**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN DAN MEDIA
PENDINGIN TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA
ST 41 METODE HARDENING**

***EFFECT OF VARIATIONS IN HEATING TEMPERATURE AND
COOLING MEDIA ON THE HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF
STEEL ST 41 HARDENING METHOD***

Hajar Isworo¹⁾, Najib Rahman²⁾

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia
email: hajarisworo@ulm.ac.id¹⁾, najibrahman19@gmail.com²⁾*

Received:
11 Juni 2020

Accepted:
21 Juni 2020

Published:
25 Juni 2020

© 2020 SJME
Kinematika All
Rights Reserved.

Abstrak

Baja ST 41 merupakan salah satu dari jenis baja golongan baja karbon rendah dan dapat ditingkatkan lagi sifat mekaniknya dengan cara proses perlakuan panas. *Hardening* merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan serta kekuatan baja dengan cara pemanasan, penahanan dan pendinginan dalam interval waktu dan media pendingin tertentu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan dan media pendingin terhadap kekerasan dan struktur mikro baja ST 41. Proses *hardening* dilakukan pada temperatur austenit (850°C, 900°C dan 950°C) dengan waktu tahan (*holding time*) 15 menit kemudian didinginkan cepat menggunakan media pendingin aquades, oli SAE 20W-50, dan air kelapa. Hasil pengujian menunjukkan nilai kekerasan optimum adalah 326,2 HV pada temperatur pemanasan 850°C dengan media pendingin air dan kekerasan minimum 153,1 HV pada temperatur pemanasan 950°C dengan media pendingin oli SAE 20W-50, sementara hasil pengujian struktur mikro setelah proses *hardening* memperlihatkan struktur yang terbentuk adalah martensit dan bainit. Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa proses *hardening* dapat menaikkan nilai kekerasan pada baja ST 41.

Kata Kunci: *Hardening, Holding Time, Media Pendingin, Nilai Kekerasan, Struktur Mikro.*

Abstract

ST 41 steel is one of the types of low carbon steel group whose mechanical properties can be improved by means of the heat treatment process. Hardening is a heat treatment process that aims to increase the hardness and strength of steel by heating, holding and cooling in certain time intervals and cooling media. The purpose of this study was to determine the effect of heating temperature and cooling media on the hardness and microstructure of ST 41 steel. The hardening process was carried out at austenite temperatures (850°C, 900°C and 950°C) with a holding time of 15 minutes then cooled quickly using a cooling medium of distilled water, SAE oil 20W-50, and coconut water. The

test results show the optimum hardness value is 326.2 HV at 850°C heating temperature with water cooling media and a minimum hardness of 153.1 HV at 950°C heating temperature with SAE 20W-50 oil cooling media, while the results of microstructure testing after the hardening process show that the structure formed are martensite and bainite. From this study it can be concluded that the hardening process can increase the value of hardness in ST 41 steel.

Keywords: Hardening, Holding Time, Cooling Media, Hardness Value, Micro Structure.

DOI:10.20527/sjmekinematika.v5i1.136

How to cite:

Isworo, H., & Rahman N., "Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja ST 41 Metode Hardening", *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 5(1),37-50, 2020.

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, di suatu pihak menuntut tersedianya berbagai bahan dengan persyaratan yang semakin tinggi, agar dapat memenuhi kebutuhan manusia. Jika diamati, unsur logam tidak terlepas dari segala kebutuhan manusia, karena hampir semua alat yang digunakan manusia terbuat dari unsur logam. Logam digunakan dalam kalangan industri sebagai bahan baku dan bahan utama dalam operasional produksinya. Salah satu jenis logam yang banyak digunakan ialah baja karbon, terutama digunakan untuk membuat alat-alat perkakas, kebutuhan rumah tangga, komponen mesin-mesin industri seperti sekrup, rantai, gear, dan poros.

Baja ST 41 misalnya, memiliki komposisi kandungan karbon (C) sebesar 0,08% - 0,2%. Baja ST 41 merupakan termasuk salah satu dari jenis baja golongan baja karbon rendah. Baja ST 41 memungkinkan untuk dapat ditingkatkan lagi sifat mekaniknya. Usaha meningkatkan sifat logam agar lebih tahan terhadap tekanan atau gesekan dapat dilakukan dengan memberikan perlakuan panas, hal ini mempunyai peran penting dalam upaya meningkatkan ketangguhan serta kekerasan pada baja.

Proses perlakuan panas ialah sebuah metode pemanasan baja pada kondisi temperatur, waktu, dan media pendinginan tertentu. Tujuan perlakuan panas adalah untuk meningkatkan kekerasan, meningkatkan keuletan, menghaluskan butir kristal mengurangi tegangan internal, tegangan tarik logam, sesuai dengan yang dibutuhkan, tujuan tersebut akan dapat tercapai jika mengetahui dan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhinya seperti temperatur, waktu penahanan dan media pendinginan.

Tujuan dari penelitian ini adalah agar dapat mengetahui pengaruh temperatur pemanasan dan media pendingin terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja ST 41 dengan metode *hardening*.

Pengertian Baja

Baja merupakan salah satu jenis logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dengan unsur dasar besi (Fe) dan unsur utama paduannya unsur karbon (C). Persentase karbon dan struktur mikro merupakan hal yang sangat berpengaruh terhadap karakteristik sifat baja. Baja memiliki kandungan karbon berkisar antara 0,1% hingga 1,7% sesuai tingkatannya, adapun struktur mikro pada baja dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Pada proses pembuatan baja berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan dengan cara memvariasikan kandungan persentase karbon dan unsur paduannya, selain unsur besi (Fe) dan karbon (C) unsur paduannya seperti kromium (Cr), nikel (Ni), mangan (Mn), silikon (Si), titanium (Ti), cobalt (Co), tungsten (W), vanadium (V) dan unsur lainnya.

Baja ST 41

Baja ST 41 merupakan termasuk golongan baja karbon rendah (*low carbon steel*) karena kandungan komposisi karbon (C) sebesar 0,08%-0,2%. Dalam aplikasinya baja ST 41 biasa digunakan untuk penggunaan sekrup, rantai, gear, dan poros. Baja ST 41 memiliki bentuk struktur mikro ferrit dan perlit, dengan struktur ferrit yang lebih dominan dibandingkan perlit, [1]. Penamaan dari ST 41 sendiri memiliki makna ST berarti baja (Stahl), adapun angka 41 menunjukkan bahwa minimum ketangguhan kekuatan tarik (*tensile strength*) 41 kg/mm², juga dibatasi ke atas yaitu umumnya ≤ 50 kg/mm² [2].

Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Pada diagram ini dapat menunjukkan korelasi antara temperatur pemanasan lambat dan pendinginan lambat dengan kadar karbon yang dibatasi sampai 6,7%. Hal ini sangat penting difahami pada bidang metalurgi karena dapat dijadikan sebagai parameter untuk mengetahui perubahan-perubahan fasa dan faktor-faktor apa saja yang terjadi pada baja dengan berbagai jenis perlakuan, diagram fasa ini dapat digunakan untuk memudahkan memilih temperatur pemanasan dalam proses *annealing*, *normalizing* maupun proses *hardening*.

Gambar 1. Diagram Fasa Fe-Fe₃C [3]

Pada diagram dapat dilihat ada beberapa simbol yaitu ferrit (α), besi delta (δ) dan austenit (γ) sebagai larutan padat. Ferrit mempunyai struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*), besi delta (δ) mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*), austenite (γ) mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Fasa A1 merupakan perubahan fase pada baja hypoeutectoid dari austenit (γ) menjadi perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) atau disebut temperatur reaksi eutectoid. Fasa A2 merupakan perubahan dari titik curie sifat magnetik besi dari ferromagnetic ke paramagnetic. Fasa A3 merupakan perubahan dari fasa austenit (γ) ke ferrit (α). Fasa ACM merupakan temperatur perubahan dari fasa austenit (γ) menjadi sementit. Sedangkan pada fasa A123 merupakan temperatur perubahan austenit (γ) menjadi perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) untuk baja hypereutectoid.

Temperatur Austenisasi

Pada proses hardening temperatur pemanasan harus dilakukan sampai daerah austenit (γ) agar dapat melarutkan karbida sampai menjadi larutan austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit diperoleh dari austenit yang didinginkan secara cepat, dan temperatur ditahan selama beberapa waktu tertentu pada temperatur austenisasi agar austenit menjadi homogen, dalam proses hardening temperatur austenisasi yang dianjurkan adalah untuk baja hypereutectoid 300°C - 500°C di atas temperatur kritis A_1 , dan 200°C - 500°C di atas temperatur kritis A_3 untuk baja hypoeutectoid.

Gambar 2. Rentang temperatur austenisasi [4]

Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Sebuah proses pemanasan, penahanan dan pendinginan terhadap paduan atau logam yang diatur selama waktu tertentu serta dilakukan dalam keadaan padat dengan tujuan untuk memperoleh sifat tertentu pada baja agar meningkatkan sifat mekaniknya. Perlakuan panas (*heat treatment*) secara umum terdiri dari beberapa tahapan, diawali dengan pemanasan hingga ke temperatur tertentu, kemudian diikuti dengan penahan temperatur dan selanjutnya dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu.

Hardening

Hardening merupakan suatu proses perlakuan panas terhadap besi atau baja dengan tujuan meningkatkan kekerasan alami besi atau baja tersebut, proses pemanasan material dilakukan hingga mencapai temperatur austenisasi, diikuti penahanan temperatur untuk mendapatkan keadaan austenit yang homogen, dan berikutnya dilakukan pendinginan cepat dengan kecepatan pendinginan kritis agar mencapai suatu keadaan paksa bagi struktur hingga mencapai kekerasan pada material. Dari proses *hardening* bisa didapatkan struktur keras martensit melalui proses pendinginan cepat austenit [5]. Proses *hardening* dilakukan tanpa mengubah komposisi kimia secara keseluruhan dan dapat berguna memperbaiki kekerasan dari baja [6].

Holding Time

Waktu tahan (*holding time*) adalah suatu proses menahan temperatur di atas temperatur kritis pada temperatur austenisasi dengan tujuan mendapatkan hasil kekerasan maksimum dari suatu bahan atau material untuk memperoleh struktur austenit yang homogen dari kelarutan karbida atau sampai terjadi pendifusian unsur paduannya dengan karbon. Untuk menentukan rekomendasi waktu tahan (*holding time*) pada proses perlakuan panas dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 1. *Holding Time* [7]

<i>Steel Type</i>	<i>Holding Time</i>
<i>Low carbon steel</i>	5 – 15 minutes
<i>Medium alloy steel</i>	15 – 25 minutes
<i>Low alloy tool steel</i>	10 – 30 minutes
<i>High alloy tool steel</i>	10 – 60 minutes
<i>Hot work tool steel</i>	15 – 30 minutes

Quenching

Proses pendinginan cepat dilakukan setelah baja atau paduan mengalami proses *heat treatment* (perlakuan panas) dengan tujuan untuk mencapai terbentuknya struktur martensit. Air, minyak, oli dan air garam merupakan media pendingin yang sering digunakan pada proses perlakuan panas, yang memiliki viskositas lebih rendah akan memberikan laju pendinginan kritis sehingga akan mendapatkan kekerasan yang lebih tinggi. Untuk mempermudah dalam mengidentifikasi struktur yang terjadi setelah perlakuan panas maka dapat dilihat pada diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT) yang dapat digunakan untuk memprediksi struktur yang terbentuk, diagram ini menggambarkan hubungan laju pendinginan dengan struktur yang akan terbentuk setelah terjadi transformasi fasa.

Gambar 3. Diagram *Continuous Cooling Transformation* [3]

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan kemampuan material terhadap gaya pembebanan pada permukaan benda uji ketika perlakuan penekanan tertentu diberikan. Uji kekerasan standar dilakukan dengan menekan indenter ke permukaan logam secara hati-hati dengan posisi tegak lurus, dan nilai kekerasan dapat dianalisis dari besarnya gaya yang diberikan terhadap kedalaman bekas penekanan dan diameter lekukan atau dapat terbaca dari pembacaan skala.

Pengujian kekerasan dapat dilakukan menggunakan alat uji *portable hardness tester*. Jenis material dapat diatur berdasarkan jenis logamnya. Nilai kekerasan diperoleh berdasarkan hasil penekanan indenter pada permukaan material uji dan nilai kekerasan dapat terbaca yang ditunjukkan pada layar digital. Satuan skala dapat dikonversikan sesuai dengan yang diinginkan seperti HL, HRA, HRB, HRC, HV atau HS.

Pengujian Mikro Struktur

Pengujian mikro struktur bertujuan untuk menganalisa gambar bentuk struktur mikro serta arah perubahan yang terbentuk akibat proses perlakuan panas, pendekatan dilakukan dengan analisa kemiripan warna dan bentuk pada struktur mikro yang dapat digunakan untuk mendukung hasil dari pengujian kekerasan. Sebelum pengamatan struktur mikro dilakukan beberapa proses persiapan yakni pemotongan (*sectioning*), pengamplasan (*grinding*), pemolesan (*polishing*), dan pengetsan (*etching*).

Tabel 2. Daftar *Etching Reagent* untuk Besi Tuang dan Baja [8]

No	Nama	Komposisi	Cara	Penggunaan
Mikro				
1.	<i>Nital</i>	HNO ₃ : 1–5 ml Alkohol (95%): 100 ml	Beberapa detik sampai 1 menit	Baja karbon
2.	<i>Pioral</i>	<i>Pidric acid</i> : 49 Alkohol (95%) 100 ml	Beberapa detik sampai 1 menit	Baja karbon dan <i>low-alloy</i> , <i>heat treatment</i>
3.	<i>Aqua regia</i>	HNO ₃ : 20 ml HCl: 50 ml	Beberapa detik	<i>Stainless steel</i>
Makro				
1.	<i>Hydrosinioric acid</i>	HCl: 50 ml H ₂ O: 50ml	1 – 30 menit pada temperatur 73°C	<i>Crock porosity</i> dan <i>depth of</i> <i>hardness</i>
2.	<i>Nitric acid</i>	HNO ₃ : (5–10 %) dalam H ₂ O	3 – 60 detik setelah grinding baja	Struktur las- lasan

METODE PENELITIAN

Peralatan

Berikut peralatan yang digunakan:

1. *Furnace listrik type 5x-5-12D*
2. *Portable hardness tester digital MITECH MH600*
3. Mikroskop digital USB
4. Mesin amplas
5. Penjepit
6. Sarung tangan
7. Tempat media pendingin (gelas ukur plastik)

Bahan

Berikut bahan-bahan yang digunakan:

1. Baja ST 41
2. Aquades
3. Oli SAE 20W-50
4. Air kelapa tua
5. Kertas amplas (60, 80, 100, 240, 320, 400, 500, 800, 1000, 1200, 1500, 2000) mesh
6. Autosol
7. Asam Nitrat (HNO₃)
8. Alkohol 95%

Diagram Alir Penelitian

Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Persiapan Sampel

Material dasar pada penelitian ini yaitu baja ST 41 dengan bentuk silinder pejal berukuran diameter 25,4 mm dan tebal 15 mm.

Gambar 5. (a) Ukuran Sampel, (b) Baja ST 41

Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas dilakukan menggunakan *furnace type 5x-5-12D* dengan tahapan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pemanasan (*heating*) dilakukan untuk merubah struktur material ke fasa austenit, pada penelitian ini menaikkan temperatur hingga (850°C, 900°C, dan 950°C).
2. Waktu tahan (*holding time*) setelah tercapai temperatur austenisasi selanjutnya dilakukan waktu penahanan (*holding time*) dengan waktu 15 menit.
3. Pendinginan cepat (*quenching*) yang digunakan menggunakan media yaitu aquades, oli SAE 20W-50 dan air kelapa. Pada saat proses *quenching* spesimen dicelupkan dengan posisi berdiri atau berdiri, agar hasil *quenching* merata dan didapatkan hasil kekerasan yang baik.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat *portable hardness tester digital* Mitech MH600 pada tiga titik yang berbeda.

Gambar 6. *Portable hardness tester digital*

Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop digital USB melalui proses *metallography*, dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pengamplasan (*grinding*) menggunakan kertas amplas secara berurutan mulai dari yang kertas amplas yang kasar sampai yang halus, pada saat proses *grinding* di aliri air secara terus menerus agar tidak panas dan menghilangkan bahan *abrasive* yang menempel pada sampel.
2. Pemolesan (*polishing*) menggunakan *autosol metal polish* serta kain halus untuk menghilangkan sisa goresan dan debu agar didapat permukaan yang sangat halus hingga tampak mengkilap.
3. Pengetsan (*etching*) proses ini dilakukan dengan mencelupkan sampel uji ke dalam larutan etsa *nital* dengan komposisi asam nitrat (HNO_3) 5 ml dan alkohol 95% 100 ml selama 30 detik, kemudian di bersihkan menggunakan alkohol dan keringkan menggunakan mesin pengering *dryer*, dan selanjutnya dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop digital USB.

Gambar 7. Mikroskop digital USB

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian dilakukan menggunakan alat uji mikroskop digital USB dengan pembesaran 400X. Adapun material dasar yang digunakan adalah baja ST 41 di etsa menggunakan larutan *nital* dengan komposisi HNO_3 (asam nitrat) 5 ml dan alkohol 95% 100 ml. Pengamatan struktur mikro pada baja ST 41 dilakukan sebelum dan sesudah proses *hardening*.

Gambar 8. Struktur mikro dengan media pendingin aquades pada temperatur pemanasan
(a) *raw material*, (b) 850°C, (c) 900°C, (d) 950°C

Pada gambar 8a merupakan *raw material* mempunyai fasa ferrit dan perlit dengan fasa ferrit (warna putih) lebih dominan dibandingkan dengan perlitnya (warna hitam) pada batas butir, pada gambar 8b temperatur 850°C fasa yang terbentuk merupakan fasa martensit, bainit dan ferrit dimana struktur halus martensit yang mendominasi pada permukaan, pada gambar 8c temperatur 900°C fasa yang terbentuk merupakan fasa martensit, bainit dan ferrit

dimana persebaran martensit tidak merata, dan 8d temperatur 950°C fasa yang terbentuk juga fasa martensit, bainit dan ferrit tetapi dengan jumlah martensit yang lebih sedikit serta ferrit yang lebih banyak.

Secara garis besar terlihat bahwa pengaruh variasi temperatur dimana semakin tinggi temperatur pemanasan maka kandungan martensit yang terbentuk semakin sedikit, hal ini disebabkan karena difusi yang terjadi masih belum sempurna pada proses pemanasan yang cepat, sehingga menyebabkan keadaan austenit yang belum mencapai homogen dan martensit yang tidak merata dengan kekerasan yang berbeda karena banyak tersisa austenit yang tidak bertransformasi (*retained austenite*).

Gambar 9. Struktur mikro dengan media pendingin oli pada temperatur pemanasan
(a) *raw material*, (b) 850°C, (c) 900°C, (d) 950°C

Pada gambar 9a sebelum perlakuan panas (*raw material*) mempunyai fasa ferrit dan perlit dengan ferrit (warna putih) lebih dominan dibandingkan dengan struktur perlit (warna hitam) pada batas butir, pada gambar 9b temperatur 850°C fasa yang terbentuk merupakan fasa ferrit dan perlit bentuk bainit dengan serpihan pelat, pada gambar 9c temperatur 900°C fasa yang terbentuk berupa ferrit dan perlit bentuk bainit-ferrit dengan besar butir tidak merata, dan pada gambar 9d temperatur 950°C fasa yang terbentuk berupa ferrit dan perlit bentuk butiran ferrit yang lebih besar ditandai dengan warna putih.

Secara garis besar pada gambar 9 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur maka struktur ferrit yang terbentuk semakin besar, sehingga dapat menurunkan nilai kekerasan, hal ini disebabkan karena setelah proses pemanasan pada temperatur austenisasi kemudian dilakukan *quenching* pada media oli yang memiliki viskositas lebih besar menjadikan proses pendinginan yang lambat sehingga dari fasa austenit dapat bertransformasi menjadi ferrit dan perlit. Hal ini berdasarkan diagram *continuous cooling transformation* pada gambar 3 menunjukkan pengaruh waktu kecepatan pendinginan terhadap temperatur perlakuan panas pada logam, waktu kecepatan pendinginan di bawah 10^4 detik mempunyai fasa ferrit dan perlit.

Gambar 10. Struktur mikro dengan media pendingin air kelapa pada temperatur pemanasan
(a) *raw material*, (b) 850°C, (c) 900°C, (d) 950°C

Pada gambar 10a sebelum perlakuan panas (*raw material*) mempunyai fasa ferrit dan perlit dengan ferrit (warna putih) lebih dominan dibandingkan dengan struktur perlitnya (warna hitam), pada gambar 10b temperatur 850°C fasa yang terbentuk merupakan fasa martensit-bainit dan ferrit dengan persebaran martensit yang rapat, pada gambar 10c temperatur 900°C fasa yang terbentuk merupakan fasa martensit-bainit dan ferrit dengan persebaran martensit tidak merata serta butiran ferrit yang besar, dan pada gambar 10d temperatur 950°C fasa yang terbentuk merupakan fasa martensit-bainit dan ferrit dengan persebaran martensit tidak merata dan butiran ferrit lebih besar ditandai dengan warna putih. Secara garis besar terlihat bahwa pengaruh variasi temperatur dimana semakin tinggi temperatur pemanasan maka kandungan martensit yang terbentuk semakin sedikit, hal ini disebabkan karena difusi yang terjadi masih belum sempurna pada proses pemanasan yang cepat, sehingga menyebabkan keadaan austenit yang belum mencapai homogen dan martensit yang tidak merata dengan kekerasan yang berbeda karena banyak tersisa austenit yang tidak bertransformasi (*retained austenite*).

Hasil Pengujian Kekerasan

Proses pengambilan data uji kekerasan menggunakan alat *portable hardness tester digital* Mitech MH600 pada material baja ST 41 sebelum perlakuan panas (*raw material*) dan setelah proses *hardening*, titik yang diuji pada sampel sebanyak 3 titik yang berbeda pada setiap masing-masing jenis pendinginan dan variasi temperatur pemanasan.

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan baja ST 41

No Kode		Hardening			Uji Kekerasan (HV)			Rata- Rata
		Temperatur (⁰ C)	Holding Time (Menit)	Quenching	1	2	3	
1	A	850	15	Aquades	316	336	327	326,2
				Oli SAE 20W-50	171	161	172	168
				Air Kelapa	280	297	273	283,3
2	B	900	15	Aquades	320	317	319	318,8
				Oli SAE 20W-50	158	160	152	156,4
				Air Kelapa	276	272	268	272
3	C	950	15	Aquades	309	308	310	309
				Oli SAE 20W-50	155	151	154	153,1
				Air Kelapa	222	224	214	220,1
4		Raw material			148	150	151	149,7

Gambar 11. Grafik hubungan pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap nilai kekerasan

Pada grafik dapat dilihat bahwa adanya pengaruh nilai kekerasan pada baja ST 41 dari *raw material* terhadap material yang dilakukan proses *hardening* menggunakan variasi temperatur pemanasan (850°C, 900°C dan 950°C) dan media pendingin (aquades, oli SAE 20W-50, dan air kelapa). Pada temperatur 850°C menggunakan media pendingin aquades didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 326,2 HV, dengan media pendingin oli SAE 20W-50 didapatkan nilai kekerasan sebesar 168 HV, dan dengan media pendingin air kelapa didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 283,3 HV. Pada temperatur 900°C menggunakan media pendingin aquades didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 318,8 HV, dengan media pendingin oli SAE 20W-50 didapatkan nilai kekerasan sebesar 156,4 HV, dan dengan media pendingin air kelapa didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 272 HV. Sedangkan pada temperatur 950°C menggunakan media pendingin aquades didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 309 HV, dengan media pendingin oli SAE 20W-50 didapatkan nilai kekerasan sebesar 153,1 HV, dan dengan media pendingin air kelapa didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 220,1 HV. Sedangkan pada *raw material* mempunyai nilai kekerasan rata-rata sebesar 149,7 HV.

Secara garis besar semakin tinggi temperatur maka nilai kekerasan rata-rata semakin turun, dari analisa hasil pengujian pada baja ST 41 melalui struktur mikro, pada temperatur 850°C memiliki martensit yang lebih dominan sehingga nilai kekerasan rata-rata semakin tinggi, sedangkan pada temperatur 900°C dan 950°C mempunyai jumlah martensit yang lebih sedikit maka nilai kekerasannya juga semakin menurun. Dari temperatur rendah ke tinggi mengalami penurunan pada nilai kekerasan. Hal ini disebabkan karena proses pemanasan tidak mencapai keadaan austenit yang homogen dan saling berhubungan sehingga pada saat pendinginan cepat diperoleh martensit yang tidak sama dengan kekerasan yang berbeda dan mengakibatkan tidak tercapainya kekerasan yang maksimum, struktur martensit mempunyai peranan penting pada sifat mekanik suatu material yaitu dapat meningkatkan nilai kekerasan semakin banyak kandungan martensit pada suatu bahan maka semakin tinggi nilai kekerasan yang diperoleh. Ketangguhan impak meningkat dengan semakin tingginya temperatur, ketangguhan impak pada suatu material akan memberikan pengaruh terhadap kekerasan. Semakin tinggi ketangguhan impak maka kekerasan akan menurun [9].

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa hasil pengamatan dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Struktur mikro baja ST 41 setelah proses *hardening* menunjukkan adanya perubahan dari struktur *raw material* dengan fasa ferrit-perlit menjadi martensit-bainit, struktur martensit terbanyak pada temperatur pemanasan 850°C menggunakan media pendingin aquades, akan tetapi semakin tinggi temperatur pemanasan maka martensit yang terbentuk lebih sedikit. Hal ini disebabkan karena difusi yang terjadi masih belum sempurna pada saat proses pemanasan yang cepat, sehingga menyebabkan keadaan austenit yang belum mencapai homogen, temperatur sangat berperan dalam hal ini apabila austenit yang belum mencapai homogen ini dilakukan *quenching* maka akan memperoleh martensit yang tidak merata dengan kekerasan yang berbeda.
2. Nilai kekerasan baja ST 41 setelah proses *hardening* menunjukkan adanya peningkatan kekerasan dari pada *raw material*, semakin tinggi temperatur pemanasan maka nilai kekerasan rata-rata semakin menurun dan media pendingin yang memiliki viskositas yang lebih rendah memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi, adapun nilai kekerasan rata-rata tertinggi didapat pada temperatur pemanasan 850°C dengan media pendingin aquades sebesar 326,2 HV, sedangkan pada kondisi *raw material* nilai kekerasan rata-rata sebesar 149,7 HV.

REFERENSI

- [1] H. Purwanto, *Diktat Material Teknik*. Semarang: Teknik Mesin UNWAHAS, 2012.
- [2] A. Mustofa, S. Jokosisworo, and A. Wibawa Budi S., “Jurnal teknik perkapalan,” *Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 2, pp. 199–206, 2018.
- [3] W. D. Callister, *Materials science and engineering: An introduction (8th edition)*, vol. 12, no. 1. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- [4] F. . Campbell, *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. SM International, 2008.
- [5] R. Adawiyah, Murdjani, and A. Hendrawan, “Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Strukturmikro Dan Kekerasan Pegas Daun Dalam Proses Hardening,” *Poros Tek.*, vol. 6, no. 2, pp. 88–95, 2014.
- [6] M. Bahtiar and Supramono, “Pengaruh media pendingin minyak pelumas sae 40 pada proses quenching dan tempering terhadap ketangguhan baja karbon rendah,” 2014.
- [7] A. Pramono, “Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprocket Rantai,” *J. Ilm. Tek. Mesin Cakra M*, vol. 5, no. 1, pp. 32–38, 2011.
- [8] *ASM Handbook Volume 9 Metallography and Microstructures*. 2004.
- [9] I. K. Suarsana, I. N. Santhiarsa, and D. P. Negara, “Pengaruh Perlakuan Temperatur dan Media Pendinginan Terhadap Sifat Ketangguhan Baja AISI 3215,” *J. METTEK*, vol. 4, no. 1, p. 23, 2018, doi: 10.24843/mettek.2018.v04.i01.p04.