

Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Beranda jurnal: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania/>



PERILAKU TARIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA TAHAN KARAT AISI 304 PASCA PERLAKUAN PANAS PADA DAERAH SENSITISASI 600 – 700 °C

Sungkono¹, Sri Ismarwanti¹

¹Pusat Riset dan Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BRIN
Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gd. 65, Tangerang Selatan, Banten 15314
e-mail: sungkhana@gmail.com

(Naskah diterima: 05-10-2021, Naskah direvisi: 18-10-2021, Naskah disetujui: 28-10-2021)

ABSTRAK

PERILAKU TARIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA TAHAN KARAT AISI 304 PASCA PERLAKUAN PANAS PADA DAERAH SENSITISASI 600 – 700 °C. Baja tahan karat AISI 304 digunakan sebagai komponen struktur reaktor daya tipe LWR. Dalam pembuatan komponen struktur, kualitas sambungan lasan SS 304 ditentukan oleh proses pendinginan dari temperatur austenit ke sensitisasi. Tujuan penelitian adalah mengetahui karakter kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro SS 304 pada daerah sensitisasi 600-700 °C. Metoda penelitian yang digunakan adalah pengujian komposisi kimia, tarik, kekerasan, dan struktur mikro yang mengacu pada ASTM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik SS 304 pasca perlakuan sensitisasi pada (600 °C, 30- 60 menit) dan (700 °C, 30-90 menit) relatif sama dan lebih rendah dibandingkan tanpa perlakuan panas, sedangkan pada (600 °C, 90 menit) relatif sama dengan sampel tanpa perlakuan panas. Struktur mikro SS 304 terdiri atas fasa ferit- δ dan austenit serta presipitat khrom karbida. Kuantitas presipitat di batas butir menurun dengan bertambahnya temperatur dan waktu penahanan. Kekerasan pasca perlakuan sensitisasi pada 600 - 700°C relatif sama di *base metal*, dekat patahan dan daerah patahan. Ketangguhan retak terbaik diperoleh pada sampel SS 304 dengan perlakuan (700 °C, 90 menit).

Kata kunci: baja tahan karat, sensitisasi, kekuatan tarik, kekerasan, struktur mikro, presipitat.

ABSTRACT

TENSILE BEHAVIOR AND MICROSTRUCTURE OF AISI 304 STAINLESS STEEL AFTER HEAT TREATMENT IN SENSITIZATION AREA OF 600 – 700°C. AISI 304 stainless steel is used as a structural component of the LWR type power reactors. In the manufacture of structural component, the quality of SS 304 welded joints is determined by cooling process from the austenite to sensitization temperature. The purposes of this study was to determine tensile strength, hardness and microstructure of SS 304 in the sensitization area of 600 – 700 °C. The research method was testing of the chemical composition, tensile, hardness and microstructural properties referring to ASTM. The results show that the tensile strength of SS 304 after sensitization treatment at 600 °C (30-60 minutes) and 700 °C (30-90 minutes) was relatively the same and lower than samples without heat treatment while the sample treated at 600 °C (90 minutes) was relatively the same as the sample without heat treatment. The microstructure of SS 304 consists of δ -ferrite and austenite phases and chromium carbide precipitates. The quantity of precipitate at the grain boundaries decreases with increasing temperature and holding time. The hardness after sensitization treatment at 600 – 700 °C was relatively the same on the base metal, near the fracture and the fracture area. The most crack resistant was obtained on SS 304 samples with treatment at 700 °C (90 minutes).

Keywords: stainless steel, sensitization area, tensile strength, hardness, microstructure, precipitate.

PENDAHULUAN

Baja tahan karat digunakan sebagai bahan struktur dan komponen dalam berbagai industri, diantaranya manufaktur, perminyakan, nuklir, farmasi, pengolahan makanan dan minuman, dan otomotif. Dalam industri nuklir, baja tahan karat (SS) 20 dan 25 digunakan sebagai kelongsong bahan bakar reaktor daya tipe AGR (*Advanced Gas-cooled Reactors*), tipe 316 dan 316L sebagai kelongsong bahan bakar serta 304 dan 304L sebagai bejana bertekanan reaktor tipe LMFBR (*Liquid Metal Fast Breeder Reactors*). Sementara itu, SS 304/306 untuk *primary piping*, tipe 308/309 untuk *primary plenum clad*, tipe 304 untuk dinding teras, *steam dryers*, dan *preheater tubing*, serta tipe 405 untuk *tube supports* untuk reaktor tipe LWR (*Light water Reactors*)[1].

Pabrikasi komponen struktur di atas membutuhkan proses pengelasan logam. Dalam pengelasan baja tahan karat, yang perlu diperhatikan adalah pada daerah temperatur sensitisasi[2]. Hal ini disebabkan pada proses pendinginan pasca pengelasan baja tahan karat pada daerah temperatur sensitisasi akan menyebabkan atom-atom C yang awalnya interstisi di dalam butir akan bebas berdifusi dan cenderung menuju batas butir. Atom-atom C setelah sampai di batas butir akan mengikat atom-atom Cr di sekitarnya dan mengendap sebagai khrom karbida sehingga kandungan Cr di daerah sekitar batas butir, menjadi berkurang. Kondisi tersebut mengakibatkan daerah batas butir menjadi lebih anodik dan butir lebih katodik sehingga mudah terserang korosi[3]. Metode pendinginan pada daerah sensitisasi yang tepat dibutuhkan untuk meminimalkan terjadinya pengendapan khrom karbida di batas butir. Pendinginan lambat menyebabkan khrom karbida yang terlarut pada saat pemanasan akan mengalami pengerasan dan sempat bergerak menuju batas butir. Apabila menggunakan pendinginan cepat maka khrom karbida yang terlarut akibat pemanasan akan terperangkap dalam fasa yang masih cair[4],[5].

Kumar dan Mukhopadhyay (2016) melakukan penelitian terhadap perilaku baja tahan karat AISI 304 yang dipanaskan pada temperatur sensitisasi, 660 °C, ditahan selama 30 menit, selanjutnya didinginkan di udara. Mereka mendapatkan struktur mikro berupa matriks yang berwarna putih dan hitam yang keduanya mempunyai fasa martensit dengan kekerasan rerata 331,6 VHN untuk

matriks putih dan 432,3 VHN untuk matriks hitam[6].

Chieh Yu, dan kawan-kawan (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh fasa austenit metastabil terhadap penggetasan hidrogen dari baja tahan karat AISI 301 yang telah mengalami pengerolan dingin dengan reduksi ketebalan 30%. Spesimen SS 301 tersebut dimasukkan ke dalam autoclave yang dialiri gas hidrogen, kemudian dipanaskan dengan variasi temperatur 300 °C dan 450 °C pada tekanan 10 MPa dan ditahan selama 160 jam. Mereka mendapatkan bahwa pada temperatur sensitisasi rendah, 450 °C terlihat jelas batas butir antara fasa α' dan ϵ -martensit dengan karbida $M_{23}C_6$, sedangkan pada 300 °C batas butir tersebut tidak teramat[7].

Tukur, dan kawan-kawan (2014) melakukan penelitian terhadap baja tahan karat AISI 304 yang dipanaskan pada temperatur sensitisasi 660 °C, ditahan 30 menit dan kemudian didinginkan di udara. Selanjutnya sampel yang telah tersensitisasi tersebut dilakukan proses anil pada 5 variasi temperatur 1.010 °C, 1.050 °C, 1.090 °C, 1.140 °C, dan 1.190 °C serta ditahan 30 menit dan kemudian dilakukan pendinginan cepat. Sampel pasca perlakuan panas diuji tarik dan kekerasan untuk mengetahui perilaku mekaniknya. Mereka mendapatkan bahwa kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur 666 °C, sedangkan kekuatan dan kekerasan tertinggi dari sampel pasca anil dan pendinginan cepat diperoleh pada 1.090 C[8].

Berdasarkan uraian tersebut di atas, daerah temperatur sensitisasi menentukan perilaku mekanik dan korosi batas butir terutama dari hasil pengelasan sambungan baja tahan karat. Sehubungan hal tersebut, dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi terhadap karakter daerah sensitisasi SS 304 pada proses pendinginan ke temperatur 600 – 700 °C. Perlakuan panas terhadap SS 304 dilakukan melalui 3 (tiga) tahapan yaitu austenisasi pada temperatur 1.100 °C, ditahan dengan waktu tertentu, kemudian didinginkan dengan gradien temperatur tertentu sampai 600 – 700 °C, ditahan dengan waktu tertentu, selanjutnya didinginkan lambat dalam tungku pemanas. Hipotesa yang diajukan adalah proses pendinginan pada daerah temperatur sensitisasi diduga mempengaruhi perilaku mekanik dan struktur mikro SS 304.

METODOLOGI

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah pelat SS 304 dengan ketebalan 1 mm, resin dan pengeras, kertas ampelas, pasta intan, larutan aqua regia dan alkohol untuk preparasi sampel metalografi. Peralatan yang digunakan adalah mesin potong, mesin gerinda dan poles untuk preparasi metalografi, mikroskop optik untuk pengamatan struktur mikro serta *spark spectrometer*, mesin uji tarik dan peralatan uji kekerasan Vickers masing-masing untuk uji komposisi kimia, tarik dan kekerasan mikro sampel SS 304.

Prosedur penelitian terdiri atas beberapa tahapan yaitu pembuatan sampel tarik, perlakuan panas, pengujian komposisi kimia, tarik, metalografi dan kekerasan sampel SS 304. Sampel tarik dibuat dengan proses pemesinan sebanyak 12 buah. Selanjutnya, 1 (satu) sampel tanpa perlakuan panas dan 11 sampel tarik mendapatkan perlakuan: (a) pemanasan dari temperatur kamar ke 1.100 °C, gradien temperatur 500 °C/jam, ditahan pada 1.100 °C selama 30 menit, (b) pendinginan sampai daerah temperatur sensitivitas ada 2 (dua) variasi, yaitu: (1) dari 1.100 °C ke 700 °C, gradien temperatur 300 °C/jam, ditahan pada 700 °C dengan 3 (variasi) yaitu 30, 60 dan 90 menit, kemudian didinginkan lambat di dalam tungku pemanasan, (2) dari 1.100 °C ke 600 °C, gradien temperatur 300 °C/jam, ditahan pada 600 °C dengan 3 (variasi) yaitu 30, 60 dan 90 menit, kemudian didinginkan lambat di dalam tungku pemanasan. Satu sampel tarik tanpa perlakuan panas dan 11 sampel tarik pasca perlakuan panas kemudian dilakukan pengujian tarik sampel dengan mesin uji tarik beban 5 kN.

Proses metalografi terhadap sampel pasca uji tarik terdiri atas: proses pemotongan untuk mendapatkan sampel metalografi, pembersihan, penggerindaan, pemolesan, dan pengetsaan. Penggerindaan sampel SS 304 menggunakan mesin gerinda dengan kertas ampelas grit 320 hingga 2.000 *mesh*, yang dilanjutkan pemolesan sampel dengan pasta intan grit 0,1 µm, dan diperoleh sampel datar, rata, licin, bebas goresan, dan mengkilap seperti cermin[1]. Sampel pasca poles dietsa menggunakan larutan *aqua regia* dengan perbandingan komposisi HCl, dan HNO₃ adalah 3 : 1. Selanjutnya, struktur mikro diamati dengan mikroskop optik dan kekerasan mikro sampel ditentukan dengan peralatan uji kekerasan Vickers.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Komposisi Kimia

Analisis komposisi kimia material uji dilakukan untuk memastikan material uji adalah SS 304 serta memprediksi fasa dan presipitat yang terbentuk pada daerah temperatur sensitivitas. Data komposisi kimia sampel SS 304 yang dianalisis menggunakan peralatan *spark spectrometer* ditunjukkan pada Tabel 1. Data tersebut menunjukkan bahwa material uji mempunyai komposisi utama, yaitu Fe (= 67,3155%), C (= 0,0305%), Si (= 0.503%), Mn (= 1.71%), Ni (= 10.3%) dan Cr (=17.5%) serta unsur pengotor yaitu P (=0.0355%), dan S (=0.0104%). Unsur-unsur yang terdapat dalam material uji berada dalam rentang komposisi standar baja tahan karat AISI 304[9]. Berdasarkan kandungan karbon dalam SS 304 sebesar 0,0305 % berat yang nilainya lebih besar dari 0,03% maka fasa kesetimbangan yang stabil adalah fasa- γ dan campuran karbida (FeCr)₂₃C₆ yang disebut khrom karbida^[10]. Pembentukan karbida tergantung pada laju pendinginan, yaitu pendinginan cepat (*quenching*) SS 304 ke air atau minyak dari temperatur 1.000 °C dapat menekan pembentukan karbida. Bila SS 304 dipanaskan kembali, terutama pada 600 – 850 °C dalam waktu tertentu cenderung terjadi presipitasi khrom karbida pada batas butir. Pada temperatur kurang dari 600 °C, laju difusi khrom sangat lambat sehingga kecil kemungkinannya terjadi pengendapan karbida di batas butir dalam struktur SS 304[10],[11].

Tabel 1. Komposisi kimia material uji.

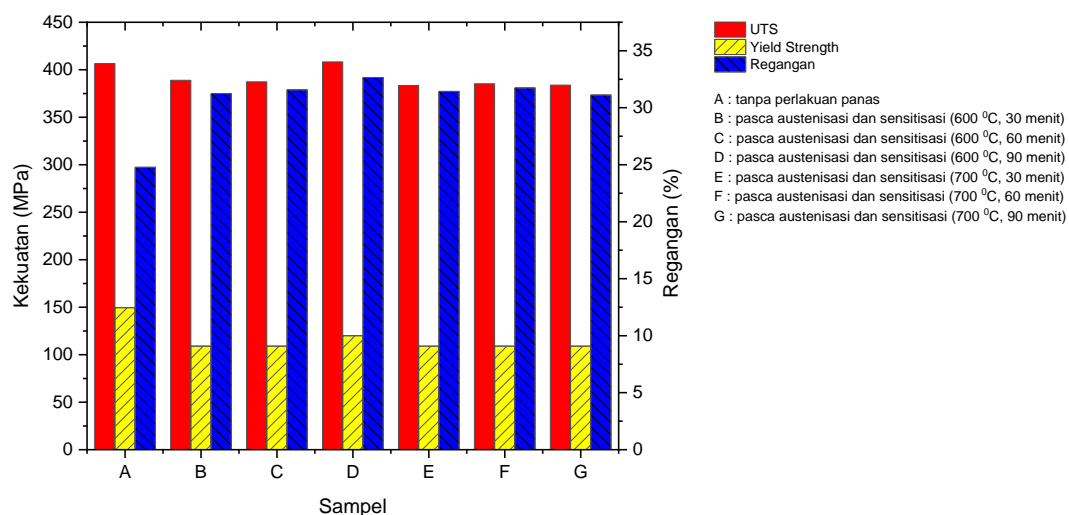
Unsur	Komposisi Kimia	
	Material Uji (% berat)	ASTM A276/A276M (% berat)
C	0.0305	0,08 max.
Si	0.503	1,00 max.
Mn	1.71	2,00 max.
P	0.0355	0,045 max.
S	0.0104	0,030 max.
Cr	19,56	18,00 – 20,00
Ni	10.3	8,00 – 11,00
Mo	0,206	-
Al	< 0.0001	-
Co	0.0328	-
Cu	0.0396	-
Nb	0.0570	-
Ti	0.0093	-
V	0.0804	-
W	0.0949	-
Pb	< 0.0150	-
Fe	67,3155	65,845 – 70,845

b. Perilaku Tarik

Gambar 1 menunjukkan perilaku tarik yaitu kekuatan tarik, kekuatan luluh dan regangan SS304 pasca perlakuan austenitisasi dan sensitisasi pada 600 – 700 °C. Kekuatan tarik SS 304 pasca perlakuan (600 °C, 30 - 60 menit) dan (700 °C, 30 - 90 menit) relatif sama dalam rentang 383,5 – 388,9 MPa yang lebih rendah dibandingkan sampel tanpa perlakuan panas, sedangkan pasca perlakuan (600 °C, 90 menit) sebesar 408,3 MPa relatif sama dengan kekuatan tarik sampel tanpa perlakuan panas sebesar 406,5 MPa. Kekuatan luluh SS 304 pasca perlakuan (600 °C, 30 - 60 menit) dan (700 °C, 30 - 90 menit) sama yaitu sebesar 109 MPa serta pasca perlakuan (600 °C, 90 menit) sebesar 120 MPa yang lebih rendah dibandingkan sampel tanpa perlakuan panas, sebesar 149,5 MPa. Sementara itu, regangan SS 304 pasca perlakuan panas pada 600 dan 700 °C dalam rentang (31,12 – 32,65)% yang lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa perlakuan panas, yaitu 24,78%. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan panas pada daerah temperatur sensitisasi dapat mengubah struktur butir menjadi relatif homogen yang ditandai dengan adanya

sedikit penurunan kekuatan tarik dan kekuatan luluh serta peningkatan keuletan yang ditandai dengan nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan sampel SS 304 tanpa perlakuan panas.

Pengaruh temperatur pada perlakuan panas SS 304 di daerah sensitisasi tidak terlihat secara signifikan. Hal ini disebabkan pada perlakuan panas dalam rentang 600 – 700 °C dengan waktu penahanan 30 – 90 menit relatif tidak terjadi perubahan struktur dan ukuran butir, kecuali anomali pada perlakuan (600 °C, 90 menit) yang kemungkinan terjadi perubahan ukuran presipitat karbida di batas butir[11],[12]. Fakta ini menunjukkan bahwa daerah yang dipengaruhi panas (*heat affected zone*) yang disimulasikan dengan pemanasan pada 1100 °C yang kemudian didinginkan relatif lambat hingga di daerah sensitisasi (600 – 700 °C) menghasilkan struktur yang tidak getas[2,13]. Oleh karena itu, proses pendinginan sampai daerah sensitisasi yang paling baik pada penelitian ini adalah dari 1100 ke 600 °C dengan waktu penahanan 90 menit yang menghasilkan kekuatan tarik 408,3 MPa, kekuatan luluh 120 MPa dan regangan 32,65%.



Gambar 1. Perilaku tarik SS 304 tanpa dan pasca perlakuan panas pada daerah sensitisasi 600 – 700 °C.

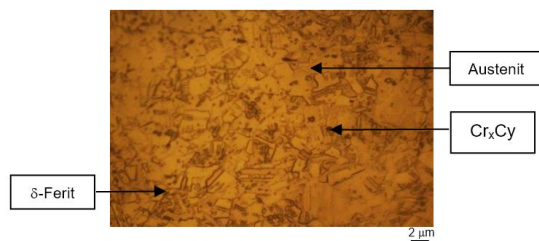
c. Struktur Mikro

Gambar 2 menunjukkan mikrograf *base metal* sampel tarik SS 304 tanpa perlakuan panas. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa struktur mikro *base metal* terdiri atas fasa austenit, δ -ferit dan presipitat khrom karbida

(Cr_xC_y) berupa endapan di batas butir. Bentuk dan ukuran butir austenit tidak homogen dengan arah butir searah dengan arah penarikan sampel SS 304.

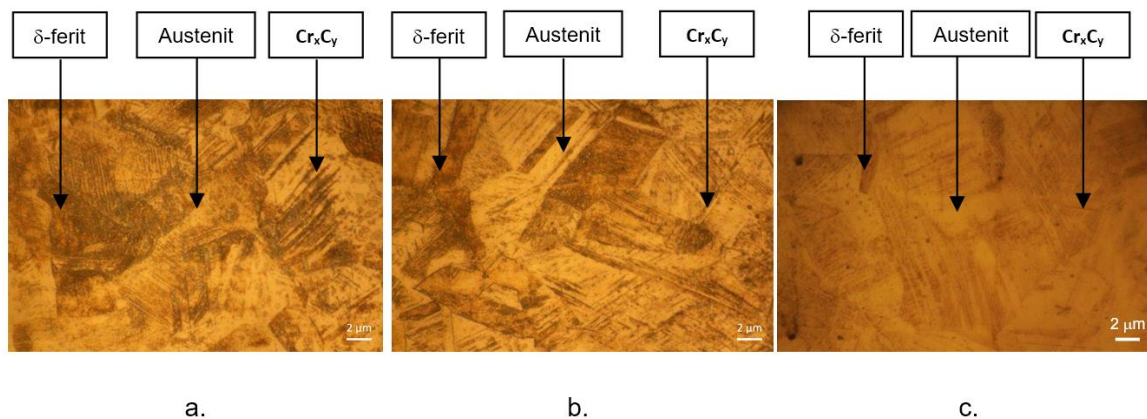
Struktur mikro di daerah patahan sampel tarik SS 304 yang mengalami

perlakuan austenisasi dan sensitisasi pada 600 °C dengan penahanan 30 – 90 menit. ditunjukkan pada Gambar 3. Mikrograf SS 304 pada Gambar 3a, 3b, dan 3c memperlihatkan kecenderungan yang relatif sama, yaitu fasa δ -ferit dan austenit serta adanya presipitat khrom karbida di batas butir austenit. Pada daerah sensitisasi 600 °C semakin lama penahanannya maka terjadi pertumbuhan butir austenit dan berkurangnya kuantitas presipitat khrom karbida.



Gambar 2. Mikrograf *base metal* sampel tarik SS 304 tanpa perlakuan panas.

Hal ini disebabkan semakin lama penahanan maka kebolehjadian presipitat khrom karbida yang terlarut mempunyai cukup waktu untuk bergerak menuju batas butir. sehingga akan mengendap di batas butir dan meningkatkan kekerasan SS 304. Semakin lama waktu penahanan pada 600 °C juga menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir dari fasa δ -ferit dan austenit. Sebaliknya, dengan waktu penahanan yang lebih cepat maka khrom karbida yang terlarut akibat pemanasan akan terjebak dalam fasa padat[5],[11]. Fenomena ini ditunjukkan oleh struktur mikro di daerah patahan sampel SS 304 yang mengalami perlakuan sensitisasi (600 °C, 90 menit) mempunyai butir dengan ukuran lebih besar dan presipitat khrom karbida lebih sedikit dibandingkan sampel SS 304 dengan perlakuan sensitisasi (600 °C, 30 menit) dan (600 °C, 60 menit) seperti ditunjukkan pada Gambar 3a, 3b dan 3c.



Gambar 3. Mikrograf daerah patahan sampel tarik SS 304.

- Perlakuan austenisasi dan sensitisasi 600 °C dengan penahanan 30 menit.
- Perlakuan austenisasi dan sensitisasi 600 °C dengan penahanan 60 menit.
- Perlakuan austenisasi dan sensitisasi 600 °C dengan penahanan 90 menit.

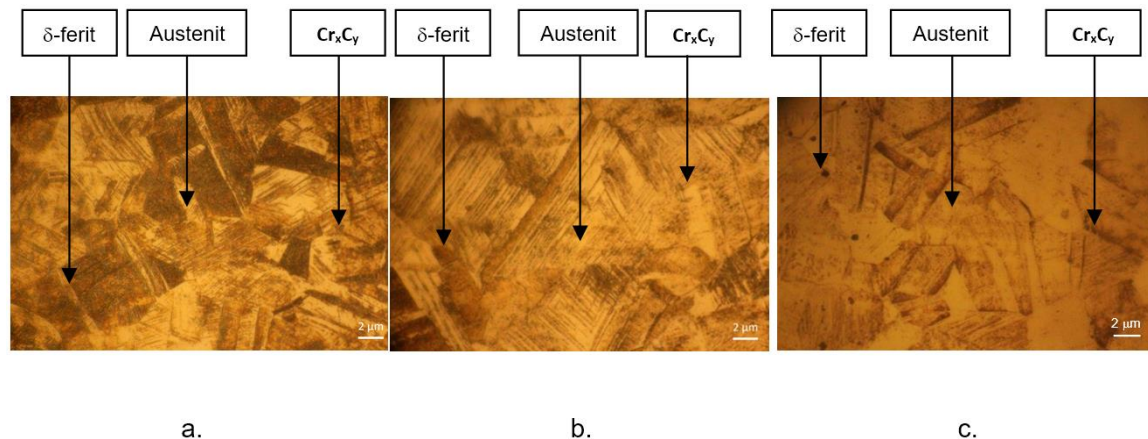
Struktur mikro pada ketiga daerah patahan sampel tarik SS 304 terlihat jelas adanya perbedaan kuantitas endapan khrom karbida di batas butir. Presipitat khrom karbida (Cr_xC_y) dalam struktur SS 304 pada 600 °C dengan waktu penahanan 30 menit lebih banyak dibandingkan dengan 60 dan 90 menit. Semakin banyak khrom berinteraksi dengan karbon membentuk khrom karbida maka semakin berkurang jumlah khrom di butir. Hal ini berdampak pada kebolehjadian terbentuknya khrom oksida (Cr_xO_y) dalam struktur SS 304. Presipitat khrom karbida semakin banyak di batas butir dan semakin sedikit khrom oksida di dalam butir

menyebabkan ketahanan korosi SS 304 menjadi lebih rendah[14]-[16]. Selain itu, pada 600 °C dengan waktu penahanan 90 menit terjadi pertumbuhan butir dan pelarutan khrom karbida di batas butir serta terbentuk fasa ferit baru dengan ukuran butir lebih kecil sehingga kekuatan tariknya lebih tinggi dan mengalami sedikit penurunan keuletan[13]. Dengan demikian, SS 304 pada perlakuan sensitisasi 600 °C dengan waktu penahanan 90 menit mempunyai perilaku tarik dan ketahanan korosi paling tinggi dibandingkan dengan 30 dan 60 menit.

Gambar 4 menunjukkan mikrograf daerah patahan sampel tarik SS 304 yang

mengalami perlakuan austenisasi dan sensitisasi pada temperatur 700 °C dengan waktu penahanan 30 -90 menit. Pada Gambar 4 menunjukkan struktur mikro daerah patahan sampel SS 304 yang mempunyai kecenderungan serupa dengan daerah patahan sampel SS 304 yang mengalami perlakuan austenisasi dan sensitisasi pada temperatur 700 °C dengan waktu penahanan

30 -90 menit, yaitu fasa δ -ferit, austenit dan presipitat khrom karbida dengan ukuran butir δ -ferit, austenit dan presipitat relatif lebih besar. Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur pemanasan dengan waktu penahanan yang sama akan menyebabkan pertumbuhan butir lebih besar dan pelarutan khrom karbida semakin besar[13]. Fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 4a, 4b dan 4c.



Gambar 4. Mikrograf daerah patahan sampel tarik SS 304.

- Perlakuan austenisasi dan sensitisasi 700 °C dengan penahanan 30 menit.
- Perlakuan austenisasi dan sensitisasi 700 °C dengan penahanan 60 menit.
- Perlakuan austenisasi dan sensitisasi 700 °C dengan penahanan 90 menit.

Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa proses pendinginan dari temperatur austenit ke sensitisasi menghasilkan struktur pada ketiga daerah patahan sampel tarik SS 304 pasca perlakuan sensitisasi pada 700 °C relatif sama dengan 600 °C untuk waktu penahanan 30 – 90 menit. Dari Gambar 3 dan 4 tersebut diketahui bahwa semakin tinggi temperatur sensitisasi, maka kebolehdijadian terjadinya pelarutan khrom karbida dalam kisi kristal, pertumbuhan butir austenit dan δ -ferit serta endapan khrom karbida menjadi lebih homogen dalam struktur SS 304[14],[15]. Hal ini berdampak pada peningkatan keuletan dengan sedikit terjadinya penurunan kekuatan dan kekerasan sampel SS 304 pasca perlakuan pada temperatur 700 °C.

d. Kekerasan

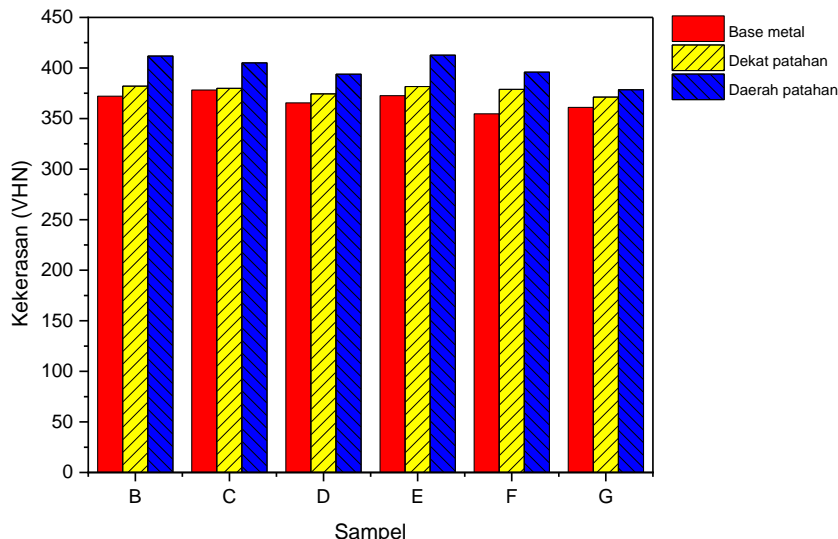
Gambar 5 menunjukkan kekerasan *base metal* dan daerah patahan tarik sampel SS 304. Dari Gambar 5 tersebut diketahui bahwa untuk sampel tarik dengan perlakuan (600 °C, 30 menit) mempunyai kekerasan daerah patahan (412 VHN) lebih tinggi dibandingkan dekat patahan (382 VHN) dan *base metal* (372 VHN). Demikian pula untuk

sampel tarik dengan perlakuan (600 °C, 60 menit), yaitu kekerasan daerah patahan (435 VHN), dekat patahan (379,87 VHN) dan *base metal*, (378 VHN) serta perlakuan (600 °C, 90 menit), yaitu daerah patahan (394 VHN), dekat patahan (374 VHN) dan *base metal*, (365 VHN). Kekerasan sampel tarik dengan perlakuan (700 °C, 30 menit), yaitu daerah patahan (413 VHN) lebih tinggi dibandingkan dekat patahan (382 VHN) dan *base metal*, (383 VHN). Demikian pula untuk sampel tarik dengan perlakuan (700 °C, 60 menit), yaitu kekerasan daerah patahan (396 VHN) lebih tinggi dibandingkan dekat patahan (379 VHN) dan *base metal* (355) VHN serta perlakuan (700 °C, 90 menit), yaitu daerah patahan (379 VHN), dekat patahan (371 VHN) dan *base metal*, (361 VHN).

Gambar 5 memperlihatkan bahwa kekerasan *base metal* sampel pasca perlakuan panas pada temperatur sensitisasi 600 °C dan 700 °C relatif sama untuk masing-masing dengan waktu penahanan 30 menit dan 90 menit. Namun, kekerasan *base metal* dengan waktu penahanan 60 menit pada 600 °C (= 378 VHN) lebih tinggi dibandingkan

pada 700 °C (= 355 VHN). Perbedaan nilai kekerasan cukup signifikan tersebut disebabkan adanya pelarutan khrom karbida dalam kisi kristal, pertumbuhan butir austenit

dan δ -ferit serta khrom karbida menjadi lebih homogen dalam larutan padat seiring dengan bertambah tingginya temperatur pemanasan sampel SS 304.



Gambar 5. Kekerasan sampel tarik SS 304 yang telah mengalami perlakuan panas pada daerah sensitisasi 600 – 700 °C.

Fenomena kekerasan di lokasi dekat patahan relatif sama untuk sampel pasca perlakuan panas pada 600 dan 700 °C. Namun, kekerasan di daerah patahan menurun dengan bertambah lamanya waktu penahanan pada 600 dan 700 °C. Perbedaan kekerasan sampel pasca perlakuan panas pada daerah patahan disebabkan kuantitas khrom karbida yang mengendap di batas butir austenit pada struktur SS 304 menurun dengan bertambah tingginya temperatur sensitisasi. Endapan khrom karbida tersebut menentukan besarnya hambatan terhadap pergerakan dislokasi dan mengurangi cacat di dalam kristal kisi sampel pasca sensitisasi. Selain itu, gerakan dislokasi sebagai pembawa plastisitas yang dominan dan daktilitas material sangat tergantung pada kemudahan dislokasi kisi kristalnya dapat merambat (*propagated*) [17],[18]. Perlakuan sensitisasi SS 304 pada 700 °C memberikan dampak terhadap kebolehan meniadakan segregasi dan fasa sigma paduan yang terbentuk setelah perlakuan sensitisasi, sehingga dapat meningkatkan keuletan dan sedikit mengurangi kekuatan SS 304.

Penelitian ini merupakan simulasi proses pendinginan di daerah sensitisasi sampel SS 304 pasca pengelasan. Pada pendinginan di daerah sensitisasi tersebut diharapkan kekerasan daerah dekat patahan dengan daerah patahan relatif sama agar

tidak terjadi retak dan patah getas [4],[18]. Berdasarkan beda kekerasan antara daerah patahan dan dekat patahan yang mempunyai perbedaan paling rendah adalah pasca perlakuan panas di daerah sensitisasi pada 700 °C dengan waktu penahanan 90 menit.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengkajian data penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut. Kekuatan tarik SS 304 pada daerah sensitisasi (600 °C, 90 menit), yaitu 408,3 MPa relatif sama dengan tanpa perlakuan panas, sedangkan pada daerah sensitisasi (600 °C, 30-60 menit) dan (700 °C, 30-90 menit) relatif sama, yaitu 383,8 – 388,9 MPa yang lebih rendah dibandingkan tanpa perlakuan panas, 406,5 MPa. Struktur mikro SS 304 pada daerah sensitisasi 600 – 700 °C dengan waktu penahanan 30 – 90 menit terdiri atas fasa austenit, δ -ferit dan presipitat khrom karbida. Kuantitas presipitat yang mengendap di batas butir menurun dengan bertambahnya temperatur dan waktu penahanan. Nilai Kekerasan SS 304 pasca perlakuan sensitisasi pada 600 - 700°C relatif sama untuk masing-masing waktu penahanan, yaitu 355 – 378 VHN pada *base metal*, 371 – 382 VHN pada *dekat patahan* dan 379 – 413 VHN pada *daerah patahan* sampel

pasca uji tarik. Dengan demikian, baja tahan karat AISI 304 pasca perlakuan panas di daerah sensitivitas pada 700 °C dengan waktu penahanan 90 menit mempunyai ketangguhan retak terbaik karena kekerasan antara daerah patahan dan dekat patahan relatif sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Erwan Hermawan, Anditania Sari Dwi Putri dan Guswardani yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sungkono, J. Setiawan, Isfandi, dan I. Azis, "Pelapisan permukaan baja tahan karat AISI 304 dengan khrom oksida menggunakan metoda *sputtering*", *Urania*, vol. 25, no. 2, hal. 71-79, 2019.
- [2] W. Harsono dan T. Okumura, "Teknologi Pengelasan Logam," *Pradnya Paramita*, Jakarta, 2010.
- [3] P. Hedstrom, "Deformation and martensitic phase transformation in stainless steel", *Doctoral Thesis*, Lulea University of Technology, Sweden, pp. 6-15, 2007.
- [4] V. Kumar, P. Joshi, and S. Dhakar, "Analysis of the effect of sensitization on austenitic stainless steel 304L welded by GTAW process," *Int. J. of Technology Inovations and Research*, vol. 14, pp. 1-8., 2015.
- [5] J. Liu, "Deformation induced martensitic transformation in 304 stainless steel", *Master's Thesis*, University of South Carolina, pp. 1-16, 2016.
- [6] S. Kumar, A. Mukhopadhyay, "Effect of microstructure on the wear behavior of heat treated SS-304 stainless steel", *Tribology in Industry*, vol. 38, no. 4, pp. 445-453, 2016.
- [7] C. Yu, R. K. Shiue, C. Chen and L. W. Tsay, "Effect of low-temperature sensitization on hydrogen embrittlement of 301 stainless steel," *Metals*, vol. 7, no. 58, pp. 1-12, 2017.
- [8] S.A. Tukur, M. S. Dambatta, A. Ahmed, N. M. Mu'az, "Effect of heat treatment temperature on mechanical properties of the AISI 304 stainless steel," *Int. J. of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 3, no.2, pp. 9516–9520, 2014.
- [9] ASTM A276/A276M-17: *Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes*.
- [10] A. Hunter, M. Ferry, "Phase formation during solidification of AISI 304 austenitic stainless steel," *Scripta Materialia*, vol. 46, pp. 253-258, 2002.
- [11] B. Arh, F. Tehovnik and F. Wode, "Transformation of the δ -Ferrite in SS2343 austenitic steel upon annealing at 1050 °C, 1150 °C and 1250 °C," *Metals*, vol. 11, no. 935, pp. 1-14, 2021.
- [12] H. Li, L. Zhang, B. Zhang and Q. Zhang, "Microstructure Characterization and Mechanical Properties of Stainless Steel Clad Plate, Materials," vol.12, no. 509, pp. 1-7, 2019.
- [13] V. Kumar, "Study the effect of sensitization on the microstructure and mechanical properties of AISI 304 SS joins using GTAW process," *Dissertation Report*, Lovely Professional University, Punjab, pp. 42-52, 2015.
- [14] A. B. Rhouma, , T. Annadou, H. Shidom, and C. Braham, "Correlation between Microstructure and Intergranular Corrosion Behavior of Flow Delta-Ferrite Content AISI 316L Aged at Range 550 – 700 °C," *J. of Alloy and Compound*, vol. 708, pp. 871-886, 2017.
- [15] A. N. Kamel, and A. F. Waheed, "Correlation between corrosion and ferrite number of 316L stainless steel deposited on carbon steel aged at 550 °C," *European Academic Research*, vol. 7, no. 3, pp. 2023-2035, 2019.
- [16] C. Huh, S. An, M. Kim, and C. Kim, "Effect of corrosion characteristics on long-term aging of austenitic 304 Steel," *Applied Science*, vol. 9, no. 5557, pp. 2-11, 2019.
- [17] C. P. Fenili, et. al. "Effect of sensitization on tribological behavior of AISI 304 austenitic stainless steel," *Int. J. of Materials Research (formerly Zeitschrift Metallkunde)*, vol. 109, no.3, 2018.
- [18] Z. Cheng, C. Liu, M. Ren, H. Jiang and L. Li, "Microstructure and mechanical behavior of an AISI 304 austenitic stainless steel prepared by cold-or cryogenic-rolling and annealing," *Materials Science & Engineering*, pp. 260-268, 2018.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN