

KARAKTERISASI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 410 PADA PROSES TEMPERING DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGIN

Jamaludhin Rais¹, Sunardi², Erny Listijorini³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin Universitas Sultas Ageng Tirtayasa,
Jl. Jenderal Sudirman Km 3, Cilegon-Banten, Indonesia, 42435

Email: 3331160002@untirta.ac.id¹, sunardi@untirta.ac.id², ernylisty@untirta.ac.id³

ABSTRACT

In AISI 410 steel, the characteristic changes observed in this study were the value of hardness, and microstructure shape. Material samples heated on temperature 900°C and held for 45 minutes, with cooling medium variation used are water, used oil, and SAE 20W-50 oil. In the process, tempering the material sample returns heated on 300°C and held for 15 minutes, then cooled in the room open. The results showed that the microstructure formed in AISI 410 steel after heat treatment is martensite lath, ferrite and austenite. From the results has been obtained, that the quenching process with a variety of cooling media used and followed by the tempering process can affect the shape of the microstructure of AISI 410 steel, changes that occur are increase in the hardness value of the material. The results showed that the sample quenching water had the highest hardness is 378 HV, followed by quenching of SAE 20W-50 oil and used oil with grades of 377 and 362 HV, respectively. The increase in hardness value occurs due to changes in the micro structure that occur due to the heat treatment process. The increase in the value of hardness that occurred in the material was 143.7%.

Keywords: AISI 410 steel, hardness, microstructure, quenching, tempering.

PENDAHULUAN

Baja AISI 410 merupakan jenis baja tahan karat (*stainless steel*) martensitik yang termasuk dalam salah satu jenis logam yang memiliki kadar karbon menengah, baja jenis ini cukup banyak diaplikasikan sebagai bahan material komponen mesin jet, komponen senjata serta alat potong. Untuk mendapatkan karakteristik khusus yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan dan aplikasi yang diinginkan maka pada baja AISI 410 dilakukan proses perlakuan panas [1]. Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu proses mengubah karakteristik logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia pada logam tersebut [1]. Karakteristik pada logam yang telah melalui proses perlakuan panas dipengaruhi oleh komposisi paduan, jenis media pendingin dan bentuk dari spesimen.

Tujuan dari perlakuan panas adalah untuk menghasilkan sifat-sifat dan karakteristik logam yang diinginkan. Perubahan karakteristik logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam. Logam yang digunakan sebagai bahan untuk proses perlakuan panas adalah logam yang memiliki kadar karbon rendah dan karbon menengah, hal ini disebabkan kadar karbon yang terkandung pada suatu logam akan sangat mempengaruhi hasil atau karakteristik dari logam

tersebut setelah melewati proses perlakuan panas. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari baja AISI 410 melalui proses perlakuan panas.

Sebuah penelitian yang dilakukan dengan tujuan untuk mengamati pengaruh perlakuan panas austenisasi dan *tempering* terhadap kekerasan dan ketahanan aus baja tahan karat martensitik 13Cr. Pada tahapan penelitian ini sampel yang telah melalui proses austenisasi pada temperatur 950, 1000, 1050 dan 1100°C dengan *holding time* selama 1 jam. Setelah itu, sampel didinginkan dengan cepat (*quenching*) menggunakan oli. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan (*Rockwell C*) dan uji ketahanan aus. Hasil dari penelitian ini adalah nilai kekerasan optimum ditemukan pada baja tahan karat martensitik 13Cr yang mengalami austenisasi pada suhu 1050°C dengan suhu *tempering* 600°C. Kenaikan suhu *tempering* pada baja tahan karat 13Cr tidak memberikan pengaruh negatif secara linier terhadap ketahanan aus baja tersebut [2].

Penelitian serupa yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter perlakuan panas terhadap kekerasan dan ketahanan korosi pada baja 13Cr3Mo3Ni. Pada penelitian ini tahapan proses yang dilakukan yaitu austenisasi pada variasi temperatur 950, 1000, 1050 dan 1100°C dengan *holding time* selama 1 jam dan 3 jam. Setelah itu,

masing-masing sampel didinginkan dengan media oli. Sampel kemudian melewati proses *tempering* pada temperatur 650°C dengan *holding time* selama 1 jam. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji kekerasan menggunakan *Rockwell C*, pengamatan struktur mikro menggunakan metalografi dan uji korosi menggunakan CMS (*Corrosion Measurement System*). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan, bentuk struktur mikro dan tingkat korosifitas pada baja 13 Cr3Mo3Ni [3]–[5].

Sebuah penelitian lain telah dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi ketahanan impact, nilai kekerasan dan struktur mikro pada baja tahan karat martensitik 13Cr yang telah melalui proses perlakuan panas. Pada penelitian ini proses austenisasi dilakukan pada temperatur 1000, 1050 dan 1100°C. Setelah itu, proses *tempering* dilakukan pada temperatur 500, 550, 600, 650 dan 700°C. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan menggunakan *Rockwell C*, uji impact menggunakan impact *Charpy* dan pengamatan struktur mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas yang telah dilakukan memiliki pengaruh terhadap perubahan karakteristik nilai kekerasan, kemampuan terhadap menyerap energi dan bentuk struktur mikro pada baja tahan karat martensitik 13Cr [6].

Penelitian serupa dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa temperatur transformasi fasa alpha menjadi gamma pada baja AISI 410S dengan kondisi pendinginan yang berbeda. Metode yang digunakan adalah *bridgman furnace crystal growth and laser remelting technique*. Pada tahapan solidifikasi temperatur yang digunakan adalah 1730 dan 1750 K, dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa fasa berbentuk lempengan dan austenit dendritik diperoleh pada tahapan fasa solid dengan laju pertumbuhan sebesar 5 dan 10 µm/s dalam percobaan searah. Fasa austenit berbentuk plat mengalami pertumbuhan pada 100 µm/s [7].

Penelitian lainnya pada baja AISI 410 dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh *annealing* terhadap perubahan sifat-sifat material. Proses pengujian yang digunakan adalah uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro, pada proses *annealing* temperatur yang digunakan yaitu 700, 760, 800, 850, dan 900°C dengan *holding time* selama 3 dan 6 jam. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kekerasan paling optimum yaitu 35,9 HRC pada temperatur 760°C dengan *holding time* selama 6 jam serta struktur mikro yang dihasilkan yaitu fasa delta ferit, martensit, austenit, dan karbida yang dapat mempengaruhi sifat mekanik [8].

Penelitian serupa pada baja AISI 410 dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan pada material melalui proses *quenching* dan *tempering* dengan media pendingin berupa oli dengan variasi ketebalan, metode pengujian yang digunakan yaitu uji kekerasan. Hasil dari penelitian yang ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekerasan yaitu sebesar 487, 465, dan 450 HV dengan

nilai kekerasan awal sampel material sebesar 224 HV [9].

Penelitian pada baja AISI 410 yang dilakukan dengan tujuan untuk untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan panas (*as-quench* dan *tempering*) terhadap struktur mikro, laju korosi dan ketahanan korosi sumuran. Metode pengujian yang digunakan yaitu pengamatan struktur mikro dan uji laju korosi. Pada tahapan austenisasi temperatur yang digunakan adalah 1050°C dan pada proses *tempering* temperatur yang digunakan adalah 650°C. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa struktur mikro yang terbentuk adalah ferit, karbida, martensit berbentuk bilah (*lath*) dan laju korosi dan ketahanan korosi sumuran sangat tinggi ditemukan pada baja AISI 410 *full annealing* [10].

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui metode yang efektif dalam meningkatkan dan merubah nilai kekerasan dan struktur mikro pada suatu material, serta mengetahui pengaruh variasi media pendingin terhadap nilai dan bentuk struktur mikro pada baja AISI 410. Pengujian yang digunakan adalah uji kekerasan (*vickers*) dan metalografi. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi data kepada industri maupun pengembangan teknologi dan material.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah eksperimen untuk mengetahui karakteristik dari sifat mekanis dan struktur mikro dari baja AISI 410 menggunakan proses perlakuan panas (*heat treatment*) berupa *quenching* dan *tempering* dengan variasi media pendingin.

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada proses penelitian ini adalah baja AISI 410 (komposisi ditunjukkan pada Tabel 1) dengan dimensi (tebal 10 mm dan diameter 18 mm), air, oli bekas pakai, oli SAE 20W-50. Alat-alat yang digunakan pada proses penelitian ini adalah mesin bubut, *oven furnace*, jangka sorong, mesin uji kekerasan (*vickers*), mikroskop optik, mesin *polishing*, *thermocouple*, *stopwatch*, dan kertas amplas grid (400, 600, 800, 1000, 1200).

Tabel 1. Komposisi kimia baja AISI 410

Unsur	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
%Berat	0,1	0,005	0,02	0,61	0,24	12,73	2,52	2,93

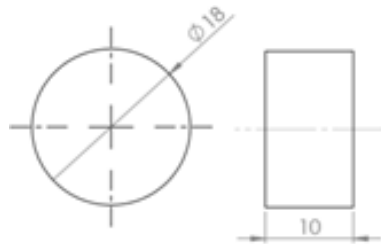
Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada proses penelitian ini adalah studi literatur, persiapan (preparasi) sampel, proses *hardening* pada temperatur 900°C dengan *holding time* selama 45 menit, proses *quenching* dengan media pendingin (air, oli bekas pakai dan oli SAE 20W-50), proses *tempering* pada temperatur 300°C dengan *holding time* selama 15 menit, proses pengujian (uji

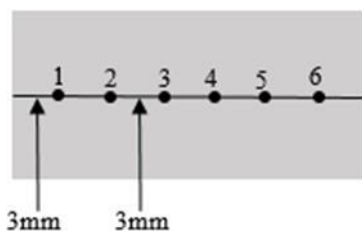
kekerasan dan metalografi), dan analisa data hasil pengujian.

Uji Kekerasan

Proses uji kekerasan dilakukan sebanyak 6 (enam) titik untuk setiap variasi sampel. Metode yang digunakan adalah metode *Hardness Vickers* (HV), alat yang digunakan adalah *frank finotest* dan standar pengujian yang digunakan adalah SNI 07-0409-1989. Proses uji kekerasan dilakukan dengan beban uji sebesar 5 kgf. Dimensi sampel dapat dilihat pada gambar 1 sedangkan untuk tata letak titik pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Sampel uji kekerasan berbentuk silinder pejal dengan diameter 18 mm dan tebal 10 mm



Gambar 2. Titik posisi uji kekerasan

Metalografi

Metalografi merupakan studi yang mempelajari tentang karakteristik struktur mikro pada suatu logam atau paduan logam [11]. Proses pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan metode metalografi dengan menggunakan alat mikroskop optik. Standar yang digunakan untuk persiapan sampel sebelum proses pengujian (preparasi) adalah ASTM E-03 dan standar yang digunakan untuk proses pelaksanaan pengamatan sampel adalah ASTM-407. Proses pengamatan struktur mikro dilakukan sebanyak 2 (dua) tingkat perbesaran untuk setiap variasi sampel yaitu 200 dan 500 kali. Adapun bentuk sampel untuk proses pengamatan struktur mikro ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk sampel metalografi

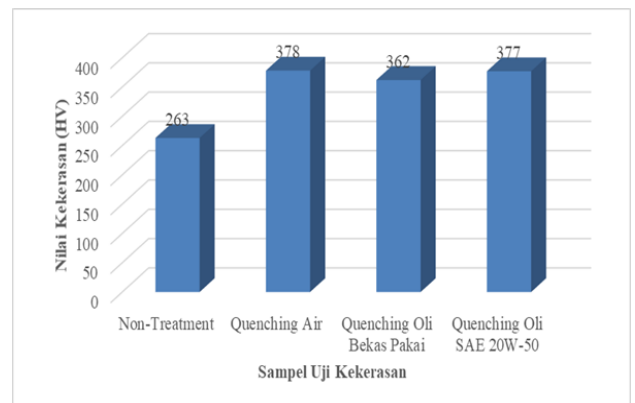
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kekerasan

Dari proses uji kekerasan yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa proses perlakuan panas berupa *quenching* dan *tempering* dengan variasi media pendingin berupa air, oli bekas pakai dan oli SAE 20W-50 sebanyak 1 liter untuk setiap media pendingin yang digunakan pada proses *quenching* dapat merubah nilai kekerasan pada baja AISI 410. Adapun nilai hasil uji kekerasan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Tabel 2. Data hasil uji kekerasan

Titik Pengujian	Nilai Kekerasan Sampel (HV)			
	Raw Material	Quenching Air	Quenching Oli Bekas Pakai	Quenching Oli SAE 20W-50
1	262	376	371	381
2	268	367	367	371
3	262	371	353	376
4	257	381	345	371
5	262	391	371	381
6	268	381	367	381
Rata-rata	263	378	362	377



Gambar 4. Grafik perbandingan rata-rata sampel uji kekerasan

Dari Gambar 4 diketahui bahwa proses perlakuan panas berupa *quenching* dan *tempering* dapat merubah karakteristik nilai kekerasan pada material, khususnya pada baja AISI 410. Pada sampel *quenching* air memiliki tingkat kekerasan tertinggi dibandingkan dengan material *quenching* lainnya. Hal ini dikarenakan air memiliki viskositas (kekentalan) yang lebih rendah serta memiliki massa jenis yang lebih tinggi sehingga menyebabkan panas akan lebih mudah terserap dan sampel menjadi lebih cepat dingin [12]. Hal tersebut mengakibatkan nilai kekerasan pada sampel *quenching* air lebih tinggi. Sampel *quenching* oli bekas pakai memiliki tingkat kekerasan terendah, hal ini dikarenakan sifat-sifat dari oli bekas pakai yang mulai menurun dari kondisi normal. Penurunan sifat-sifat oli bekas pakai antara lain menurunnya kemampuan menyerap panas sehingga mudah terbakar, mengandung logam berat dan zat kimia lainnya [13]. Hal tersebut mengakibatkan proses pendinginan sampel pada media oli bekas pakai lebih lama dibandingkan dengan media pendingin air sehingga didapatkan

nilai kekerasan yang lebih rendah. Sampel *quenching* oli SAE 20W-50 memiliki tingkat kekerasan yang hampir menyerupai *quenching* air, hal ini dibuktikan berdasarkan hasil dari proses pengujian kekerasan dimana nilai rata-rata kekerasan sampel *quenching* oli SAE 20W-50 memiliki perbedaan yang sangat kecil. Hal ini dikarenakan oli SAE 20W-50 memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi dan sifat-sifat dari oli SAE 20W-50 masih dalam kondisi normal jika dibandingkan dengan oli bekas pakai [13]. Hal tersebut mengakibatkan proses penyerapan panas yang lebih optimal sehingga sampel akan mengalami proses pendinginan lebih cepat dan menghasilkan nilai kekerasan yang cukup tinggi.

Pada penelitian lain yang dilakukan pada baja AISI 410 dapat diketahui bahwa proses perlakuan panas berupa austenisasi yang dilakukan pada temperatur 1000, 1050, dan 1100°C dengan diikuti proses *tempering* pada temperatur 500, 550, 600, 650, dan 700°C dengan waktu tahanan selama 60 menit dapat mempengaruhi nilai kekerasan pada suatu material, nilai kekerasan terendah terjadi pada sampel austenisasi dengan temperatur 1000°C dengan diikuti proses *tempering* pada temperatur 700°C sebesar 38,13 HRC. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada sampel austenisasi pada temperatur 1100°C dengan diikuti proses *tempering* pada temperatur 550°C dengan nilai kekerasan sebesar 51,37 HRC [6].

Penelitian serupa yang dilakukan pada baja AISI 410 dapat diketahui bahwa proses perlakuan panas berupa *quenching* pada variasi temperatur austenisasi sebesar 950, 1000, 1050, dan 1100°C dengan waktu tahanan selama 1 dan 3 jam dan didinginkan dengan menggunakan media oli, dilanjutkan dengan proses *tempering* pada temperatur 650°C dengan waktu tahanan selama 1 jam dapat mempengaruhi nilai kekerasan pada suatu material. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pada sampel dengan proses *quenching* pada temperatur 1100°C dengan waktu tahan selama 3 jam dilanjutkan dengan proses *tempering* pada temperatur 650°C selama 1 jam dimana nilai kekerasan yang diperoleh sebesar 46,2 HRC [3].

$$\Delta x = \frac{y}{z} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

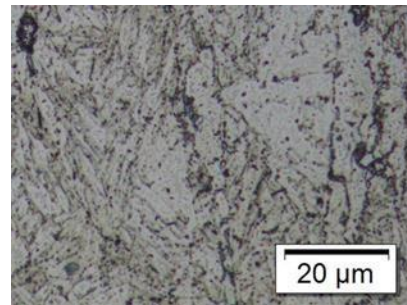
- Δx = Persentase peningkatan nilai kekerasan
- y = Rata-rata nilai kekerasan tertinggi
- z = Rata-rata nilai kekerasan terendah

Dari rata-rata nilai kekerasan yang didapatkan diketahui bahwa perubahan nilai kekerasan yang terjadi pada sampel yang telah melalui proses *quenching* dan *tempering* diakibatkan oleh perubahan struktur mikro pada sampel tersebut. Perubahan struktur mikro pada proses *quenching* dan *tempering* adalah fasa martensit, dimana pada fasa tersebut memiliki dapat mempengaruhi nilai kekerasan pada suatu material karena sifat yang keras. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa persentase perubahan nilai kekerasan yang terjadi antara rata-rata nilai

kekerasan tertinggi dengan rata-rata nilai kekerasan terendah sebesar 143,7 %.

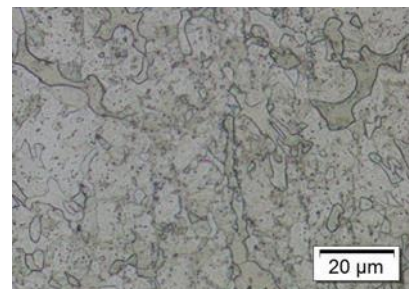
Hasil Metalografi

Bentuk dari struktur mikro yang didapatkan setelah melalui proses metalografi dapat dilihat pada Gambar 5 – 8.



Gambar 5. Struktur mikro sampel *non-treatment* 500x perbesaran

Dari gambar 4 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel *non-treatment* adalah austenit, ferrit dan martensit. Fasa austenit berwarna keputihan dan memiliki sifat yang ulet dan tahan terhadap korosi. Sementara itu, fasa martensit berbentuk seperti jarum tajam yang memiliki sifat keras. Fasa ferrit atau yang biasa disebut dengan fasa alpha merupakan salah satu jenis fasa yang terbentuk pada logam baja yang memiliki sifat magnetik dan mudah terkorosi yang memiliki warna kehitaman. Sampel *non-treatment* memiliki nilai kekerasan paling rendah dibandingkan dengan sampel yang telah mengalami perlakuan panas yaitu dengan rata-rata nilai kekerasan sebesar 263 HV

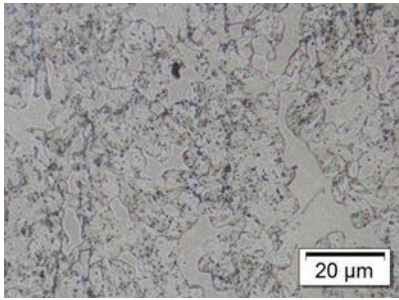


Gambar 6. Struktur mikro sampel *quenching* air 500x perbesaran

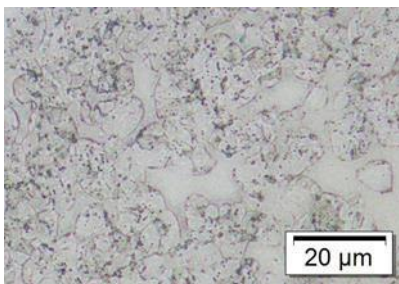
Dari Gambar 6 diketahui bahwa struktur mikro yang terdapat pada sampel *quenching* air adalah fasa martensit (*lath*) yang berbentuk lapisan dan memiliki sifat kekerasan yang tinggi. Fasa ini terbentuk akibat dari proses pendinginan yang sangat cepat. Rata-rata nilai kekerasan sampel *quenching* air sebesar 378 HV.

Dari Gambar 7 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel *quenching* oli bekas pakai memiliki perbedaan fasa jika dibandingkan dengan sampel *quenching* air. Perbedaan terletak pada fasa yang berbentuk martensit (*tempered*), fasa tersebut

memiliki kekerasan lebih rendah dibandingkan martensit (*lath*). Fasa martensit *tempered* terbentuk akibat dari proses pendinginan yang lambat. Rata-rata nilai kekerasan sampel *quenching* oli bekas pakai sebesar 362 HV.

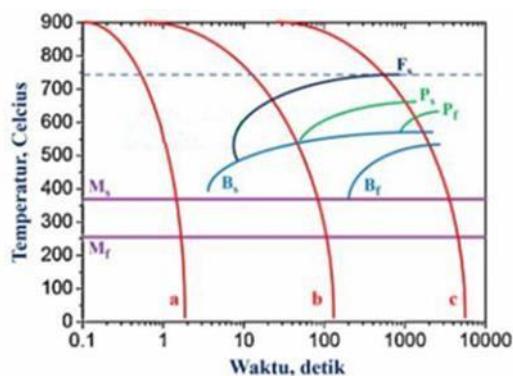


Gambar 7. Struktur mikro sampel *quenching* oli bekas pakai 500x perbesaran



Gambar 8. Struktur mikro sampel *quenching* oli SAE 20W-50 500x perbesaran

Dari Gambar 8 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel *quenching* oli SAE 20W-50 memiliki perbedaan fasa dibandingkan dengan oli bekas pakai. Perbedaan terletak pada fasa yang berbentuk martensit (*lath*), fasa tersebut memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan martensit *tempered*. Fasa martensit (*lath*) terbentuk akibat dari proses pendinginan yang sangat cepat, hal ini dikarenakan oli SAE 20W-50 memiliki kemampuan menyerap panas yang tinggi. Rata-rata nilai kekerasan sampel *quenching* oli SAE 20W-50 sebesar 377 HV.



Gambar 9. Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformations*) baja AISI 410 [14]

Pada penelitian lain yang dilakukan pada baja AISI 410 dapat diketahui bahwa struktur mikro yang terbentuk pada baja tahan karat martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni (AISI 410) setelah melalui proses perlakuan panas berupa *quenching* pada variasi temperatur austenisasi sebesar 950, 1000, 1050, dan 1100°C dengan waktu tahanan selama 1 dan 3 jam dan didinginkan dengan menggunakan media oli, dilanjutkan dengan proses *tempering* pada temperatur 650°C dengan waktu tahanan selama 1 jam adalah martensit (*lath*), delta ferit dan austenit sisa [3].

Penelitian serupa yang dilakukan pada baja AISI 410 dapat diketahui bahwa struktur mikro yang terbentuk pada baja tahan karat martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni (AISI 410) setelah melalui proses perlakuan panas berupa austenisasi yang dilakukan pada temperatur 1000, 1050, dan 1100°C dengan diikuti proses *tempering* pada temperatur 500, 550, 600, 650, dan 700°C dengan waktu tahanan selama 60 menit adalah martensit, austenit sisa dan ferit [6].

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada baja AISI 410 yang bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan dan bentuk struktur mikro menggunakan metode perlakuan panas berupa *quenching* dengan variasi media pendingin berupa (air, oli bekas pakai dan oli SAE 20W-50) yang diikuti oleh proses *tempering* memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan nilai kekerasan dan bentuk struktur mikro dari baja AISI 410. Media pendingin yang paling efektif dalam meningkatkan kekerasan pada baja AISI 410 adalah air dan oli SAE 20W-50. Ke-dua media pendingin tersebut dapat membentuk fasa martensit (*lath*) yang memiliki kekerasan yang cukup tinggi, dengan nilai kekerasan masing-masing adalah 378 dan 377 HV.

SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran untuk proses penelitian yang akan dilakukan selanjutnya yaitu adanya penambahan jenis pengujian seperti (uji dampak, uji keausan, uji korosi) dan melakukan perubahan variabel pada saat proses perlakuan panas untuk dapat mengetahui lebih jauh mengenai karakteristik dari baja AISI 410.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada FT. UNTIRTA dan BPPT B2TKS BATAN Serpong yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan pada penelitian ini pada proses pengujian dan analisa data hasil dari proses pengujian sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials science and engineering*, vol. 5. John wiley & sons NY, 2011.
- [2] A. S. Apriani, M. S. Anwar, R. Rusnaldy, dan E. Maburi. 2017. Peningkatan ketaha-

- Nan Aus pada Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr AISI 410 setelah Proses Austenisasi dan Tempering [Improvement of Wear Resistance of 13Cr AISI 410 Martensitic Stainless Steel after Austenitizing and Tempering Process], *Metalurgi*. Vol. 32 (3) 115–122.
- [3] S. Prifiharni, D. Ahmad, A. Juniarsih, and E. Mabruri. 2017. Strukturmikro, Kekerasan, dan Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni Hasil Quench-Temper dengan Variasi Temperatur dan Waktu Austenisasi [Microstructure, Hardness, and Corrosion Resistant of Martensitic Stainless Steel 13Cr3Mo3Ni after Q. *Metalurgi*. Vol. 32 (2) 83–90..
- [4] D. H. Mesa, A. Toro, A. Sinatora, and A. P. Tschiptschin. 2003. The effect of testing temperature on corrosion - erosion resistance of martensitic stainless steels. *Wear*, 2003, doi: 10.1016/S0043-1648(03)00096-6.
- [5] R. Dwisaputro, M. S. Anwar, R. Rusnaldy, and E. Mabruri. 2018. Studi Laju Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13CR Setelah Proses Perlakuan Panas [Effect of Heat Treatment of AISI 410 Martensitic Stainless Steel on Microstructure and Corrosion Resistance], *Metalurgi*. Vol. 33 (1) 19–26.
- [6] F. D. Praguna, M. S. Anwar, S. Sunardi, and E. Mabruri. 2018. Ketahanan impak, kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja Tahan Karat Martensitik 13 Cr3mo3ni dengan Variasi Suhu Perlakuan Panas,” *J. Sains Mater. Indones*. Vol. 19 (3) 125–130.
- [7] M. Sergio, F. De Lima, and A. Maria. 2012, Phase Transformations in an AISI 410S Stainless Steel Observed in Directional and Laser- induced Cooling Regimes 2 . Modeling Phase Transformations. Vol. 15 (1) 32–40. doi: 10.1590/S1516-14392012005000003.
- [8] V. Puspasari, M. A. Prasetyo, J. V. T. Halab, M. S. Anwar, E. Mabruri, and S. Herbirowo, 2020. Pengaruh Annealing terhadap Sifat Keras dan Struktur Mikro Baja Tahan Karat AISI 410-3Mo-3Ni. *Metalurgi*. Vol. 35 (2).
- [9] S. Subagiyo 2018. Analisis kekuatan tarik dan kekerasan baja tahan karat martensitik fasa ganda hasil perlakuan panas dengan variasi temperatur dan media pendingin. *J. Teknol*. Vol. 1 (1) 18–23.
- [10] M. A. Prasetyo, M. S. Anwar, E. Mabruri, D. T. Agustiningtyas, R. C. Noviana, and A. D. Laksono. Pengaruh Perlakuan Panas Baja Tahan Karat Martensitik AISI 410 terhadap Struktur Mikro dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Simulasi Geothermal dalam Larutan Artificial Brine. *TEKNIK*, vol. 41, no. 2, pp. 179–185.
- [11] S. H. Avner, *Introduction to physical metallurgy*, Vol. 2. McGraw-hill New York, 1974.
- [12] H. P. Buana and A. Mahendra S. 2018. Aplikasi quenching-tempering heat treatment untuk meningkatkan kekuatan tarik marine plat BKI grade A pada material lambung kapal niaga dengan variasi media pendingin. *J. Tek. Mesin*. Vol. 6 (2).
- [13] U. H. Hasyim. 2016. Kajian Adsorpsi Logam Dalam Pelumas Bekas Dan Prospek Pemanfaatannya Sebagai Bahan Bakar. *J. Konversi*. Vol. 5 (1) 11–16.
- [14] K.-E. Thelning, *Steel and its heat treatment*. Butterworth-heinemann, 2013.