

## Studi Pengaruh Variasi Media Pendingin Quenching dan Waktu Penahanan pada Proses Heat Treatment terhadap Kekerasan Baja AISI 1045

Pelangi Eka Yuwita\*, Ahsanul Habib, Rizka Nur Faila  
Teknik Mesin, Universitas Nahdaltul Ulama Sunan Giri,  
Jl. Ahmad Yani, No. 10, Bojonegoro, Jawa Timur 62115  
\*E-mail: pelangi.ardata@gmail.com

Diajukan: 12-09-2023; Diterima: 17-04-2024; Diterbitkan: 29-04-2024

### Abstrak

Baja merupakan logam yang banyak digunakan sebagai bahan industri mesin, salah satunya yaitu baja AISI 1045. Baja AISI 1045 memiliki kandungan karbon sebesar 0,45% dan tergolong dalam jenis baja *medium*. Penerapan baja tersebut yaitu sebagai bahan dasar *connecting rod*, roda gigi, *bearing* serta poros, yang mana dalam pengopreasiannya mendapatkan gesekan serta tekanan yang menyebabkan keausan. Oleh karena itu, sangat diperlukan peningkatan sifat mekanik baja yaitu kekerasan dengan cara membentuk fasa *martensit* yang dominan. Salah satu upaya meningkatkan kekerasan dari baja perlu dilakukan proses *heat treatment*. Dalam penelitian ini dilakukan proses *heat treatment* pada temperature 920°C dengan variasi media pendingin (udara, oli SAE 15-50, air garam) dan variasi *holding time* (20 menit, 30 menit, 40 menit). Selanjutnya di lakukan pengujian kekerasan menggunakan *rockwell hardness test* (HRB) untuk menyatakan nilai kekerasan. Hasil pengujian selanjutnya dibandingkan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang optimal. Hasil rata – rata kekerasan *raw material* yaitu sebesar 88,2 HRB. Selanjutnya nilai rata-rata kekerasan paling tinggi di dapatkan pada waktu penahanan 40 menit dengan media pendingin *quenching* air garam sebesar 110,32 HRB dimana terjadi kenaikan dari *raw material* sebesar 25%. Sedangkan nilai kekerasan rata-rata paling rendah didapatkan pada waktu penahanan 20 menit dengan media *quenching* udara sebesar 88,9 HRB.

**Kata kunci:** Baja AISI 1045; *Holding time*; *Heat treatment*; Media peningin; Sifat mekanis; *Quenching*.

### Abstract

Steel is a metal that is widely used as a material for the machinery industri, one of which is AISI 1045 steel. AISI 1045 steel has a carbon content of 0.45% and is classified as a medium steel type. The application of steel is as the basic material for connecting rods, gears, bearings and shafts, which in their operation get friction and pressure that causes wear. Therefore, it is very necessary to increase the mechanical properties of steel, namely hardness, by forming a dominant martensite phase. One effort to increase the hardness of steel requires a heat treatment process. In this study, a heat treatment process was carried out at a temperature of 920 ° C with variations in cooling media (air, SAE 15-50 oil, salt water) and variations in holding time (20 minutes, 30 minutes, 40 minutes). Furthermore, hardness testing is carried out using the rockwell hardness test (HRB) to determine the value of violence. The test results are then compared to obtain the optimal hardness value. The average result of raw material hardness is 88.2 HRB. Furthermore, the highest average hardness value was obtained at a holding time of 40 minutes with salt quenching cooling media of 110.32 HRB where there was an increase from raw material by 25%. While the lowest average hardness value was obtained at a detention time of 20 minutes with air quenching media of 88.9 HRB.

**Keywords:** AISI 1045 steel; *Holding time*; *Heat treatment*; Mechanical properties; *Quenching*; Wanting media.

### 1. Pendahuluan

Kemajuan sektor industri di Indonesia maupun di berbagai belahan dunia tidak dapat terhindar dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. (IPTEK). IPTEK merupakan faktor utama yang sangat mendukung dalam berkembangnya industri. Ilmu pengetahuan dan teknologi salah satunya adalah ilmu metalurgi atau pengolahan dan pemilihan logam yang merupakan pokok utama penunjang operasional [1]. Metalurgi dalam dunia industri memiliki peranan penting, khususnya industri mesin [2]. Pemilihan jenis logam dengan sifat unggul tertentu dan proses produksi yang sistematis akan menentukan kualitas produk dan biaya produksi. Setiap bahan memiliki sifat khusus seperti sifat fisik, mekanik, termal, dan sebagainya. Oleh karena itu, dalam pembuatan suatu elemen mesin yang terbuat dari logam sebagai bahan dasarnya, sifat-sifat logam tersebut harus disesuaikan dengan fungsi dan penggunaan elemen mesin tersebut. Salah satu logam yang digunakan paling banyak dalam dunia industri dan konstruksi adalah baja [3].

Logam jenis baja banyak digunakan karena sifatnya yang keras, kuat, ulet dan juga mempunyai titik lebur pada suhu tinggi [3]. Baja sering digunakan di sektor industri karena merupakan material yang ideal untuk konstruksi dan elemen mesin yang mendukung operasional industri. Baja adalah sejenis senyawa logam yang terdiri dari dasar unsur besi (Fe) dan utama yaitu karbon (C), dengan besi sebagai komponen dasar dan karbon sebagai komponen utama dalam komposit [4]. Baja karbon dapat dikelompokkan menjadi tiga kelas, untuk menjadi baja karbon tinggi, baja karbon sedang, dan baja karbon rendah [5]. Kekuatan baja lebih tinggi dibanding besi karena telah dicampur dengan komponen karbon dan berbagai bahan lainnya agar sesuai dengan kebutuhan dan fungsi dari baja tersebut.

Dalam dunia industri baja banyak digunakan sebagai bahan pembuatan komponen otomotif pada kendaraan [6]. Salah satu dari sekian banyak baja yang digunakan dalam bidang konstruksi maupun permesinan adalah baja karbon AISI 1045 [7]. Logam baja dengan spesifikasi kadar karbon sedang (*medium*) seperti baja AISI 1045 mempunyai sifat mampu tempa atau mampu mesin serta mempunyai sifat terhadap ketahanan aus yang cukup baik dan sifat mekaniknya menengah [3]. Baja AISI 1045 umumnya disebut baja karbon yang didasarkan pada terminologi yang ditetapkan oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineering*). Ini banyak digunakan di pasaran karena memiliki kelebihan dan termasuk dalam kategori baja karbon *medium*, yang mempunyai kandungan karbon *medium* antara 0,42 – 0,50 % C [6].

Penggunaan baja yang tergolong baja *medium* salah satunya baja karbon [7] AISI 1045 dalam bidang otomotif yaitu sebagai bahan dasar dalam produksi elemen mesin seperti stang piston (*connecting rod*), poros dan roda gigi pada kendaraan [8]. Roda gigi adalah elemen mesin putar yang memiliki tugas penting untuk mentransmisikan daya. Dalam pengoperasiannya roda gigi akan saling bersinggungan dengan roda gigi lain atau dengan elemen mesin lain seperti rantai (*chain*), sehingga menimbulkan menimbulkan gesekan antar permukaan roda gigi [9]. Hal tersebut menyebabkan dalam penggunaan mesin, kegagalan atau kerusakan suatu komponen mesin dapat terjadi, kegagalan tersebut dapat berupa aus, retak, bengkok yang diakibatkan oleh berbagai sebab seperti, cacat material dan waktu penggunaan. Sesuai dengan fungsinya material baja yang digunakan sebagai elemen mesin tersebut harus memiliki kekerasan tinggi supaya ketahanan aus yang lebih baik agar dapat menahan keausan akibat bergesekan serta beban tekanan agar dapat mentransmisikan daya dengan baik. *Obstruksi* keausan dapat dicirikan sebagai perlindungan dari titik tergores dan oposisi komponen mesin terhadap penurunan berlapis yang disebabkan oleh penggilingan yang terjadi antara permukaan tertentu pada suatu item, yang secara keseluruhan oposisi keausan secara langsung relatif terhadap kekerasan [10].

Pemaparan fenomena yang terjadi dilapangan dalam penggunaan komponen atau elemen mesin yang berbahan dasar material logam baja AISI 1045 terbatas oleh kegagalan suatu elemen mesin yang disebabkan oleh beban personal ataupun beban mekanik. Saat pengoperasiannya elemen mesin akan terus menerima beban berulang dengan intensitas beban yang berbeda. Kelelahan yang akhirnya menyebabkan kegagalan atau kerusakan pada elemen mesin apabila beban yang diterima oleh suatu elemen mesin tersebut lebih besar dari kemampuan dasar elemen mesin.

Penelitian terkait rekayasa material logam juga selama ini masih perlu dilakukan untuk mendapatkan suatu formula karakteristik yang memenuhi kriteria yang diinginkan, seperti melalui rekayasa proses heat treatment, metal working, metal forming maupun casting. Heat treatment merupakan salah satu proses rekayasa material yang sampai saat ini masih banyak dilakukan oleh beberapa peneliti [11]. Penelitian yang telah dilakukan oleh Syahri dll [12], menunjukkan bahwa untuk mengembangkan sifat mekanis material dapat dilakukan dengan cara memberikan *heat treatment* terhadap logam tersebut. Siklus ini menggabungkan pemanasan temperatur tertentu pada material, penahanan untuk jangka waktu tertentu, dan di *quenching* melibatkan media pendingin tertentu. *Quenching* terdiri dari dengan memberikan perlakuan intensitas pada logam baja ke suhu pematannya (*suhu austenisasi*) dan ditahan pada suhu itu untuk jangka waktu yang telah ditentukan dan setelah itu didinginkan dengan cepat dengan media pendingin. Alasan untuk memberikan perlakuan

panas pada material dan memberikan penahanan pada temperatur *austenisasi* yaitu untuk melarutkan *cementit* kedalam *austenit* yang selanjutnya diteruskan dengan proses *quenching*. Salah satu proses pemberian perlakuan panas dengan cara pendinginan secara cepat yang akan mengakibatkan adanya percepatan proses pendinginan pada suatu material yang disebut *quenching*, dari temperatur *austenit* menjadi *fasa martensite*. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil dari nilai kekerasan suatu material dalam suatu proses *heat treatment* antara lain adalah komposisi kimia, cairan pendinginan, langkah perlakuan panas, temperatur pemanasan, dan waktu penahanan [6]. Berdasarkan beberapa penelitian yang sudah dilakukan, pemberian perlakuan panas pada suatu material dapat memperbaiki sifat mekanik suatu material agar sesuai dengan fungsi dan penggunaannya. Selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan nilai yang optimum berdasarkan parameter proses perlakuan panas yang tepat. Maka dilakukan penelitian dengan memberikan pengaruh variasi media pendingin *quenching* dan waktu penahanan pada proses *heat treatment* terhadap kekerasan baja AISI 1045, dengan harapan dapat ditentukannya parameter media pendingin dan waktu penahanan yang sesuai dengan penggunaan material untuk memperbaiki sifat mekanik suatu material. Sifat mekanik yang dimaksud yaitu berupa kekerasan agar mendapatkan ketahanan terhadap aus yang lebih baik.

## 2. Metodologi

### 2.1. Baja AISI 1045

Baja karbon AISI 1045 adalah salah satu jenis baja karbon sedang dengan kandungan karbon di dalamnya antara 0,43% - 0,50% C dan merupakan baja yang umumnya digunakan dan normal di pasaran karena menikmati beberapa manfaat. Baja yang termasuk dalam kategori ini memiliki sifat mekanik sedang, ketahanan aus yang sangat baik, dan kemampuan mesin yang baik [13].

**Tabel 1.** Komposisi kimia baja AISI 1045 [14]

<i>Element</i>	<i>Percentage (%)</i>
<i>Nickle (Ni) max</i>	0.25
<i>Silicon (Si)</i>	0.17-0.37
<i>Sulphur (S) max</i>	0.035
<i>Chromium (Cr) max</i>	0.25
<i>Phosporus (P) max</i>	0.035
<i>Carbon (C)</i>	0.42-0.50
<i>Manganese (Mn) 0.50-0.80</i>	0.50-0.80

### 2.2. Desain Penelitian

Metode yang dilakukan adalah *experiment* dengan maksud dan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin *quenching* dan waktu penahanan pada proses *heat treatment* terhadap kekerasan baja AISI 1045. Langkah awal yang dilakukan yaitu melakukan pemotongan specimen uji dengan ukuran 6 cm x 4 cm menggunakan *automatic swing machine*, setelah itu dilakukan proses *heat treatment* pada temperatur 920° menggunakan *furnace* pada temperature *austenisasi* dengan variasi media pendingin (udara, oli SAE 15W-50, air garam) dan variasi *holding time* (20 menit, 30 menit, 40 menit). Proses pemanasan sampel emnggunakan *furnace* ditunjukkan pada Gambar 1.

Setelah itu spesimen uji di *quenching* secara cepat. Pendinginan cepat bertujuan untuk merubah struktur *austenit* yang homogen berubah menjadi struktur *martensit* agar memiliki sifat kekerasan tinggi agar diperoleh ketahanan aus yang baik. Adapun media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah udara, air garam dan oli SAE 15W-50. Pada umumnya pendinginan dengan udara sering digunakan untuk pendinginan lambat, namun *quenching* adalah proses pendinginan cepat dengan mengatur laju pendinginan pada benda kerja. Jadi pendinginan udara bisa saja digunakan dalam

metode *quenching* dengan cara disirkulasikan. Dengan mensirkulasikan udara pada benda kerja hal tersebut dapat dengan cepat mempercepat perpindahan kalor dari benda kerja.

Setelah dilakukan pembuatan spesimen uji dengan proses *heat treatment* maka dipastikan kelayakan pada benda kerja agar terhindar dari cacat pada material seperti retak. selanjutnya dibuat spesimen uji dan dilakukan pengujian kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 2.



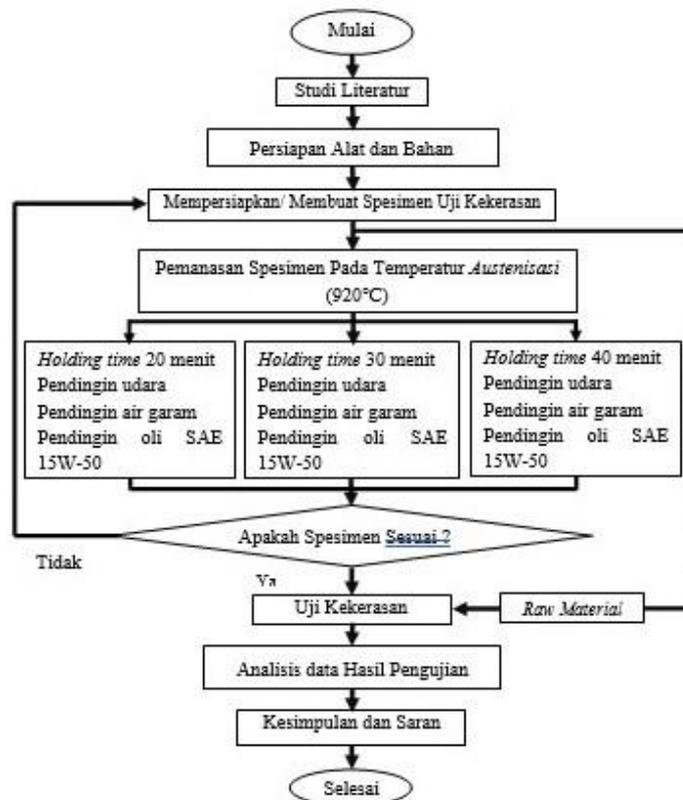
**Gambar 1.** Pemanasan Bahan Uji menggunakan *Furnace*



**Gambar 2.** Bahan Uji untuk Pengujian Kekerasan

Selanjutnya, langkah yang dilakukan adalah melakukan pengujian kekerasan *rockwell hardness test* (HRB) yang dilakukan pada 4 titik pengujian dan dilakukan pengambilan nilai rata-rata kekerasan untuk menyatakan nilai kekerasan dan dilakukan analisis data penelitian.

Desain penelitian terkait dengan metodologi penelitian yang akan dilakukan diharapkan akan lebih terarah untuk mencapai tujuan. Desain penelitian dari awal hingga akhir pada penelitian ini diuraikan dalam bentuk diagram alir penelitian sebagai berikut.



**Gambar 3.** Diagram Alir Penelitian

### 2.3. Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan material diselesaikan untuk memutuskan dampak varietas dalam media pendingin dan menahan waktu pada proses perlakuan panas terhadap kekerasan material. Dengan tes ini, sangat mudah diketahui penggambaran sifat mekanik suatu bahan. Pengujian kekerasan dilakukan pada 4 fokus pada setiap contoh dan nilai khas kekerasan dianggap cukup sah untuk mengkomunikasikan kekuatan suatu material. Dengan dilakukannya uji kekerasan, material dapat dengan mudah didelegasikan lentur atau keras, sehingga dalam tinjauan ini pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan uji kekerasan *rockwell*. Pengujian kekerasan menggunakan rencana uji *kekerasan rockwell* untuk menentukan tingkat kekerasan suatu material sebagai perlindungan material dari indenter sebagai bola baja atau kerucut permata yang ditekan pada lapisan luar bahan uji / contoh.

Langkah pengujian kekerasan *Rockwell Hardnes test* adalah sebagai berikut:

1. Baja AISI 1045 yang telah diproses *heat treatment*.
2. Persiapan anvil (landasan uji) padaudukannya.
3. Pasangkan penetrator berbentuk bola baja/ kerucut intan.
4. Pilih beban pada angka 100 Pa.
5. Putar *handwell* perlahan hingga penetrator menyentuh benda kerja dan kencangkan hingga posisi jarum kecil berada pada titik merah lalu atur jarum utama menunjuk angka 0.
6. Tarik tuas *loading* dan biarkan mesin berproses hingga jarum *dial* berhenti selanjutnya tekan tuas *unloading*.
7. Baca harga kekerasan benda yang dilakukan pengujian dari angka yang ditunjukkan oleh jarum utama pada *dial* kemudian catat data hasil pengujiannya.
8. Putar kembali *handwell* perlahan - lahan ke posisi semula dan atur penetratornya pada spesimen uji yang belum mengalami proses pengujian, lalu ulangi langkah tersebut pada poin 5-8.
- 9.



**Gambar 4.** *Rockwell Hardness test*

### 3. Hasil dan pembahasan

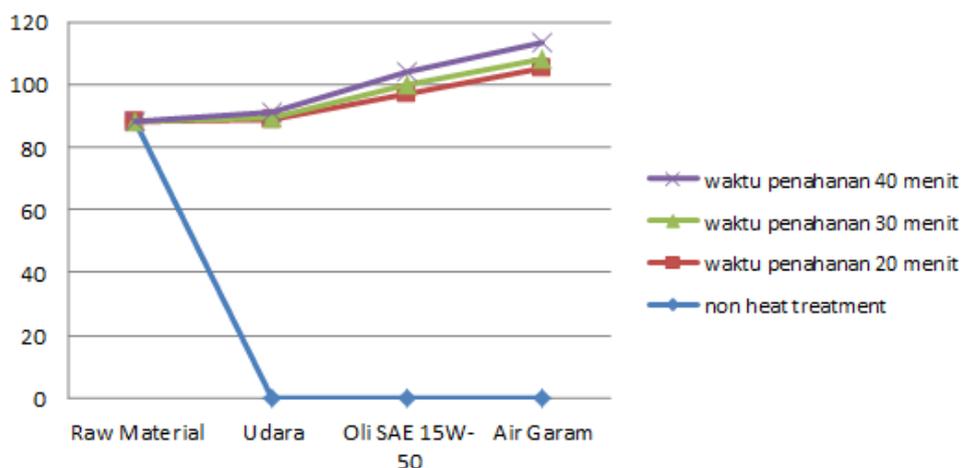
Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material plat baja AISI 1045 yang belum menerima proses perlakuan panas dan yang sudah menerima perlakuan panas dengan variasi *holding time* (20 menit, 30 menit, 40 menit) dan media pendingin *quenching* (udara, air garam dan oli SAE 15W-50). Hasil pengujian kekerasan terhadap seluruh spesimen uji pada variasi proses perlakuan panas harus menunjukkan nilai kekerasan untuk menyatakan spesifikasi nilai kekerasan pada plat baja AISI 1045. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pada titik berbeda dan diambil nilai rata-rata. Hasil pengujian kekerasan material akan disajikan dalam tabel 2. sebagai berikut.

**Tabel 2.** Data Hasil Uji Kekerasan (HRB)

Media Pendingin	Waktu Penahanan	No.Spesimen	Titik Pengujian				Rata-rata
			1	2	3	4	
,-	,-	1	87,8	88,3	88,5	88,3	88,2
Udara	20	2	88,3	88,5	89,5	89,3	88,9
	30	3	88,5	89,5	88,8	90,3	89,2
	40	4	91,8	90	91,5	90,6	90,9
	20	5	105,3	104,5	105,5	105	105,0
Air Garam	30	6	108,3	108	108,5	108,5	108,3
	40	7	110	110,5	110,3	110,5	110,3
	20	8	97,7	96,5	97	97,5	97,1
Oli SAE 15W-50	30	9	99,5	99,8	100	99,4	99,6
	40	10	101	102	101,5	101,7	101,5

*Raw material* baja AISI 1045 sebelum dilakukan proses *heat treatment* hanya mendapatkan nilai rata-rata kekerasan sebesar 88,2 HRB. Nilai kekerasan tersebut dipengaruhi oleh unsur kimia yang terdapat pada baja. Berikutnya setelah baja diberikan proses *heat treatment quenching* pada temperatur *austenisasi* (920°C) dengan variasi media pendingin (udara, oli SAE 15W-50, air garam) serta variasi *holding time* (20 menit, 30 menit, 40 menit) nilai kekerasannya meningkat. Hal ini disebabkan karena perubahan dari fasa *austenite* menjadi *martensit*.

Penambahan waktu penahanan pada proses *heat treatment* mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan pada benda kerja. Hal ini menunjukkan bahwa *holding time* sangat berpengaruh terhadap difusi karbon dan transformasi fasa pada unsur lainnya yang terdapat pada baja. Dibuktikan dari seiring bertambahnya waktu penahan saat proses *heat treatment* sampai pada puncaknya yaitu selama 40 menit. Pada kondisi tersebut saat baja diproses *heat treatment* pada temperature *austenisasi* menjadikan peningkatan larutan karbon, sehingga karbon akan terlaui dan menyusup serta fasa *austenite* yang terbentuk menjadi lebih homogen yang menyebabkan nilai kekerasan meningkat.



**Gambar 5.** Grafik Hasil Pengujian Kekerasan (HRB)

Selanjutnya, media pendingin yang digunakan dalam proses *quenching* juga memiliki kemampuan pendinginan yang bervariasi. Semakin cepat baja didinginkan dari temperature *austenisasi* maka nilai kekerasan yang dihasilkan akan

meningkat. Pada benda kerja yang di dinginkan menggunakan air garam memiliki tingkat kekerasan yang paling tinggi, hal tersebut disebabkan karena air garam memiliki viskositas yang rendah dan kerapatan tinggi sehingga proses percepatan peninginan berlangsung cepat dibandingkan dengan media pendingin udara dan oli. Karena pendinginan yang terjadi dengan cepat dari suhu *austenit* sekitar 920°C hingga 200°C akan membawa peluruhan tahap *austenit* menjadi *martensit* yang memiliki sifat kekerasan tinggi.

Pada kondisi proses perlakuan panas, temperature telah melewati batas *eutectoid* suhu diatas sekitar 723°C dan ditahan selama 40 menit, maka akan mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan sering terjadinya kelarutan karbon pada baja yaitu sebesar 110,3 HRB. Struktur kristal yang mulanya FCC (*Face Centered Cubic*) menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*) ketika dilakukan pendinginan secara cepat pada baja (*non-equilibrium*) [15].

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang dapat dilihat pada gambar 5 grafik spesimen uji yang di berikan perlakuan panas pada temperatur yang sama dan di dinginkan menggunakan media pendingin sama terus mengalami peningkatan nilai kekerasan seiring bertambahnya waktu penahanan, dengan mempertahankan pada suhu pengerasan struktur austenit yang terbentuk menjadi homogen atau terjadi kelarutan karbida dalam austenit, yang mengarah pada difusi karbon dan paduannya. Sehingga terjadi peningkatan kekerasan hingga pada puncaknya yaitu waktu penahanan selama 40 menit. Dalam penelitian Juliansyah, 2018, waktu penahanan / holding time dirancang untuk mencapai nilai kekerasan material maksimum dari suatu pada proses hardening. Selain itu yang berpengaruh terhadap kekerasan suatu material adalah media pendingin quenching. Dalam penelitian ini variasi media pendingin yang digunakan adalah udara, air garam dan oli SAE 15W-50. Berdasarkan data hasil pengujian yang dapat dilihat pada gambar 5, spesimen uji yang diberikan perlakuan panas dengan temperatur dan waktu penahanan yang sama namun di *quenching* menggunakan media pendingin berbeda mengalami peningkatan nilai kekerasan material seiring dengan bertambahnya laju pendinginan dari setiap media pendingin yang digunakan. Pendinginan dengan media pendingin udara yang di sirkulasi mengalami peningkatan kekerasan yang relatif kecil disebabkan karena laju pendinginan yang cukup lambat. Sedangkan spesimen yang di dinginkan menggunakan air garam dan oli, nilai kekerasan paling tinggi di dapatkan dengan menggunakan media pendingin *quenching* air garam, hal tersebut disebabkan karena air garam memiliki viskositas yang rendah dan kerapatan tinggi dibandingkan dengan media pendingin oli sehingga memberikan laju pendinginan yang sangat cepat yang mengakibatkan peningkatan nilai kekerasan. Sesuai dalam penelitian Asyara & Syahrul, 2019, derajat kekentalan (*viscosity*) berpengaruh pada *severity of quench*, karena pada minyak memiliki kapasitas pendinginan tertinggi sekitar 600°C dan sedikit rendah pada temperatur pembentukan martensite. Pendinginan yang terjadi sangat cepat dari temperatur austenite sekitar 920°C ke temperatur 200°C menghasilkan dekomposisi fasa *austenite* menjadi *martensit* yang memiliki sifat kekerasan tinggi.

#### 4. Kesimpulan

Nilai rata-rata kekerasan tertinggi baja AISI 1045 di dapatkan pada spesimen dengan waktu penahanan 40 menit dengan media pendingin air garam yang memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 110,3 HRB. Hal tersebut disebabkan karena struktur *austenite* yang terbentuk saat waktu penahanan lebih homogen, yang selanjutnya di *quenching* menggunakan air garam memiliki laju pendinginan cepat dibandingkan dengan media pendingin udara dan oli SAE 15W-50. Hal tersebut disebabkan karena air garam memiliki viskositas yang rendah serta kerapatan tinggi sehingga penurunan suhu dari temperature *austenite* berlangsung sangat cepat dan membentuk fasa *martensit* yang dominan sehingga kekerasan pada baja meningkat cukup signifikan.

## Daftar Pustaka

- [1] Perdana D. Pengaruh Variasi Temperatur Pada Proses Perlakuan Panas Baja Aisi 304 Terhadap Laju Korosi. *Tek Eng Sains J* 2017;1:67. <https://doi.org/10.51804/tesj.v1i1.70.67-72>.
- [2] Mersilia A, Karo PK, Iman Supriyatna Y. Pengaruh Heat Treatment Dengan Variasi Media Quenching Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135. *J Teor Dan Apl Fis* 2016;4:175–80.
- [3] De Jesus ADS, Soebiyakto G. Analisis Uji Tarik Dan Metalografi Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu (Fc-20) Dengan Proses Heat Treatment. *Proton* 2018;10:25–9. <https://doi.org/10.31328/jp.v10i1.804>.
- [4] Randy Rifnaldy M. Pengaruh Perlakuan Panas Hardening Dan Tempering Terhadap Kekerasan (Hardness) Baja Aisi 1045. 2019.
- [5] Zayadi A, Sungkono, Masyhudi, Setyawan T E. Pengaruh Waktu Tempering terhadap Karakter Baja s45c Pasca Quenching pada 950oc dan Tempering 500 C. *J Teknol Kedirgant* 2022;7:34–65. <https://doi.org/10.35894/jtk.v7i1.53>.
- [6] Mustofa Z. Analisa Pengaruh Pendingin Terhadap Kekerasan Bahan Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment. Univ Nusan PGRI Kediri 2016.
- [7] Haryadi GD, Utomo AF, Ekaputra IMW. Pengaruh Variasi Temperatur Quenching Dan Media Pendingin Terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045. *J Rekayasa Mesin* 2021;16:255. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i2.2633>.
- [8] Sheila Maria Belgis Putri Affiza. Pengaruh Media Quenching Terhadap Kekuatan Tarik Baja Aisi 1045. Pengaruh Media Quenching Terhadap Kekuatan Tarik Baja Aisi 1045 2022;1045:2003–5.
- [9] Basori M, Saputra BR. Perancangan Mesin Perontok Jagung Dengan Kapasitas Produksi 300 Kg/Jam. *J Konversi Energi Dan Manufaktur* 2018;5:7–14. <https://doi.org/10.21009/jkem.5.1.2>.
- [10] Pramono A. Karakteristik Struktur Mikro Hasil Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai. *Tek J Sains Dan Teknol* 2011;7:115. <https://doi.org/10.36055/tjst.v8i2.6710>.
- [11] Agustriyana L. Pengaruh Temperatur Heat Treatment Pada Proses Hardening Terhadap Terbentuknya Matrik Martensite Dalam Terbentuknya Mikro Logam Baja AISI 1005 2020:23–38.
- [12] Syahri B, Putra ZA, Helmi N. Analisis Kekerasan Baja Assab 705 Yang Diberi Perlakuan Panas Hardening Dan Media Pendingin. *J Inov Vokasional Dan Teknol* 2017;17:17–26.
- [13] Panas Bertingkat sebagai Upaya Meningkatkan Kekuatan Mekanik Baja Karbon Rendah Fajar Sidiq PM, Hendra OH, Luthfianto S. *A R T I C L E I N F O. J Sains Dan Teknol* 2022;11:117–24. <https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v11i1>.
- [14] Rifai D, Abdalla AN, Khamsah N, Aizat M, Fadzli M. Subsurface defects evaluation using eddy current testing. *Indian J Sci Technol* 2016;9. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i9/88724>.
- [15] Abduh Muhammad Fatih. Pengaruh Variasi Suhu Tempering Yang Diikuti Proses Peening Dan Dichelup Pada Campuran Air Dan Garam Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Pada Baja Sm490 Yang Digunakan Pada Mekanik Pada Baja Sm490 Yang Digunakan Pada. 2018.