

PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* DAN MEDIA PENDINGIN TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA SUS 630 METODE *HARDENING*

Dwi Herizen¹⁾, Rudi Siswanto²⁾

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

JL. Akhmad Yani Km.35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

Email: herizentm15ulm@gmail.com

Abstract

SUS 630 Steel hardness is 30.9 HRC and Chromium content is 12%, based on its use at PT. Pupuk Kalimantan Timur recommended a hardness of 55 HRC, to increase material hardness can be done by means of material engineering, namely Hardening. The aim of the study was to determine the effect of variations in holding time and cooling media on the hardness and microstructure of steel sus 630. The hardening process was carried out to reach 1020 °C then holding time with variations of 10, 20, 30, 40, and 50 minutes then dipped into water, salt water, and oil to room temperature. Microstructure was tested using an optical microscope with 400x magnification and hardness using Rockwell C hardness with a load of 150 kg. The observation of the microstructure after hardening of the structure formed is the martensite lath, residual austenite, and metal carbide. The hardness test results were highest in water cooling media (34.2 HRC), salt water (34.2 HRC), and oil (34.1 HRC) and raw material (30.9 HRC). From this study it can be concluded that the hardening process can increase the value of violence.

Keywords: Holding Time, Cooling, Hardness, Microstructure

Abstrak

SUS 630 memiliki kekerasan 30,9 HRC dan kandungan Chromium 12% berdasarkan pemakaiannya di PT. Pupuk Kalimantan Timur merekomendasikan kekerasan sebesar 55 HRC, untuk meningkatkan kekerasan material dapat dilakukan dengan teknik material engineering yaitu Hardening. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu tahan dan media pendingin terhadap kekerasan dan mikrostruktur baja sus 630. Proses pengerasan dilakukan hingga mencapai suhu 1020 °C kemudian waktu tahan dengan variasi 10, 20, 30, 40, dan 50 menit kemudian dicelupkan ke dalam air, air garam, dan minyak sampai suhu kamar. Struktur mikro diuji menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 400x dan kekerasan menggunakan kekerasan Rockwell C dengan beban 150 kg. Pengamatan struktur mikro setelah pengerasan struktur yang terbentuk adalah bilah martensite, sisa austenit, dan karbida logam. Hasil uji kekerasan tertinggi pada media pendingin air (34,2 HRC), air asin (34,2 HRC), dan minyak (34,1 HRC) dan bahan baku (30,9 HRC). Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa proses pengerasan dapat meningkatkan nilai kekerasan.

Kata kunci: Holding Time, Pendinginan, Kekerasan, Mikrostruktur

PENDAHULUAN

Baja *JIS G4303 grade SUS 630* merupakan golongan *stainless steel* yang mempunyai kandungan chromium yang tinggi, Kandungan komposisi kimia 0.03 % C, 0,2 % Si, 0,4 % Mn, 0.08 % P, 0,02 % S, 12,8 % Cr, 3 % N, 5 % Cu dan mempunyai nilai kekerasan sebesar 277 BHN - 363 BHN atau 30 HRC – 39 HRC. Baja ini biasanya digunakan untuk poros baling-baling, poros pompa, pin, dan *valve spindle*.

Baja SUS 630 di PT. Pupuk Kaimantan Timur digunakan sebagai bahan suku cadang pompa yaitu *Pump shaft, bushing, impeller* yang digunakan pada pabrik 3 area ammonia, spesifikasi bahan yang digunakan mempunyai nilai kekerasan sebesar 30,9 HRC dan mempunyai sifat tahan terhadap karat. Karena pengaplikasian material tersebut pada area ammonia, maka membutuhkan material yang keras, tahan terhadap korosi dan juga tahan aus sehingga untuk memenuhi spesifikasi tersebut perlu dilakukan rekayasa material. Rekayasa material untuk mendapatkan baja yang keras, tahan korosi, dan juga tahan aus salah satunya dengan proses perlakuan panas.

Proses perlakuan panas adalah metode pemanasan baja pada kondisi suhu, waktu, dan media pendingin tertentu. Tujuan perlakuan panas adalah menaikkan nilai kekerasan, menambah tingkat keuletan dan sejenisnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam perlakuan panas adalah suhu, waktu penahanan, dan media pendingin (Djafrie, 1985).

Berdasarkan Latar belakang diatas maka penulis akan meneliti material baja *JIS G4303 grade SUS 630* dengan judul tentang “Pengaruh Variasi *Holding Time* Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Sus 630 Metode *Hardening*”

Baja

Baja merupakan hasil paduan antara besi (Fe) dan carbon (C), unsur besi sebagai unsur dasar dan carbon sebagai unsur paduan utamanya. Baja diklasifikasikan menjadi dua yaitu baja carbon dan baja paduan, dimana baja karbon diklasifikasikan menjadi 3 yaitu :

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*), kadar karbonnya kurang dari 0,3 % spesifikasi baja karbon ini mempunyai sifat ketangguhan dan keuletan yang tinggi namun kekerasan dan keausannya rendah.
2. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*), kadar karbonnya 0,3 % - 0,6 %.
3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*), kadar karbonnya 0,6 % - 1,7 % spesifikasi baja karbon ini mempunyai sifat tahan panas dan kekuatan tarik yang tinggi namun keuletannya rendah sehingga menjadikan baja ini getas.

Baja paduan adalah campuran antara besi dan carbon dan juga terdapat beberapa unsur paduan lainnya agar menghasilkan sifat-sifat baja sesuai yang dibutuhkan, baja paduan diklasifikasikan menjadi 3 yaitu :

1. *High speed steel* (HSS), kandungan karbon baja ini antara 0,7 % - 1,5 %
2. Baja paduan khusus (*Special Alloy Steel*), baja ini mengandung unsur mangan, nikel, chromium dan lainnya, baja ini mempunyai sifat ulet, keras, dan kuat. Baja paduan khusus dibedakan menjadi 3, yaitu: baja perkakas (*tool steel*), *high strength low alloy steel*, dan baja tahan karat (*Stainless*

Steel) baja ini minimal mempunyai kandungan chromium minimal sebesar 4 % sehingga di bawah itu dianggap sebagai baja paduan *alloy steel* bukan *stainless steel*.

JIS G4303 SUS 630 Stainless Steel

Baja tahan karat JIS G4303 grade SUS 630 mempunyai nilai kekerasan sebesar 227-363 BHN dan biasanya digunakan untuk poros baling-baling, poros pompa, pin, dan *valve spindle*. Untuk komposisi kimia baja SUS 630 dan mechanical properties baja SUS 630 menurut global metal di tunjukan pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Komposisi kimia SUS 630

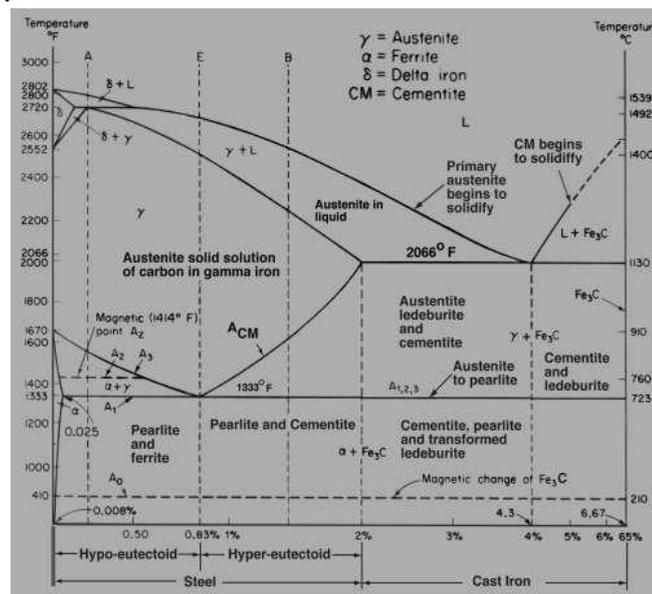
	Persentase paduan (%)								Nb+Ta
	C	Si	Mn	P	S	Cr	N	Cu	
Min	-	-	-	-	-	15	3	3	0.15
Max	0.07	1	1	0.04	0.03	17.5	-	5	0.45

Tabel 2. Mechanical properties SUS 630

Material	Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Elongations (%)	Hardness	
				Brinell	Rockwell C
SUS 630	930	725	16	277	30

Diagram Fasa Fe-Fe₃c

Diagram fasa Fe-Fe₃c adalah hubungan antara suhu dengan kadar karbon sehingga memudahkan dalam pemilihan suhu pemanasan pada saat proses perlakuan panas. Dari diagram keseimbangan Fe-Fe₃C secara garis besar baja dapat juga dikelompokkan menjadi Baja *hypo-eutectoid* (C = 0,008 % - 0,80 %) dan Baja *hypereutectoid* (C = 0,8 % - 2 %). Diagram fasa Fe-Fe₃c ditunjukkan pada Gambar 1.



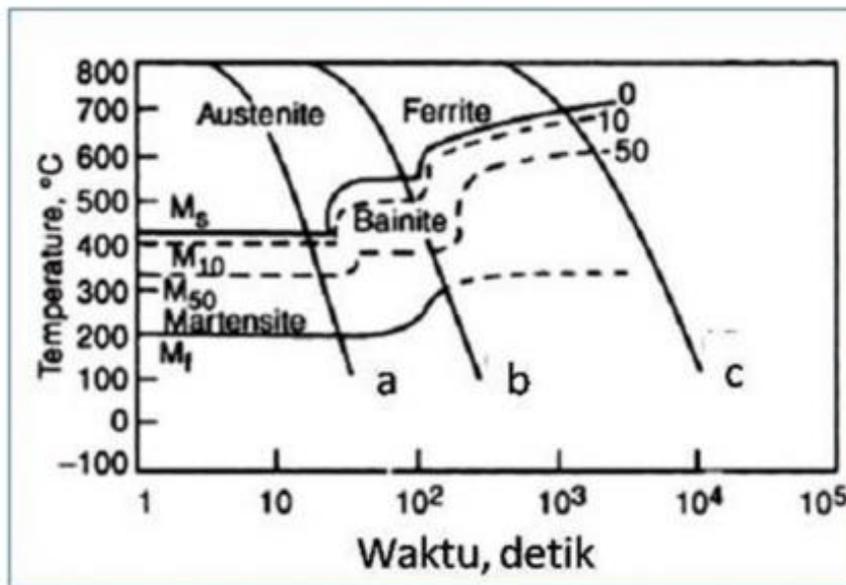
Gambar 1. Diagram Keseimbangan Fe- Fe₃c

Pada diagram diatas terdapat garis A1 yaitu perubahan struktur dari austenite menjadi pearlite dan ferrite. Pada garis A2 sifat baja berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetic, dan pada garis A3 adalah dimana struktur austenite dapat di berubah menjadi struktur martensite.

Temperatur austenisasi untuk baja *Hypo-eutectoid* adalah pada suhu 30 °C– 50 °C di atas garis A₃ sedangkan baja *Hyper-eutectoid* pada suhu 30 °C - 50°C di atas temperature kritis A₁. Martensit yang keras akan didapatkan pada suhu *austenite* karena pada suhu ini yang dapat berubah menjadi martensit setelah dilakukan pendinginan cepat..

Untuk mempermudah dalam mengidentifikasi struktur yang terjadi setelah perlakuan panas maka dapat dilihat pada Diagram Continuous Cooling Transformation (CCT). Diagram ini dapat digunakan untuk memprediksi struktur yang terbentuk karena diagram ini menggambarkan hubungan laju pendinginan dengan struktur yang akan terbentuk setelah terjadi transformasi fasa. Pada kurva pendinginan a, b, dan c merupakan batas awal dan akhir dekomposisi austenite menjadi struktur baja akhir.

Pada kurva a akan menghasilkan struktur martensit , kurva pendinginan b akan menghasilkan bainit, dan pada laju pendinginan kurva c akan menghasilkan struktur ferit dan perlit. Diagram Continuous Cooling Transformation (CCT) di tunjukan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Continuous Cooling Transformation (CCT)

Proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Proses pemanasan benda padat yang dilakukan hingga mencapai suhu tertentu kemudian di tahan pada suhu tersebut selama waktu tertentu kemudian dilakukan pendingin dengan laju pendinginan tertentu pula. Pada proses perlakuan panas akan mengakibatkan perubahan sifat fisis dan sifat mekanik suatu bahan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan material yang keras, tahan aus, dan meningkatkan kekuatan material adalah Hardening. Pada metode hardening untuk mendapatkan nilai kekerasan yang tinggi proses pemanasan harus mencapai struktur *austenite* kemudian didinginkan menggunakan media

pendingin cepat. Karena hanya pada struktur austenite yang dapat bertransformasi ke struktur martensite.

Holding time (waktu penahanan)

Pada proses perlakuan panas dibutuhkan *Holding time atau* waktu penahanan untuk mendapatkan struktur *austenite* yang homogen. Dalam lama nya waktu penahanan pada baja harus sesuai dengan jenis baja karena jika menggunakan *holding time* yang terlalu cepat akan mendapatkan nilai kekerasan yang rendah dan jika terlalu lama akan menimbulkan tumbuhnya butir sehingga menurunkan kekerasan. Berikut ini adalah panduan dalam menentukan lamanya penahan dalam perlakuan panas ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Jenis baja dan waktu tahan pada proses perlakuan panas

No	Jenis Baja	Waktu Tahan (Menit)
1	Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah	5 - 15
2	Baja Paduan Menengah	15 - 25
3	Baja Pekakas Paduan Rendah	10 - 30
4	Baja Paduan Chromium Tinggi	10 - 60
5	Baja pengerjaan panas	15 - 30

Media Pendingin

Fungsi dari pendingin adalah untuk mendinginkan material setelah perlakuan panas, kemampuan pendingin saat mendinginkan material berbeda-beda, Hal tersebut disebabkan oleh suhu, kekentalan, dan volume. Ada beberapa media pendingin yang digunakan untuk pendinginan cepat yaitu :

1. Air

Air adalah salah satu media pendingin yang digunakan pada proses pendinginan cepat karena air mempunyai titik beku pada suhu 0 °C dan titik didih pada suhu 100 °C dengan perubahan suhu yang sangat lambat memungkinkan air dapat menyimpan panas dengan baik artinya air tidak akan panas secara seketika.

2. Air garam

Air garam merupakan salah satu media pendinginan cepat karena laju pendinginan air garam relative cepat sehingga mendapatkan nilai kekerasan yang relative tinggi. Berdasarkan Pada penelitian sebelumnya campuran air garam yang bagus pada persentase 30 % garam dan 70 % air.

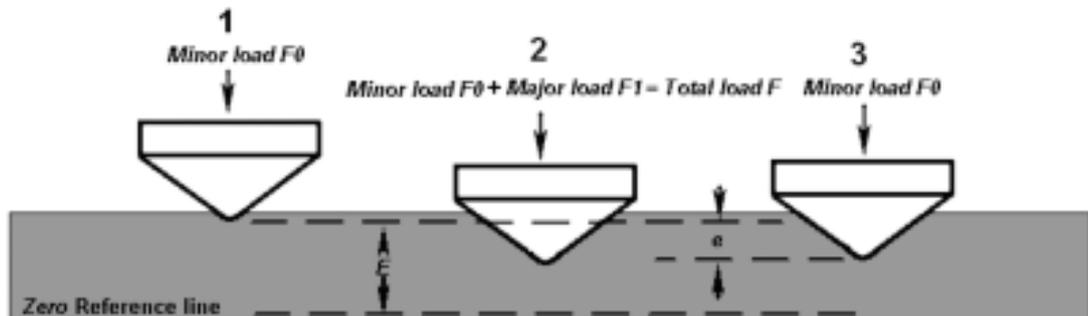
3. Oli

Oli adalah salah satu media pendingin yang digunakan pada proses pendinginan cepat karena oli dapat menyimpan panas dengan baik. Berdasarkan Penelitian sebelumnya viskositas oli yang terbaik adalah viskositas oli SAE 20W.

Kekerasan (Hardness)

Kekerasan material tergantung dari unsur paduannya dan proses perlakuan panas. Untuk mengetahui nilai kekerasan material dapat diketahui

dengan cara pengujian kekerasan salah satu metodenya menggunakan metode rockwel, nilai kekerasan material dapat diketahui dari kedalaman penekaan atau indenter. Kedalaman penekan ini di hasilkan oleh beban mayor dan beban minor. Siklus kerja metode rockwel di tunjukan pada Gambar 3.



Gambar 3. Metode Kerja Kekerasan Rockwel

Struktur Mikro

Untuk mengetahui struktur mikro pada baja dapat dilakukan pengamatan dengan teknik *metalografi* menggunakan mikroskop optik. Dalam mempersiapkan sampel pengujian ada 4 langkah yaitu:

1. Pematangan

Proses pematangan sampel dapat dilakukan dengan mesin pemotong (*cutting tools*) dengan dimensi benda kerja sesuai yang dibutuhkan.

2. Grinding

Proses grinding bertujuan untuk menghaluskan permukaan sampel dengan menggunakan kertas amplas.

3. Polishing

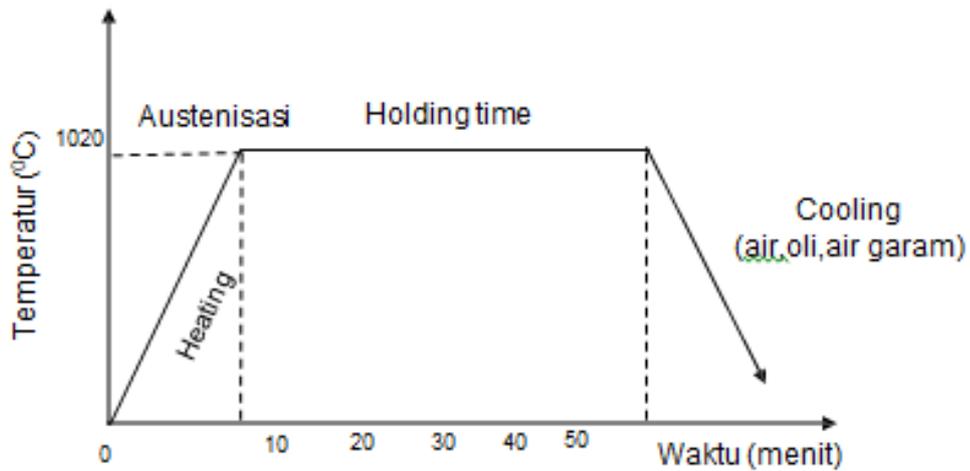
Polishing bertujuan untuk memperhalus hasil dari proses grinding agar sampel uji terhindar dari goresan sehingga saat uji metalografi dapat terlihat dengan jelas. Untuk polishing biasanya dapat menggunakan cairan alumina.

4. Pengetsaan

Langkah terakhir adalah proses etsa tujuannya adalah untuk memperjelas pada saat uji metalographi.

METODE PENELITIAN

Sampel pengujian dari baja SUS 630 sebanyak 16 sampel dengan panjang 15 mm, lebar 15 mm, dan tinggi 5 mm, pemotongan spesimen menggunakan mesin gergaji tangan. Selanjutnya 15 sampel pengujian dipanaskan hingga suhu 1020 °C sedangkan 1 sampel lainnya langsung dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro. Dari 15 sampel di variasikan menjadi 5 holding time yaitu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit sehingga dalam setiap variasi holding time berjumlah 3 sampel. Dari tiap-tiap sampel dalam variasi holding time di celupkan ke 3 media media pendingin yaitu, media pendingin air, air garam, dan oli dengan volume sama sebesar 800 ml. Siklus perlakuan panas pada baja SUS 630 ditunjukkan pada Gambar 4.



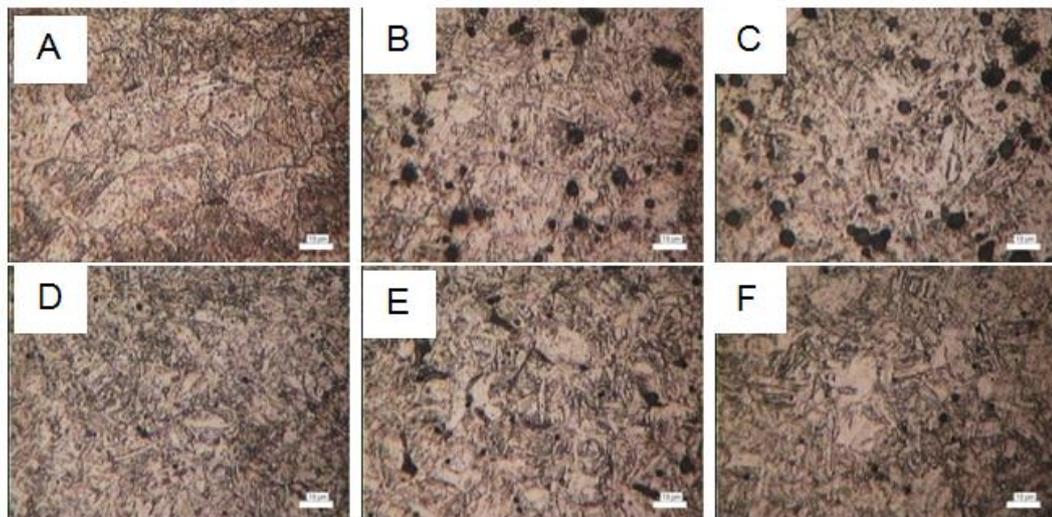
Gambar 4 Siklus Perlakuan Panas Baja SUS 630

Proses selanjutnya adalah pengujian struktur mikro dengan tahapan sampel di grinding menggunakan amplas dengan grade #60, #80, #100, #240, #320, #400, #500, #800, #1000, #1200, #1500 kemudian di polishing menggunakan cairan alumina dan yang terakhir dilakukan etching dengan menggunakan larutan etsa aqua regia, kemudia dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop optik merk Nikon dengan pembesaran 400x. Pengujian kekerasan menggunakan metode rokewel C dengan menggunakan indentor kerucut intan dan pembebanan sebesar 150 kgf dan dalam satu sampel diambil 3 titik pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Mikro Dengan Media Pendingin Air

Hasil pengamatan struktur mikro baja Sus 630 setelah perlakuan panas yang di dinginkan menggunakan media pendingin air di tunjukan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil struktur mikro pada permukaan dengan pembesaran 400x pada media pendingin air dan pada *holding time* (menit) (a) raw material, (b) 10, (c) 20, (d) 30, (e) 40, (f) 50 ; etsa aqua regia : 20 ml HNO₃ dan 60 ml HCl

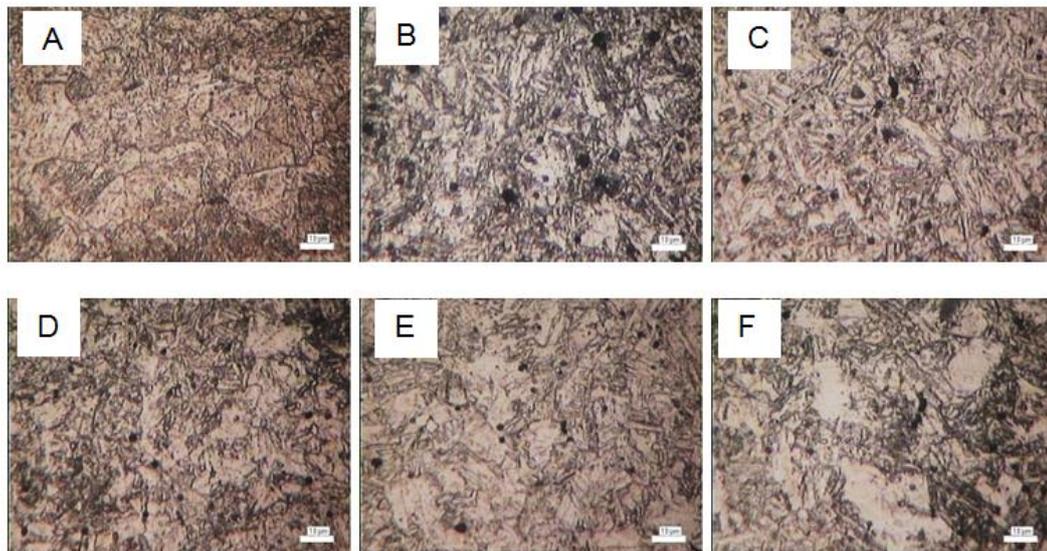
Dari hasil pengamatan struktur mikro baja *SUS 630* setelah perlakuan panas metode *hardening* struktur yang terbentuk merupakan struktur martensit yang berbentuk martensit *lath* (jarum), persebaran martensite pada setiap perlakuan holding time persebarannya tidak merata dan tidak sepenuhnya martensite namun ada juga struktur austenite sisa dan karbida logam yang membuat nilai kekerasan material menurun.

Berdasarkan pengamatan secara visual bentuk martensite dari setiap beda holding time bentuknya semakin besar atau semakin jelas hal ini menunjukkan peningkatan nilai kekerasan material, namun pada holding time 30 menit struktur martensitenya terlihat lebih kecil dari yang lain hal ini sesuai dengan hasil uji kekerasan bahwa nilai kekerasannya menurun.

Ciri-ciri dari struktur atau fasa martensit *lath* (jarum) merupakan mempunyai kecenderungan membentuk struktur parallel pada butir asutenit sisa. Pada penelitian sebelumnya yang di teliti oleh Dwisaputro, Dkk (2018) baja tahan karat setelah perlakuan panas dan dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) fasa yang terbentuk adalah fasa martensit yang berbentuk martensit *lath* (jarum), austenite sisa , dan karbida logam.

Struktur Mikro Dengan Media Pendingin Air Garam

Hasil pengamatan struktur mikro baja *Sus 630* setelah perlakuan panas yang di dinginkan menggunakan media pendingin air garam di tunjukan pada Gambar 6.



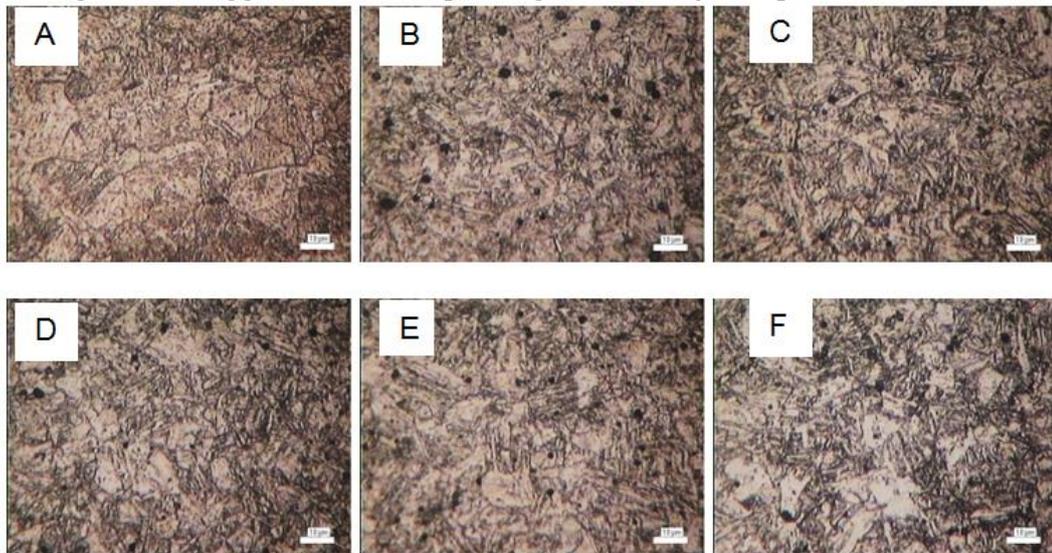
Gambar 6. Hasil struktur mikro pada permukaan dengan pembesaran 400x pada media pendingin air garam dan pada *holding time* (menit) (a) *raw material*, (b) 10, (c) 20, (d) 30, (e) 40, (f) 50 ; etsa *aqua regia* : 20 ml HNO_3 dan 60 ml HCl .

Dari hasil pengamatan struktur mikro baja *SUS 630* setelah perlakuan panas metode *hardening* struktur yang terbentuk merupakan struktur martensit yang berbentuk martensit *lath* (jarum), persebaran martensite pada setiap perlakuan holding time persebarannya tidak merata dan tidak sepenuhnya martensite namun ada juga struktur austenite sisa dan karbida logam yang membuat nilai kekerasan material menurun.

Berdasarkan pengamatan secara visual bentuk martensite dari setiap beda holding time bentuknya semakin besar atau semakin jelas hal ini menunjukkan peningkatan nilai kekerasan material, namun pada holding time 20 menit struktur martensitenya terlihat lebih kecil dari yang lain hal ini sesuai dengan hasil uji kekerasan bahwa nilai kekerasannya menurun. semakin tinggi nilai kekerasan suatu material struktur mikronya akan berbentuk matensit yang mendekati sempurna (matsuki dkk, 2017).

Struktur Mikro Dengan Media Pendingin Oli

Hasil pengamatan struktur mikro baja Sus 630 setelah perlakuan panas yang di dinginkan menggunakan media pendingin oli di tunjukan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil struktur mikro pada permukaan dengan pembesaran 400x pada media pendingin oli dan pada *holding time* (menit)
(a) *raw material*, (b) 10, (c) 20, (d) 30, (e) 40, (f) 50 ; etsa aqua regia : 20 ml HNO₃ dan 60 ml HCl

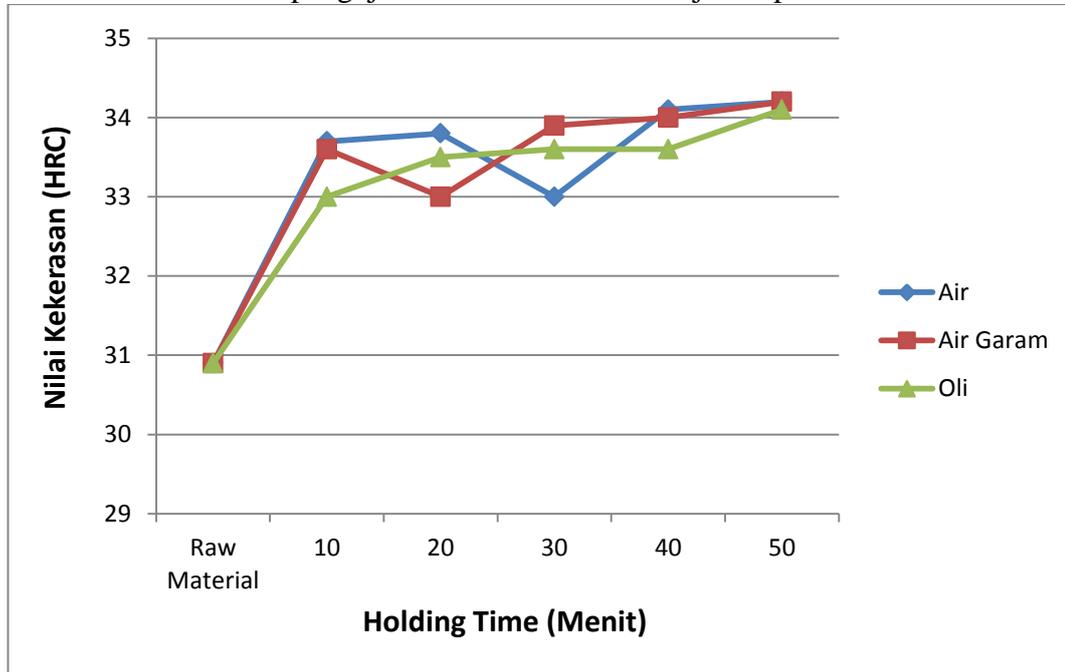
Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan struktur yang terbentuk adalah struktur martensit dalam bentuk *lath* (jarum). Struktur yang terbentuk bukan hanya martensit namun masih ada struktur austenite sisa dan juga karbon karbida logam, namun untuk karbida logam tidak dapat terlihat jelas pada pengujian menggunakan mikroskop optic, karbida logam akan terlihat jelas pada pengujian SEM, hal ini dikemukakan oleh prifiharni dkk (2016).

Berdasarkan pengamatan secara visual bentuk martensite dari setiap beda holding time bentuknya semakin besar atau semakin jelas hal ini menunjukkan peningkatan nilai kekerasan material, namun pada holding time 20 menit struktur martensitenya terlihat lebih kecil dari yang lain hal ini sesuai dengan hasil uji kekerasan bahwa nilai kekerasannya menurun

Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian nilai Kekerasan menggunakan alat uji kekerasan rocwel C terlihat perbedaan nilai kekerasan terhadap variasi holding time yang digunakan dengan variasi media pendingin. Berdasarkan dari hasil pengujian nilai kekerasan optimum diperoleh pada holding time 50 menit dengan media pendingin air dan

air garam sebesar 34,2 HRC dan nilai kekerasan terendah diperoleh pada holding time 10 menit dengan media pendingin oli, holding 20 menit pada media pendingin air garam, dan holding time 30 menit pada media pendingin air sebesar 33 HRC. Grafik hasil pengujian nilai kekerasan ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Hubungan Pengaruh Variasi *Holding Time* Dan Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Baja SUS 630

Perbedaan nilai kekerasan pada hasil pengujian tersebut dipengaruhi oleh variasi holding time pada saat hardening, karena semakin lama holding time struktur austenite akan bertransformasi secara homogen dan sempurna dan kecepatan media pendingin dalam mendinginkan spesimen setelah hardening mempengaruhi nilai kekerasan material tersebut karena hanya struktur austenite yang dapat berubah ke martensit.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin lama holding time semakin meningkatkan nilai kekerasan material, nilai kekerasan tertinggi pada media pendingin air (34,2 HRC), air garam (34,2 HRC), dan oli (34,1 HRC).
2. Semakin lama holding time bentuk struktur mikro berubah dari martensite dengan bentuk halus menjadi martensite *lath* (jarum).

REFERENSI

- Aziza, Yuliana & Yayi Febdia Pradani, 2017, Pengaruh kadar garam dapur (NaCl) dalam media pendingin terhadap tingkat kekerasan pada proses pengerasan baja St-60. FTIKA Unira Malang, Vol.1, No. 1, hlm 18-25.
- Adawiyah,rabiatul, 2015, pengaruh perbedaan media pendingin terhadap struktur mikro dan kekerasan pegas daun dalam proses hardening, Jurnal POROS TEKNIK, Vol. 6, No. 22, hlm 55-102.
- Djafrie, S., 1985, *Teknologi Mekanik Jilid 1*. Terjemahan dari *Manufacturing Processes*, Erlangga. Jakarta.
- De Garmo, P., (1969), *Materials and Processes in Manufacturing*, Mac Millan Company, New York.
- Dwi saputro, Rizki, Mochammad Syaiful Anwar, Rusnaldy, dan Efendi Mabruhi 2018, pengaruh perlakuan panas baja tahan karat martensitik aisi 410 terhadap strukturmikro dan ketahanan korosi,. *Metalurgi*, Vol. 33, No.1, Hlm.19 – 26.
- Efendi sairul, 2009, Pengaruh perbedaan waktu penahanan suhu stabil terhadap kekerasan logam. *Jurnal austenite* vol 1, hlm 39-43.
- Elfendri , 2009, “Pengaruh media pendingin terhadap kekerasan makro dan mikro ni – hard iv”, *JURNAL APTEK*, Vol. 1 No. 1, hlm 18-23.
- Global metals “stainless stell-630/17-4PH” termuat di www.globalmetals.com.au. Di akses pada tanggal 4 maret 2019.
- Mersilia,Anggun, 2016, Pengaruh *heat treatment* dengan variasi media *quenching* air garam dan oli terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan baja pegas daun aisi 6135. Skripsi, .Jurusan Fisika. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Lampung.
- Mastuki dan Zainuri Mochamad, 2017, Pengaruh Sintering Dengan Quenching Media Pendingin Air, Air Garam Dan Oli Sae 30 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Paduan Besi-Karbon Bjtp24, Vol. 11, No.1, hlm 1-6.
- Pambudi, B.S., Muhammad Rifki Luthfansa, dan Wahyu Hidayat Nurdiansyah, 2017, Pengaruh variasi viskositas oli sebagai media pendingin terhadap sifat kekerasan pada proses *quenching* baja aisi 4340. Skripsi, Fakultas teknologi industry, Institute teknologi sepuluh November, Surabaya.
- Prifiharni, Siska, Moch. Syaiful Anwar dan Efendi Mabruhi, 2016, pengaruh perlakuan panas terhadap struktur mikro dan ketahanan korosi baja tahan karat martensitik 13Cr-1Mo. *Widyariset.*, Vol. 2 No. 1Hlm. 9 – 16.
- Surdia, T., dan Shinroku, S., 2005, *Pengetahuan bahan teknik*. Cetakan ke -6, 2013, PT. Balai pustaka, Jakarta.
- Septianto, Bayu adie, dan setiyorini yuli.(2013). Pengaruh Media Pendingin pada *Heat Treatment* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction

Wedge AISI 1340. Skripsi, Jurusan teknik material dan metalurgi, Fakultas Teknologi Industri , Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
Yuri, Syaifudin, 2016), Pengaruh media pendingin pada proses hardening material baja S45C. Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, Jakarta.