



Simulasi pengaruh bentuk piston bowl dan dome terhadap perubahan sifat mekanik menggunakan software Ansys dengan metode finite element analysis

Simulation of the effect of piston bowl and dome shape on changes in mechanical properties using Ansys software with finite element analysis method

M.P. Zulfikar, P.D. Setyawan*, T. Rachmanto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahitno.62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 081918107077.

*E-mail: paryanto.ds@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 03 October 2023

Accepted 02 March 2024

Available online 01 April 2024

Keywords:

Piston head shape

Mechanical properties

Ansys

Finite element analysis

A piston is a component of an internal combustion engine. This study numerically investigated variations in the shape of the piston head to determine mechanical changes affected by static surface pressure and temperature. The method used is FEA (Finite Element Analysis) with steady-state thermal and static structural simulations. This study aims to determine the effect of changes in the shape of the Piston Head Bowl and Piston Head Dome on the value of Von Mises stress, strain, deformation, and safety factors using Ansys software. This research was conducted numerically with a variety of concave piston heads (bowl) with surface lengths of 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm, and 12 mm with a depth of 1.2 mm and convex piston heads (dome) with surface lengths of 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm, and 12 mm with a slope of 182° . The results showed that the variation of piston head shape affects the value of von Mises stress, strain, deformation, and safety factor. where the convex piston head (dome) has a lower von Mises stress value and maximum strain than the concave piston head (bowl), the deformation value of the dome piston head is higher, and the minimum safety factor value of the dome piston is higher. The lowest Von Mises stress value is 611.42 MPa on the piston head dome, the maximum strain value is 0.007741, the highest maximum deformation value is 0.055 mm on the piston head dome with a surface length of 12 mm, and the best minimum safety factor value is 0.515 on the piston head dome.



1. PENDAHULUAN

Piston adalah komponen dari mesin pembakaran dalam yang bergerak di dalam silinder motor berfungsi untuk mengubah energi panas hasil pembakaran menjadi energi mekanik yang terhubung dengan poros engkol

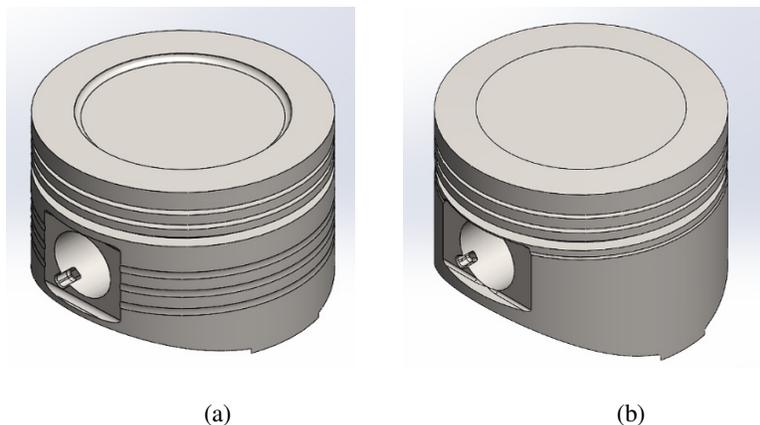
melalui batang piston dan memutar poros engkol untuk menghasilkan daya, ledakan tersebut menyebabkan gerakan piston yang kuat dari titik mati atas ke titik mati bawah. Piston mentransfer gaya dari gas yang mengembang di dalam silinder ke poros engkol melalui batang piston dan batang penghubung (Dagar dkk, 2022). Siklus kerja yang dilalui piston bertujuan untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna dalam motor bakar yang terus-menerus dan menerima secara langsung gaya yang cukup besar dari proses kompresi dan pengapian (Tsamroh dkk, 2022). Karakteristik mesin pembakaran internal terkait erat dengan perilaku mekanis piston. Piston merupakan bagian yang mendapatkan pembebanan termal dan mekanis yang tinggi sehingga piston harus memiliki karakteristik khusus untuk meningkatkan kinerjanya, mengingat besarnya tekanan dan suhu yang diterima oleh piston. Piston merupakan salah satu komponen paling penting yang memerlukan perhatian dan perawatan khusus (Zhou dkk, 2020). Piston harus dilindungi dari kerusakan yang disebabkan oleh panas dan tekanan yang kuat dari proses permesinan (Choubey dkk, 2022). Piston menanggung tekanan gas siklik dan gaya inersia yang bekerja, selain itu kondisi kerja ini dapat menyebabkan kerusakan akibat kelelahan pada piston, seperti retakan pada kepala piston dan keausan samping (Sathishkumar dkk, 2020). Mengetahui karakteristik struktural pada sistem pembakaran piston menjadi salah satu hal yang paling penting untuk dilakukan analisa dalam mengetahui tegangan, regangan, deformasi, dan faktor keamanan.

Salah satu metode yang sudah banyak digunakan untuk menganalisa karakteristik Piston *head* adalah Metode Elemen Hingga, *Finite Element Method (FEM)* atau *Finite Element Analysis (FEA)*. FEA membantu memprediksi bagaimana karakteristik sebuah komponen ketika mengalami berbagai efek fisik yang berbeda, seperti tegangan (*stress*), getaran dan kelelahan (Dhamecha dkk, 2020). Keunggulan dari metode FEA adalah dapat memangkas biaya produksi dan waktu pengujian, bahkan metode ini dapat digunakan sebelum *prototype* yang sebenarnya dibuat. Ansys dapat memberikan hasil yang mendekati hasil uji sebenarnya dari data atau sifat-sifat material yang diolah dan dihitung menggunakan metode numerik. Pengujian simulasi juga dapat mengurangi biaya dan waktu sehingga pekerjaan menjadi lebih efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi pembebanan mekanis pada piston *head* dengan menggunakan *software* Ansys yaitu simulasi *Steady State Thermal* dan *Static Structural*. Metode *Finite Element Analysis* dipergunakan untuk membantu analisa dalam mengetahui distribusi tegangan, regangan, deformasi, dan faktor keamanan pada permukaan piston *head* dengan variasi bentuk *bowl* dan *dome* dengan mengacu bentuk dari piston Honda Revo 110 cc tahun 2015.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan metode numerik yang dikenal sebagai *FEA (Finite Element Analysis)* menggunakan *software Ansys Student 2023*. Jenis piston *head* yang digunakan mengacu pada piston *head* dari motor Honda Revo 110 cc yang diberikan variasi bentuk menjadi piston *head bowl* dan *dome*, geometri piston *head* dapat dilihat pada gambar 1. Spesikasi mesin motor Honda Revo 110 cc yang dipergunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 1. Geometri piston *head* (a) *bowl*, (b) *dome*.

Material piston pada penelitian ini terbuat dari Aluminium *Alloy 4032* yang mana merupakan bahan yang banyak digunakan pada pembuatan piston karena memiliki sifat yang ringan, dan memiliki ketahanan korosi yang baik (Cahyo dan Soegijono, 2019). Komposisi kimia dan spesifikasi dari material Aluminium *Alloy 4032* dapat dilihat pada tabel 2. *Meshing* adalah proses pembagian benda menjadi elemen-elemen yang lebih kecil

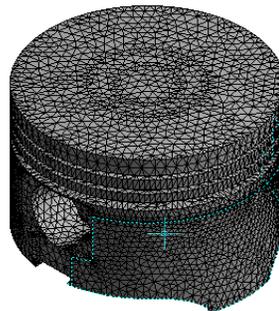
yang nantinya akan dilakukan pemodelan simulasi. *Meshing* yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 2,4 mm dengan metode *tetrahedron*. Proses *meshing* piston yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.

Table 1. Spesifikasi motor Honda Revo 110 cc.

<i>Properties</i>	<i>Keterangan</i>
Tipe Mesin	1 Silinder 4 Langkah
Jenis Sistem <i>Camshaft</i>	SOHC
Jumlah Katup	2 Katup
<i>Bore x Stroke</i>	50 x 55,6 mm
Kubikasi	109,17cc
Pendingin Mesin	Udara
Rasio Kompresi	9,3 : 1
Daya Maksimum	6,56 kW / 7.500 rpm
Torsi Maksimum	8,76 Nm / 6.000 rpm

Tabel 2. Spesifikasi material Aluminium alloy 4032.

<i>Properties</i>	<i>Material</i>
<i>Density</i>	2680 kg/m ³
<i>Modulus Young</i>	79000 MPa
<i>Poisson Ratio</i>	0,34
<i>Bulk Modulus</i>	82292 MPa
<i>Shear Modulus</i>	29478 MPa
<i>Yield Strength</i>	315 MPa
<i>Tensile Ultimate Strength</i>	380 MPa
<i>Thermal Expansion</i>	1,94e -5 1/°C
<i>Thermal Conductivity</i>	0,138 W/mm.°C
<i>Specific Heat</i>	8,5e + 5 mJ/kg.°C

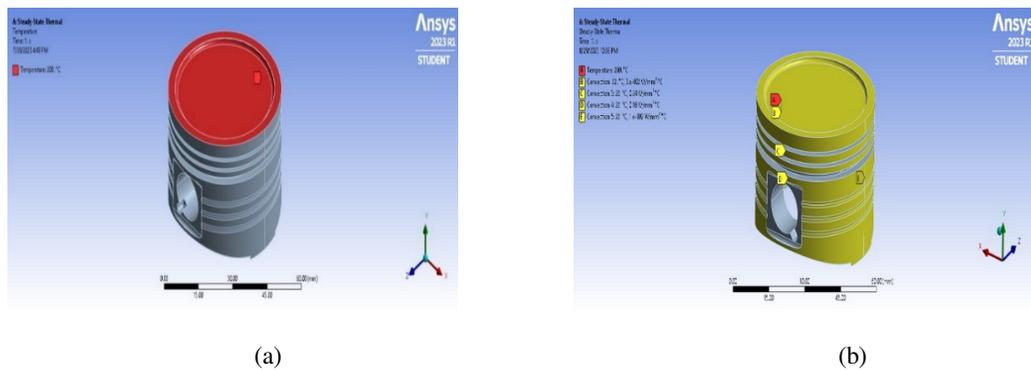


Gambar 2. *Meshing* piston.

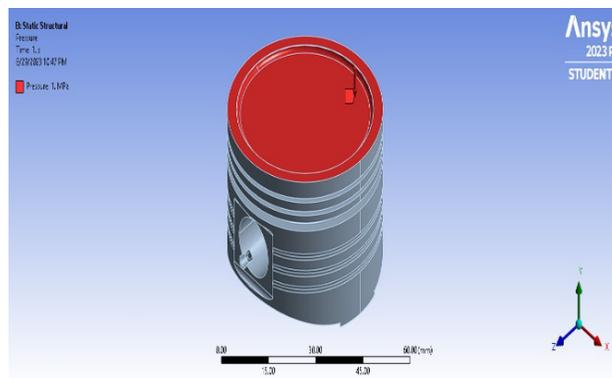
Boundary condition simulasi adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol perhitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat. Suhu pembakaran pada piston bisa mencapai 2500 K, dan di bagian atas permukaan piston bisa mencapai 600-700 K (Andoko dan Puspitasari, 2016).

Pemberian *boundary condition* pada piston dapat dilihat pada gambar 3. *Boundary condition* pembebanan suhu pada permukaan *piston* diberikan sebesar 200 °C (gambar 3a) dan pemberian *boundary condition* kondisi *thermal convection* (gambar 3b). Gambar 4 merupakan pemberian *boundary condition* pembebanan permukaan piston dimana permukaan piston diberikan pembebanan secara merata dan statis sebesar 1 MPa berdasarkan tekanan efektif rata-rata (Heywood, 2018). Piston diberikan kondisi penopang tetap (*fixed support*) pada bagian piston *hole* (gambar 5a) (Zheng dkk, 2019), sedangkan pada gambar 5b terlihat piston diberikan kondisi pada

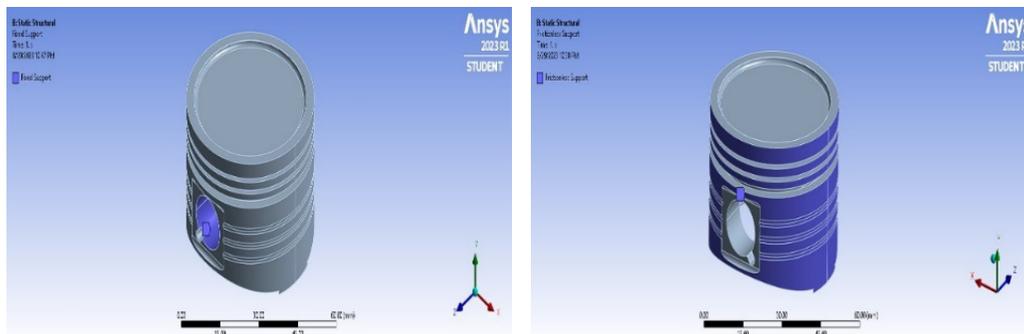
keliling piston *frictionless support* (Lee dan Ku, 2021).



Gambar 3. *Boundary condition* piston (a) suhu permukaan piston, (b) *thermal convection*.



Gambar 4. *Boundary condition* tekanan piston head 1 MPa.



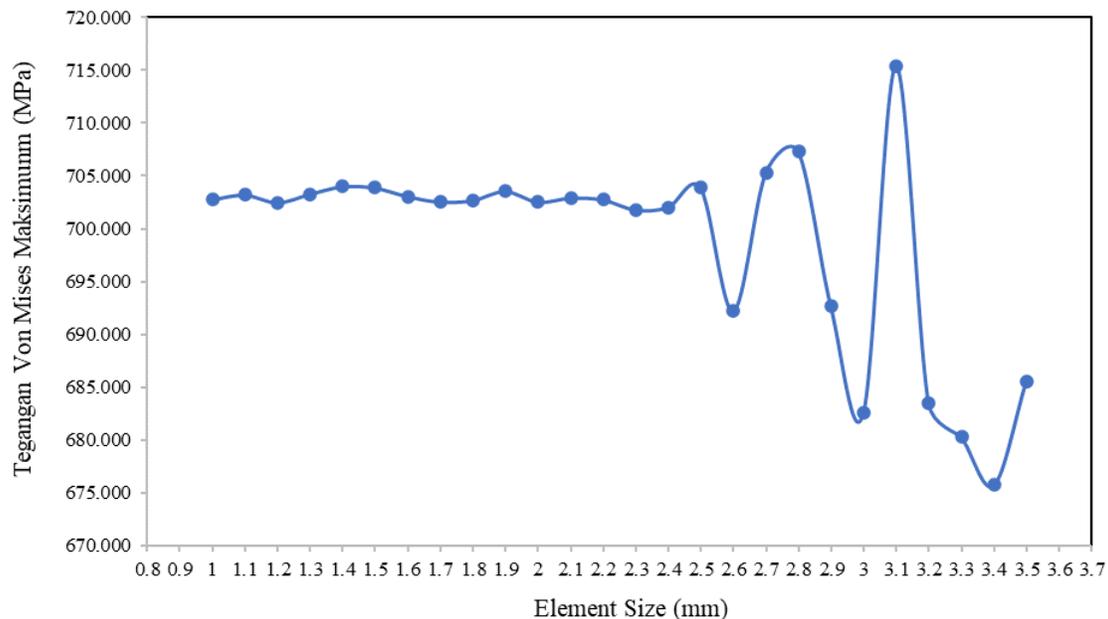
Gambar 5. *Boundary condition* (a) *fixed support*, (b) *frictionless support*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Verifikasi simulasi *mesh sensitivity analysis*

Validasi penelitian dilakukan melalui simulasi numerik dengan cara melakukan *Mesh Sensitivity Analysis*. Secara umum, ukuran *mesh* yang lebih kecil meningkatkan akurasi hasil namun akan meningkatkan waktu komputasi. Uji *mesh sensitivity analysis* dilakukan untuk menentukan ukuran *mesh* yang sesuai yang memberikan hasil yang cukup akurat tanpa menghabiskan terlalu banyak waktu komputasi (Lee dan Ku, 2021).

Grafik hasil uji *mesh sensitivity analysis* dapat dilihat pada gambar 6. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada *mesh* ukuran 2,4 mm, 2,3 mm, 2,2 mm, hingga 1 mm memiliki hasil data yang mendekati ekuivalen dimana selisih nilai tegangan maksimum berada pada nilai 702 MPa. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan *mesh* ukuran 2,4 mm dengan pertimbangan akurasi perhitungan yang sudah ekuivalen, valid secara numerik simulasi dan beban simulasi yang lebih ringan pada komputer (Choubey dkk, 2022).

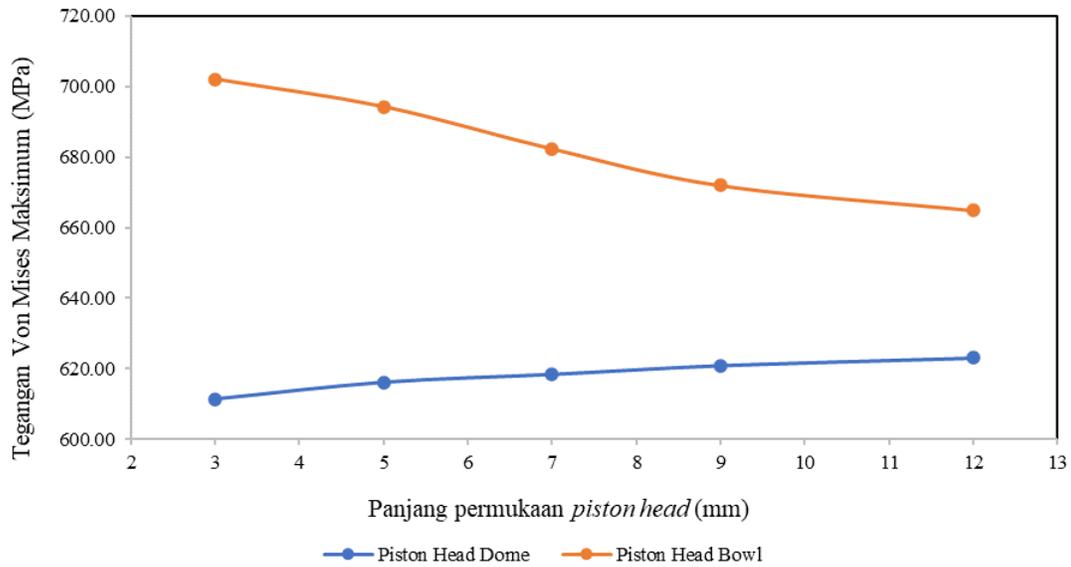


Gambar 6. *Mesh sensitivity analysis*.

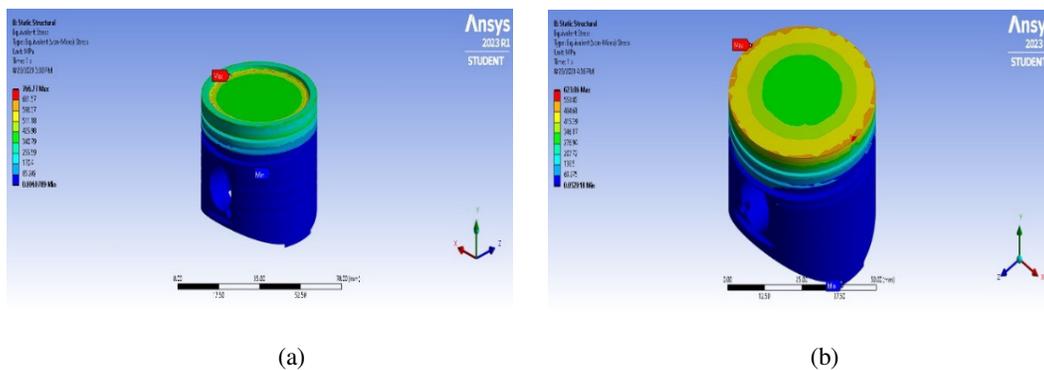
3.2 Tegangan von mises piston head bowl dan dome

Tegangan *Von Mises* maksimum piston *head bowl* dan *dome* ditunjukkan pada gambar 7. Secara umum nilai tegangan *Von Mises* maksimum piston *head bowl* lebih besar di bandingkan dengan piston *head dome*, hal ini dikarenakan pada permukaan piston *head dome* memiliki bentuk permukaan cembung yang memberikan pemerataan pembebanan lebih baik. Piston *head bowl* pada gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar variasi bentuk *piston head bowl* maka tegangan *Von Mises* maksimum semakin kecil. Sedangkan grafik piston *head dome* menunjukkan bahwa semakin besar variasi bentuk *piston head dome* maka tegangan *Von Mises* maksimum semakin besar. Terjadinya perubahan tegangan *Von Mises* maksimum ini menegaskan bahwa besarnya variasi panjang pada permukaan *piston head* cekung (*bowl*) dan cembung (*dome*) memberikan pengaruh terhadap nilai Tegangan *Von Mises* maksimum. Nilai Tegangan *Von Mises* maksimum paling tinggi terjadi pada bentuk *piston head bowl* variasi panjang 3mm yaitu sebesar 702,04 MPa.

Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi statis dengan metode FEA berupa kontur tegangan *Von Mises* yang terdistribusi pada piston *head*. Tegangan ekuivalen (*Von-Mises*) yang diperoleh dari ANSYS digunakan untuk menentukan apakah tegangan piston akan melebihi tegangan *yield* material atau tidak. Piston *head bowl* dan *dome* diberikan kondisi batas yang sama dalam tekanan dan suhu permukaan. Gambar 8 menunjukkan bahwa tegangan *Von Mises* maksimum terjadi pada daerah permukaan *piston*. Tegangan yang terjadi pada daerah *piston skirt* lebih kecil dibandingkan dengan tegangan pada daerah permukaan *piston*. Piston *dome* memiliki tegangan *Von Mises* maksimum tertinggi adalah 623,06 MPa dan pada piston *bowl* memiliki tegangan *Von Mises* maksimum tertinggi adalah 702,04 MPa. Hal ini juga terjadi pada penelitian sebelumnya oleh Lee dan Ku (2021) dimana nilai tegangan *Von Mises* maksimum piston *head dome* lebih rendah dari piston *head bowl*.



Gambar 7. Tegangan Von Mises piston head bowl dan dome.

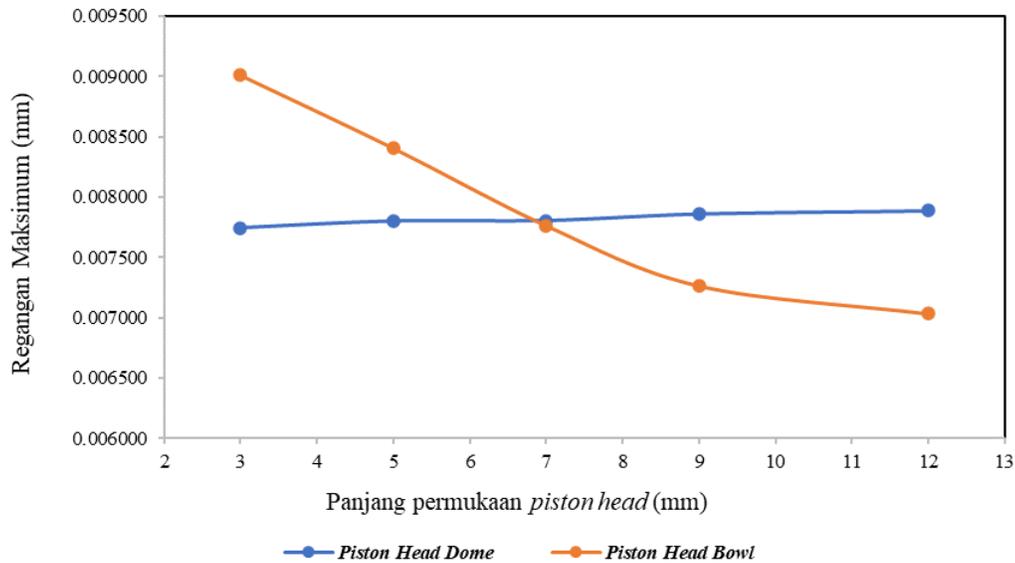


Gambar 8. Simulasi tegangan Von Mises piston head (a) bowl, (b) dome.

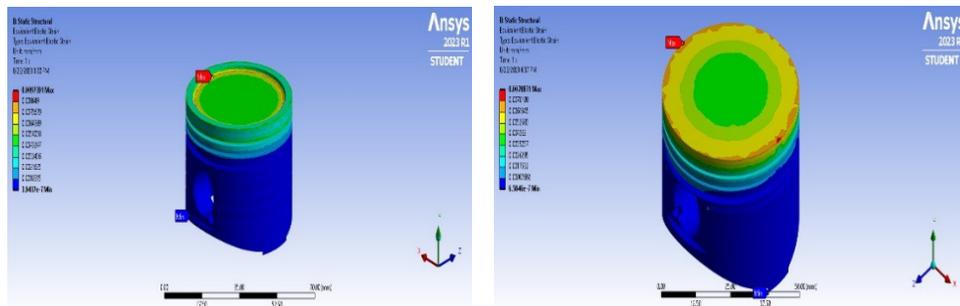
3.3 Regangan piston head bowl dan dome

Gambar 9 menunjukkan grafik regangan maksimum piston head bowl dan dome. Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin besar variasi panjang pada permukaan piston head bowl maka regangan maksimum semakin kecil. Sedangkan pada piston head dome, semakin besar variasi bentuk piston maka regangan maksimum semakin besar. Hal ini menegaskan bahwa besarnya variasi panjang pada permukaan piston head cekung (bowl) dan cembung (dome) memberikan pengaruh terhadap nilai deformasi maksimum. Nilai regangan maksimum paling tinggi terjadi pada bentuk piston head bowl variasi panjang 3mm yaitu sebesar 0,009012 mm.

Gambar 10 menunjukan hasil simulasi statis dengan metode FEA berupa kontur regangan yang terdistribusi pada piston head bowl dan dome. Regangan total menunjukkan jumlah perpindahan yang dialami oleh setiap bagian piston di bawah tekanan yang diberikan. Pada gambar 10a ditunjukkan bahwa regangan maksimum piston head cekung (bowl) terjadi pada permukaan piston, sedangkan pada gambar 10b ditunjukkan bahwa regangan maksimum piston head cembung (dome) terjadi pada ujung permukaan piston. Piston dome memiliki regangan maksimum lebih rendah dibandingkan dengan piston bowl di bawah tekanan dan suhu permukaan yang sama (Zheng dkk, 2019).



Gambar 9. Regangan piston head bowl dan dome.



(a)

(b)

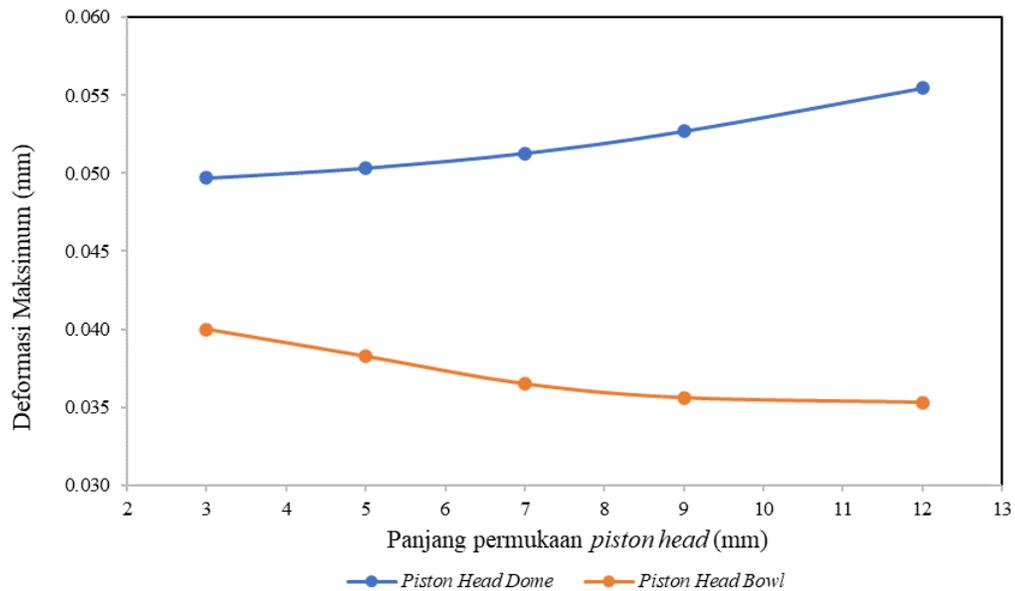
Gambar 10 Simulasi regangan piston head (a) bowl, (b) dome.

3.4 Deformasi piston head bowl dan dome

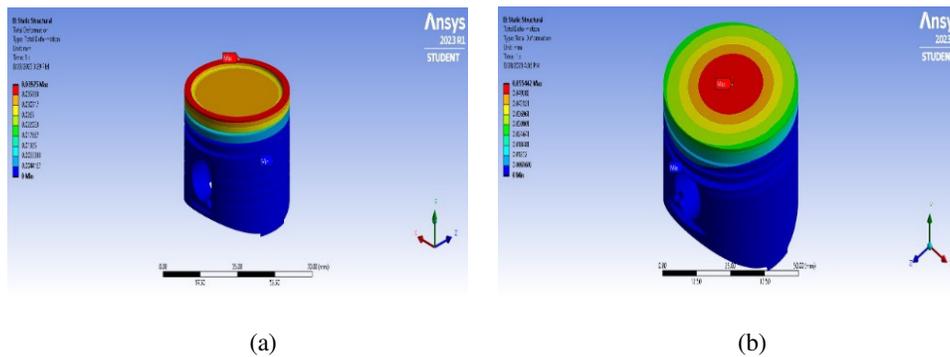
Gambar 11 menunjukkan deformasi maksimum piston head bowl dan dome dengan pembebanan 1 MPa dan suhu permukaan piston 200 °C. Secara umum nilai deformasi maksimum piston head dome lebih besar di bandingkan dengan piston head bowl, hal ini dikarenakan pada permukaan piston head dome memiliki bentuk permukaan yang menghasilkan deformasi yang lebih besar. Gambar 11 juga menunjukkan grafik piston head bowl menunjukkan semakin besar variasi bentuk piston head bowl maka deformasi maksimum semakin kecil. Sedangkan, grafik piston head dome menunjukkan semakin besar variasi bentuk piston head dome maka deformasi maksimum semakin besar. Terjadinya kenaikan deformasi maksimum ini menegaskan bahwa besarnya variasi panjang pada permukaan piston head cembung (dome) memberikan pengaruh terhadap nilai deformasi maksimum. Nilai deformasi maksimum paling tinggi terjadi pada bentuk piston head dome variasi panjang 12 mm yaitu 0,055 mm.

Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi statis dengan metode FEA berupa kontur deformasi yang terdistribusi pada piston head bowl dan dome. Deformasi total menunjukkan jumlah perpindahan yang dialami oleh setiap bagian piston di bawah tekanan yang diberikan. Pada gambar 12a, deformasi maksimum piston head bowl terjadi pada ujung permukaan piston, sedangkan pada gambar 12b, deformasi maksimum piston head dome terjadi pada tengah permukaan piston. Piston head dome memiliki deformasi maksimum lebih tinggi dibandingkan dengan piston head bowl di bawah tekanan dan suhu permukaan yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa piston dome memiliki ketahanan yang lebih rendah terhadap perubahan bentuk atau ukuran ketika

tekanan diberikan dibandingkan dengan jenis piston *bowl*. Hal ini juga terjadi pada penelitian sebelumnya oleh Lee dan Ku (2021) dimana nilai deformasi maksimum piston *head dome* lebih tinggi dari piston *head bowl*.



Gambar 11. Deformasi piston *bowl* dan *dome*.



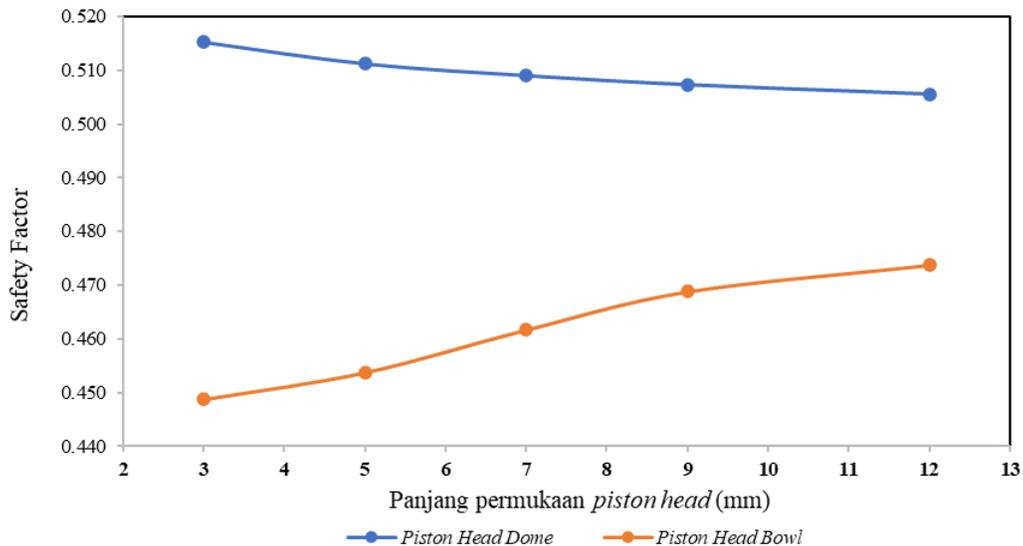
Gambar 12. Simulasi deformasi piston *head* (a) *bowl*, (b) *dome*.

3.5 Safety factor piston head bowl dan dome.

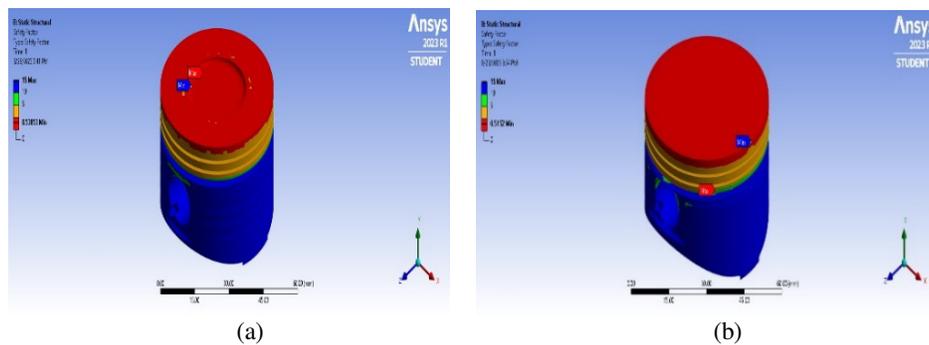
Gambar 13 menunjukkan grafik *safety factor* piston *head bowl* dan *dome* dengan proses pembebanan 1 MPa dengan suhu permukaan piston 200 °C. Secara umum nilai *safety factor* piston *head dome* lebih besar di bandingkan dengan piston *head bowl*, hal ini dikarenakan pada permukaan piston *head dome* memberikan pemerataan pembebanan lebih baik sehingga nilai tegangan Von Mises maksimum lebih kecil. Berdasarkan gambar 13, grafik piston *head bowl* menunjukkan semakin besar variasi bentuk piston *head bowl* maka *safety factor* semakin besar. Sedangkan, grafik piston *head dome* menunjukkan semakin besar variasi bentuk piston *head dome* maka *safety factor* semakin kecil. Nilai *safety factor* paling tinggi terjadi pada bentuk piston *head dome* variasi panjang 3 mm yaitu 0,515.

Gambar 14 menunjukkan hasil simulasi statis dengan metode *FEA* berupa kontur *safety factor* yang terdistribusi pada piston *head*. Piston *head bowl* dan *dome* diberikan kondisi batas yang sama dalam tekanan dan suhu permukaan. Piston *dome* memiliki nilai *safety factor* minimum tertinggi yaitu 0,515 dan pada piston *bowl* memiliki nilai *safety factor* minimum tertinggi yaitu 0,474. *Safety factor* pada kedua desain piston pada penelitian ini memiliki nilai < 1 sehingga tidak optimal untuk digunakan atau tidak dapat diaplikasikan pada

kondisi *boundary* yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa piston akan berubah bentuk secara plastis di bawah beban yang diberikan dan tidak aman. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi dan desain piston *dome* dan *bowl* pada penelitian saat ini tidak sesuai untuk piston beroperasi (Dhamecha dkk, 2020).



Gambar 13. Safety factor piston head bowl dan dome.



Gambar 14. Simulasi *safety factor* piston head (a) bowl, (b) dome.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai simulasi pengaruh variasi bentuk piston *head* terhadap perubahan sifat mekanik menggunakan *software* Ansys dengan metode *finite element analysis* dapat disimpulkan bahwa:

1. Tegangan *Von Mises* maksimum piston *head bowl* lebih besar di dibandingkan dengan piston *head dome*. Pada piston *head bowl* menunjukkan bahwa semakin besar variasi bentuk piston *head bowl* maka tegangan *Von Mises* maksimum semakin kecil, sedangkan pada piston *head dome* menunjukkan bahwa semakin besar variasi bentuk piston *head dome* maka tegangan *Von Mises* maksimum semakin besar. Simulasi pada piston *head dome* memiliki nilai tegangan *Von Mises* maksimum yaitu 623,06 MPa, sedangkan pada piston *head bowl* memiliki nilai tegangan *Von Mises* maksimum yaitu 702,04 MPa.
2. Semakin besar variasi panjang pada permukaan piston *head bowl* maka regangan maksimum semakin kecil. Sedangkan pada piston *head dome*, semakin besar variasi bentuk piston maka regangan maksimum semakin besar. Nilai regangan maksimum piston *head dome* yaitu 0,007887 mm, sedangkan pada piston *head bowl* yaitu 0,009012 mm.
3. Nilai deformasi maksimum piston *head dome* lebih besar di dibandingkan dengan piston *head bowl*. Dengan

semakin besar variasi bentuk piston *head*, maka deformasi maksimum semakin kecil pada piston *head bowl*, sedangkan deformasi maksimum semakin besar piston *head dome*. Nilai deformasi maksimum piston *head dome* yaitu 0,055 mm, sedangkan pada piston *head bowl* yaitu 0,040 mm.

4. *Safety factor* piston *head dome* lebih besar di bandingkan dengan piston *head bowl*. Pada piston *head bowl*, *safety factor* semakin besar dengan meningkatnya variasi bentuk piston *head*, sedangkan *safety factor* semakin kecil pada piston *head dome*. Nilai *safety factor* paling tinggi terjadi pada bentuk piston *head dome* variasi panjang 3 mm yaitu 0,515.
5. Dimensi dan desain piston *dome* dan *bowl* pada penelitian ini tidak sesuai untuk piston beroperasi. Desain piston *dome* dan *bowl* akan berubah bentuk secara plastis di bawah beban yang diberikan dan tidak aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Andoko, Puspitasari, P., Finite element analysis of surface tension on piston due to pressure variation. AIP Conference Proceedings, 2016.
- Cahyo, F.N., Soegijono, B., Effect of solution heat treatment of Aluminum alloy 4032 on the structure and corrosion resistance in 3,5% and 10,5% NACL solution. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 694(1), 2019.
- Choubey, N., Shrivastava, A. K., Choubey, A., Singh, S., Bhaskar, B., Thermal analysis on two wheeler piston with different materials by using FEA method. Int. J. Nonlinear Anal. Appl, 13, 2008–6822, 2022.
- Dagar, N., Sharma, R., Rinawa, M.L., Gupta, S., Chaudhary, V., Gupta, P., Design and analysis of piston using Aluminum alloy and composites in Solidworks and Ansys. International Conference Journal Recent Advances in Functional Materials, 2022.
- Dhamecha, Y., Saptarshi, V., Parikh, S., Parnami, T., Design and analysis of piston using different materials. International Research Journal of Engineering and Technology, 7(12), 1112–1117, 2020.
- Heywood, J. B., Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill Education, 2018
- Lee, Z. R., Ku, P. X., Geometry design and optimization of piston by using finite element method. Journal of Physics: Conference Series, 2120(1), 2021.
- Sathishkumar, S., Kannan, M., Structural, thermal and thermo-mechanical analysis of four stroke petrol engine piston using CAE tools. Acta Mechanica Malaysia, 3(1): 05-10, 2020.
- Tsamroh, D.I., Putra, A.D, Pradani, Y.F., Simulasi desain piston (torak) dengan material baja paduan menggunakan metode elemen hingga. Journal of Mechanical and Electrical Technology, 1(2), 2022.
- Zheng, B., Zhang, J., Yao, Y., Analisis elemen hingga piston berdasarkan Ansys. Institution of Transportation and Automobile Engineering. IEEE 978-1-5386-6243-4, 2019.
- Zhou, Y., Sofianopoulos, A., Lawler, B., Mamalis, S., Advanced combustion free-piston engines, International Journal of Engine Research, 21: 1205–1230, 2020.