

Fatigue Analysis pada Pegas Daun Jenis SST 74 dalam Aplikasi Industri Alat Berat dengan Pemodelan Metode Elemen Hingga

Lydia Anggraini*, Yaummil Chairil Agoest Akhir

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, President University

Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang Baru, Bekasi 17550

*E-mail: lydia.anggra@president.ac.id

Abstract

In the heavy equipment industries, the good maintenance to produce high quality products are required. However, the possibility of accidental damage and major financial and material losses to the company can be found. Therefore, analysis is needed to minimize the accidents. The objective of this study is to analyze the fatigue on the leaf springs applied for heavy equipment industry by Finite Element Analysis (FEA). The modeling is carried out by calculating the load given to the leaf springs and life cycle. After the data were collected, the analysis of the leaf springs cycle was performed to provide some improvement. By FEA, the first analysis is Von-Mises Stress and followed by Life Cycle analysis with ANSYS, both analyzes can be generated. Von-Mises Stress results generated near the fatigue area are $3,923 \times 10^8$ Pa and life cycle between 91,000 - 93,000 cycles. On the other hand, the actual life cycle of the leaf springs is 108,000 cycles with life time being for 6 months. Thus, the FEA results are approximate real leaf conditions. This study also provides some improvements to the geometry of leaf springs. Improved geometry gives results in reducing Von-Mises Stress and improving life cycle of leaf spring. Von-Mises Stress decreased to $3,49 \times 10^8$ Pa and the life cycle increased to more than 5×10^5 cycles. Life time also increased up to 30 months..

Keywords: *Fatigue Analysis; Leaf Spring; Finite Element Analysis*

Abstrak

Pada industri manufaktur dan rekayasa alat berat dibutuhkan pemeliharaan yang baik guna menghasilkan produk berkualitas tinggi. Namun, kerusakan secara tidak sengaja dan menyebabkan kerugian besar baik dalam hal moral maupun material bagi perusahaan bisa saja ditemukan. Oleh karena itu, analisis diperlukan untuk meminimalkan kemungkinan kecelakaan. Penelitian ini bertujuan menganalisa kelelahan pada pegas daun untuk aplikasi industri alat berat dengan Metode Elemen Hingga. Pemodelan tersebut dilakukan dengan menghitung beban yang diberikan ke pegas daun, bahan pegas daun dan umur pegas daun yang sebenarnya. Setelah data dikumpulkan, analisis siklus pegas daun dilakukan untuk memberikan beberapa perbaikan. Dengan menggunakan FEA, analisis pertama adalah Von-Mises Stress dan dilanjutkan dengan analisis Life Cycle menggunakan ANSYS, kedua analisis tersebut dapat dihasilkan. Hasil Von-Mises Stress yang dihasilkan di dekat fatigue area adalah $3,923 \times 10^8$ Pa dan life cycle antara 91.000 - 93.000 siklus. Di sisi lain, life cycle yang sebenarnya dari pegas daun adalah 108.000 siklus dengan life time adalah 6 bulan. Dengan demikian, hasil FEA adalah perkiraan kondisi nyata pegas daun. Penelitian ini juga memberikan beberapa perbaikan terhadap geometri pegas daun. Perbaikan geometri memberikan hasil dalam mengurangi Von-Mises Stress dan meningkatkan life cycle pegas daun. Von-Mises Stress menurun hingga $3,49 \times 10^8$ Pa dan siklus hidup meningkat hingga lebih dari 5×10^5 siklus. Masa pakai juga meningkat hingga 30 bulan.

Kata kunci: *Fatigue Analysis; pegas daun; Finite Element Analysis*

1. Pendahuluan

Salah satu perusahaan manufaktur dan rekayasa alat berat memiliki visi yaitu menjadi perusahaan rekayasa dan logistik energi terbaik dan menyediakan produk yang luar biasa. Perusahaan manufaktur alat berat ini berkomitmen untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi untuk mengoptimalkan produktivitas pelanggan mereka yang pada akhirnya, akan tercapai profitabilitas berkelanjutan dan pertumbuhan. Untuk mencapai kondisi tersebut, unit yang diproduksi oleh perusahaan manufaktur alat berat harus selalu dalam kondisi terbaik, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Aspek kualitas di sini adalah tentang kelayakan baik komponen unit atau apakah unit tersebut dapat diandalkan dalam digunakan oleh pelanggan atau tidak. Dari segi kuantitas, kuantitas yang mengacu pada harga unit yang dijual oleh perusahaan manufaktur alat berat adalah sesuai dengan kualitas produk atau tidak. Oleh karena itu,

mempertahankan komitmen untuk menghasilkan produk dengan kuantitas yang berkualitas tinggi dan dapat diandalkan menjadi salah satu dari banyak faktor yang ditegakkan oleh perusahaan manufaktur alat berat [1-5].

Salah satu cara untuk menjaga produk dalam kondisi terbaik adalah mempertahankan komponen atau kondisi produk menggunakan jadwal perawatan [2]. Ada berbagai bentuk pemeliharaan yang dilakukan perusahaan manufaktur alat berat seperti, pemeliharaan preventif, pemeliharaan harian, pemeliharaan mingguan, pemeliharaan bulanan atau setiap kali ketika unit atau produk telah mencapai batas maksimum kilomernya [2]. Dengan mekanika terbaik dan mentor yang andal, perawatan yang dilakukan oleh perusahaan manufaktur alat berat tidak diragukan lagi kualitasnya.

Namun, meski perawatan yang dilakukan oleh perusahaan manufaktur alat berat sudah luar biasa. Beberapa komponen utama dari produk atau unit dapat rusak dalam waktu singkat. Komponen utama adalah gandar, suspensi, sasis, dsb. Komponen suspensi roda belakang dari unit trailer perusahaan manufaktur alat berat adalah komponen yang paling banyak dimuat karena beban lain yang didukung di atasnya. Beban yang didukung oleh suspensi adalah beban berasal dari bobot tubuh, muatan, rangka, aksesoris dan beban faktor lainnya [4-6]. Suspensi itu sendiri berfungsi sebagai shock dan peredam getaran dari jalan dan juga roda sehingga getaran tidak akan diteruskan ke badan kendaraan secara langsung. Selain itu, suspensi meningkatkan kemampuan cengkeraman ban di permukaan jalan. Namun, suspensi memiliki kekuatan yang sangat terbatas untuk menahan beban berkelanjutan yang dapat menyebabkan suspensi putus secara tidak sengaja. Ini mungkin terjadi karena beberapa faktor seperti, umur komponen pegas telah mencapai batasnya, perubahan ekstrim dalam kondisi lingkungan yang menciptakan tekanan berlebihan pada material yang menyebabkan komponen menjadi robek, atau yang lain [2]. Oleh karena itu, analisis diperlukan untuk meminimalkan kemungkinan suspensi yang rusak secara tidak sengaja ketika unit atau produk digunakan oleh pelanggan untuk menghindari kerusakan tambahan baik kepada pelanggan atau perusahaan manufaktur alat berat.

Untuk menganalisis siklus pegas daun, penggunaan metode elemen hingga, saat ini, telah berhasil dibuktikan oleh banyak studi terkait menggunakan metode ini untuk memecahkan masalah analitik, seperti dalam "Analisis Kinerja Serat Karbon dengan Epoxy Resin berdasarkan Composite Leaf Spring" oleh Ravindra dan Belkar yang diterbitkan pada tahun 2014 yang menyimpulkan bahwa "Solusi Elemen Hingga menunjukkan korelasi yang baik untuk deformasi total dengan hasil analisis" [5, 6].

Berdasarkan hal-hal pada latar belakang tersebut di atas, maka perlu untuk menganalisa kekuatan pegas unit perusahaan manufaktur alat berat trailer dengan menggunakan Metode Elemen Hingga untuk mengetahui stres dan juga *life cycle* pada pegas.

2. Material dan Metode Penelitian

Jenis pegas daun yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Multi Leaf Spring*. Komponen-komponen pegas daun multi adalah daun utama (*main leaf*), daun panjang penuh (*extra full-length leaf*) dan daun yang diluluskan (*graduated leaves*). Untuk menganalisis pegas daun, sangat penting untuk membuat model pegas daun. Model dibuat menggunakan CATIA V5R21 (*limited version*) dengan dimensi sebenarnya yang diukur seperti yang tertera pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Dimensi Pegas Daun

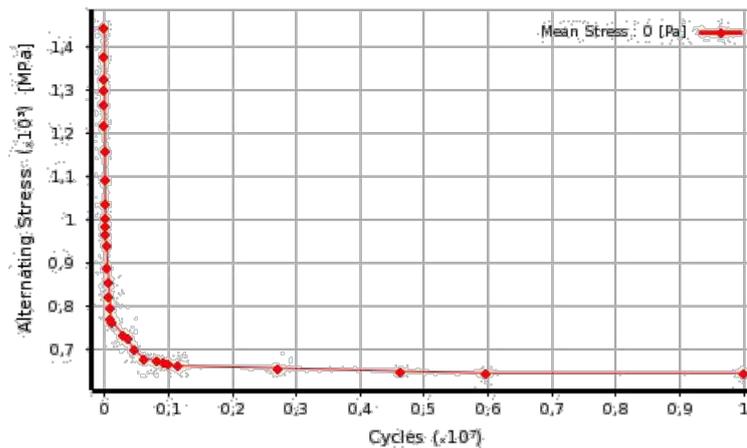
Leaf Spring	Dimension	Material	Thickness	
	Length	Width		
1	1200	50	15	JIS SUP9
2	1150	50	15	
3	1100	50	15	
4	1050	50	15	
5	950	50	15	
6	850	50	15	
7	750	50	15	
8	650	50	15	
9	550	50	15	
10	450	50	15	

Setelah mendapatkan dimensi pegas daun, langkah selanjutnya adalah menentukan beban yang akan diterima pegas daun. Beban yang diterima oleh pegas daun akan dirinci sebagai 27.490 kg dan 73.800 kg. SUP9 adalah Standar Internasional Jepang. Standar ini ekuivalen dengan 55Cr3 dan SAE5160. Berikut adalah material propertis yang digunakan:

Density : 7.800 kg/m³
 Young Modulus : 1,9 x 10¹¹ Pa
 Poisson's Ratio : 0,29
 Ultimate Tensile Strength : 1,15 x 10⁹ Pa

Tensile Yield Strength : $1,01 \times 10^9$ Pa

Berdasarkan penelitian, informasi akurat dari *life cycle* SUP9 tidak tersedia. Namun, ada estimasi kurva S-N yang ditentukan [7-11], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva S-N teoritis pada material SUP9 [7].

Setelah mendesain pegas daun, langkah yang perlu dilakukan adalah menganalisis data yang sudah diberikan sebelumnya. Namun, sebelum melakukan itu, studi meshing tentu perlu mencari tahu apa ukuran mesh yang optimal. Seperti yang kita ketahui, mesh digunakan untuk memperkirakan kondisi aktual yang terjadi dalam struktur. Dalam hal ini adalah pegas daun. Semakin kecil mesh yang digunakan, semakin dekat dengan kondisi aktual dan semakin akurat hasilnya.

Tabel 2. Von-Mises Stress berdasarkan hasil Meshing Study

Mesh Size (m)	Von-Mises ($n \times 10^8$)		
	1	2	3
0,011	8,186	8,0704	8,1414
0,01	8,883	8,803	8,811
0,009	11,372	11,294	11,392
0,008	14,603	14,542	14,609
0,007	19,677	19,68	19,68
0,006	25,518	25,388	25,586
0,005	33,591	33,468	33,667

Pada Tabel 2 di atas, menunjukkan nilai perbedaan dari *Von-Mises Stress* semakin besar ketika ukuran *mesh* lebih besar dari 0,01 m. Dengan demikian, 0,01 m dipilih sebagai ukuran mesh optimal mempertimbangkan jumlah elemen dan waktu komputasi.

3. Hasil dan Pembahasan

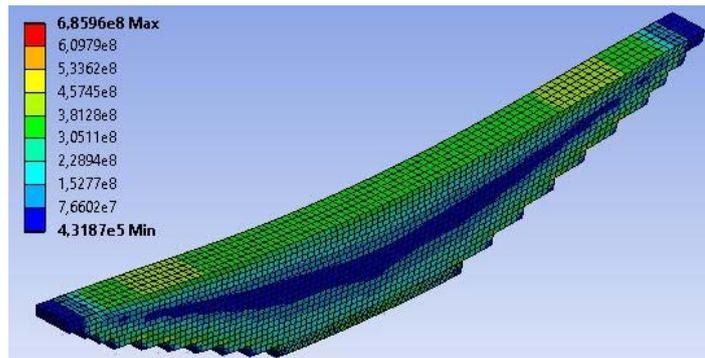
Beban yang diberikan ke pegas daun adalah 27.490 kg dalam kondisi kosong dan 73.800 kg dalam kondisi penuh. Beban ini kemudian dimasukkan ke *software* ANSYS untuk mengetahui hasil *Von-Mises Stress* dan *life cycle* pada pegas daun.

Pada Gambar 2, menunjukkan hasil analisis menggunakan ANSYS. Tekanan Von-Mises maksimum yang muncul pada pegas daun SST74 adalah $6,85 \times 10^8$ Pa. Bahan yang digunakan untuk pegas daun adalah SUP9 yang memiliki Yield Strength $1,01 \times 10^9$ Pa. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa pegas daun SST74 masih dalam batas aman.

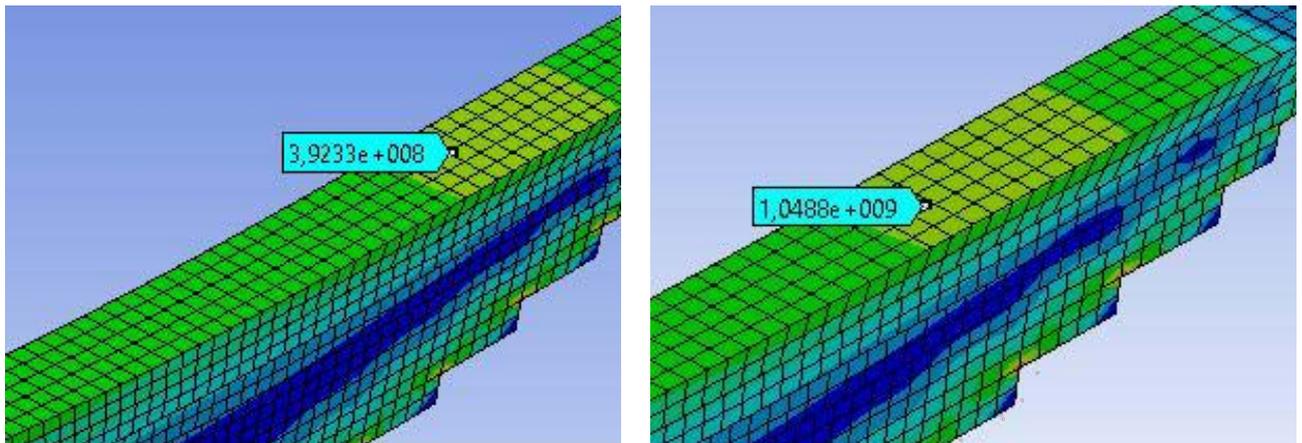
Berdasarkan hasil, pegas daun masih di bawah daerah elastis. Daerah elastis berarti bahwa pegas daun akan berubah bentuk tanpa peningkatan beban. Deformasi muncul adalah deformasi sementara yang berarti pegas daun akan kembali ke posisi semula ketika muatan diambil. Kondisi ini bisa disebut deformasi reversibel.

Von-Mises Stress maksimum yang muncul sudah melebihi kekuatan luluh material, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa pegas daun akan mengalami deformasi. Deformasi yang terjadi pada pegas daun adalah deformasi permanen atau disebut deformasi yang tidak dapat diubah. Ini berarti bahwa meskipun beban sudah diambil dari pegas daun. Pegas daun tidak akan kembali ke posisi semula. Pada titik yang sama

juga, beban akan mencapai kondisi di mana pegas daun tidak dapat menahan beban lebih banyak dan menyebabkan fraktur karena *Von-Mises Result* melebihi kekuatan tarik maksimum dari material.

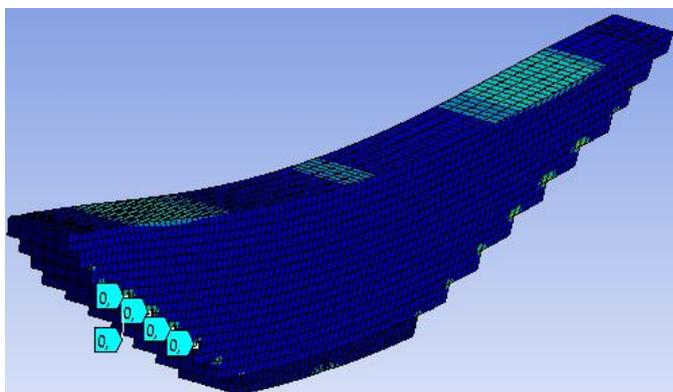


Gambar 2. Hasil SST74 *Von-Mises* (empty).

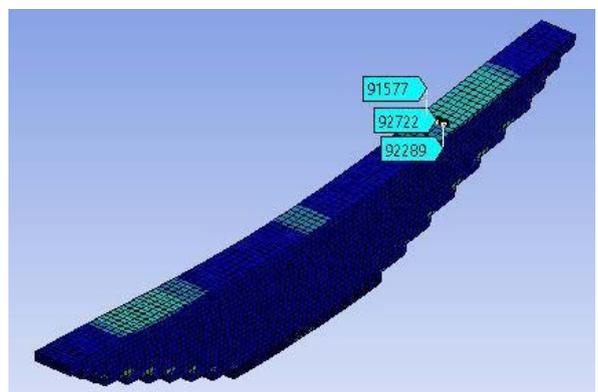


Gambar 3. *Von-Mises Stress* pada area crack (empty).

Pada Gambar 4, menunjukkan siklus minimum yang muncul pada pegas daun yaitu terjadi di tepi setiap daun. Fenomena ini terjadi karena stres yang dihasilkan terkonsentrasi di bagian tersebut. Hal ini akan menyebabkan peningkatan stres dan akhirnya menyebabkan siklus adalah 0. Sementara siklus pada area yang mengalami kelelahan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

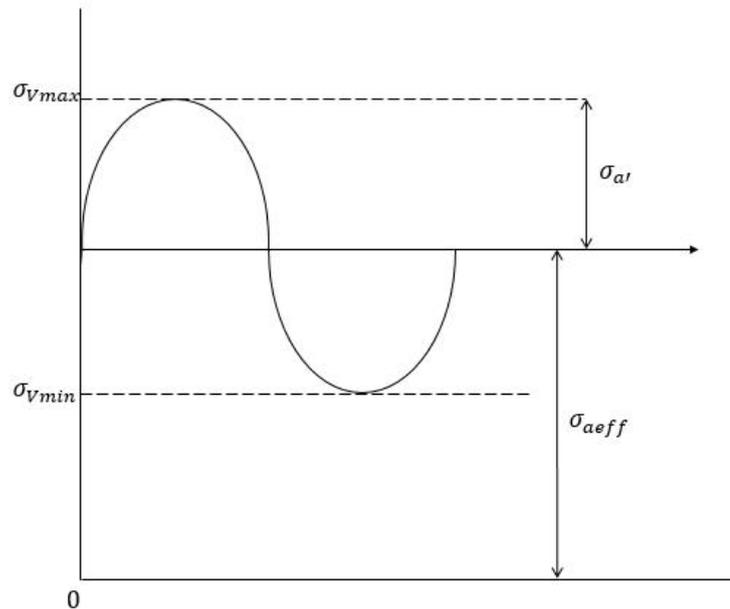


Gambar 4. Siklus minimum yang terjadi pada pegas daun.



Gambar 5. Siklus pada area yang mengalami kelelahan.

Untuk menemukan siklus hidup pegas daun, diperlukan tegangan alternatif yang efektif atau tegangan amplitudo efektif [12-14]. Untuk menemukan tegangan bolak-balik atau tegangan amplitudo, dapat digunakan grafik persamaan, yang ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Alternating Stress Diagram.

Untuk mengetahui, nilai *Von-Mises Stress* maksimum pada kondisi maksimum dan kondisi minimum diimplementasikan dari persamaan stress [14]. Hasilnya adalah $5,78 \times 10^8$. Dengan demikian, nilai tegangan alternatif yang efektif dapat ditemukan dengan menempatkan *Stres Von-Mises* maksimum pada kondisi minimum dan. Hasilnya adalah $1,26 \times 10^9$. Jika kita ingat, ketegangan bergantian adalah sudah melebihi kekuatan tarik akhir material. Dengan demikian, hasil dari 0 siklus di tepi pegas daun valid.

Setelah pemodelan dengan *FEA* selesai disimulasikan, diperlukan validasi berdasarkan dengan kondisi aktual. Siklus ini kemudian divalidasi dengan berdasarkan yang terjadi perusahaan, siklus aktual pegas daun adalah 108.000 siklus. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan *FEA* (Metode Elemen Hingga), diketahui *fatigue cycle* adalah 91.000 - 93.000 siklus, sedangkan dalam kondisi aktual adalah 108.000 siklus. Perbedaan antara hasil *FEA* dan kondisi aktual dapat disebabkan oleh beberapa faktor, sebagai berikut:

- a. *FEA* dalam ANSYS bukan siklus kegagalan (*fracture*) tetapi siklus kelelahan (*fatigue*). Artinya, siklus tersebut menunjukkan bahwa pegas daun hanya akan mengalami tahap inisiasi retakan, belum mencapai tahap *fracture*. Sedangkan siklus pegas daun yang sebenarnya sudah mencapai siklus *fracture*.
- b. Kurva S-N material tidak tepat.

Peningkatan performa pada pegas daun juga perlu diketahui, dengan cara memberikan dimensi penambahan yang lebih besar pada lebarnya. Lebar tambahan adalah 6 mm dan menurunkan hasil *Von-Mises*. Penurunan hasil *Von-Mises* menyebabkan meningkatnya siklus hidup pegas daun. Hasil *Von-Mises* menurun hingga mencapai $3,4 \times 10^8$ Pa, siklus hidup meningkat hingga 5×10^5 siklus.

4. Kesimpulan

Setelah mengumpulkan dan menganalisis semua data yang dibutuhkan, ada beberapa kesimpulan yang dapat ditarik untuk menjawab tujuan penelitian ini, antara lain: *Von-Mises Stress* yang dihasilkan dalam pegas daun SST74 pada beban minimum adalah diperkirakan $3,923 \times 10^8$ Pa, sementara pada beban maksimum adalah kira-kira $1,048 \times 10^9$ Pa. Kisaran *life cycle* yang terjadi pada pegas daun adalah 91.000 - 93.000 siklus. *Von-Mises Stress* yang dihasilkan dalam pegas daun SST74 setelah perbaikan adalah sekitar $3,4 \times 10^8$ Pa. *Life cycle* setelah ditingkatkan dalam geometri dapat mencapai lebih dari 5×10^5 siklus.

Daftar Pustaka

- [1] Nadargi, Y.G., Deepak, R., Gaikwad, Umesh D.S., 2012, A Performance Evaluation of Leaf Spring Replacing With Composite Leaf Spring, *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. 2 (4): 65–68.
- [2] Anonymous, Module Training, PT. UTE. 2017, Bekasi.
- [3] Spiegel, L., 1986, *Applied Structural Steel Design* (3rd Ed.), New Jersey.
- [4] Sudarsono, Yuspian, G., 2012, Analisis Kekuatan Pegas Daun (Leaf Spring) pada Suzuki Carry 1.5 Mega Cargo, *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3 (2): 251-259.
- [5] Howard, K., Dana, M., 2000, *ASM Handbook: Mechanical Testing and Evaluation*, ASM International, University of California.

- [6] Beer, F.P., Jr, E., Russel, J., Dewolf, John T., Mazurek, D.F., 2012, *Mechanics of Materials* (6th Ed.), McGraw Hill: New York.
- [7] Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., dkk., 1997, *Koneenosien suunnittelu*, Werner Söderström Osakeyhtiö: Helsinki.
- [8] Mott, R.L., 2004, *Machine Elements in Mechanical Design* (4th Ed.), Pearson Education, Inc: New Jersey.
- [9] Hariandja, B., 1996, *Statika Dalam Analisis Struktur Berbentuk Rangka*, Erlangga: Jakarta.
- [10] Hidayat, T., 2012, *Analisa Kegagalan Pegas Daun (Leaf Spring) Pada Toyota Kijang Kapsul 7K-EI Tahun 2000*, *Jurnal Simetris*, 1 (1): 1 – 8.
- [11] Hyperwork, 2012, *Practical Aspects of Finite Element Simulation*, Altair Engineering, Inc.
- [12] William, D.C., 2007, *Material Science and Engineering: An Introduction*, 7th ed, John Wiley & Sons, Inc.: USA.
- [13] Klebanov, B.M., Barlam, David, M.N., Frederic E., 2008, *Machine Elements: Life and Design*, Taylor & Francis Group, LLC.
- [14] Logan, D.L., 2011, *A First Course in the Finite Element Method* (4th Ed.), Thomson Canada Limited: Canada.