

ANALISIS MEKANIK DAN TERMAL PISTON MESIN PEMBAKARAN DALAM MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS 2023

Muhammad Taufiqurrahman¹, Agung Raharjo², Auzan Faizdaffa Hakim³,

Danu Prasetyo⁴, Trisma Jaya Saputra⁵

Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Tidar

Email : muhammad.taufiqurrahman@students.untidar.ac.id,

agung.raharjo21@students.untidar.ac.id,

auzanfaizdaffahakim@students.untidar.ac.id,

danupras@students.untidar.ac.id

Abstract

As the main part of the internal combustion engine, the piston functions as the prime mover in the internal combustion engine, which transfers the power generated by burning fuel in the combustion chamber to other driving mechanisms such as the crankshaft. This study aims to measure the strength and resistance of certain piston materials, as well as to determine the factors that affect piston wear. In addition, a thermal analysis was carried out to determine the temperature distribution on the piston and measure the effect of temperature on engine performance. In this research, we will use the finite element method to perform numerical simulations of internal combustion engine pistons. Test simulations were carried out on pistons using Ansys 2021 R3 software and CAD three-dimensional modeling of flat head pistons using SOLIDWORKS software in 2022. The material used for the pistons is AlSi10Mg aluminum alloy. Two Steady State Thermal and Static Structural simulations were carried out. Steady State Thermal Simulation produces temperature distribution and total heat flux. While Static Structural simulation produces total deformation, equivalent (von-mises) stress, shear stress, and normal stress.

Keywords: Piston, Piston Material, Internal Combustion, Aluminum AlSi10Mg, Software Ansys 2021

Abstrak

Sebagai bagian utama dari mesin pembakaran dalam, piston berfungsi sebagai penggerak utama pada mesin pembakaran dalam, yaitu memindahkan tenaga yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar menuju mekanisme penggerak lainnya seperti *crankshaft*. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kekuatan dan ketahanan material piston tertentu, serta untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi keausan piston. Selain itu, analisis termal dilakukan untuk mengetahui distribusi suhu pada piston dan mengukur pengaruh suhu pada kinerja mesin. Dalam penelitian ini, kami akan menggunakan metode elemen hingga untuk melakukan simulasi numerik terhadap piston mesin pembakaran dalam. Simulasi pengujian yang dilakukan pada piston menggunakan software Ansys 2021 R3 dan pembuatan model tiga dimensi CAD dari piston kepala datar menggunakan perangkat lunak SOLIDWORKS tahun 2022. Material yang digunakan pada piston adalah paduan aluminium AlSi10Mg. Dilakukan dua simulasi *Steady State Thermal*,

dan *Static Structural*. Simulasi *Steady State Thermal* menghasilkan distribusi temperatur dan total heat flux. Sedangkan simulasi *Static Structural* menghasilkan total deformasi, *equivalent (von-mises) stress*, tegangan geser, dan tegangan normal.

Kata Kunci: Piston, Material Piston, Pembakaran Dalam, Aluminium AlSi10Mg, Software Ansys 2021

PENDAHULUAN

Motor pembakaran dalam adalah motor utama yang masih digunakan. Menggunakan energipanas hasil pembakaran bahan bakar menjadi energimekanik. Mesin pembakaran dalam adalah salahsatu jenis mesin penghasil panas dimana pembakaran bahan bakar terjadi di dalam mesinpembakaran dalam itu sendiri sehingga terjadi gas hasil pembakaran dan berperan sebagai fluida kerjanya (Ramadhani et al., 2019). Motorpembakaran dalam juga merupakan salah satu jenismesin yang banyak digunakan pada kendaraan bermotor dan alat-alat industri. Sebagai bagian utama dari mesin pembakaran dalam, piston berfungsi sebagai penggerak utama pada mesin pembakaran dalam, yaitu memindahkan tenaga yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar menuju mekanisme penggerak lainnya seperti *crankshaft*. Selain itu, piston juga berfungsi sebagai pengatur aliran bahan bakar dan udara di dalam mesin.

Ketika mesin bekerja, piston bergerak naikturun di dalam silinder untuk menyalurkan bahan bakar dan udara ke dalam ruang bakar dan mengeluarkan gas buang. Piston juga harus tahan terhadap tekanan dan panas yang sangat tinggi yangdihasilkan oleh proses pembakaran, sehingga harus terbuat dari bahan yang kuat dan tahan panas seperti alumunium atau baja. Dalam mesin pembakaran dalam, piston memainkan peran yang sangat penting dalam menghasilkan tenaga yang dibutuhkan kendaraan dan memastikan kinerja mesin yang optimal. Oleh karena itu, analisis mekanik dan termal piston mesin pembakaran dalam menjadi sangat penting dalam upaya meningkatkan efisiensidan kinerja mesin. Dalam penelitian ini, kami akan melakukan analisis mekanik dan termal piston mesin pembakaran dalam untuk mengetahui faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja mesin.

Analisis mekanik piston mesin pembakaran dalam dilakukan untuk mengukurkekuatan dan ketahanan material piston tertentu, serta untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi keausan piston. Selain itu, analisis termal dilakukan untuk mengetahui distribusi suhu pada piston dan mengukur pengaruh suhu pada kinerja mesin. Dalam penelitian ini, kami akan menggunakan metode elemen hingga untuk melakukan simulasi numerik terhadap piston mesinpembakaran dalam (Cioatã et al., 2017a).

ANSYS adalah salah satu perangkat lunak simulasi terkemuka yang digunakan untuk melakukan penelitian dan analisis dengan metode elemen hingga yang dapat menganalisis mekanikdan termal piston mesin pembakaran (Fadila A & Syam B, 2013). Dalam dunia otomotif, mesin pembakaran internal sangat penting dalam menggerakkan kendaraan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terperinci pada mesin pembakaran internal untuk memastikan kinerjanya optimal. ANSYS menyediakan berbagai alat analisis, termasuk simulasi dinamik fluida (CFD), analisis kekuatan, dan analisis termal, yang semuanya membantu dalam memahami perilaku mesin pembakaran internal.

Dengan menggunakan ANSYS, para insinyur dapat memprediksi kinerja mesin pembakaran internal, mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan, dan mengembangkan solusi yang lebih efisien dan efektif. Dalam paragraf ini, akan dibahas lebih lanjut tentang bagaimana ANSYS digunakan untuk simulasi dan penelitian mesin pembakaran internal.

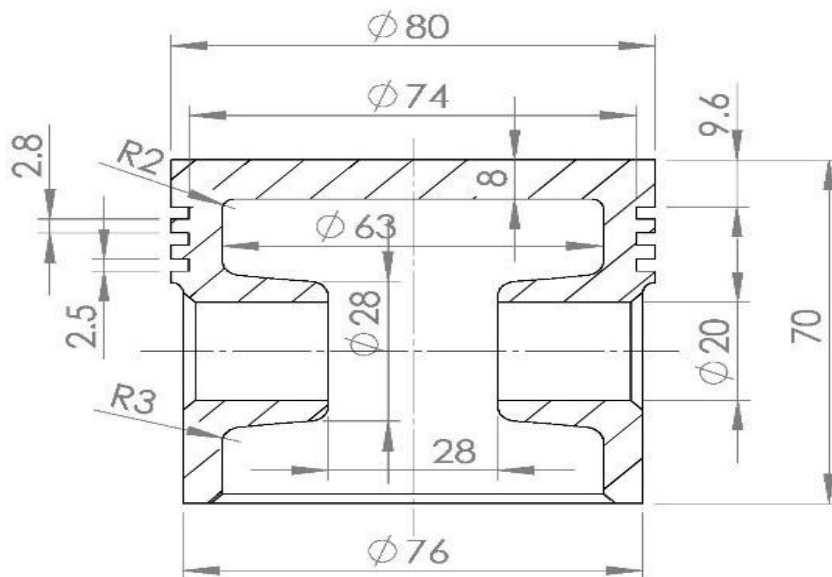
Penelitian ini menggunakan sampel dari material paduan aluminium. Aluminium digunakan sebagai paduan dengan berbagai logam murni karena tidak kehilangan sifat ringannya, sifat mekanis yang baik, dan kemampuan pengerjaan yang dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur-unsur lain. Paduan aluminium banyak digunakan pada komponen yang membutuhkan kombinasi antara sifat termal yang baik dan massa yang relatif ringan, seperti pada komponen pesawat terbang dan otomotif yang memiliki bentuk yang kompleks.

Penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dari piston. Selain itu, hasil penelitian ini dapat membantu pengembangan teknologi pada mesin pembakaran dalam dan meningkatkan efisiensi serta kinerja mesin tersebut.

METODE PENELITIAN

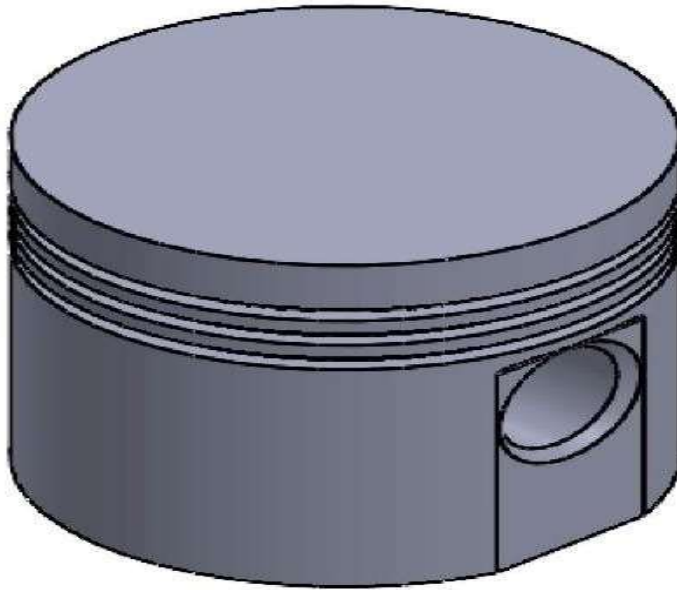
Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik dengan perangkat lunak ANSYS. Pertama, peneliti membuat model tiga dimensi CAD dari piston kepala datar menggunakan perangkat lunak SOLIDWORKS tahun 2022. Dimensi pada jurnal referensi digunakan sebagai acuan untuk membuat ukuran model tiga dimensi untuk piston kepala datar tersebut. Material yang digunakan pada piston adalah paduan aluminium AlSi10Mg.

Dimensi Model Kepala Piston (Cioatǎ et al., 2017b)



Gambar 1 Dimensi Kepala Piston

Model Tiga Dimensi Kepala Piston



Gambar 2 Tampilan Tiga Dimensi Kepala Piston

Setelah model tiga dimensi selesai dibuat, model terkait setelah jadi dibuat, kemudian diimpor ke perangkat lunak ANSYS. Sebelum model tiga dimensi masuk ke software ANSYS, peneliti menyiapkan konsep analisis yang akan dilakukan dengan ANSYS Workbench.

ANSYS Workbench adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (engineering). Ansys Workbench menyediakan fasilitas untuk berinteraksi antar solvers famili Ansys (Darianto et al., 2019). Fitur utamanya meliputi kemampuan untuk merancang produk, melakukan simulasi mekanika struktur, simulasi fluida, analisis termal, dan lain - lain. Namun pada simulasi ini, peneliti hanya menggunakan sebagian fitur yaitu *Steady State Thermal*, dan *Static Structural*. Selain itu, ANSYS Workbench juga memberikan alat untuk analisis kinerja, optimasi desain, visualisasi hasil simulasi, dan pembuatan laporan. ANSYS Workbench dapat membantu proses penyajian hingga pasca simulasi menjadi lebih cepat dan mudah.

Setelah target simulasi dipilih, kemudian pada *Engineering Data* terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam pengujian atau simulasi. Disini tidak perlu merubah *Engineering Data* yang sudah ada. Kemudian pada *Geometry*, dapat digunakan untuk mengimport model tiga dimensi yang telah dibuat menggunakan perangkat lunak SOLIDWORKS di awal.

Lanjut pada Model, dibuatlah *mesh* dari model tiga dimensi yang telah diimpor tersebut atau bisa disebut dengan proses *meshing*. *Meshing* adalah proses membagi domain geometri menjadi elemen- elemen diskrit yang lebih kecil yang dikenal sebagai elemen mesh atau jaringan elemen. Dalam konteks simulasi dan analisis numerik, mesh digunakan untuk merepresentasikan geometri objek yang kompleks menjadi struktur yang lebih sederhana yang dapat dipahami oleh algoritma komputasi. Semakin kecil luasan domain bagi untuk *meshing*, maka semakin lama proses komputasinya.

Begitu juga dengan spesifikasi perangkat yang diperlukan juga makin tinggi apabila luasan domain bagi untuk *meshing*. Karena saat domain makin kecil akan menambah jumlah domain yang dihasilkan. Untuk mempertimbangkan aspek termal pada piston, analisis termal dilakukan dengan mensimulasikan aliran panas yang terjadi pada piston selama operasi. Data input termal seperti temperatur awal sebesar 22°C , temperatur sebesar 1000°C , koefisien perpindahan panas sebesar , dan suhu ruangan sebesar 22°C . Hasil dari simulasi termal digunakan untuk memeriksa distribusi temperatur pada piston dan segmen.

Selanjutnya, analisis mekanik dilakukan pada piston menggunakan simulasi statik. Data input mekanik tekanan sebesar 10 Pa. Hasil dari analisis mekanik digunakan untuk memeriksa tegangan dan distorsi pada piston.

Tinjauan Pustaka

1. Piston

Piston atau torak merupakan komponen penting dalam kendaraan bermotor. Piston bekerja tanpa henti selama mesin hidup. Pada piston, beban termal dan mekanis bekerja. Ketahanan piston terhadap beban termal dan mekanis membatasi tenaga mesin pembakaran dalam (Budiyanto et al., 2018). Komponen ini harus memiliki ketahanan yang tinggi karena menerima suhu dan tekanan yang tinggi. Kerusakan utama pada komponen ini disebabkan oleh keausan pada piston yang disebabkan oleh kurangnya perawatan kendaraan oleh pengguna, terutama dalam memeriksa volume oli mesin. Jika volume oli mesin berada di bawah standar yang ditetapkan, piston akan mudah mengalami keausan karena kurangnya pelumasan (Abdillah, 2010).

2. Proses Pembakaran

Pembakaran adalah proses kimia di mana bahan bakar bereaksi dengan oksigen yang menghasilkan peningkatan suhu dan nyala api. Pembakaran yang terjadi di dalam silinder motor, peningkatan suhu ini sangat penting. Energi panas yang dihasilkan kemudian diubah menjadi energi mekanik sedangkan produk-produk kimia sisa pembakaran dibuang dalam bentuk asap (Prastianto, 2018).

3. AlSi10Mg

Aluminium digunakan sebagai campuran berbagai logam murni, karena tidak kehilangan sifat ringan, sifat mekanik dan fluiditasnya, yang dapat ditingkatkan dengan menambahkan unsur lain. (Dinov Mu et al., n.d.).

AlSi10Mg merupakan jenis paduan aluminium seri 6XXX yang paduan utamanya adalah silikon (Si) dan Magnesium (Mg) (Fahri Ozdogru, 2023). Kekuatan dan kekakuan yang tinggi, serta memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik menjadi keunggulan dari paduan ini. Selain itu, paduan ini juga memiliki karakteristik termal yang baik, dengan konduktivitas panas yang tinggi. Paduan ini sering digunakan pada komponen yang membutuhkan kombinasi sifat termal yang baik dan massa yang relatif rendah, seperti komponen pesawat terbang dan otomotif dengan bentuk yang relatif kompleks.

Karena piston memiliki peranan penting dalam proses pembakaran. Sehingga material pembuatan piston merupakan material dengan spesifikasi khusus dan menggunakan bijih aluminium untuk membuat paduannya.

HASIL

MATERIAL

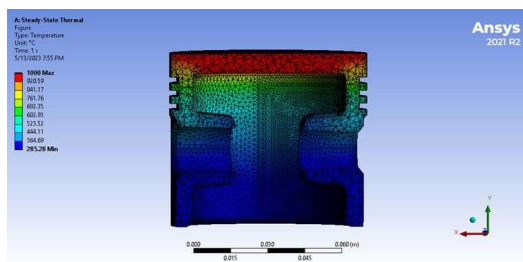
Nama	AlSi10Mg
Density	2670 kg/m ³
Young's Modulus	7.66e+10 Pa
Thermal Conductivity	110 W/m.°C
Specific Heat	915 J/kg. °C

A. ANALISIS *THERMAL*

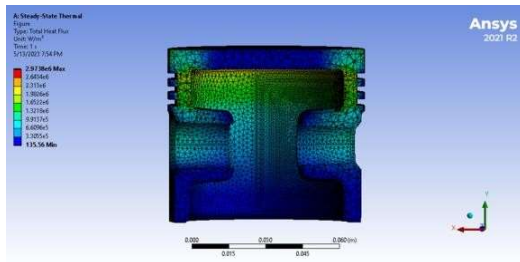
1. Temperatur

STEADY-STATE

Tipe	Temperature
Minimum	285.28 °C
Maksimum	1000. °C
Rata-rata	524.1 °C



Gambar 3 Grafik Analisis Steady State Thermal Temperatur - dalam penampang

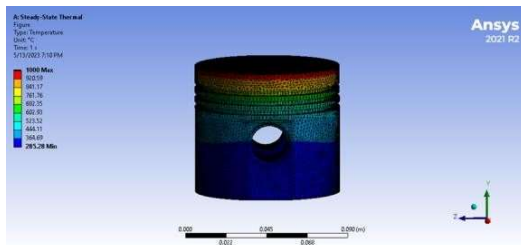


Gambar 4 Grafik Analisis Steady State Thermal Temperatur - dalam tiga dimensi

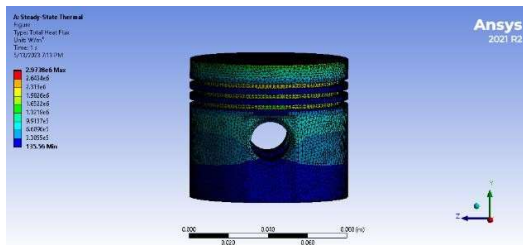
Dari gambar di atas menampilkan pola distribusi suhu pada permukaan piston dalam keadaan steady state. Suhu tertinggi terjadi di bagian atas piston, mencapai 1000 °C, dan mencapai kondisi kesetimbangan pada suhu 285.28 °C. Suhu kesetimbangan adalah saat suhu sistem sama dengan suhu lingkungan sekitarnya.

1. Total Heat Flux

Tipe	Total Heat Flux
Minimum	135.56 W/m ²
Maksimum	2.9738e+006 W/m ²
Rata-rata	6.8945e+005 W/m ²



Gambar 5 Grafik Analisis Steady State Thermal Temperatur Heat Flux - dalam penampang



Gambar 6 Grafik Analisis Steady State Thermal Temperatur Heat Flux - dalam tiga dimensi

Heat flux didefinisikan sebagai laju transfer energi panas dari satu permukaan ke permukaan yang lain.

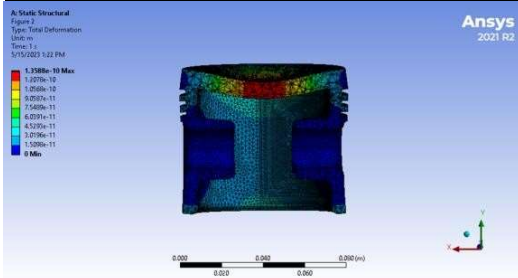
Heat flux ini bergerak sejajar dengan permukaan luar dari benda padat, menunjukkan bahwa panas akan mengalir menuju permukaan dengan suhu yang lebih rendah.

Dari gambar di atas dapat dilihat total heat flux tertinggi sebesar $2.9738 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ dan terendah sebesar 135.56 W/m^2 .

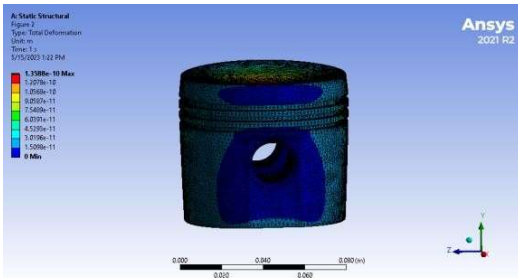
B. ANALISIS *STATIC STRUCTURAL*

1. Total Deformasi

Tipe	Total Deformasi
Minimum	0. m
Maksimum	$1.3588 \times 10^{-10} \text{ m}$
Rata-rata	$2.5738 \times 10^{-11} \text{ m}$



Gambar 7 Grafik Analisis Statika Struktur Total Deformasi - dalam penampang

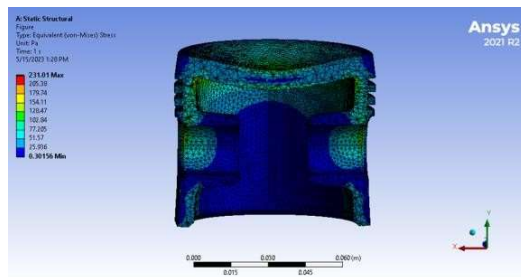


Gambar 8 Grafik Analisis Statika Struktur Total Deformasi - dalam tiga dimensi

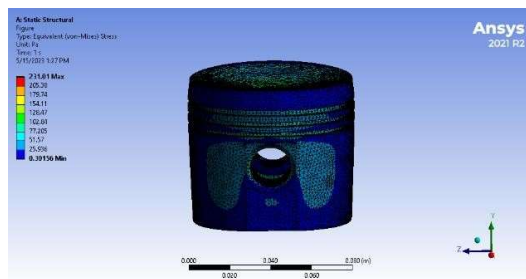
Dari gambar terlihat bahwa nilai deformasi maksimum sebesar $1.3588 \times 10^{-10} \text{ m}$ dan deformasi minimum sebesar 0 m. Bagian pada piston yang berwarna merah menunjukan deformasi maksimum dan bagian yang berwarna biru menunjukan deformasi minimum. Hasil tersebut menunjukan paduan AlSi10Mg berpotensi untuk dijadikan bahandasar piston. material paduan AlSi10Mg berpotensi untuk dijadikan bahan dasar material penyusun piston.

2. Equivalent (von-Mises) Stress

Type	Equivalent (von-Mises) Stress
Minimum	0.30156 Pa
Maksimum	231.01 Pa
Rata-rata	2 33.593 Pa



Gambar 9 Grafik Analisis Statika Struktur Tegangan Ekuivalen von mises - dalam penampang



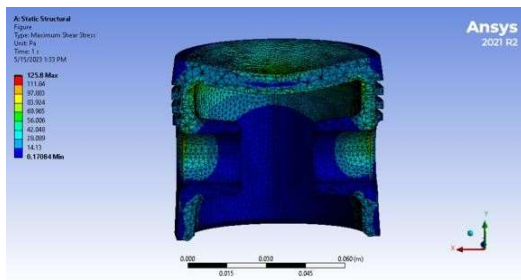
Gambar 10 Grafik Analisis Statika Struktur Tegangan Ekuivalen von mises - dalam tiga dimensi

Tegangan Ekuivalen von Missess digunakan untuk menilai kekuatan luluh suatu material dan perhitungan kekuatan lelah.

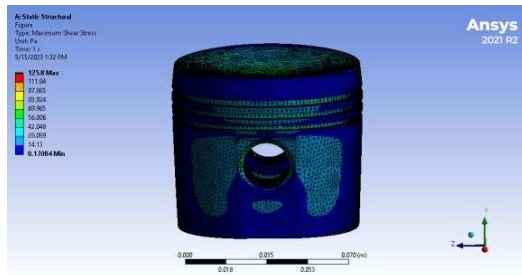
Dari gambar terlihat bahwa hasil simulasi Equivalent von-Missess stress menunjukkan tegangan maksimum pada piston sebesar 231.01 Padan tegangan minimum sebesar 0.30156 Pa. Tidak adanya warna merah menunjukkan tegangan yang diterima piston sangat minim.

3. Tegangan Geser

Tipe		Tegangan Geser
Minimum		0.17084 Pa
Maksimum		125.8 Pa
Rata-rata		18.376 Pa
	Minimum	25.16 Pa
	Maximum	125.8 Pa



Gambar 11 Grafik Analisis Statika Struktur Tegangan Geser - dalam penampang



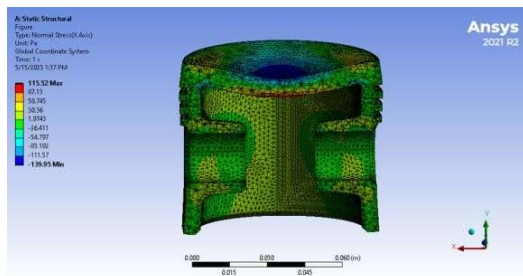
Gambar 12 Grafik Analisis Statika Struktur Tegangan Geser - dalam tiga dimensi

Dari gambar terlihat adanya tegangan geser tarik dan tegangan geser tekan. Tegangan geser maksimum sebesar 125.8 Pa (warna merah) dan tegangan geser minimum sebesar 0.17084 Pa (warna biru) (Tsamroh et al., 2022).

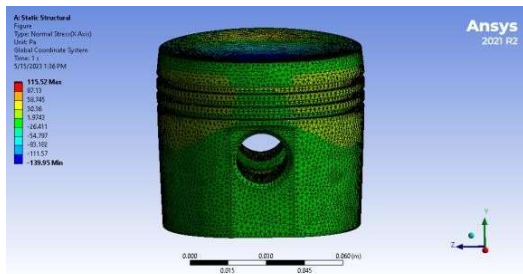
Tegangan geser juga berbanding lurus dengan nilai deformasi. Tegangan yang terjadi secara terus - menerus mengakibatkan deformasi pada piston.

4. Tegangan Normal

Type	Tegangan Normal
Minimum	-139.95 Pa
Maksimum	115.52 Pa
Rata-rata	0.58558 Pa



Gambar 13 Grafik Analisis Statika Struktur Tegangan Normal - dalam penampang



Gambar 14 Grafik Analisis Statika Struktur Tegangan Normal - dalam tiga dimensi

Dari gambar terlihat bahwa hasil simulasi tegangan normal pada piston menunjukkan tegangan normal maksimum mencapai 115.52 Pa dan tegangan normal minimum mencapai -139.95 Pa. Adanya nilai positif dan negatif menunjukkan adanya tekanan dan tarikan yang dialami oleh piston.

KESIMPULAN

1. Sifat mekanik yang baik dari paduan AlSi10Mg, seperti kekuatan tinggi, ketahanan korosi dan suhu tinggi, menjadi dasar pemilihan material ini sebagai model piston.
2. Piston mengalami deformasi tertinggi pada bagian atas kepala piston. Pada deformasi, konsentrasi tegangan terbesar terjadi pada bagian atas piston.
3. Tegangan geser berbanding lurus dengan nilai deformasi. Tegangan yang minimum diakibatkan adanya nilai deformasi yang kecil. Oleh karena itu, meningkatkan kekakuan mahkota piston dapat mengurangi konsentrasi tegangan dan deformasi yang diterima lebih kecil. Dengan menggunakan perangkat lunak Solidworks 2022 dalam mendesain part, desainer dapat menganalisis berbagai varian konstruktif.

4. Dengan menggunakan software ANSYS, dapat memudahkan untuk hal pengujian seperti pengujian statika struktur dan deformasi. Pengujian menggunakan perangkat lunak juga dapat jauh menghemat pengeluaran biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, F. (2010). *PERLAKUAN PANAS PADUAN AL-SI PADA PROTOTIPE PISTON BERBASIS MATERIAL PISTONBEKAS*. 8–11.
- Budiyanto, E., Nugroho, E., & Zainudin, A. (2018). *UJI KETAHANAN FATIK ALUMINIUM SCRAP HASIL REMELTING PISTON BEKAS MENGGUNAKAN ALAT UJI FATIKTIPE ROTARY BENDING*. 7(1), 94.
- Cioată, V. G., Kiss, I., Alexa, V., & Rațiu, S. A. (2017a). Mechanical and thermal analysis of the internal combustion engine piston using Ansys. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 163(1), 1. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/163/1/012043>
- Cioată, V. G., Kiss, I., Alexa, V., & Rațiu, S. A. (2017b). Mechanical and thermal analysis of the internal combustion engine piston using Ansys. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 163(1), 2. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/163/1/012043>
- Darianto, D., Siregar, A., Umroh, B., & Kurniadi, D. (2019). SIMULASI KEKUATAN MEKANIS MATERIAL KOMPOSIT TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 3(1), 39. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v3i1.2443>
- Dinov Mu, F., Harjanto, B., Prodi Pendidikan Teknik Mesin, M., Pendidikan Teknik dan Kejuruan, J., & Kampus UNS Pabelan Jl Ahmad Yani, U. (n.d.). *PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO HASIL REMELTING AL-Si BERBASIS LIMBAH PISTON BEKAS DENGAN PERLAKUAN DEGASSING*.
- Fadila A, & Syam B. (2013). ANALISIS SIMULASI STRUKTUR CHASSIS MOBIL MESIN USU BERBAHAN BESI STRUKTUR TERHADAP BEBAN STATIK DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANSYS 14.5. *E-Dinamis*, 6, 74.
- Fahri Ozdogru, E. (2023, March 7). *The Effect of Chemical Composition on EN AW 6XXX Series Aluminum Alloys*. <https://www.intechopen.com/online-first/86386>
- Prastianto, E. (2018). *ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR PREMIUM DAN PERTAMAX TERHADAP PRESTASI MESIN*.
- Ramadhani, S., Hamzah, U. A., Pancing Pasar, J., & Medan, B. (2019). ANALISA PERHITUNGAN PEMBAKARAN PADAMOTOR DIESEL EMPAT LANGKAH. In *Jurnal Laminar* (Vol. 1, Issue 1).
- Tsamroh, I., Dwi Putra, A., Febdia Pradani, Y., Raden Rahmat, I., & Korespondensi, P. (2022). Simulasi Desain Piston (Torak) dengan Material Baja Paduan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Journal of Mechanical and Electrical Technology*, 1(2), 47.