

ANALISIS KEGAGALAN PADA *CONNECTING ROD* SEPEDA MOTOR KAPASITAS 97 CC

*Yonathan Jalu Bagaskara¹, Sri Nugroho², Gunawan D. Haryadi²

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: yonathan.bagaskara@gmail.com

Abstrak

Connecting rod dalam sepeda motor merupakan komponen penting dalam kendaraan, dimana connecting rod digunakan sebagai penghubung antara piston dengan poros engkol untuk meneruskan gaya dari piston ke poros engkol. Pada penelitian ini connecting rod mengalami kegagalan berupa bengkok sehingga akan dilakukan beberapa pengujian untuk menganalisis mekanisme dan penyebab dari kegagalan tersebut. Pengujian yang dilakukan yaitu pengamatan visual, pengujian komposisi kimia, pengujian metalografi, pengujian kekerasan dan simulasi FEM. Hasil pengamatan visual menunjukkan kegagalan yang dialami connecting rod berupa bengkok dan ada sedikit retakan pada bagian bawah small end. Dari pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa material yang digunakan adalah baja AISI 4130 dimana baja ini merupakan baja paduan rendah. Struktur mikro yang terbentuk adalah fasa ferit dan perlit pada bagian yang gagal dan martensit pada bagian yang jauh dari bagian gagal, dikarenakan oli pada mesin habis sehingga tidak ada pelumas dan pendingin sehingga suhu naik dan menyebabkan connecting rod mengalami penurunan nilai kekerasan, hasil pengujian kekerasan menunjukkan jika material memiliki kekerasan rata-rata 500 HV pada bagian yang jauh dari gagal dan 350 HV pada bagian yang gagal hal ini membuktikan bahwa penyebab utama kegagalan pada connecting rod adalah menurunnya nilai kekerasan. Pada hasil simulasi FEM menunjukkan bahwa deformasi total akibat mekanisme gerak mesin berada pada bagian yang mengalami gagal hal ini juga mendukung kenapa connecting rod dapat mengalami kegagalan.

Kata kunci: aisi 4130; bengkok; connecting rod; fasa; kegagalan

Abstract

Connecting rod in a motorcycle is an important component, where the connecting rod is used as a link between the piston and the crankshaft to transmit the force from the piston to the crankshaft. In this research, the connecting rod is buckling so that several tests would be carried out to analyze the mechanism and causes of the failure. The tests carried out were visual observation, chemical composition testing, metallographic testing, hardness testing and FEM simulations. The results of visual observations showed that the failure of the connecting rod was buckling and there was a crack at the bottom of the small end. The chemical composition test shows that the material used is AISI 4130 steel which is a low alloy steel. The microstructure that is formed is the ferrite and pearlite phases on the failed part and martensite on the part far from the failed part, because the oil in the engine runs out so there is no lubricant and coolant so that the temperature rises and causes the connecting rod decrease in hardness value, the hardness test results show if the material has an average hardness of 500 HV on the part far from failure and 350 HV on the part that fails, this proves that the main cause of failure of the connecting rod is a decrease in the hardness value. The FEM simulation results show that the total deformation due to the engine motion mechanism is in the part that has failed, this also supports why the connecting rod failure.

Keyword: aisi 4130; buckling; connecting rod; failure; hardness

1. Pendahuluan

Batang piston adalah salah satu komponen terpenting yang digunakan dalam mesin pembakaran internal (internal combustion engine). Dalam mesin pembakaran internal batang piston digunakan sebagai penghubung antara piston dengan poros engkol, dengan cara sebagai berikut ujung yang lebih kecil dari batang piston disambungkan ke piston dengan menggunakan gudgeon pin, sedangkan ujung yang besar dipasang pada crankpin dari crankshaft. Batang piston berfungsi untuk mengkonversi gerakan bolak-balik piston menjadi gerakan rotasi poros engkol. Dalam penggunaannya batang piston sering terjadi kegagalan dikarenakan kelelahan akibat tekanan yang diberikan secara terus menerus dari hasil proses pembakaran hal ini biasa terjadi karena posisi pemasangan yang kurang presisi, dan bisa disebabkan karena penggunaan yang tidak wajar atau memaksakan melebihi kapasitas yang seharusnya [1,2].

Pada penelitian ini dilakukan analisis kegagalan batang piston (connecting rod) yang mengalami bengkok (buckling) dan terdapat retak, dimana komponen ini berfungsi sebagai penghubung piston dengan poros engkol pada kasus ini diambil dari motor dengan kapasitas silinder 97 cc. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana

connecting rod sepeda motor dapat mengalami kegagalan pada bagian penghubung antara small end dan big end tepatnya pada bagian dekat small end. Kemungkinan terjadinya kegagalan karena adanya peningkatan suhu yang diterima oleh connecting rod. Dari komponen tersebut akan dilakukan beberapa pengujian untuk menganalisis mekanisme kegagalan dan penyebab dari kegagalan tersebut. Metode analisis yang digunakan yaitu analisis visual, pengujian komposisi kimia, pengujian metalografi, pengujian kekerasan dan simulasi numerik.

2. Dasar Teori

2.1 Connecting Rod

Connecting rod adalah salah satu komponen terpenting yang digunakan dalam mesin pembakaran internal. Connecting rod terdiri dari big end, rod, dan small end. Connecting rod berfungsi untuk meneruskan gerakan piston ke poros engkol [3].



Gambar 1. Bagian-bagian connecting rod [3].

2.2 Material Connecting Rod

Baja AISI 4130, Merupakan baja paduan rendah Chromium-Molybdenum yang memiliki *mechanical properties* setelah dilakukan Q + T seperti pada Tabel 1 di bawah ini[4].

Tabel 1. *Mechanical properties connecting rod*

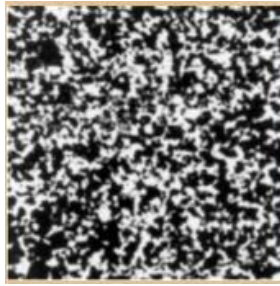
Mechanical Properties	Metric
Hardness, Vickers	350 - 500
Tensile Strength, Ultimate	1145 MPa
Tensile Strength, Yield	1110 MPa
Modulus Elasticity	205 GPa

Baja AISI 4130, memiliki chemical properties seperti pada Tabel 2 di bawah ini[4].

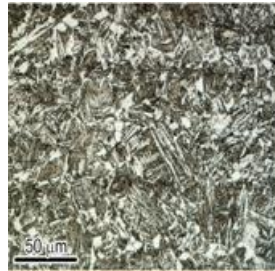
Tabel 2. *Chemical properties connecting rod*

Chemical Properties	Metric
Fe	97.03 - 98.22 %
C	0.28 - 0.33 %
Cr	0.80 - 1.1 %
Mo	0.15 - 0.25 %
Si	0.15 - 0.30 %
P	<= 0.035 %
Mn	0.40 - 0.60 %
S	<= 0.040 %

Baja AISI 4130, mengalami *heat treatment* berupa *normalizing*, *quenching* dan *tempering*, hasil dari *heat treatment*, Setelah mengalami *normalizing* kekerasan 150-230 HV dan memiliki fasa ferit + perlit dapat dilihat pada Gambar 2 dan Setelah mengalami *quenching* + *tempering* kekerasan 350-500 HV dan memiliki fasa martensit temper dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Fasa ferit + perlit AISI 4130 setelah dilakukan *normalizing* [5].

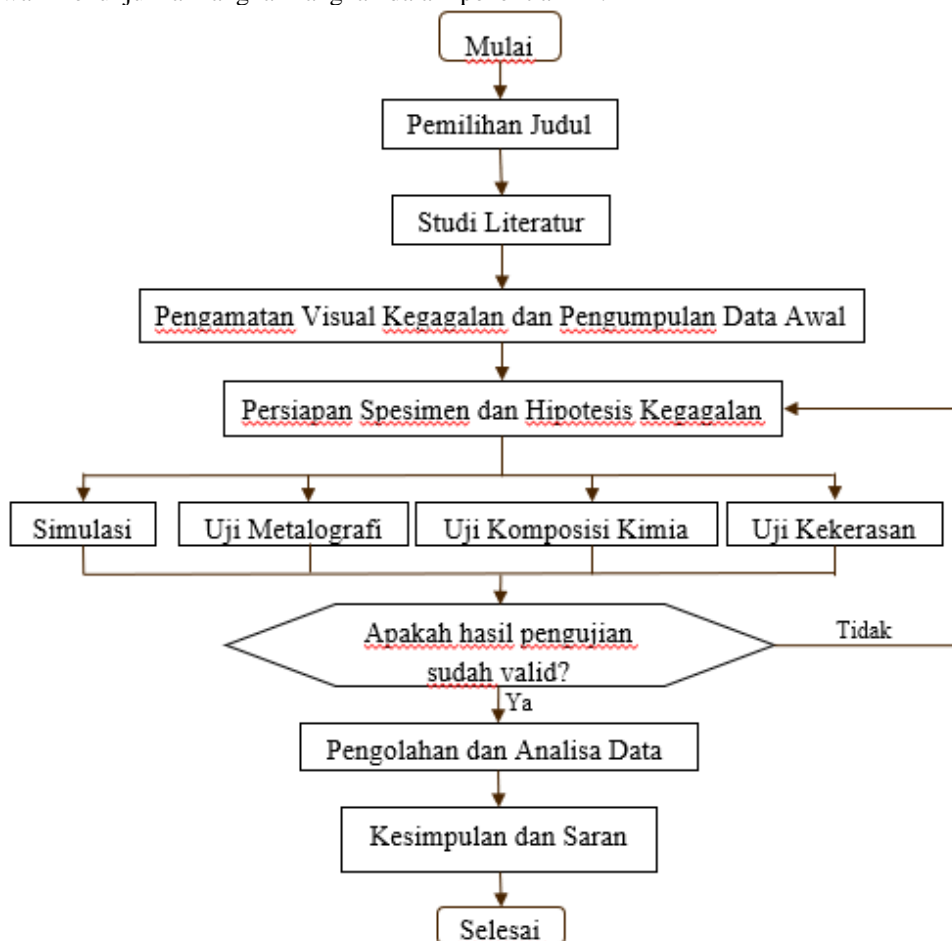


Gambar 3. Fasa martensit AISI 4130 setelah dilakukan *Q+T* [6].

3. Metode Penelitian

3.1 Diagram Alir Penelitian

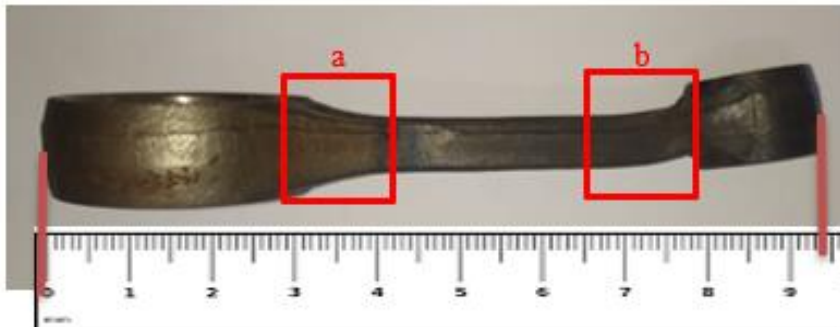
Pada penelitian ini dilakukan beberapa langkah-langkah pengujian untuk melakukan analisis terhadap *connecting rod*. Gambar 4 dibawah menunjukkan langkah-langkah dalam penelitian ini.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

3.2 Pengujian Metalografi

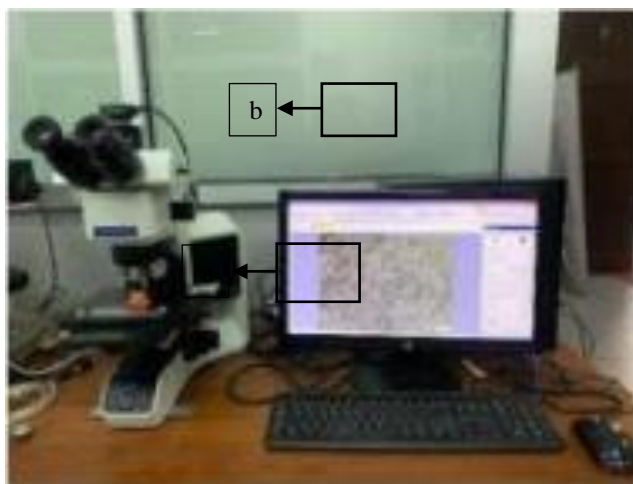
Pengujian Metalografi dilakukan untuk melihat struktur mikro yang terbentuk pada material benda uji. Pengujian ini dilakukan pada satu benda uji dengan dua titik berbeda, pada bagian yang mengalami kegagalan dan yang jauh dari kegagalan. Pengujian metalografi dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Diponegoro dengan menggunakan mikroskop optik. Ada beberapa langkah preparasi benda uji yang dilakukan sebelum melakukan pengujian metalografi, langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut: (1) pemotongan komponen dapat dilihat pada Gambar 5, (2) pembuatan mounting dapat dilihat pada Gambar 6, (3) grinding dan polishing, (4) pengetsaan, dan (5) pengamatan struktur mikro menggunakan Olympus BX41M dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 5. (a) spesimen uji dari titik yang jauh dari area gagal, (b) spesimen uji pada area yang terjadi gagal.



Gambar 6. Spesimen yang telah dilakukan *mounting*.



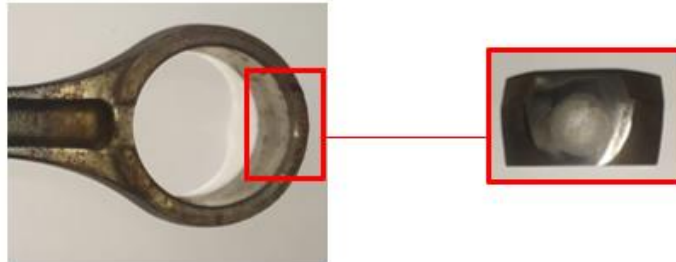
Gambar 2. Mikroskop untuk melihat struktur mikro dari spesimen uji.

3.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan connecting rod yang dilakukan menggunakan Vickers Microhardness Tester. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada komponen sehingga dapat diketahui kekerasan pada connecting rod sudah sesuai dengan standar atau ada perubahan. Spesimen uji yang digunakan sama seperti spesimen yang digunakan untuk melakukan uji struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 5.

3.4 Pengujian Komposisi Kimia

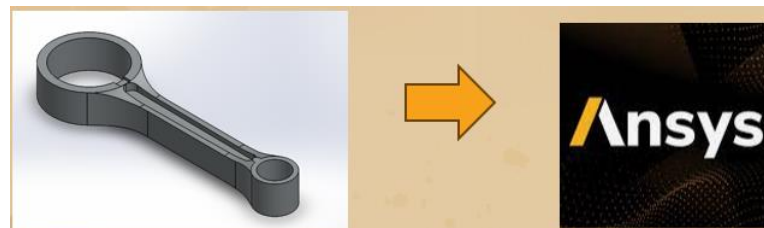
Pengujian selanjutnya dilakukan uji komposisi kimia, yang bertujuan untuk mengetahui unsur kimia yang ada pada connecting rod sesuai dengan material standar pembuatan connecting rod, pengujian ini dilakukan menggunakan Optical Emmision Spectrometer. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 9. Spesimen yang diambil untuk pengujian komposisi kimia.

3.5 Simulasi

Setelah selesai melakukan pengujian simulasi dilakukan dimulai dari memodelkan ulang connecting rod dan kemudian dilakukan proses simulasi menggunakan software Ansys. Untuk lebih jelas dapat dilihat dari Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Pemodelan ulang dan simulasi.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia (Spektrometri)

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi dan unsur yang terkandung dalam material benda uji. Berdasarkan hasil uji diketahui unsur-unsur yang terkandung material dan dapat mengetahui karakteristik dari Katup Masuk seperti, kekerasan (*hardness*), kekuatan (*strength*), keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*). Hasil pengujian dapat dilihat pada table 3 di bawah.

Tabel 3. Hasil Pengujian Komposisi Kimia (Spektrometri)

Unsur	Kandungan (%)	
	AISI 4130	Spesimen
Fe	97.03 - 98.22	97.2
C	0.28 - 0.33	0.259
Cr	0.80 - 1.1	1.12
Mo	0.15 - 0.25	0.165
Si	0.15 - 0.30	0.254
P	≤ 0.035	0.0285
Mn	0.40 - 0.60	0.857
S	≤ 0.040	0.0044

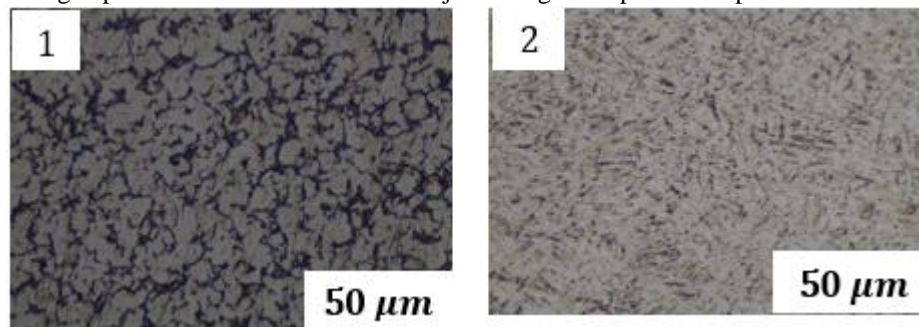
Berdasarkan hasil pengujian spektrometri, terjadi perbedaan kandungan karbon yang cukup signifikan, dimana kandungan karbon pada spesimen connecting rod sebesar 0,259 % sedangkan kandungan karbon pada AISI 4130 0,28 % [7].

Berdasarkan paduannya, baja memiliki elemen paduan mencapai sekitar 2,83 %. Hasil ini sesuai dengan kategori baja paduan rendah (low alloy steel) yang memiliki elemen paduan 2,83% hingga tingkat tepat di bawah baja tahan karat, yang mengandung minimal 10% Cr. Umumnya baja paduan rendah merupakan kategori bahan besi yang menunjukkan sifat mekanik lebih unggul dari baja karbon biasa (plain carbon steel) sebagai hasil dari penambahan elemen paduan seperti nikel, kromium, dan molybdenum. Umumnya paduan-paduan pada baja ini berfungsi untuk meningkatkan kemampuan pengerasan material untuk mengoptimalkan sifat mekanik dan ketangguhan setelah perlakuan panas[8].

Berdasarkan komposisi kimia hasil pengujian spektrometri, baja dikategorikan sebagai baja SAE-AISI 4130 [9]. Baja jenis ini umum di aplikasikan untuk material pembuatan connecting rod [5,6].

4.3 Hasil Pengujian Metalografi

Dalam pengujian metalografi, dilakukan pengamatan struktur mikro terhadap spesimen yang di uji menggunakan mikroskop mikro dengan perbesaran tertentu. Hasil dari uji metalografi dapat dilihat pada Gambar 11 dibawah ini.



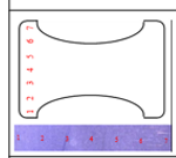
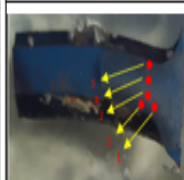
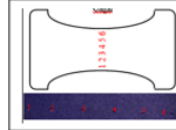
Gambar 3. (1) menunjukkan fasa ferit + perlit, (2) menunjukkan fasa martensit.

Dari bagian (1) dan (2) dapat dilihat bahwa fasa pada gambar (1) yang terbentuk pada connecting rod yaitu ferit dan perlit sementara pada bagian (2) martensit, yang menunjukkan bahwa material baja selain dilakukan quenching untuk menghasilkan kekuatan yang sangat tinggi, juga dilakukan tempering supaya dapat menaikkan nilai ketangguhannya namun pada bagian yang gagal berubah menjadi ferit dan perlit yang diduga akibat dari terjadinya overheat pada bagian dalam silinder yang terhubung dengan small end connecting rod.

4.4 Hasil Pengujian Kekerasan (Vickers)

Hasil pengujian kekerasan yang dilakukan dengan menggunakan Micro Hardness Vickers Tester pada katup masuk yang mengalami kegagalan dan bagian yang tidak. Pada masing-masing spesimen, pengujian kekerasan dengan metode Vickers dilakukan di lima titik terpisah dengan pembebanan 100 gf dan waktu indentasi 15 detik. Hasil pengujian kekerasan disajikan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Kekerasan (Vickers)

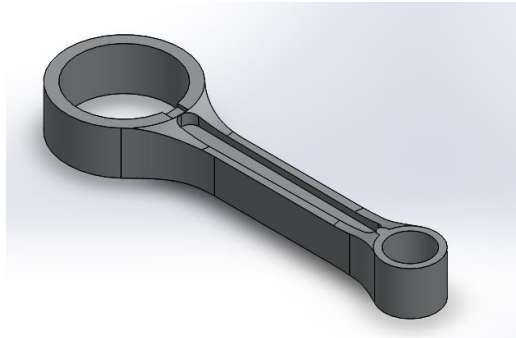
Area	Titik	Spesimen Jauh	Area	Titik	Spesimen Gagal
	1	556		1	488
	2	554		2	494
	3	517		3	367
	4	523		4	304
	5	546		5	403
	6	553			
	7	560			
	1	570			
	2	540			
	3	526			
	4	515			
	5	541			
	6	568			

Dari Pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan di bagian jauh lebih tinggi daripada bagian gagal dari connecting rod. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh dari performa mesin yang menjadi overheat akibat habisnya pelumas dan cairan pendingin pada mesin.

4.5 Hasil Simulasi Numerik Metode Elemen Hingga

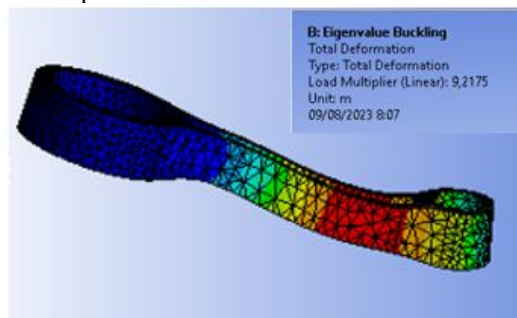
Simulasi Numerik yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui titik dan nilai tegangan maksimum serta mode buckling yang terjadi pada connecting rod. Simulasi dimulai dengan melakukan perancangan model 3D menggunakan

software Solidwork 2020. Dimensi connecting rod yang digunakan didapat dari referensi. Gambar perancangan model 3D dari connecting rod dapat dilihat pada Gambar 12



Gambar 12. Hasil pemodelan ulang menggunakan Solidworks 2020.

Simulasi dilakukan untuk menganalisis tegangan dan mode buckling pada connecting rod. Pada perhitungan gaya total maksimum yang bekerja pada connecting rod, yang sebelumnya telah dihitung $F_{total} = 5.162,31$ N diterapkan ke pusat bagian dalam dari ujung kecil (small end) searah sumbu leher connecting rod, sedangkan bagian dalam dari ujung besar (big end) diterapkan sebagai fix support atau kontak tetap untuk menahan semua derajat kebebasan [10]. Hasil analisis mode buckling dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil simulasi *buckling*.

Kegagalan yang serupa dengan kejadian aktual dengan asumsi bahwa tidak terjadi penurunan kekerasan pada connecting rod yaitu akan terjadi pada beban 630 kN.

Selain mode buckling dilakukan juga simulasi transient structural untuk mendapatkan pengaruh mekanisme gerak connecting rod terhadap ketahanan connecting rod sehingga dapat diketahui juga apakah ada factor penyebab kegagalan dari mekanisme gerak yang terjadi pada rangkaian motor bakar dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil simulasi *transient structural*

Dari simulasi mekanisme gerak connecting rod didapati bahwa bagian di area small end dimana terjadi kegagalan pada connecting rod mengalami deformasi total tertinggi hal ini merupakan factor lain yang menyebabkan kegagalan pada connecting rod.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan analisis kegagalan connecting rod pada sepeda motor 4 langkah kapasitas 97 cc. Kesimpulan dari hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa komposisi kimia komponen connecting rod terbuat dari baja paduan rendah (low alloy steel) dengan paduan sebesar 2,8% dan sesuai dengan material standar connecting rod yaitu baja AISI 4130. Dimana, struktur mikro yang terbentuk adalah fasa ferit perlit pada bagian spesimen gagal dan fasa martensit pada spesimen yang jauh dari gagal. Fasa yang terbentuk dibagian gagal diakibatkan karena connecting rod mengalami penurunan kekerasan yang seharusnya diatas 500 HV menjadi dibawah 370 HV. Hal ini disebabkan karena connecting rod mengalami pemanasan kembali akibat dari oli mesin yang habis sebagai cairan pendingin dan pelumas.
2. Kegagalan connecting rod juga disebabkan oleh mekanisme yang terjadi pada rangkaian motor bakar dimana bagian bawah small end merupakan area terkecil dari connecting rod sehingga ketika terjadi pembebanan yang terus menerus akan terjadi kegagalan berupa buckling maupun patah di area tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Mas Andiyanto atas dukungan dan bantuannya hingga selesai tugas akhir ini dan juga rekan-rekan yang berada di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang telah membantu dalam menyelesaikan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ARIESTYANTO, A., & Nugroho, S. (2011). ANALISIS KEGAGALAN CONNECTING ROD SEPEDA MOTOR 2 LANGKAH (Doctoral dissertation, Mechanical Engineering Department, Faculty Engineering of Diponegoro University).
- [2] Bari, K., dkk. (2017). Forensic investigation of a failed connecting rod from a car engine. *Case studies in engineering failure analysis*, 9, 9-16. [3] Morgan, E., 1991, "Chemometrics-experimental design," Wiley, Chichester.
- [3] Brooks, C. R., & Choudhury, A. (2002). *Failure analysis of engineering materials*. McGraw-Hill Education.
- [4] Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Education.
- [5] Rajan, K. M., dkk. (2002). Effect of heat treatment of preform on the mechanical properties of flow formed AISI 4130 Steel Tubes—a theoretical and experimental assessment. *Journal of Materials Processing Technology*, 125, 503-511.
- [6] Rezvani, M. A., dkk, Diagnosis of EMD645 diesel engine connection rod failure through modal testing and finite element modelling 2018.
- [7] Strozzi, A., dkk. A repertoire of failures in connecting rods for internal combustion engines, and indications on traditional and advanced design methods. *Engineering failure analysis*, 60, 20-39. 2016.
- [8] Callister, W.D., Rethwisch, D.G. 1940. *Materials Science and Engineering an Introduction*. 8 ed
- [9] Steels, H. S. L. A. *ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and HighPerformance Alloys Section: Carbon and Low-Alloy Steels*.
- [10] Chattopadhyay, Selection of Material, Shape, and Manufacturing Process for a Connecting Rod, 2010