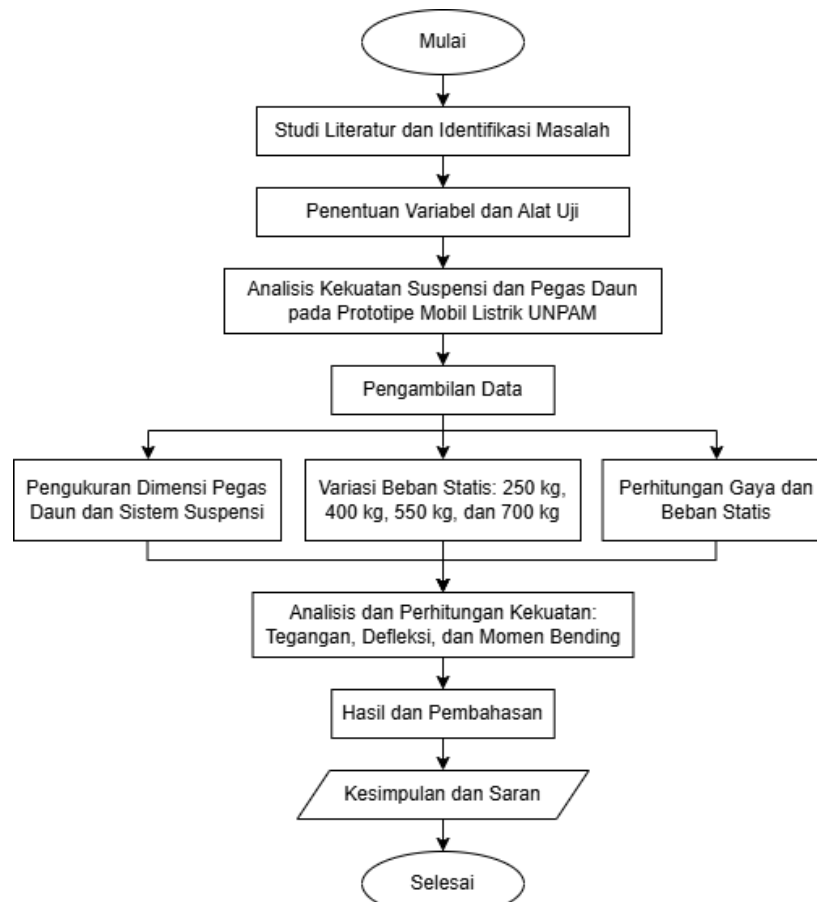
Sebagai bentuk kontribusi terhadap perkembangan kendaraan ramah lingkungan, Universitas Pamulang melalui Program Studi Teknik Mesin melakukan riset dan analisis terhadap pengembangan mobil listrik sebagai salah satu langkah awal menuju inovasi transportasi berkelanjutan di Indonesia. Penelitian ini juga menjadi wadah pembelajaran bagi mahasiswa dalam menerapkan teori kepraktisan teknik kendaraan, sekaligus mendukung visi pengembangan mobil listrik nasional yang efisien, kompetitif, dan mampu bersaing di pasar global.

Salah satu sistem penting dalam perancangan kendaraan, khususnya *mobil listrik*, adalah sistem suspensi [2], [3]. Sistem ini berfungsi sebagai penghubung antara rangka kendaraan dengan roda untuk meredam getaran dan guncangan akibat kondisi permukaan jalan, sehingga memberikan stabilitas dan kenyamanan bagi pengemudi [4]. Kenyamanan yang ideal ditandai dengan kemampuan kendaraan dalam meredam getaran tanpa menyebabkan kelelahan pada pengendara [5].

Dalam konteks kendaraan multiguna, kondisi jalan yang dilalui tidak hanya terbatas pada area perkotaan, tetapi juga mencakup jalan pedesaan dengan karakteristik permukaan yang bervariasi [6], [7]. Selain itu, beban angkut yang berubah-ubah akibat penggunaan *box* atau muatan yang berbeda menuntut sistem suspensi memiliki ketahanan dan fleksibilitas yang optimal [8]. Oleh karena itu, diperlukan analisis mendalam terhadap performa suspensi, terutama pada bagian belakang dan pegas daun, untuk memastikan sistem mampu menyesuaikan diri dengan variasi beban tanpa mengorbankan kenyamanan dan keamanan berkendara.

METODOLOGI

Diagram alir pada penelitian ini menjelaskan tahapan sistematis dalam menganalisis kekuatan suspensi belakang dan pegas daun pada prototipe *mobil listrik* Teknik Mesin Universitas Pamulang (UNPAM) dengan variasi beban statis yang dapat dilihat pada Gambar 1. Setiap tahap memiliki fungsi dan tujuan yang saling berkaitan untuk memperoleh hasil analisis yang akurat.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Perencanaan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan studi literatur terkait sistem suspensi dan pegas daun, termasuk prinsip kerja, karakteristik material, dan teori dasar tentang beban statis. Selain itu, peneliti juga menentukan variabel penelitian, alat ukur yang digunakan, serta menyiapkan desain prototipe *mobil listrik* yang akan diuji. Tujuannya agar penelitian memiliki landasan teoritis dan arah eksperimen yang jelas.

Analisis Kekuatan Suspensi dan Pegas Daun pada Prototipe Mobil Listrik UNPAM

Tahap ini merupakan inti dari penelitian, di mana peneliti menganalisis sistem suspensi belakang dan pegas daun sebagai objek uji. Analisis dilakukan untuk mengetahui bagaimana perubahan beban statis memengaruhi kinerja sistem suspensi.

Pengambilan Data

Proses pengambilan data meliputi tiga kegiatan utama:

1. Pengukuran dimensi komponen suspensi dan pegas daun untuk menentukan parameter perhitungan seperti panjang, tebal, dan lebar daun pegas.
2. Pemberian variasi beban statis sebesar 250 kg, 400 kg, 550 kg, dan 700 kg pada kendaraan. Tujuannya untuk melihat perubahan gaya, defleksi, serta tegangan yang timbul.
3. Perhitungan beban statis dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dan pengamatan pada setiap variasi beban.

Analisis dan Perhitungan Kekuatan

Analisis dan perhitungan kekuatan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara variasi beban statis terhadap tegangan, defleksi, dan *momen bending* yang terjadi pada sistem suspensi belakang serta pegas daun. Perhitungan dilakukan berdasarkan prinsip statika dan mekanika bahan dengan menggunakan beberapa persamaan dasar berikut:

1. Perhitungan Gaya pada Suspensi Belakang

Gaya yang bekerja pada suspensi belakang dihitung berdasarkan keseimbangan momen dan gaya vertikal pada masing-masing tumpuan. Untuk kondisi gaya ke-1 dan gaya ke-2, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sum MC = 0 \text{ dan } \sum MA = 0$$

Sehingga diperoleh:

$$F_1(L_1 + L_2) + \frac{1}{2}F_B L_2 = 0$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \frac{F_B L_2}{L}$$

$$F_2 = \frac{1}{2} F_B - F_1$$

Hasil dari perhitungan ini digunakan untuk mengetahui besarnya gaya reaksi pada setiap sisi suspensi belakang.

2. Perhitungan Pegas Daun

Analisis kekuatan pegas daun mencakup beberapa parameter utama yaitu tegangan, defleksi, momen bending, dan kekakuan pegas (*spring stiffness*). Persamaan yang digunakan merujuk pada teori mekanika bahan sebagai berikut:

- **Tegangan (σ)**

$$\sigma = \frac{6WL}{nh^2b}$$

dimana:

W = beban (N)

L = panjang efektif pegas (mm)

n = jumlah lapisan daun

h = tebal pegas (mm)

b = lebar pegas (mm)

- **Defleksi (δ)**

$$\delta = \frac{12WL^3}{nEbh^3}$$

dengan E adalah modulus elastisitas material pegas.

- **Momen Bending (M)**

$$M = W \times L$$

- **Kekakuan Pegas (K)**

$$K = \frac{F}{\Delta}$$

di mana Δ adalah perubahan panjang akibat pembebanan.

Hasil perhitungan dari tiap variasi beban (250 kg, 400 kg, 550 kg, dan 700 kg) menunjukkan adanya peningkatan nilai gaya, tegangan, defleksi, dan *momen bending* seiring bertambahnya beban statis. Nilai ini menjadi indikator kemampuan suspensi belakang dan pegas daun dalam menahan beban secara optimal.

Hasil dan Pembahasan

Tahap ini berisi interpretasi hasil perhitungan serta pembahasan mengenai hubungan antara variasi beban dengan perubahan gaya, tegangan, defleksi, dan *momen bending*. Analisis dilakukan untuk menjawab pertanyaan penelitian serta membandingkan hasil dengan teori yang relevan.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, disusun kesimpulan mengenai pengaruh variasi beban terhadap kekuatan suspensi belakang dan pegas daun. Tahap ini juga mencakup saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, misalnya penggunaan material pegas yang berbeda atau pengujian pada kondisi jalan yang lebih beragam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

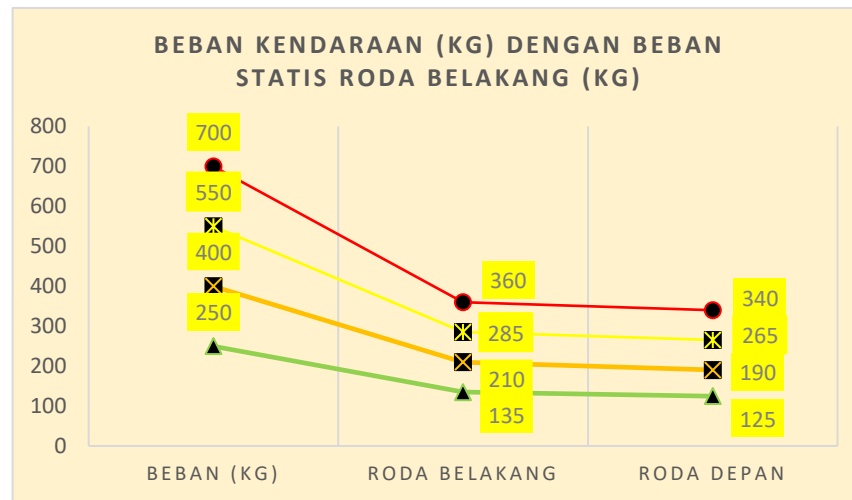
Analisis Hasil Suspensi Belakang

Setelah dilakukan perhitungan terhadap beban statis dan gaya radial pada F_1 dan F_2 (sistem suspensi belakang), diperoleh hasil pengujian berdasarkan variasi beban kendaraan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Suspensi Belakang

Beban Kendaraan (kg)	Beban Statis Kendaraan (kg)		Gaya Suspensi Belakang (N)	
	Roda Belakang	Roda Depan	F_1	F_2
250	135	125	33,75	33,75
400	210	190	52,50	52,50
550	285	265	71,25	71,25
700	360	340	90,00	90,00

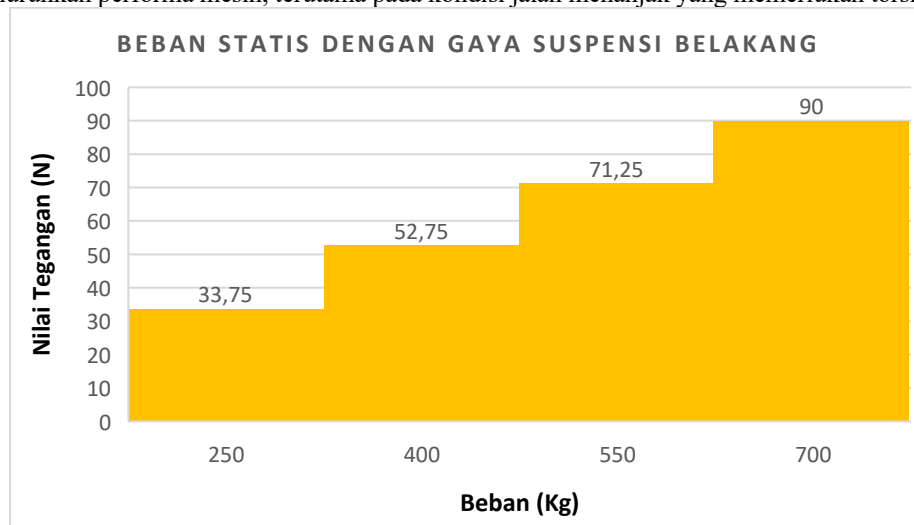
Dari tabel di atas terlihat bahwa terdapat persamaan kedua gaya dan semua variabel beban memiliki gaya yang sama. Kemudian terdapat peningkatan beban kendaraan berbanding lurus dengan kenaikan gaya yang bekerja pada suspensi belakang. Pada kondisi beban 250 kg, gaya yang terbentuk adalah 33,75 N, sedangkan pada beban maksimum 700 kg, gaya meningkat menjadi 90 N. Perbandingan antara beban kendaraan dan beban statis roda belakang divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Beban Kendaraan terhadap Beban Roda Belakang

Berdasarkan hasil pengamatan, distribusi beban menunjukkan bahwa sebagian besar massa kendaraan terkonsentrasi pada bagian belakang. Hal ini disebabkan oleh desain *mobil listrik* UNPAM yang difungsikan sebagai kendaraan multiguna untuk mengangkut muatan berat. Akibatnya, beban pada roda belakang lebih besar dibandingkan dengan roda depan.

Namun demikian, pada pembebanan 700 kg, nilai tersebut telah melebihi kapasitas maksimal kendaraan yang direkomendasikan, yaitu 600 kg. Kondisi ini dapat menimbulkan risiko penurunan keamanan dan kenyamanan, seperti meningkatnya kemungkinan deformasi pegas dan keausan dini pada sistem suspensi. Selain itu, kelebihan beban berpotensi menurunkan performa mesin, terutama pada kondisi jalan menanjak yang memerlukan torsi besar.



Gambar 2. Hubungan Beban Statis terhadap Gaya Suspensi Belakang

Grafik hubungan beban statis kendaraan terhadap gaya suspensi menunjukkan pola linear, di mana setiap kenaikan beban menghasilkan peningkatan gaya proporsional. Pada beban 250 kg, gaya yang dihasilkan sebesar 33,75 N, sedangkan pada 700 kg meningkat menjadi 90 N. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem suspensi bekerja secara konsisten terhadap variasi pembebanan, namun beban di atas batas desain dapat menurunkan umur pakai komponen. Dengan demikian, pembatasan beban sesuai kapasitas pabrikan perlu dijaga agar sistem suspensi tetap berfungsi optimal dan aman digunakan.

Analisis Hasil Pegas Daun

Perhitungan pada pegas daun menghasilkan parameter tegangan, defleksi, *momen bending*, dan kekakuan pegas sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Pegas Daun

Beban Kendaraan (kg)	Tegangan (N/mm ²)	Defleksi (mm)	Momen Bending (Nmm)	Kekakuan Pegas (N/mm)
250	27,463	72	38,677	1,87
400	42,720	112	60,165	1,87
550	52,485	152	81,652	1,87
700	73,235	192	103,140	1,87

Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai tegangan dan defleksi meningkat seiring bertambahnya beban kendaraan, sedangkan kekakuan pegas (*spring stiffness*) tetap konstan pada 1,87 N/mm.

1. Tegangan dan Defleksi

Hubungan antara beban kendaraan dan tegangan pegas daun ditunjukkan pada Gambar 3. Tegangan merupakan gaya dalam yang timbul akibat beban luar yang bekerja pada material elastis. Peningkatan beban dari 250 kg hingga 700 kg menyebabkan kenaikan tegangan dari 27,463 N/mm² menjadi 73,235 N/mm². Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima, semakin besar pula gaya internal yang harus ditahan oleh material pegas daun.



Gambar 3. Hubungan Beban Kendaraan terhadap Tegangan Pegas Daun

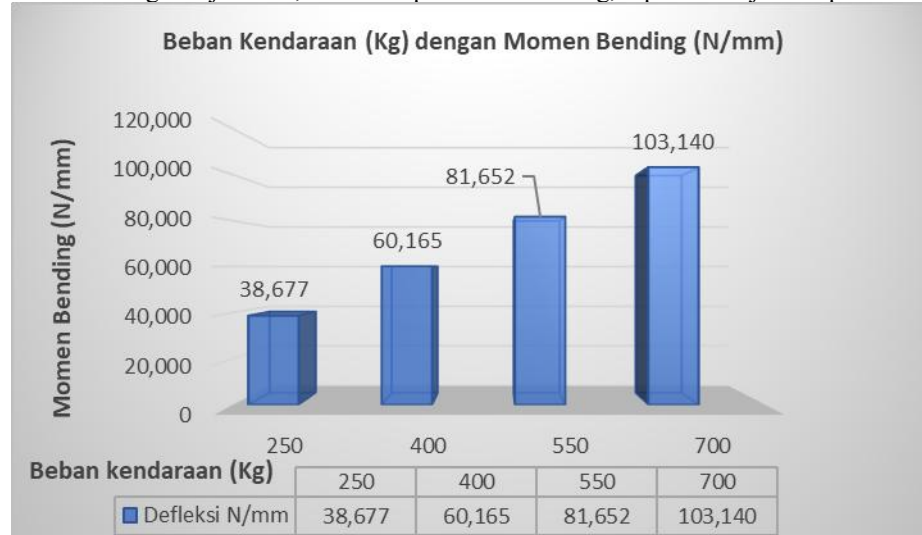
Sementara itu, Gambar 4 memperlihatkan hubungan beban kendaraan terhadap defleksi pegas daun. Nilai defleksi meningkat dari 72 mm pada beban 250 kg menjadi 192 mm pada beban 700 kg. Peningkatan ini menandakan bahwa batang pegas mengalami pergeseran yang semakin jauh dari posisi awal, menunjukkan respons elastis terhadap pembebanan yang terus bertambah.



Gambar 4. Hubungan Beban Kendaraan terhadap Defleksi Pegas Daun

2. Momen Bending

Momen bending atau momen lentur merupakan reaksi tekukan akibat gaya eksternal yang bekerja tegak lurus terhadap batang. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *momen bending* meningkat secara signifikan dari 38,677 Nmm pada beban 250 kg menjadi 103,140 Nmm pada beban 700 kg, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

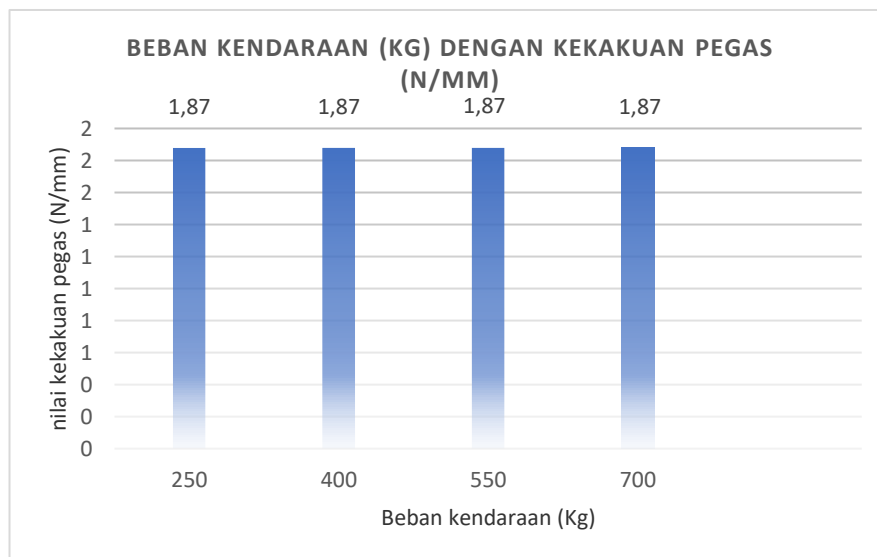


Gambar 5. Hubungan Beban Kendaraan terhadap Momen Bending

Kenaikan *momen bending* sejalan dengan peningkatan beban kendaraan, yang menunjukkan bahwa komponen pegas daun mengalami gaya lentur yang semakin besar. Jika nilai ini melebihi batas elastis material, risiko deformasi permanen atau kegagalan struktural dapat terjadi.

3. Kekakuan Pegas

Kekakuan pegas (*spring constant*) menunjukkan kemampuan pegas dalam menahan deformasi akibat beban luar. Berdasarkan hasil pengujian, nilai kekakuan pegas konstan pada 1,87 N/mm di seluruh variasi beban (250–700 kg), sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 6. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik elastis material masih berada dalam batas linear Hookean, sehingga tidak terjadi perubahan signifikan terhadap nilai konstanta pegas.



Gambar 6. Hubungan Beban Kendaraan terhadap Kekakuan Pegas

Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa peningkatan beban kendaraan menyebabkan kenaikan gaya, tegangan, defleksi, dan *momen bending* pada sistem suspensi belakang dan pegas daun. Namun, kekakuan pegas tetap konstan dalam rentang pembebanan yang diuji. Hal ini menandakan bahwa material pegas masih berperilaku elastis dalam batas aman. Meskipun demikian, pembebanan di atas 600 kg mulai mendekati batas kritis desain prototipe. Apabila kendaraan terus dioperasikan pada beban tersebut, risiko penurunan performa suspensi, deformasi material, serta kerusakan struktural akan meningkat. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan untuk penentuan kapasitas beban maksimum dan perancangan ulang sistem suspensi pada *mobil listrik* UNPAM agar lebih adaptif terhadap beban multiguna.

KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem suspensi belakang pada *mobil listrik* Teknik Mesin UNPAM menggunakan tipe *rigid axle beam*, di mana beban pada satu roda memengaruhi roda lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi beban 250 kg, 400 kg, dan 550 kg masih berada dalam batas aman sesuai standar pabrikan. Namun, pada beban 700 kg terjadi peningkatan tegangan dan defleksi yang melebihi batas maksimal, sehingga berisiko menyebabkan kerusakan suspensi dan patahnya pegas daun. Oleh karena itu, kapasitas beban optimal direkomendasikan tidak lebih dari 600 kg agar keamanan dan kenyamanan tetap terjaga.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian secara dinamis agar diperoleh karakteristik suspensi yang lebih realistis terhadap kondisi jalan sebenarnya. Selain itu, perlu dilakukan analisis material alternatif pada pegas daun guna meningkatkan ketahanan terhadap beban berat tanpa mengurangi kenyamanan berkendara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sonntag, J. Mehmman, and F. Teuteberg, "Application of Industry 4.0 in the automotive sector," *Proc. Hambg. Int. Conf. Logist.*, no. 31, pp. 151–182, Dec. 2021, doi: 10.15480/882.3989.
- [2] A. Aboazoum, "An Overview of the most Common Vehicle Suspension Problems," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 2, no. 3, pp. 120–124, Aug. 2022, doi: 10.47709/brilliance.v2i3.1655.
- [3] Y. Mei, R. Wang, R. Ding, and Y. Jiang, "Classification Evolution, Control Strategy Innovation, and Future Challenges of Vehicle Suspension Systems: A Review," *Actuators*, vol. 14, no. 10, pp. 1–33, 2025. doi: 10.3390/act14100485.
- [4] Z. Wang, C. Liu, X. Zheng, L. Zhao, and Y. Qiu, "Advancements in Semi-Active Automotive Suspension Systems with Magnetorheological Dampers: A Review," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 17, pp. 1–23, 2024. doi: 10.3390/app14177866.
- [5] P. Lantoine *et al.*, "Car seat impact on driver's sitting behavior and perceived discomfort during prolonged real driving on varied road types," *PLoS One*, vol. 16, no. 11, p. e0259934, Nov. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0259934.
- [6] S. A. Patil and I. D. More, "On-Road Ride Comfort Test and Simulation Analysis of Passenger Cars with Emphasis on Indian Suburban and Rural Road Conditions." SAE International, 2016. doi: 10.4271/2016-01-1680 UI - 2016-01-1680.
- [7] D. Dacova, "Ride comfort in road vehicles: a literature review," *Trans Motauto World*, vol. 6, no. 2, pp. 65–69, 2021.
- [8] A. G, A. H, E. V, M. G. T, P. L, and S. B. M, "Design of Variable Adaptive Suspension – A Review," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 5S, pp. 369–372, 2021.