

ANALISA PERILAKU VARIASI MEDIA QUENCHING PADA TEMPERATUR 5°C TERHADAP KEKERASAN DAN KETANGGUHAN BAJA ST 37

Penulis: Yafet Bontong^{1*}, Fikran², Marinus Palobo³

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Kristen Indonesia Toraja
e-mail: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Kristen Indonesia Toraja

e-mail: yafetbontong@yahoo.co.id
fikran@ukitoraja.ac.id

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kekerasan dan ketangguhan baja ST 37 pasca heat treatment dengan variasi pendinginan setelah dilakukan pengujian mekanik.

Metode penelitian ini jenis baja karbon ST 37 dengan variasi pendinginan air temperatur 5°C, air, oli SAE 20 dan minyak kelapa setelah heat treatment. Proses heat treatment dilakukan di laboratorium Metalurgi Fisik, Politeknik Akademi Teknik Industri, Makassar. Metode yang digunakan untuk pengujian ketangguhan adalah metode Charpy. Sedangkan untuk pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell HRB.

Hasil penelitian ini pada pengujian ketangguhan tertinggi menggunakan air temperatur 5°C dengan nilai ketangguhan rata-rata 1,250 J/mm² dan pada pengujian kekerasan tertinggi ada pada pendinginan air temperatur 5°C dengan nilai kekerasan 106,81 kg/mm².

Kata kunci: Baja ST 37, Heat Treatment, Kekerasan, Ketangguhan, Minyak Kelapa, Oli SAE 20, Quenching.

ABSTRACT

This study aims to determine the comparison of hardness and toughness of ST 37 steel after heat treatment with cooling variations after mechanical testing.

This research method is ST 37 carbon steel type with variations of watercooling temperature 5oC, water, SAE 20 oil and coconut oil after heat treatment. The heat treatment process is carried out in the Physical Metallurgy laboratory, Polytechnic Academy of Industrial Engineering, Makassar. The method used for toughness testing is the Charpy method. As for hardness testing using the Rockwell HRB method.

The results of this study were in the highest toughness test using 5oC temperature water with an average toughness value of 1.250 J/mm² and in the highest hardness test was in 5oC water cooling with a hardness value of 106.81kg/mm².

Keywords: ST 37 Steel, Heat Treatment, Hardness, Toughness, Coconut Oil, SAE 20 Oil, Quenching.

I. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat, membuat industri memegang peranan penting di dalamnya. Dengan adanya industri- industri baru, akan memungkinkan terciptanya produk-produk baru yang lebih inovatif, sehingga dapat mendorong munculnya penemuan baru baik di bidang ilmu pengetahuan maupun teknologi.

Industri- industri yang telah ada tidak akan lepas dari pemanfaatan logam terutama baja. Hal ini terbukti dengan banyaknya penggunaan baja pada berbagai komponen-komponen mesin, bahan kerja, konstruksi bangunan, baik dalam bentuk pelat, lembaran, pipa, batang profil dan sebagainya. Baja merupakan campuran antara besi (Fe) dan karbon (C) sekitar 0,1% sampai 1,7%. Selain itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya. Namun unsur-unsur ini hanya dalam presentase yang kecil. Baja mempunyai karakterisasi dari yang paling lunak sampai yang paling keras, dari bahan baja berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat. Hal ini yang menyebabkan baja disebut material yang kaya dengan sifat-sifat, dimana unsur paduan utamanya adalah karbon. Karbon merupakan unsur utama untuk menguatkan baja, sehingga baja harus mengandung karbon sampai kadar tertentu. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: (1) baja karbon rendah (C<0,3%), (2) baja karbon sedang (C 0,3-0,7%), (3) baja karbon tinggi (0,7-1,7%). Baja karbon rendah (ST 37) memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%. Baja ini sering dipakai juga untuk konstruksi –konstruksi mesin yang saling bergesekan seperti roda gigi, poros, dll karena sangat ulet. Namun kekerasan permukaan dari baja tersebut tergolong rendah sehingga sebelum digunakan untuk konstruksi-konstruksi yang disebutkan di atas, maka perlu dimodifikasi atau memperbaiki sifat kekerasan pada permukaannya.

Untuk meningkatkan kekuatan dari baja, maka perlu dilakukan perlakuan panas terhadap baja tersebut. Perlakuan panas atau *heat treatment* merupakan suatu proses kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan suatu logam untuk menghasilkan sifat-sifat tertentu dari logam tersebut. Perlakuan panas dengan metode *quenching* yaitu suatu proses pemanasan suatu logam atau baja sampai pada temperatur austenit kemudian didinginkan secara cepat sehingga akan menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi. Pada proses *quenching* telah terjadi suatu perpindahan panas dari baja yang dipanaskan ke fluida pendingin yang digunakan, dengan kecepatan dan temperatur tertentu akan menghasilkan sifat mekanik pada logam tersebut.

II. Fasilitas Metode Penelitian

1. Baja

Baja adalah logam dari campuran dari beberapa komposisi logam namun kandungan terbesar dari campuran tersebut adalah kandungan besi (Fe) dan karbon (C). Dalam kandungan baja juga terdapat beberapa senyawa lain yang dapat berupa aluminium (Al), seng (Zn), tembaga (Cu), silikon (Si), krom (Cr), dan titanium (Ti) serta beberapa campuran lainnya. Kandungan karbon (C) yang terdapat pada baja menentukan tingkatan dari baja itu sendiri, kandungan baja karbon (C) yang terkandung dalam baja berkisar 0,2 % sampai 2,1 % dari berat baja itu sendiri.

Baja karbon sering digunakan pada aplikasi temperatur tinggi dengan kondisi korosi dan oksidasi yang tidak terlalu ekstrim. Baja karbon masih sering digunakan pada mesin boiler, *heat exchanger* dan *superheater*. Baja karbon dipilih karena material ini tergolong murah, mudah dilas dan memiliki sifat mekanik yang cukup baik. Baja karbon digunakan pada aplikasi dengan temperatur kerja dibawah 450 °C. Baja karbon dapat juga digunakan pada aplikasi dengan temperatur diatas 540 °C namun jangka waktu penggunaannya relatif lebih singkat.

2. Klarifikasi baja karbon

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon 0,10% s/d 0,30%. Baja karbon rendah ini diaplikasikan dalam pembuatan baja strip, baja batangan atau profil dan plat baja,

2. Baja karbon menengah

Baja karbon menengah mengandung karbon antara 0,30 % s/d 0,60% C. Baja karbon ini digunakan sebagai keperluan alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan total karbon yang terdapat dalam baja ini maka baja karbon dapat digunakan sebagai keperluan- keperluan industri.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mengandung kadar karbon antara lain 0,60 % s/d 1,7 % C dan setiap satu ton baja karbon tinggi memiliki karbon sebesar 70 – 130 Kg. Baja ini memiliki tegangan tarik tinggi dan banyak digunakan untuk material peralatan. Contoh aplikasi dari baja ini dalam pembuatan kabel baja dan kawat.

2.3. Temperatur Tinggi Pada Material Logam

Temperatur yang tinggi pada material baja akan sangat berpengaruh terhadap sifat dan karakteristiknya. Oleh karena itu pengetahuan tentang perubahan perilaku ini diperlukan dalam menentukan prosedur pengelasan dan pengaruh kebakaran. Apabila suatu material baja diberikan temperatur melebihi 200°F (93°C) maka kurva tegangan-regangan mulai menjadi tidak linier yang kemudian secara bertahap titik leleh yang jelas menghilang. Pada temperatur antara 800°F sampai dengan 1.000°F (430°C sampai dengan 540°C) akan terjadi laju penurunan yang maksimum. Modulus elastisitas, kekuatan leleh dan kekuatan tarik akan menurun apabila temperatur semakin tinggi.

Pola dan perubahan perilaku dari suatu material baja yang mengalami kenaikan temperatur akan berbeda antara satu dengan yang lainnya. Hal ini diakibatkan karena kandungan dan mikrostruktur pembentuknya saling berlainan. Pada saat suatu material baja menerima panas dengan temperatur mencapai 700°F (370°C), tegangan leleh dan kekuatan tariknya akan menurun. Pada saat mengalami kenaikan temperatur, baja paduan dengan kekuatan tinggi akan mengalami penurunan tegangan batas (F_u) lebih cepat dibandingkan dengan baja karbon. Pada proses pendinginan, kekuatan dari baja karbon hampir mendekati kekuatan awalnya. Baja paduan dengan kekuatan tinggi akan mengalami penurunan kekuatan batas yang permanen ketika temperatur telah berkisar antara 300°C sampai dengan 400°C.

Baja karbon sering digunakan pada aplikasi temperatur tinggi dengan kondisi korosi dan oksidasi yang tidak terlalu ekstrim. Baja karbon masih sering digunakan pada mesin boiler, *heat exchanger* dan *superheater*. Baja karbon dipilih karena material ini tergolong murah, mudah dilas dan memiliki sifat mekanik yang cukup baik. Baja karbon digunakan pada aplikasi dengan temperatur kerja dibawah 450°C. Baja karbon dapat juga digunakan pada aplikasi dengan temperatur diatas 540°C namun jangka waktu penggunaannya relatif lebih singkat.

2.4. Heat Treatment

Heat treatment atau perlakuan panas bertujuan

sebagai proses untuk menghasilkan tingkat keuletan yang tinggi, menghilangkan tegangan internal, dapat juga menghaluskan butir logam dan dapat meningkatkan kekerasan serta kekuatan tarik dari logam. Perlakuan panas sendiri adalah penggabungan atau kombinasi dari proses pemanasan dan proses pendinginan pada suatu bahan material seperti logam dan baja. Faktor yang mempengaruhi dari proses perlakuan panas adalah suhu pemanasan atau temperatur yang digunakan, waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu yang diinginkan, kecepatan pendinginan pada saat logam telah mencapai suhu atau temperatur yang diinginkan dan atmosfer dari lingkungan itu sendiri. Pendapat lain mengenai *heat treatment* atau perlakuan panas adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada elektrik terance atau tungku pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping komposisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya.

Untuk menentukan temperatur pemanasan dari suatu pengujian dan dapat menentukan perlakuan panas maka dapat menggunakan suatu diagram, dimana diagram tersebut dapat memudahkan menentukan temperatur pemanasan, diagram tersebut disebut dengan Diagram Fasa Fe – C. Diagram Fasa merupakan diagram yang menampilkan hubungan perubahan fasa yang terjadi selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon.

2.5. Annealing

Annealing dapat didefinisikan sebagai pemanasan pada suhu yang sesuai, diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang sesuai. Hal ini bertujuan untuk menginduksi kelunakan, memperbaiki sifat-sifat pengerjaan dingin dan membebaskan tegangan-tegangan pada baja sehingga diperoleh struktur yang dikehendaki.

Proses *annealing* dibagi menjadi tiga macam, yaitu *annealing* penuh, *annealing isothermal*, *annealing* pada suhu kritis terendah. Dalam proses *annealing* pada suhu kritis terendah, pemanasan dipertahankan pada beberapa suhu di bawah batas transformasi (perubahan). Suhu itu cukup tinggi untuk membuat pengkristalan kembali dan struktur yang seragam. Apabila proses ini digunakan untuk baja karbon tinggi akan menyebabkan baja itu mudah dibentuk dan dikerjakan mesin perkakas. Pada waktu baja dikerjakan dengan proses *annealing* dengan cara dipanaskan pada suhu tinggi dalam periode yang cukup lama, berlangsung proses oksidasi. Hal tersebut menyebabkan terjadinya pengelupasan pada bagian luar.

2.6. Full annealing

Full annealing merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan *perlite* yang kasar (*coarse pearlite*) tetapi lunak dengan pemanasan sampai austenitisasi dan didinginkan dengan dapur, memperbaiki ukuran butir serta dalam beberapa hal juga memperbaiki *machinability*. Pada proses *full annealing* ini biasanya dilakukan dengan memanaskan logam sampai diatas temperatur kritis (untuk baja *hypoeutectoid* , 25°C hingga 50° diatas garis A3 sedang untuk baja *hypereutectoid* 25°C hingga 50°C diatas garis A1). Kemudian dilanjutkan

dengan pendinginan yang cukup lambat biasanya dengan dapur atau dalam bahan yang mempunyai sifat pengekang panas yang baik. Perlu diketahui bahwa selama pemanasan dibawah temperatur kritis garis A1 maka belum terjadi perubahan struktur mikro. Perubahan baru mulai terjadi bila temperatur pemanasan mencapai garis atau temperatur A1 (butir-butir kristal *perlite* bertransformasi menjadi *austenite* yang halus).

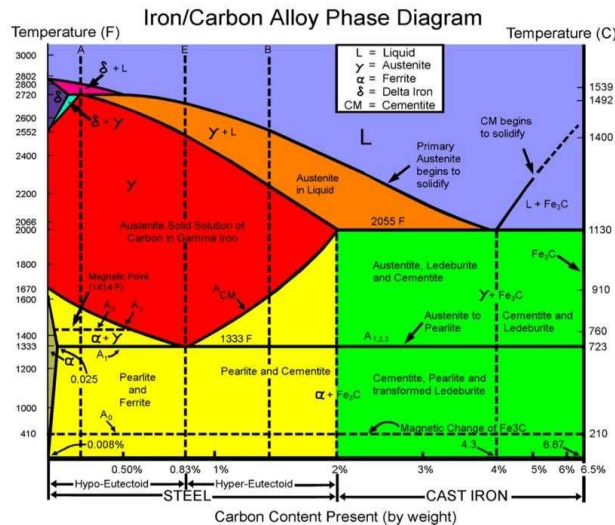
Pada baja *hypoeutectoid* bila pemanasan dilanjutkan ke temperatur yang lebih tinggi maka butir kristalnya mulai bertransformasi menjadi sejumlah kristal *austenite* yang halus, sedang butir kristal *austenite* yang sudah ada yang berasal dari *perlite* hampir tidak tumbuh. Perubahan ini selesai setelah menyentuh garis A3 (temperatur kritis A3). Pada temperatur ini butir kristal *austenite* masih halus sekali dan tidak homogen. Dengan menaikkan temperatur sedikit diatas temperatur kritis A3 dan memberi waktu penahanan (*holding time*) seperlunya maka akan diperoleh *austenite* yang lebih homogen dengan butiran kristal yang juga masih halus sehingga bila nantinya didinginkan dengan lambat akan menghasilkan butir-butir Kristal *ferrite* dan *perlite* yang halus. Baja yang dalam proses pengerjaannya mengalami pemanasan sampai temperature yang terlalu tinggi ataupun waktu tahan (*holding time*) terlalu lama biasanya butiran kristal *austenite*nya akan terlalu kasar dan bila didinginkan dengan lambat akan menghasilkan ferrit atau *perlite* yang kasar sehingga sifat mekaniknya juga kurang baik. Untuk baja *hypereutectoid*, *annealing* merupakan persiapan untuk proses selanjutnya dan tidak merupakan proses akhir.

2.7. Tempering

Merupakan proses pemanasan logam (baja) yang telah dikeraskan sampai temperatur tertentu untuk mengurangi kekerasan baja, struktur martensit yang sangat keras, sehingga terlalu getas. Pada proses ini menggunakan temperatur dibawah temperatur kritis kemudian suhunya.

2.8. Hardening

Merupakan proses pemanasan logam sampai atau lebih diatas temperatur kritisnya (723°C) kemudian didinginkan dengan cepat dengan media pendingin yang telah disiapkan.

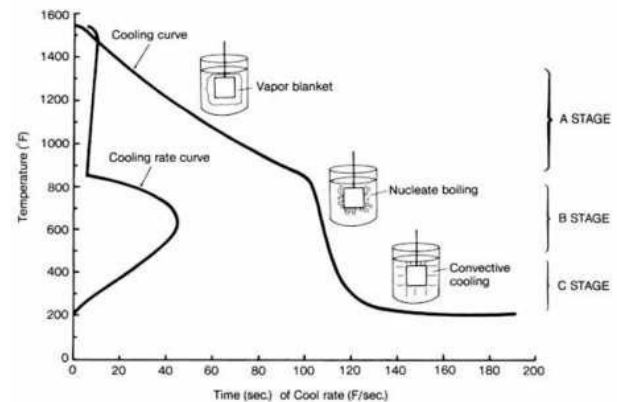


Gambar 2.1. Diagram Fasa Fe – C

Sumber: <https://novadany11.files.wordpress.com/2015/06/fec-phasediagramwallpaper1.gif>

2.9. Teori Quenching

Quenching atau proses pendinginan cepat adalah proses dimana material dipanaskan hingga sampai pada fasa austenit dan menahan di suhu tersebut hingga beberapa saat dengan waktu yang cukup hingga menjadi struktur menjadi homogen, setelah itu dilakukan pendinginan cepat terhadap material dengan cara mencelupkan material pada media pendingin. Kecepatan pendingin inilah yang dapat menyebabkan kekuatan material meningkat sesuai dengan karakteristik yang diinginkan untuk mencapai kekerasan yang diinginkan. Laju pendinginan material dapat diketahui dari diagram pendinginan material. Pada diagram pendinginan material memperlihatkan besar panas yang dilepaskan dan waktu yang dibutuhkan. Pada tahap awal pendinginan, material awalnya tertutupi oleh selubung uap yang akan pecah ketika material mendingin. Perpindahan panas saat masih ada selubung uap ini sangat buruk yang mengakibatkan pendinginan material menjadi lambat. Setelah itu tahap pendinginan selanjutnya dinamakan titik didih nukleat, pada tahap ini material mengalami pendinginan yang sangat cepat karena material bersentuhan langsung dengan media pendingin. Pada tahap ini temperatur material masih sangat tinggi dan menyebabkan media pendingin mendidih dengan cepat. Tahap selanjutnya adalah pendinginan konveksi dan konduksi, dimana temperatur material sudah dibawah titik didih media pendingin dan terjadi perpindahan panas secara konveksi dan konduksi. Terlihat pada diagram mekanisme pendingin di bawah ini.



Gambar 2.2. Diagram Mekanisme Pendinginan

Sumber: (Totten, 1995)

Pada proses *quenching* media pendinginan sangat berpengaruh pada struktur logam serta kemampuan mekanik yang dapat dicapai oleh logam tersebut.

III. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Penelitian

3.1 Hasil Pengujian Kekerasan Baja Karbon Rendah

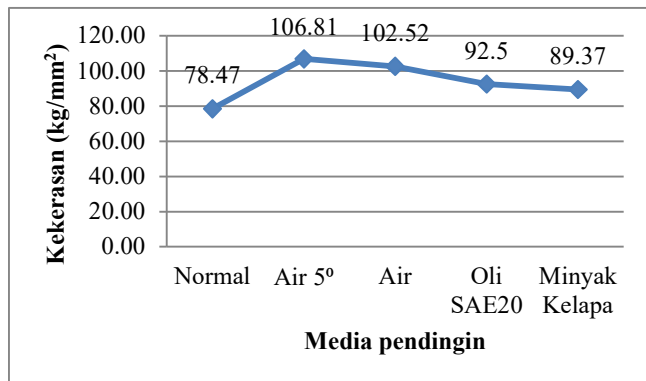
Pengujian dilakukan dengan *heat treatment* pada material baja karbon rendah dengan temperatur pemanasan 800° *Cholding time* 2 jam. Dengan media queching yaitu air 5°C, air, oli SAE 20, dan minyak kelapa dengan tiga (3) spesimen dari setiap media quenching. Selanjutnya pengujian kekerasan dilakukan metode *Rockwell* pada *hardness* dengan beban 980 N, dan diameter indenter bola 1/16 inch.

Tabel 3.1. Hasil Pengujian *Rockwell HR_B*

| No | Media pendingin | Spesimen | kerasan rockwell (HR _B) (mm) | | | HR _B Rata-rata (mm ²) |
|----|-----------------|----------|--|-------|-------|--|
| 1 | Normal | 1 | 78.7 | 80.0 | 76.7 | 78.47 |
| 2 | Air 5° | 1 | 110.4 | 107.5 | 111.6 | 106.81 |
| | | 2 | 106.8 | 108.4 | 109.3 | |
| | | 3 | 102.1 | 102.1 | 103.1 | |
| 3 | Air | 1 | 107.3 | 108.4 | 106.5 | 102.52 |
| | | 2 | 109.1 | 107.9 | 110.1 | |
| | | 3 | 91.3 | 91.5 | 90.6 | |
| 4 | Oli SAE20 | 1 | 93.5 | 92.6 | 92.1 | 92.50 |
| | | 2 | 94.1 | 92.1 | 93.5 | |
| | | 3 | 91.5 | 91.4 | 91.7 | |
| 5 | Minyak kelapa | 1 | 90.9 | 88.8 | 89.7 | 89.37 |
| | | 2 | 88.0 | 90.1 | 88.8 | |
| | | 3 | 91.0 | 88.6 | 88.4 | |

Dari nilai kekerasan diatas setelah dirata – ratakan untuk memperoleh nilai kekerasan volume persentase media *quenching* sebagai berikut:

Berdasarkan tabel 4.1 diatas dapat digambarkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.1 berikut



Gambar 4.1 Grafik variasi media pendingin terhadap kekerasan baja karbon rendah

3.2 Hasil Pengujian Ketangguhan Baja Karbon Rendah

Pengujian dilakukan dengan *heat treatment* pada material baja karbon rendah dengan temperatur pemanasan 800°C *holding time* 2 jam. Dengan media queching yaitu air

| Media Pendingin | S | Benda kerja | | | Beban bandul (kg) | Jari Bandul (m) | Sudut Simpangan bandul (B) (°) | Usaha (Joule) |
|-----------------|---|-------------|--------|---|-------------------|-----------------|--------------------------------|---------------|
| | | T (mm) | L (mm) | T | | | | |
| Normal | 1 | 9.6 | 9.7 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 97 |
| Air 5° | 1 | 9.6 | 9.6 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 117 |
| | 2 | 9.8 | 9.8 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 117 |
| | 3 | 9.6 | 9.5 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 115 |
| Air | 1 | 9.7 | 9.8 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 102 |
| | 2 | 9.8 | 9.7 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 117 |
| | 3 | 9.6 | 9.7 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 118 |
| Oli SAE20 | 1 | 9.5 | 9.6 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 94 |
| | 2 | 9.6 | 9.4 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 116 |
| | 3 | 9.6 | 9.6 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 102 |
| Minyak kelapa | 1 | 9.6 | 9.6 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 99 |
| | 2 | 9.8 | 9.5 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 99 |
| | 3 | 9.4 | 9.6 | V | 12,7 | 1,25 | 120 | 95 |

temperatur 5°, air, oli SAE20, dan minyak kelapa dengan tiga (3) spesimen dari setiap media quenching. Selanjutnya pengujian ketangguhan dilakukan metode *Charpy* pada *impact*. Tabel 4.2 nilai hasil pengujian ketangguhan dengan media pendingin

Perhitungan nilai ketangguhan

$$K = \frac{W}{A}$$

Dimana: W = Usaha (Joule)

A = Luas penampang (mm²)

K = Nilai *impact* (J/mm²)

1. Normal

$$S1 = \frac{97 \text{ Joule}}{93,12 \text{ mm}^2} = 1,042 \text{ J/mm}^2$$

2. Media pendinginan air 5°C

$$S1 = \frac{117 \text{ Joule}}{92,16 \text{ mm}^2} = 1,269 \text{ J/mm}^2$$

$$S2 = \frac{117 \text{ Joule}}{96,04 \text{ mm}^2} = 1,218 \text{ J/mm}^2$$

$$S3 = \frac{115 \text{ Joule}}{91,2 \text{ mm}^2} = 1,263 \text{ J/mm}^2$$

$$K \text{ rata rata} = \frac{1,269+1,218+1,263}{3} = 1,250 \text{ J/mm}^2$$

3. Pendinginan Air

$$S1 = \frac{102 \text{ Joule}}{95,06 \text{ mm}^2} = 1,073 \text{ J/mm}^2$$

$$S2 = \frac{117 \text{ Joule}}{95,06 \text{ mm}^2} = 1,230 \text{ J/mm}^2$$

$$S3 = \frac{118 \text{ Joule}}{93,12 \text{ mm}^2} = 1,267 \text{ J/mm}^2$$

$$K \text{ rata rata} = \frac{1,073+1,230+1,267}{3} = 1,190 \text{ J/mm}^2$$

4. Pendinginan Oli SAE20

$$S1 = \frac{94 \text{ Joule}}{91,2 \text{ mm}^2} = 1,030 \text{ J/mm}^2$$

$$S2 = \frac{116 \text{ Joule}}{90,24 \text{ mm}^2} = 1,285 \text{ J/mm}^2$$

$$S3 = \frac{102 \text{ Joule}}{92,16 \text{ mm}^2} = 1,107 \text{ J/mm}^2$$

$$K \text{ rata rata} = \frac{1,030+1,285+1,107}{3} = 1,141 \text{ J/mm}^2$$

5. Pendinginan Minyak kelapa

$$S1 = \frac{99 \text{ Joule}}{92,16 \text{ mm}^2} = 1,074 \text{ J/mm}^2$$

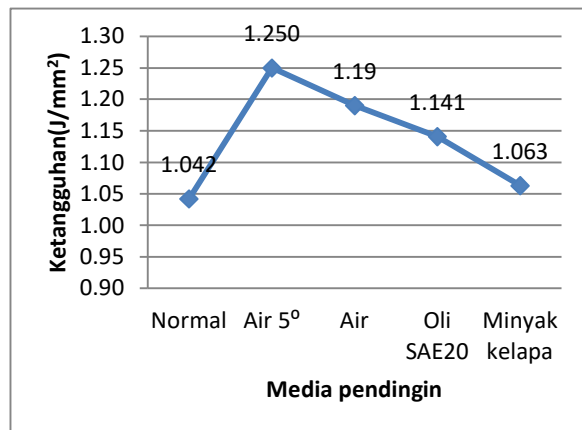
$$S2 = \frac{99 \text{ Joule}}{93,1 \text{ mm}^2} = 1,063 \text{ J/mm}^2$$

$$S3 = \frac{95 \text{ Joule}}{90,24 \text{ mm}^2} = 1,052 \text{ J/mm}^2$$

$$K \text{ rata rata} = \frac{1,074+1,063+1,052}{3} = 1,063 \text{ J/mm}$$

Tabel 4.3. Nilai rata rata hasil pengujian ketangguhan dengan variasi media pendingin

| Media Pendingin | S | Benda kerja | | | A (mm ²) | Usaha (Joule) | K (J/mm ²) |
|-----------------|---|-------------|--------|---|----------------------|---------------|------------------------|
| | | T (mm) | L (mm) | T | | | |
| Normal | 1 | 9,6 | 9,7 | V | 93,12 | 97 | 1.042 |
| Air 5° | 1 | 9,6 | 9,6 | V | 92,16 | 117 | 1.250 |
| | 2 | 9,8 | 9,8 | V | 96,04 | 117 | |
| | 3 | 9,6 | 9,5 | V | 91,2 | 115 | |
| Air | 1 | 9,7 | 9,8 | V | 95,06 | 102 | 1.190 |
| | 2 | 9,8 | 9,7 | V | 95,06 | 117 | |
| | 3 | 9,6 | 9,7 | V | 93,12 | 118 | |
| Oli SAE20 | 1 | 9,5 | 9,6 | V | 91,2 | 94 | 1.141 |
| | 2 | 9,6 | 9,4 | V | 90,24 | 116 | |
| | 3 | 9,6 | 9,6 | V | 92,12 | 102 | |
| Minyak kelapa | 1 | 9,6 | 9,6 | V | 92,12 | 99 | 1.063 |
| | 2 | 9,8 | 9,5 | V | 93,1 | 99 | |
| | 3 | 9,4 | 9,6 | V | 90,24 | 95 | |



Gambar 4.2. Grafik ketangguhan baja karbon rendah terhadap variasi pendinginan

4.2.

3.2. Pembahasan

Berdasarkan tabel 4.2 dan grafik 4.1 bahwa proses *quenching* dengan melakukan *heat treatment* terlebih dahulu berpengaruh pada kekerasan baja karbon rendah.

Pada proses *quenching* dengan media air temperatur 5°, air, oli SAE 20, dan minyak kelapa. Kekerasan baja karbon semakin meningkat dari spesimen normalnya, yakni kekerasan pada air temperatur 5° = 106,81 kg/mm², air = 102,52 kg/mm², oli SAE 20 = 92,50 kg/mm², dan minyak kelapa = 89,37 kg/mm².

Dari hasil pengujian kekerasan pada spesimen ASTM E 23. 1994. *Standard Test Method for Notched Bar Impact of Metallic Materials*. USA. Diakses 13 November 2020 21:20

normal yaitu 78,47 kg/mm², perbandingan nilai kekerasan pada air temperatur 5° = 106,81 kg/mm² mengalami kenaikan 28,34 kg/mm², air = 102,52 kg/mm² mengalami kenaikan 24,05 kg/mm², oli SAE 20 = 92,50 kg/mm² mengalami kenaikan 14,03 kg/mm², dan minyak kelapa = 89,37 kg/mm² mengalami kenaikan 10,90 kg/mm².

Sehingga nilai kekerasan paling tinggi ada pada pendinginan air temperatur 5° dengan kekerasan 106,81 kg/mm² dibandingkan dengan media pendingin lainnya.

Pada pengujian ketangguhan seperti pada proses

pengujian kekerasan nilai ketangguhan dari variasi pendinginan juga mengalami peningkatan dari nilai ketangguhan normal spesimen. Nilai ketangguhan pada media pendingin air temperatur 5° = 1,250 J/mm, air = 1,190 J/mm, oli SAE 20 = 1,141 J/mm, dan minyak kelapa = 1,063 J/mm. Sedangkan nilai ketangguhan pada spesimen normal yaitu 1,042 J/mm.

Perbandingan kenaikan nilai ketangguhan pada air temperatur 5° = 1,250 J/mm mengalami kenaikan 0,208 J/mm, air = 1,190 J/mm mengalami kenaikan 0,148 J/mm, oli SAE 20 = 1,141 J/mm mengalami kenaikan 0,094 J/mm dan pada minyak kelapa = 1,063 J/mm mengalami kenaikan 0,021 J/mm dari nilai ketangguhan spesimen normal.

Sehingga nilai ketangguhan paling tinggi ada pada media pendinginan air temperatur 5° dengan ketangguhan 1,250 J/mm dibandingkan dengan media pendingin lainnya.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Proses *quenching* dengan melakukan *heat treatment* terlebih dahulu dapat meningkatkan kekerasan baja karbon rendah dibandingkan dengan spesimen normalnya, dengan variasi pendinginan yaitu air temperatur 5°C, air, oli SAE 20, dan minyak kelapa. Maka nilai kekerasan tertinggi adalah dengan perlakuan pada pendinginan air temperatur 5° dengan kekerasan 106,81 kg/mm² jika dibandingkan dengan spesimen normal dengan nilai 78,47 kg/mm².
2. Proses *quenching* dengan melakukan *heat treatment* terlebih dahulu dapat meningkatkan ketangguhan baja karbon rendah dibandingkan dengan spesimen normalnya, dengan variasi pendinginan yaitu air temperatur 5°C, air, oli SAE 20, dan minyak kelapa. Maka nilai ketangguhan tertinggi adalah dengan perlakuan pada pendinginan air temperatur 5°C dengan ketangguhan 1,250 J/mm jika dibandingkan dengan spesimen normal dengan nilai 1,142 J/mm.

Referensi

- Anugrah Ariawan, 2019. *Pengaruh Media Pendingin Quenching Temperatur Rendah Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja S45C*. <https://www.google.com/url?sa=t&rc=tj&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewi v1Kv4uLbvAhXuwigGHRxtCYEQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fdocplayer.info%2F174692939-Pengaruh-media-pendingin-quenching-temperaturrendah-terhadap-nilai-kekerasan-dan-struktur-mikro-pada-baja-s45c.html&usq=AOvVaw1LiyU-KxzRgxk8PyFtL0wx>. Diakses 17 Maret 2021,12:08.
- A mersilia, 2016. *Pengaruh heat treatment dengan variasi media quenching air garam dan oli terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan baja pegas daun aisi 6135*. <http://digilib.unila.ac.id/22825/20/SKRIPSI%20TANPA%20BAB%20PEMBAHASAN.pdf>. Diakses, 17 Agustus 2020, 23:04

Anggoro eko prastowo, 2008. *Pengaruh perlakuan panas terhadap sifat fasis dan mekanis pada baja karbon rendah.*

http://repository.usd.ac.id/29103/2/015214119_Full%5B1%5D.pdf. Diakses 17 Agustus 2020, 23:40

[civilization](http://civilization14.blogspot.com/2017/01/definisi-jenis-dan-sifatbaja.html), 01 Januari 2017, *definisi, jenis, dan sifat baja.*

<http://civilization14.blogspot.com/2017/01/definisi-jenis-dan-sifatbaja.html>. Di akses 08 Agustus 2020, 14:20.

Fakhrisal Yusman, 2018. *Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 1045.*

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjQ7PywtrbvAhVNyzgGHSneAmcQFjABegQIAhAD&url=http%3A%2F%2Fjurnal.poliupg.ac.id%2Findex.php%2FSinergi%2Farticle%2FviewFile%2F1510%2Fpdf&usg=AOvVaw3l8hNwQQAHKAEpr062NKSQ>. Diakses 17 Maret 2021, 12:06.

H Mustofa, 2020. *Pengaruh temperatur tempering terhadap kekerasan dan struktur mikro baja aisi 1045 yang di quenching dalam media pendingin tersirkulasi.*

<http://digilib.unila.ac.id/61225/2/SKRIPSI%20TANPA%20BAB%20PEMBAHASAN.pdf>. Diakses, 17 Agustus 2020, 22.46

JA Sukma, 2012. *Landasan teori baja*

[http://eprints.umm.ac.id/41746/3/BA B%20II.pdf](http://eprints.umm.ac.id/41746/3/BA%20B%20II.pdf). Di akses 08 Agustus 2020, 13:42.

Nitya Santhiarsa, 2018. *Pengaruh perlakuan temperatur dan media pendinginan terhadap sifat ketangguhan baja aisi 3215.*

<https://ojs.unud.ac.id/index.php/mettek/article/download/40727/25265/>. Diakses 14 Agustus 2020.14:17.

R Adawiyah, 2 Desember 2014. *Pengaruh perbedaan media pendingin terhadap struktur mikro dan kekerasan pegas daun dalam proses hardening.*

<https://media.neliti.com/media/publications/126165-ID-pengaruh-perbedaan-media-pendingin-terha.pdf>. Di akses 28 September 2020, 22:29.

Totten, GE, Bates, CE, Clinton, NA, 1995, *Handbook of Quenching and Quenching Technology*, ASM International, USA, 1993. Diakses 7 Agustus 2020, 22 : 43.

[Yaspemainsidi](http://bundaliainsidi.blogspot.com/2015/11/baja-karbon.html), 2005. *Klasifikasi baja karbon*

<https://bundaliainsidi.blogspot.com/2015/11/baja-karbon.html>. Diakses 07 Agustus 2020, 21: 56.