



Analisis Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Kekerasan Cast Iron Camshaft dan Baja Paduan Push Rod

Analysis of the Effect of Heat Treatment on the Hardness of Cast Iron Camshaft and Alloy Steel Push Rod

Jana Hafiza^{1,a)}, Muhammad Aditya Indra Kusuma¹, Zuheldi², Deddy Kurniawan²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

^{a)}Corresponding author: janahafizaumsb@gmail.com

Abstrak

Camshaft dan *push rod* merupakan komponen penting dalam kendaraan bermotor. *Camshaft* yang terbuat dari besi cor kelabu (*cast iron*) berfungsi sebagai penggerak katup hisap untuk memasukkan bahan bakar dari karburator melalui saluran hisap yang seterusnya memasuki ruang bakar. *Push rod* yang terbuat dari baja paduan karbon tinggi berfungsi untuk meneruskan gerakan serta menerima tekanan dari *valve lifter* menuju *rocker arm*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perbedaan perubahan sifat fisik material *Camshaft* dan *push rod* setelah diberi perlakuan panas. Masing-masing ada 4 sampel yang dipersiapkan, dengan 1 sampel tanpa berikan perlakuan dan 3 sampel lainnya diberi perlakuan panas dengan suhu 800°C dan *holding time* selama 20 menit lalu dilanjutkan dengan pendinginan dengan tiga jenis media pendinginan yang berbeda yaitu air, oli, dan air garam. Semua sampel kemudian dilakukan uji kekerasan menggunakan *Rockwell Hardness Tester FR-3e* (HRC). Untuk *Camshaft* diuji pada 3 titik di setiap sampel uji dengan beban (*load*) 150 kgf, dan *push rod* pengujian dilakukan pada satu titik di setiap sampel. Kekerasan sampel tanpa perlakuan dan tiga sampel yang diberikan perlakuan panas diperiksa kemudian dibandingkan. Berdasarkan hasil analisis uji kekerasan diketahui terjadinya penurunan kekerasan pada *Camshaft* setelah diberikan perlakuan panas. Sampel tanpa diberikan perlakuan panas memiliki HRC rata-rata 52,60 HR, sampel pendinginan dengan air biasa memiliki HRC rata-rata 42,57 HR, pendinginan sampel dengan oli 46,77 HR, dan HRC rata-rata pendinginan sampel dengan air garam adalah 37,17 HR. Dari data terlihat adanya penurunan kekerasan paling tinggi dengan media pendinginan air garam. Hasil uji kekerasan pada *push rod* memperlihatkan adanya kenaikan nilai kekerasan dengan media pendinginan air biasa dan air garam, namun terjadinya penurunan kekerasan di media pendinginan oli. Tanpa diberikan perlakuan, *push rod* memiliki nilai kekerasan 33,9 HR, pada pendinginan air biasa kekerasan naik menjadi 35,0 HR, media air garam naik menjadi 40,9 HR, dan menurun pada pendinginan oli menjadi 30,1 HR.

Kata Kunci: *camshaf*; *push rod*; perlakuan panas; pendinginan; kekerasan; *rockwell*

Abstract

Camshaft and *push rod* are important components in motor vehicles. *Camshaft* made of gray cast iron functions as a suction valve driver to insert fuel from the carburetor through the suction channel which then enters the combustion chamber. *Push rod* made of high carbon alloy steel functions to transmit movement and receive pressure from the valve lifter to the rocker arm. This study aims to compare the differences in changes in the physical properties of *Camshaft* and *push rod* materials after being heat treated. Each has 4 samples prepared, with 1 sample without treatment and 3 other samples given heat treatment at a temperature of 800°C and a holding time of 20 minutes then continued with cooling with three different types of cooling media, namely water, oil, and salt water. All samples were then tested for hardness using the *Rockwell Hardness Tester FR-3e* (HRC). For the *Camshaft*, it was tested at 3 points on each test sample with a load of 150 kgf, and the *push rod* was tested at one point on each sample. The hardness of the sample without treatment and the three samples given heat treatment were checked and then compared. Based on the results of the hardness test analysis, it is known that there is a decrease in hardness

on the Camshaft after being given heat treatment. The sample without heat treatment has an average HRC of 52.60 HR, the sample cooled with plain water has an average HRC of 42.57 HR, the sample cooled with oil is 46.77 HR, and the average HRC of the sample cooled with salt water is 37.17 HR. From the data, it can be seen that there is the highest decrease in hardness with salt water cooling media. The results of the hardness test on the push rod show an increase in hardness value with plain water and salt water cooling media, but there is a decrease in hardness in the oil cooling media. Without treatment, the push rod has a hardness value of 33.9 HR, in plain water cooling the hardness increases to 35.0 HR, in salt water media increases to 40.9 HR, and decreases in oil cooling to 30.1 HR.

Keywords: camshaft; push rod; heat treatment; cooling; hardness; rockwell

PENDAHULUAN

Camshaft dan *push rod* merupakan dua komponen penting dalam kendaraan bermotor yang memiliki peran dan komposisi bahan yang berbeda. *Camshaft* merupakan salah satu komponen dalam kendaraan motor bakar empat langkah yang berfungsi sebagai penggerak katup hisap untuk memasukkan bahan bakar dari karburator melalui saluran hisap dan memasuki ruang bakar [1], [2]. Pada motor empat fase, poros bubungan merupakan bagian utama dalam pengoperasian motor. Poros bubungan merupakan bagian motor yang sangat penting sehingga para ilmuwan telah bertahun-tahun merancang poros bubungan yang tepat dan presisi yang dapat menggerakkan gerakan tertentu ke katup [3]. Poros bubungan diproduksi menggunakan logam dan biasanya kuat, meskipun poros bubungan kosong terkadang digunakan. Bahan yang digunakan untuk poros bubungan umumnya adalah besi tuang, baja *billet*, besi tuang dingin [4], [5]. Diketahui bahwa besi tuang dingin diproduksi secara massal karena sistem pendingin padat dengan ketahanan aus yang baik. Untuk mendapatkan sifat yang diinginkan, berbagai komponen ditambahkan ke dalam bahan pembentuk mendapatkan sifat yang diinginkan [6], [7], [8].

Sedangkan *push rod* berfungsi menggerakkan katup untuk membuka dan menutup saluran udara dan bahan bakar ke dalam ruang bakar serta mengeluarkan gas buang. *Push rod* tergolong ke dalam baja paduan karbon tinggi yang memiliki sifat yang sangat keras dan tahan terhadap tekanan [9], [5], [10].

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa melakukan perubahan komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-

sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam [11], [12].

Quenching (pendinginan cepat) adalah salah satu perlakuan panas dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan dalam suatu media pendingin misal air atau oli. Untuk memperoleh sifat mekanik yang lebih keras. Untuk baja karbon rendah dan baja karbon sedang lazim dilakukan pencelupan dengan air. Untuk baja karbon tinggi dan baja paduan biasanya digunakan minyak (oli) sebagai media pencelupan, pendinginannya tidak secepat air. Tersedia berbagai jenis minyak, seperti minyak mineral dengan kecepatan pendinginan yang berlainan sehingga dapat diperoleh baja dengan berbagai tingkat kekerasan. Untuk pendinginan yang cepat dapat digunakan air garam atau air yang disemprotkan. Beberapa jenis logam dapat dikeraskan melalui pendinginan udara terlalu lambat. Benda yang agak besar biasanya dicelup dalam minyak. Suhu media celup harus merata agar dapat dicapai pendinginan yang merata pula [13], [14], [15], [16].

Kekerasan suatu bahan (baja) dapat diketahui dengan pengujian kekerasan memakai mesin uji kekerasan (*hardness tester*) menggunakan tiga metode atau teknik yang umum dilakukan yaitu metode *Brinell*, *Rockwell* dan *Vickers*. Uji kekerasan *Rockwell* sering dipakai untuk material yang keras. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras, dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapatkan perlakuan panas yang lengkap, dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan [17], [18].

Prinsip pengujian pada metoda *Rockwell* adalah dengan menekankan *penetrator* ke dalam benda kerja dengan pembebanan dan kedalaman *indentasi* akan

memberikan harga kekerasan yaitu perbedaan kedalaman *indentasi* yang didapatkan dari beban mayor dan minor. Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (spesimen) yang berupa bola baja (HRB) ataupun kerucut intan (HRC) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Pengukurannya dapat dilakukan dengan bantuan sebuah kerucut intan dengan sudut puncak 120° dan ujungnya yang dibulatkan sebagai benda pendesak (*indenter*) [17],[19].

Heat treatment diketahui dapat meningkatkan sifat mekanik logam seperti meningkatkan nilai kekerasan, keuletan, dan tegangan tarik. Namun besi tuang dan baja paduan memiliki komposisi kimia yang berbeda dan jika diberikan perlakuan panas tentunya memberikan hasil yang berbeda juga. Berdasarkan hipotesis tersebut, penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh proses *heat treatment* pada kekerasan material *Camshaft* yang terbuat dari *cast iron* dan *push rod* yang terbuat dari baja paduan menggunakan media pendinginan yang berbeda-beda lalu kemudian dibandingkan hasilnya dengan yang tidak diberikan perlakuan panas. Penelitian ini dibatasi pada proses pemanasan, pendinginan, serta analisis hasil uji kekerasan sampel setelah proses *heat treatment*.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi sebagai dasar pertimbangan dalam modifikasi dan *design* material, seperti untuk mengubah sifat mekanis atau kombinasi sifat mekanis sehingga mendapatkan logam dengan karakteristik yang dapat digunakan dan aman sesuai dengan tujuan serta penggunaan tertentu. Dengan modifikasi sifat mekanisnya, logam dapat dibuat lebih keras, lebih kuat, dan lebih tahan. Perlakuan panas juga dapat menurunkan sifat mekanis seperti membuat logam tersebut lebih lunak dan lebih lentur.

METODE PENELITIAN

Camshaft

Material *Camshaft* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Camshaft* yang digunakan pada sepeda motor berbahan besi cor (*cast iron*) SAE G1800, dengan komposisi Fe sebesar 92%, 3.68% karbon, dan 2.7% Si. *Camshaft* yang dipersiapkan terdiri dari 4 sampel dengan jenis dan komposisi bahan yang sama. Sampel *Camshaft* selanjutnya dipersiapkan untuk diberikan perlakuan panas, lalu didinginkan dengan kecepatan tinggi dengan 3 jenis media pendinginan yang berbeda. Sampel 1 tidak diberikan perlakuan apapun sebagai pembanding untuk sampel 2, 3 dan, 4 yang diberikan *heat treatment*. Sampel kemudian diuji dan dianalisis sifat mekanisnya yaitu kekerasan material yang tanpa perlakuan dan yang diberi perlakuan panas. Uji kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode *Rockwell*

Hardness Tester FR-3e (HRC). Pengujian kekerasan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dan perubahan sifat fisik material *Camshaft*. Adapun langkah-langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut:

Pemanasan Sampel (*Heat Treatment*) *Camshaft*

Pada penelitian ini, terdapat 4 sampel *Camshaft* yang digunakan pada mesin kendaraan bermotor empat fase akan dilakukan pengujian dan analisis. Semua sampel ini memiliki spesifikasi dan jenis bahan yang sama. Sampel *Camshaft* yang diberikan perlakuan panas adalah sampel 2, 3, dan 4 sedangkan sampel 1 tidak diberikan perlakuan apapun. Sampel 2, 3, 4 dilakukan pembakaran hingga mencapai temperatur austenit dengan suhu 850°C . Pada pemanasan ini digunakan *fixed furnace* dengan waktu pemanasan yang ditahan dalam pembakaran (*holding time*) yaitu selama 20 menit yang dapat dilihat pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Pemanasan sampel *Camshaft*

Pendinginan Sampel *Camshaft*

Setelah proses pembakaran selanjutnya dilakukan pendinginan dengan celup cepat (*quenching*) menggunakan 3 jenis media pendinginan yang berbeda. Sampel 2 didinginkan dengan air biasa, sampel 3 dengan oli ([Gambar 2](#)), dan sampel 4 didinginkan dengan pencelupan cepat ke dalam air garam ([Gambar 3](#)). Jeda antara benda uji yang dipanaskan menuju media pendinginan adalah 3 detik, dan lama waktu pencelupan benda uji di dalam pencelupan pendinginan selama 15 menit.



Gambar 2. Pendinginan *Camshaft* pada media oli



Gambar 3. Pendinginan *Camshaft* pada air garam

Uji Kekerasan *Camshaft*

Setelah diberikan perlakuan panas, semua sampel kemudian diuji kekuatan fisiknya. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan dengan metode *Rockwell Hardness Tester FR-3e ASTM E18-20* dengan menggunakan bola baja berdiameter 1/16". Indektor beban permukaan yang diberikan adalah 150 kgf. Setiap sampel diuji pada 3 titik pengujian. Sampel yang tidak diberi perlakuan juga diuji nilai kekerasannya sebagai pembandingan dengan sampel yang diberi perlakuan panas. Setiap sampel diuji pada 3 titik yang berbeda sehingga mendapatkan kekerasan rata-rata. Hasil pengujian dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

Push rod

Push rod umumnya dibuat dari baja karbon paduan yang mengandung komposisi unsur seperti karbon, mangan, kromium, dan nikel. Sampel *push rod* yang dipersiapkan terdiri dari 4 sampel dengan jenis dan komposisi bahan yang sama. Sampel *Camshaft* selanjutnya dipersiapkan untuk diberikan perlakuan panas, lalu didinginkan dengan kecepatan tinggi dengan 3 jenis media pendinginan yang berbeda. Sampel 1 tidak diberikan perlakuan apapun sebagai pembandingan untuk sampel 2, 3 dan, 4 yang diberikan *heat treatment*. Sampel kemudian diuji dan dianalisis sifat mekanisnya yaitu kekerasan material yang tanpa perlakuan dan yang diberi perlakuan panas. Uji kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode *Rockwell Hardness Tester FR-3e (HRC)*. Adapun langkah-langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut:

Pemanasan Sampel (*Heat Treatment*) *Push rod*

Sampel *push rod* yang diberikan perlakuan panas adalah sampel 2, 3, dan 4 sedangkan sampel 1 tidak

diberikan perlakuan apa pun. Sampel 2, 3, 4 dilakukan pembakaran hingga mencapai temperatur *austenit* dengan suhu 850°C menggunakan *gas torch* seperti yang dapat dilihat pada [Gambar 4](#) dengan waktu pemanasan yang ditahan dalam pembakaran (*holding time*) yaitu selama 20 menit.



Gambar 4. Pemanasan sampel *push rod*

Pendinginan Sampel *Push rod*

Setelah proses pembakaran selanjutnya dilakukan pendinginan dengan celup cepat (*quenching*) menggunakan 3 jenis media pendinginan yang berbeda dengan jeda waktu 3 detik dari *gas torch* ke tempat media pendinginan. Sampel 2 didinginkan dengan air biasa, sampel 3 dengan oli ([Gambar 5](#)), dan sampel 4 didinginkan dengan pencelupan cepat ke dalam air garam. Semua sampel dibiarkan selama 15 menit di dalam media pencelupan pendinginan.



Gambar 5. Pendinginan sampel *push rod* oli

Uji Kekerasan *Push rod*

Setelah diberikan perlakuan panas, semua sampel kemudian diuji kekuatan fisiknya. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan dengan metode *Rockwell Hardness Tester FR-3e ASTM E18-20* dengan

menggunakan bola baja berdiameter 1/16". *Indektor* beban permukaan yang diberikan adalah 150 kgf. Setiap sampel diuji pada satu titik pengujian.. Sampel yang tidak diberi perlakuan juga diuji nilai kekerasannya sebagai pembandingan dengan sampel yang diberi perlakuan panas. Setiap sampel diuji pada 3 titik yang berbeda sehingga mendapatkan kekerasan rata-rata. Hasil pengujian dapat dilihat pada [Tabel 2](#).

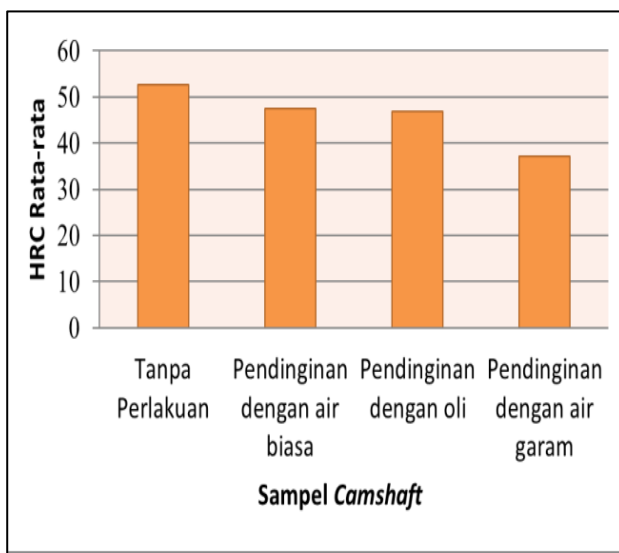
HASIL DAN PEMBAHASAN

Camshaft

Pengujian kekerasan material uji *Camshaft* ini diukur dengan menggunakan alat pengukur *Rockwell Hardness Tester FR-3e (HRC)*. Setiap sampel diuji kekerasan di tiga titik dengan bola baja ditekankan ke permukaan yang diukur dengan beban 150 (kgf) dan didapatkan kekerasan rata-rata. Nilai kekerasan yang dihasilkan pada pengujian kekerasan *Camshaft* disajikan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Hasil uji kekerasan *cast iron Camshaft*

No	Sampel	Titik Uji	Beban (load) kgf	HRC	HRC Rata-rata
1	Tanpa perlakuan	1	150	52,6	52,60
		2	150	53,0	
		3	150	52,2	
2	Pendinginan dengan air biasa	1	150	47,0	47,57
		2	150	48,4	
		3	150	47,3	
3	Pendinginan dengan oli	1	150	46,8	46,77
		2	150	47,8	
		3	150	45,7	
4	Pendinginan dengan air garam	1	150	39,9	37,17
		2	150	35,7	
		3	150	35,9	



Gambar 6. Diagram hasil uji kekerasan *Camshaft*

[Gambar 6](#) menunjukkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan *Rockwell*, setiap sampel dilakukan pengujian pada 3 titik yang berbeda yang diatur secara berurutan. Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen uji dari besi tuang paduan (*cast iron*) untuk sampel tanpa diberikan perlakuan menunjukkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 52.60 HR.

Hasil perhitungan pengujian kekerasan *Rockwell* untuk sampel dengan pendinginan dengan air biasa diperoleh angka kekerasan rata-rata 47,57 HR, angka ini turun sebesar 9,5% dari sampel tanpa perlakuan. Nilai kekerasan sampel dengan media pendinginan di oli turun sebesar 11% dari sampel tanpa perlakuan dengan angka kekerasan rata-rata di 46,77 HR, dan sampel dengan media pendinginan di air garam menunjukkan penurunan paling signifikan dengan angka kekerasan rata-rata 37,17 HR dimana turun sebesar 29,3% dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan. Setelah dilakukan uji kekerasan, hasilnya memperlihatkan bahwa memberikan perlakuan panas kepada *cast iron Camshaft* dapat menurunkan nilai kekerasannya dimana terlihat dari data penurunan paling signifikan terdapat pada perlakuan panas dengan media pendinginan di air garam.

Push rod

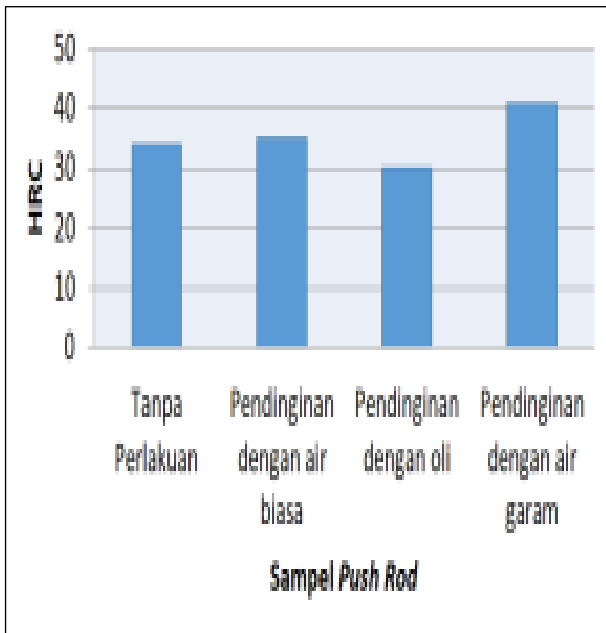
Pengujian kekerasan material uji *push rod* ini diukur dengan menggunakan alat pengukur *Rockwell Hardness Tester FR-3e (HRC)*. Setiap sampel diuji kekerasan di satu titik dengan bola baja ditekankan ke permukaan yang diukur dengan beban 150 (kgf) dan didapatkan nilai kekerasannya. Nilai kekerasan yang dihasilkan pada pengujian kekerasan *push rod* disajikan pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Hasil uji kekerasan *Push rod*

No	Bahan / Kode Bahan	Titik Uji	Beban (load) kgf	HRC
1	Tanpa Perlakuan	1	150	33,9
2	Media Air Biasa	1	150	35,0
3	Media Oli	1	150	30,1
4	Media Air Garam	1	150	40,9

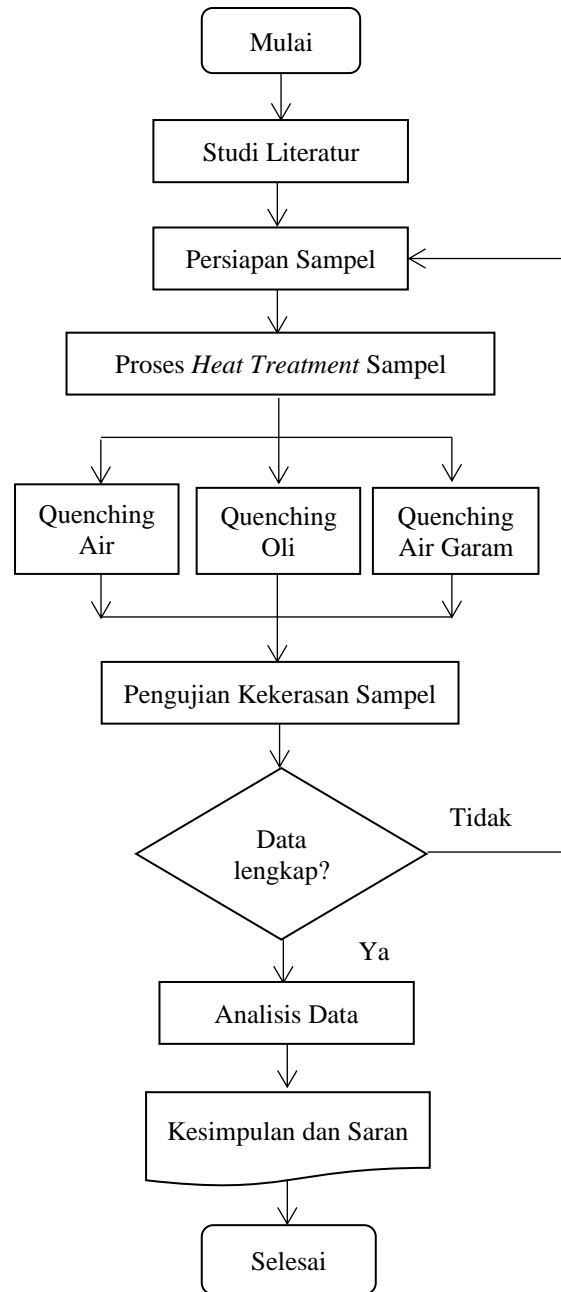
Dari hasil uji kekerasan terlihat bahwa *push rod* yang tidak diberikan perlakuan memiliki nilai kekerasan 33,9 HRC. *Push rod* dengan media pendinginan air biasa setelah dipanaskan meningkat nilai kekerasannya sebesar 3,24% jika dibandingkan dengan *push rod* tanpa diberi perlakuan menjadi 35.0 HRC, *push rod* dengan media

pendinginan air garam juga meningkat nilai kekerasannya sebesar 20,65% menjadi 40,9 HRC, namun dengan media pendinginan oli mengalami penurunan jika dibandingkan dengan *push rod* tanpa perlakuan sebesar 11,21% dengan nilai kekerasannya sebesar 30,1 HRC.



Gambar 7. Diagram Hasil Uji Kekerasan *Push rod*

Gambar 7 menunjukkan Perlakuan panas dan proses pendinginan pada material *cast iron Camshaft* dan baja paduan *push rod* menghasilkan perubahan nilai kekuatan yang berbeda. Proses perlakuan panas membuat nilai kekerasan *cast iron* menjadi menurun pada semua media pendinginan, terutama perlakuan panas dengan media pendinginan air garam turun signifikan hingga 29,3%. Hal berbeda terjadi pada proses pemanasan pada baja paduan, dimana adanya peningkatan nilai kekerasan baja paduan setelah proses pendinginan pada air biasa dan pendinginan pada air garam, dan hanya mengalami penurunan kekuatan pada pemanasan dengan pendinginan di oli. Baja paduan mengalami peningkatan nilai kekerasan paling besar pada pemanasan dengan pendinginan di air garam yang mencapai nilai kenaikan hingga 20,65%. Hasil analisis keseluruhan memperlihatkan bahwa proses pemanasan dengan media pendinginan air biasa mengalami penurunan nilai kekerasan pada *cast iron* sebesar 9,5% dan menaikkan nilai kekerasan pada baja paduan sebesar 3,24%. Pemanasan dengan pendinginan pada oli menurunkan nilai kekerasan *cast iron* sebesar 11% dan juga menurunkan nilai kekerasan baja paduan sebesar 11,21%. Penurunan nilai kekerasan *cast iron* juga terjadi hingga 29,3% pada pemanasan dengan media pendinginan air garam namun meningkatkan nilai kekerasan baja paduan sebesar 20,65%.



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil uji kekerasan dengan metode *Rockwell* menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan pada sampel *cast iron Camshaft* setelah diberikan perlakuan panas. Sampel *Camshaft* yang diberikan perlakuan panas dengan pendinginan cepat di air biasa memiliki nilai kekerasan rata-rata 47,57 HR, sampel dengan pendinginan oli memiliki nilai kekerasan rata-rata 46,77 HR, dan sampel dengan pendinginan di air garam setelah diberikan perlakuan panas menunjukkan nilai kekerasan rata-rata yaitu 37,17 HR. Hal ini menunjukkan adanya

penurunan kekerasan sampel jika dibandingkan dengan sampel tanpa diberikan perlakuan panas. Penurunan kekerasan paling besar terjadi pada sampel dengan media pendinginan air garam yaitu turun hingga 29,3% dari sampel tanpa diberikan perlakuan panas. *Push rod* yang tidak diberikan perlakuan memiliki nilai kekerasan 33,9 HRC. *Push rod* dengan media pendinginan air biasa setelah dipanaskan meningkat nilai kekerasannya sebesar 3,24% jika dibandingkan dengan *push rod* tanpa diberi perlakuan menjadi 35.0 HRC, *push rod* dengan media pendinginan air garam juga meningkat nilai kekerasannya sebesar 20,65% menjadi 40,9 HRC, namun dengan media pendinginan oli mengalami penurunan jika dibandingkan dengan *push rod* tanpa perlakuan sebesar 11,21% dengan nilai kekerasannya sebesar 30,1 HRC

Saran

Penelitian selanjutnya akan dilakukan pengujian struktur mikro pada sampel uji untuk melihat penyebab terjadinya penurunan kekerasan pada secara mikro sampel uji tersebut. Pengujian struktur kimia juga diperlukan untuk melihat perubahan komposisi kimia yang terjadi pada semua sampel yang telah diberikan perlakuan panas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak/Ibu dosen serta mahasiswa yang telah membantu meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam proses pembuatan jurnal ini. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada Bapak/Ibu admin dan teknisi laboratorium yang telah membantu melakukan pengujian kekerasan *rockwell* sampel pengujian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Lasota, V. Protsenko, A. Matyushkin, M. Kuznetsov, and S. Gook, "Laser surface hardening of engine *Camshaft* cams," *Mater. Today Proc.*, vol. 30, no. xxxx, pp. 478–482, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.12.400.
- [2] T. S. Mikro *et al.*, "Pengaruh Temperatur Proses Austemper Besi Tuang Paduan Al (2,17%)," vol. 04, no. 02, pp. 175–184, 2023.
- [3] E. Sanatizadeh, S. Das, and A. Kordijazi, "Influence of Aluminum and Silicon as Alloying Elements on Formation of Intermetallic Phase, Microstructure and Wear Resistance of Gray Cast Iron," *Preprints*, no. May, 2019, doi: 10.20944/preprints201905.0305.v1.
- [4] Y. E. Mangulkar, "Effect of Addition of Inoculants on Mechanical Properties & Wear Behaviour of Grey Cast Iron," *IJIRSET*, vol. 5, no. 1, pp. 1131–1139, 2016, doi: 10.15680/IJIRSET.2015.0501074.
- [5] P. Yin *et al.*, "Effect of Quenched-Tempered Heat Treatment on the Wear Resistance Mechanism of ZTA Ceramic Particles Reinforced HCCI-based Architecture Composite," pp. 1–23, 2000.
- [6] M. Sheikholeslami and S. M. A. Boutorabi, "A research on the calculation of graphitization ability of gray cast irons," *Iran. J. Mater. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 4, pp. 28–33, 2012.
- [7] N. Khidasheli, M. C. Sharp, and N. Bakradze, "Corrosion behaviour of hardened grey cast iron with continuous-wave infrared laser," *Mater. Today Commun.*, vol. 44, no. December 2024, p. 111852, 2025, doi: 10.1016/j.mtcomm.2025.111852.
- [8] T. J. F. Southern, J. E. Campbell, C. Fang, A. Nemcova, A. Bannister, and T. W. Clyne, "Use of hardness, PIP and tensile testing to obtain stress-strain relationships for metals," *Mech. Mater.*, vol. 187, no. October, p. 104846, 2023, doi: 10.1016/j.mechmat.2023.104846.
- [9] N. Khidasheli, E. Kutelia, S. Gvazava, M. Chikhradze, and A. D. . Batako, "Cryogen and heat treatments of boron-lacquered high-strength cast iron," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.07.250.
- [10] V. V. Vershinin, "HEAT TREATMENT OF CAST IRONS," *Met. Sci. Heat Treat.*, doi: 10.1007/BF00647920.
- [11] S. Mohd Dahuri, "Stress Analysis of Engine *Camshaft* from Light Metal," *J. Eng. Sci. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2018, doi: 10.26666/rmp.jesr.2018.1.7.
- [12] U. Kalita, "DESIGN ANALYSIS OF CAM SHAFT USING Al-SiC COMPOSITE," vol. 6, no. 3, pp. 680–686, 2019.
- [13] L. Xinmei, S. Shuai, X. Tianxiang, L. Wen, B. Yanjiang, and W. Dongting, "Influence of heat treatment on corrosion resistance of NiTi shape memory alloys in NaCl solution," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 20, no. 4, p. 100949, 2025, doi: 10.1016/j.ijoes.2025.100949.
- [14] G. Feng, S. Jia, N. Li, and H. Lin, "*Push rod* failure analysis of a mining heavy dump truck," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 25, pp. 193–199, 2012, doi: 10.1016/j.engfailanal.2012.05.006.

- [15] Y. Jemaa, D. Yeboah, and M. Gkantou, "Flexural performance of glulam timber beams with glued-in BFRP rods connections," *Constr. Build. Mater.*, vol. 443, no. July, p. 137628, 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137628.
- [16] Y. Ji *et al.*, "Study on the characteristics and high-temperature dissolution mechanism of eutectic carbides in medium-alloy steel," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 31, no. March, pp. 276–286, 2024, doi: 10.1016/j.jmrt.2024.06.083.
- [17] C. Te Huang, F. Y. Hung, J. R. Zhao, B. D. Wu, and H. Y. Hsieh, "Effect of heat treatment on phase transformation behavior, tensile fracture mechanism and spring application characteristics of 631 stainless steel," *J. Alloy. Metall. Syst.*, vol. 8, no. July, p. 100119, 2024, doi: 10.1016/j.jalmes.2024.100119.
- [18] C. Rockwell, "Measurement : Sensors Correcting Rockwell hardness values based on improved measurements of diamond indenters using a confocal laser scanning microscope," no. xxxx, 2024.
- [19] L. C. Kumruoğlu, "Mechanical and microstructure properties of chilled cast iron *Camshaft*: Experimental and computer aided evaluation," *Mater. Des.*, vol. 30, no. 4, pp. 927–938, 2009, doi: 10.1016/j.matdes.2008.07.008.