

ANALISIS KEGAGALAN PADA PISTON *HEAD* TIPE KPH UNTUK JENIS MOTOR BEBEK

*Anang Arfan Ramadhan¹, Sri Nugroho², Mohammad Tauviquirrahman²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: anangarfan15@gmail.com

Abstrak

Salah satu bagian penting dalam blok mesin kendaraan ialah kepala piston, dimana piston dalam mesin berfungsi untuk melakukan pembakaran energi dan membuat kendaraan berjalan. Kerusakan atau kegagalan piston dapat menyebabkan masalah serius dalam performa kendaraan dan keandalan sistem pembakaran di ruang bakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik material piston yang mengalami kegagalan beserta mekanisme kegagalan yang terjadi dan penyebab kegagalan dengan fokus pada bahan aluminium *alloy* 4032. Metode uji yang digunakan pada penelitian yaitu pengamatan visual untuk mengetahui secara garis besar kerusakan yang terjadi, pengujian metalografi untuk memeriksa struktur makro serta mikro dari komponen uji, uji mekanik berupa tes *microvickers hardness* pada piston yang telah digunakan, uji komposisi kimia dari material, dan analisis *ansys* untuk mendukung data pengujian yang sudah dilakukan sebelumnya. Dari penelitian ini di dapatkan bahwa piston yang mengalami kegagalan mengandung aluminium sebesar 84% dan silikon 13%. Sedangkan kerusakan yang terjadi diakibatkan oleh pemakaian yang berlebihan dan adanya pembesaran ukuran piston yang menyebabkan *clearance* dinding silinder menyempit sehingga piston mengalami aus.

Kata Kunci : analisis kegagalan; *ansys*; piston motor

Abstract

One important part of an engine block is the piston head, where the piston in the engine functions to perform energy combustion and make the vehicle move. Damage or failure of the piston can lead to serious issues with the vehicle's performance and the reliability of the combustion system in the combustion chamber. This research aims to determine the characteristics of piston material that has experienced failure, along with the failure mechanism and its causes, focusing on the aluminum alloy 4032. The testing methods used in the research include visual inspection to broadly identify the damage, metallographic testing to examine the macro and micro structure of the test components, mechanical testing such as microvickers hardness testing on used pistons, chemical composition analysis of the material, and Ansys analysis to support the previously conducted tests. The study found that the failed piston contained 84% aluminum and 13% silicon. The damage was caused by excessive use and an increase in piston size, which led to a narrowing of the cylinder wall clearance, resulting in piston wear.

Keywords : *ansys*; failure analysis; motorcycle piston

1. Pendahuluan

Analisis kegagalan adalah teknik penelitian yang dilakukan secara sistematis dengan tujuan menemukan sumber kegagalan komponen atau peralatan. Hasil yang diharapkan dari analisis kegagalan adalah solusi atau saran untuk mengatasi kegagalan[1]. Komponen penggerak utama dalam kendaraan bermotor adalah piston. Mesin berfungsi untuk mengirimkan gaya yang dihasilkan dari pemuaian gas dalam silinder ke poros engkol melalui batang penghubung. Tenaga per langkah pada kecepatan lebih tinggi diperlukan untuk menahan tekanan mekanis puncak agar mesin dapat bekerja dengan baik[2]. Dari komponen piston yang didapatkan seperti pada Gambar 1 terjadi kerusakan berupa goresan (*seizure*) dan perubahan warna kehitam – hitaman terlihat pada beberapa sisi dinding piston, seperti yang terlihat di Gambar 1. Goresan- goresan pada dinding piston memiliki kedalaman dan lebar yang beragam. Selain itu, goresan tersebut juga terjadi dalam jumlah yang besar dan tersebar di seluruh permukaan dinding piston, menyebabkan permukaannya menjadi terluka[3]. Sebagian besar daerah keausan serius pada permukaan bagian dalam piston luar relatif kasar, dan tanda goresan dan strip keausan dapat dilihat. Strip keausan yang lebar menampilkan serpihan yang terkelupas yang menunjukkan karakteristik keausan akibat kelelahan[4]. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui apa yang menjadi

penyebab piston tersebut gagal. Dan rangkaian pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian visual, pengujian metalografi, pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan serta analisis *ansys* sederhana.



Gambar 1. Komponen Piston yang gagal

2. Dasar Teori dan Metode Penelitian

2.1 Piston

Piston adalah bagian silinder yang biasanya terbuat dari logam dan disegel di salah satu ujungnya dengan cincin piston. Fungsinya adalah untuk mentransfer gaya mekanis dari gas yang mengembang di mesin IC ke poros engkol[5].

2.2 Aluminium dan aluminium Paduan

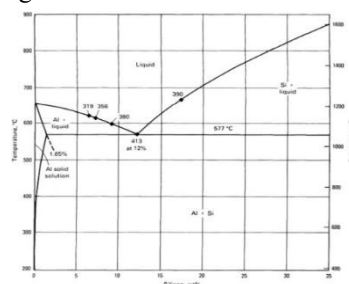
Aluminium adalah salah satu bahan logam yang paling serbaguna, hemat biaya, dan menarik untuk berbagai aplikasi, mulai dari kertas pembungkus yang lembut dan kuat hingga aplikasi teknik yang paling dibutuhkan. Ini karena kombinasi unik sifat dan paduannya. Sifat nonpiroforik aluminium sangat penting untuk industri listrik dan elektronik serta untuk aplikasi yang melibatkan penanganan atau paparan bahan yang mudah terbakar atau meledak. Kategori paduan: Komposisi *wrought alloys* dan *cast alloys* adalah dua kategori utama paduan aluminium. Banyak paduan mengalami perlakuan termal berdasarkan kelarutan fasa, yang mencakup perlakuan panas larutan, pendinginan, pengendapan, atau aging. Baik paduan *cast alloys* maupun *wrought alloys* disebut sebagai paduan yang dapat diolah dengan panas[6].

2.2.1 Aluminium Alloy 4032

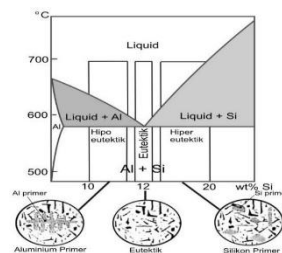
Jika dibandingkan dengan komposit lain yang terbuat dari bahan yang sama, aluminium alloy 4032 memiliki titik leleh yang lebih rendah. Paduan ini dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan kandungan silikonnya: paduan hipoeutektik memiliki kandungan silikon antara 5% hingga 10%, paduan eutektik memiliki kandungan silikon antara 11% hingga 13%, dan paduan hipereutektik memiliki kandungan silikon antara 14% hingga 25%[6].

2.2.2 Diagram Fasa Al-Si

Diagram ini menggambarkan garis likuidus dan solidus untuk paduan aluminium – silikon.



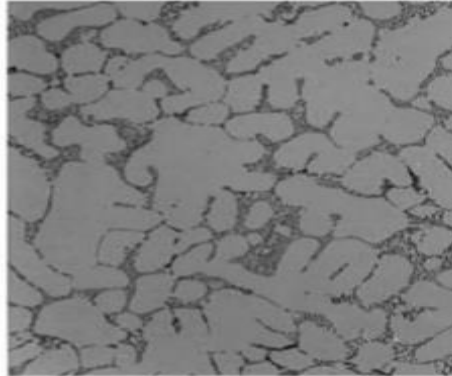
Gambar 2. Diagram fasa paduan Al-Si (ASM Handbook, 2004)



Gambar 3. Diagram fasa Al-Si dan struktur mikro paduan (komposisi hipoeutektik, eutektik, dan hipereutektik)

2.2.3 Paduan Aluminium Hipoeutektik

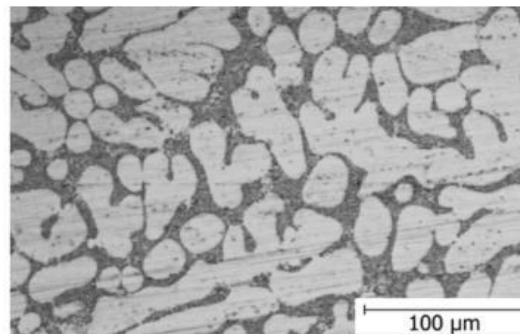
Paduan dengan komposisi kurang dari komposisi eutektik. Memiliki struktur mikro dendrit α -Al primer dengan campuran eutektik (α -Al + Si) di daerah interdendritik [7].



Gambar 4. Struktur mikro hipoeutektik

2.2.4 Paduan Aluminium Eutektik

Paduan dengan komposisi tepat di titik eutektik, Campuran halus fase α -Al dan Si membentuk struktur lamelar atau batang, dimana diagram Komposisi eutektik adalah pada 12,6% Si di diagram fase Al-Si pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur mikro eutektik

2.2.5 Paduan Aluminium Hipereutektik

Paduan dengan komposisi lebih besar dari komposisi eutektik, memiliki Struktur mikro Partikel Si primer dalam matriks eutektik (α -Al + Si), dan Diagram fase Al-Si menunjukkan daerah hipereutektik di sebelah kanan titik eutektik (12,6% Si), sehingga kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan.



Gambar 6. Struktur mikro hipereutektik

2.3 Failure Analysis

Analisis kegagalan adalah proses untuk memahami faktor-faktor yang menyebabkan komponen atau sistem mengalami kegagalan. Ini melibatkan identifikasi, evaluasi, dan pemahaman penyebab utama kegagalan sehingga langkah pencegahan yang tepat dapat diambil. Analisis kegagalan juga mencakup penggunaan berbagai teknik dan metode analisis untuk memeriksa dan menganalisis kerusakan yang terjadi dari segi material, struktur, dan lingkungan. Tujuan utama adalah untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang komponen yang menyebabkan kegagalan sehingga dapat diambil tindakan pencegahan yang tepat untuk mencegah hal serupa

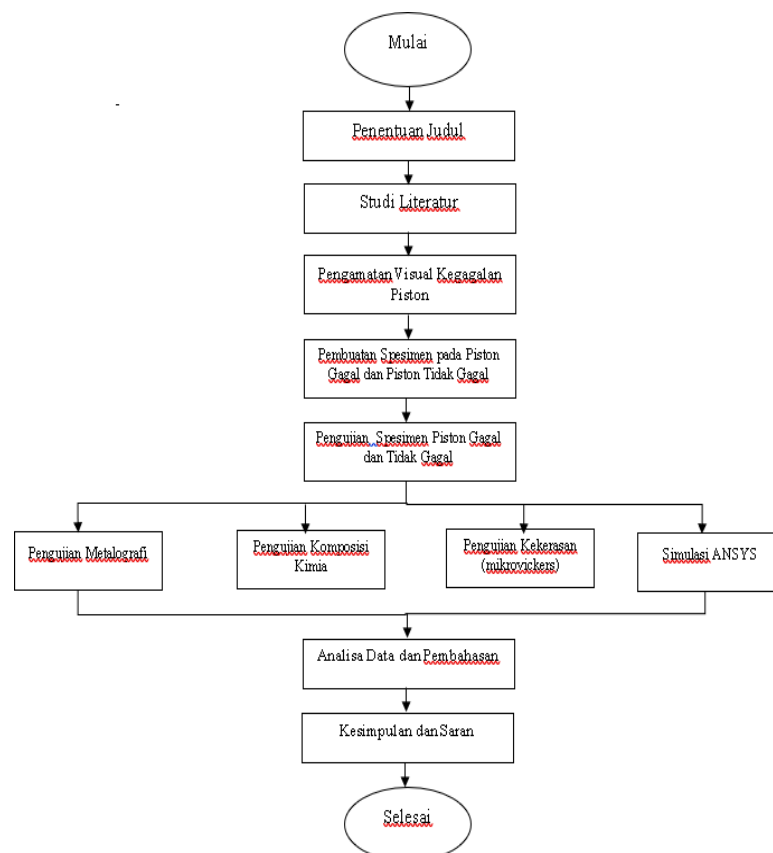
terjadi di masa depan[8]. Analisis kegagalan pada piston pada penelitian lain perlu dimasukkan dalam penelitian ini karena kasus yang umum terjadi pada kerusakan area *skirt* piston diakibatkan oleh kelelahan. Kelelahan terjadi ketika tekanan siklik terjadi di area suatu komponen dan alasan utama dari kerusakan yang terjadi adalah tekanan yang terjadi pada area sekitar *skirt* piston itu sendiri[9].

2.4 Modus Kegagalan yang Sering Terjadi

Penyebab umum kerusakan mesin antara lain tercampurnya oli dan air, ledakan, pecahnya blok silinder, kegagalan pin engkol dan poros engkol, serta kebisingan mesin yang berlebihan. Adapun beberapa kegagalan yang sering terjadi seperti[10].

1. *Melting*
2. *Mechanical damage*
3. *Overloading*
4. *Piston skirt seizure*
5. *Fatigue cracks*
6. *Hole in piston head*

2.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

2.6 Pengujian Bahan Uji

1. Pengamatan visual
2. Pengujian metalografi
3. Pengujian kekerasan *microvickers*
4. Pengujian komposisi kimia
5. Simulasi *ansys*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengamatan Visual

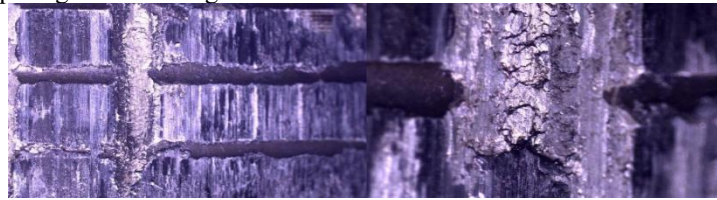
Dalam kasus yang terlihat pada gambar terlihat bahwa terjadi pengikisan pada rok samping piston dan area ring yang bersangkutan. Berdasarkan kerusakan, dapat disimpulkan bahwa kerusakan terjadi karena adanya pemakaian yang ekstrim.



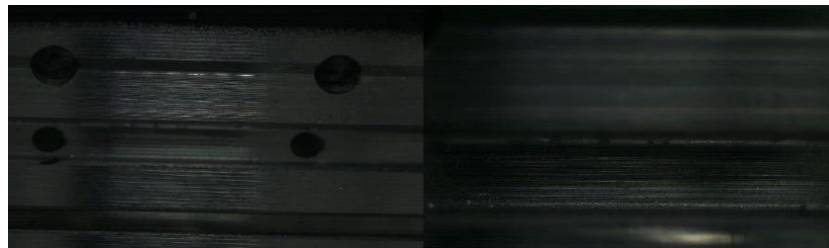
Gambar 8. Bentuk Kerusakan pada piston

3.2 Hasil Pengujian Metalografi

Hasil pengujian diamati pada perbesaran tertentu sesuai deskripsi gambar. Hasil dari uji metalografi dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10. untuk struktur makro.

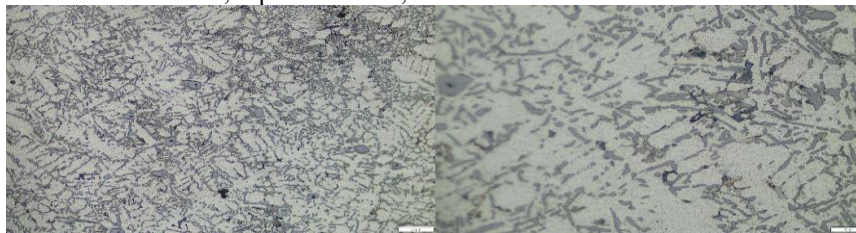


Gambar 9. Hasil Uji Metalografi (makro) perbesaran 10x dan 20x pada spesimen gagal

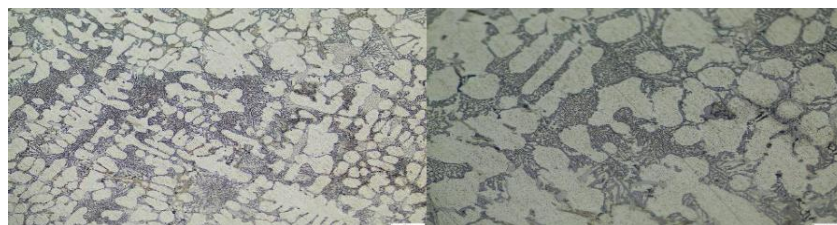


Gambar 10. Hasil Uji Metalografi (makro) perbesaran 10x dan 20x spesimen tidak gagal

Pada Gambar 9 terlihat tanda-tanda kerusakan, tampak visual keausan, sementara pada Gambar 10 tidak terlihat tanda-tanda kerusakan, seperti keausan, dan kelelahan material.



Gambar 11. Hasil Uji Metalografi (mikro) perbesaran 200x dan 500x spesimen gagal



Gambar 12. Hasil Uji Metalografi (mikro) perbesaran 200x dan 500x spesimen tidak gagal

Setiap umur pemakaian piston akan memberikan tampak visual yang berbeda dan terlihat jelas pada hasil struktur mikro Si akan terbentuk fasa α – aluminium dan eutektik (gelap) yang kaya aluminium. Pengamatan pada Gambar 11 dan Gambar 12 spesimen gagal dan tidak gagal partikel Al berbentuk kasar dan partikel Si berukuran besar, rapat dan memanjang, sehingga mampu meningkatkan porositas yang tinggi.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan *Microvickers*

Pengujian dilakukan masing – masing pada 3 titik berbeda tiap sampelnya untuk mengetahui nilai kekerasan pada tiap sampel sehingga hasilnya dapat dibandingkan. Beban standar 10 kgf (98.0665 N) diterapkan pada piramida berlian selama 15 detik.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

		Spesimen Gagal	Spesimen Tidak Gagal
Titik Uji kiri	HV	116	128
Titik Uji tengah	HV	135	128
Titik Uji kanan	HV	115	128
Rata-rata HV		122	128

Dari hasil pengujian kekerasan dapat dilihat bahwa sampel penelitian yaitu piston gagal mengalami perubahan nilai kekerasan yang cukup signifikan dan pada titik tengah naik secara signifikan diakibatkan penggunaan yang berlebihan dan perawatan yang tidak rutin sehingga menyebabkan pelumasan berkurang.

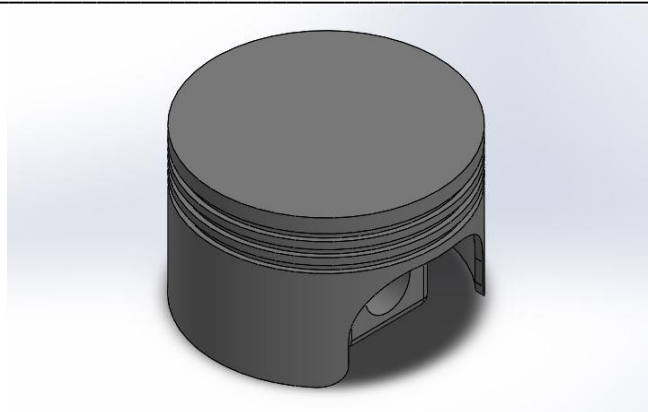
3.4 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

UNSUR	SAMPEL UJI	
	163/24-S531 (%)	Standar Deviasi
Si	13,02	0,533
Fe	0,329	0,047
Cu	0,838	0,034
Mn	0,103	0,010
Mg	0,838	0,082
Cr	0,011	0,0018
Ni	0,623	0,066
Zn	0,096	0,0071
Ti	0,026	0,0015
Pb	<0,0050	0,0004
Sn	<0,0050	0,0006
V	0,016	0,0002
Sr	0,0023	0,0003
Zr	0,0080	0,0004
Cd	<0,0050	0,0005
Co	<0,0030	0,0007
B	<0,0010	0,0003
Ag	<0,0010	0,00003
Bi	0,0062	0,0019
Ca	0,0012	0,0004
Li	<0,300	0,015
Al	84,01	0,744

Gambar 13. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

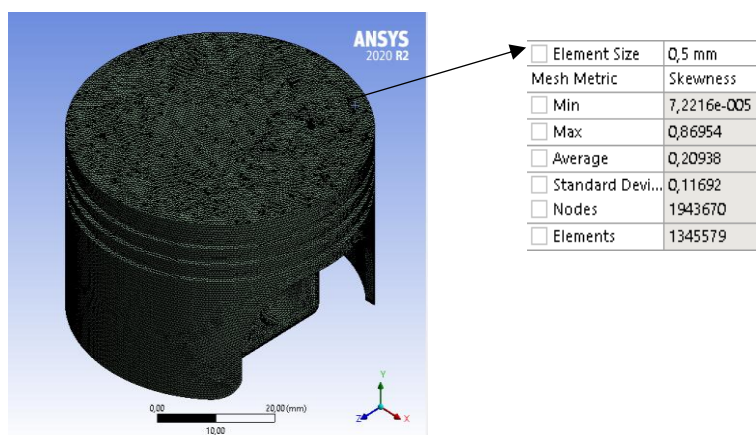
3.5 Hasil Simulasi *Ansys*

Pengujian simulasi dilakukan dengan menggunakan *software ANSYS*. Menganalisis tegangan rata-rata yang berperan penting dalam kegagalan, karena mempengaruhi kekuatan leleh piston. Pada analisis awal piston didisain pada aplikasi solidworks dengan diameter 52,4 mm seperti pada Gambar 14 dibawah.

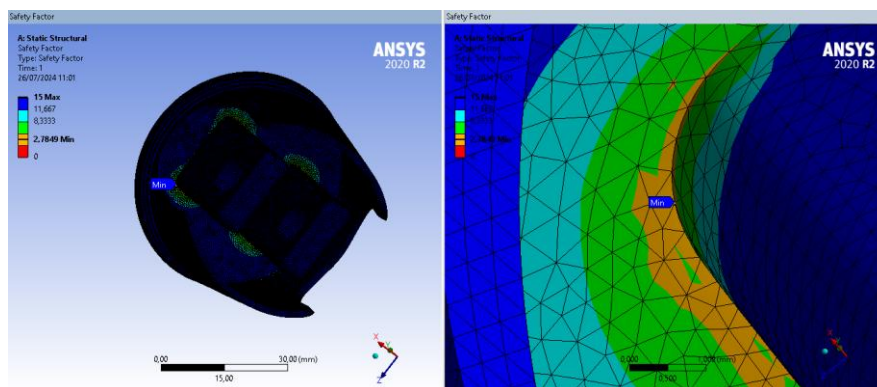


Gambar 14. Desain *solidworks* piston

Dalam pengaturan meshing, digunakan element size 0.5 mm dan mendapatkan total element sebesar 1345579, dan menggunakan mesh metric skewness didapatkan nilai maksimal sebesar 0.86954 yang bila dilihat dari mesh metrics spectrum dikategorikan acceptable seperti pada Gambar 15 dibawah.



Gambar 15. Tampilan *Mesh* Piston



Gambar 16. *Factor of Safety*

Selanjutnya menentukan rasio kekuatan material terhadap tegangan yang diberikan, faktor keamanan adalah parameter penting yang digunakan untuk menilai ketahanan dan keandalan suatu desain pada kondisi pembebanan, dengan skala 1 – 15.

3.6 Pembahasan

Pengujian metalografi pada penelitian ini diinterpretasikan dengan mempertimbangkan komposisi kimia paduan, perlakuan panasnya, dan aplikasi pada pembuatan piston. Pengujian Kekerasan Vickers adalah metode yang andal dan sederhana untuk mengukur kekerasan aluminium 4032 pada penelitian ini memperlihatkan bahwa

nilai kekerasan Vickers (HV) memenuhi kriteria yang akan berpengaruh pada kehalusan permukaan, orientasi butir, dan kekerasan material. *Safety factor* adalah faktor yang digunakan utk mengevaluasi keamanan dari suatu desain. Dimana kisaran faktor dari 1 sampai 15 faktor keamanan yang baik harus lebih dari 1 untuk menghindari terjadinya kegagalan suatu desain. Warna biru menunjukkan desain paling aman. Dan warna merah menunjukkan desain di luar batas aman. Untuk *Safety factor* atau faktor keamanan yang didapat dari hasil analisis adalah sebesar 2,78 sampai 15. Artinya, bagian paling lemah pada desain mampu mengatasi 2,78 kali beban yang diijinkan.

Perhitungan manual dari *safety factor* :

Diketahui:

σ_u : 370 MPa

σ_m : 113.83 MPa

Ditanya : n ?

$$n = \frac{\sigma_u}{\sigma_m}$$

$$n = \frac{370}{113,83}$$

$$n = 2,7849$$

4. Kesimpulan

Dari pengujian yang dilakukan, komposisi piston terdiri dari aluminium 84% dan silikon 13%, yang terkait dengan struktur mikro fasa α -Aluminium dan eutektik yang kaya aluminium. Hasil penelitian menunjukkan kerusakan disebabkan oleh penggunaan berlebihan, serta ukuran piston yang berubah menjadi lebih besar dari standar, menyebabkan clearance dinding silinder menyempit. Kesimpulan dari penelitian adalah piston mengalami kegagalan karena kelelahan, mengakibatkan keausan dan kegagalan akhir. Analisis menggunakan Ansys menunjukkan deformasi maksimum piston dengan stress 113,83 MPa, yang masih dalam batas parameter material aluminium. *Safety factor* piston adalah 2,78 kali, menunjukkan titik terlemah desain piston mampu menahan beban 2,78 kali lipat.

5. Daftar Pustaka

- [1] Wulpi, D. J. 1999. *Understanding How Components Fail*. ASM International, Materials Park, Ohio, USA.
- [2] Anggraini, L. and Anjany, A. (2020) 'Aluminum alloy piston fabrication technology by super forging-kiriu', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 924(1), p. 012001. doi:10.1088/1757-899x/924/1/012001.
- [3] Munaji, M. and Winardi, Y. (2018) 'Studi Kasus Analisis Kegagalan material Piston Sepeda Motor', *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 2(2), p. 77. doi:10.21070/r.e.m.v2i2.1190.
- [4] Yu, Z. *et al.* (2013) 'Surface damage on the mating interior and exterior pistons used in a marine exhaust valve', *Engineering Failure Analysis*, 34, hal. 365–378. doi:10.1016/j.engfailanal.2013.09.003.
- [5] Dahal, C., Labh, S.K. and Sah, D. (2023) 'Design and thermal analysis of diesel engine piston', *Technical Journal*, 3(1), hal. 1–13. doi:10.3126/tj.v3i1.61964.
- [6] ASM Speciality Handbook. Carbon and Alloy Steels. Edited by J.R. Davis. ASM Internasional.
- [7] Zhang, L. *et al.* (2020) 'A new model of growth restriction factor for hypoeutectic aluminium alloys', *Scripta Materilia*, hal. 99-101. doi: 10.1016/j.scriptamat.2020.01.009
- [8] Shipley, R.J., Miller, B.A. and Parrington, R.J. (2022) 'Introduction to failure analysis and prevention', *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 22(1), hal. 9–41. doi:10.1007/s11668-021-01324-2.
- [9] Silva, F.S. (2006) 'Fatigue on engine pistons – a compendium of case studies', *Engineering Failure Analysis*, 13(3), pp. 480–492. doi:10.1016/j.engfailanal.2004.12.023.
- [10] Tomasz, A and Piotr, L. (2015). '*Selected Failure of internal combustion engine pistons*' hal. 48-55