

ANALISIS SEM DAN KEGAGALAN POROS HYDRAULIC POWER UNIT PADA SISTEM POMPA HYDRAULIC AXIAL BERKAPASITAS 1000 LPS

*Juan Pratama Anandika¹, Gunawan Dwi Haryanto², Yusuf Umardani²

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: juananandika@students.undip.ac.id

Abstrak

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Peranan utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh Poros. Poros ini mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Poros dalam sebuah mesin berfungsi untuk meneruskan tenaga melalui putaran mesin. Sistem Pompa *Hydraulic Axial* 1000 LPS yang terdapat di PT. Adhirajasa Bangun Mandiri berfungsi untuk memindahkan air banjir yang ada di Kota Semarang menuju Banjir Kanal Timur untuk diteruskan dibuang menuju laut. Salah satu komponen dari sistem *Hydraulic Axial Pump* 1000 LPS adalah Poros, dimana komponen ini mengalami kegagalan berupa patah di pangkal Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme kegagalan poros HPU dengan melakukan beberapa metode seperti pengujian visual, pengujian komposisi kimia, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, dan pengujian SEM. Hasil pengamatan visual menunjukkan kegagalan yang dialami poros HPU adalah kegagalan fatik dikarenakan tidak ada deformasi plastis yang signifikan serta serangkaian beach marks pada permukaan retak yang menunjukkan perambatan retak. Dari pengujian komposisi kimia, poros HPU memenuhi standar material AISI 4140. Dari hasil pengujian metalografi menunjukkan material berfasa perlit dan martensit. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan rata-rata 295 HV pada bagian *initial crack*. Hasil pengujian SEM mendukung bahwa kegagalan poros tidak diakibatkan oleh struktur dan sifat material.

Kata kunci : analisis kegagalan; patah getas; poros

Abstract

The shaft is one of the most important parts of any machine. Almost all engines transmit power together with rotation. The main role in such a transmission is held by the Axis. This shaft is subjected to pure torsional or torsion and bending loads. The shaft in a machine functions to transmit power through the engine rotation. The 1000 LPS Hydraulic Axial Pump System at PT. Adhirajasa Bangun Mandiri functions to move flood water in the city of Semarang to the East Flood Canal to be continued to be discharged into the sea. One component of the 1000 LPS Hydraulic Axial Pump system is the Shaft, where this component fails in the form of a fracture at the base of the Hydraulic Power Unit (HPU) Shaft. This study aims to determine the failure mechanism of the HPU shaft by performing several methods such as visual testing, chemical composition testing, metallographic testing, hardness testing, and SEM testing. Visual observation results show that the failure experienced by the HPU shaft is fatigue failure due to no significant plastic deformation and a series of beach marks on the crack surface indicating crack propagation. From the chemical composition test, the HPU shaft meets the AISI 4140 material standard. The metallographic test results show that the material has pearlite and martensite phases. The results of the hardness test show an average hardness value of 295 HV in the initial crack section. SEM test results support that shaft failure is not caused by the structure and material properties.

Keywords : brittle fracture; failure analysis; shaft

1. Pendahuluan

Pompa adalah alat pengubah energi mekanik menjadi tekanan dan energi kinetik untuk mewujudkan pengangkutan fluida yang terarah. Salah satu dari sekian banyak jenis pompa adalah *Hydraulic Axial Pump*. *Hydraulic Axial Pump* merupakan pompa yang menghisap oli dari tangka hidrolik dan mendorongnya ke dalam sistem hidrolik dalam bentuk aliran. Elemen pompa akan menurunkan tekanan dalam ruang pompa sehingga akan terjadi perbedaan tekanan antara permukaan fluida yang dihisap dengan ruang pompa pada sisi suction pompa (Iqtimal et al, 2018).

Analisis Kegagalan adalah metode investigasi yang dilakukan secara sistematis yang bertujuan untuk mencari tahu penyebab terjadinya kegagalan pada suatu komponen atau peralatan. Hasil yang diharapkan dari analisis kegagalan adalah rekomendasi atau solusi untuk mengatasi kegagalan yang terjadi. Dalam mempelajari kegagalan komponen, harus mempertimbangkan sebab-sebab atau alasan terjadinya kegagalan secara luas. Analisis kegagalan dimulai dengan mengevaluasi semua bukti yang ada, kemudian membuat hipotesis atau kemungkinan yang menyebabkan kegagalan tersebut. Apabila kegagalan yang terjadi dapat diduplikasi pada simulasi terkontrol dalam laboratorium, kegagalan yang terjadi akan jauh lebih mudah dipelajari (Wulpi, D., 1999). Kegagalan komponen banyak terjadi pada komponen yang bergerak secara terus-menerus dan dikenai beban.

Dalam kasus komponen Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) dalam sistem pompa *Hydraulic Axial* 1000 LPS yang akan diuji pada penelitian ini, Poros mengalami patah pada bagian pangkal poros. Bagian pangkal Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) merupakan bagian yang berfungsi sebagai penerus daya mesin pompa yang bergerak memutar impeller. Kemungkinan terjadinya patahan pada Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) diakibatkan karena patah lelah.

Poros akan dilakukan beberapa jenis pengujian untuk menganalisis penyebab dari perpatahan tersebut. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian visual, pengujian kekerasan, pengujian spektrometri, pengujian metalografi, dan pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM).

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

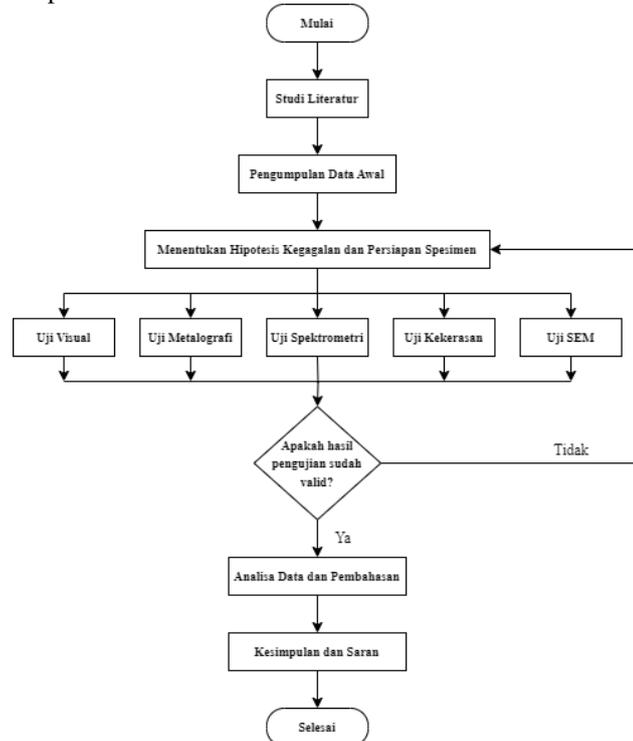
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
Mesin Grinding dan Polishing	Poros HPU
Mikroskop Optik	Katalis dan Resin
Spektrometer	Metal Polish Cream
Vickers Microhardness Tester	Reaktan untuk Etsa
Gelas <i>Beaker</i>	
Mesin Gerinda	
Pipet	
Amplas	
Kain Beludru	

2.2 Metode Penelitian

Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penjelasan singkat dari diagram alir diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mencari beberapa jurnal, thesis, interview ahli terkait, ataupun buku yang terkait dengan studi Analisis Kegagalan Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU). Studi literatur dilakukan untuk memperoleh sumber referensi serta validasi terhadap penelitian yang akan dilakukan.
2. Pengumpulan Data Awal
Pengumpulan data dilakukan dengan tujuan mengetahui komponen yang digunakan, mendapatkan hipotesis terhadap kegagalan yang dialami komponen, serta mengetahui metode pengujian yang tepat untuk melakukan analisis kegagalan pada komponen.
3. Menentukan Hipotesis Kegagalan dan Persiapan Spesimen
Penentuan hipotesis dilakukan untuk memperkirakan jenis dan penyebab kegagalan yang terjadi pada Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU). Penentuan hipotesis dilakukan dengan mengacu pada referensi yang ada. Setelah itu dilakukan persiapan spesimen untuk dilakukan pengujian.
4. Uji Spektrometri
Uji spektrometri atau uji komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung dari komponen Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU). Dari unsur-unsur tersebut dapat diketahui karakteristik dari Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) yang diuji.
5. Uji Metalografi
Uji Metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang kemudian dapat diketahui sifat dan jenis fasa dari komponen Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU).
6. Uji Kekerasan
Melakukan uji kekerasan dengan metode Vickers (HV) untuk mengetahui nilai kekerasan pada Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU).
7. Uji Visual
Uji visual dilakukan dengan menganalisis area Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) yang mengalami kegagalan untuk memberi gambaran awal analisis kegagalan pada Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU).
8. Uji SEM
Melakukan uji SEM menggunakan alat HITACHI FLEXSEM 1000 yang dilengkapi dengan EDS (Energy Dispersive X – Ray Spectroscopy) untuk analisa unsur.
9. Analisa data dan pembahasan
Mengolah data-data pengujian yang sudah didapatkan dengan mengacu pada materi yang terdapat pada referensi dan menampilkan data-data tersebut dalam bentuk gambar dan tabel, serta melakukan analisis terhadap penyebab kegagalan pada Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengamatan Visual

Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) mengalami kegagalan berupa patah pada bagian pangkal, merupakan komponen dari sistem pompa *Hydraulic Axial* 1000 LPS. Sistem Pompa *Hydraulic Axial* 1000 LPS milik PT. Adhirajasa Bangun Mandiri ini digunakan untuk menangani banjir di Kota Semarang.

Pengamatan secara visual dilakukan dengan jalan mengamati kerusakan pada Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) secara langsung. Pengamatan ini dilakukan dengan membersihkan bagian yang terjadi kerusakan. Gambar 2 menunjukkan bagian Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) yang mengalami kerusakan.



Gambar 2. Pengamatan visual terhadap Poros HPU yang gagal.

Awal retak terjadi pada daerah *crack initiation* karena pada daerah tersebut mengalami tegangan sehingga terjadi retak menjalar yang dapat menyebabkan patah. Dari gambar diatas ini terlihat jelas jejak permukaan patahan menunjukkan bahwa poros HPU mengalami kegagalan lelah terlihat dari permukaan patahan yang relatif rata dan tidak ada deformasi plastis, dapat terlihat pada permukaan patahan serangkaian *beach marks* yang menunjukkan perambatan retak.

3.2. Pengujian Spektrometri

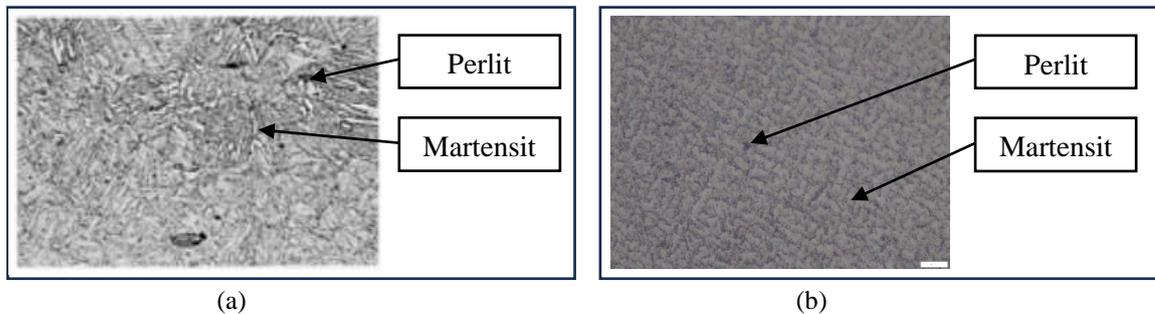
Dari hasil pengujian komposisi kimia yang telah dilakukan, dapat diketahui material Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) termasuk jenis *medium carbon steel* dengan kandungan karbon 0,4% (ASM Metal Handbook, 2004) dan mendekati standar komposisi AISI 4140. Dapat dilihat pada tabel 2 tidak ada perbedaan komposisi kimia *Hydraulic Power Unit* (HPU) yang mengalami kegagalan dengan material standar AISI 4140. Hal tersebut menunjukkan bahwa selama pemakaian tidak ditemukan perubahan komposisi kimia. (Zulfadly, 2022).

Tabel 1. Perbandingan komposisi material Poros HPU yang gagal dengan material standar.

Unsur	C	Mn	S	P	Cr
AISI 4140	0,38-0,43	0,75	<0,04	<0,035	1,00
Poros HPU	0,39	0,658	0,0038	0,0159	1,01

3.3. Pengujian Metalografi

Pada hasil analisis uji metalografi pada kedua specimen uji, struktur mikro yang ditunjukkan relatif sama dengan struktur mikro AISI 4140 yaitu berada pada fasa perlit (berwarna hitam atau gelap) dan fasa martensit (berwarna putih atau terang).



Gambar 3. (a) Struktur mikro AISI 4140 (ASM Handbook, 1985) (b) Fasa Perlit-Martensit Poros HPU.

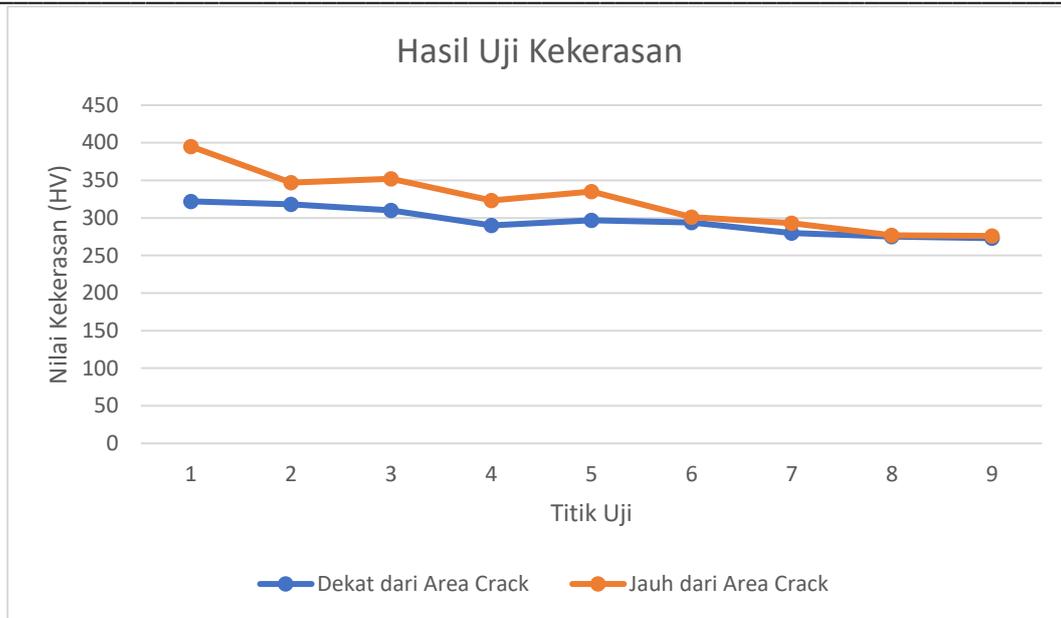
3.4. Pengujian Kekerasan

Berikut hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan Micro Hardness Vickers Tester pada Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) menggunakan bahan uji yang sama dengan bahan uji spektrometri, yaitu pada bagian dekat patahan dan bagian jauh dari permukaan patahan. Hasil Pengujian Kekerasan ditunjukkan pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian kekerasan.

	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7	Titik 8	Titik 9
Spesimen 1	322 HV	318 HV	310 HV	290 HV	297 HV	294 HV	280 HV	275 HV	273 HV
Spesimen 2	295 HV	347 HV	352 HV	323 HV	335 HV	301 HV	293 HV	277 HV	276 HV

Dari tabel diatas terlihat perbedaan yang tidak signifikan antara kedua spesimen. Namun dapat diketahui rata-rata nilai kekerasan pada area dekat dengan patahan lebih besar dibandingkan dengan rata-rata nilai kekerasan jauh dari patahan. Perbedaan hasil pengujian kekerasan tersebut akan lebih jelas terlihat perbandingannya pada Gambar 4.10 berikut.



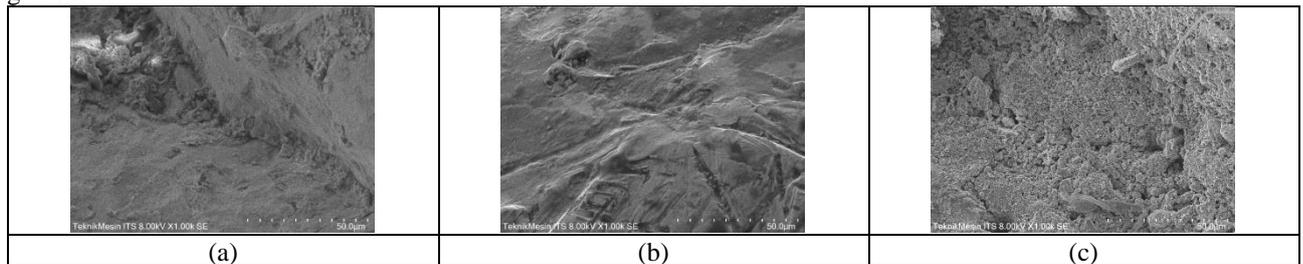
Gambar 4. Grafik Perbandingan Hasil Uji Kekerasan.

Dari grafik perbandingan hasil uji di atas, terlihat perbedaan nilai kekerasan yang tidak terlalu signifikan antara area dekat dengan patahan dan area jauh dari patahan. Hal tersebut menunjukkan adanya kemiripan sifat mekanik pada kedua area.

AISI 4140 memiliki nilai standar kekerasan sekitar 254-361 HV (Matweb.com, 2023). Pada spesimen 1 area dekat patahan yang telah diuji memiliki nilai kekerasan rata-rata 295 HV dan spesimen 2 area jauh dari patahan memiliki nilai kekerasan rata-rata 322 HV. Nilai kekerasan kedua spesimen tersebut berada pada rentang standar material AISI 4140. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa kekerasan bukanlah penyebab kegagalan

3.5. Pengujian SEM

Berikut pengujian Scanning Electron Microscopy menggunakan HITACHI FLEXSEM 1000. Pada permukaan patahan poros, dapat diambil data gambar inisiasi retakan (crack initiation), pertumbuhan retakan (crack propagation), dan patahan (final fracture). Berdasarkan data gambar crack initiation, dapat terlihat terjadinya awal mulanya terbentuk retakan pada permukaan yang kemudian menunjukkan proses crack propagation dimana mulainya bertambah retakan yang mulai merambat pada permukaan poros. Terakhirnya, didapatnya letak patahan atau final fracture seperti pada gambar 4.



Gambar 4. (a) initiation crack perbesaran 1000x. (b) crack propagation perbesaran 1000x. (c) final fracture perbesaran 1000x.

Pada gambar final fracture, didapat bahwa patahan poros berupa patah getas (brittle fracture). Berdasarkan bentuk retakannya, dapat diketahui apakah suatu kegagalan merupakan patah ulet atau getas. Retakan patah getas cenderung lebih terang dibandingkan patah ulet.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa kegagalan yang terjadi pada *Hydraulic Power Unit* (HPU) bukan akibat dari kesalahan material, namun kegagalan bisa saja akibat kegagalan lelah (*fatigue failure*). Berdasarkan Uji Visual dan Uji SEM, kegagalan poros Hydraulic Power Unit (HPU) yang mengalami patah getas dapat diakibatkan oleh beban berulang melebihi kekuatan luluhnya sehingga terjadilah retak dan menjalar dengan serangkaian beach marks yang terdapat pada permukaan menunjukkan mekanisme perambatan retak.

5. Daftar Pustaka

- [1] Calister, Wiliam D. 2007. *Materials science and engineering* 7th. Kanada: John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Das, S., Mukhopadhyay, G., Bhattacharyya., 2015. *Failure analysis of axle shaft of a fork lift. Case Studies in Engineering Failure Analysis*. Vol 3, 46-51.
- [3] Fendri, Risno, dkk. 2018. Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Akibat Perbedaan Temperatur Pada Perlakuan Panas Tempering. Padang: Research Gate.
- [4] Gurumurthy, B.M, dkk. 2020. *Microstructure Authentication On Mechanical Property Of Medium Carbon Low Alloy Duplex Steels*. India: *Journal of Materials Research and Technology*.
- [5] Hamid, Abdul. 2017. *Failure Analysis of Shaft Circulating Water Pump (CWP) Used in Power Plant*. Semarang: MATEC Web of Conferences.
- [6] Jung, Changho, dkk. 2019. *Analysis And Verification of Physical Properties of An AISI 4140 Steel By Vickers Indentation Analysis According To The Presence Of Residual Stresses*. Korea: Arch. Metall. Mater. 64 (2019), 3; 823-827.
- [7] Munawir, dkk. 2019. Analisa Kegagalan Poros *Hydraulic Power Unit* (HPU) Sentrifugal Ebara Type 56-Ga 4002 A Melalui Evaluasi Pola Patahan Serta Pengujian Kekerasan Dan Metalografi. Politeknik Negeri Lhokseumawe. Aceh.
- [8] Setiawan, Angga., Witantyo. 2016. Analisa Kegagalan Poros Pompa *Centrifugal Multistage* (GA101A) Sub Unit Sintesa Urea PT. Petrokimia Gresik. Surabaya: Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [9] Suarsana. 2017. *Fracture Mechanic Analisis Kegagalan*. Universitas Udayana. Denpasar.
- [10] Tamin, Mohd Nasir, dkk. 2017. *Fatigue Failure Analysis of a Centrifugal Pump Shaft*. Intech
- [11] Vuko, Manurung AT, dkk. 2020. *Panduan Metalografi*. LP2M Politeknik Manufaktur Astra. Jakarta.
- [12] Wulpi, D. J. 1999. *Understanding How Components Fail*. ASM International, Materials Park, Ohio, USA.