

ANALISIS KEGAGALAN *CONNECTING ROD* PADA SEPEDA MOTOR 4 LANGKAH DENGAN KAPASITAS 110 CC

*Insannul Fikri¹, 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: insannulfikri14@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mekanisme terjadinya kegagalan *connecting rod* pada sepeda motor 4 langkah dengan kapasitas 110 cc yang mengalami deformasi plastis pada bagian leher *connecting rod*. Metode analisis yang dilakukan yaitu pengamatan visual, pengujian komposisi kimia, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, dan simulasi numerik. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa material *connecting rod* termasuk dalam kategori baja SAE-AISI 4140. Struktur mikronya memiliki fasa martensit yang didapatkan dari hasil pengujian metalografi. Hasil pengujian kekerasan dengan metode Vickers menunjukkan bahwa rata-rata nilai kekerasan material *connecting rod* sebesar 500 HV. Dari analisis tegangan (von Mises) dan analisis mode tekuk (*eigenvalue buckling*) menunjukkan kemiripan mode kegagalan tekuk yang terjadi dimana beban yang diterima *connecting rod* melebihi pembebanan normal dan terjadi di daerah titik tegangan maksimumnya. Hasil ini juga diperkuat dengan riwayat pemakaian sepeda motor yang telah dimodifikasi dengan menaikkan kompresi untuk mendapatkan kecepatan yang diinginkan tanpa mempertimbangkan kekuatan dari komponen *connecting rod*.

Kata kunci: analisis kegagalan; *connecting rod*; kegagalan tekuk; sae-aisi 4140

Abstract

This research aims to analyze the mechanism of *connecting rod* failure on a 4-stroke motorbike with a capacity of 110 cc which experiences plastic deformation at the *connecting rod* neck. The analytical methods used are visual observation, chemical composition testing, metallographic testing, hardness testing, and numerical simulation. The chemical composition test results show that the *connecting rod* material is included in the SAE-AISI 4140 steel category. The microstructure has a martensite phase which was obtained from the metallographic test results. The results of hardness testing using the Vickers method show that the average hardness value of the *connecting rod* material is 500 HV. From stress analysis (von Mises) and buckling mode analysis (*eigenvalue buckling*) it shows similarities in the buckling failure mode that occurs where the load received by the *connecting rod* exceeds the normal load and occurs in the area of the maximum stress point. This result is also strengthened by the history of using motorbikes that have been modified by increasing compression to obtain the desired speed without considering the strength of the *connecting rod* components.

Keywords: buckling failure; *connecting rod*; failure analysis; sae-aisi 4140

1. Pendahuluan

Analisis kegagalan adalah proses pengkajian mendalam terhadap suatu komponen yang mengalami kegagalan atau kerusakan yang disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja suatu alat. Kegagalan yang terjadi pada komponen-komponen mesin itu sangat merugikan bagi suatu industri apabila komponen mesin yang mengalami kegagalan merupakan komponen mesin yang sangat penting bagi industri itu sendiri. Salah satu contoh komponen mesin yang bisa mengalami kegagalan yaitu komponen *connecting rod* sepeda motor.

Proses fabrikasi yang buruk, pelumasan yang buruk, kapasitas beban berlebih yang diterima *connecting rod*, serta kualitas jalan yang buruk di Indonesia merupakan beberapa faktor penyebab terjadinya kegagalan pada *connecting rod*. Dengan menimbang banyaknya faktor penyebab kegagalan dan juga banyaknya kasus kegagalan yang terjadi, maka perlu dilakukan analisis kegagalan untuk mengetahui penyebab khusus dan ciri-ciri dari kegagalan tersebut. Hasil analisis kegagalan tersebut dapat dijadikan sebagai patokan atau pembelajaran bagi semua pengguna sepeda motor agar lebih memberikan perhatian khusus pada perawatan dari komponen sepeda motornya sehingga dapat memperpanjang umur pemakaian dari sepeda motor.

Komponen *connecting rod* mempunyai peranan penting dalam meneruskan tenaga dari hasil proses pembakaran menuju poros engkol yang kemudian diubah dari gerak translasi menjadi gerak rotasi dan dari energi panas menjadi energi mekanik [1]. Proses pembakaran yang terjadi di dalam silinder akan menghasilkan gas pembakaran yang sangat

tinggi. Jika piston dan komponen terkait lainnya tidak dapat menahan daya ledak dari proses pembakaran tersebut, maka dapat dipastikan piston, *connecting rod*, ataupun *cranksaft* akan mengalami kegagalan. Untuk meminimalisir atau mencegah kegagalan tersebut maka perlu diketahui kekuatan dari komponen tersebut.

Pani et al [2] melakukan penelitian yang menganalisis kegagalan tekuk dan pemilihan material *connecting rod* pada mesin diesel tugas berat 645E3B untuk menghindari terjadinya kegagalan *hydrolock*. Setelah dilakukan analisis, disimpulkan bahwa kekuatan tekuk *connecting rod* paduan aluminium jauh lebih rendah dari pada kekuatan tekuk *connecting rod* baja tempa. Sehingga *connecting rod* paduan aluminium tidak bisa digunakan untuk mesin diesel tugas berat. Chao [3] juga melakukan penelitian yang menganalisis kegagalan *connecting rod* yang disebabkan oleh *fretting-fatigue*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mekanisme kegagalan mesin mungkin terjadi karena *fretting-fatigue* yang dihasilkan oleh gerakan mikro antara lubang rumah dan bantalan bagian belakang.

Witek dan Zelek [4] melakukan penelitian yang menganalisis tegangan dan kegagalan *connecting rod* mesin diesel *turbocharged* yang mengalami kegagalan patah. Hasil analisis dengan metode elemen hingga menyimpulkan bahwa penyebab utama kegagalan *connecting rod* adalah tingkat tegangan yang tinggi di zona dekat lubang baut yang disebabkan oleh pretensi tinggi dari baut. Rezvani et al [5] juga melakukan penelitian yang menganalisis kegagalan *connecting rod* mesin diesel tugas berat EMD645 yang mengalami kegagalan tekuk samping. Hasil analisis dengan metode elemen hingga menyimpulkan bahwa penyebab kegagalan *connecting rod* adalah karena adanya fenomena *hydrolock* atau adanya cairan yang masuk ke ruang pembakaran serta diikuti dengan rasio kompresi yang tinggi.

Lee et al [6] melakukan penelitian yang menganalisis pengaruh sensitivitas tekuk dari *connecting rod* yang mengalami kegagalan tekuk depan-belakang ke pengurangan luas penampang *shank*. Hasil analisis dengan metode elemen hingga menyimpulkan bahwa pengurangan luas penampang *shank* menyebabkan *connecting rod* mengalami tekuk dimana sensitivitas tekuk relatif lebih tinggi atau sebanding dengan nilai sifat luluh dan kelelahannya. Bari et al [7] juga melakukan penelitian tentang analisis forensik dari *connecting rod* yang mengalami kegagalan patah pada mesin sepeda motor yang bertujuan untuk memperbaiki desain dan mencegah terjadinya kegagalan serupa kedepannya. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penyebab kegagalan patah pada *connecting rod* karena adanya inklusi penumpukan kerak yang menimbulkan retak mikro selama proses kelelahan komponen.

2. Metode Penelitian

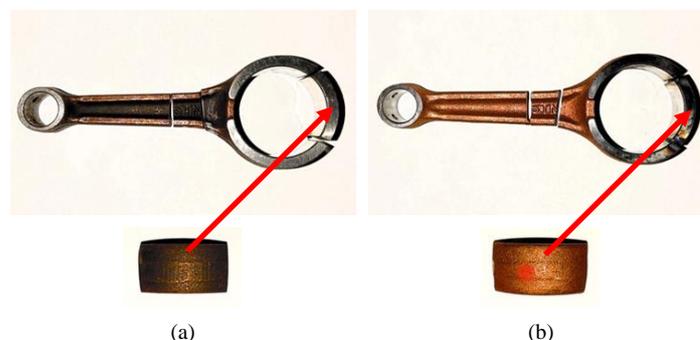
Penelitian ini memiliki beberapa rangkaian tahapan-tahapan proses dalam menganalisis kegagalan yang terjadi pada *connecting rod* diantaranya:

2.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia penyusun material *connecting rod*. Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian ini yaitu *optical emission spectrometer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini menggunakan 2 spesimen pada uji komposisi kimia yang masing-masing diambil pada bagian *big end* dari *connecting rod* yang gagal dan *connecting rod* yang baru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. *Optical emission spectrometer*



Gambar 2. Spesimen uji komposisi kimia *connecting rod* (a) Gagal (b) Baru

2.2 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari material *connecting rod*. Alat yang digunakan untuk melihat struktur mikro yaitu mikroskop optik Olympus BX53M seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Penelitian ini menggunakan 2 spesimen pada uji metalografi yang masing-masing diambil pada bagian leher dari *connecting rod* yang gagal dan *connecting rod* yang baru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Mikroskop optik Olympus BX53M



Gambar 4. Spesimen uji metalografi *connecting rod* (a) Gagal (b) Baru

2.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan dari material *connecting rod*. Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian ini dengan metode Vickers yaitu *micro Vickers hardness tester* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Penelitian ini menggunakan 2 spesimen pada uji kekerasan dengan spesimen yang sama dengan uji metalografi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 5. *Micro Vickers hardness tester*

2.4 Simulasi Numerik

Penelitian ini melakukan simulasi numerik dengan metode elemen hingga yang bertujuan untuk mengetahui titik dan nilai tegangan maksimum serta mode tekuk yang terjadi pada *connecting rod*. Simulasi diawali dengan merancang model 3D *connecting rod* menggunakan *software* Solidworks 2016 lalu analisis struktur menggunakan *software* Ansys Workbench 2020 R1.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

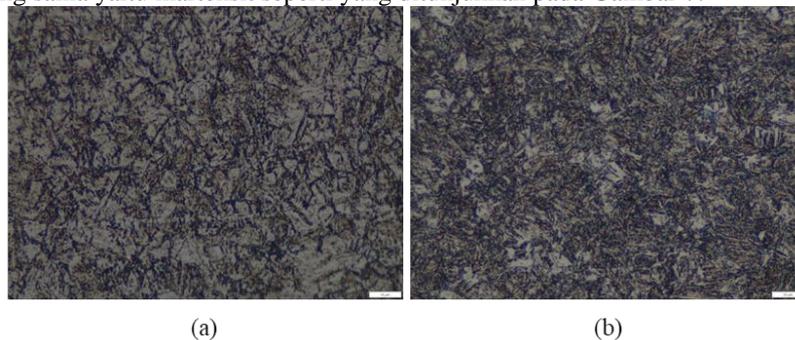
Hasil pengujian komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. diketahui bahwa, kedua *connecting rod* berdasarkan komposisi kimianya semuanya menunjukkan bahwa kedua *connecting rod* dikategorikan sebagai baja SAE-AISI 4140 atau dalam penamaan Jerman (DIN) sama dengan 41CrMo4 [8].

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia

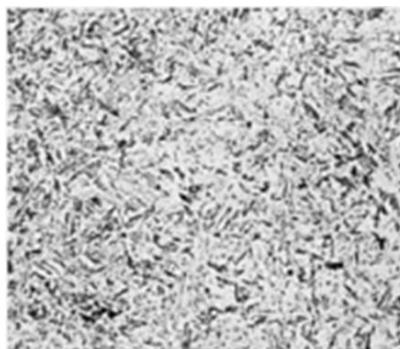
Unsur	Kandungan [%]		
	Spesimen Gagal	Spesimen Baru	Baja AISI 4140
Fe	97,1	97,1	Balance
C	0,409	0,405	0,38-0,43
Cr	1,11	1,09	0,80-1,10
Mo	0,156	0,156	0,15-0,25
Si	0,159	0,162	0,15-0,35
Mn	0,837	0,805	0,75-1,00
P	0,0341	0,0311	≤0,035
S	0,0382	0,0372	≤0,040

3.2 Pengujian Metalografi

Hasil pengujian metalografi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. diketahui bahwa, kedua *connecting rod* memiliki bentuk fasa yang sama yaitu martensit. Hasil ini menunjukkan bahwa tidak terdapat kesalahan atau cacat produksi pada *connecting rod* yang mengalami kegagalan. Hasil fasa martensit juga sesuai dengan proses produksi *connecting rod* yang mengalami *heat treatment* berupa *quenching* untuk mendapatkan kekuatan yang tinggi dan *tempering* untuk meningkatkan nilai ketangguhannya. Untuk membuktikan struktur mikro ini, dapat dibandingkan dengan struktur mikro dari baja AISI 4140 yang juga mengalami *heat treatment* berupa *quenching* dan *tempering* dengan bentuk fasa yang sama yaitu martensit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Hasil pengujian metalografi dengan pembesaran 1000x *connecting rod* (a) Gagal (b) Baru

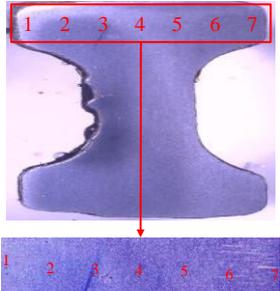
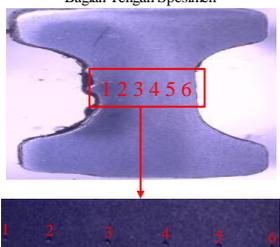


Gambar 7. Struktur mikro baja AISI 4140 pembesaran 500x [9]

3.3 Pengujian Kekerasan

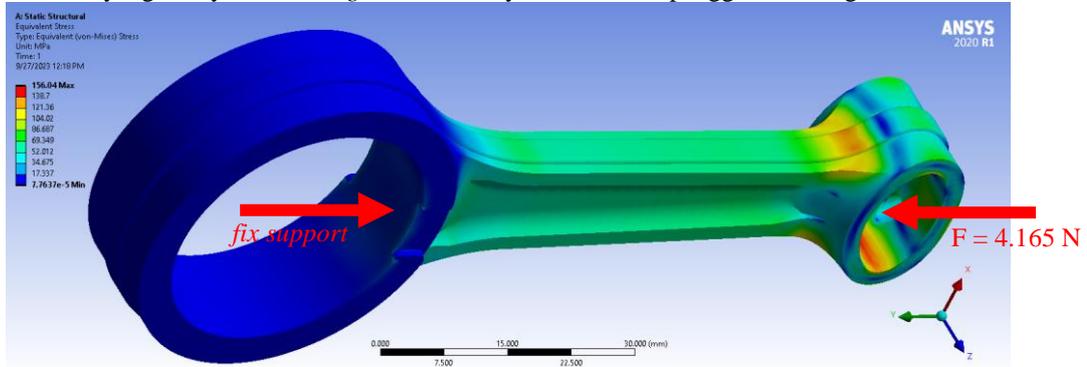
Hasil pengujian kekerasan yang dilakukan pada 13 titik dengan metode Vickers seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. diketahui bahwa, kedua *connecting rod* tidak terdapat perbedaan distribusi nilai kekerasan yang signifikan dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 500 HV. Hasil ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan nilai kekerasan yang disebabkan oleh faktor pemakaian pada *connecting rod* yang mengalami kegagalan [10].

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan

Area	Titik	Nilai Kekerasan Vickers (HV)	
		Spesimen Gagal	Spesimen Baru
Bagian Tepi Spesimen 	1	558	583
	2	515	565
	3	478	523
	4	474	521
	5	496	532
	6	506	537
	7	517	565
Bagian Tengah Spesimen 	1	530	558
	2	506	551
	3	480	521
	4	474	515
	5	488	551
	6	510	563

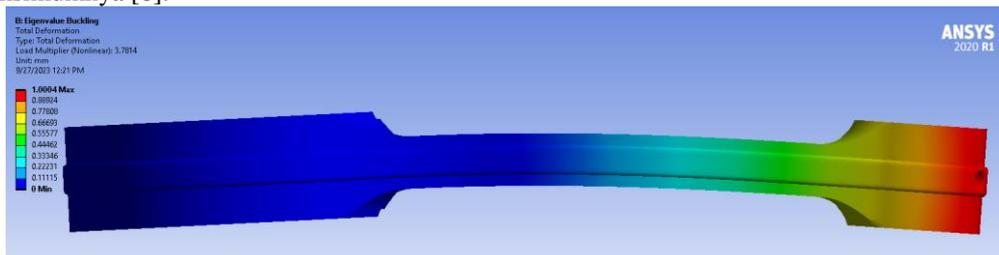
3.4 Hasil Simulasi Numerik

Hasil analisis tegangan (von Mises) dengan beban normal sebesar 4.165 N yang diterapkan ke lingkaran bagian dalam dari *small end* searah sumbu leher *connecting rod*, dan lingkaran bagian dalam dari *big end* ditetapkan sebagai *fix support* [11] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. diketahui bahwa, titik tegangan maksimum terjadi di daerah dekat *small end connecting rod* dengan nilai tegangan maksimum sebesar 156 MPa di bawah kekuatan luluh *connecting rod* sebesar 415 MPa, yang artinya *connecting rod* seharusnya aman untuk penggunaan dengan beban normal.



Gambar 8. Hasil analisis tegangan (von Mises) *connecting rod*

Selanjutnya dari analisis mode tekuk (*eigenvalue buckling*), diperoleh mode tekuk yang terjadi yaitu mode tekuk pertama dengan nilai beban tekuk maksimum sebesar 15.743 N atau 3,78 kali lebih besar dari pembebanan normalnya. Mode tekuk pertama yang terjadi dari hasil analisis mode tekuk menyerupai kegagalan *connecting rod* yang sebenarnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Bukti dari kemiripan mode tekuk ini ditunjukkan dengan titik tegangan tekuk maksimum yang terletak di daerah dengan luas penampang terkecil dari leher *connecting rod* dan terjadi di dekat titik tegangan maksimumnya [6].



(a)



(b)

Gambar 9. (a) Analisis mode tekuk (*eigenvalue buckling*) (b) Kegagalan *connecting rod* yang terjadi

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian diketahui bahwa, komposisi kimia dari material *connecting rod* terbuat dari material baja paduan rendah yang termasuk dalam kategori baja SAE-AISI 4140. Struktur mikro yang terbentuk dari material *connecting rod* yaitu martensit ditandai dengan rata-rata nilai kekerasan dari material *connecting rod* sebesar 500 HV. Material *connecting rod* sudah memenuhi standar baja SAE-AISI 4140 sehingga bukan merupakan faktor penyebab terjadinya kegagalan pada *connecting rod*. Mekanisme terjadinya kegagalan disebabkan karena *connecting rod* menerima beban berlebih sehingga mengalami kegagalan tekuk pada bagian leher *connecting rod*. Hal ini dibuktikan dari hasil analisis tegangan (von Mises) dan mode tekuk (*eigenvalue buckling*) yang menunjukkan titik tegangan maksimum dan titik tegangan tekuk maksimum memiliki kemiripan dengan kondisi sebenarnya kegagalan yang terjadi pada *connecting rod*. Penyebab utama terjadinya kegagalan karena *connecting rod* menerima beban berlebih yang terjadi setelah sepeda motor dimodifikasi dengan menaikkan kompresi untuk mendapatkan kecepatan yang diinginkan tanpa mempertimbangkan kekuatan dari *connecting rod*.

5. Daftar Pustaka

- [1] Godara, S. S., Brenia, V., Soni, A. K., Shekhawat, R. S., & Saxena, K. K., 2022. *Design & Analysis of Connecting Rod Using Ansys Software*. Materials Today: Proceedings, 56, pp.1896-1903.
- [2] Pani, A. R., Patel, R. K., & Ghosh, G. K., 2020. *Buckling Analysis and Material Selection of Connecting Rod to Avoid Hydro-Lock Failure*. Materials Today: Proceedings, 27, pp.2121-2126.
- [3] Chao, J., 2019. *Fretting-Fatigue Induced Failure of a Connecting Rod*. Engineering Failure Analysis, 96, pp.186-201.
- [4] Witek, L., & Zelek, P., 2019. *Stress and Failure Analysis of the Connecting Rod of Diesel Engine*. Engineering Failure Analysis, 97, pp.374-382.
- [5] Rezvani, M. A., Javanmardi, D., & Mostaghim, P., 2018. *Diagnosis of EMD645 Diesel Engine Connecting Rod Failure Through Modal Testing and Finite element Modeling*. Engineering Failure Analysis, 92, pp.50-60.
- [6] Lee, M. K., Lee, H., Lee, T. S., & Jang, H., 2010. *Buckling Sensitivity of a Connecting Rod to the Shank Sectional Area Reduction*. Materials and Design, 31, pp.2796-2803.
- [7] Bari, K., Rolfe, A., Christofi, A., Mazzuca, C., & Sudhakar, K. V., 2017. *Forensic Investigation of a Failed Connecting Rod from a Motorcycle Engine*. Case Studies in Engineering Failure Analysis, 9, pp.9-16.
- [8] American Society for Metals, 1990. *ASM Handbook Vol.1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. Vol.1, ASM Handbook, ASM International, pp.1-2521.
- [9] American Society for Metals, 1985. *ASM Handbook Vol.9, Metallography and Microstructures*. Vol.9, ASM Handbook, ASM International, pp.1-1627.
- [10] American Society for Metals, 1991. *ASM Handbook Vol.4, Heat Treating*. Vol.4, ASM Handbook, ASM International, pp.1-2173.
- [11] Rakic, S., Bugaric, U., Radisavljevic, I., & Bulatovic, Z., 2017. *Failure Analysis of a Special Vehicle Engine Connecting Rod*. Engineering Failure Analysis, 79, pp.98-109.