

Ketahanan Impak, Kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja Tahan Karat Martensitik $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$ dengan Variasi Suhu Perlakuan Panas (Franco Dwiky Praguna)



Homepage: <http://jusami.batan.go.id>

Jurnal Sains Materi Indonesia

Akreditasi LIPI
No.: 602/AU3/P2MI-LIPI/03/2015
Tanggal 15 April 2015
ISSN : 1411-1098

KETAHANAN IMPAK, KEKERASAN DAN STRUKTURMIKRO PADA BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$ DENGAN VARIASI SUHU PERLAKUAN PANAS

Franco Dwiky Praguna¹, Moch. Syaiful Anwar², Sunardi¹ dan Efendi Mabruri²

¹Jurusan Teknik Metalurgi, FT- UNTIRTA

Jl. Jenderal Sudirman Km 03 Cilegon, Banten 42435

²Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

E-mail: efendi_lipi@yahoo.com

Diterima: 4 Januari 2018

Diperbaiki: 27 Februari 2018

Disetujui: 4 April 2018

ABSTRAK

KETAHANAN IMPAK, KEKERASAN DAN STRUKTURMIKRO PADA BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$ DENGAN VARIASI SUHU PERLAKUAN PANAS. Sudu turbin merupakan salah satu bagian penting pada turbin yang bertujuan untuk memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Pada umumnya material yang digunakan pada sudu turbin adalah baja tahan karat martensitik, akan tetapi material tersebut mudah terjadi kegagalan. Mekanisme kegagalannya dipicu oleh adanya retak mikro dan unsur klorida didalam retakan tersebut sehingga akhirnya sudut tersebut mengalami patah. Adanya perbedaan perlakuan panas juga mempengaruhi nilai kekerasan yang berdampak pada jenis patahan yang dihasilkan pada baja tersebut. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan impak, kekerasan dan struktur mikro pada baja tahan karat martensitik $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$ dengan variasi suhu perlakuan panas serta mengevaluasi bentuk patahan pada baja tahan karat martensitik $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$. Proses austenisasi dilakukan pada suhu 1000 °C, 1050 °C, dan 1100 °C dengan proses *tempering* pada suhu 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C, dan 700 °C dengan waktu penahanan 60 menit. Sedangkan uji mekanik yang dilakukan adalah uji kekerasan *rockwell C* dan uji impak *charpy*. Dan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk, maka dilakukan uji metalografi dan untuk mengetahui hasil patahan setelah dilakukannya uji impak, maka dilakukan uji *SEM*. Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu nilai kekerasan terendah ditunjukkan pada suhu austenisasi 1000 °C dan suhu *tempering* 700 °C, yaitu 38,13 *HRC*. Sedangkan nilai impak tertinggi ditunjukkan pada suhu austenisasi 1100 °C dan suhu *tempering* 650 °C, yaitu 114,00 J. Adapun struktur mikro yang terbentuk adalah martensit, austenit sisa, ferit, dan karbida logam.

Kata kunci: BTK martensitik $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$, Austenisasi, *Tempering*, Impak, *SEM*, *Dimple*, *Cleavege*

ABSTRACT

THE IMPACT RESISTANCE, HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$ MARTENSITIC STAINLESS STEELS WITH HEAT TREATMENT TEMPERATURE VARIATION. Turbine blades are an important part of the turbine that aims to rotate the turbine shaft to generate electrical energy. Generally, the material used in the turbine blades is martensitic stainless steel but the material is easy to failure. The failure mechanism is triggered by the micro cracks and chloride elements in the crack so that the blade breaks eventually. The existence of different heat treatment also affects the value of the hardness that affects the type of fault generated on the steel. In this study aims to evaluate impact resistance, hardness and microstructure of $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$ martensitic stainless steels with heat treatment temperature variation and to evaluate fracture forms of $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$ martensitic stainless steels. The austenitization process was carried out at 1000 °C, 1050 °C, and 1100 °C and tempering at 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C, and 700 °C with a holding time of 60 min. While the mechanical tests are rockwell hardness test and charpy impact test. To know the microstructure, metallographic test is conducted and to know the fracture surface after impact test, SEM is conducted. The result is the lowest hardness value is shown at austenitization temperature 1000 °C and

tempering temperature 700 °C, that is 38.13 HRC. While the highest impact value is shown at austenitization of 1100 °C and tempering of 650 °C, that is 114.00 J. The microstructure formed is martensite, retained austenite, ferrite, and metal carbide.

Keywords: 13 Cr₃Mo₃Ni martensitic stainless steel, Austenitized, Tempering, Impact, SEM, Dimple, Cleavage

PENDAHULUAN

Sudu turbin merupakan bagian dari turbin yang memiliki peranan yang cukup penting di industri pembangkit listrik khususnya di PLTU [1]. Dalam penggunaannya umur material relatif singkat. Hal tersebut disebabkan karena beberapa hal, sejumlah penelitian menjelaskan kegagalan ini disebabkan adanya retakan mikroskopis dan tingkat korosifitas yang cukup tinggi [1,2]. Dalam hal ini sudu yang paling sering ditemukan adanya kegagalan ditemukan pada sudu tekanan rendah dari turbin uap [3].

Pada penelitian sebelumnya bahwa analisis kegagalan pada sudut tekanan rendah dari turbin uap [4]. Mekanisme kegagalannya dipicu oleh adanya retak mikro dan unsur klorida didalam retakan tersebut sehingga akhirnya sudu tersebut mengalami patah. Bentuk patahannya memperlihatkan adanya deformasi plastis atau *dimples*. Adanya perbedaan perlakuan panas juga mempengaruhi nilai kekerasan yang berdampak pada timbulnya retak mikro pada baja tersebut [4].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penambahan unsur Molybdenum (Mo) pada baja tahan karat martensitik 410 dengan variasi suhu temper untuk mengevaluasi hubungan antar nilai kekerasan dan dampak serta bentuk patahan yang dihasilkan. Namun, bentuk patahan yang dihasilkan masih memperlihatkan ketidakseragaman [5]. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan dampak, kekerasan dan strukturmikro pada baja tahan karat martensitik 13Cr₃Mo₃Ni dengan variasi suhu perlakuan panas serta mengevaluasi kekerasan dan bentuk patahan pada baja tahan karat martensitik 13Cr₃Mo₃Ni.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah ingot baja tahan karat martensitik yang dibuat di dalam tungku induksi (*induction melting furnace*). Komposisi kimia baja tahan karat martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni pada penelitian ini terdiri dari 13 % Kromium, 3 % Molybdenum dan 3 % Nikel sedangkan unsur lainnya adalah unsur minoritas. Secara lengkap komposisi kimia baja

Table 1. Komposisi kimia material baja tahan karat martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni.

Unsur	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Fe
% Berat	0,10	0,005	0,02	0,61	0,24	12,73	2,52	2,93	Bal.

tahan karat martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni dapat dilihat pada Tabel 1.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tungku induksi untuk peleburan, alat *forging* untuk proses *forging*, tungku *muffle* untuk proses *hot forging*, austenisasi dan *tempering*, mesin *milling* dan *cutting* untuk preparasi sampel, alat uji kekerasan *Rockwell C* Avri untuk uji kekerasan spesimen, mesin uji dampak metode *Charpy* untuk mengukur energi yang diserap oleh spesimen, alat uji metalografi untuk mengamati strukturmikro spesimen dan *Scanning Electron Microscope (SEM) JEOL* untuk mengamati bentuk patahan dari spesimen.

Cara Kerja

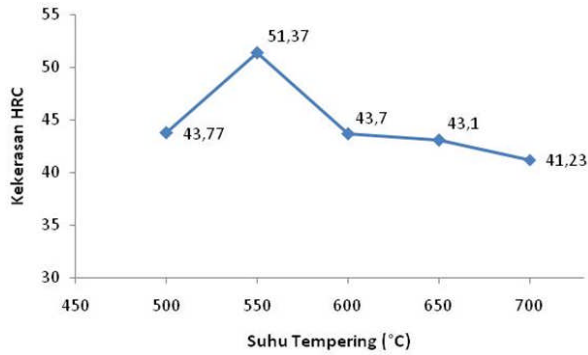
Ingot baja tahan karat martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni dengan ukuran (5 x 5 x 10) cm³ dilakukan proses *hot forging* dengan suhu 1200 °C sampai dimensi ingot berubah menjadi ukuran (3 x 3 x 27) cm³. Kemudian proses pembentukan sampel dampak *Charpy* menggunakan mesin *milling* dan *cutting* serta proses penghalusan sampel menggunakan mesin poles. Kemudian sampel tersebut dilakukan proses perlakuan panas austenisasi pada suhu 1000 °C, 1050 °C dan 1100 °C selama 60 menit dan didinginkan cepat didalam oli. Setelah itu dilakukan proses *tempering* pada suhu 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C dan 700 °C dan didinginkan udara.

Pemilihan suhu austenisasi 1000 °C hingga 1100 °C bertujuan untuk mengubah kembali fasa ferit menjadi fasa austenit serta menghilangkan segregasi dan pengotor didalam baja martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni kemudian didinginkan cepat didalam oli untuk membentuk fasa martensit. Sedangkan pemilihan suhu temperisasi 500 °C hingga 700 °C bertujuan untuk mengobservasi kekerasan yang dihasilkan pada baja tahan karat martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni. Uji kekerasan *Rockwell C*, uji dampak *Charpy* dilakukan pada sampel yang telah mengalami perlakuan panas (*heat treatment*). Kemudian, hasil patahan spesimen uji dianalisis dengan menggunakan *SEM-EDS*.

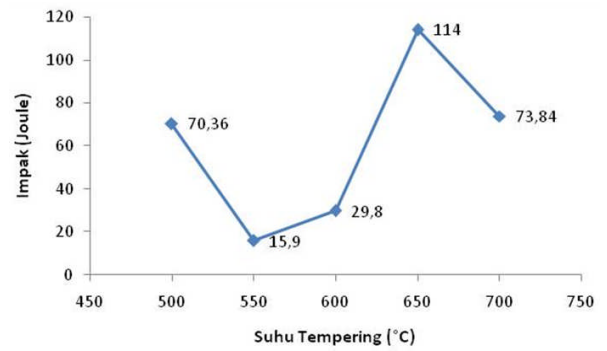
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kekerasan dengan Variasi Suhu Austenisasi dan Suhu *Tempering*

Gambar 1 menunjukkan nilai kekerasan *Rockwell C* pada BTK martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni setelah



Gambar 1. Kekerasan Rockwell C pada baja tahan karat martensitik $13\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Ni}$ setelah austenisasi 1100°C pada suhu *tempering* yang berbeda.



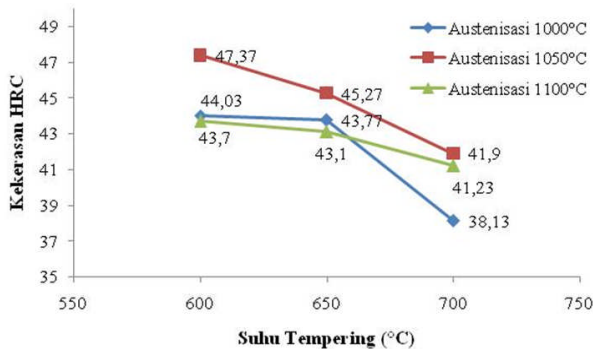
Gambar 3. Hubungan suhu austenisasi 1100°C dengan variasi suhu *tempering* terhadap ketahanan impact

austenisasi 1100°C pada suhu *tempering* yang berbeda. Pada gambar tersebut, nilai kekerasan yang dihasilkan cukup beragam. Dari hasil tersebut, dapat diketahui bahwa nilai kekerasan yang paling tinggi terjadi pada suhu austenisasi 1100°C dengan suhu *tempering* 550°C sebesar $51,37\text{ HRC}$, sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada suhu *tempering* 700°C , yaitu sebesar $41,23\text{ HRC}$. Pada suhu *tempering* 500°C hingga 550°C terlihat bahwa nilai kekerasannya naik secara signifikan, hal ini biasa disebut dengan fenomena *secondary hardening* [3,6]. *Secondary hardening* umumnya terjadi karena adanya unsur Chromium (Cr) dan Molybdenum (Mo), yang menyebabkan terbentuknya karbida logam [7]. Karbida logam akan mulai stabil pada suhu di atas 550°C dan menyebabkan nilai kekerasan semakin menurun [1].

maka nilai kekerasannya semakin rendah. Hal tersebut sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa semakin tinggi suhu *tempering*, maka semakin kecil pula nilai kekerasan yang dihasilkan [7].

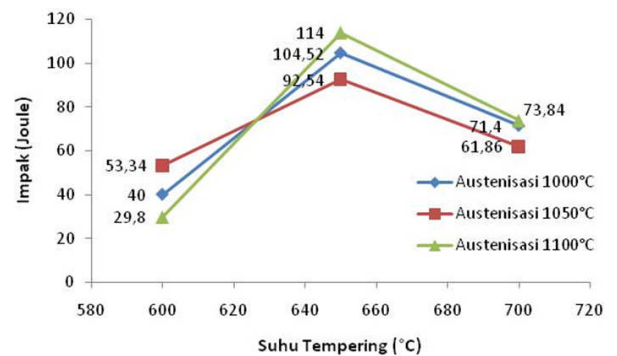
Hasil Uji Impak dengan Variasi Suhu Austenisasi dan Suhu *Tempering*

Gambar 3 menunjukkan nilai impact yang dihasilkan dari proses perlakuan panas dengan suhu austenisasi 1100°C dengan variasi suhu *tempering* yang berbeda-beda. Terlihat pada gambar di atas, bahwa nilai kekerasan yang dihasilkan cukup beragam. Dari hasil tersebut, dapat diketahui bahwa nilai impact tertinggi terjadi pada suhu austenisasi 1100°C dengan suhu *tempering* 650°C , yaitu sebesar $114,00\text{ J}$, sedangkan nilai impact terendah terjadi pada suhu *tempering* 550°C sebesar $15,90\text{ J}$.



Gambar 2. Hubungan variasi suhu austenisasi dengan variasi *tempering* suhu tinggi terhadap uji kekerasan Rockwell.

Dari Gambar 2, dapat diketahui bahwa nilai kekerasan tertinggi pada suhu austenisasi 1000°C adalah pada suhu *tempering* 600°C , yaitu sebesar $44,03\text{ HRC}$, begitupun dengan suhu austenisasi 1050°C dan 1100°C yang masing-masing menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada suhu *tempering* 600°C , yaitu sebesar $47,37\text{ HRC}$ dan $43,70\text{ HRC}$, sedangkan nilai kekerasan terendah ditunjukkan pada suhu *tempering* 700°C pada masing-masing suhu austenisasi, yaitu sebesar $38,13\text{ HRC}$, $41,90\text{ HRC}$, dan $41,23\text{ HRC}$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu *tempering*,



Gambar 4. Hubungan variasi suhu austenisasi dengan variasi suhu *tempering* terhadap ketahanan impact.

Dari Gambar 4, dapat diketahui bahwa nilai impact tertinggi pada suhu austenisasi 1000°C adalah pada suhu *tempering* 650°C sebesar $104,52\text{ J}$, sama halnya dengan suhu austenisasi 1050°C dan 1100°C , pada sampel tersebut nilai impact tertinggi ditunjukkan pada suhu *tempering* 650°C sebesar $92,54\text{ J}$ dan $114,00\text{ J}$. Sedangkan nilai impact terendah pada suhu austenisasi 1000°C ditunjukkan pada suhu *tempering* 600°C , yaitu sebesar $40,00\text{ J}$, sama halnya dengan suhu austenisasi 1050°C dan 1100°C sebesar $55,34\text{ J}$ dan $29,80\text{ J}$.

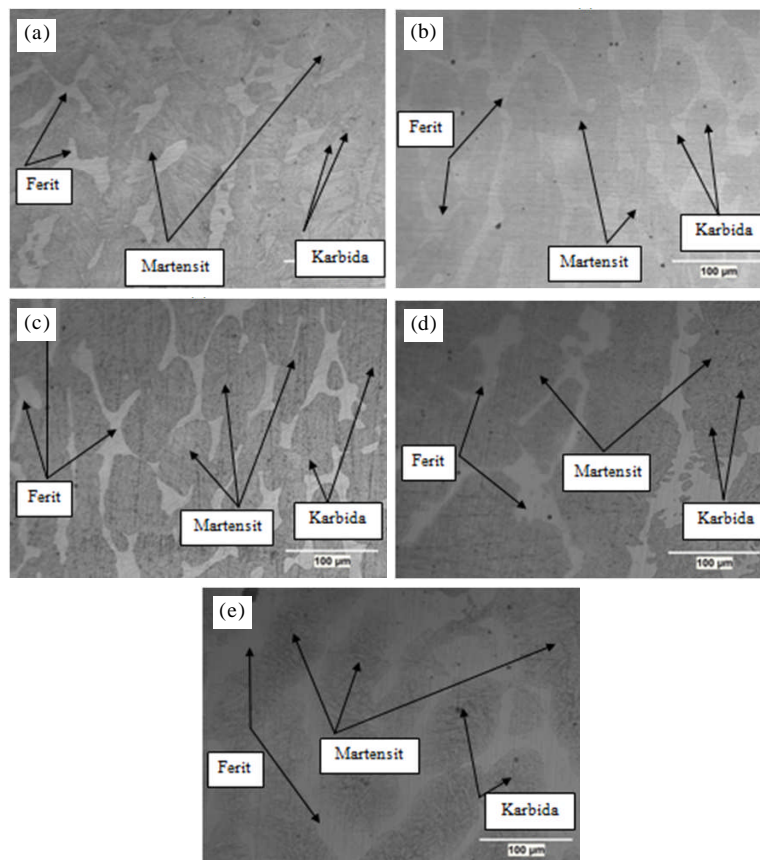
Hasil Uji Strukturmikro

Pada umumnya strukturmikro yang terbentuk setelah proses *tempering* adalah fasa martensit *temper* berbentuk bilah (*lath*), ferit delta, austenit sisa, dan karbida logam. Fasa martensit pada baja tahan karat dapat dihasilkan pada proses *hardening* dimana baja dipanaskan pada suhu austenit sekitar 1000 °C hingga 1100 °C sehingga fasa didalam baja tahan karat menjadi fasa austenit dengan karbon didalam larutan padat. Kemudian baja tersebut didinginkan cepat menggunakan oli sehingga fasa austenit bertansformasi menjadi fasa martensit. Setelah baja tersebut mengalami proses *tempering*, fasa martensit bertansfomasi menjadi fasa martensit *temper*.

Namun, ada sebagian fasa austenit tidak bertransformasi menjadi fasa martensit, fasa tersebut dinamakan fasa austenit sisa yang berada berbatasan dengan martensit *lath*. Terbentuknya fasa ferit delta pada suhu kamar dapat disebabkan karena proses solidifikasi yang tidak setimbang. Senyawa karbida logam didalam baja dalam bentuk presipitat sebelum dilakukan proses *quenching* dan karbida logam tersebut tidak larut dan menyebar didalam matiks ketika dilakukan proses *tempering*. Karbida logam terlihat seperti bintang hitam ketika diamati dengan mikroskop optik.

Gambar 5 (a) merupakan sampel yang telah melalui proses perlakuan panas pada suhu austenisasi 1100 °C dengan suhu *tempering* 500°C. Gambar tersebut menunjukkan terbentuknya fasa martensit bilah, ferit, karbida logam dan terdapat austenit sisa. Gambar 5 (b) merupakan sampel yang telah melalui proses perlakuan panas pada suhu austenisasi 1100 °C dengan suhu *tempering* 550 °C. Gambar tersebut menunjukkan terbentuknya fasa martensit bilah, ferit, karbida logam, dan austenit sisa. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa karbida logam, yang terbentuk relatif banyak. Oleh karena itu nilai kekerasannya lebih tinggi dari pada sampel lainnya yang ditunjukkan pada Gambar 1, namun nilai impaknya lebih kecil dari pada sampel lainnya yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel tersebut memiliki sifat getas.

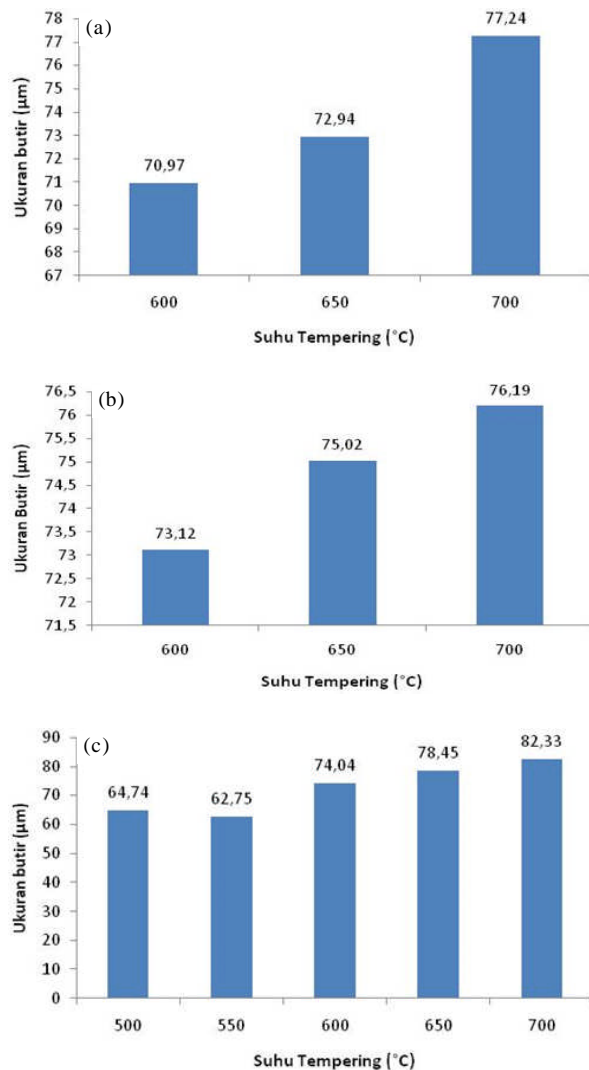
Gambar 5(c) merupakan sampel yang telah melalui proses perlakuan panas pada suhu austeni sasai 1100 °C dan suhu *tempering* 600 °C. Pada gambar tersebut menunjukkan karbida logam relatif lebih sedikit dan daripada sampel *temper* 550 °C. Oleh karena itu, pada sampel tersebut terlihat adanya penurunan nilai kekerasan pada Gambar 1, namun nilai impaknya lebih tinggi daripada sampel *temper* 550°C.



Gambar 5. Hasil metalografi dengan perbesaran 200x pada sampel suhu austenisasi 1100 °C dengan suhu *tempering* (a). 500 °C, (b). 550 °C, (c). 600 °C, (d). 650 °C dan (e). 700 °C.

Gambar 5(d), dimana pada sampel tersebut dilakukan proses austenisasi pada suhu 1100 °C, dengan suhu *tempering* 650 °C. Pada gambar tersebut menunjukkan fasa martensit *tempering* dengan ukuran yang relatif besar daripada sampel lainnya. Oleh karena itu, sampel tersebut memiliki nilai kekerasan lebih kecil daripada sampel 600 °C namun tidak signifikan yang ditunjukkan pada Gambar 1. Akan tetapi, nilai impaknya lebih tinggi daripada sampel lainnya yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sampel ini memiliki sifat ketangguhan yang lebih tinggi daripada sampel lainnya.

Pada Gambar 5(e), sampel yang telah melalui proses austenisasi dengan suhu 1100 °C, dengan suhu *tempering* 700 °C. Dari gambar tersebut, terlihat fasa martensit temper memiliki ukuran lebih kecil dari pada sampel *tempering* 650 °C. Sedangkan karbida logam semakin banyak yang larut pada suhu *tempering* 700 °C di dalam matriks austenit dan stabilitas fasa austenit menurun selama proses pendinginan berlangsung [8].



Gambar 6. Pengaruh suhu austenisasi (a). 1000 °C, (b). 1050 °C, dan (c). 1100 °C pada variasi suhu *tempering* terhadap ukuran butiran dalam satuan mikron.

Hal lain yang menjadi penyebab nilai impact turun adalah karena adanya transformasi fasa austenit menjadi fasa martensit [8-9].

Hasil Perhitungan Ukuran Butir

Untuk mengetahui strukturmikro pada permukaan sampel dilakukan pengujian metalografi dengan pembesaran 200 x. Penjelasan strukturmikro juga akan berkaitan dengan hasil perhitungan ukuran butir. Perhitungan ukuran butir pada penelitian ini menggunakan metode *Planimetric Jeffries*. Hasil perhitungan akan ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan. Gambar 6 (a) dan Gambar 6 (b) pada perhitungan ukuran butir, menunjukkan bahwa semakin besar diameter butir, jumlah butir fasa martensit yang ada pada sampel akan semakin sedikit. Sehingga nilai kekerasan akan menjadi rendah. Sedangkan pada Gambar 6 (c), dapat dilihat bahwa pada suhu *tempering* 550 °C terjadi penurunan diameter butir, hal ini berkaitan dengan nilai kekerasan yang cenderung tinggi pada suhu tersebut.

Hasil Uji Scanning Electron Microscope

Pada Gambar 7 (a), sampel yang telah melalui proses perlakuan panas pada suhu austenisasi 1000 °C dengan suhu *tempering* 600 °C, dimana pada gambar tersebut menunjukkan *dimple fracture*. Cekungan seperti mangkuk merupakan hasil dari gabungan *microvoid*. Cekungan tersebut dinamakan sebagai *dimple* [10-11].

Cekungan kecil terbentuk jika jumlah partikel lebih banyak dan saling berdekatan, sehingga *microvoid* tidak sempat tumbuh membesar ketika bergabung dengan *microvoid* yang lain [10-11]. Adapun nilai kekerasan yang dihasilkan pada sampel ini, yakni sebesar 44,03 HRC.

Beda halnya dengan Gambar 7(b), sampel yang telah melalui proses perlakuan panas pada suhu austenisasi 1000 °C dengan suhu *tempering* 650°C, menunjukkan bentuk *dimple fracture*, sehingga nilai impact cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan Gambar 7(a), yakni 104,52 J. Adapun nilai kekerasan yang dihasilkan pada sampel ini sebesar 43,77 HRC.

Gambar 7(c) merupakan sampel yang telah melalui proses perlakuan panas pada suhu austenisasi 1000 °C dengan suhu *tempering* 700 °C. Gambar tersebut memperlihatkan *cleavage fracture*. *Cleavage fracture* secara teoritis mempunyai bentuk permukaan yang sama dan benar-benar datar [10].

Pada sampel ini nilai impact menunjukkan hasil yang lebih rendah daripada sampel dengan suhu austenisasi 1000 °C dan suhu *tempering* 650 °C, yakni 71,40 J. Adapun nilai kekerasan yang dihasilkan pada sampel ini sebesar 38,13 HRC.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kekerasan terendah terjadi pada baja tahan karat martensitik 13 Cr₃Mo₃Ni pada suhu austenisasi 1000 °C dan suhu *tempering* 700 °C sebesar 38,13 HRC. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada baja dengan suhu austenisasi 1100 °C dan suhu *tempering* 550 °C sebesar 51,37 HRC. Nilai dampak terendah terjadi pada baja dengan suhu austenisasi 1100 °C dan suhu *tempering* 550 °C sebesar 15,90 J. Sedangkan nilai dampak tertinggi terjadi pada baja dengan suhu austenisasi 1100 °C dan suhu *tempering* 650 °C sebesar 114,00 J. Strukturmikro yang terbentuk pada baja tahan karat adalah fasa martensit, ferit, austenit sisa, dan karbida logam. Ukuran butir pada strukturmikro baja dari hasil perlakuan panas mempengaruhi bentuk patahan yang dihasilkan. Perlakuan panas pada suhu austenisasi 1000 °C pada suhu *tempering* 600-650 °C menghasilkan bentuk patahan 'dimple' sedangkan pada suhu 700 °C menghasilkan bentuk patahan *cleavage*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material (P2MM) LIPI yang telah memfasilitasi dan membimbing dalam pengujian pada proses penelitian dan terima kasih kepada jurusan teknik mesin UNTIRTA yang telah membimbing hingga proses penelitian selesai dengan baik.

DAFTAR ACUAN

- [1]. E. Mabruri, M. S. Anwar, S. Prifiharni, T. B. Romijarso, and B. Adjiantoro. "Pengaruh Mo dan Ni Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr." *Metalurgi*, vol. 3, pp. 133-140, 2015.
- [2]. E. Mabruri, M. S. Anwar, S. Prifiharni, T. B. Romijarso, and B. Adjiantoro. "Tensile Properties of The Modified 13Cr Martensitic Stainless Steel." in *Proc. AIP Conference 1725*, pp. 020039-1-020039-5, 2016.
- [3]. A. Komara and Y. Kusuma. "Analisa Kegagalan Blade Baris Terakhir Pada Rotor Turbin Uap Tipe Condensing." *Sinergi*, vol. 18, no. 1, pp. 47-52, 2014.
- [4]. D. Ziegler, M. Puccinelli, B. Bergallo, and A. Picasso. "Investigation of Turbine Blade Failure in a Thermal Power Plant." *Case Stud. Eng. Fail. Anal.*, vol. 1, pp. 192-199, 2013.
- [5]. E. Mabruri, Z. Ahmad, Sahlan, M. S. Anwar, and T. B. Romijarso. "Effect of Tempering Temperature on Hardness and Impact Resistance of the 410-1Mo Martensitic Stainless Steels for Steam Turbine Blades." *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 2547-2551, 2017.
- [6]. ASM International, "Metallography and Microstructures," in *ASM Metals Handbook Vol. 9*, G. F. Vander Voort, Ed. ASM International, 2004.
- [7]. G. Chakraborty, C.R.Das, S.K. Albert, A.K.Bhaduri, V.T. Paul, G.Panneerselvam and A. Dasgupta. "Study on Tempering Behaviour of AISI 410 Stainless Steel." *Mater. Charact.*, vol. 100, pp. 81-87, 2015.
- [8]. F. Niessen. "Austenite reversion in low-Carbon Martensitic Stainless Steels - a CALPHAD Assisted Review." *J. Mater. Sci. Technol.*, 2018. DOI: 10.1080/02670836.2018.1449179.
- [9]. L. Hong-ying, H. Ji-dong, L. Jun, C. Guang, and SUN Xiong-jie. "Effect of Tempering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of AISI 6150 Steel." *J. Cent. South Univ.*, vol. 59, no. 8, pp. 866-870, 2013.
- [10]. ASM International. "Fractography." in *ASM Metals Handbook Volume 12*, K. Mills, Ed. ASM International, 1987.
- [11]. R. Usman. "Analisis Kegagalan Katup Buang Pada Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)." *J. String*, vol. 1, no. 1, 2016.