



Analysis of the Hardness of AISI 4140 Steel Gears after Carbon Enrichment Using Coconut Shell Charcoal

Supriadi¹, Mukhnizar², Veny Selviyanty³

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Dan Perencanaan Universitas Ekasakti Padang

Email: supriadi.engnr@gmail.com

ABSTRACT

Carbon steel is widely used in engineering and industrial applications, particularly in machine component. One of the most important properties of steel is its strength. In addition to having good resistance to friction, steel is also required to possess adequate hardness. However, excessive hardness may lead to increased brittleness AISI 4140 steel is an alloy steel known for its good strength and toughness, nevertheless, in certain application, it still requires improved surface hardness to enhance wear resistance and extend component service life. This study aims to analyse the hardness improvement of AISI 4140 steel gears after carbon enrichment through a carburizing process using coconut shell charcoal as the carbon source, followed by a quenching process with three different cooling media air, water and new oil. The experimental method with solid carburizing technique was applied at a temperature of 900° C and a holding time of 2 hours. Hardness testing was performed using the Vickers method to determine the changes before and after treatment. The results indicate that air cooling resulted in a hardness of 226,63 HV, showing a decrease of – 1,2 % compared to untreated specimens 229.57 HV. Water cooling produced a hardness of 234,83 HV, corresponding to an increase of 234,83 HV, corresponding to an increase of 2.29 %. Meanwhile, oil cooling resulted in the highest hardness value of 239,60 HV, with an increase of 436 %.

Keyword : AISI 4140 steel, Carburizing, hardness, quenching, Vickers test, coconut shell charcoal.

PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, khususnya di bidang konstruksi dan perancangan, tentunya membutuhkan bahan-bahan yang mampu memenuhi keinginan dari si pemakai atau mempunyai sifat-sifat yang lebih bagus dan lebih baik. Misalnya memiliki kekuatan tarik, kekerasan dan ketahanan lelah/fatig yang tinggi, ketahanan aus sehingga produk yang terbuat dari logam tersebut awet dan tahan lama, tahan korosi, tahan aus, dan sebagainya. Roda Gigi didalam dunia industri mempunyai peranan yang sangat penting. Hal ini dikarenakan sejak dahulu sampai sekarang roda gigi merupakan komponen yang tidak dapat digantikan di setiap mesin produksi atau perkakas dalam dunia industri. Selama ini banyak sekali pengembangan-pengembangan yang dilakukan oleh para peneliti agar dalam pembuatan roda gigi menghasilkan roda gigi yang baik, hal ini disebabkan dalam dunia industri banyak sekali roda gigi yang rusak, aus, patah, dikarenakan roda gigi tersebut tidak kuat terhadap gesekan dan tekanan yang dihasilkan saat dua roda gigi bersinggungan pada saat mesin bekerja (Callister dan Rethwisch, 2018). Hal ini menekankan pentingnya pengembangan material yang mampu memenuhi tuntutan tersebut, khususnya untuk aplikasi yang mengakibatkan beban tinggi dan lingkungan kerja yang keras (Surdia & Saito, 2000).

Pengarbonan/*Carburizing* yaitu proses pemberian atau penambahan kandungan karbon yang lebih banyak pada bagian permukaan dibanding dengan dinding bagian dalam, sehingga kekerasan permukaannya lebih meningkat. Sedangkan pada bagian dalamnya diharapkan masih memiliki keuletan/ keliatan. Metode ini mempertahankan keuletan inti material, sehingga memungkinkan komponen bekerja lebih lama tanpa mengalami kegagalan fungsi (Totten et al, 1993).

Berdasarkan uraian di atas peneliti mengambil tema serta judul permasalahan "Analisis kekerasan Roda gigi baja AISI 4140 setelah perubahan unsur carbon menggunakan arang batok kelapa". Variasi suhu karbonisasi yang digunakan adalah 900°C . Penentuan suhu ini berdasar bahwa karbonisasi secara umum dilaksanakan pada suhu 900°C – 950°C (Beumer, 1980 : 37, Callister & Rethwisch, 2018). Peneliti menggunakan suhu optimal serta suhu dibawahnya untuk dijadikan sebagai variasi dalam penelitian ini. Hal ini untuk melihat apakah benar suhu 900°C suhu yang optimal untuk proses karbonisasi, sehingga akan diketahui suhu yang terbaik untuk proses karbonisasi. Dapat dilihat pada diagram fasa besi – karbida – besi, baja dengan kadar karbon 0,4% bila dipanaskan diatas temperatur 800°C akan berada di daerah Ac3/daerah diatas daerah austenit dan terjadinya perubahan dari struktur BCC menjadi FCC dan ketika kadar karbon lebih besar daripada *eutectoid* (0,8%C), maka karbida besi (Fe_3C) akan mulai memisah dari *austenite Sementite* (Fe_3C) merupakan struktur yang sangat keras. Dengan proses *carburizing* variasi suhu 850°C , 900°C , 950°C akan menghasilkan baja yang semakin keras. Pemilihan suhu pemanasan 900°C sebelum di lakukannya proses *quenching*, didasarkan bahwa semua baja pada dasarnya jika dipanaskan diatas suhu 723°C akan mengalami perubahan struktur dan karakteristik, baja yang dicelupkan/*quenching* dengan cepat akan menghasilkan struktur *martensite*. Pencelupan dari titik A3 akan menghasilkan struktur yang halus, sedangkan pendinginan secara perlahan- lahan atau pencelupan dari suhu yang lebih tinggi akan menghasilkan struktur yang kasar, maka dari itu peneliti sengaja memilih suhu 900°C untuk melihat perubahan struktur dan karakteristik yang dihasilkan spesimen yang telah di *carburizing* kemudian di *quenching*

METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan cara yang dipakai dalam kegiatan penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasilnya dapat dipertanggungjawabkan secara kajian akademis dan ilmiah. Penelitian yang dilaksanakan ini menggunakan metode eksperimen dengan menekankan pada subjek mekanika dan sifat fisis bahan. Penelitian dilakukan dengan maksud untuk melihat akibat dari suatu perlakuan. Penelitian agar dapat lebih terarah dalam segala kegiatannya, maka perlu dibagi dalam tahapan-tahapan kerja yang dituangkan dalam langkah- langkah eksperimen, pelaksanaan eksperimen, diagram alur penelitian dan lembar pengamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan specimen dilakukan dengan metode uji Vickers untuk mengetahui tingkat kekerasan pada specimen yang telah dilakukan proses *carburizing* dengan menggunakan arang batok kelapa dengan temperature 900°C lalu di *quenching* dengan

menggunakan media udara, air dan oli baru. Hasil proses uji kekerasan dengan metode Vickers pada material roda gigi baja AISI 4140 yang telah dipanaskan (hardening) dan didinginkan (quenching) ditunjukkan pada table dibawah ini.

Hasil Pembahasan Uji Kekerasan Tanpa Perlakuan

Hasil dapat dilihat pada table 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Hasil Uji Kekerasan Tanpa Perlakuan

Kode Bahan	Titik Uji	HV	HV Rata - Rata
Tanpa Perlakuan	Bagian 1	228,7	229,57
	Bagian 2	233,9	
	Bagian 3	226,1	

Tanpa perlakuan pengujian kekerasan roda gigi baja AISI 4140 sebelum diberikan perlakuan digunakan sebagai pembanding kekerasan setelah diberikan perlakuan pemanasan (hardening) dengan media pendingin yang berbeda – beda. Didapat rata – rata kekerasan specimen roda gigi baja AISI 4140 tanpa perlakuan adalah 229,57 HV.

Hasil Pembahasan Quenching Media Pendingin Udara

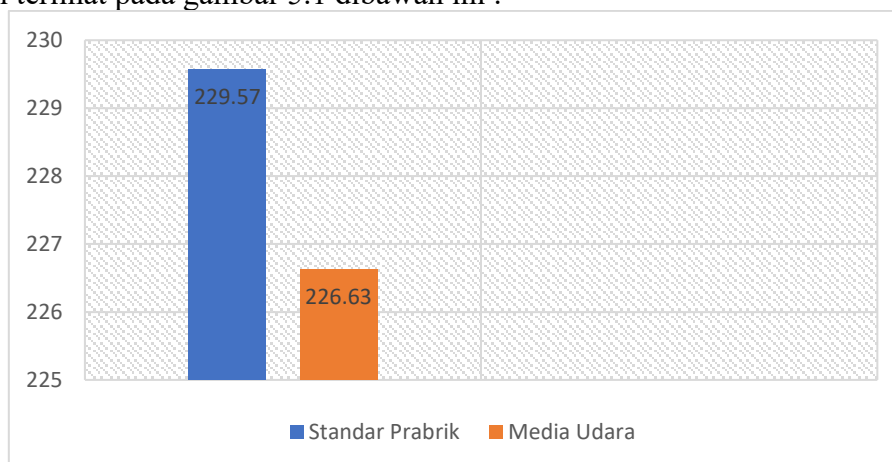
Hasil dapat dilihat pada table 5.2 dibawah ini

Tabel 5.2 Hasil Uji Kekerasan Quenching Dengan Media Udara

Kode Bahan	Titik Uji	HV	HV Rata - Rata
Quenching Pendingin Udara Dengan suhu 900 ⁰	Bagian 1	223,1	226,63
	Bagian 2	228,1	
	Bagian 3	228,8	

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang dilihat dalam table 5.2, dapat diketahui bahwa tidak adanya peningkatan kekerasan pada roda gigi baja AISI 4140 yang di panaskan (hardening) dan didinginkan dengan media udara dengan rata – rata kekerasan 226,63 HV. Maka, specimen roda gigi baja AISI 4140 tersebut mengalami penurunan kekerasan sebesar - 1,2 %.

Berikut adalah diagram perbandingan rata – rata media udara dengan tanpa perlakuan seperti terlihat pada gambar 5.1 dibawah ini .



Gambar 5.1 Diagram Perbandingan Rata-rata kekerasan tanpa perlakuan dengan media udara

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang dapat dilihat dalam table 5.2, diketahui bahwa adanya penurunan kekerasan pada permukaan specimen roda gigi baja AISI 4140 yang didinginkan menggunakan media udara dibandingkan dengan tanpa perlakuan, ini dapat terjadi dikarenakan beberapa factor :

- Laju pendinginan yang tidak memadai.
Udara quenching memiliki laju pendinginan yang relative lambat dibandingkan dengan media quenching lainnya, seperti media air dan oli baru.
- Critical Cooling Rate (CCR)
Setiap baja memiliki Critical Cooling Rate minimum yang harus dipenuhi untuk mencapai kekerasan maksimal baja AISI 4140 dengan kandungan karbon sekitar 0,40% dan elemen paduan Cr, Mo dan Mn memiliki CRR tertentu pada pendinginan udara mungkin tidak mencapai laju pendinginan kritis ini, terutama untuk suction yang tebal.
- Hardenability Baja.
Meskipun baja AISI 4140 memiliki hardenability yang baik karena kandungan elemen panduannya, media udara quenching tetap memberikan laju pendinginan yang terbatas.
- Ukuran dan Geometri Specimen.
Specimen yang tebal atau memiliki geometri komplek akan mengalami pendinginan yang tidak merata. Bagian tengah akan mendingin lebih lambat dibandingkan permukaan, sehingga tidak tercapai struktur martensit ang diinginkan.
- Suhu Austenitisasi.
Jika suhu austenitisasi tidak optimal atau waktu penahanan tidak cukup, austenite yang terbentuk mungkin tidak homogen, yang akan mempengaruhi hasil akhir setelah quenching.

Hasil Pembahasan Quenching Media Pendingin Oli Baru.

Hasil dapat dilihat pada table 5.3 di bawah ini

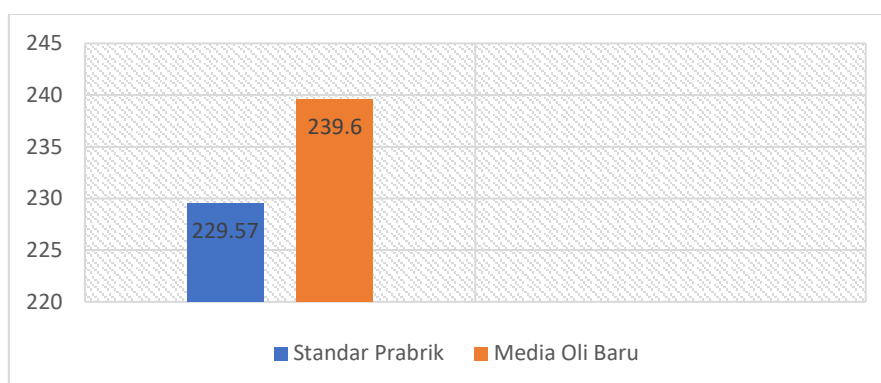
Tabel 5.3 Hasil Uji Kekerasan Dengan Media Oli Baru

Kode Bahan	Titik Uji	HV	HV Rata – rata
Quenching Media Oli Baru Dengan Suhu 900 ⁰	Bagian 1	239,7	239,60
	Bagian 2	241,7	
	Bagian 3	237,4	

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang dilihat dalam table 5.3 dapat diketahui bahwa adanya peningkatan kekerasan pada specimen roda gigi baja AISI 4140 yang dihardening (dipanaskan) dan didinginkan menggunakan media oli baru dengan rata – rata kekerasan 239,60 HV. Dibanding dengan tanpa perlakuan yang didapat sebesar 229,57 HV maka, specimen roda gigi baja AISI 4140 tersebut mengalami peningkatan kekerasan sebesar 4,36 %.

Perlakuan rata – rata pendinginan menggunakan media oli baru memberikan dampak yang lebih keras dibandingkan dengan media air. Hal ini dikarenakan oli memiliki laju pendinginan yang lebih rendah dari pada air. Dapat dilihat bahwa pendinginan dengan media oli menghasilkan struktur campuran antara sehingga dampak yang ditimbulkan lebih tinggi.

Berikut adalah diagram perbandingan jumlah rata – rata media oli baru dengan tanpa perlakuan seperti pada gambar 5.2 di bawah ini.



Gambar 5.2 Diagram Perbandingan Rata-rata kekerasan tanpa perlakuan dengan media oli baru

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang dilihatkan dalam table 5.3 dapat diketahui bahwa adanya peningkatan kekerasan pada specimen roda gigi baja AISI 4140 yang didinginkan (quenching) menggunakan media oli baru dibanding dengan tanpa perlakuan, ini disebabkan karena :

perubahan struktur mikro baja akibat pendinginan cepat. Proses quenching mengubah austanit (struktur FCC) menjadi martensit (struktur BCT) yang sangat keras dan getas, oli baru dengan laju pendinginan yang berbeda dari oli bekas mempengaruhi tingkat transformasi fase dan menghasilkan struktur martensit yang lebih dominan sehingga meningkatkan kekerasan.

Hasil Pembahasan Quenching Dengan Media Pendingin Air

Hasil dapat dilihat pada table 5.4 di bawah ini.

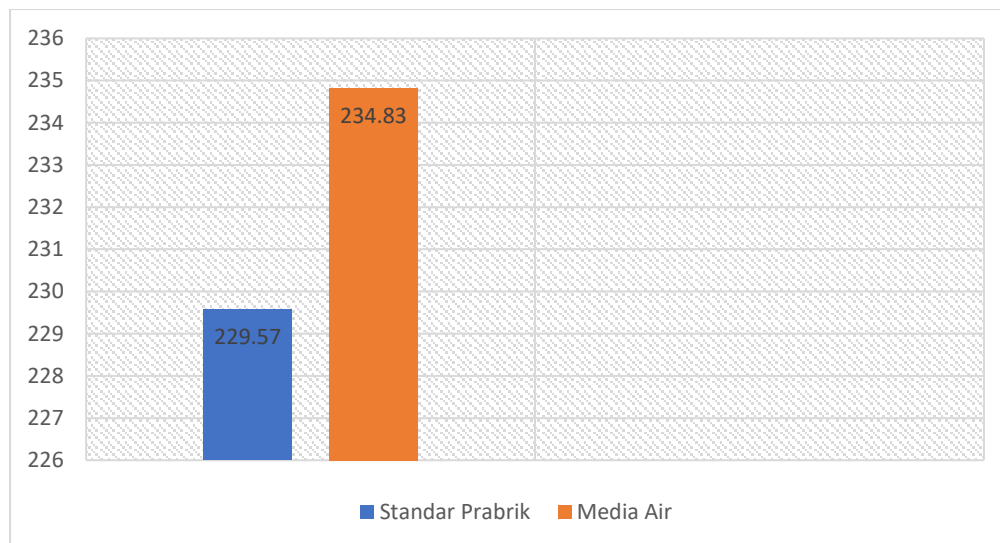
Tabel 5.4 Uji Kekerasan Dengan Menggunakan Media Air

Kode Bahan	Titik Uji	HV	HV Rata – rata
Quenching Media Air Dengan Suhu 900 ⁰	Bagian 1	236,2	234,83
	Bagian 2	231,4	
	Bagian 3	236,9	

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang dilihatkan dalam table 5.4 dapat diketahui bahwa adanya peningkatan kekerasan pada roda gigi baja AISI 4140 yang dihardening (dipanaskan) dan didinginkan dengan media air dengan rata – rata kekerasan 234,83 HV. Dibanding dengan tanpa perlakuan rata – rata kekerasan yang didapat sebesar 229,57 HV. Maka, specimen roda gigi baja AISI 4140 mengalami peningkatan sebesar 2,29 %.

Air memberikan dampak pendinginan yang cukup kuat terhadap roda gigi baja AISI 4140, karena memiliki laju pendinginan yang lebih tinggi.

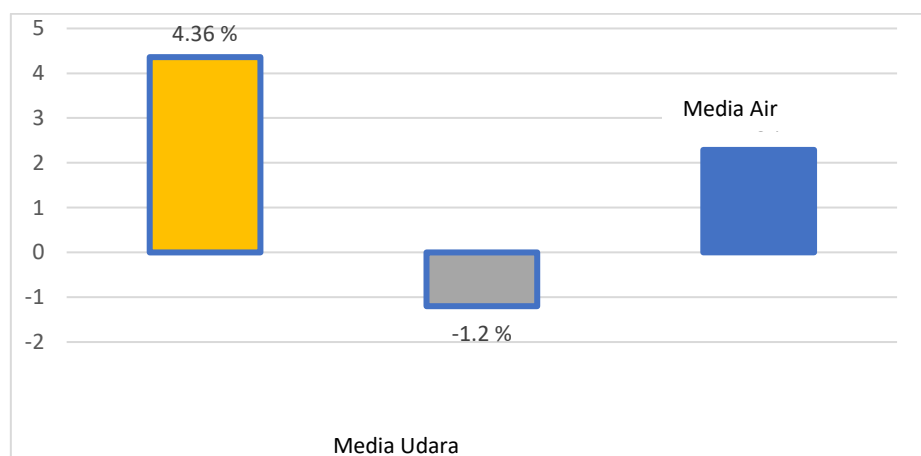
Berikut adalah diagram perbandingan rata – rata media air dengan tanpa perlakuan seperti pada gambar 5.3 di bawah ini.



Gambar 5.3 Diagram Perbandingan Rata-rata kekerasan tanpa perlakuan dengan media air.

Peningkatan kekerasan roda gigi baja AISI 4140 setelah diquanching dengan media air disebabkan oleh pembentukan martensit yang cepat dan tidak terkendali, serta adanya tegangan sisa akibat perbedaan laju pendinginan pada berbagai bagian saja, proses ini untuk bertujuan untuk mengubah austenite (Struktur austenite pada suhu tinggi) menjadi martensit (struktur yang sangat keras dan getas). Pendinginan dengan air yang sangat cepat dapat menyebabkan terbentuknya martensit dalam jumlah besar dan dengan struktur yang tidak terkontrol.

Peningkatan kekerasan yang terjadi setelah perlakuan dari masing – masing media seperti pada grafik berikut:



Gambar 5.4 Grafik persentase peningkatan dan penurunan specimen tanpa perlakuan dan sesudah perlakuan

Peningkatan kekerasan pada specimen roda gigi baja AISI 4140 yang di hardening (dipanaskan) dan didinginkan dengan media udara dengan rata – rata kekerasan 226, 63 HV. Dibandingkan dengan tanpa perlakuan rata – rata kekerasan yang didapat 229,57 HV. Maka, specimen roda gigi baja AISI 4140 tersebut mengalami penurunan sebesar - 1,2 %. Udara memberikan dampak pendingin yang tidak kuat terhadap specimen roda gigi baja AISI 4041,

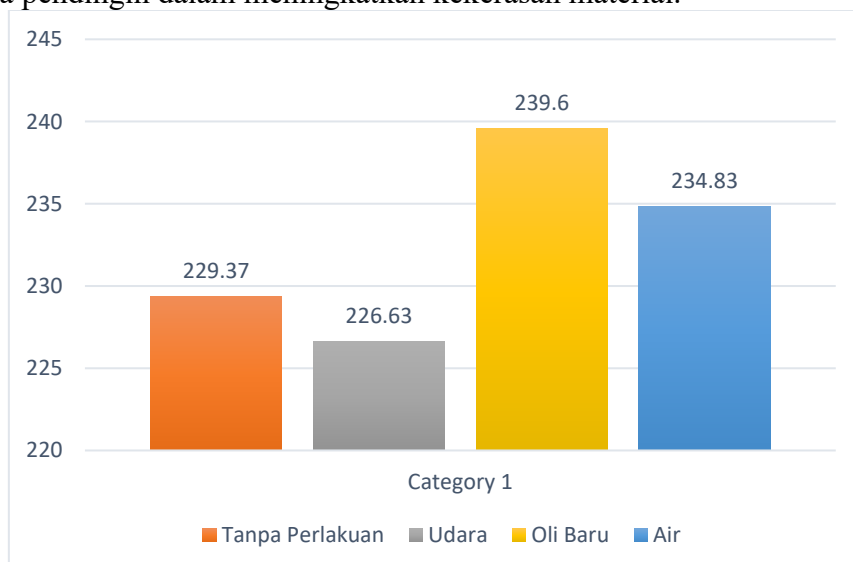
karena udara memiliki laju pendinginan yang kurang cepat dapat dilihat bahwa menghasilkan struktur yang cukup banyak pada baja yang didinginkan.

Peningkatan kekerasan pada roda gigi baja AISI 4140 yang di hardening (dipanaskan) dan didinginkan menggunakan media oli baru dengan rata – rata kekerasan 239,60 HV. Dibandingkan dengan tanpa perlakuan rata – rata kekerasan yang didapat 229,57 HV, maka specimen roda gigi baja AISI 4140 tersebut mengalami peningkatan kekerasan sebesar 4,36 %. Pendinginan menggunakan media oli baru memberikan dampak yang lebih keras dibanding dengan media udara.

Peningkatan kekerasan pada specimen roda gigi baja AISI 4140 yang dihardening (dipanaskan) dan didinginkan dengan media air dengan rata – rata kekerasan 234,83 HV, Dibanding dengan tanpa perlakuan rata – rata kekerasan yang didapat sebesar 229,57 HV. Maka specimen roda gigi baja AISI 4140 tersebut mengalami peningkatan kekerasan sebesar 2,29 %. Air memberikan dampak pendinginan yang cukup kuat terhadap specimen roda gigi baja AISI 4140, karena air memiliki laju pendinginan yang cukup cepat, dapat dilihat bahwa air menghasilkan struktur martensit yang cukup banyak pada baja yang didinginkan.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa kekerasan pada roda gigi baja AISI 4140 mengalami peningkatan dan dapat disimpulkan bahwa peningkatan tertinggi dari quenching adalah menggunakan media pendingin oli baru, pendinginan dengan menggunakan oli baru memberikan dampak yang lebih keras dibanding dengan media udara dan air.

Untuk mengetahui pengaruh media pendingin terhadap kekerasan permukaan roda gigi baja AISI 4140, dilakukan proses quenching menggunakan tiga jenis media pendingin yang berbeda, yaitu udara, oli baru, dan air. Setiap media memiliki laju pendinginan yang berbeda, yang berpengaruh langsung terhadap kekerasan material setelah proses perlakuan panas. Oleh karena itu, grafik gabungan berikut menyajikan perbandingan rata-rata nilai kekerasan permukaan roda gigi baja AISI 4140 setelah dilakukan proses quenching dengan ketiga media tersebut, guna memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai efektivitas masing-masing media pendingin dalam meningkatkan kekerasan material.



Gambar 5.5 Grafik gabungan perbandingan rata-rata kekerasan roda gigi baja AISI 4140 setelah diquanching dengan media udara, oli baru dan air

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa proses carburizing menggunakan arang batok kelapa yang dilanjutkan dengan quenching memberikan pengaruh terhadap kekerasan permukaan roda gigi baja AISI 4140. Nilai rata-rata kekerasan permukaan bahan tanpa perlakuan sebesar 229,37 HV, sedangkan quenching menggunakan media udara menghasilkan kekerasan 226,63 HV atau mengalami penurunan sebesar 1,2% akibat laju pendinginan yang lambat sehingga pembentukan martensit tidak optimal. Sebaliknya, quenching menggunakan oli baru menghasilkan kekerasan rata-rata tertinggi sebesar 239,60 HV atau meningkat 4,36%, yang disebabkan oleh transformasi austenit menjadi martensit yang lebih dominan akibat laju pendinginan yang sesuai. Sementara itu, quenching menggunakan air menghasilkan kekerasan rata-rata 234,83 HV atau meningkat 2,29%, karena laju pendinginan yang sangat cepat mampu membentuk martensit dalam jumlah besar, meskipun berpotensi menimbulkan tegangan sisa akibat pendinginan yang tidak merata. Dengan demikian, media pendingin oli baru merupakan media yang paling efektif dalam meningkatkan kekerasan permukaan roda gigi baja AISI 4140 setelah proses carburizing dan quenching.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, W.O, Bradbury, EJ.1991, *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Amstead, BH, dkk.1995. *Teknologi Mekanik Jilid I Edisi ketujuh versi SI*. Jakarta: Erlangga.
- ASM Hand Book, 1991 : 222. “ Heat Treading “
- Amstead , B.H. Ostwald, P. F, & Begemen, M. L. (1989) Manufacturing Processes. John Wiley & Sons.
- Bagyo sucahyo, 1993 : 195. “ Pendingin cepat (quenching)”
- Callister, William D. Jr, dan Rethwisch, David G. 2018. *Materials Science and Engineering An Introduction (10th ed)*. Amerika Serikat: John Wiley & Sons, Inc
- Chenoweth, Harry H ,1983, *Applied Strength Of Material 4th Edition*. USA:McGraw-Hill,Inc.
- Callister,W. D & Rethwisch, D. D (2014). Material Science and Engineering An Introduction (9th ed). Wiley.
- Daryanto. 2010, Proses Pengolahan Besi Dan Baja (Ilmu Metalurgi), Satu Nusa Cet – 1 Bandung. Oktober 2010.
- Kalpakjian, S, & Schmid, S. R. (2010). Manufacturing Engineering and Tecnology (6th ed), Pearson.
- Koswara, Engkos. 1999. *Pengujian Bahan Logam*. Bandung : Humaniora UtamaPress.

- Karmin 2009, Pengendalian Proses Pengerasan Baja Dengan Metoda Quenching, Jurnal Austenite, Vol 1, No 2, Oktober 2009.
- Muh. Iqbal Haqi (2006: 4), “ factor – factor yang mempengaruhi hasil kekerasan pada perlakuan panas “
- Pollack, Herman W. 1981. *Material Science and Metallurgy 3rd ed.* Virginia : Reston Publishing Company, Inc.
- Rizal Faturhman, “ PENGUJIAN ALAT PERLAKUAN PANAS UNTUK MENINGKATKAN KEKERASAN PERMUKAAN BAJA “ Jurnal Online Teknik Mesin Itenas Vol 1 No 1 (2020)
- Smith, W. F, & Hashemi, J (2011). *Faundation of Materials Science and engineering (5th ed)*. McGraw-Hill.
- Schonmetz, Alois dan Karl Gruber.1985. *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*. Bandung:Angkasa.
- Smallman, R. E. 1991, *Metalurgi Fisik Modern edisi keempat*, Jakarta : Gramedia Pustaka Utama
- Smith F William, 1996. *Principles of Materials Science and Engineering Third Edition*. USA: Mc Graw. Hill.Inc
- Sularso, dan Suga, Kiyokatsu, 2002, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin cetakan kesepuluh*, Jakarta: Pradnya Paramita
- Surdia,Tata, dan Saito, S. 2000, *Pengetahuan Bahan Teknik cetakan kelima* Jakarta: Pradnya Paramita.
- Totten,GE; Bates,CE; Clinson, NA;1993, *Handbook of Quenchants and Quenching Technology*. USA: ASM Internasional
- Van Vlack, Lawrence, 1985, *Elements Of Materials Science and Engineering 5th Edition*, USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- William,D; Callister,JR, 1997. *Material Sciene and Engineering an Introduction fourth Edition*. USA: John Willey and Sons, Ins