

Simulasi Desain Piston (Torak) dengan Material Baja Paduan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Dewi 'Izzatus Tsamroh^{1*}, Agus Dwi Putra², Yayi Febdia Pradani³

¹Universitas Merdeka Malang, Malang

^{2,3}Universitas Islam Raden Rahmat, Malang

*Penulis Korespondensi, email: izza@unmer.ac.id

Received: 23/05/2022

Revised: 24/05/2022

Accepted: 25/05/2022

Abstract. This study aims to overcome the problem of piston failure in receiving force and loading from the engine periodically. This study was designed using the finite element method in which the piston design showed the presence of 15685 nodes and 7310 elements. Testing the finite element method on the piston using Ansys 18.1 software with the aim of simulating a piston with alloy steel material to find the total deformation, normal stress, and maximum stress. The simulation results show that the maximum deformation produced by the piston is 0.000407 mm. While the minimum deformation that occurs is only 0 mm. Furthermore, in the normal stress analysis, the maximum normal stress is 1.043×10^{11} Pa and the minimum normal stress is -1.054×10^{11} Pa. In the shear stress test, it was found that the maximum shear stress was 1.392×10^{10} Pa and the minimum shear stress was -1.496×10^{10} Pa.

Keywords: Piston, Steel Alloy, Finite element method, Simulation

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah tentang kegagalan piston dalam menerima gaya dan pembebanan dari mesin secara berkala. Penelitian ini di desain dengan metode elemen hingga yang mana desain piston menunjukkan adanya 15685 nodal dan 7310 elemen. Pengujian metode elemen hingga pada piston menggunakan bantuan software Ansys 18.1 dengan maksud mensimulasikan piston dengan material baja paduan untuk mencari total deformasi, tegangan normal, dan tegangan maksimum. Hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum yang dihasilkan piston sebesar 0,000407 mm. Sedangkan deformasi minimum yang terjadi hanya 0 mm. Selanjutnya pada analisis tegangan normal didapatkan tegangan normal maksimum sebesar $1,043 \times 10^{11}$ Pa dan tegangan normal minimum sebesar $-1,054 \times 10^{11}$ Pa. Pada pengujian tegangan geser didapati bahwa tegangan geser maksimum sebesar $1,392 \times 10^{10}$ Pa dan tegangan geser minimum sebesar $-1,496 \times 10^{10}$ Pa.

Kata Kunci: Piston, Baja paduan, Metode elemen hingga, Simulasi

I. PENDAHULUAN

Di dalam kontruksi motor bakar terdapat komponen vital yang bertugas merubah gaya bolak-balik atau naik-turun menjadi gaya putar. Komponen tersebut adalah piston, selain fungsi yang sudah disebutkan tersebut piston juga turut andil dalam melakukan siklus kerja [1]. Siklus kerja yang dilalui piston bertujuan untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna dalam motor bakar [2]. Siklus tersebut yaitu siklus hisap, kompresi usaha dan siklus pembuangan [3]. Karena kinerja yang terus-menerus dan menerima secara langsung gaya yang cukup besar dari proses kompresi dan pengapian

misalnya maka, tidak dapat dipungkiri jika piston lama-kelamaan akan mengalami kegagalan kinerja [4].

Kegagalan tersebut banyak macamnya mulai dari tergoresnya ruang bakar sehingga kompresi mengalami penurunan, kerak yang menumpuk di kepala piston, hingga terjadinya retakan pada piston akibat kinerja mesin yang ekstrim [5]. Untuk meminimalisir hal tersebut para insinyur otomotif berlomba-lomba membuat piston dari berbagai macam material. Komposisi yang diperlukan untuk membuat suatu piston yang pertama adalah harus ringan dan kuat [6].

Baja salah satu material kuat yang pernah ada. Baja sering dibuat untuk bahan campuran rangka pesawat, rangka kapal, dan juga jalur kereta api [7]. Namun dalam kenyataannya baja memiliki bobot yang lumayan berat sehingga mungkin kurang cocok jika dijadikan sebagai material penyusun piston. Oleh karena itu, baja harus dipadukan dengan material lain seperti alumunium sehingga menjadi lebih ringan namun tetap kuat [8]. Baja paduan dipercaya lebih kuat dan lebih ringan dibandingkan dengan baja murni [9] yang mana baja paduan memiliki *mechanical properties* seperti berikut:

Tabel 1. *Mechanical properties of piston*

<i>Young modulus (Pa)</i>	<i>Poisson's Ratio</i>	<i>Density (kg.m⁻³)</i>	<i>Yield strength (Pa)</i>
2×10^{11}	0,3	7850	$2,5 \times 10^8$



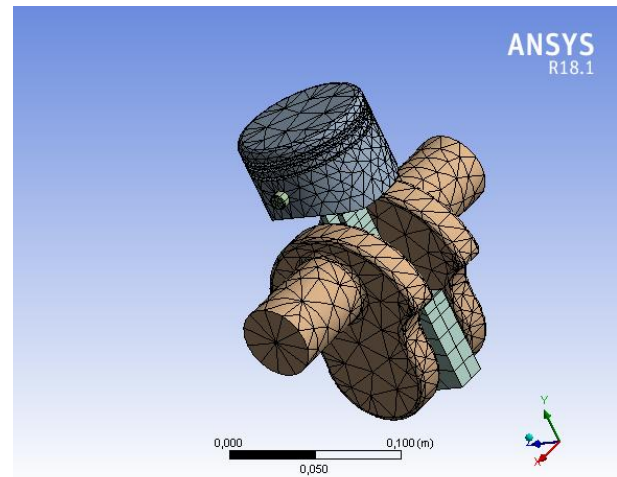
Gambar 1. Kasus kegagalan piston dalam dunia otomotif

Dari paparan yang sudah dideskripsikan di atas maka baja perlu diuji sebelum dapat dijadikan referensi untuk bahan pembuat piston. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara virtual kinerja piston secara gerak statis dengan gaya yang sudah ditentukan.

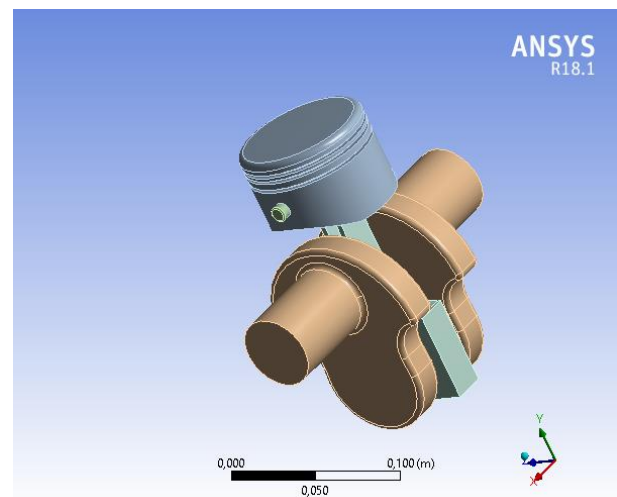
II. METODOLOGI

Pengujian pada penelitian ini menggunakan metode elemen hingga atau MEH. Desain piston yang akan diuji pada penelitian ini menghasilkan 15685 nodal dan 7310 elemen yang mana dapat dilihat hasil *meshing* pada gambar 2. Pengujian

MEH pada penelitian ini menggunakan bantuan *software* Ansys 18.1. Pemakaian Ansys 18.1 ditujukan untuk meng-simulasikan desain piston dengan material Baja paduan. Gambar desain piston yang akan disimulasi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. Proses *meshing* desain piston



Gambar 3. Desain 3D piston dengan material baja paduan

Simulasi pada penelitian ini bertujuan untuk menguji total deformasi maksimum dan minimum, tegangan normal, dan tegangan geser. Pembebanan yang dilakukan adalah berdasarkan nilai tekanan kompresi yang telah diujikan yakni sebesar 12 kg/cm².

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

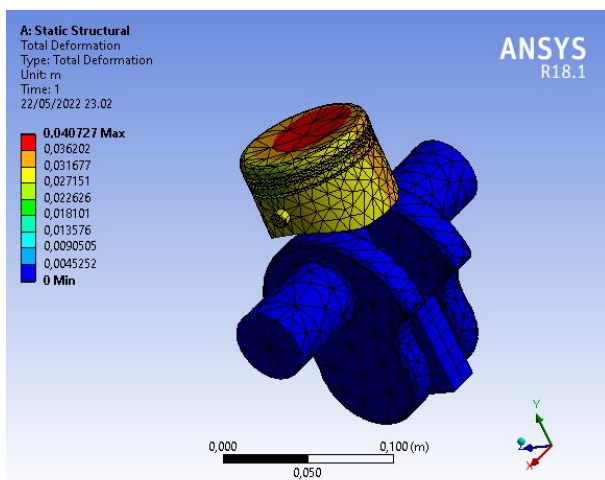
Hasil dan pembahasan pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa sub-bab yang akan diuraikan sebagai berikut:

A. Deformasi

Proses analisis MEH menggunakan Ansys 18.1 menghasilkan deformasi piston maksimum sebesar 0,000407 mm dan deformasi minimum sebesar 0 mm. Hasil pengujian ini dapat diamati pada gambar 4 yang mana pada bagian berwarna merah menunjukkan pembebanan dan deformasi secara maksimum. Sedangkan pada bagian warna biru menunjukkan deformasi minimum.

Hasil ini juga menunjukkan bahwa piston dengan material baja paduan berpotensi untuk dijadikan bahan dasar material penyusun piston. Tidak hanya itu saja Sebagian besar piston dari kapal juga terbuat dari baja paduan [10]. Selain dijadikan sebagai material penyusun piston pada kapal, baja paduan juga sering dijadikan sebagai material penyusun rocker arm dan *connecting rod* [11].

Hasil ini sekaligus menunjukkan bahwa piston dengan bahan baja paduan sangat kuat dan direkomendasikan untuk dijadikan bahan dasar pembuat piston.



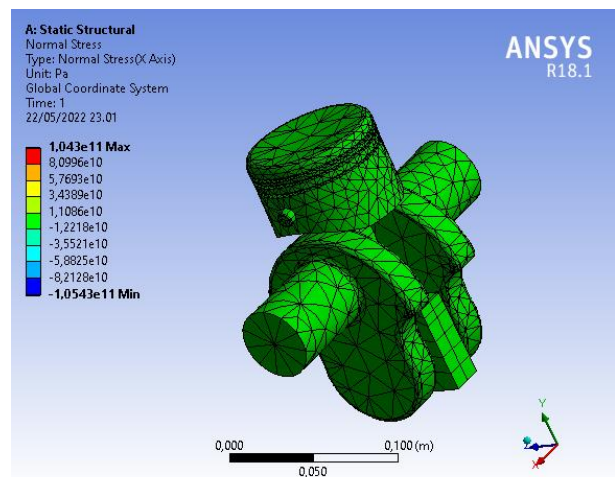
Gambar 4. Hasil simulasi deformasi piston

B. Tegangan normal

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa hasil simulasi tegangan normal pada piston menunjukkan adanya fenomena Tarik dan tekan. Tarik dan tekan ini

ditandai dengan hasil tegangan normal yang bernilai positif dan negatif. Analisis tersebut juga menunjukkan bahwa tegangan normal maksimum pada piston mencapai $1,043 \times 10^{11}$ Pa. Sedangkan hasil dari tegangan normal minimum mencapai $-1,054 \times 10^{11}$ Pa.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa tidak adanya warna merah dan biru pada gambar 4. yang mana tegangan normal yang dihasilkan sangat minim sekali. Tegangan normal yang minim disebabkan karena sifat baja yang kuat dan tahan temperature tinggi [12]. Baja dapat menahan panas 1300°C - 1500°C sehingga baja bersifat kuat dan tidak mudah terdeformasi oleh suhu yang tinggi [13]. Tegangan normal yang minim juga dapat disebabkan karena gaya pembenan yang diujikan untuk piston relative kecil jika dibandingkan dengan komposisi dari material baja paduan, tentu saja hal ini bersifat positif karena dengan fenomena ini piston dengan baja paduan mampu berpotensi mengatasi kegagalan kinerja dan kerusakan [14].



Gambar 5. Hasil simulasi tegangan normal piston

C. Tegangan geser

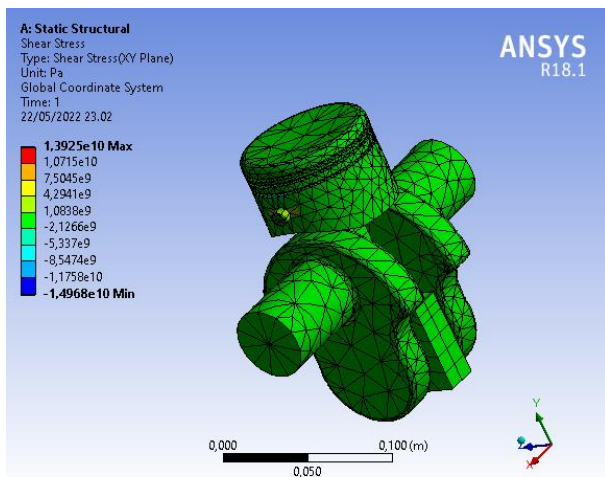
Gambar 6 menunjukkan bahwa adanya sumbu x, y, dan z pada desain piston. Dari gambar tersebut bahwa pembebanan terjadi secara vertical dari atas ke bawah searah dengan sumbu garis y.

Gambar 6 juga menunjukkan adanya tegangan yang terjadi pada desain piston dengan material baja paduan. Tegangan yang terjadi dapat dilihat bahwa adanya tegangan geser Tarik dan tegangan geser tekan. Fenomena Tarik dan tekan dapat diketahui

dari gambar 6 bahwa adanya nilai tegangan yang positif dan negatif.

Hasil pada gambar 6 menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum pada desain piston sebesar $1,392 \times 10^{10}$ Pa. elanjutnya tegangan geser minimum pada gambar 6 sebesar $-1,496 \times 10^{10}$ Pa. warna merah pada garis indicator kotak sebelah kiri menunjukkan bahwa terjadi tegangan geser secara maksimum dan warna biru menandakan adanya tegangan geser secara minimum.

Melihat hasil pengujian tegangan normal sebelumnya bahwa tegangan geser juga tidak jauh berbeda yang mana hanya terjadi tegangan geser yang relative kecil pada poiston denga material baja paduan tersebut. Tegangan geser juga berbanding lurus dengan nilai deformasi, nilai deformasi yang minim juga mengakibatkan material mengalami tegangan yang minimum [15]. Karena pada dasarnya pembebanan mengakibatkan tegangan dan tegangan yang terus-menerus mengakibatkan deformasi pada benda [3]. Dalam kata lain hasil dari analisis deformasi, tegangan normal, dan tegangan geser ini sangat positif yang mana, menandakan bahwa piston dengan material baja paduan berpotensi sebagai bahan penyusun material piston.



Gambar 6. Hasil simulasi tegangan geser piston

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Simulasi desain piston dengan material baja paduan menghasilkan deformasi maksimum sebesar 0,000407 mm dan deformasi minimum sebesar 0 mm. Selanjutnya simulasi tegangan normal pada

desain piston menghasilkan tegangan normal maksimum sebesar $1,043 \times 10^{11}$ Pa dan tegangan normal minimum sebesar $-1,054 \times 10^{11}$ Pa. Serta pada pengujian tegangan geser didapati hasil bahwa tegangan geser maksimum mencapai $1,392 \times 10^{10}$ Pa dan tegangan geser minimum mencapai $-1,496 \times 10^{10}$ Pa.

REFERENSI

- [1] M. H. Katooli, R. Askari Moghadam, and A. Hajinezhad, "Simulation and experimental evaluation of Stirling refrigerator for converting electrical/mechanical energy to cold energy," *Energy Convers. Manag.*, vol. 184, no. January, pp. 83–90, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.01.014.
- [2] D. D. Boyd, "General aviation accidents related to exceedance of airplane weight/center of gravity limits," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 91, pp. 19–23, 2016, doi: 10.1016/j.aap.2016.02.019.
- [3] B. Krstic, B. Rasuo, D. Trifkovic, I. Radisavljevic, Z. Rajic, and M. Dinulovic, "Failure analysis of an aircraft engine cylinder head," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 32, pp. 1–15, 2013, doi: 10.1016/j.engfailanal.2013.03.004.
- [4] N. E. Saputro, "Failure simulation of connecting rods without pistons using finite element method," vol. 07010, pp. 1–5, 2018.
- [5] A. D. Putra and Y. F. Pradani, "Simulasi Batang Penghubung Piston Dengan Variasi Material Al Alloy Dan Ti Alloy Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Teknol. Terap. G-Tech*, vol. 4, no. 1, pp. 279–285, 2020, doi: 10.33379/gtech.v4i1.545.
- [6] Andoko and P. Puspitasari, "Finite element analysis of surface tension on piston due to pressure variation," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1778, 2016, doi: 10.1063/1.4965798.
- [7] N. E. Saputro, "Strength analysis of connecting rods with pistons using finite element method," vol. 07009, pp. 1–6, 2018.
- [8] A. Andoko *et al.*, "Simulation Of Time And Motion Activity Effect On Hip Joint Implants," *J. Southwest Jiaotong Univ.*, vol. Vol. 55 No, 2020.

- [9] A. D. Putra, M. Rohman, and A. Wahab, "Analisis Desain Excavator Bucket Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan Material Baja," vol. 16, pp. 4–7, 2020.
- [10] R. V Fedorenko, A. A. Kudryavtsev, V. S. and I. R. Murtazin, "ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Strength analysis of nuclear power plant structures in case of aircraft Strength analysis of nuclear power plant structures in Paço of aircraft crash impact crash impact modeling of a high a pressure turbine blade," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 6, pp. 244–251, 2017, doi: 10.1016/j.prostr.2017.11.037.
- [11] S.-J. Guo, R.-Z. Wang, H. Chen, and F.-Z. Xuan, "A comparative study on the cyclic plasticity and fatigue failure behavior of different subzones in CrNiMoV steel welded joint," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 150, pp. 66–78, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2018.10.026.
- [12] D. Prasetyo, "Strenght analysis chassis of UM electric cars using finite element method," vol. 07017, pp. 1–6, 2018.
- [13] L. Witek, "Failure analysis of the wing-fuselage connector of an agricultural aircraft," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 13, no. 4, pp. 572–581, 2006, doi: 10.1016/j.engfailanal.2004.12.029.
- [14] T.-H. Pham and S.-E. Kim, "Microstructure evolution and mechanical properties changes in the weld zone of a structural steel during low-cycle fatigue studied using instrumented indentation testing," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 114, pp. 141–156, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.021.
- [15] X. Liu, J. Guo, C. Bai, X. Sun, and R. Mou, "Drop test and crash simulation of a civil airplane fuselage section," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 28, no. 2, pp. 447–456, 2015, doi: 10.1016/j.cja.2015.01.007.