

ANALISIS PENGARUH GAYA TERHADAP *FATIGUE LIFE* BAJA STRUKTURAL PADA PEGAS DAUN MENGGUNAKAN ANALISIS ELEMEN HINGGA

Amirin Kusmiran¹ dan Muh. L. Said¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar
email: amirin.kusmiran@uin-alauddin.ac.id, muhammadsaidlanto83@gmail.com

Abstract: Leaf spring is one of a component of the vehicle which is used to vibration damping caused by the force. Some of case that occur in the vehicle namely overload where this case can affect to fatigue life of steel leaf spring. One of method that is use to fatigue life prediction is the high fatigue cycle, and this method can be simulated by a finite element method. The numbers of both elements and nodes that have been used in this research are 6961 elements and 14726 nodes, respectively. The magnitude of the force that is applied to prediction fatigue life of leaf spring are 80 KN, 100 KN, and 200 KN. Based of the finite element analysis, fatigue life of the force 80 KN longer than force 200 KN and 200 KN was obtained which is a desired 10^6 cycle. Also, the critical value of the fatigue life 80 KN is smaller than 100 KN, and 200 KN. As such, the force 80 KN is a recommended as an allowed force which use to vehicle. This value is validated by safety factor analysis where the force allowed as 80 KN with safety factor equal to 2.56.

Keywords: force, fatigue life, finite element analysis.

1. PENDAHULUAN

Baja merupakan salah satu material dengan tingkat kekuatan dan kekerasan dapat dirancang. Hal ini disebabkan oleh komposisi dari baja merupakan campuran dari besi dan karbon dengan sifat *ductile*. Oleh karena itu, baja sering diaplikasikan di industri otomotif sebagai penyangga beban seperti pegas daun yang digunakan di bus, mobil, truk, dan lain-lain. Khususnya pada bus dan truk, beban yang digunakan sering melebihi kapasitas penampungan (*overload*) sebagaimana yang telah ditetapkan oleh dinas perhubungan. Kelebihan kapasitas (*overload*) pembebanan tersebut dapat mempercepat umur lelah dari pegas daun baja. Pembebanan *overload* yang berlangsung secara terus-menerus akan memberikan tekanan yang berubah-ubah pada baja pegas daun (Kong et al., 2016). Tekanan inilah yang akan menyebabkan terjadinya retakan. Selanjutnya, penyebaran retakan secara seragam ke segala arah akan mengakibatkan terjadi patahan. Peristiwa ini dapat berbahaya terhadap keselamatan pada saat berlalu lintas. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan mengetahui batas tekanan atau gaya maksimal yang dapat diredam oleh baja pegas daun. Tekanan maksimal yang dapat diterima oleh baja pegas daun dapat dilakukan secara eksperimen dengan pengujian di laboratorium seperti uji Vickers sebagaimana dinyatakan oleh Fragoudakis, Savaidis, & Michailidis, 2017,

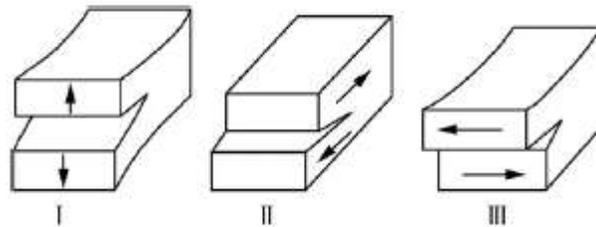
dan pendekatan secara numerik maupun analitik (Čular et al., 2020). Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui atau memprediksi umur lelah pada baja pegas secara numerik adalah metode elemen hingga.

Metode elemen hingga salah satu metode numerik yang terus dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang berkaitan dengan mekanika suatu material, seperti memprediksi umur lelah material komposit sebagaimana yang telah dilakukan oleh Weng, Wen, & Zhang, 2017. Dengan metode elemen hingga, peneliti dapat menentukan umur kekelahan baja pegas daun yang digunakan pada transportasi darat dengan cara menggunkan teknik *high fatigue cycle*.

Salah satu parameter yang digunakan untuk menganalisis *fatigue life* suatu material adalah dengan analisis tegangan (*stress analysis*) sebagaimana yang dilakukan oleh Lian & Yao, 2010. Pada analisis tegangan dianggap bahwa amplitudo adalah konstanta dan hanya tekanan yang mempengaruhi tingkat kelelahan. Pada umumnya, baja pegas daun tidak bekerja pada tekanan atau beban yang tetap atau disebut dengan induksi mekanik. Tekanan yang berubah-ubah akan mengakibatkan perubahan mikrostruktur dari baja. Besar energi yang ditimbulkan oleh tekanan:

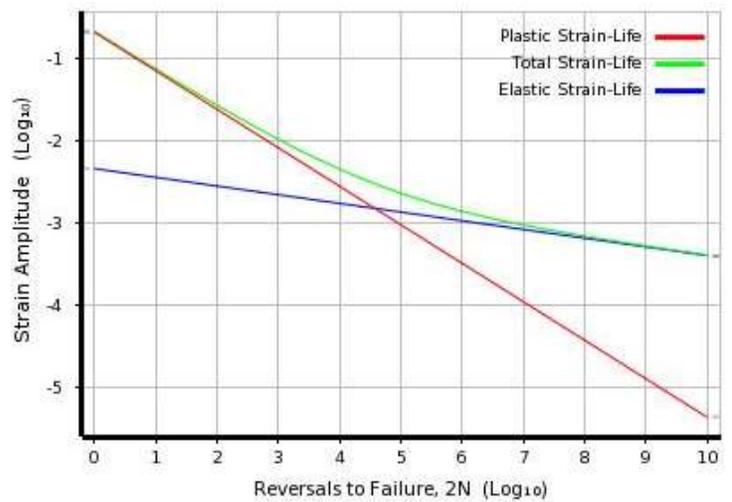
$$W = \sigma\varepsilon + \tau\gamma/2 \tag{1}$$

dimana σ dan ε adalah *normal stress* dan *shear stress*, dan tensil *strain range* dan *shear strain*. Dari sudut pandang mekanika retakan yang dinyatakan oleh Anderson, T.L., 2005, bentuk perambatan retakan (*crack propagation*), yaitu *opening mode*, *in-plane shearing mode*, dan *out-plane shearing mode* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk-bentuk retakan

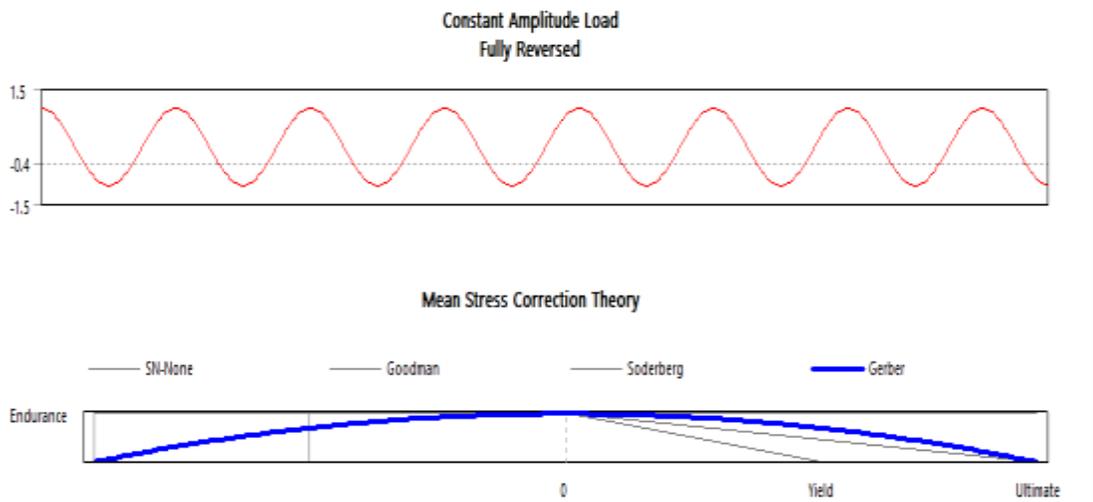
Fenomena retakan yang dijelaskan pada gambar 1 yang diakibatkan oleh kelelahan material dapat dianalisis dengan menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah metode tegangan siklus *high cycle fatigue* (S-N) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembagian daerah umur lelah dalam kurva S-N.

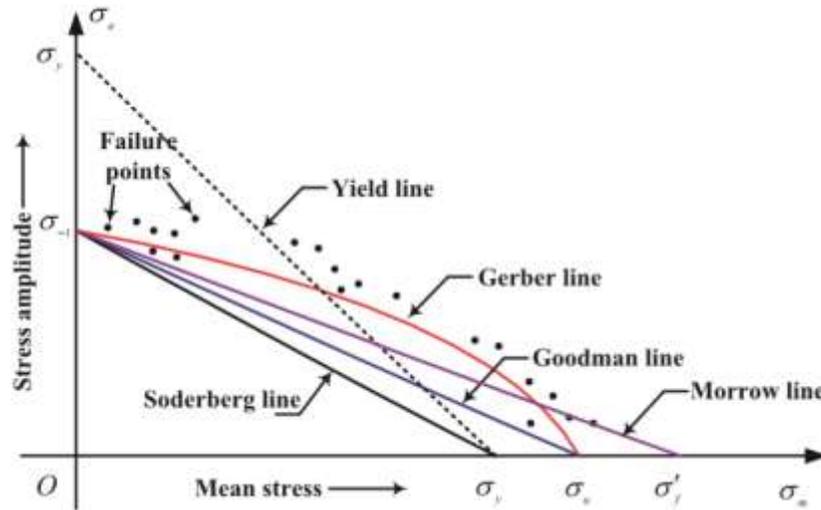
Metode *high cycle fatigue* (S-N) merupakan pendekatan pertama untuk memahami fenomena kelelahan logam. Dengan metode ini, umur lelah material dapat diperhitungkan mulai dari tahap inisiasi retak lelah dan tahap umur lelah (*crack propagation*). Retakan dari material logam dibagikan ke dalam beberapa tipe retakan seperti inisiasi retakan dari inklusi, retakan inklusi dari *impinging slip bands*, dan retakan *emanating* (Santecchia et al., 2016).

Umur lelah atau *fatigue life* material terlebih dahulu dilakukan koreksi-koreksi sesuai dengan sifat mekanik atau jenis material. Beberapa jenis koreksi yang dapat diterapkan pada material untuk melakukan analisis umur lelah, seperti koreksi Goodman, Soderberg, dan Gerber (Zhu et al., 2017). Pada penelitian ini, material yang digunakan untuk merancang pegas daun baja dengan karakteristik seperti pada Tabel 1 adalah baja struktural. Sifat dari baja ini adalah *ductile* sehingga koreksi yang digunakan untuk mengetahui umur lelah pegas daun baja adalah Gerber dengan amplitudo konstan (Kluger, 2015) seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Koreksi Goodman untuk analisis *fatigue life* pada pegas daun baja

Gambar 3 memperlihatkan bahwa pembebanan yang diberikan kepada pegas daun baja adalah pembebanan yang konstan sebesar 80 KN, 100 KN, dan 200 KN. Koreksi yang digunakan pada gambar 3 telah memenuhi model skematik diagram Gerber yang telah dinyatakan oleh Zhu et al., 2017 dimana diperlihatkan pada gambar 4.

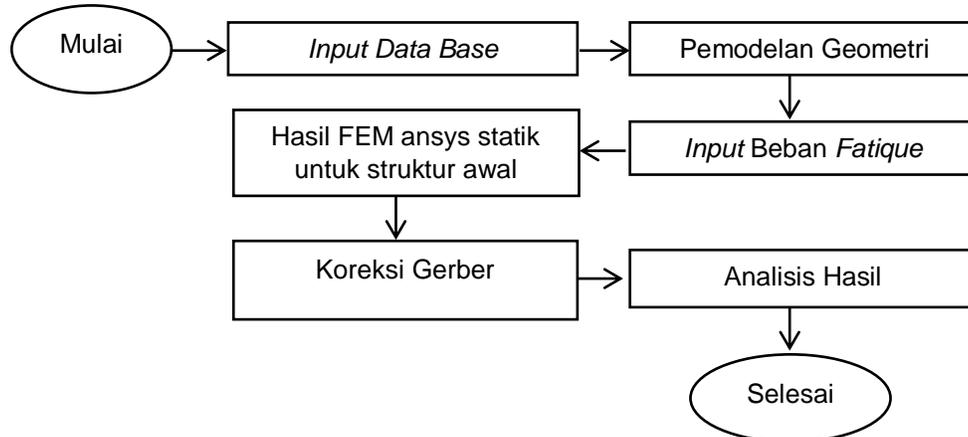


Gambar 4. Model koreksi Gerber, Goodman, dan Morrow (Zhu et al., 2017)

dimana σ_y adalah *yield strength*, σ_u adalah *ultimate tensile strength*, σ'_f adalah *fatigue strength coefficient*, dan σ_m adalah *tensile sumbu-x*.

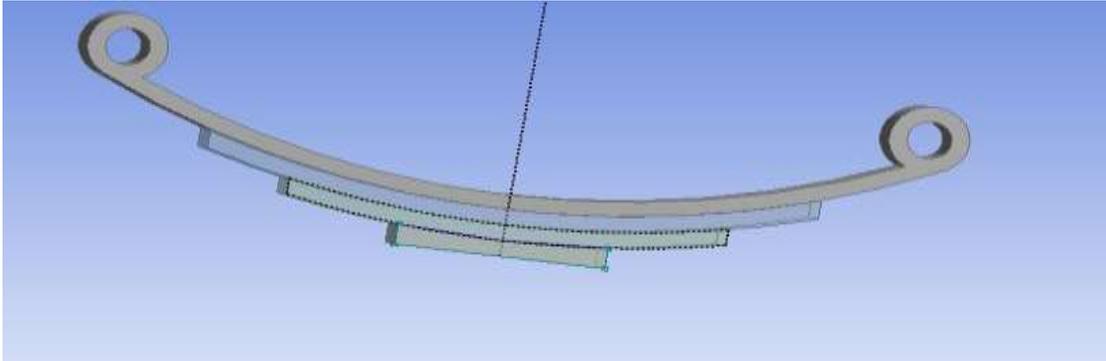
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga yang telah terintegrasi dengan perangkat lunak ansys. Metode ini digunakan untuk mencari nilai *fatigue* dari material. Langkah-langkah penelitian diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancangan penelitian

Gambar 5 memberikan gambaran terhadap tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian, yakni: Mempersiapkan model pegas daun seperti Gambar 6 dengan menggunakan *software design modeler* yang telah terintegrasi dengan *software ansys 19.0*.



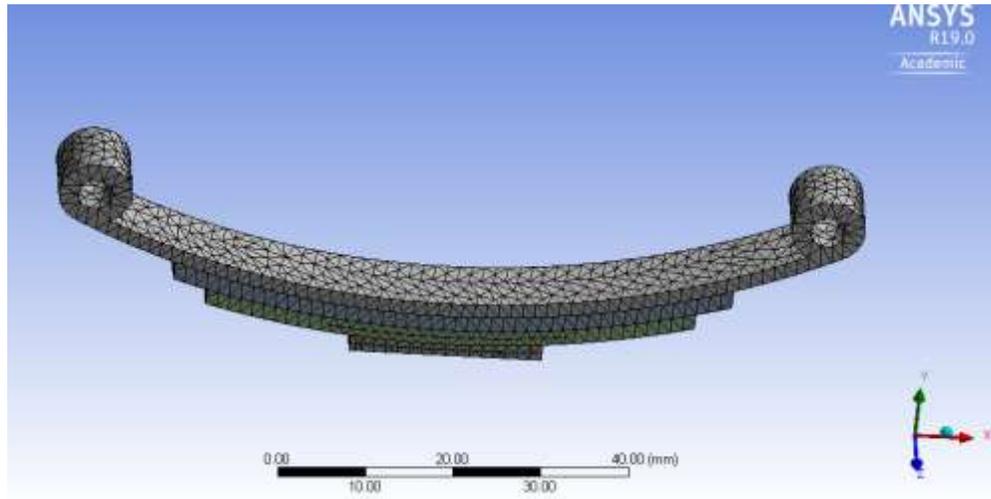
Gambar 6 Perancangan pegas daun 4 lapis.

setelah perancangan pegas daun selesai, tahapan selanjutnya memilih material yang digunakan, yakni baja struktur dengan sifat fisis seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat fisis dan mekanik baja struktur.

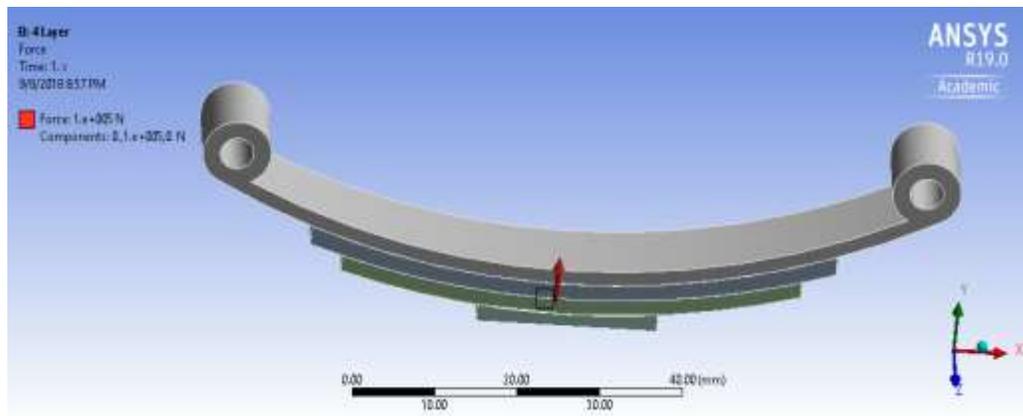
No.	Sifat Fisik/Mekanik	Nilai	Satuan
1	<i>Density</i>	7850	Kg/m ³
2	<i>Tensile yield strength</i>	250	MPa
3	<i>Compressive Yield strength</i>	250	MPa
4	<i>Tensile ultimate strength</i>	460	MPa
5	<i>Isotropic thermal conductivity</i>	60,5	W/mC
6	<i>Specific heat</i>	434	J.KgC
7	<i>Isotropic relative permeability</i>	10000	
8	<i>Isotropic Resistivity</i>	$1,7 \times 10^{-7}$	Ω m

Selain memasukan jenis material yang digunakan, mendefinisikan jenis sambungan atau kontak yang digunakan antar lapisan pada pegas daun, dimana kontak yang digunakan pada penelitian ini adalah *bounding contact*. Mendefinisikan mesh yang digunakan, dimana mesh yang digunakan pada penelitian ini adalah *triangle mesh* seperti pada gambar 7, dan memastikan bahwa *mesh* yang digunakan tidak *error*.



Gambar 7 Mesh elemen hingga pada pegas daun baja

Jumlah *mesh* yang diperoleh dari Gambar 7 sebanyak 6.961 elemen dan 14.726 nodes. Setelah itu, kondisi batas dan pembebanan pada struktur pegas daun baja dimasukkan, seperti gambar 7.

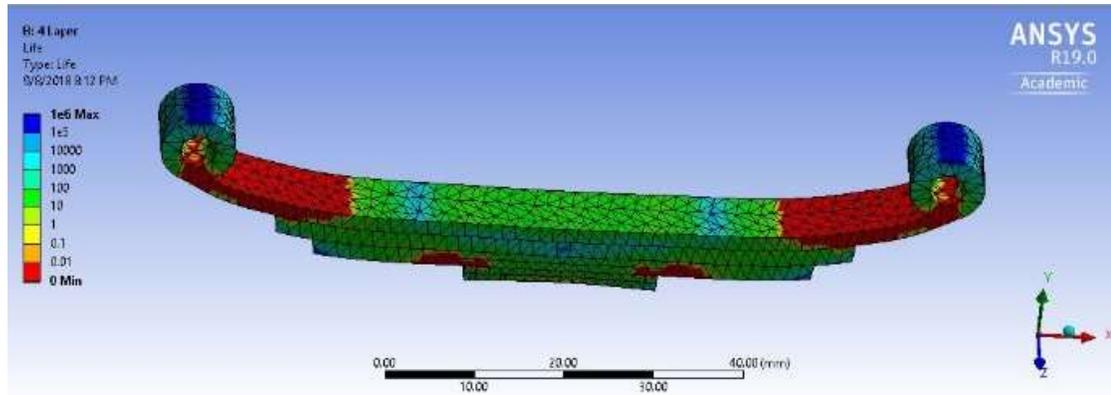


Gambar 8 Pembebanan pada struktur pegas daun baja

Kedua ujung dibatasi dengan kondisi *fix point*, dan besar beban yang digunakan pada penelitian ini sebesar 80 KN, 100 KN, dan 200 KN. Tahapan terakhir adalah memberikan jenis analisis yang digunakan untuk menentukan *fatigue*. Analisis yang digunakan analisis statik dan analisis *fatigue*. Salah satu koreksi yang digunakan untuk menentukan *fatigue life* material adalah koreksi Gerber seperti pada gambar 3 dan gambar 4.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

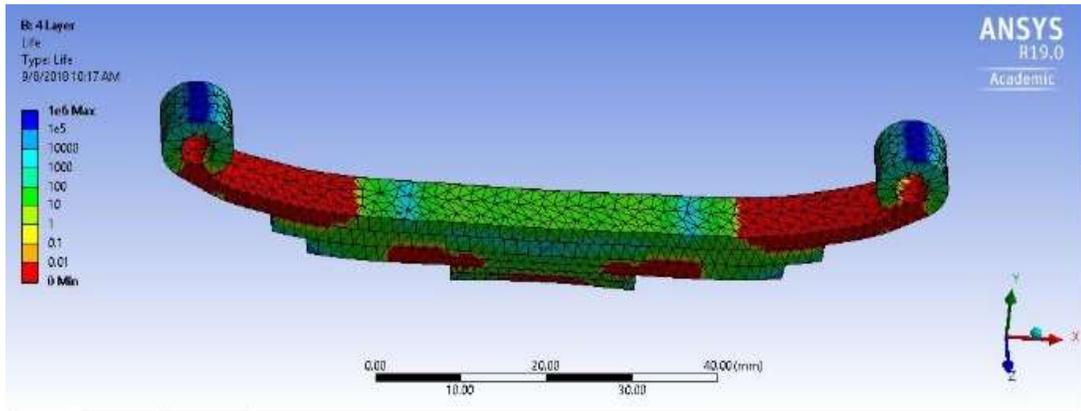
Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapat umur *fatigue* dari struktur pegas daun baja dengan memberikan pembebanan sebesar 80 KN, 100 KN, 200 KN. Hasil dari pembebanan tersebut diperlihatkan pada gambar 9, gambar 10, dan gambar 11.



Gambar 9 *Fatigue life* dengan gaya sebesar 80 KN.

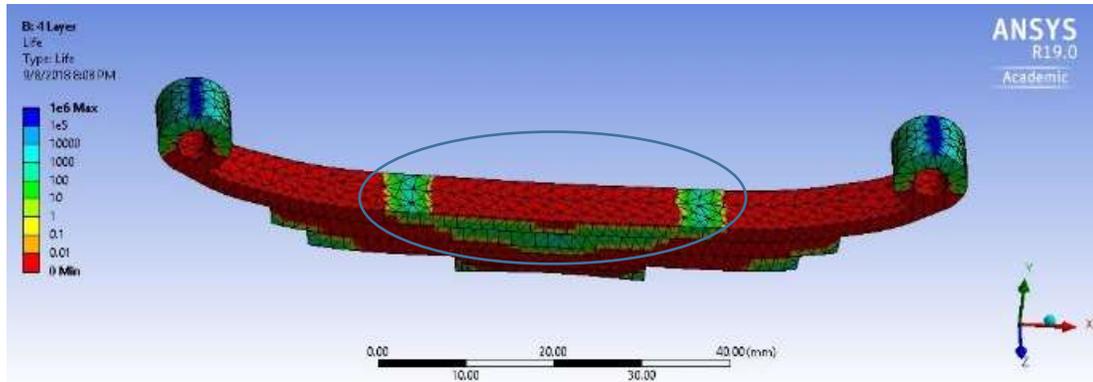
Gambar 9 memperlihatkan umur lelah atau kondisi *fatigue* pada struktur pegas daun yang telah diberikan beban sebesar 80 KN, dimana struktur pegas daun baja terlihat distribusi umur *fatigue*. Siklus maksimal pada struktur tersebut sebesar 10^6 siklus. Nilai tersebut mengindikasikan bagian tersebut tidak akan mengalami kerusakan selama siklus terjadi pada struktur. Hal ini relevan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Topaç et al., 2012. Gambar 9 terdapat bagian-bagian yang siklus yang kurang dari 10^6 , seperti distribusi hijau 100 siklus, warna biru 1000 siklus, dan 0,01 siklus. Perbedaan distribusi tersebut menunjukkan adanya pengurangan tegangan atau gaya akibat dari pengaruh jarak (Anderson, 2016). Siklus minimal berada pada warna merah dengan siklus sebesar 0,01 siklus. Siklus minimal ini menunjukkan bahwa daerah-daerah tersebut akan mengalami kerusakan lebih awal dibandingkan dengan bagian yang lain.

Pembebanan dapat mempengaruhi daya tahan dari struktur pegas daun baja sebagaimana yang diperlihatkan oleh Gambar 10 dan Gambar 11. Gambar 10 menunjukkan daerah kritis semakin luas karena diakibatkan oleh adanya pembebanan sebesar 100 KN. Siklus minimal pada warna merah terjadi pada bagian ujung kiri dan kanan. Fenomena seperti ini disebabkan oleh adanya tegangan yang terkonsentrasi pada kedua ujung pegas. Hal ini dapat terjadi disebabkan oleh kedua ujung pegas daun dijadikan sebagai titik diam atau dikenal dengan *fix point*, sehingga membuat struktur tersebut menjadi *rigid*. Untuk melihat dampak dari adanya pembebanan terhadap struktur pegas daun baja, pembebanan diberikan sebesar 200 KN.



Gambar 10. *Fatigue life* dengan gaya sebesar 100 KN.

Hasil dari pembebanan tersebut diperlihatkan oleh gambar 10. Gambar tersebut memperlihatkan secara jelas distribusi warna merah yang mempunyai siklus sebesar 0,01 siklus hampir merambat pada seluruh bagian struktur pegas daun baja. Distribusi dari siklus ini menunjukkan bahwa struktur pegas daun baja mengalami *overload* sehingga cepat mengalami retakan. Dengan demikian pada pembebanan dengan 200 KN tidak rekomendasi pada kendaraan yang menggunakan pegas daun baja dengan sifat fisis seperti pada Tabel 1.

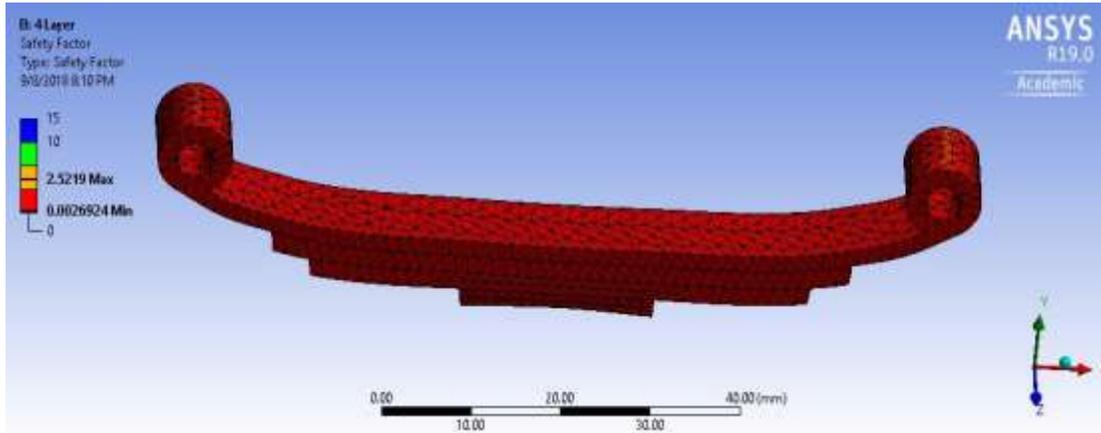


Gambar 11 *Fatigue life* dengan gaya sebesar 200 KN.

Gambar 11 juga memberikan informasi mengenai sifat fisis yang digunakan pada material baja struktur, dimana sifat fisis tidak terdistribusi secara merata ke segala arah secara homogen, sehingga pada bagian-bagian tertentu tidak mengalami siklus yang sama, seperti yang ditunjukkan pada elips di gambar 11.

Faktor keamanan diterapkan untuk mengantisipasi gaya atau beban yang terjadi pada komponen permesinan agar komponen tersebut tidak gagal (*failure*). Semakin terkendali beban yang terjadi pada komponen semakin kecil faktor keamanan yang dapat diterapkan, dan sebaliknya. Besar *safety factor* dapat mempengaruhi tegangan yang diijinkan pada material sebagaimana diperlihatkan

pada gambar 11. Gambar ini memperlihatkan *safety factor* maksimal yang dihasilkan oleh pembebanan 200 KN sebesar 2,52. *Safety factor* ini memberikan informasi bahwa tegangan ijin dari pegas daun baja sebesar 80 KN.



Gambar 12. *Safety factor* 200 KN.

Gambar 9, gambar 10, dan gambar 11 memberikan gambaran besar beban optimal yang dapat diberikan kepada pegas daun baja. dimana besar beban optimal yang dapat diberikan adalah 80 KN.

4. SIMPULAN

Berdasarkan uraian diatas, umur kelelahan atau *fatigue life* struktur pegas daun dapat diprediksikan dengan menggunakan metode elemen hingga. Hasil penelitian ini menunjukkan siklus maksimum sebesar 10^6 siklus. Siklus ini menunjukkan bahwa bagian tersebut tidak mengalami kerusakan selama suspensi terjadi. Besar gaya maksimal yang bisa digunakan pada struktur pegas daun baja dengan sifat fisis seperti pada Tabel 1 sebesar 100 KN. Selain itu, Besar gaya 200 KN tidak direkomendasikan untuk digunakan. Hal ini disebabkan distribusi siklus minimal 0,01 siklus hampir merata disepanjang struktur pegas daun baja. Pada penelitian ini, siklus 0,01 siklus menunjukkan nilai kritis yang mempunyai umur lelah yang cepat, sehingga akan mengalami kerusakan yang lebih cepat. Selain itu, berdasarkan *safety factor*, besar gaya yang diijinkan yakni sebesar 80 KN dengan *safety factor* sebesar 2,5.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, T.L. (2016). Fracture Mechanics Fourth Edition. CRC Taylor & Francis.
- Čular, I., Vučković, K., Žeželj, D., & Glodež, S. (2020). Analytical approach for low and high cycle bending fatigue life prediction of carburized gear steel specimens. *Engineering Failure Analysis*, 108, 104328. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104328>

- Fragoudakis, R., Savaidis, G., & Michailidis, N. (2017). Optimizing the development and manufacturing of 56SiCr7 leaf springs. *International Journal of Fatigue*, 103, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.05.016>
- Kluger, K. (2015). Fatigue life estimation for 2017A-T4 and 6082-T6 aluminium alloys subjected to bending-torsion with mean stress. *International Journal of Fatigue*, 80, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2015.05.005>
- Kong, Y. S., Abdullah, S., Omar, M. Z., & Haris, S. M. (2016). Failure assessment of a leaf spring eye design under various load cases. *Engineering Failure Analysis*, 63, 146–159. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.02.017>
- Lian, W., & Yao, W. (2010). Fatigue life prediction of composite laminates by FEA simulation method. *International Journal of Fatigue*, 32(1), 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2009.01.015>
- Santecchia, E., Hamouda, A. M. S., Musharavati, F., Zalnezhad, E., Cabibbo, M., El Mehtedi, M., & Spigarelli, S. (2016). *A Review on Fatigue Life Prediction Methods for Metals* [Research article]. *Advances in Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2016/9573524>
- Topaç, M. M., Ercan, S., & Kuralay, N. S. (2012). Fatigue life prediction of a heavy vehicle steel wheel under radial loads by using finite element analysis. *Engineering Failure Analysis*, 20, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.10.007>
- Weng, J., Wen, W., & Zhang, H. (2017). Multiaxial fatigue life prediction of composite materials. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(3), 1012–1020. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2017.03.019>
- Zhu, S.-P., Lei, Q., Huang, H.-Z., Yang, Y.-J., & Peng, W. (2017). Mean stress effect correction in strain energy-based fatigue life prediction of metals. *International Journal of Damage Mechanics*, 26(8), 1219–1241. <https://doi.org/10.1177/1056789516651920>