

ANALISIS KEGAGALAN PADA KOMPONEN CONNECTING ROD MOBIL KAPASITAS 1300 CC

*Hidayat Ramadhan¹, Sri Nugroho², Mohammad Tauviqirrahman²

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: hidayatramadhan@students.undip.ac.id

Abstrak

Connecting rod merupakan komponen dari suatu mesin yang mentransmisikan gerakan dari piston ke poros engkol dan bekerja pada suhu tinggi dalam ruang bakar. Tujuan dari penelitian saya ini adalah untuk mengetahui penyebab kegagalan *connecting rod* pada mobil 4 langkah kapasitas 1300 CC, yang mengalami deformasi plastis pada bagian leher *connecting rod*. Dengan riwayat, mobil sering dipakai untuk menerobos banjir serta sering mogok ketika hujan. Jadi, metode analisis yang digunakan diantaranya melakukan pengamatan visual, pengujian spektrometri, pengujian metalografi, pengujian kekerasan dan simulasi numerik. Dari hasil pengamatan visual, diprediksi bahwa *connecting rod* gagal karena *hydrolock* sehingga terjadi deformasi plastis. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa komposisi kimia komponen *connecting rod* termasuk ke dalam baja paduan rendah (*low alloy steel*) seri *Chromium-Molybdenum* yang memiliki kandungan karbon 0,41 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa *connecting rod* memakai standar baja SAE-AISI 4140. Struktur mikro yang terbentuk yaitu fasa Ferit dan Perlit, dikarenakan dalam proses produksi *connecting rod* tidak mengalami proses *case hardening*. Ditandai dengan nilai distribusi kekerasan yang hanya berkisar 200 - 300 HV. Berdasarkan penelitian, dapat disimpulkan bahwa kegagalan disebabkan *hydrolock*, dibuktikan dari hasil simulasi analisis tegangan (*von Mises*) dan *eigenvalue buckling* yang menunjukkan kemiripan mode kegagalan *buckling* yang terjadi di lapangan. Dimana beban yang diterima *connecting rod* jauh diatas pembebanan normal dan terjadi di daerah titik tegangan maksimumnya.

Kata kunci : *connecting rod*; deformasi plastis; *eigenvalue buckling*; SAE-AISI 4140; *von mises*

Abstract

Connecting rod is a component of an engine that transmits motion from the piston to the crankshaft and works at high temperatures in the combustion chamber. The purpose of my research is to find out the cause of the failure of the connecting rod on a 4 stroke car with a capacity of 1300 CC, which is experiencing plastic deformation in the neck of the connecting rod. With history, cars are often used to break through floods and often break down when it rains. Thus, the analytical methods used include visual observation, spectrometric testing, metallographic testing, hardness testing and numerical simulations. From the results of visual observations, it is predicted that the connecting rod will fail due to hydrolock causing plastic deformation to occur. From the test results, it is known that the chemical composition of the connecting rod component belongs to the Chromium-Molybdenum series low alloy steel which has a carbon content of 0.41%, so it can be concluded that the connecting rod uses the SAE-AISI 4140 steel standard. The microstructures formed are Ferrite and Pearlite phases, because in the production process the connecting rod did not experience a case hardening process. It is characterized by a hardness distribution value that only ranges from 200 - 300 HV. Based on the research, it can be concluded that the failure is caused by hydrolock, as evidenced by the results of stress (*von Mises*) and *eigenvalue buckling* analysis simulations which show the similarity of buckling failure modes that occur in the field. Where the load received by the connecting rod is far above the normal load and occurs in the area of its maximum stress point.

Keywords : *connecting rod*; *eigenvalue buckling*; plastic deformation; SAE-AISI 4140; *von Mises*

1. Pendahuluan

Menurut Korlantas POLRI, pada umumnya kendaraan yang diproduksi massal di Negara kita yaitu kendaraan darat, salah satunya mobil yang terus meningkat setiap tahunnya, khususnya mobil dengan pengguna terbanyak hingga 23 juta unit pada tahun 2022. Agar mobil kita memiliki umur yang lebih panjang, maka harus diperhatikan komponen -

komponen mobil tersebut. Komponen mobil yang diproduksi dengan material yang berkualitas, tahan lama sesuai kebutuhan serta didesain dengan efektif dan efisien [1].

Topografi Indonesia yang terdiri dari perbukitan, dataran rendah dan dataran tinggi serta kualitas jalan yang buruk menjadi salah satu penyebab kegagalan yang sering terjadi pada *connecting rod*. Faktor lain yaitu seperti proses fabrikasi, pelumasan yang buruk serta kapasitas beban berlebih juga menjadi faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi. Dari banyaknya jenis kasus kegagalan dan faktor penyebab dari kegagalan tersebut, maka perlu dilakukan analisis kegagalan untuk mengetahui ciri-ciri dan penyebab utama dari kegagalan yang terjadi. Hasil analisis dapat dijadikan sebagai edukasi bagi seluruh pengguna mobil agar lebih memperhatikan perawatan dari komponen-komponen mobil. Dengan perawatan yang baik dan benar, maka dapat memperpanjang umur dari penggunaan sepeda mobil.

Proses pembakaran yang terjadi di dalam silinder akan menghasilkan gas pembakaran yang sangat tinggi apabila piston dan komponen lain yang berkaitan tidak mampu menahan daya ledak dari proses tersebut. Dapat dipastikan *piston*, *connecting rod* ataupun *crankshaft* dapat mengalami kerusakan. Oleh karena itu, agar kerusakan tersebut tidak terjadi maka harus diketahui kekuatan dari komponen - komponen tersebut khususnya pada komponen *connecting rod*. Jika kita mengetahui kekuatan *connecting rod* tersebut tidak mampu menahan daya dari tenaga hasil pembakaran, maka kita perlu merubah material atau desain dari batang penghubung tersebut. Dengan perangkat lunak *solidworks* dan *Ansys Workbench*, kita dapat mendesain dan menganalisis pembuatan suatu produk supaya dapat dikontrol sehingga diharapkan kualitas hasil produk akan lebih baik. Pemilihan penggunaan *software* ini dikarenakan sudah banyak digunakan pada perusahaan - perusahaan besar seperti Toyota, Honda, Daihatsu, Mitsubishi, Suzuki, Datsun dan Nissan [2].

Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap kasus kegagalan pada *connecting rod* mobil 4 langkah kapasitas 1300 cc keluaran tahun 1995 telah digunakan selama 25 tahun dan mengalami kegagalan yaitu bengkok pada bagian leher *connecting rod* tepatnya pada bagian yang dekat dengan *small end*. Dari komponen tersebut akan dilakukan beberapa pengujian untuk menganalisis mekanisme dan penyebab dari kegagalan tersebut. Metode pengujian yang dilakukan yaitu dengan melakukan analisis visual, pengujian spektrometri, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, serta simulasi numerik metode elemen hingga.

Jenis kegagalan seperti ini sebelumnya juga pernah dilakukan oleh beberapa peneliti yang menganalisis kegagalan *connecting rod* mesin diesel kerja berat EMD645 yang mengalami *buckling* samping [3]. Hasil analisis menyimpulkan bahwa kegagalan terjadi karena fenomena *hydrolock* yaitu akibat cairan yang masuk ke ruang bakar dan diikuti dengan rasio kompresi yang tinggi. Penelitian lain juga melakukan analisis pada *connecting rod* yang mengalami *buckling* depan dan *buckling* belakang menggunakan metode elemen hingga. Setelah dilakukan analisis, disimpulkan bahwa *connecting rod* mengalami kegagalan karena penurunan ketebalan bagian leher yang tidak tepat, sensitivitas *buckling* yang lebih tinggi dibandingkan dengan sifat luluh dan kelelahannya [4]. Peneliti yang lainnya juga melakukan analisis kekuatan *buckling* dari kegagalan *connecting rod* mesin diesel dengan material paduan aluminium. Kegagalan terjadi karena faktor keamanan *buckling* (*Buckling Safety Factor*) yang rendah dan rasio kompresi yang lebih tinggi akibat fenomena *hydrolock*, yaitu karena jumlah campuran bahan bakar dan udara yang berlebihan masuk ke dalam ruang bakar atau karena kebocoran air atau pelumas ke dalam ruang bakar [5]. Oleh karena itu, penelitian ini akan sangat bermanfaat untuk menghindari berbagai kasus kegagalan yang terjadi pada komponen – komponen mesin.

2. Bahan dan Metode Penelitian

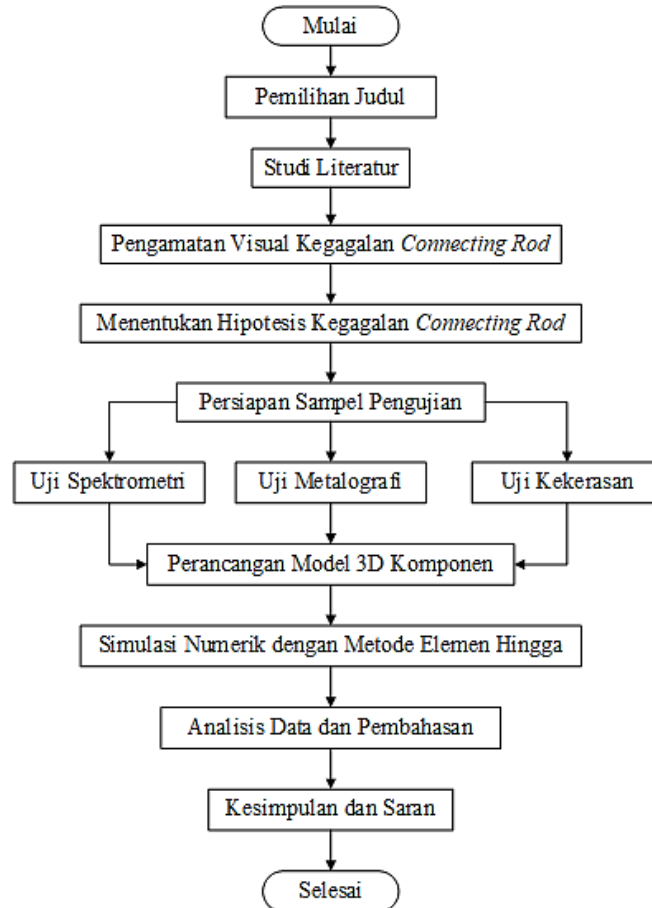
2.1 Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan

| Alat | Bahan |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Mesin <i>Grinding / Polishing</i> | <i>Connecting Rod</i> |
| Spektrometer | Alkohol dan Asam Nitrat |
| Mikroskop Optik | <i>Autosol Metal Polish</i> |
| <i>Vickers Microhardness Tester</i> | |
| Mesin Gerinda | |
| Gelas <i>Beaker</i> | |
| Laptop | |

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. Pemilihan Judul
 Penentuan judul dilakukan untuk menentukan topik dan materi yang akan dibahas dalam penelitian.
2. Studi Literatur
 Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan data-data dan sumber referensi yang berkaitan dengan penelitian.
3. Pengamatan Visual Kegagalan *Connecting Rod*
 Pengamatan visual dilakukan sebelum melakukan pengujian, tujuannya untuk melihat bagian *connecting rod* yang mengalami kerusakan atau kegagalan.
4. Menentukan Hipotesis Kegagalan *Connecting Rod*
 Penentuan hipotesis dilakukan untuk memperkirakan jenis dan penyebab kegagalan yang terjadi pada *connecting rod*. Penentuan hipotesis dilakukan dengan mengacu pada referensi yang ada.
5. Preparasi Sampel Pengujian
 Preparasi atau persiapan sampel setiap pengujian berbeda - beda. Pada penelitian ini, preparasi sampel secara umum dimulai dengan memotong bagian - bagian yang akan dilakukan pengujian, membuat dudukan (*mounting*) sampel jika spesimen terlalu kecil sebagai syarat dilakukannya pengujian serta proses *grinding* dan *polishing* untuk meratakan permukaan sampel. Preparasi sampel pengujian mengacu pada standar ASTM [6].
6. Pengujian Spektrometri
 Pengujian spektrometri bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia penyusun material *connecting rod*. Dari hasil pengujian dapat diketahui sifat dan jenis material tersebut [7].
7. Pengujian Metalografi
 Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari *connecting rod*. Dari hasil pengujian dapat diketahui sifat dan jenis fasa dari material tersebut [1].
8. Pengujian Kekerasan
 Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai distribusi kekerasan dari material *connecting rod* [8].
9. Perancangan Model 3D Komponen
 Perancangan model 3D digunakan dalam simulasi yang akan dilakukan [9].
10. Simulasi Numerik dengan Metode Elemen Hingga

Simulasi dengan metode elemen hingga dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimum dan mode *buckling* yang terjadi pada *connecting rod* [10].

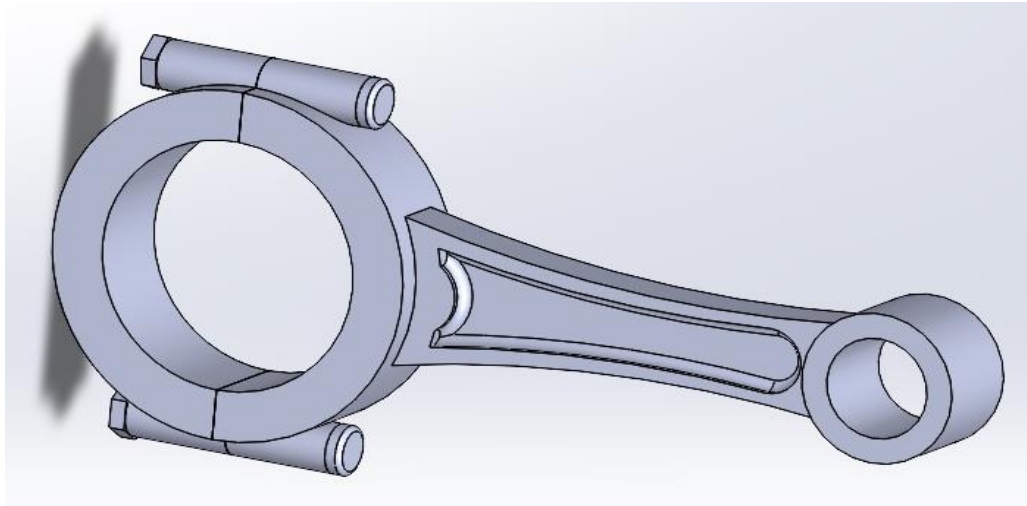
11. Analisa Data dan Pembahasan

Semua data pengamatan dan data - data hasil pengujian serta simulasi ditampilkan dalam bentuk tabel dan foto. Kemudian, dilakukan analisis berdasarkan teori yang didapatkan dari referensi dan literatur yang ada.

3. Hasil dan Pembahasan

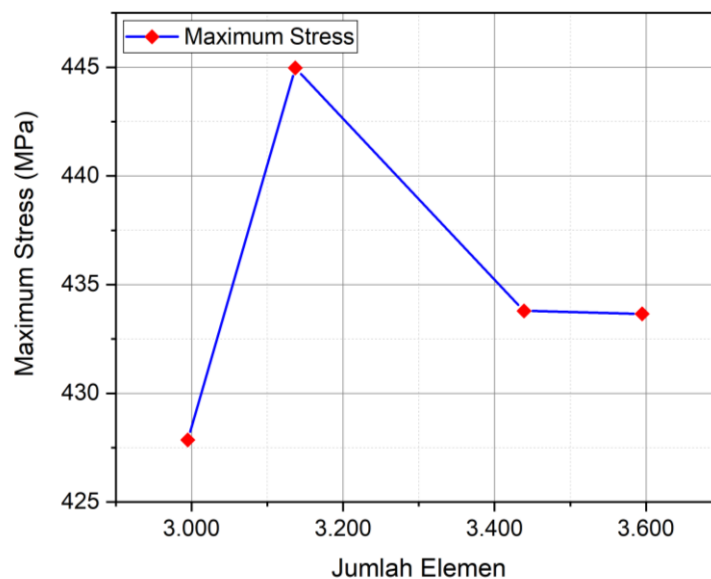
Dari riwayat penggunaan, mobil sering dipakai untuk menerobos banjir serta mobil sering mogok ketika hujan. Untuk itu, saya akan mencoba mengungkap kegagalan dari *connecting rod* pada sebuah mobil 1300 cc buatan tahun 1995 yang mengalami kegagalan bengkok setelah masa pemakaian 25 tahun menggunakan simulasi analisis tegangan.

Langkah selanjutnya yaitu melakukan perancangan model 3D komponen *connecting rod* menggunakan aplikasi *Solidworks 2021*. Berikut merupakan desain dari *connecting rod* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



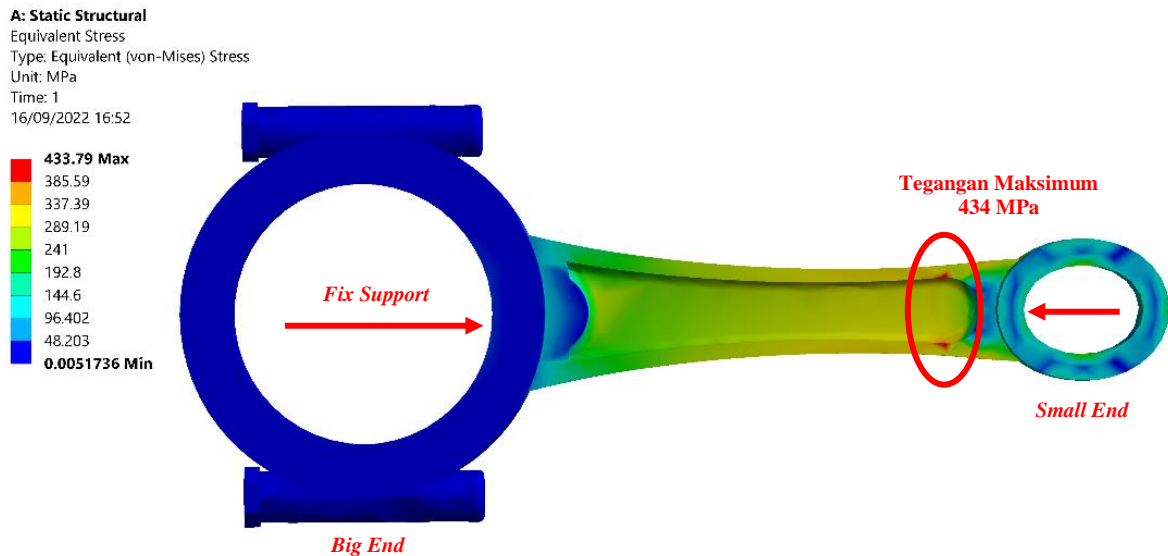
Gambar 2. Model 3D *Connecting Rod*.

Setelah itu, dilanjutkan dengan pengujian analisis tegangan pada *connecting rod* menggunakan aplikasi *Ansys Workbench 2020*. Dengan ukuran elemen rata - rata 6,6 menghasilkan 7.049 node dan 3.439 elemen. Untuk memastikan keakuratan *meshing*, dapat dilihat grafik konvergensi *mesh* pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Konvergensi *Mesh*.

Dari analisis tegangan didapatkan titik tegangan maksimum terjadi di daerah dekat *small end* dengan nilai tegangan maksimum sebesar 434 MPa. Hasil analisis tegangan dapat dilihat pada Gambar 4 [7].



Gambar 4. Hasil Analisis Tegangan (*von Mises*) *Connecting Rod*.

Jadi, dari hasil simulasi diatas dapat disimpulkan bahwa didapatkan nilai tegangan maksimum terjadi di dekat titik tegangan maksimumnya, dimana titik nilai tersebut berada diantara kekuatan luluh (415 MPa) dan kekuatan tarik (655 MPa). Artinya *connecting rod* mengalami deformasi plastis sehingga tidak aman untuk penggunaan dengan beban normal [4].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap kasus kegagalan pada *connecting rod* mobil 4 langkah kapasitas 1300 cc, dapat ditarik kesimpulan bahwa *connecting rod* mengalami deformasi plastis yang dikarenakan oleh faktor *hydrolock* atau beban tekan berlebih saat beroperasi. Dimana mesinnya bekerja dengan waktu yang cukup lama yaitu 25 tahun sehingga menyebabkan *connecting rod* terdesak dan pistonnya macet tetapi tetap didorong oleh crankshaft yang mengakibatkan *connecting rod* mengalami *buckling*. Mekanisme kegagalan ini dibuktikan dari hasil analisis tegangan yang menunjukkan titik tegangan maksimum.

5. Daftar Pustaka

- [1] R. Saputra and A. Widjayanto, "Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik Connecting Rod Asli Dengan Imitasi Pada Sepeda Motor," **2019**.
- [2] D. Yang, Z. Yu, W. Cheng, and L. Zhang, "Fatigue Analysis of Engine Connecting Rod Based on Workbench," **2017**.
- [3] M. A. Rezvani, D. Javanmardi, and P. Mostaghim, "Diagnosis of EMD645 diesel engine connection rod failure through modal testing and finite element modeling," *Eng Fail Anal*, vol. 92, pp. 50–60, Oct. **2018**.
- [4] M. K. Lee, H. Lee, T. S. Lee, and H. Jang, "Buckling sensitivity of a connecting rod to the shank sectional area reduction," *Mater Des*, vol. 31, no. 6, pp. 2796–2803, Jun. **2010**.
- [5] A. R. Pani, R. K. Patel, and G. K. Ghosh, "Buckling analysis and material selection of connecting rod to avoid hydro-lock failure," in *Materials Today: Proceedings*, **2019**, vol. 27, pp. 2121–2126.
- [6] C. Juarez, F. Rumiche, A. Rozas, J. Cuisano, and P. Lean, "Failure analysis of a diesel generator connecting rod," *Case Stud Eng Fail Anal*, vol. 7, pp. 24–31, Oct. **2016**.
- [7] S. Rakic, U. Bugarcic, I. Radisavljevic, and Z. Bulatovic, "Failure analysis of a special vehicle engine connecting rod," *Eng Fail Anal*, vol. 79, pp. 98–109, Sep. **2017**.
- [8] W. Wilarso, C. W. M. Noor, A. F. M. Ayob, and W. N. W. Mansor, "Investigation and failure analysis of a diesel generator connecting rod," *Mechanical Engineering for Society and Industry*, vol. 2, no. 2, pp. 64–71, May **2022**.
- [9] A. E. Latief and N. D. Anggraeni, "Optimasi Dimensi Connecting Rod Al2024 dan Tulangan Baja 4340 pada Kawasaki Ninja 150 R Menggunakan ANSYS," *Jurnal Rekayasa Hijau No.1* |, vol. 3, **2019**.

-
- [10] Z. Pan and Y. Zhang, “Numerical investigation into high cycle fatigue of aero kerosene piston engine connecting rod,” *Eng Fail Anal*, vol. 120, Feb. **2021**.