

PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN DAN MEDIA PENDINGINAN PADA PROSES *FLAME HARDENING* TERHADAP NILAI KEKERASAN PADA BAJA S45C

Talifatim Machfuroh¹, Aini Lostari², Miftahul Ulum³, Ellys Kumala Pramartaningthyas⁴

¹Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

^{2,3,4}Teknik Mesin Universitas Qomaruddin

¹talifatim.machfuroh@polinema.ac.id

²ainims31@gmail.com

³ulum@uqgresik.ac.id

⁴ellys.kumala@gmail.com

Abstrak— Sproket merupakan salah satu komponen utama pada kendaraan roda dua yang berfungsi mentransfer gaya putar dari mesin ke roda belakang sepeda motor. Karena fungsi utama tersebut sprocket lebih cepat aus karena adanya gesekan antara rantai (chain) dengan sprocket pada saat bekerja. Oleh karena itu diperlukan proses perlakuan panas (heat treatment) untuk meningkatkan sifat mekanis dari baja agar lebih tahan terhadap gesekan. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian kali ini terpusat pada pengaruh temperatur dan media pendingin pada tingkat kekerasan material yang mendapat perlakuan heat treatment berupa flame hardening. Material yang digunakan adalah baja S45C. Proses heat treatment dilakukan pada baja dengan temperatur pemanasan sebesar 750° C dan 850° C. Setelah dipanaskan kemudian baja akan didinginkan secara cepat (quenching) dengan media pendingin berupa air tawar dan oli turalik 48 ISO VG 46. Selanjutnya dilakukan proses Analisa kekerasan pada benda uji. Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi dihasilkan oleh benda uji yang mengalami proses flame hardening pada temperatur 850 oC dengan media pendingin air tawar yaitu sebesar 335,333 HB. Media pendingin air tawar cenderung menghasilkan nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan oli turalik. Hal ini dikarenakan laju pendinginan air tawar lebih cepat dibandingkan dengan oli.

Kata Kunci— *Flame hardening*; kekerasan; air tawar; oli turalik.

Abstract— *Sprocket is one of the main components in two-wheeled vehicles that transfer the rotary force from the engine to the rear wheels of the motorcycle. Because of this main function, the sprocket wears out faster due to friction between the chain and the sprocket. Therefore, a heat treatment process is needed to improve the mechanical properties of steel to make it more resistant to friction. Based on this background, this research focuses on the effect of temperature and cooling media on the hardness level of the material that receiving heat treatment in the form of flame hardening. The material used is S45C steel. The heat treatment process is carried out on steel with heating temperatures of 750° C and 850° C. After being heated, the steel will be quenched quickly with cooling media in the form of fresh water and turalic oil 48 ISO VG 46. Next, the hardness analysis process is carried out on the test object. From the results of the hardness test, it was found that the highest average hardness value was produced by the test object which underwent a flame hardening process at a temperature of 850 oC with fresh water cooling medium, which was 335.333 HB. Fresh water cooling media tends to produce higher hardness values than turalic oil. This is because the cooling rate of fresh water is faster than oil.*

Keywords— *Flame hardening*; hardness; cooling water; turalic oil

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini tidak terlepas dari pemanfaatan logam terutama logam baja. Hal ini terbukti dengan banyaknya baja yang digunakan untuk komponen-komponen mesin, konstruksi bangunan, maupun peralatan rumah tangga. Dalam aplikasinya, semua struktur logam akan terkena pengaruh gaya luar seperti tegangan gesek sehingga menimbulkan perubahan bentuk. Usaha untuk meningkatkan sifat material baja lebih tahan gesekan atau tekanan dapat

digunakan metode heat treatment [1], [2], [3]. Prosedur pemanasan dan pendinginan dari logam dan paduan yang terkontrol untuk menginduksi sifat tertentu ke material tersebut dinamakan dengan proses *Heat Treatment* [4]. Heat treatment dilakukan dengan memanaskan logam sampai suhu tertentu kemudian mempertahankannya (holding time) pada suhu tersebut setelah itu didinginkan (*quenching*).

Metode heat treatment ini banyak diaplikasikan pada berbagai macam logam, salah satu contohnya adalah sprocket (roda gigi). Sproket yang digunakan pada kendaraan bermotor

salah satunya pada kendaraan roda dua. Pada kendaraan roda dua (sepeda motor), sprocket merupakan salah satu komponen utama yang berfungsi mentransfer gaya putar dari mesin ke roda belakang sepeda motor. Karena fungsi utama tersebut sprocket lebih cepat aus karena adanya gesekan antara rantai (*chain*) dengan sprocket pada saat bekerja [4].

Jenis baja yang banyak digunakan sebagai material sprocket adalah baja S45C. Baja ini merupakan baja yang mempunyai kadar karbon sekitar 0,3 - 0,5%, dan tergolong baja karbon menengah. Hanya saja untuk memenuhi kebutuhan konsumen diperlukan proses pengerasan logam pada baja ini. Proses pengerasan logam (*hardening*) dapat meningkatkan nilai kekuatan Impak pada baja S45C [5], [6].

Pada beberapa penelitian diantaranya yang dilakukan Hatta Catur, dkk [7] yang melakukan penelitian tentang proses heat treatment pada material baja S45C untuk aplikasi poros roda sepeda motor dengan variasi temperatur 700 °C, 800 °C, 900 °C. pada penelitian ini proses heat treatment dilakukan dengan menggunakan media pendingin berupa air garam dan oli. Dari hasil pengujian kekerasan pada semua spesimen menunjukkan adanya peningkatan kekerasan material yang fluktuatif. Semakin tinggi temperatur pada proses pemanasan maka nilai kekerasan material yang dihasilkan juga semakin meningkat. Nilai viskositas dari media pendingin juga mempengaruhi nilai kekekrasan. Media pendingin dengan air garam memiliki viskositas rendah dan menghasilkan nilai kekerasan rata-rata 61,96HRC pada temperatur 900 °C.

Selanjutnya berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Eko Nugroho, dkk [8] yang meneliti tentang pengaruh temperatur dan media pendingin pada proses heat treatment terhadap kekerasan dan laju korosi baja AISI 1045. Pada penelitian ini benda uji dipanaskan pada tungku pemanas dengan temperatur yang berbeda. Variasi temperatur yang digunakan adalah 750°C, 850°C, dan 950°C dengan waktu holding time sebesar 30 menit. Kemudian masing-masing benda uji didinginkan dengan media yang berbeda, diantaranya air mineral dan oli SAE 10W-40. Selanjutnya dilakukan uji kekerasan dan uji korosi pada masing-masing benda uji. Hasilnya ada perubahan nilai kekerasan dan laju korosi pada benda uji. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada media pendingin air mineral yaitu 58,2 HRC pada variasi temperatur 850°C dan nilai kekerasan tertinggi media pendingin oli adalah 33,4 HRC pada variasi temperatur 950°C. Sedangkan dari hasil pengujian laju korosi didapatkan hasil bahwa semakin tinggi temperatur pada saat proses quenching semakin tinggi pula laju korosinya. Laju korosi tertinggi dihasilkan oleh benda uji dengan media pendingin air mineral yaitu sebesar 3,998 ipy pada variasi temperatur 950°C, dan benda uji dengan media pendingin oli yaitu sebesar 4,086 ipy pada media pendingin oli dengan variasi temperatur 950°C.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian kali ini terpusat pada pengaruh temperatur dan media pendingin pada tingkat kekerasan material yang mendapat perlakuan heat treatment berupa flame hardening. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kekerasan permukaan hasil heat treatment dan pengambilan kesimpulan media pendingin yang tepat untuk mendapatkan sifat baja yang diinginkan. Material yang digunakan adalah baja S45C. Proses heat treatment dilakukan pada baja dengan temperatur pemanasan

sebesar 750° C dan 850° C. Setelah dipanaskan kemudian baja akan didinginkan secara cepat (*quenching*) dengan media pendingin berupa air tawar dan oli turalik 48 ISO VG 46. Selanjutnya dilakukan proses Analisa kekerasan pada benda uji.

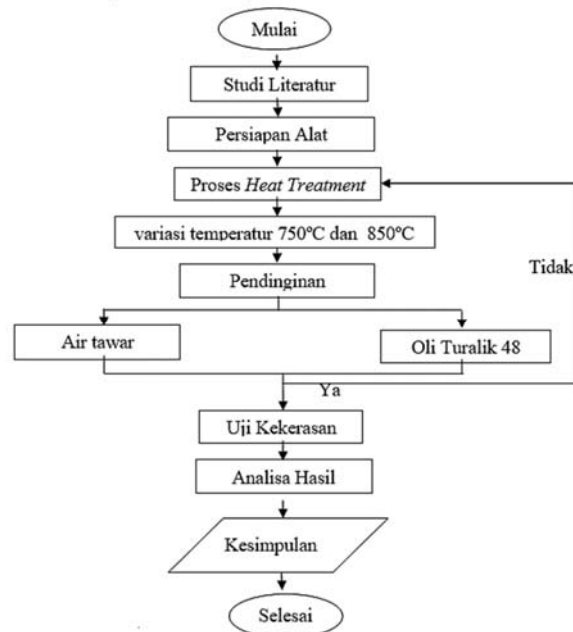
Oli merupakan media pendingin yang lebih lunak jika dibandingkan dengan air. Oli turalik 48 adalah pelumas hidrolis yang diformulasikan dari base oil yang memiliki nilai viskositas yang tinggi dan mengandung performance additive yang lengkap untuk memberikan perlindungan terhadap keausan, mencegah terbentuknya busa, serta perlindungan karat dan korosi. Dengan digunakannya oli jenis ini diharapkan dapat menghambat laju korosi pada proses pendinginan benda uji.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa studi eksperimen. Dimana langkah- langkah dalam penelitian dilakukan sesuai dengan diagram alir pada gambar 1. Proses heat treatment dan uji kekerasan dilakukan di Work Shop mekanik PT. The Master Steel Mfc. Jl. Alpha Kawasan Industri Maspion V Manyar Gresik 61151.

a. Proses Heat Treatment

Pengujian heat treatment menggunakan metode flame hardening dilakukan di workshop PT. The Master Steel Mfc. Manyar Gresik. Flame hardening merupakan metode perlakuan panas pada yang dimana dilakukan pemanasan pada permukaan tipis baja secara cepat hingga mencapai temperatur di atas titik kritis baja. Ketika struktur kulit baja sudah menjadi autenitik, baja secara cepat didinginkan. Akibat proses pendingin cepat ini, struktur austenite berubah menjadi martensit. Sementara itu inti atau bagian dalam baja masih dalam keadaan semula [9].



Gbr 1. Diagram alir penelitian

Metode *full hardening* menghasilkan baja yang memiliki kekerasan menyeluruh. Kekerasan menyeluruh ini malah dapat menimbulkan sifat getas pada baja. Suatu baja yang

memerlukan permukaan luar yang keras tetapi dengan inti masih bersifat *ductile* dapat dihasilkan dengan metode *flame hardening* [10].

Pemilihan media pendingin tergantung pada *hardenability* dari baja yang dikeraskan, ketebalan bagian dan bentuk yang terlibat, dan laju pendinginan yang diperlukan untuk mencapai struktur mikro yang diinginkan. Media pendingin yang paling umum digunakan adalah cairan atau gas. Adapun pendingin cair yang biasa digunakan antara lain [9]:

1. Minyak yang mungkin mengandung berbagai aditif,
2. Air,
3. Larutan polimer, dan
4. Air yang mungkin mengandung garam atau aditif.

Pada penelitian ini media pendingin yang digunakan adalah air tawar dan oli turalik.

Langkah Pengujian *Heat Treatment* sebagai berikut:

1. mempersiapkan material *sprocket* yang belum mengalami heat treatment.
2. Menyiapkan alat mesin blander untuk proses *flame hardening*.
3. Melakukan proses *flame hardening* pada masing-masing benda uji dengan temperatur yang bervariasi (750°C dan 850°C).
4. Melakukan pemeriksaan temperatur pemanasan dengan *Thermometer Infrared*.
5. Setelah proses pemanasan selesai, masing- masing benda uji didinginkan dengan media yang berbeda yaitu media air tawar dan oli turalik 48 ISO VG 46

b. Proses pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Brinell. Alat yang digunakan adalah *portable hardnes tester* merek *TIME HLN-11A* milik PT. The Master Steel Mfc. Manyar Gresik. Spesimen yang digunakan sebagai data perbandingan adalah spesimen uji tanpa perlakuan (*Raw Material*).

Pengujian kekerasan brinell adalah pengujian kekerasan material yang dilakukan dengan menekankan sebuah bola baja atau logam yang sangat keras kedalam permukaan licin benda uji dalam sebuah mesin uji dengan suatu tekanan F (Newton) yang dinaikan secara perlahan-lahan [11]. Setelah beban dilepaskan, maka garis tengah d (mm) dampak tekan bola yang terjadi diukur dibawah kaca pembesar atau mikroskop. Dengan pertolongan besaran D, F dan d, kemudian dibaca kekerasan brinell HB dalam N/mm² dari sebuah tabel.

Harga kekerasan ditentukan dengan perbandingan beban penekanan dengan luas penampang bekas indenter. Indenter dibuat dari baja/karbida berbentuk bola yang mempunyai diameter 1mm, 5mm, 10mm. waktu pembebanan 15 menit. Perhitungan harga kekerasan menggunakan persamaan berikut:

$$BHN = \frac{\text{gaya tekan}}{\text{luas tapak tekan}} = \frac{P}{\left(\pi \frac{D}{2}\right) (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dimana P adalah beban penekanan (kgf), D adalah diameter penetrator (mm), dan d adalah diameter tapak tekan(mm) [11].

Langkah Pengujian Kekerasan:

1. Mempersiapkan permukaan benda kerja:
 - a. Meratakan kedua permukaan benda kerja menggunakan amplas kasar, sehingga kedua bidang kedua permukaan tersebut sejajar.
 - b. Membersihkan permukaan benda kerja dari minyak dan kotoran sampai benar bersih.
2. Menyiapkan perangkat uji *portable hardnes tester*.
 - a. Menekan tombol ON untuk menyalakan alat uji.
 - b. Memasang benda kerja pada landasan.
3. Memposisikan benda kerja pada landasan yang rata.
4. Melakukan set up alat uji dengan menginputkan hardnes brinell (HB).
5. Memposisikan alat uji kepermukaan benda kerja yang akan diuji.
6. Menekan tabung alat uji kebawah sampai berbunyi klick.
7. Menekan tombol pada bagian atas alat uji.
8. Melihat dan mengamati hasil pengujian pada layar monitor alat uji.
9. Mengulangi pengujian sampai 3 kali pada tempat yang berbeda.
10. Menghitung kekerasan di masing - masing titik, kemudian mengambil rata-ratanya

HASIL DAN DISKUSI

a. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Brinell dengan menggunakan alat yaitu portable hardnes tester merek TIME HLN-11A milik PT. The Master Steel Mfc. Manyar Gresik. Dari hasil pengujian ini didapatkan data berupa nilai kekerasan dari raw material, spesimen dengan heat treatment pada temperatur 750°C yang didinginkan dengan air tawar, spesimen dengan heat treatment pada temperatur 850°C yang didinginkan dengan air tawar, spesimen dengan heat treatment pada temperatur 750°C yang didinginkan dengan oli turalik, dan spesimen dengan heat treatment pada temperatur 850°C yang didinginkan dengan oli turalik. Data hasil pengujian disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengujian kekerasan pada raw material

Spesimen	Pengujian ke-	Raw material	
		Nilai BHN	Rata-rata
A	1	95	101,667
	2	98	
	3	112	
B	1	105	100,333
	2	99	
	3	97	
C	1	99	100,667
	2	109	
	3	94	
Rata-rata keseluruhan			100,889

Dari data yang disajikan pada tabel 1, raw material pada spesimen A memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 101,667 HB, pada spesimen B memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 100,333 HB, dan pada spesimen C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 100,667 HB. Nilai kekerasan rata-rata keseluruhan pada raw material adalah sebesar 100,889 HB.

Pada material yang mengalami heat treatment pada temperatur 750 °C dengan pendinginan oleh media air tawar seperti yang disajikan pada data table 2, spesimen A memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 341,333 HB, spesimen B memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 310,667 HB, dan spesimen C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 301,667 HB. Nilai kekerasan rata-rata keseluruhan pada material ini adalah sebesar 317,889 HB.

Pada material yang mengalami heat treatment pada temperatur 850 °C dengan pendinginan oleh media air tawar, spesimen A memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 292,333 HB, spesimen B memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 341 HB, dan spesimen C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 372,667 HB. Nilai kekerasan rata-rata keseluruhan pada material ini adalah sebesar 335,333 HB

Tabel 2. Data hasil pengujian kekerasan pada specimen dengan pendingin air tawar

Spesimen	Pengujian ke-	Air Tawar			
		750°C		850°C	
		Nilai BHN	Rata-rata	Nilai BHN	Rata-rata
A	1	325	341,333	127	292,333
	2	348		387	
	3	351		363	
B	1	285	310,667	353	341
	2	322		330	
	3	325		340	
C	1	320	301,667	370	372,667
	2	310		360	
	3	275		388	
Rata-rata keseluruhan			317,889		335,333

Tabel 3. Data hasil pengujian kekerasan pada specimen dengan pendingin Oli Turalik

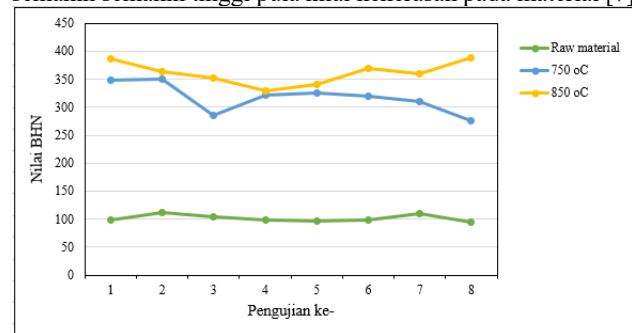
Spesimen	Pengujian ke-	Oli Turalik			
		750°C		850°C	
		Nilai BHN	Rata-rata	Nilai BHN	Rata-rata
A	1	94	121,333	155	191,667
	2	119		215	
	3	151		205	
B	1	132	135,667	190	204
	2	140		187	
	3	135		235	
C	1	163	137	220	205,667
	2	150		187	
	3	98		210	
Rata-rata keseluruhan			131,333		200,444

Pada table 3 material yang mengalami heat treatment pada temperatur 750°C dengan pendinginan oleh media oli turalik, spesimen A memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 121,333 HB, spesimen B memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 135,667 HB, dan spesimen C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 137 HB. Nilai kekerasan rata-rata keseluruhan pada material ini adalah sebesar 131,333 HB.

Pada material yang mengalami heat treatment pada temperatur 850°C dengan pendinginan oleh media oli turalik, spesimen A memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 191,667 HB, spesimen B memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 204 HB, dan spesimen C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 205,667 HB. Nilai kekerasan rata-rata keseluruhan pada material ini adalah sebesar 200,444 HB.

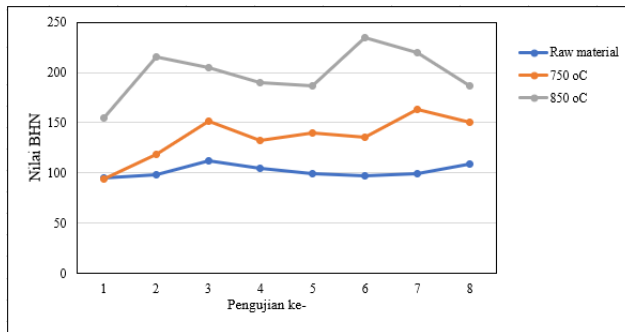
b. Pembahasan

Pada pengujian material yang didinginkan dengan media pendingin air tawar, jika kita bandingkan hasilnya dengan raw material maka didapatkan grafik seperti pada gambar 2. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada pengujian baja yang telah mengalami perlakuan flame hardening, dimasing masing suhu mengalami peningkatan nilai kekerasan jika dibandingkan dengan nilai kekerasan material yang tanpa perlakuan (raw material). Dengan media pendingin yang sama yaitu air tawar, peningkatan paling tinggi didapatkan pada material yang dipanaskan pada temperatur 850 °C. Dari grafik pada gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan semakin semakin tinggi pula nilai kekerasan pada material [7].



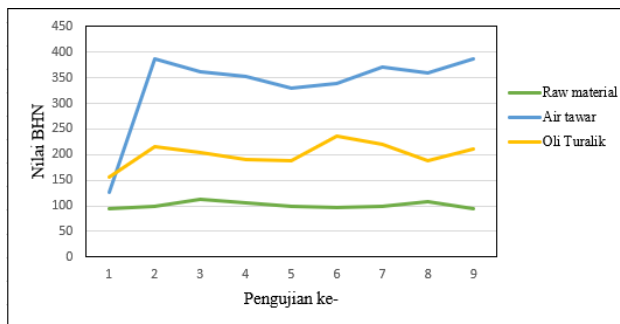
Gbr 2. Grafik perbandingan hasil uji kekerasan dengan media pendingin air tawar

Hal ini dikarenakan pada proses flame hardening, struktur kulit baja yang sudah menjadi austenite secara cepat didinginkan. Sehingga struktur austenite tersebut berubah menjadi struktur martensit [12]. Pada baja yang mengalami proses heat treatment, setelah terjadi austenit dan ferrit maka kadar karbon dalam baja akan menjadi makin tinggi seiring dengan penurunan temperatur dan akan membentuk hipoeutektoid. Pada saat pemanasan maupun pendinginan difusi atom karbon memerlukan waktu yang cukup. Laju difusi pada saat pemanasan ditentukan oleh unsur-unsur paduannya dan pada saat pendinginan cepat austenit yang berbutir kasar akan mempunyai banyak martensit [8].



Gbr 3. Grafik perbandingan hasil uji kekerasan dengan media pendingin oli turalik 48 ISO VG46

Pada pengujian material yang didinginkan dengan media pendingin oli turalik, jika kita bandingkan hasilnya dengan raw material maka didapatkan grafik seperti pada gambar 3. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada pengujian baja yang telah mengalami perlakuan flame hardening, dimasing masing suhu mengalami peningkatan nilai kekerasan jika dibandingkan dengan nilai kekerasan material yang tanpa perlakuan (raw material). Peningkatan nilai kekerasan tidak terlalu signifikan seperti pada pendinginan menggunakan air tawar. Hal ini diakarenakan oli memiliki sifat mendinginkan secara teratur sehingga struktur martensite yang terbentuk lebih sedikit [8].



Gbr 4. Grafik perbandingan hasil uji kekerasan dengan variasi media pendingin

Grafik pada gambar 4 menunjukkan perbandingan nilai kekerasan pada dengan variasi media pendingin pada material yang telah di flame hardening dengan temperatur 850 oC. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada material yang didinginkan menggunakan air tawar memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan material yang didinginkan dengan oli turalik hampir pada setiap pengujian. Dimana nilai kekerasan rata-rata keseluruhan pada material yang didinginkan dengan air tawar adalah sebesar 335,333 HB, sedangkan nilai kekerasan rata-rata keseluruhan pada material yang didinginkan dengan oli turalik adalah sebesar 200,444 HB. Media pendingin air tawar cenderung menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan media pendingin oli [13]. Hal ini dikarenakan air dapat dengan mudah menyerap panas pada media yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin [8]. Kekerasan maksimum dapat dihasilkan dengan mendinginkan material yang telah

dipanaskan secara cepat atau mendadak. Proses ini mengakibatkan perubahan struktur mikro pada baja [12].

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian kekerasan pada material baja S45C didapatkan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi dihasilkan oleh benda uji yang mengalami proses flame hardening pada temperatur 850 oC dengan media pendingin air tawar yaitu sebesar 335,333 HB. Hal ini diakibatkan adanya struktur austenite yang berubah menjadi struktur martensit akibat pendinginan secara cepat. Media pendingin air tawar cenderung menghasilkan nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan oli turalik. Hal ini dikarenakan laju pendinginan air tawar lebih cepat dibandingkan dengan oli.

REFERENSI

- [1] M. Owais, M. Mehdi, M. A. Hassan, M. H. Jokhio and G. Raza, "The Synergetic Effect of Hot Rolling and Heat Treatment on Mechanical Properties: AISI-1045 and JIS-SUP 9 Steel," *ASTM International*, vol. 48, no. 4, p. 12, 2019.
- [2] B. B. P, *The complete book on production of automobile components & allied products* NIIR Project Consultancy Services, New Delhi India: NIIR Project Consultancy Services, 2014.
- [3] L. S. H and S. D. S, *J. of the Korean Society for Heat Treatment*, 2004.
- [4] E. Sundari, Taufikurrahman and R. Fahlevi, "Analisa Pengaruh Pack Carburizing Terhadap Sifat Mekanis Sprocket Imitasi Sepeda Motor Menggunakan Arang Kayu Gelam Dan Serbuk Cangkang Remis Sebagai Katalisator," *AUSTENIT*, vol. 10, no. 2, pp. 72-78, 2018.
- [5] D. Prayitno and R. Sugiarto, "Effect of aluminizing on hardenability of steel (S45C)," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, canada, 2018.
- [6] G. Arianzas and D. Prayitno, "Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Hardening Terhadap Ketangguhan Baja S45c," *Mechanical Engineering and Mechatronics*, vol. 4, no. 1, pp. 1-6, 2019.
- [7] H. C. Prasetyo and T. H. Ningsih, "Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Kekerasan Material Baja S45c untuk Aplikasi Poros Roda Sepeda Motor," *JTM*, vol. 6, no. 2, pp. 29-34, 2018.
- [8] E. Nugroho, S. D. Handono, Asroni and Wahidin, "Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin pada Proses Heat Treatment Baja AISI 1045 terhadap Kekerasan dan Laju Korosi," *TURBO*, vol. 8, no. 1, pp. 99-110, 2019.
- [9] *ASM Metal Handbook Volume 4 Heat Treating*, 1991.
- [10] J. Budiman and R. Safutra, "Pembuatan dan Pengujian Alat Bantu Flame Hardening untuk Meningkatkan Kekerasan Permukaan Poros dengan Media Quenching Air," *STEMAN*, pp. 1-7, 2016.
- [11] A. Schonmetz and K. Gruber, *Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam*, Bandung: Angkasa, 1985.

- [12] K.-E. Thelning, *Steel and Its Heat Treatment*, London: Butterworths, 1975.
- [13] Ahmadin, "Analisa Pengaruh Media Pendingin Air Garam terhadap Kekerasan Hasil Kerajinan Pandai Besi," *Simes*, vol. 9, no. 2, pp. 6-9, 2015.