



PENINGKATAN KETAHANAN AUS PADA BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK 13Cr AISI 410 SETELAH PROSES AUSTENISASI DAN TEMPERING

Annisa Siti Apriani^a, Mochamad Syaiful Anwar^b, Rusnaldy^a, Efendi Mabruri^{b*}

^aJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Semarang, Jawa Tengah 50275

^bPusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI

Gedung 470 Kawasan Puspipetek, Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia 15310

*E-mail: effe004@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 14-08-2017, revisi tanggal : 08-11-2017, diterima untuk diterbitkan tanggal 08-01-2018

Intisari

Sudu (*blade*) turbin yang terbuat dari baja tahan karat martensitik 13Cr yang selalu beroperasi pada kecepatan putaran yang tinggi pada pembangkit listrik tenaga uap sering ditemukan kegagalan pada material tersebut. Salah satu penyebab kegagalan ini adalah adanya benda asing yang memberikan dampak aus pada permukaan sudu turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh perlakuan panas austenisasi dan *tempering* terhadap kekerasan dan ketahanan aus baja tahan karat martensitik 13Cr. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan Rockwell C dan uji ketahanan aus. Hasil 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.

Kata Kunci: Baja tahan karat martensitik 13Cr, sudu turbin uap, austenisasi, *tempering*

Abstract

The turbine blades that were developed from martensitic stainless steel 13Cr are usually operate on high rotation speed in steam power plants and often found to be failures in the material. One of the failure causes is the presence of foreign material that gives the abrasion impact on the surface of the turbine blade. The aim of this study is observed the effect of austenitization and tempering temperatures on the hardness and abrasion resistance of 13Cr martensitic stainless steel. The examinations were carried out i.e. hardness Rockwell C and abrasion resistance. The optimum hardness values obtained on 13Cr martensitic stainless steel which austenitizing at 1050 °C and tempering of 600 °C. The increasing of tempering temperature in the 13Cr stainless steel does not give a linear negative effect on the abrasion resistance of the steel.

Keywords: 13Cr martensitic stainless steel, steam turbine blade, austenitizing, *tempering*

1. PENDAHULUAN

Sudu turbin uap merupakan bagian terpenting untuk menggerakkan generator pada sistem pembangkit listrik bertenaga uap. Salah satu kegagalan atau kerusakan yang sering terjadi pada sudu turbin yaitu ketika adanya benda asing yang ikut serta di dalam aliran fluida yang dapat mengakibatkan aus pada permukaan sudu turbin [1]. Aus yang terjadi berdampak pada kerusakan fisik pada sudu turbin seperti

keropos pada komponen turbin, perubahan bentuk pada komponen, timbul suara gaduh, penurunan kecepatan rotasi turbin, penurunan kecepatan putaran torsional poros generator, penurunan efisiensi turbin dan daya mampu produksi juga ikut menurun [2]. Kegagalan biasanya dapat terjadi karena patah atau akibat dari keausan, meski ada kemungkinan penyebab lainnya. Kegagalan dapat terjadi dalam beberapa mekanisme keausan seperti

abrasi, adhesi dan korosi. Oleh karena itu, dalam kasus baja tahan karat martensitik, kombinasi yang baik dari sifat mekanik dapat dicapai dengan memvariasikan suhu austenitisasi dan *tempering* [3]. Baja tahan karat martensitik AISI 410 merupakan baja yang memiliki kadar karbon tinggi atau rendah dan memiliki kadar krom sekitar kurang lebih 12%. Baja tahan karat martensitik yang telah melalui proses *temper* memunculkan sifat kekerasan baja yang luar biasa dan berkualitas tinggi. Sedangkan baja tahan karat martensitik tanpa *temper* menghasilkan baja dengan kekuatan rendah dan rapuh [4].

C.J. Scheuer, dkk. [5], telah melakukan investigasi tentang sifat mekanik dan struktur mikro pada baja tahan karat martensitik 420 setelah melalui proses perlakuan panas. Nilai kekerasan yang dihasilkan dipengaruhi oleh laju pendinginan dan suhu *tempering*. Nilai kekerasan material merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi sifat ketahanan aus. Selain itu, beberapa usaha yang telah dilakukan untuk meningkatkan masa layanan sudu turbin adalah dengan cara memperbaiki kualitas uap yang berasal dari *boiler*, *coating* dan pemilihan material yang tepat [6]-[9].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati pengaruh perlakuan panas *austenisasi* dan *tempering* terhadap kekerasan dan ketahanan aus baja tahan karat martensitik 13Cr tipe AISI 410.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Sampel baja tahan karat 13Cr tipe AISI 410 (Tabel 1) dibuat dengan cara peleburan dalam tungku induksi dan dicor untuk menjadi ingot dengan ukuran 20 x 5 x 5 cm³. Ingot baja kemudian dilakukan proses tempa panas (*hot forging*) pada suhu awal 1125 °C sampai mencapai ukuran p=27,5; t=3; l=2,7 cm. Kemudian, sampel dipanaskan kembali sampai pada suhu 750 °C selama 4 jam dan didinginkan di dalam tungku (*annealing*) selama 21 jam. Proses *annealing* ini bertujuan untuk menurunkan kekerasan sampel sehingga proses pembubutan sampel lebih mudah. Setelah itu, dilakukan proses pembubutan sampai mencapai ukuran p=13 cm dan d=1,3 cm dan kemudian dilakukan pemotongan sampel hingga mencapai ketebalan 1 cm. Kemudian, sampel-sampel tersebut dibedakan dalam dua kelompok. Kelompok pertama yaitu variasi suhu austenisasi pada satu suhu *tempering*. Pada kelompok ini, masing-masing sampel dilakukan proses austenisasi pada suhu 950, 1000, 1050, dan 1100 °C selama 1 jam

dan didinginkan cepat (*quenching*) di dalam oli. Masing-masing sampel yang telah diaustenisasi selanjutnya dilakukan proses *tempering* pada suhu 600 °C dengan waktu tahan selama 1 jam, kemudian dilakukan pendinginan dengan media udara. Kelompok dua yaitu suhu austenisasi tetap pada variasi suhu *tempering*. Pada kelompok ini, sampel yang telah diaustenisasi pada suhu 1050 °C (*as quench*) dilakukan proses *tempering* pada suhu 300, 400, 500, 550, 600, 650 dan 700 °C.

Pengujian kekerasan baja tahan karat martensitik 13Cr tipe 410 dengan menggunakan *Rockwell C Hardness Tester* mengacu pada standar ASTM E18-11. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap sampel dan kemudian dihitung rata-rata kekerasannya.

Uji ketahanan aus pada material dilakukan secara *rotary* menggunakan mesin uji ADAMEL LHOMARGY pada sampel berbentuk silinder dimana sampel yang permukaannya telah rata tersebut diletakan di bawah kertas SiC no. 120 yang berputar dengan kecepatan 100 rpm sebanyak 100, 400, 600, 800, dan 1000 putaran dengan pembebanan 100, 500 dan 1000 g pada suhu ruang. Setelah itu, sampel dibersihkan dari partikel debu yang dihasilkan setelah pengujian menggunakan kuas dan kemudian dicuci dengan air dan etanol dan dikeringkan menggunakan tisu. Nilai ketahanan aus dihitung menggunakan metode kehilangan berat.

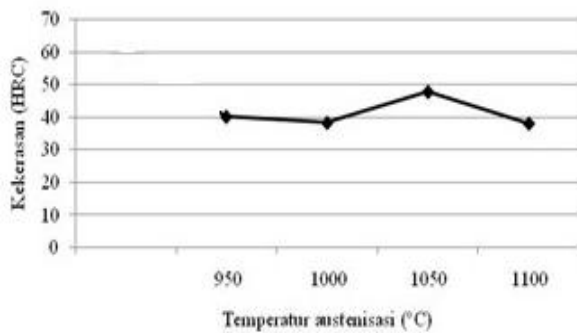
Tabel 1. Komposisi kimia baja tahan karat AISI 410

| Unsur | % berat |
|-------|---------|
| C | 0,03 |
| S | 0,0012 |
| P | 0,0162 |
| Mn | 0,34 |
| Si | 0,68 |
| Cr | 12,8 |
| Mo | 0,002 |
| Ni | 0,155 |
| Fe | Sisa |

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Uji Kekerasan Rockwell C

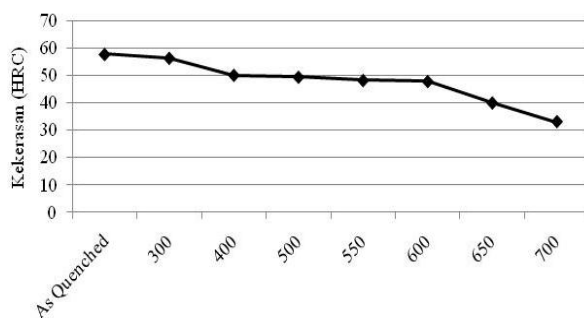
Uji kekerasan baja tahan karat martensitik 13Cr tipe 410 dengan menggunakan *Rockwell C Hardness Tester* mengacu pada standar ASTM E18-11. Gambar 1 menunjukkan kekerasan Rockwell C pada baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi pada suhu 950-1100 °C dan *tempering* pada suhu 600 °C.



Gambar 1. Nilai kekerasan baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi 950-1100 °C pada suhu *temper* 600 °C

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa terdapat penurunan dan kenaikan nilai kekerasan pada beberapa suhu austenisasi. Pada suhu austenisasi 1000 °C nilai kekerasan mengalami penurunan dibanding pada suhu 950 °C, sedangkan pada suhu austenisasi 1050 °C terjadi peningkatan nilai kekerasan dari suhu 1000 °C, lalu pada suhu austenisasi 1100 °C mengalami penurunan kembali dibanding suhu 1050 °C. Secara keseluruhan gambar di atas menunjukkan bahwa nilai tertinggi ditunjukkan pada suhu austenisasi 1050 °C yaitu sebesar 49,7 HRC, sedangkan nilai terendah ditunjukkan pada suhu austenisasi 1000 °C yaitu sebesar 38,2 HRC.

Gambar 2 menunjukkan kekerasan Rockwell C pada baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi 1050 °C pada suhu *temper* 300-700 °C.



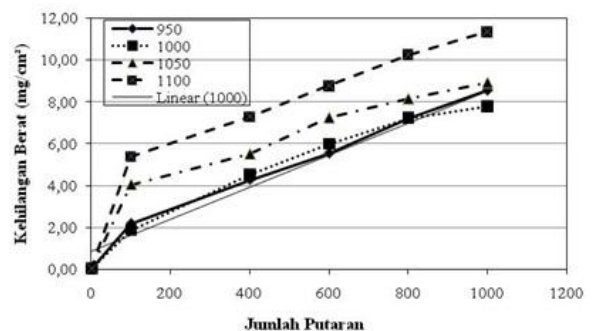
Gambar 2. Nilai kekerasan baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi 1050 °C pada suhu *temper* 300-700 °C

Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai tertinggi ditunjukkan pada suhu *tempering* 300 °C yaitu sebesar 57,3 HRC, sedangkan nilai terendah ditunjukkan pada suhu *tempering* 700 °C yaitu sebesar 32,9 HRC. Semakin tinggi suhu *tempering* pada baja 13Cr tipe 410 maka semakin turun nilai kekerasannya. Bisa dilihat pada suhu 300 °C nilai kekerasan cukup tinggi, kemudian pada suhu 400 – 600 °C kekerasannya turun dengan nilai yang relatif

tidak terlalu jauh. Tetapi pada suhu 650 - 700 °C nilai kekerasan mulai turun relatif jauh. Hal ini disebabkan karena *tempering* memiliki fungsi untuk meningkatkan nilai keuletan suatu material sehingga semakin tinggi suhu *tempering* maka akan semakin menurun nilai kekerasan suatu material [10]. Menurut penelitian A. Rajasekhar [11] suhu *tempering* memiliki pengaruh yang besar pada kandungan austenit yang dipertahankan, *tempering* di bawah 600 °C pada dasarnya tidak efektif dalam mengurangi nilai kekerasan.

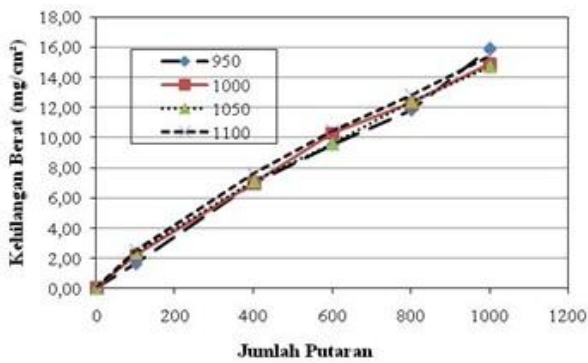
3.2 Uji Ketahanan Aus

Uji ketahanan aus baja tahan karat martensitik 13Cr tipe 410 menggunakan mesin ADAMEL LHOMARGY yang mengacu pada standar ASTM G 132-96. Gambar 3-5 menunjukkan pengaruh suhu austenisasi terhadap nilai ketahanan aus baja tahan karat martensitik 13Cr tipe 410 pada suhu *tempering* 600 °C dengan pembebanan 100, 500 dan 1000 g.



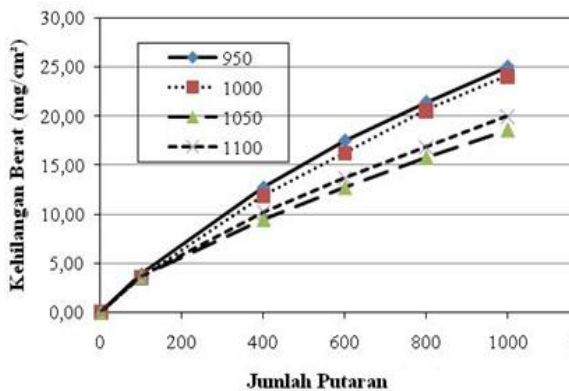
Gambar 3. Kehilangan berat pada baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi 950-1100 °C pada suhu *temper* 600 °C dengan beban 100 g

Dari Gambar 3 menunjukkan bahwa perbedaan ketahanan aus pada 100 kali putaran berubah signifikan. Pada putaran 400 kali baja 13Cr tipe 410 dengan suhu austenisasi 950 °C dan 1000 °C menunjukkan ketahanan aus yang relatif hampir sama. Pada putaran ke 1000 kali menunjukkan bahwa nilai ketahanan aus yang relatif tinggi ditemukan pada baja tahan karat 13Cr AISI 410 yang telah mengalami proses austenisasi pada suhu 1000 °C, yaitu dengan nilai kehilangan berat sebesar 7,76 mg/cm², sedangkan pada baja tahan karat 13Cr AISI 410 yang telah mengalami proses austenisasi pada suhu 1100 °C pada putaran 1000 kali memiliki nilai ketahanan aus terendah yang ditunjukkan dengan nilai kehilangan berat sebesar 11,36 mg/cm².



Gambar 4. Kehilangan berat pada baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi 950-1100 °C pada suhu *temper* 600 °C dengan beban 500 g

Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa ketahanan aus keempat jenis suhu austenisasi dengan pembebanan 500 g. Pada gambar ini, ketahanan aus baja tahan karat 13Cr AISI 410 pada keempat suhu austenisasi relatif sama pada 100 – 1000 putaran. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa nilai tertinggi ketahanan aus ditunjukkan pada suhu *austenisasi* 1050 °C yaitu dengan kehilangan berat sebesar 14,76 mg/cm², sedangkan nilai ketahanan aus terendah ditunjukkan pada suhu austenisasi 950 °C dengan kehilangan berat sebesar 15,41 mg/cm².

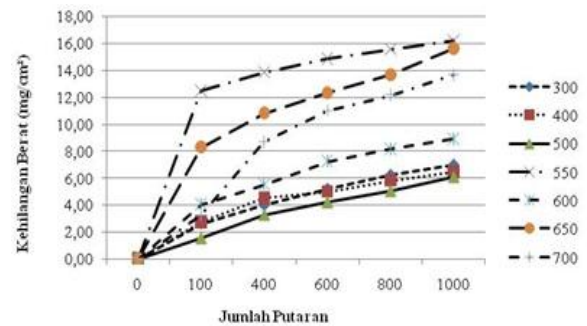


Gambar 5. Kehilangan berat pada baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi 950-1100 °C pada suhu *temper* 600 °C dengan beban 1000 g

Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa ketahanan aus ke empat jenis suhu austenisasi dengan pembebanan 500 g. Perbedaan ketahanan aus pada 100 putaran di keempat suhu austenisasi berubah turun dengan nilai relatif sama. Pada putaran 400, baja tahan karat 13Cr AISI 410 pada suhu austenisasi 1050 °C dan 1100 °C memiliki penurunan ketahanan aus yang relatif sama, berbeda pada suhu 950 °C dan 1000 °C keduanya memiliki penurunan ketahanan aus yang relatif sama tetapi lebih besar kehilangan beratnya dibanding dua suhu lainnya. Pada putaran di

atas 600 kali menunjukkan nilai ketahanan aus yang relatif semakin menurun atau kehilangan beratnya semakin banyak di setiap variasi suhu austenisasi pada baja 13Cr tipe 410. Tetapi, pada suhu 950 °C dan 1000 °C lebih banyak kehilangan beratnya daripada suhu 1050 °C dan 1100 °C. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa nilai tertinggi ketahanan aus ditunjukkan pada suhu austenisasi 1050 °C yaitu dengan kehilangan berat sebesar 18,54 mg/cm², sedangkan nilai ketahanan aus terendah ditunjukkan pada suhu austenisasi 950 °C dengan kehilangan berat sebesar 24,10 mg/cm².

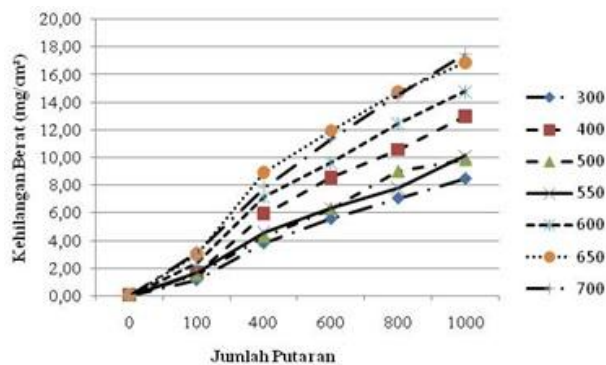
Adapun pengaruh suhu *tempering* terhadap nilai ketahanan aus baja tahan karat martensitik 13Cr tipe 410 pada suhu austenisasi 1050 °C dengan beban 100, 500 dan 1000 g ditunjukkan pada Gambar 6-8.



Gambar 6. Kehilangan berat pada baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi 1050 °C pada suhu *temper* 300-700 °C dengan beban 100 g

Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa perbedaan ketahanan aus pada 100 kali putaran berubah signifikan pada suhu 550 °C dan 650 °C yaitu menurunnya nilai kekuatan aus, pada sisa suhu lainnya perubahan relatif sama dengan menurunnya nilai kekuatan aus. Pada putaran 400 kali baja 13Cr tipe 410 dengan suhu *tempering* 550, 600 dan 650 °C menunjukkan ketahanan aus yang relatif sama-sama turun karena kehilangan beratnya semakin banyak, sementara di suhu yang lain perubahan relatif sama-sama turun tetapi jumlah kehilangan beratnya lebih sedikit dibanding tiga suhu lainnya. Pada putaran di atas 600 kali menunjukkan nilai ketahanan aus yang relatif semakin menurun atau kehilangan beratnya semakin banyak di suhu *tempering* 500, 600 dan 650 °C. Sementara di suhu lainnya terjadi perubahan yang relatif sama menurun tetapi kehilangan beratnya tidak terlalu banyak. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa nilai tertinggi ketahanan aus ditunjukkan pada suhu *tempering* 500 °C yaitu dengan kehilangan berat sebesar

6,09 mg/cm², sedangkan nilai ketahanan aus terendah ditunjukkan pada suhu *tempering* 550 °C dengan kehilangan berat sebesar 16,23 mg/cm².

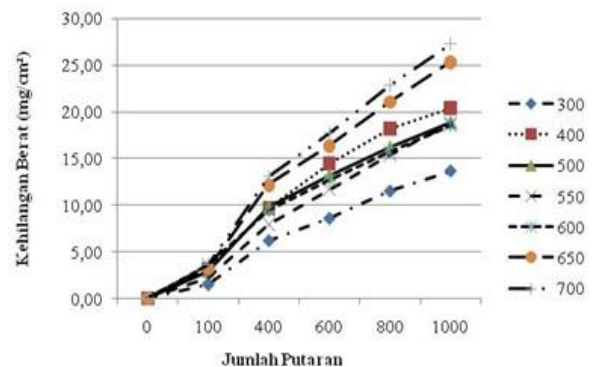


Gambar 7. Kehilangan berat pada baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi 1050 °C pada suhu *temper* 300-700 °C dengan beban 500 g

Dari Gambar 7 menunjukkan bahwa perbedaan ketahanan aus pada 100 kali putaran berubah relatif sama pada semua suhu. Pada putaran 400 kali baja 13Cr tipe 410 dengan suhu *tempering* 650 °C dan 700 °C menunjukkan ketahanan aus yang relatif sama-sama turun dan kehilangan beratnya lebih banyak dibanding suhu lainnya, sementara di suhu 400 °C dan 600 °C perubahan relatif sama-sama turun tetapi jumlah kehilangan beratnya lebih sedikit dibanding dua suhu sebelumnya, dan pada suhu 500, 550 dan 300 °C memiliki ketahanan aus yang relatif sama dan kehilangan beratnya paling sedikit diantara suhu lainnya. Pada putaran di atas 600 kali menunjukkan nilai ketahanan aus yang relatif semakin menurun atau kehilangan beratnya semakin banyak di setiap suhunya. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa nilai tertinggi ketahanan aus ditunjukkan pada suhu *tempering* 300 °C yaitu dengan kehilangan berat sebesar 8,46 mg/cm², sedangkan nilai ketahanan aus terendah ditunjukkan pada suhu *tempering* 700 °C dengan kehilangan berat sebesar 17,45 mg/cm². Pada Gambar 8 tersebut menunjukkan bahwa perbedaan ketahanan aus pada 100 putaran berubah relatif sama pada semua suhu.

Pada baja 13Cr tipe 410 dengan putaran 400 kali dimana suhu *tempering* 650 °C, 700 °C menunjukkan ketahanan aus yang relatif sama menurun dan kehilangan beratnya lebih banyak dibanding suhu lainnya. Sementara pada suhu 400, 500 dan 600 °C perubahan relatif sama-sama turun tetapi jumlah kehilangan beratnya lebih sedikit dibanding dua suhu sebelumnya, dan pada suhu 550 °C dan 300 °C memiliki

ketahanan aus yang relatif sama dan kehilangan beratnya paling sedikit diantara suhu lainnya.



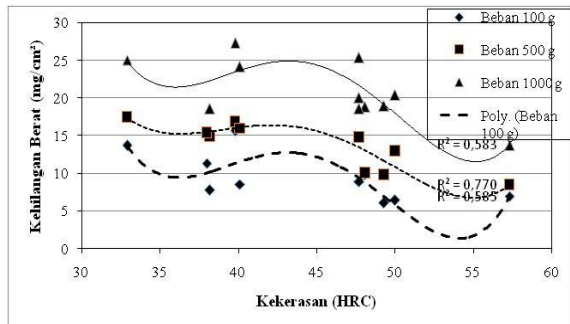
Gambar 8. Kehilangan berat pada baja 13Cr tipe 410 yang diaustenisasi 1050 °C pada suhu *temper* 300-700 °C dengan beban 1000 g

Pada putaran di atas 600 kali baja 13Cr tipe 410 dengan suhu *tempering* 650 dan 700 °C menunjukkan ketahanan aus yang relatif sama-sama turun dan kehilangan beratnya lebih banyak dibanding suhu lainnya, sementara di suhu 400, 500, 550 dan 600 °C perubahan relatif sama-sama turun tetapi jumlah kehilangan beratnya lebih sedikit dibanding empat suhu sebelumnya, dan pada suhu 300 °C memiliki ketahanan aus yang paling bagus dengan menunjukkan kehilangan berat yang paling sedikit diantara semua suhu. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa nilai tertinggi ketahanan aus ditunjukkan pada suhu *tempering* 300 °C yaitu dengan kehilangan berat sebesar 13,72 mg/cm², sedangkan nilai ketahanan aus terendah ditunjukkan pada suhu *tempering* 700 °C dengan kehilangan berat sebesar 27,32 mg/cm².

3.3 Korelasi antara Kekerasan dan Ketahanan Aus

Gambar 9 menunjukkan korelasi antara kekerasan dan ketahanan aus baja tahan karat 13Cr tipe 410. Dari Gambar 9 ditunjukkan bahwa dengan bertambahnya pembebanan aus maka kehilangan berat yang dihasilkan pada masing-masing baja 13Cr tipe 410 juga bertambah. Hal tersebut mengindikasikan bahwa ketahanan aus pada masing-masing baja 13Cr tipe 410 menjadi berkurang dengan bertambahnya pembebanan. Namun, nilai kekerasan (HRC) pada masing-masing baja 13Cr tipe 410 tidak menunjukkan peningkatan secara linier dengan peningkatan nilai kehilangan berat. Nilai kehilangan berat yang paling sedikit ditemukan pada baja 13Cr tipe 410 dengan nilai kekerasan 49,3 HRC pada beban 100 g dengan kehilangan berat 6,09

mg/cm², sedangkan nilai kehilangan berat yang paling banyak ditemukan pada baja 13Cr tipe 410 yang memiliki kekerasan 39,8 HRC pada beban 100 g dengan kehilangan berat 15,64 mg/cm², sedangkan pada baja 13Cr tipe 410 dengan nilai kekerasan 57,3 HRC pada beban 100 g kehilangan beratnya 6,97 mg/cm².



Gambar 9. Hubungan kekerasan dengan ketahanan aus (kehilangan berat) pada baja 13Cr tipe 410 dengan 1000 kali putaran dan pembebanan berbeda

Jadi korelasi antara kekerasan dan ketahanan aus pada penelitian ini adalah baja 13Cr tipe 410 dengan nilai kekerasan tinggi tidak selalu memiliki sifat ketahanan aus yang tinggi. Begitu juga untuk untuk baja 13Cr tipe 410 dengan nilai kekerasan rendah tidak selalu memiliki sifat ketahanan aus yang paling rendah juga. Hal tersebut disebabkan karena adanya pengaruh dari nilai kekerasan dan struktur mikro yang terbentuk selama proses perlakuan panas pada masing-masing baja 13Cr tipe 410. Menurut nilai *R square*, nilai terbaik yaitu 0,7705 yang berarti hasil paling baik ada pada pembebanan 500 g.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa proses perlakuan panas austenisasi dan *tempering* pada baja tahan karat 13Cr AISI 410 dapat mempengaruhi nilai kekerasannya. Pada perlakuan panas austenisasi dengan suhu *tempering* 600 °C, bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada suhu austenisasi 1050 °C yaitu sebesar 49,7 HRC, sedangkan nilai terendah terdapat pada suhu austenisasi 1000 °C yaitu sebesar 38,2 HRC. Sedangkan saat *tempering* pada suhu austenisasi 1050 °C, nilai tertinggi terdapat pada suhu *tempering* 300 °C yaitu sebesar 57,3 HRC, sedangkan nilai terendah terdapat pada suhu *tempering* 700 °C yaitu sebesar 32,9 HRC.

Kemudian, ketahanan aus dari baja 13Cr tipe 410 yang telah di austenisasi pada suhu *tempering* 600 °C paling baik terdapat pada

beban 1000 g dengan nilai tertinggi ketahanan aus pada suhu austenisasi 1050 °C yaitu dengan kehilangan berat sebesar 18,54 mg/cm², sedangkan nilai ketahanan aus terendah ditunjukkan pada suhu austenisasi 950 °C dengan kehilangan berat sebesar 24,10 mg/cm². Sementara ketahanan aus pada *tempering* dengan suhu austenisasi 1050 °C hasil paling baik terdapat pada beban 1000 g dengan nilai tertinggi ketahanan aus terdapat pada suhu *tempering* 300 °C yaitu dengan kehilangan berat sebesar 13,72 mg/cm², sedangkan nilai ketahanan aus terendah terdapat pada suhu *tempering* 700 °C dengan kehilangan berat sebesar 27,32 mg/cm². Menurut nilai *r square*, nilai terbaik yaitu 0,7175 yang berarti pembebanan paling baik ada di pembebanan 500 g.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah mendanai penelitian ini melalui kegiatan Kompetensi Inti pada tahun anggaran 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. K. Patel, P. K. Sen, dan R. Sharma, "Review on common failure of steam turbine blade," *International Journal of Research (IJR)*, vol. 2, issue 11, 137-141, 2015.
- [2] S. Rowbotham, O. Chung, M. Ko dan J. Wong, "Failure mechanisms encountered in geothermal steam service," *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Australia, 2015, pp. 1-8.
- [3] G. Rozing, V. Alar, dan V. Marusic, "Study of stainless steel resistance in condition of tribocorrosion wear," *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, vol.13, no. 3, pp. 461-471, 2015.
- [4] V. Krishna, dan R. Subbaiah, "Wear conduct investigation of 410 by cryogenic process," *SSRG International Journal of Mechanical Engineering (SSRG-IJME)*, vol. 4, pp. 1-4, 2017.
- [5] C. J. Scheuer, R. A. Fraga, R. P. Cardoso, dan S. F. Brunatto, "Effects of heat treatment conditions on microstructure and mechanical properties of AISI 420 steel," 21° CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Brasil, 2014, pp. 5857-5867.

- [6] S. Pavuluri, dan A. S. Kumar," Experimental investigation on design of high pressure steam turbine blade," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 2, issue 5, pp. 1469-1476, 2013.
- [7] I. S. Rout, A. Gaikwad, V. K. Verma, dan M. Tariq, "Thermal analysis of steam turbine power plants," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, vol. 7, issue 2, pp. 28-36, 2013.
- [8] A. D. Kushwaha, A. Soni, dan L. Garewal, "Critical review paper of steam turbine blades corrosion and its solutions," *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)*, vol. 3, issue 4, pp. 776-784, 2014.
- [9] M. S. Anwar dan E. Mabruhi," Ketahanan aus abrasif dari beberapa jenis modifikasi 13Cr baja tahan karat martensit," *Majalah Metalurgi*, vol. 30, no. 3, pp.149-154, 2015.
- [10] G. D. Haryadi, "Pengaruh suhu tempering terhadap kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja K-460," *Rotasi*, vol. 8, no. 2, pp.1-8, 2006.
- [11] A. Rajasekhar," Heat treatment methods applied to AISI 431 martensitic stainless steels," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 6, issue 4, pp. 547-553, 2015.

