

PERBEDAAN STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN, DAN KETANGGUHAN BAJA HQ 705 BILA DIQUENCH DAN DITEMPER PADA MEDIA ES, AIR DAN OLI

Darmawi,⁽¹⁾ M. Amin Indra Putra⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang – Prabumulih Km. 32 Kec. Indralaya 30662 Ogan Ilir

Ringkasan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efek dari perbedaan media pendinginan pada proses quench terhadap kekerasan dan kekuatan impak baja paduan HQ 705. Baja paduan HQ 705 setara dengan baja paduan nikel-chromium-molybdenum AISI 4340 dengan komposisi paduan 0,38 – 0,43% C, 1,82% Ni, 0,50 dan 0,80% Cr, 0,25% Mo. Penelitian dilaksanakan dengan cara memanaskan bahan hingga temperatur austenit 850 °C dengan waktu tahan 15 menit dan di dinginkan dengan media pendingin yang berbeda, kemudian dilakukan tempering dengan temperatur 550 °C dengan waktu tahan selama 30 menit dan didinginkan juga dengan media pendingin yang berbeda. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan dan kekuatan impak, serta diadakan pengamatan struktur mikro. Melalui penelitian ini didapat kekerasan spesimen meningkat, kekerasan tertinggi pada spesimen yang diquench pada media es dengan kekerasan 56 HRC. Spesimen tanpa perlakuan yaitu 33,4 HRC, sedangkan pada spesimen yang ditemper kekerasan tertinggi pada media oli 40,3 HRC. Hasil impaknya menurun dengan nilai impak spesimen tanpa perlakuan 60,929 joule dengan kekuatan impak tertinggi pada spesimen perlakuan panas yang diquench dan ditemper pada media oli yaitu sebesar 37,223 Joule. Struktur mikro baja paduan setelah dilakukan perlakuan panas adalah martensit yang mengandung dalam matrixferit+sementit

Abstract

This research is aim to analyze the effect of quench at difference medium on the hardness and the impact of HQ 705 steel which is as similar as AISI 4340 with 0.38 – 0.43% C; 1.82% Ni; 0.5% - 0.8% Cr and 0,25% Mo. HQ 705 steel is heated to austenite temperature of 850°C and hold as long as 15 minutes and cooled at the difference mediums, which is water, ice and oil. After that, the steels being tempered at temperature of 550°C and hold as long as 30 minutes, and then again cooled. Finally, the specimens are tested to find hardness, toughness and microstructure. Through this research, we find the increase of hardness, from 33.4 HRC at no treatment to 56 HRC at cooling in water, 40.3 HRC at cooling in oil.

Keywords: harness, impact, quench, HQ 705 steel .

1 PENDAHULUAN

Pemakaian baja paduan, penggunaannya dalam pembuatan seperti poros, roda gigi, dan komponen alat berat lainnya mensyaratkan beberapa faktor seperti kekuatan, kekerasan, ketangguhan, keuletan, tahan panas, tahan aus dan sebagainya. Salah satu upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas baja adalah dengan perlakuan panas (*heat treatment*).

Perlakuan panas pada baja mempunyai peran penting dalam upaya mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan. Proses ini meliputi pemanasan baja pada temperatur tertentu (temperature austenit) dan dipertahankan pada waktu tertentu pula (holding time) serta didinginkan dalam media tertentu pula (*quench*). Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan keuletan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu

temperatur pemanasan, waktu yang diperlukan pada temperatur pemanasan, laju pendinginan, dan lingkungan atmosfer.

Berdasarkan uraian diatas permasalahan yang akan diungkap dalam penelitian ini adalah: berapa besar dampak terhadap kekerasan, ketangguhan, serta struktur mikro baja paduan HQ 705 akibat *quenching* dan *tempering* pada media yang berbeda.

Penelitian dilakukan pada baja paduan HQ 705 sebelum dan sesudah perlakuan panas *quenching* dan *tempering*. Penelitian ini dibatasi hanya untuk mengetahui dan menganalisa perubahan kekerasan, ketangguhan serta struktur mikronya saja.

Manfaat dari penelitian yang dilakukan yaitu :

a. Dapat memberikan masukan kepada bengkel-bengkel produksi agar dapat memilih media *quench* pada proses *quenching* dan *tempering* elemen-elemen mesin seperti poros, komponen alat berat dan roda gigi

yang dibuat dari material baja paduan, sehingga meningkatkan umur pemakaian elemen tersebut.

b. Sebagai bahan referensi untuk penelitian berikutnya mengenai proses *quenching* dan *tempering* pada baja paduan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan logam hingga temperatur tertentu dan pendinginan dengan cara tertentu pula dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik tertentu dan struktur mikro tertentu pula.

2.2. Baja Paduan (Alloy Steel)

Baja paduan yang diklasifikasikan menurut kadar karbonnya dibagi menjadi :

1. *Low Alloy Steel*, jika elemen paduannya $\leq 2,5\%$
2. *Medium Alloy Steel*, jika elemen paduannya 2,5 – 10 %
3. *High Alloy Steel*, jika elemen paduannya $> 10\%$

Selain itu baja paduan dibagi menjadi dua golongan yaitu baja campuran khusus (*special alloy steel*) dan *high speed steel*.

2.2.1. Baja Paduan Khusus (*special alloy steel*)

Baja jenis ini mengandung satu atau lebih logam-logam seperti nikel, chromium, manganese, molybdenum, tungsten dan vanadium.

2.2.2. High Speed Steel (HSS) → Self Hardening Steel

Kandungan karbon : 0,70 % - 1,50 %. Penggunaan membuat alat-alat potong seperti *drills*, *reamers*, *countersinks*, *lathe tool bits* dan *milling cutters*.

Struktur Mikro Baja Karbon

Besi Delta (δ)

Besi delta merupakan salah satu fasa yang hanya berada antara temperatur 1400°C sampai 1539°C. Besi delta mempunyai sel satuan kubus pusat badan atau *Body Center Cubic* (BCC).

Austenit (γ)

Austenit atau besi gamma (γ) mempunyai sel satuan kubus muka atau *Face Center Cubic* (FCC). Austenit mempunyai sifat lunak dan ulet.

Ferit (α)

Ferit merupakan sel satuan kubus pusat badan atau BCC (*body centre cubic*) dan berada dibawah temperatur 910 °C. ferit lebih lunak dari sementit (Fe_3C). sifat ferit adalah lunak dan ulet sehingga bisa membuat material memiliki kemampuan untuk diberikan pembentukan atau mudah dibentuk dan biasanya material yang mengandung ferit ini sering digunakan untuk keperluan konstruksi.

Perlit ($\alpha + Fe_3C$)

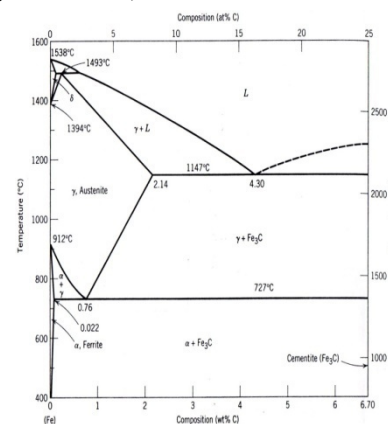
Perlit merupakan campuran antara ferit dan sementit ($\alpha + Fe_3C$) dengan lapisan-lapisan halus. Fase ini terjadi dibawah temperatur 723 °C. Perlit mempunyai sifat kuat dan keras dari ferit tetapi kurang ulet. Pada waktu pendinginan dari austenit terjadi perubahan atau transformasi austenit. Bila pendinginan ini terjadi sangat cepat, karbon tidak sempat berdifusi sehingga terbentuknya fasa martensit.

Ledeburit

Ledeburit mempunyai kandungan karbon 4,43 % yaitu berupa campuran eutektoid dan sementit. Ledeburit memiliki sifat yang sangat keras namun getas.

Sementit (Fe_3C)

Sementit merupakan senyawa logam yang memiliki kekerasan tinggi diantara fasa-fasa yang terdapat pada baja dan bersifat getas. Sementit mempunyai kandungan karbon 6,67 % dari berat molekul.

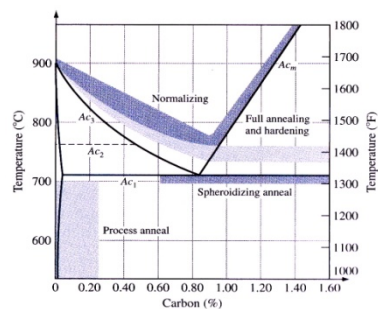


Gambar 1. Diagram Fasa Fe- Fe_3C

Perlakuan Panas (Heat Treatment)

Perlakuan panas pada baja diklasifikasikan menjadi :

1. Perlakuan Panas Termal (*Thermal Treatment*)



Gambar 2. Kurva Perlakuan Panas

2. Perlakuan Panas Termokimia (*Thermochemical Treatment*)

3. Perlakuan Panas Termomekanik (*Thermomechanical Treatment*)

4. Perlakuan Inovatif Permukaan (*Innovative Surface Treatment*)

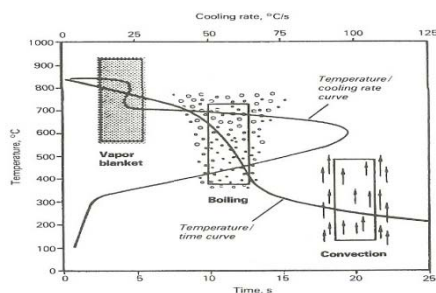
Dalam penelitian ini, penulis memilih jenis pengerasan secara penuh (*full hardening*) dengan media pencelupan/ pendinginan (*quench*) yang berbeda. Kemudian di *temper* dan didinginkan dengan media yang berbeda pula. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisa perbedaan

kekerasan, ketangguhan serta struktur mikro dari baja HQ 705 yang di *quench* dan di *temper* dalam media pendinginan yang berbeda.

2.3. Quenching

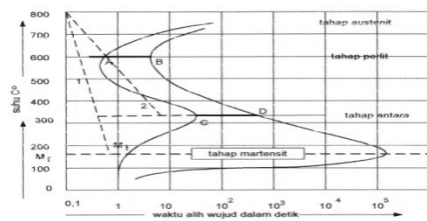
Quenching adalah proses pendinginan cepat baja dari temperatur austenit sampai temperatur ambient pada media tertentu yang akan menghasilkan struktur *martensit* melalui pendinginan tiba-tiba baja kedalam media yang memiliki laju pendinginan cepat seperti air. Pada tahap *quench* melalui media cair yang akan terjadi adalah

1. Selimut uap (*Vapour Blanket*)
2. Pendidihan (*Boiling*)
3. Konveksi (*Convection*)



Gambar 3. Mekanisme Pendinginan Dengan Media Cair.

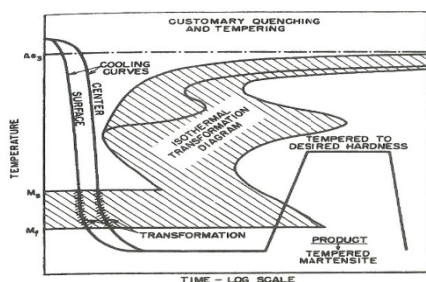
Untuk melihat proses pendinginan tersebut, dapat dilihat dari diagram “TTT” (*Time Temperature Transformation*) dibawah ini.



Gambar 4. Temperature Transformation

2.4. Tempering

Baja setelah di *quench* memiliki tegangan sisa, bersifat rapuh, dan mudah patah, dimensi tidak stabil maka material tersebut tidak siap digunakan. Untuk itu perlu dilakukan pengerjaan lebih lanjut untuk menghilangkan tegangan sisa dan sisa austenit agar logam tersebut tangguh yaitu dengan dilakukan *tempering*.



Gambar 5. Proses Quenching dan Tempering

Tempering dilakukan dengan pemanasan kembali Setelah di *quench* dibawah garis A1 (150 -650 °C) dengan tujuan

1. Mengurangi tegangan sisa akibat proses *quench*
2. Memperbaiki ketangguhan
3. Mengurangi austenit sisa

Macam dari proses tempering dibedakan berdasarkan temperatur menjadi :

1. *Tempering* pada suhu rendah (150 – 300 °C).

Perlakuan ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut / sisa dan kerapuhan dari baja serta meningkatkan ketangguhan tanpa kehilangan kekerasan, biasanya untuk alat-alat kerja yang tidak mengalami beban berat .

2. *Tempering* pada suhu menengah (300 - 550 °C).

Perlakuan ini bertujuan untuk menambah keuletan, dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas.

3. *Tempering* pada suhu tinggi (540 - 680 °C).

Perlakuan ini bertujuan untuk memberikan daya keuletan dan ketangguhan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah. Perlakuan ini umumnya perlu untuk roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya.

Mekanisme tempering dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Temper 1* : sebagian sisa austenit akan bertransformasi menjadi martensit dan akan menyebabkan perubahan dimensi (transformasi lainnya, yaitu Martensit menjadi Ferrit+simentit, sisa austenit menjadi bainit, presipitasi karbida).
2. *Temper 2* : Martensit baru yang terbentuk pada tahap tempering 1 akan mengalami temper lanjut. Tegangan sisa yang masih ada akan terus tereliminasi.
3. *Temper 3* : Terjadi eliminasi lanjut terhadap tegangan yang masih tersisa dan dimensi perkakas lebih stabil setelah tahap ini.

3. BAGAN ALIR PENELITIAN

3.1. Komposisi Spesimen

Tabel 1. Komposisi Spesimen

| UNSUR | KANDUNGAN % |
|-------|-------------|
| C | 0,5 |
| Cr | 1,75 |
| Ni | 1,66 |
| Mo | 0,18 |
| Fe | 95,7 |

3.2. Proses Quenching

Setelah mencapai temperatur dan waktu penahanan yang dikehendaki pada masing-masing spesimen, kemudian spesimen dikeluarkan dari tungku dan langsung dicelup cepat atau di-*quench* dengan variasi media *quenching* yaitu media air, air es, dan oli. Setelah spesimen dingin, lalu spesimen diangkat dari dalam media pendingin kemudian dikeringkan dan dibersihkan. Pada pengujian ini semua spesimen diberi perlakuan *quench*. Setelah itu dilanjutkan dengan proses berikutnya.

3.3. Proses Temper

Pada penelitian ini material yaitu baja paduan HQ 705 yang telah dilakukan proses *quenching* dengan temperatur 850 °C dan waktu penahanan selama 15 menit dan 30 menit ditemper pada temperatur 550°C dengan waktu penahanan 30 menit. Kemudian diikuti oleh pendinginan kedalam air, air es, dan oli.

3.4. Pengujian Kekerasan

Metode ini menggunakan indenter kerucut intan atau bola baja. Indenter kerucut intan lebih cocok untuk material keras sedangkan bola baja lebih cocok untuk material yang lebih lunak. Beban yang diberikan terdiri dari beban minor/ awal sebesar 10 kg yang gunanya untuk memecah lapisan tipis yang ada di permukaan benda uji. Kemudian dilanjutkan dengan beban mayor/utama sebesar 60 kg, 100 kg atau 150 kg.

3.5. Pengujian Impak

Material yang telah diperlakukan panas dengan temperatur kemudian diquencing dan ditemper juga dengan temperatur yang berbeda dilakukan pengujian impak. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar energi yang dimiliki oleh spesimen untuk menahan beban tiba-tiba, atau untuk mengetahui kekuatan impak atau ketangguhan dari spesimen tersebut.

3.6 Pengujian Metallografi

Setelah semua spesimen dilakukan pengujian kekerasan maka selanjutnya dilakukan pengujian metallografi. Pengujian metallografi bertujuan untuk mengamati struktur mikro logam. Pengujian ini akan menunjukkan pengaruh yang ditimbulkan oleh proses karburisasi terhadap struktur mikro material tersebut dan dengan hasil dari pengujian ini kita bisa menarik kesimpulan tentang perubahan sifat yang terjadi pada material akibat proses perlakuan panas.

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kekerasan

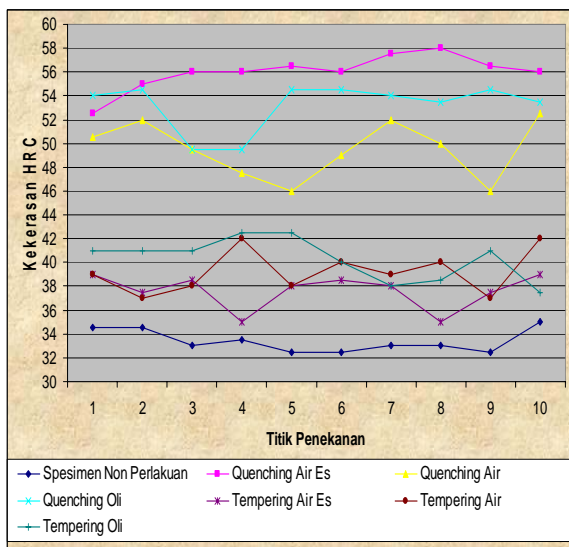
Pengujian kekerasan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode Rockwell dengan indenter kerucut intan dengan beban 150 kg. dan sudut 120°.

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan dan spesimen yang diquench

| No | Kg | HRC | | | |
|--------|-----|-----------------|--------|-------|------|
| | | Media Quenching | | | |
| | | awal | Air Es | Air | Oli |
| 1 | 150 | 34,5 | 52,5 | 50,5 | 54 |
| 2 | | 34,5 | 55 | 52 | 54,5 |
| 3 | | 33 | 56 | 49,5 | 49,5 |
| 4 | | 33,5 | 56 | 47,5 | 49,5 |
| 5 | | 32,5 | 56,5 | 53,5 | 54,5 |
| 6 | | 32,5 | 56 | 46 | 54,5 |
| 7 | | 33 | 57,5 | 49 | 54 |
| 8 | | 33 | 58 | 52 | 53,5 |
| 9 | | 32,5 | 56,5 | 50 | 54,5 |
| 10 | | 35 | 56 | 52,5 | 53,5 |
| Rerata | | 33,4 | 56 | 50,25 | 53,2 |

Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan Spesimen Yang Diquench dan Ditemper

| No | Kg | Media Temper | | |
|--------|-----|----------------------|-------------------|-------------------|
| | | HRC Tempering Air Es | HRC Tempering Air | HRC Tempering Oli |
| 1 | 150 | 39 | 39 | 41 |
| 2 | | 37,5 | 37 | 41 |
| 3 | | 38,5 | 38 | 41 |
| 4 | | 35 | 42 | 42,5 |
| 5 | | 38 | 38 | 42,5 |
| 6 | | 38,5 | 40 | 40 |
| 7 | | 38 | 39 | 38 |
| 8 | | 35 | 40 | 38,5 |
| 9 | | 37,5 | 37 | 41 |
| 10 | | 39 | 42 | 37,5 |
| Rerata | | 37,6 | 39,2 | 40,3 |



Gambar 6. Kurva Kekerasan Spesimen Non Perlakuan, Spesimen Yang *Quench* Dan Spesimen Yang *Quench* dan *Temper* Dengan Media Pendingin berbeda.

Dari pengujian kekerasan yang telah dilakukan, dapat dilihat kekerasan logam yang non perlakuan adalah berkisar antara (32,5-35) HRC. Pada spesimen yang *quench* dengan media air es diperoleh kekerasan baja paduan yang paling tinggi yaitu (52,5-58) HRC setelah *temper* dengan media air es kekerasannya menurun menjadi (35-39) HRC, kekerasan baja paduan *quench* pada media air berkisar antara (46-53,5) HRC setelah *temper* dengan media air menurun menjadi (37-42) HRC, dan kekerasan baja paduan yang *quench* pada media oli berkisar (49,5-54,5) HRC setelah *temper* dengan media oli menurun menjadi (37,5-42,5) HRC.

Secara umum harga kekerasan baja paduan semakin meningkat dari (32,5-35) HRC menjadi (52,5-58) HRC. Dari hasil pengujian ternyata pengujian dengan air es menunjukkan bahwa pendinginan dengan air es memberikan waktu yang lebih cepat. Dan oli ternyata juga bisa memberikan waktu yang lebih cepat dibanding air sehingga terbentuk martensit. Air ternyata memberikan waktu yang lebih panjang sehingga proses pembentukan martensit lebih rendah dibanding es dan oli.

Hal itu juga ditunjukkan oleh kurva (Gambar 6) yang menggambarkan nilai kekerasan Rockwell pada masing-masing spesimen. Jadi semakin cepat laju pendinginannya kekerasan pada proses *tempering* semakin menurun.

2. Pengujian Impak

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar energi yang dimiliki oleh spesimen untuk menahan beban secara tiba-tiba, dengan kata lain untuk mengetahui kekuatan impak atau ketangguhan dari spesimen tersebut. Energi untuk mematahkan

spesimen dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_1 = P (D - D \cos \alpha)$$

$$E_2 = P (D - D \cos \phi)$$

$$E = E_1 - E_2 = P D (\cos \phi - \cos \alpha) \quad (1)$$

Dimana :

E_1 = Energi potensial yang ditahan pada sudut angkat (α) dari palu

E_2 = Pesisir energi yang ditahan pada sudut ayun (ϕ) dari palu

P = Berat palu = 25,68 kg

D = Jarak dari pusat sumbu palu ke pusat gravitasi = 0,6490 m

α = Sudut angkat palu = 146,5°

ϕ = Sudut ayun setelah palu mengenai spesimen

Tabel 4. Hasil Uji Impak Spesimen Non Perlakuan.

| No. | Sudut Ayun Palu (ϕ) spesimen Non Perlakuan |
|-----|---|
| 1. | 118 |
| 2. | 118 |
| 3. | 116,5 |

Tabel 5. Data Hasil Uji Impak Spesimen Yang *Quench* dan *Temper* Dengan Media Pendinginan Berbeda.

| No. | Media Pendinginan | Sudut Ayun Palu (ϕ) Quenching | Sudut Ayun Palu (ϕ) Quenching dan Tempering |
|-----|-------------------|--------------------------------------|--|
| 1. | Air Es | 151 | 137 |
| 2. | Air Es | 148 | 137,5 |
| 3. | Air Es | 148 | 137 |
| 4. | Air | 143,5 | 134,5 |
| 5. | Air | 141 | 134,5 |
| 6. | Air | 143,5 | 131 |
| 7. | Oli | 139,5 | 128 |
| 8. | Oli | 139 | 125 |
| 9. | Oli | 125,5 | 129 |

4.2.1 Energi Impak Spesimen Tanpa Perlakuan

Energi impak rata-rata = 60,929 Joule

4.2.2 Energi Impak Spesimen Yang Diquench Pada Media Air Es

Energi impak rata-rata = -3,760 Joule

4.2.3 Energi Impak Spesimen Yang Diquench Pada Media Air

Energi impak rata-rata = 6,376 Joule

4.2.4 Energi Impak Spesimen Yang Diquench Pada Media Oli.

Energi impak rata-rata = 22,072 Joule

4.2.5 Energi Impak Spesimen Yang Diquench Dan Tempering Pada Media Air Es.

Energi impak rata-rata = 16,513 Joule

4.2.6 Energi Impak Spesimen Yang Diquench Dan Tempering Pada Media Air.

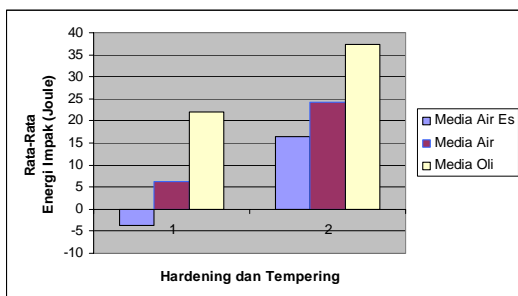
Energi impak rata-rata = 24,197 Joule

4.2.7 Energi Impak Spesimen Yang Diquench Dan Tempering Pada Media Oli.

Energi impak rata-rata = 37,223 Joule

Dari seluruh data yang kita peroleh dari hasil perhitungan diatas, maka kita bisa mendapatkan kurva yang menyatakan hubungan antara energi impak (ketangguhan) dengan media pendinginan. Dari kurva tersebut kita bisa mengetahui perbedaan energi impak masing-masing spesimen yang telah Diquench dan Ditemper dengan variasi media pendinginan.

Berdasarkan pengujian impak yang telah dilakukan terhadap spesimen tanpa perlakuan dan spesimen yang Diquench serta spesimen Diquench dan *tempering* dengan variasi media pendinginan yang berbeda, didapatkan energi impak yang paling tinggi terdapat pada spesimen yang Diquench dan *tempering* dengan oli yaitu 16,513 joule. Sedangkan spesimen yang non perlakuan memiliki energi impak yaitu 60,821 joule.

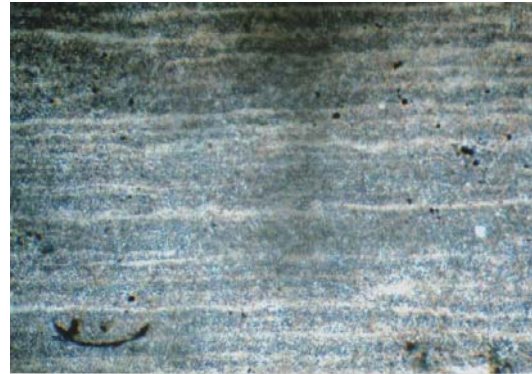


Gambar 7. Hardening dan Tempering pada beberapa media

Data diatas menunjukkan, bahwa pencelupan dengan oli memberikan hasil energi impak yang terbesar. Ini menunjukkan daya serap energi logam lebih besar dibandingkan dengan air es dan air saja. Ini berarti bahwa pencelupan pada oli tidak hanya membuat

logam tersebut menjadi keras tetapi juga menjadi tangguh sehingga ketangguhannya meningkat.

5. Metallography.



Gambar 8. Struktur Mikro Spesimen Diquench Es Dengan Perbesaran 200X.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengujian didapatkan hasil-hasil sbb:

1. Bahwa media pendinginan berpengaruh pada sifat mekanik yang dihasilkan dimana laju pendinginan yang tinggi akan menghasilkan kekerasan yang tinggi.
2. Dari tabel dapat dilihat :

| Spesimen | Nilai | Air es | Air | Oli |
|-------------------|-------------------|--------|--------|--------|
| Quench | Kekerasan HRC | 56 | 50,25 | 53,2 |
| | Ketangguhan Joule | -3,76 | 6,37 | 22,07 |
| Quench dan Temper | Kekerasan HRC | 37,6 | 39,2 | 40,3 |
| | Ketangguhan joule | 16,513 | 24,197 | 37,223 |

3. Struktur mikro baja paduan setelah dilakukan perlakuan panas banyak mengandung martensit dan ferrit= simentit.

Daftar Pustaka

- [1.] Nayar Alok. 2002. *The steel Hand Book*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- [2.] Sinha Anil Kumar. 2003. *Physical Metallurgy Hand Book*. Mc Graw-Hill Companies, Inc New York.
- [3.] Smith William Fortune. 2004. *Foundations Of Material Science And Engineering*. Mc Graw-Hill Companies, Inc. New York.

- [4.] Austenit Andalan Steel , PT. HQ 705
- [5.] Lawrence H. Van Vlack. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi Kelima*. Jakarta : Erlangga.
- [6.] Surdia, dan Shinroku Saito. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan Kelima*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- [7.] Jr. Callister. 1992. *Material Science and Engineering*. John Willey & Son.