

## QUENCHING BERTINGKAT PADA PROSES HARDENING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140

Arthur Halik Razak<sup>1)</sup>, Abram Tangkemanda<sup>2)</sup>

<sup>1)2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.

### ABSTRACT

Quenching on steel is one of several heat treatment processes which aims to increase the strength and hardness of the steel by heating the metal at a certain temperature, usually between 845 - 870 OC, then cooled rapidly on the cooling medium to obtain the martensite structure. The purpose of this study is to improve the mechanical properties of AISI 4140 steel through a multilevel process quenching. The cooling medium used is oil and water. The research method used is AISI 4140 material made specimen of hardness test, impact test, and micro structure observation. Initial tests on AISI 4140 materials are tensile, hardness, impact strength, and microstructure tests. The process of heating the specimen at a temperature of 850 OC for 60 minutes with a holding time of 240 minutes, then the material in quenching into the oil and water by comparison; 0: 100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, and 50:50. Result of data analysis of test result and discussion in this research, can be concluded: 1). The AISI-4140 Steel Tensile Strength is 1034.4 N / mm<sup>2</sup> and an extension of 9.2%. This indicates that AISI 4140 Steel includes medium carbon steel with high strength, 2). The AISI-4140 steel hardness prior to the heat treatment process is 32.54 HRC. This indicates that AISI 4140 Steel includes alloy carbon steel with high hardness, 3). The highest hardness in AISI-4140 Steel after diquenching using stratified cooling medium (oil and water) was 61.10 HRC in oil and water ratio 10:90 and lowest hardness 43.36 HRC in oil and water ratio 50:50, 4). The hardness value of AISI-4140 steel decreases with the increase of oil volume, but on the contrary there is an increase in impact strength as the cooling oil volume increases, 5). The fracture properties in AISI 4140 steel after diquenching with stratified refrigerant media are hard and tough (tough) so no more tempering process is required, 6). The best quenching oil volume percentage to get the hardness level and the optimum impact strength is 32%.

**Keywords:** Quenching, mechanical properties, microstructure, AISI 4140 Steel.

### 1. PENDAHULUAN

Quenching pada baja merupakan salah satu dari beberapa proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja dengan cara memanaskan logam tersebut pada temperatur tertentu, biasanya antara 845 – 870 °C, kemudian didinginkan secara cepat pada media pendingin untuk mendapatkan struktur martensit. Quenching dilakukan untuk mencegah terjadinya pembentukan struktur perlit serta untuk memudahkan pembentukan struktur bainit atau martensit (Bates, 1992). Setelah mengalami proses quenching, biasanya baja martensit diberi perlakuan panas yang lain, yaitu temper untuk mendapatkan kombinasi sifat yang optimal antara kekuatan, ketangguhan dan kekerasan.

Pada baja-baja jenis tertentu, terdapat titik-titik laju pendinginan kritis yang dapat menghasilkan kekerasan maksimal dari transformasi struktur austenit pada suhu tinggi menjadi struktur martensit tanpa terjadi pembentukan struktur perlit atau bainit (Houghton, 2000). Pada saat baja dipanaskan, maka akan terjadi penyerapan energi panas yang kemudian energi tersebut akan dikeluarkan oleh cairan pendingin pada saat proses pencelupan. Memahami mekanisme pencelupan dan faktor-faktor yang mempengaruhi proses pencelupan adalah hal yang sangat penting, karena faktor-faktor tersebut mempunyai pengaruh yang cukup besar dalam menentukan cairan pendingin dan sifat mekanik hasil akhir proses quenching.

Secara umum proses perlakuan panas dapat merubah kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan korosi suatu logam. Quenching dapat mempengaruhi tingkat kekerasan, tegangan sisa, dan distorsi pada baja. Tujuan utama quenching adalah meningkatkan kekerasan logam, sedangkan kunci utama dalam proses quenching adalah pengaturan laju pendinginan pada logam. Jika laju pendinginan terlalu lambat, logam menjadi lebih getas dan kekerasan akan berkurang. Jika laju pendinginan terlalu cepat, maka akan terjadi distorsi dan retak pada logam.

Faktor-faktor penting dalam proses quenching antara lain, disain peralatan, media pendingin, konsentrasi pendingin, temperatur bak, dan laju gerakan pendinginan. Masing masing faktor tersebut dapat mempengaruhi sifat akhir dari bahan logam sehingga harus diatur selama proses pendinginan berlangsung. Oleh karena itu, yang menarik dari metode quenching adalah bagaimana memilih media pendingin dan tahapan proses yang dilakukan sehingga akan meminimalkan beragam tegangan yang timbul yang dapat

<sup>1</sup> Korespondensi : Arthur Halik Razak, Telp 08124284552, halik\_razak\_arthur@yahoo.com

mengurangi terjadinya retak dan distorsi serta pada saat yang sama mampu menyediakan laju perpindahan panas yang cukup untuk mendapatkan sifat akhir hasil quenching seperti kekerasan (Chaves, 2001).

Terdapat beragam media pendingin yang digunakan dalam dunia industri antara lain: air, larutan/air garam, minyak/oli, polimer encer, dan bak garam. Air dan oli merupakan media pendingin yang paling banyak dipakai untuk mengeraskan baja karena mudah dalam proses pencelupannya. Pendinginan dengan air lebih cepat dibandingkan dengan oli, sehingga kemungkinan terjadinya retak lebih besar, oleh karena itu oli lebih banyak digunakan sebagai media pendingin. Kemampuan pendinginan oli berbeda-beda, oleh karena itu diperlukan penggolongan tentang sifat fisik dan kimia dari oli yang dapat mempengaruhi hasil akhir proses quenching.

Penggunaan media oli/minyak sebagai pendingin terdiri dari oli/minyak mineral dan oli/minyak tumbuhan. Biasanya oli/minyak tersebut sudah ditambah dengan zat aditif. Penggunaan oli/minyak mineral maupun tumbuhan sebagai cairan pendingin dalam proses quenching menunjukkan bahwa kedua minyak tersebut menunjukkan hasil akhir yang relatif sama (Totten, 1997). Oli/minyak mempunyai kelebihan diantaranya dapat digunakan pada berbagai temperatur secara efektif. Secara umum, oli/minyak mempunyai laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan air atau air garam.

Oleh karena itu, media pendingin ini dapat memberikan hasil quenching dengan distorsi dan retak yang lebih kecil. Oli mempunyai titik nyala yang beragam antara 130-290 °C. Dalam aplikasinya temperatur bak pendingin biasanya antara 75-110 °C di bawah titik nyalanya untuk menghindari kemungkinan oli terbakar.

Baja AISI 4140 merupakan salah satu produk jenis baja karbon sedang dengan komposisi kandungan (% berat) C 0.41, Si 0.30, Mn 0.70, Cr 1.10, Mo 0.20. Kekerasan yang dapat dicapai Baja AISI 4140 bila diquenching pada media pendingin oli atau air adalah 54-57HRC (Bohler). Baja ini umumnya dipakai sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor yang pada aplikasinya sering mengalami gesekan dan tekanan maka ketahanan terhadap aus dan kekerasan sangat diperlukan sekali.

Muas (2016) telah melakukan penelitian pada baja AISI 4140 dengan judul kajian eksperimental laju pendinginan tersirkulasi dengan system sentrifugal pada proses quenching terhadap sifat mekanik baja AISI 4140. Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah kekerasan baja AISI-4140 setelah diquenching menggunakan media pendingin air dan oli tanpa disirkulasi adalah 55.2HRC dan 48.8 HRC. Setelah diquenching dengan cara disirkulasi sentrifugal, kekerasan baja AISI 4140 meningkat menjadi 62.3HRC dan 54.8 HRC. Namun peningkatan kekerasan baja AISI 4140 berdampak pada penurunan kekuatan. Hal ini ditandai dengan rendahnya gaya impak untuk mematahkan specimen, terutama pada spesimen yang diquenching dengan media pendingin air. Sehingga untuk meningkatkan kekuatan baja yang telah diquenching, maka harus dilakukan proses tempering yaitu proses pemanasan kembali pada baja yang sudah diquenching pada temperature 200 s.d 600 °C selama 2-4 jam.

Selama ini proses pengerasan baja dengan metode pendingin bertingkat menggunakan oli dan air masih jarang digunakan. Pada umumnya proses pengerasan baja masih menggunakan media pendingin oli atau air saja. Secara umum baja yang dikeraskan dengan menggunakan media pendingin air menghasilkan baja yang bersifat keras namun getas sehingga baja tersebut harus ditemper untuk menurunkan kekerasan dan meningkatkan ketangguhan. Jika menggunakan oli menghasilkan baja yang bersifat cukup keras dan tidak getas, namun tingkat kekerasan yang diharapkan tidak memenuhi standar yang diinginkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses quenching bertingkat dengan menggunakan media pendingin oli dan air terhadap sifat mekanik dan struktur mikro Baja AISI 4140.

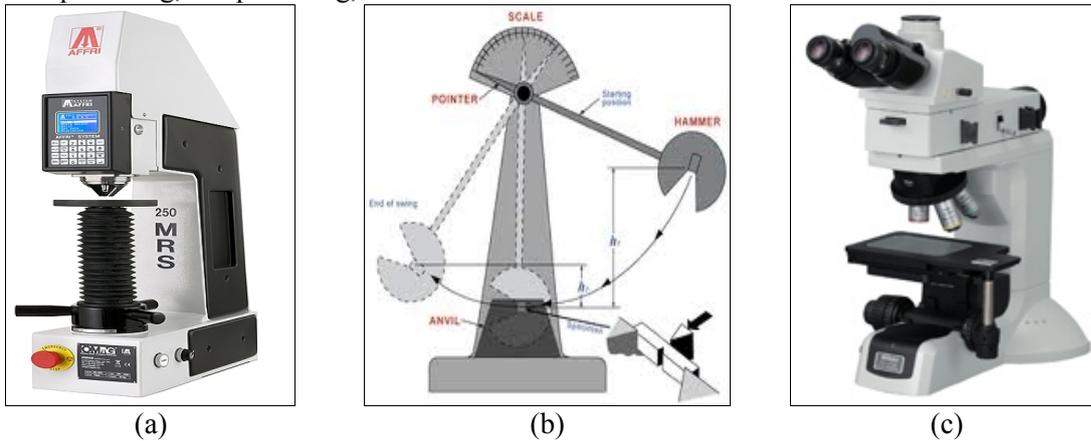
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium dan Bengkel Mekanik Politeknik Negeri Ujung Pandang, dan Laboratorium Preparation Material, Departemen Geologi, Universitas Hasanuddin. Penelitian dilakukan secara bertahap mulai dari persiapan material, pembuatan specimen, pembuatan media quenching, proses perlakuan panas, pengujian sifat mekanik dan struktur mikro, dan analisa hasil pengujian.

Mekanisme quenching yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem quenching bertingkat. Jenis baja yang digunakan pada penelitian ini adalah baja VCL140 (AISI 4140). Ukuran specimen uji kekerasan adalah  $\varnothing$  30x20 mm, dan specimen uji impak adalah 10x10x65 mm, dan specimen uji struktur mikro  $\varnothing$ 10x10 mm. Jenis peralatan yang digunakan untuk membuat specimen adalah mesin gergaji, mesin bubut dan mesin frais.

Proses perlakuan panas terdiri dari dua tahap yaitu tahap pemanasan dan tahap pendinginan. Temperatur pemanasan pada Baja AISI 4140 adalah 820-850 °C selama 4-5 jam (Bohler). Bahan dan

peralatan yang digunakan adalah tungku listrik, alat penjepit, tang kombinasi, alat pelindung diri dari panas, media quenching, oli quenching, dan kawat beton.



Gambar 1. Alat uji kekerasan (a), uji impact (b), dan mikroskop optik (c).

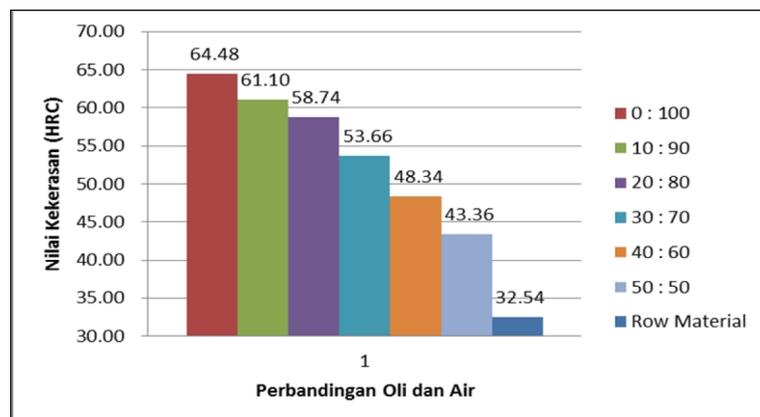
Jenis pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan, uji impact, dan uji struktur mikro. Bahan dan peralatan yang adalah kertas gosok, kain halus (bluedru), resin dan harden, tissue, alkohol 70%, penutup botol aqua, cairan etsa, autosol, alat pengering (hairdrayer), mesin amplas, mikroskop, alat uji kekerasan, dan alat uji impact. Peralatan uji kekerasan, uji impact, dan mikroskop yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1.

Data-data hasil pengujian kekerasan dan pengujian impact diolah menggunakan Microsoft excel dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Selanjutnya data tersebut dianalisa secara deskriptif.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

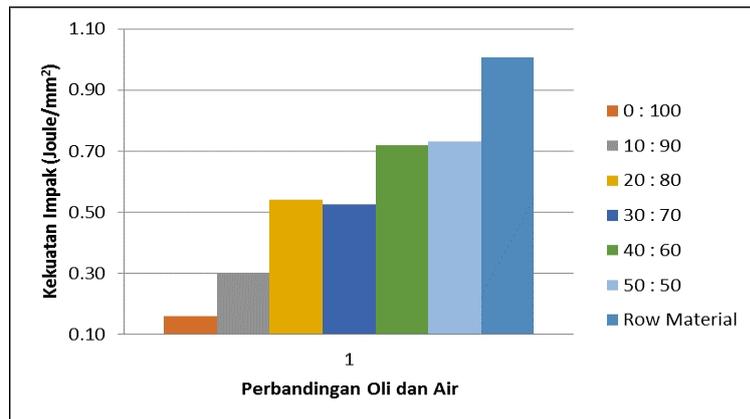
Pada proses uji tarik, uji kekerasan, dan uji impact Baja AISI-4140 sebelum proses pengerasan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik baja seperti kekuatan, keuletan, dan kekerasan. Hasil uji sifat mekanik ini akan dijadikan parameter dalam membandingkan sifat mekanik bahan setelah dilakukan proses perlakuan panas dengan menggunakan media pendingin bertingkat (oli dan air).

Berdasarkan data hasil pengujian tarik pada material baja AISI-4140, maka diperoleh nilai tegangan tarik 1034,4N/mm<sup>2</sup> dan regangan 9,2%. Pengujian kekerasan baja AISI-4140 setelah dikeraskan dapat dilihat pada gambar 1.

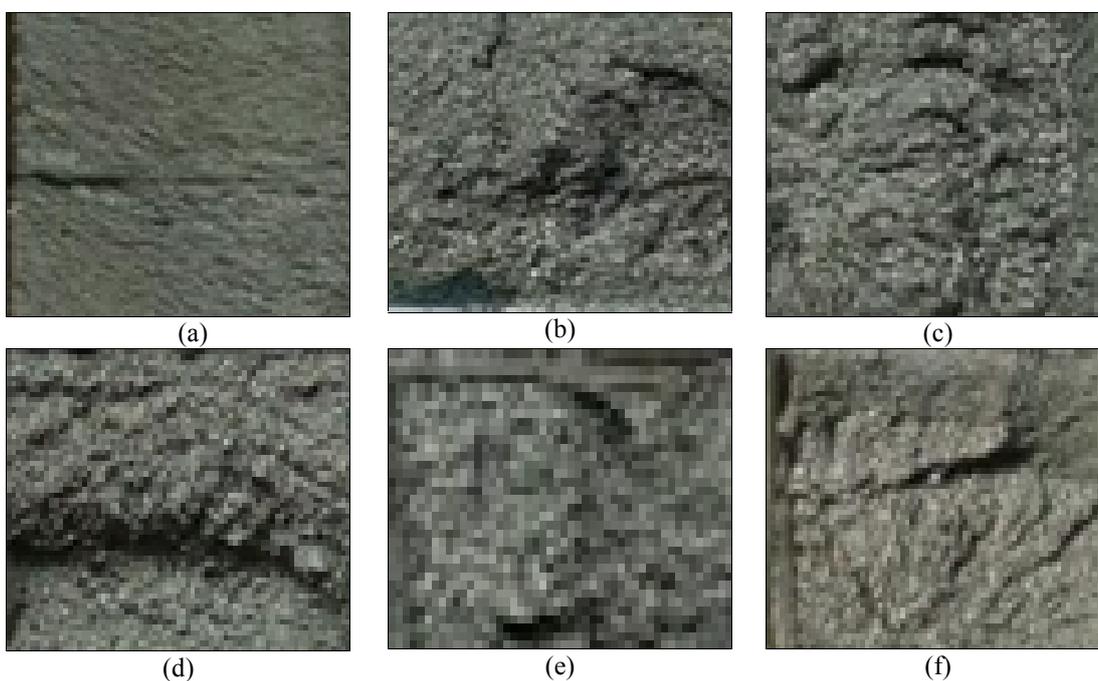


Gambar 1. Grafik uji kekerasan baja AISI 4140 pada proses perlakuan panas dengan media pendingin bertingkat.

Hasil perhitungan kekuatan impact baja AISI 4140 pada proses perlakuan panas dengan media pendingin bertingkat dapat dilihat pada gambar 2. Jenis patahan hasil impact pada spesimen Baja AISI 4140 dari setiap perlakuan dapat dilihat pada gambar 3.

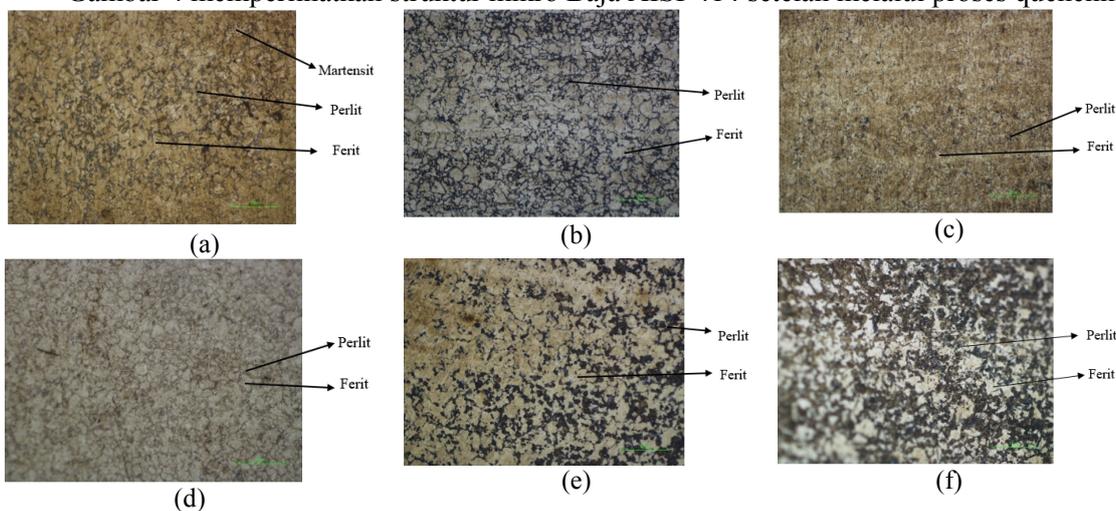


Gambar 2. Grafik uji impact baja AISI 4140 proses perlakuan panas dengan media pendingin bertingkat.



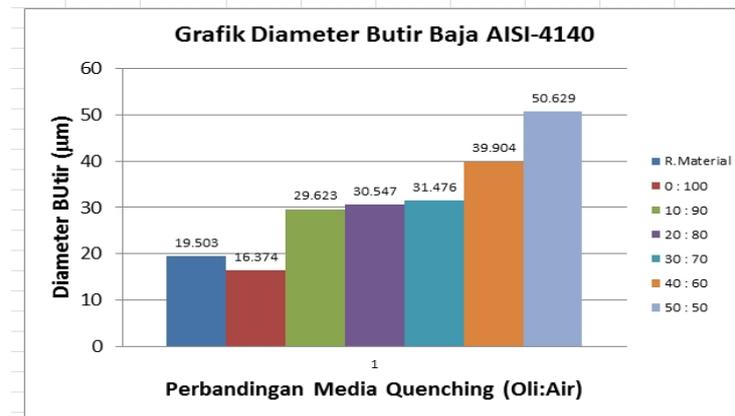
Gambar 3. Jenis patahan baja AISI 4140 proses perlakuan panas dengan media pendingin bertingkat. (a) Patahan getas (0:100), (b). Patahan ulet (10:90), (c). Patahan ulet (20:80), (d). Patahan ulet (30:70), (e). Patahan ulet (40:60), (f). Patahan ulet (50:50).

Gambar 4 memperlihatkan struktur mikro Baja AISI-414 setelah melalui proses quenching bertingkat.



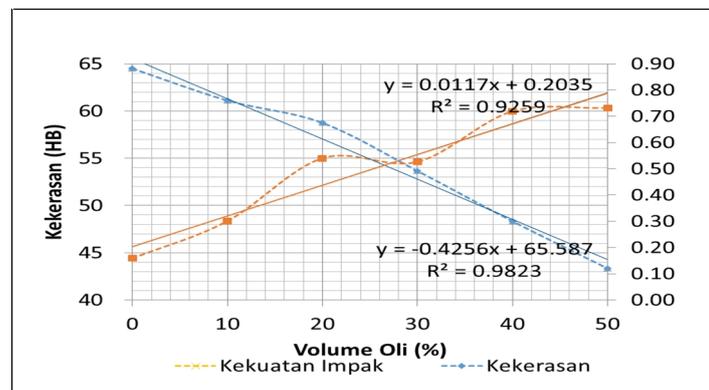
Gambar 4. Struktur mikro baja AISI 4140 proses perlakuan panas dengan media pendingin bertingkat. (a) 0% Oli, (b). 10% oli, (c). 20% oli, (d). 30% oli, (e). 40% oli, dan (f). 50% oli.

Dengan menggunakan software image-j analysis maka dapat diukur diameter butir struktur mikro baja AISI 4140. Gambar 5 memperlihatkan grafik hasil perhitungan diameter butir dari setiap perlakuan.



Gambar 5. Perbandingan diameter butir Baja AISI 4140.

Perbandingan tingkat kekerasan dan kekuatan impak baja AISI 4140 setelah diquenching dengan variasi volume oli (0, 10, 20, 30, 40, dan 50%) terhadap volume air dapat diilustrasikan seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan tingkat kekerasan dan kekuatan impak Baja AISI 4140.

Data hasil penelitian yang dideskripsikan dalam bentuk diagram batang (Gambar 2) diketahui bahwa terdapat perbedaan tingkat kekerasan baja AISI 4140 sebelum dan sesudah dilakukan proses perlakuan panas. Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian kelompok spesimen raw material sebelum pengerasan mempunyai nilai rata-rata kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan kelompok spesimen yang telah dikeraskan dengan menggunakan media pendingin bertingkat (oli dan air). Nilai kekerasan baja AISI 4140 sebelum dilakukan proses perlakuan panas adalah 32,54 HRC. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi terjadi pada spesimen yang didinginkan dengan media pendingin air sebesar 64,48 HRC kemudian diikuti dengan media pendingin bertingkat oli dan air pada perbandingan 10:90 sebesar 61,10 HRC dan berturut-turut perbandingan 20:8 sebesar 58,74 HRC, perbandingan 30:70 sebesar 53,66 HRC, perbandingan 40:60 sebesar 48,34 HRC, perbandingan 50:50 sebesar 43,36 HRC.

Dari data-data yang diperoleh di atas dapat dilihat bahwa perubahan nilai kekerasan yang terjadi pada setiap kelompok spesimen disebabkan beberapa faktor yang mempengaruhinya, diantaranya seberapa besar kecepatan pendinginan dan tingkat viskositas dari setiap media pendingin. Dalam penelitian ini pada saat baja AISI 4140 dipanaskan terbentuklah kristal-kristal berbutir halus yang seragam pada semua bagian ketika baja masih padat, karenanya disebut larutan padat (Austenit). Apabila baja dalam keadaan austenit kemudian didinginkan secara perlahan-lahan, maka akan kembali seperti semula sebelum dipanaskan. Tetapi apabila didinginkan dengan cepat maka dapat dikatakan keadaan larutan padat (Austenit) itu juga tetap berada dalam keadaan dingin sebab tidak ada waktu untuk membentuk kristal-kristal yang besar. Keadaan ini disebut martensit. Kristal martensit kecil sekali (halus) sehingga baja mempunyai sifat sangat kuat dan keras (Amanto, 1999).

Adanya variasi perlakuan media pendingin bertingkat (oli dan air), memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan tingkat kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi pada perbandingan oli dan air 0:100 adalah 64,48 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa media pendingin air memiliki pengaruh yang sangat besar dalam mempercepat laju pendinginan baja dari suhu 860 °C ke suhu 200 °C. Dengan pendinginan yang cepat, larutan padat dihalangi untuk menguraikan kristal ferrit atau sementit dan untuk beralih wujud menjadi perlit. Kisi gamma terpusat bidang memang menjelma menjadi kisi alfa terpusat ruang, namun bagi atom zat arang tidak cukup tersedia waktu untuk meninggalkan pusat dadu. Akan tetapi pada saat yang sama, atom besi menempati pusat dadu alfa. Oleh karena tidak cukup tempat untuk dua atom, maka kisi alfa mengalami suatu keadaan paksaan yang menimbulkan tegangan-tegangan. Tegangan ini mengakibatkan suatu struktur keras dan getas yang pada suhu 180...220 °C tetap berdaulat (Amanto, 1999).

Pada perbandingan oli dan air (10:90, 20:80, dan 30:70) nilai kekerasan masih cukup tinggi yaitu sebesar 61 s.d 53 HRC. Dimana fasa yang terjadi pada proses quenching bertingkat adalah  $\alpha$ +karbida. Yang menarik dari hasil penelitian ini adalah sifat baja yang dihasilkan adalah keras dan ulet (tangguh). Hal ini dapat dilihat dari permukaan hasil patahan uji impact (gambar 4) dimana permukaan patahan tidak rata, ukuran butir yang kasar, dan nampak seperti beludru, buram dan berserat yang menandakan bahwa baja AISI 4140 memiliki sifat yang keras dan ulet. Dengan demikian proses pengerasan baja AISI-4140 dengan menggunakan media pendingin bertingkat sudah dapat menggantikan proses tempering dalam menghasilkan baja yang keras dan ulet atau tangguh.

Dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian impact yang bertujuan untuk mengetahui dampak dari besarnya perubahan nilai kekerasan. Nilai yang diukur pada pengujian impact adalah besarnya usaha yang diperlukan untuk mematahkan spesimen impact dan kekuatan impact. Berdasarkan gambar 5 terlihat bahwa kekuatan impact baja AISI-4140 yang telah dikeraskan dengan menggunakan media pendingin bertingkat mengalami peningkatan kekuatan impact seiring dengan bertambahnya volume oli pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa media pendingin oli berperan dalam meningkatkan sifat keuletan pada baja AISI 4140. Hal ini diperkuat dengan permukaan patahan specimen (Gambar 3). Pada gambar 3.a, permukaan patahan specimen impact rata dan halus dan permukaan patahan specimen impact pada gambar 3.(b, c, d, e, dan f) tidak rata dan kasar.

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan tingkat kekerasan dan kekuatan impact Baja AISI 4140 setelah diquenching dengan media pendingin bertingkat. Dimana persentasi volume oli quenching yang terbaik untuk mendapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan impact yang optimal adalah 32%.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data hasil pengujian dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan: 1). Kekuatan Tarik Baja AISI-4140 adalah 1034,4 N/mm<sup>2</sup> dan perpanjangan 9,2%. Hal ini menunjukkan bahwa Baja AISI 4140 termasuk baja karbon sedang dengan kekuatan tinggi, 2). Kekerasan Baja AISI-4140 sebelum proses perlakuan panas adalah 32,54 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa Baja AISI 4140 termasuk baja karbon paduan dengan tingkat kekerasan tinggi, 3). Kekerasan tertinggi pada Baja AISI-4140 setelah diquenching menggunakan media pendingin bertingkat (oli dan air) adalah 61,10 HRC pada perbandingan oli dan air 10:90 dan kekerasan terendah 43,36 HRC pada perbandingan oli dan air 50:50, 4). Nilai kekerasan pada baja AISI-4140 menurun seiring dengan bertambahnya volume oli pendingin, namun sebaliknya terjadi peningkatan kekuatan impact seiring meningkatnya volume oli pendingin, 5). Sifat patahan pada baja AISI 4140 setelah diquenching dengan media pendingin bertingkat adalah keras dan ulet (tangguh) sehingga tidak diperlukan lagi proses tempering, 6). Persentasi volume oli quenching yang terbaik untuk mendapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan impact yang optimal adalah 32%.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H, Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Penerbit Bumi AKSara, Jakarta
- ASM Handbook.2005. Volume 1, *Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys*. ASM International.
- Bates, C.E. and G. E. Totten. 1992. Application of Quench Factor Analysis to Predict Hardness Under Laboratory and Production Conditions. The First International Conference on Quenching & Control Distortion, Chicago, Illionis.
- Bohler. 2005. *Baja dan Spesifikasi Baja Paduan Produk Bohler*. Jakarta, Indonesia
- Callister, William D. 1994. *Materials Science and Engineering*. John Willey & Sons, Inc. USA.

- Chaves, J.C., 2001. *The Effect of Surface Condition and High Temperature Oxidation on Quenching Performance 4140 Steel in Mineral Oil, in Manufacturing Engineering*, Worcester Polytechnic Institute.
- Houghton. 2000. *Houghton on Quenching*. Houghton International, Inc.
- Muas dan Syaharuddin R. 2016. Kajian Eksperimental Laju Pendinginan Tersirkulasi Dengan System Sentrifugal Pada Proses Quenching Terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 4140 (Laporan Hasil Penelitian). Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.
- Totten, GE, Bates, CE, Clinton, NA. 1993. *Handbook of Quenching and Quenching Technology*.ASM International, p 62, 140-144.
- Totten, GE, Howes, Maurice A.H. 1997. *Steel Heat Treatment Handbook*, Marcel Dekker, Inc.

## **6. UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Politeknik Negeri Ujung Pandang dan Staf Unit Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat atas kepercayaan yang diberikan kepada penulis dan tim pelaksana penelitian atas kerjasamanya dalam menyelesaikan penelitian ini.