

Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan *Fully Pearlitic Steel*

Abdul Muhyi¹, Nabila Ramadhanty², Eko Pujiyulianto¹, Kardo Rajagukguk¹,
Fajar Paundra^{1*}

¹ Prodi Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung,
Indonesia 35365

² Prodi Sarjana Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung,
Indonesia 35365

* Email korespondensi: fajar.paundra@ms.itera.ac.id

Abstract

This research aims to determine the effect of variations in cooling media during heat treatment on the hardness value and microstructure of fully pearlitic steel. The research process was carried out by cutting fully pearlitic steel with a size of 10 x 10 x 10 mm, then a heat treatment process was carried out at a temperature of 900°C, then a cooling process was carried out using different cooling media such as: air, in the oven, water, used oil, and other one specimen that was not subjected to any treatment as a comparison. The microstructure test results of the untreated rail contain pearlite and ferrite structures, with a hardness value of 392.64 HVN. The air cooling media has ferrite and pearlite phases, with a hardness value of 335.92 HVN. Cooling in the oven the microstructure is cementite, pearlite, austenite with a hardness value obtained of 287.67 HVN, which is the lowest hardness value. For water cooling media, the microstructure formed by ferrite, austenite, martensite, the hardness value is 915.89 HVN. For cooling used oil, the microstructure is martensite, austenite, ferrite with a hardness value of 916.38 HVN, the used oil cooling media gets the highest hardness value.

Keywords: heat treatment, high carbon steel, hardness, microstructure

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin pada perlakuan panas terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro fully pearlitic stell. Proses penelitian dilakukan dengan pemotongan fully pearlitic stell dengan ukuran 10 x 10 x 10 mm, kemudian dilakukan proses perlakuan panas dengan temperatur 900°C, selanjutnya dilakukan proses pendinginan dengan berbeda media pendingin seperti: udara, di dalam oven, air, oli bekas, dan salah satu spesimen yang tidak dilakukan perlakuan apapun sebagai pembanding. Hasil pengujian struktur mikro rel tanpa perlakuan mengandung struktur perlit dan ferit, dengan nilai kekerasan yang didapat 392,64 HVN. Media pendingin udara memiliki fasa ferit dan perlit, dengan nilai kekerasan 335,92 HVN. Pendinginan di dalam oven struktur mikronya adalah sementit, perlit, austenit dengan nilai kekerasan yang diperoleh 287,67 HVN, merupakan nilai kekerasan terendah. Untuk media pendingin air struktur mikro yang terbentuk ferit, austenit, martensit, nilai kekerasannya 915,89 HVN. Untuk pendinginan oli bekas struktur mikronya martensit, austenit, ferit dengan nilai kekerasan 916,38 HVN, media pendingin oli bekas mendapatkan nilai kekekarasan tertinggi.

Kata kunci: perlakuan panas, baja karbon tinggi, kekerasan, struktur mikro

1. Pendahuluan

Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*) adalah material baja yang memiliki kadar karbon antara 0,60 – 0,15 %. Baja karbon jenis ini memiliki sifat yang sangat keras akan tetapi nilai keuletannya rendah. Material jenis ini biasa diaplikasikan untuk bahan rel kereta api, palu, dan *screw drivers*. untuk meningkatkan kekuatan material baja bisa dilakukan dengan proses *heat treatment*.

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah proses pemanasan dan pendinginan logam padat untuk mengubah sifat mekaniknya [1]. Baja dapat dikeraskan untuk meningkatkan ketahanan aus dan kapasitas pemotongan, atau dilunakkan untuk dengan perlakuan panas yang tepat, tegangan sisa dapat dikurangi dan ukuran butir kristal dapat ditingkatkan atau diturunkan. Selain itu, bisa lebih keras atau

membuat permukaan yang keras pada inti yang ulet. Untuk perlakuan panas yang tepat, perlu diketahui komposisi kimia baja. Perubahan komposisi kimia khususnya karbon dapat menyebabkan perubahan sifat fisis dan mekanik material, salah satunya adalah tingkat kekerasan [2]. Beberapa penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari *heat treatment*.

Agung Prayogi dan Suhardiman (2019)[2] melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi media pendingin pada perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon rendah. Baja diberikan perlakuan panas pada suhu 950°C diberi waktu tahan 30 menit dengan media pendingin air, oli SAE 40, *coolant* radiator dan udara sebelum diuji kekerasan dan struktur mikro. Hasil yang diperoleh nilai kekerasan tertinggi ada pada media pendingin *coolant* radiator dengan nilai kekerasan 39 HRC dan struktur mikro pada baja karbon rendah yang terbentuk adalah perlit dan ferrit. Struktur mikro merupakan butiran-butiran suatu benda logam yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, sehingga digunakan mikroskop khusus untuk melihatnya. Hubungan antara ukuran butiran dengan kekerasan dan kekuatan tarik berbanding terbalik, yang semakin kecil ukuran butirnya maka bahan semakin keras dan kekuatannya semakin tinggi [3].

Kecepatan pendinginan sangat berpengaruh terhadap struktur mikro dan kekerasan suatu material akan tetapi penelitian tentang variasi laju pendingin pada baja karbon tinggi masih sedikit. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur *heat treatment* baja karbon tinggi terhadap struktur mikro dan nilai kekerasannya. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam memilih media pendingin dalam proses *heat treatment* khususnya material baja karbon tinggi.

2. Metode Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah rel bekas yang termasuk

dalam baja karbon tinggi[1]. Spesimen dibuat dengan ukuran 10 x 10 x 10 mm. sebelum dilakukan proses *heat treatment*, material diuji untuk mengetahui komposisinya. Tabel 1 menunjukkan hasil uji komposisi dari baja karbon tinggi.

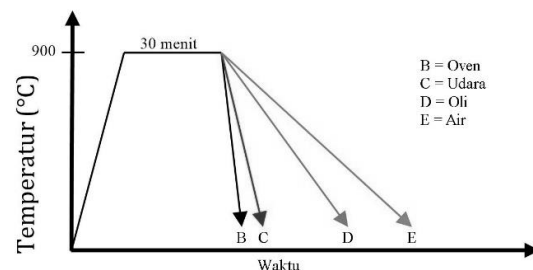
Tabel 1. Komposisi kimia

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P
%	97,24	0,92	0,48	1,50	0,03

Proses *heat treatment* dilakukan di dalam *furnace* pada temperature 900°C dan *holding time* selama 30 menit. Setelah itu dilakukan proses pendinginan dengan berbagai variasi. Tabel 2 menunjukkan kode dari variasi media pendingin dan gambar 1 menunjukkan skema grafik laju pendinginan.

Tabel 2. Variasi media pendingin

No	Variasi media pendingin	Kode
1	Tanpa perlakuan	A
2	Di dalam oven	B
3	Udara sekitar	C
4	Oli	D
5	Air	E



Gambar 1. Grafik laju pendinginan

Proses pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji struktur mikro dan kekerasan. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan *microskop* optik *merk zeiss*. Sebelum dilakukan pengujian struktur mikro, spesimen diratakan dan dihaluskan dengan menggunakan amplas dari ukuran yang kasar sampai ke yang halus. Setelah itu dilakukan *polishing* menggunakan kain bludru dan autosol untuk menghilangkan *micro stretch* pada permukaan[2]. Pengetsaan dilakukan dengan standar ASTM E47-07 yaitu 2 ml

HCl + 1 gr Picric acid + 100 ml Ethanol (95%) dengan lama pencelupan 15 detik. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan visibilitas optik dari struktur mikro material logam[3].

Sedangkan pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers dengan alat *Universal Hardness Tester merk ZwickRoell*. Proses penujian *vickers* dilakukan pada 5 titik secara, dengan pembebanan 5 kgf dalam waktu 15 detik. Perhitungan nilai kekerasan dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$Hv = 1,854 (F/d^2) \quad (1)$$

Dimana

Hv = Nilai Kekerasan *Vickers*

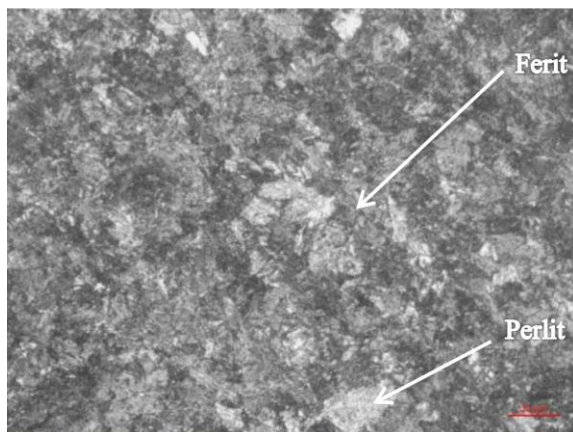
d = Diameter rata rata (mm)

F = Gaya (kgf)

3. Hasil dan Pembahasan

Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro melalui mikroskop optik dengan perbesaran 500 kali yang menunjukkan gambar fasa-fasa dari struktur mikro baja karbon tinggi.



Gambar 2. Struktur mikro baja karbon tinggi

Gambar 2 menunjukkan struktur baja karbon tinggi tanpa perlakuan. Struktur mikro baja karbon tinggi tanpa perlakuan dijadikan pembanding untuk spesimen lain yang sudah diberi perlakuan panas. Struktur mikro baja karbon tinggi memiliki struktur perlit dan ferit. Perlit ditandai dengan warna cerah sedangkan ferit berwarna agak gelap [4][5]. Perlit merupakan campuran antara ferit dan sementit yang terbentuk seperti pelat-pelat yang disusun secara bergantian

antara sementit dan ferit. Fasa perlit memiliki sifat keras, ulet dan kuat sedangkan ferit ferit mempunyai sifat ulet tetapi lunak. Untuk sebagian besar struktur mikro ferit dan perlit, jaraknya terlalu halus untuk dilihat dengan mikroskop cahaya, dan perlit tampak seragam[6][7].

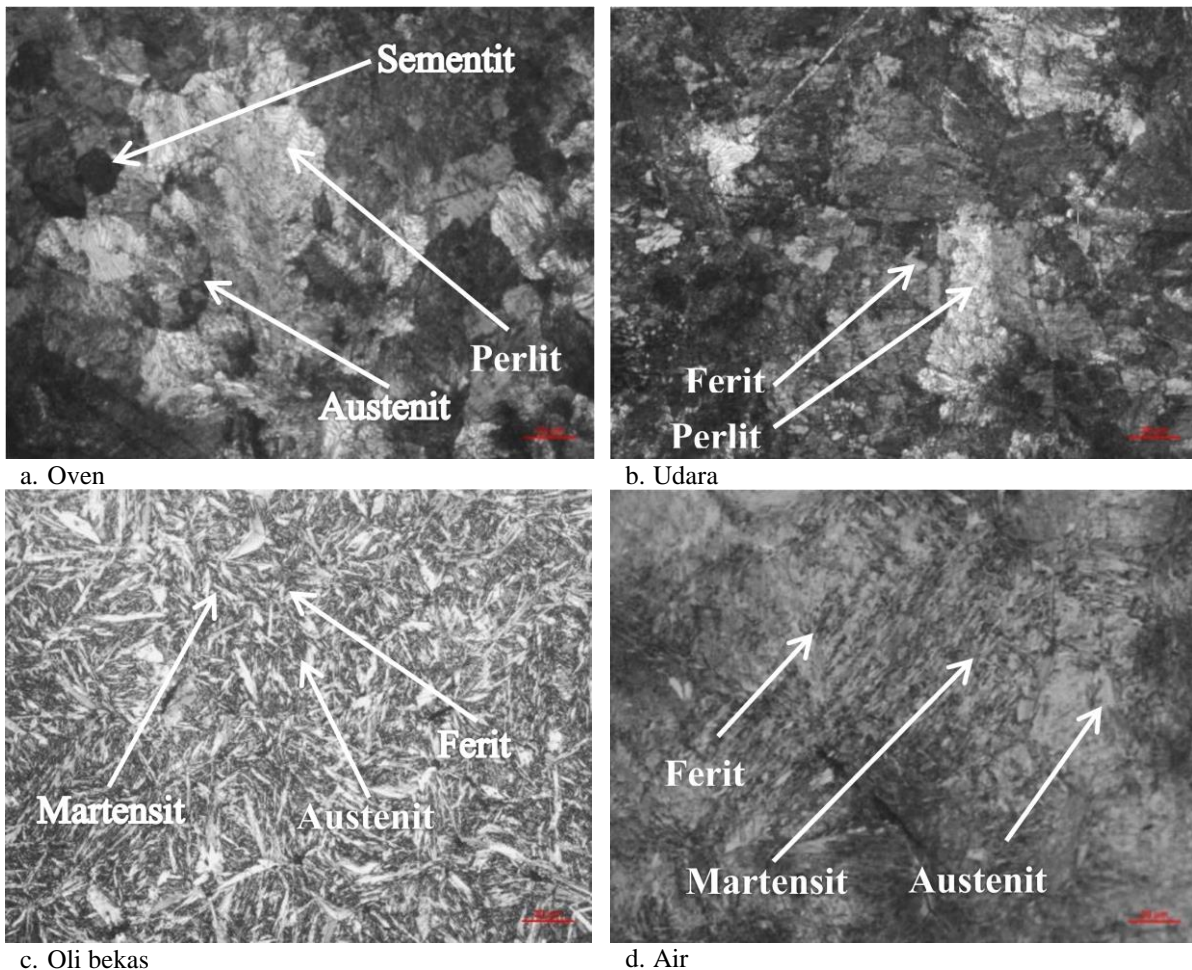
Struktur mikro baja karbon tinggi pada umumnya menunjukkan jenis *fully pearlitic steel* [8]. *Fully pearlitic steel* adalah ketika struktur mikro menjadi perlit penuh karena adanya kandungan baja karbon mendekati komposisi karbon 0,80%, dimana kekuatan meningkat, tetapi ketahanan terhadap patahan menurun [6]. *Fully pearlitic steel* memiliki kekuatan tinggi, ketahanan gesek yang baik, dan sangat digunakan untuk dijadikan bahan rel kereta api[9]. Gambar 3 menunjukkan struktur mikro baja karbon tinggi dengan variasi media pendinginan yang berbeda.

Gambar 3 menunjukkan struktur mikro baja karbon tinggi yang sudah dilakukan proses perlakuan panas dengan variasi pendinginan udara, dalam oven, air, dan oli bekas. Gambar 3.a adalah struktur mikro hasil perlakuan panas dengan pendinginan dalam oven. Struktur mikro terdiri dari perlit, sementit dan austenit. Fasa perlit dan sementit menyebar di permukaan spesimen yang ukurannya lebih besar. Terlihat jelas fasa perlit membentuk batas-batas butir yang besar terletak bersebelahan dengan sementit. Struktur mikro perlit yang paling mendominasi dengan warna terangnya, tetapi tidak membentuk fine perlite yang mana berupa perlit yang halus. Fasa sementit pada pendinginan dalam oven terbentuk sedikit, dimana sementit sifatnya sangat keras [4]. Fasa austenit merupakan fasa yang penting sebagai dasar pembentuk fasa-fasa lainnya dalam proses perlakuan panas [10]. Fasa austenit ini terbentuk pada saat pendinginan, yang mana tidak sempat bertransformasi ke fasa selanjutnya. Sifat austenite adalah lunak, dan menurunkan kekerasan[4].

Gambar 3.b menunjukkan spesimen rel dengan media pendingin udara, struktur mikro yang terlihat adanya ferit dan perlit. Fasa perlit nampak besar dan kasar

sedangkan perlit yang muncul tidak menyebar di setiap daerah permukaan. Hal ini sangat berbeda dibandingkan struktur mikro baja karbon tinggi tanpa perlakuan, dimana fasa perlit menyebar merata. Fasa perlit memiliki sifat lebih keras dibandingkan ferit [11]. Fasa ferit terlihat agak gelap, kasar dan posisi yang tidak teratur. Hal ini terjadi karena laju

pendinginan yang lambat mempengaruhi terbentuknya fasa-fasa lain [12]. Fasa ferit dan perlit terbentuk dari transformasi austenit karena mengalami pendinginan lambat dan ferit mempunyai sifat lunak [13]. Austenit bersifat menurunkan kekerasan [4], hal ini dipengaruhi juga dari kandungan unsur komposisi material terhadap fasa material tersebut [8].



Gambar 3. Struktur mikro dengan berbagai variasi media pendingin

Gambar 3.c adalah hasil struktur mikro dengan media pendingin oli bekas. Struktur ini mayoritas terdiri dari fasa martensit. Fasa martensit berbentuk seperti jarum-jarum yang tajam dan memiliki sifat sangat keras akan tetapi getas [14]. Fasa austenit dan ferit agak gelap dan tidak terlalu terlihat, karena tertutup oleh fasa martensit yang penuh. Laju pendinginan ini berpengaruh pada spesimen, karena semakin tinggi densitas yang dimiliki suatu media

pendingin maka semakin cepat laju pendinginannya [12].

Gambar 3.d merupakan struktur mikro perlakuan panas dengan media pendinginan air. Perlakuan panas ini menghasilkan fasa martensit, ferit dan austenit. Fasa martensit terjadi karena laju pendinginan yang sangat cepat. Akan tetapi struktur yang terbentuk tidak sepenuhnya martensit, hal ini disebabkan adanya proses pendinginan yang cepat sehingga ferit yang bertransformasi menjadi austenit pada

pemanasan akan berubah kembali menjadi martensit [11]. Bentuk dari fasa martensit ini seperti jarum-jarum yang tersebar merata dan pada bagian tepinya berwarna kehitaman [13]. Jika kadar karbon dalam austenit lebih tinggi maka struktur martensit akan lebih memanjang, juga menjadi lebih getas[14]. Fasa ferit yang agak gelap kehitaman karena kadar karbon yang tinggi pada rel, dan austenit sisa yang tidak sempat berubah menjadi martensit ini akan menurunkan kekerasan.

Pendinginan dengan air menyebabkan perubahan struktur perlit yang terbentuk lambat, kekerasan tinggi akan tetapi kekuatannya rendah. Pada gambar 3.c terdapat struktur mikro yang samar hal ini disebabkan air memberikan pendinginan yang sangat cepat sehingga mengakibatkan tegangan dalam, distorsi dan retakan[4].

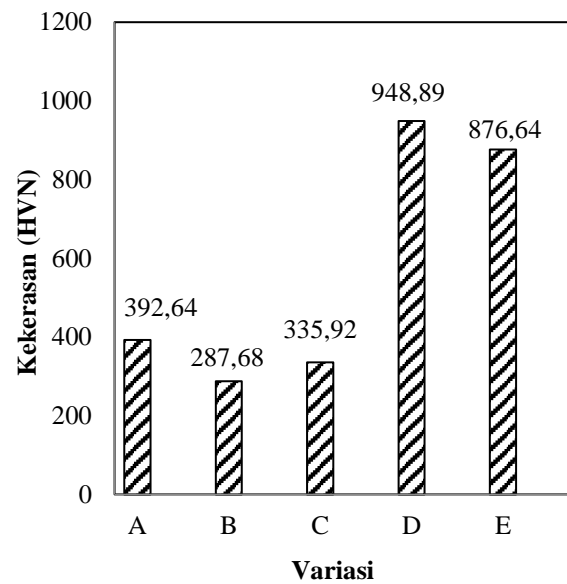
Baja karbon tinggi tanpa perlakuan yang pada awalnya hanya terdapat fasa ferit dan perlit. Setelah dilakukan proses perlakuan panas dengan media pendingin yang berbeda, udara dan dalam oven terbentuk fasa sementit dan austenit diakibatkan karena laju pendinginan yang lambat. Adanya kemiripan fasa pada struktur mikro baja karbon tinggi tanpa perlakuan dengan struktur mikro dengan media pendingin udara. Peningkatan fasa terjadi pada pendinginan dalam oven terbentuk fasa sementit. Lalu pada media pendingin air dan oli bekas, terjadi peningkatan pada bentuk struktur mikro adalah fasa martensit hal ini disebabkan karena pendinginan yang sangat cepat.

Vickers

Pengujian kekerasan vickers merupakan suatu pengujian dengan tujuan mengetahui nilai kekerasan dari material [4].

Gambar 4 merupakan grafik nilai rata-rata kekerasan vickers tanpa perlakuan, dan hasil *heat treatment* dengan berbagai variasi pendinginan. Spesimen dengan kode spesimen A merupakan nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan. Nilai kekerasan

A sebesar 392,64 HVN atau setara dengan 320 HBN.



Gambar 4. Grafik uji kekerasan

Grafik kode spesimen B merupakan media pendinginan dalam oven. Nilai kekerasannya adalah 287,67 HVN. Terjadi penurunan kembali pada nilai kekerasan media pendingin dalam oven, dimana terdapat fasa austenit dan sementit di struktur mikronya. Fasa austenit yang sifatnya menurunkan kekerasan, dan lunak. Sedangkan fasa sementit yang terbentuk sedikit, pada struktur mikronya. Fasa sementit memiliki sifat sangat keras [8]. Hal ini menyebabkan nilai kekerasan dengan media pendingin dalam oven (*annealing*) memiliki nilai kekerasannya terendah.

Media pendingin udara pada grafik dengan kode C yaitu 335,92 HVN. Dapat dilihat bahwa tingkat kekerasan setelah dilakukan pendinginan udara tingkat kekerasannya menurun, dibandingkan dengan kekerasan baja karbon tinggi tanpa perlakuan. Udara sebagai pendingin akan memberikan peluang membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara[15]. Penurunan ini disebabkan karena adanya waktu proses pendinginan yang lama, Hal ini menyebabkan terjadinya fasa perlit dan ferit yang muncul terlihat besar. Bentuk fasa ini berpengaruh pada nilai kekerasannya,

terlihat dari fasa yang besar-besar pada permukaannya[1].

Spesimen dengan kode E adalah variasi media pendingin menggunakan oli bekas. Nilai kekerasan yang diperoleh adalah 916,38 HVN. Dengan nilai tersebut media pendinginan oli bekas ini merupakan nilai rata-rata tertinggi. Dikarenakan struktur mikro yang terbentuk adalah martensit penuh, yang mana martensit yang terbentuk lebih baik dibandingkan pada pendinginan air. Martensit bersifat keras, dan struktur mikro ini terbentuk tergantung pada kandungan karbon baja [16]. Dari media pendinginan oli bekas, dimana banyak mengandung karbon dari sisa pembakaran penggunaan kendaraan motor bensin. Hal ini dapat terjadi jika proses pendinginan cepat dan maksimal maka kekerasan semakin meningkat [13].

Sedangkan variasi laju pendinginan dengan media air ditunjukkan dengan kode spesimen D. Nilai kekerasannya meningkat sebesar 915,89 HVN. Hal ini disebabkan munculnya fasa austenit dan martensit. Kedua fasa ini memiliki sifat yang sangat keras [17].

Dalam proses perlakuan panas, setelah mencapai temperatur yang ditentukan dan diberi waktu tahan secukupnya maka dilakukan pendinginan dengan laju tertentu maka sifat mekanik yang terjadi setelah pendinginan akan tergantung pada laju pendinginannya [13]. Berdasarkan data tersebut, nilai kekerasan rata-rata baja karbon tinggi media pendingin pada *heat treatment* sangat berpengaruh pada struktur mikro dan nilai kekerasannya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu media pendingin oli bekas merupakan media pendingin paling baik untuk digunakan dalam proses peningkatan kekerasan, karena menghasilkan fasa martensit yang bersifat keras dan nilai kekerasan media pendinginan oli bekas memperoleh 916,38 HVN. Hal ini dikarenakan oli bekas, yang banyak mengandung karbon dari sisa

pembakaran penggunaan kendaraan motor bensin.

Referensi

- [1] E. Pujiyulianto *et al.*, “Journal Homepage: R54 DIVRE IV TANJUNG KARANG ANALYSIS OF MICROSTRUCTURE AND WEAR RESISTANCE OF RAILROAD RAIL TYPE R54 DIVRE IV TANJUNG KARANG,” vol. 44, no. 2, 2022.
- [2] F. Paundra *et al.*, “pengelasan adalah ikatan metalurgi dua buah logam yang dipanaskan pada sambungan,” vol. 11, no. 1, pp. 3–6, 2022.
- [3] F. Paundra, J. Anindito, N. Muhayat, Y. C. N. Saputro, and Triyono, “Effect of Water Depth and Flow Velocity on Microstructure, Tensile Strength and Hardness in Underwater Wet Welding,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 833, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/833/1/012084.
- [4] Astrini, “Pengaruh Heat Treatment dengan Variasi Media Quenching Air dan Oli terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135,” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 4, no. 02, pp. 195–200, 2016.
- [5] L. D. Yuono and U. S. Dharma, “Pengaruh Pendinginan Cepat Terhadap Laju Korosi Hasil Pengelasan Baja Aisi 1045,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 76–83, 2017, doi: 10.24127/trb.v6i1.469.
- [6] F. Pearlitic, “High-Carbon Steels: Fully Pearlitic Microstructures and Applications,” *ASM Int. Steels Process. Struct. Perform.*, pp. 281–296, 2005.
- [7] L. D. Yuono, “Peningkatan Kekerasan Dan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah Dan Besi Cor Kelabu Melalui Proses Vanadisasi,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 28–32, 2015, doi: 10.24127/trb.v4i1.8.
- [8] J. B. Meliala, “ANALISIS

- STUKTUR MIKRO DAN KETAHANAN AUS REL KERETA API TIPE R-54 REGIONAL IV TANJUNG KARANG , BANDAR LAMPUNG,” 2021.
- [9] F. C. Robby Dwiwandono, Leksono Firmansyaha, Satrio Herbirowob, M Yunan Hasbib, “ANALISA STRUKTURMIKRO DAN PENGARUHNYA TERHADAP SIFAT MEKANIS BATANGAN REL TIPE R54 Robby,” vol. Metalurgi, 2017.
- [10] S. Kirono, E. Diniardi, and I. Prasetyo, “Analisa Perubahan Dimensi Baja AISI 1045 Setelah Proses Perlakuan PANAS (Heat Treathment),” *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, no. 1, pp. 1–11, 2010.
- [11] A. Prayogi, “Analisa pengaruh variasi media pendingin pada perlakuan panas terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon rendah (Effect of cooling media variations on heat treatment on hardness and micro carbon structure of low carbon steel),” pp. 83–90.
- [12] P. Trihutomo, “Analisa Kekerasan Pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening Dengan Media Pendingin Yang Berbeda,” *Tek. Mesin*, pp. 28–34, 2015.
- [13] A. Multazam, “PENGARUH HEAT TREATMENT TERHADAP BENTUK STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADA LOGAM TAMBANG (BAJA ST60),” vol. 2, no. 2355, 2016.
- [14] Bayu Adie Septianto and Y. Setiyorini, “Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340,” *J. Agrik.*, vol. 2, no. 2, pp. 251–271, 2016.
- [15] Y. Handoyo, “Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 102–115, 2015.
- [16] “Pengaruh penempaan dan DAN HEAT TREATMENT PADA PEMBUATAN PERKAKAS LOGAM BERBAHAN PEGAS DAUN MOBIL TERHADAP KEKERASAN MIKRO VICKERS, KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO,” 2017.
- [17] E. A. Sumaraw, “Pengaruh Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja CrMoV Dengan Media Quench Yang Berbeda,” *Maj. Sains dan Teknol. Dirgant.*, vol. 5, no. 2, pp. 66–73, 2010.