

ANALISIS KEGAGALAN PATAH RODA GIGI POMPA AIR LAUT PADA MESIN DIESEL KAPAL PERIKANAN

Faizin Adi Nugroho¹⁾, Agus Purwanto¹⁾, Setyawan Dwi Nugroho¹⁾, Citra Zaskia Pratiwi¹⁾,
Iman Mawardi¹⁾

¹⁾Program Studi Mekanisasi Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo
Jl. Raya Buncitan, Gedangan, Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia 61254

Email: faizin.adi89@gmail.com

Abstrak

Investigasi kegagalan dilakukan pada roda gigi transmisi pompa air laut yang digunakan di mesin diesel kapal perikanan. Patahan gigi transmisi dibawa di laboratorium guna dilakukan uji investigasi. Mesin bekerja sekitar 100 jam sebelum terjadi kegagalan roda gigi transmisi. Analisis kegagalan menggunakan metode *Condition Monitoring and Fault Diagnosis System* (CMFDS) untuk mengamati beberapa informasi yang dibutuhkan, yang merupakan petunjuk penting untuk mendiagnosis dan menganalisis penyebab kegagalan. Roda gigi yang rusak terbuat dari baja 17CrNiMo6, dimana permukaan roda gigi dilakukan *treatment* karburisasi dengan *finishing* pendinginan *quenching*. Kegagalan roda gigi belum pernah terjadi sebelumnya pada roda gigi jenis ini. Analisis data meliputi struktur mikro, dan komposisi kimia dari roda gigi yang patah untuk diperiksa di laboratorium. Kemudian mekanisme kegagalan roda gigi di analisis melalui *Multibody Dynamics* (MBD) *Simulation* untuk melihat faktor dinamika dan kinematika dari roda gigi tersebut. Dari *metallograpy structure analysis*, diketahui bahwa roda gigi mengalami patah lelah dimana *crack* dimulai dari pangkal gigi dan menjalar hingga terjadi kegagalan.

Kata Kunci: Analisis Kegagalan, Roda Gigi Pompa Air Laut, Kapal, CMFD, MBD

Abstract

A failure investigation was carried out on the transmission gear of a seawater pump used in a fishing vessel's diesel engine. The transmission tooth fracture was brought to the laboratory for investigative tests. The engine ran for about 100 hours before transmission gear failure occurred. Failure analysis uses the Condition Monitoring and Fault Diagnosis System (CMFDS) method to observe some of the required information, which is an important guide for diagnosing and analyzing the causes of failure. The damaged gears are made of 17CrNiMo6 steel, where the surface of the gears is treated with carburizing treatment by quenching cooling finishing. Gear failure is unprecedented in this type of gear. Data analysis includes the microstructure and chemical composition of broken gears to be examined in the laboratory. Then the gear failure mechanism is analyzed through Multibody Dynamics (MBD) Simulation to see the dynamics and kinematics factors of the gear. From the metallographic structural analysis, it is known that the gears experience fatigue fracture where the crack starts from the base of the tooth and spreads until failure occurs.

Keywords: Failure Analysis, Seawater Pump Gears, Ship, CMFD, MBD

1. PENDAHULUAN

Roda gigi merupakan salah satu mekanisme perangkat transmisi terpenting di banyak bidang mekanis dan permesinan [1]. Dalam hal ini digunakan di pompa air laut pada mesin diesel kapal perikanan, yang dapat menanggung beban berat dengan keandalan yang tinggi. Namun, begitu kegagalan terjadi, persneling akan menyebabkan dampak serius

pada pengoperasian mesin diesel dan bahkan seluruh kapal, yang dapat mengakibatkan korban jiwa yang besar dan kerugian harta benda. Oleh karena itu, pemantauan kondisi dan diagnosis kegagalan sistem transmisi roda gigi mesin diesel laut yang dilakukan secara *online* menjadi sangat penting.

Ada banyak jenis kegagalan roda gigi, seperti terjadi filet pada pangkal gigi atau transisi atas yang kecil, material yang tidak

tepat, faktor keamanan yang kecil, modul roda gigi dan sudut tekanan yang tidak tepat, serta masalah perlakuan panas / *treatment* dan kualitas perakitan [2]. Zhiwei Yu dkk. [3] seluruh kegagalan komponen dari putaran roda gigi tersebut dicari melalui pemeriksaan metalografi dan analisis kekuatan. Penelitian mereka menunjukkan bahwa oksidasi internal, tegangan pas interferensi antara poros *spline* dan lingkaran dalam menyebabkan kegagalan. Yu Xuemei dkk. [4] mempelajari mengenai patah gigi dan kegagalan kerusakan permukaan gigi baja 12Cr2Ni4 melalui *fracture analysis, energy spectrum analysis*, analisis komposisi kimia, dll. Alasan utama kegagalan adalah tegangan sisa dan konsentrasi tegangan. Li Qiang dkk. [5] mempelajari patah roda gigi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk pengamatan struktur mikro. Mereka mengusulkan beberapa langkah-langkah untuk mencegah kegagalan terjadi, termasuk perbaikan proses perlakuan panas / *heat treatment* untuk peningkatan kedalaman lapisan karburasi. Zhiwei Yu dkk. [6] melakukan investigasi kegagalan pada roda gigi mesin diesel yang digunakan pada truck. Mereka menemukan bahwa kedalaman lapisan nitrida roda gigi poros engkol kurang dari yang ditentukan, dan patah kelelahan adalah penyebab kegagalan yang dominan.

2. METODE

Objek penelitian yang dianalisis berupa roda gigi yang patah pada transmisi pompa air laut mesin diesel kapal perikanan setelah melakukan kerja sekitar 100 jam dengan kecepatan 1500 Rpm, posisi patah lelah menyeluruh pada bagian gigi nya dari pangkal hingga ujung secara merata. Analisis kegagalan dilaksanakan dengan beberapa perlakuan, yaitu:

2.1 Condition Monitoring and Fault Diagnosis System (CMFDS)

Mesin diesel dilengkapi dengan CMFDS, yang dapat mengumpulkan banyak jenis

sinyal, termasuk fase kunci, kecepatan *realtime*, dan percepatan getaran. Parameter lain, seperti suhu dan tekanan, juga terbaca oleh CMFDS melalui unit kontrol mesin diesel berupa protokol Modbus. Sinyal tersebut dapat memperlihatkan kondisi mesin selama beroperasi.

2.2 Struktur Mikro (SEM) dan Komposisi Kimia

Struktur mikro dan komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui karakter dari logam roda gigi yang patah. Ini juga memperlihatkan apakah *treatment* pada roda gigi sudah sesuai dengan standar industri atau belum. Proses manufaktur dan desain apakah sudah memenuhi standar yang di persyaratkan untuk digunakan oleh industri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data historis tekanan air laut dari CMFDS menunjukkan bahwa tekanan selalu berfluktuasi saat mesin bekerja, dimana seharusnya nilai tekanannya harus selalu tetap sekitar 0,32 MPa pada 1500 Rpm dengan beban penuh. Sedangkan nilai tekanan turun dari 0,3 MPa menjadi 0,13 Mpa dalam waktu 20 detik selama periode kecelakaan. Penurunan tekanan air laut yang tiba-tiba secara tidak normal menunjukkan bahwa sistem pendinginan mesin mungkin memiliki beberapa masalah.



Gambar 1. Roda Gigi yang Patah pada Pompa



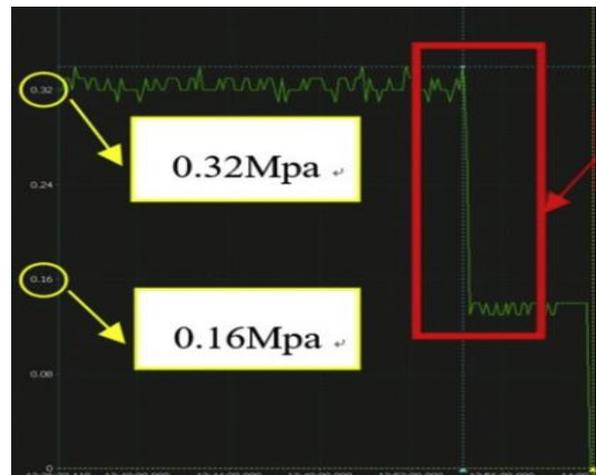
Gambar 2. Kerusakan Bracket pada Pompa



Gambar 5. Serpihan dari Bracket



Gambar 3. Roda Gigi Penggerak yang Rusak



Gambar 6. Grafik CMFDS Tekanan Air Laut yang Tiba-tiba Turun

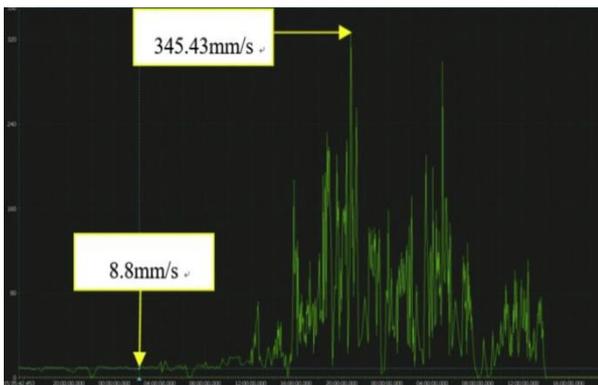


Gambar 4. Goresan pada Crankshaft

Data getaran di CMFDS, memperlihatkan kecepatan getaran roda gigi mesin berfluktuasi secara stabil pada sekitar 8,8 mm/s sebelum kegagalan terjadi. Peningkatan pesat terjadi dalam dua hari, dan nilai maksimum tercapai 345,43 mm/s, yang hampir 40 kali nilai normal. Jadi, pasti ada kesalahan serius pada roda gigi. Untuk menemukan kegagalan kerja, spektrum sinyal getaran dari gearbox dianalisis. Diagram spektrum dari kelompok yang berbeda data dipilih secara acak untuk titik waktu yang berbeda dalam diagram bentuk gelombang.

Ada frekuensi yang menonjol sekitar 51 Hz. Selain itu, nilai komponen tersebut terus meningkat dari 5,7 mm/s hingga 101,9 mm/s. Rasio transmisi antara roda gigi pompa air laut dan roda gigi poros engkol adalah 2,04. Rotasi frekuensi poros engkol adalah 25 Hz pada kecepatan 1500 rpm. Frekuensi putaran pompa air laut adalah *output* dari frekuensi putaran poros engkol dikalikan dengan rasio transmisi dan 51 Hz. Oleh karena itu, komponen mesin yang frekuensinya menonjol berasal dari putaran pompa air laut. Peningkatan signifikan dari frekuensi komponen ini sekitar 51 Hz dan penurunan tekanan air laut menunjukkan bahwa roda gigi pompa air laut tidak berfungsi dengan baik dan terjadi kerusakan.

Berdasarkan data analisis di atas, petugas pemeliharaan segera membongkar *gearbox* diesel, dan pemeriksaan hasilnya konsisten dengan kesimpulan diagnostik di atas.



Gambar 7. Perubahan Kecepatan Getaran pada *Gearbox*

1. Hipotesis Kegagalan

Banyak bagian yang rusak pada *gearbox*, antara lain roda gigi, *bearing bracket*, *impeller nut*, dan lain-lain. Urutan terjadinya kegagalan dan alasan dari setiap kegagalan tidak jelas. Untuk menemukan akar penyebab kegagalan, berikut ini hipotesis dibuat:

- a. *Impeller* tertahan oleh mur yang jatuh, yang menghasilkan tenaga berlebih yang membuat gigi roda gigi patah.

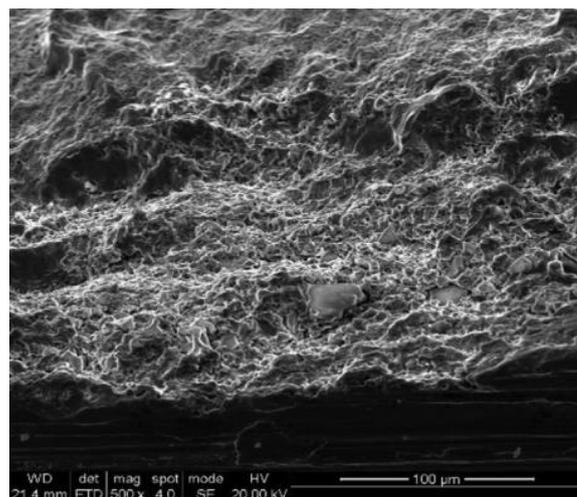
- b. Patahnya bantalan braket menyebabkan patahnya roda gigi.
- c. Patahnya roda gigi terjadi karena alasan kualitasnya sendiri yang buruk.



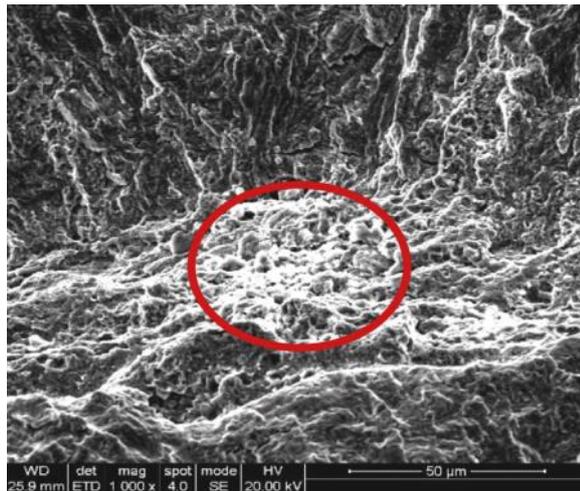
Gambar 8. Morfologi Patahan Roda Gigi

2. Pemeriksaan dan Analisis Patahan

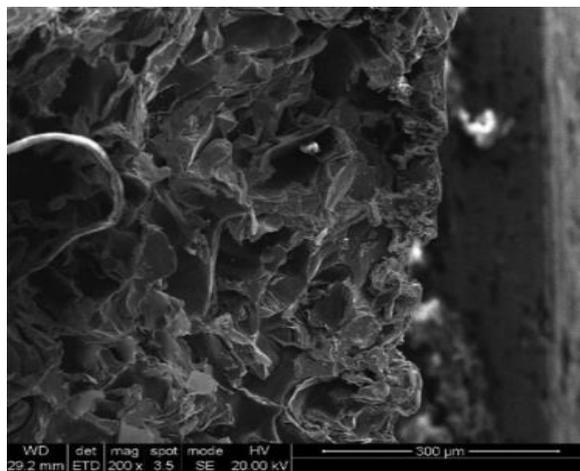
- a. Fitur patahan
- b. Pengamatan mikro roda gigi yang retak
- c. Pengamatan mikro dari *bracket* yang rusak
- d. Komposisi kimia dari roda gigi yang retak



Gambar 9. Morfologi *Crack* pada Daerah Awal Retakan (Perbesaran 500x)



Gambar 10. Morfologi *Crack* pada Daerah Ekspansi Retakan (Perbesaran 1000x)



Gambar 11. Morfologi Patahan *Bracket*

Dua bagian normal dipilih dan dianalisis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar diatas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa unsur-unsur utama dari serbuk putih pada bagian pangkal roda gigi adalah oksigen, aluminium, dan kalsium. Persentase unsur-unsur tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel Komposisi Kimia dibawah ini.

3.1 Tabel Komposisi Kimia

Analisis spektral persentase berat unsur di daerah abnormal dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Analisis Spektral Persentase Berat Unsur Di Daerah Abnormal

Spektrum	O%	Al%	Cr%	Fe%
1	49,35	48,42	0,87	1,35
2	49,40	44,81	-	5,79
3	17,92	29,68	1,50	50,89
4	14,70	18,21	1,39	65,70
Rerata	32,84	35,28	0,94	30,93

Sedangkan analisis spektral persentase berat unsur di daerah normal dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Analisis Spektral Persentase Berat Unsur Di Daerah Normal

Spektrum	Al %	Si %	Cr %	Fe %	Ni %	Mo %
1	0,00	0,34	1,72	95,26	2,17	0,51
2	0,74	0,31	1,19	96,13	1,63	0,00
3	0,24	0,91	1,48	96,88	0,42	0,06
4	0,20	0,24	0,96	96,23	2,12	0,25
Rerata	0,30	0,45	1,34	96,13	1,59	0,21

3.2 Analisis Mekanikal

Analisis mekanikal yang dilakukan yaitu dengan perhitungan torsi. Untuk menganalisis karakteristik mekanis roda gigi, torsi luaran pompa air laut harus dihitung terlebih dahulu. rumus perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$H = \frac{P_{out} - P_{in}}{g \rho} + \frac{((c).c)_{out} - ((c).c)_{in}}{2g} + Z_{out} - Z_{in} \quad (1)$$

Dimana: H adalah kepala pompa, ρ adalah kerapatan air, g adalah percepatan gravitasi, hal keluar adalah tekanan keluar, p adalah tekanan masuk, c_{out} adalah energi kinetik inlet, c_{in} adalah energi kinetik inlet, Z_{out} dan Z_{in} adalah jarak antara datum horizontal dan posisi outlet dan cairan inlet masing-masing.

Karena hampir tidak ada perbedaan ketinggian antara bagian inlet dan outlet dari pompa yang rusak, dan energi kinetik, perbedaan antara dua bagian sangat kecil, maka rumus di atas dapat di sederhanakan sebagai Persamaan berikut:

$$H = \frac{P_{out} - P_{in}}{g \rho} \quad (2)$$

$$H = \frac{g \rho Q v H}{100 \eta} \quad (3)$$

Daya poros pompa dihitung seperti yang ditunjukkan pada Persamaan diatas. Dimana P adalah daya poros pompa, q adalah aliran pompa. η adalah total efisiensi pompa, disini $\eta=0.61$. Torsi pompa dapat dihitung dengan Persamaan. Dimana n adalah kecepatan pompa. $T = 9549P/n$. Kecepatan pompa 3060 rpm, debit pompa 0,044 m³/s, dan tekanan keluarannya adalah 0,41 MPa. Tekanan masuk 0 MPa. Satuan untuk P, n, T, masing-masing adalah kW, rpm, N·m. Jadi daya pompa dihitung menjadi 29,57 kW. Dan torsi pompa adalah 92,28 N·m berdasarkan persamaan di atas.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari struktur metalografi, patahan roda gigi menunjukkan bahwa kegagalan roda gigi merupakan jenis patah lelah. Retak dimulai dari pangkal gigi, tempat ditemukannya inklusi non-logam, yang dianggap sebagai alumina melalui *energy spectrum analysis*.
2. Struktur metalografi patahan bantalan braket tidak menunjukkan kelainan, seperti inklusi, penyusutan, porositas atau cacat pengecoran lainnya. Seluruh retakan braket merupakan retakan campuran antara robekan dan pembelahan. Selain itu, kekuatan putaran dari sambungan roda gigi terlalu kecil untuk menimbulkan suatu kegagalan. Berdasarkan hal ini, braket kemungkinan hancur oleh benturan yang berlebihan dari beban dengan puing-puing lain dari roda gigi yang rusak.
3. Hasil dari simulasi dinamis, menunjukkan bahwa gaya kontak gigi yang tersisa akan semakin memburuk setelah satu gigi retak. Gaya kontak dalam kondisi rusak ini kira-

kira lima kali lipat dari kondisi normal. Gigi lainnya akan putus satu demi satu dikarenakan dampak dari ketidakseimbangan mekanis.

4. Ditemukannya inklusi non-logam pada pangkal gigi roda gigi yang menyebabkan patah lelah, dan semua fenomena cacat lainnya penyebab utamanya adalah patah gigi. Urutan terjadinya kegagalan sesuai dengan hipotesis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis ditujukan kepada semua pihak yang membantu penelitian ini diantaranya yaitu orang tua yang telah memberikan dukungan moril, mentor yang telah membantu dalam pengumpulan dan pengolahan data, serta penyusunan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih untuk dukungan yang diberikan oleh pimpinan, dosen, dan rekan-rekan mahasiswa dari Program Studi Mekanisasi Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhao Han, Wu Qilin, Huang Kang, Q.I.U. Mingming, L.I.U. Peng. "Status And Problem Research On Gear Study", *Chin. J. Mech. Eng.* vol. 49, no.19, pp.11-20, 2013.
- [2] Wang Xiaoqing, Xia Shuihua, "Research On Influence Factor And Mechanism Of Gear Fracture", *J. Mech. Trans.* vol. 10, pp.22-25, 2010.
- [3] Z. Yu, X. Xu, "Failure Analysis Of An Idler Gear Of Diesel Engine Gearbox", *Eng. Fail. Anal.* vol.13, pp. 1092-1100, 2006.
- [4] Yu Xuemei, Feng Lichao, Wang Hai, He Yiqiang, "Fracture Failure Analysis Of 12Cr2Ni4 Steel Gear, Heat Treatment Metals", vol. 40, no.11, pp. 22-25, 2015.

- [5] Li Qiang, Wang Hui, Chen Qilve, “Broken Teeth Failure Analysis Of Transmission Gear”, *Popular Sci. Technol.* vol. 16, no.7, pp. 110-112, 2014.
- [6] Z. Yu, X. Xu, “Failure Investigation Of A Truck Diesel Engine Gear Train Consisting Of Crankshaft And Camshaft Gears”, *Eng. Fail. Anal.* vol. 17, pp. 537-545, 2010.
- [7] J. Wu, Y. Yang, X. Yang, J. Cheng, “Fault Feature Analysis Of Cracked Gear Based On LOD and Analytical-FE method”, *Mech. Syst. Signal Process.* vol. 98 pp. 951–967, 2018.
- [8] B.-y. He, G.-d. Shi, J.-b. Sun, S.-z. Chen, R. Nie, “Crack Analysis On The Toothed Mating Surfaces Of A Diesel Engine Connecting Rod”, *Eng. Fail. Anal.* vol. 34 pp. 443–450, 2013.
- [9] X. Xu, Z. Yu, H. Ding, “Failure Analysis Of A Diesel Engine Gear-Shaft”, *Eng. Fail. Anal.* vol. 13, pp. 1351–1357, 2006.