

# PERILAKU SENSITASI PADA LOGAM STAINLESS STEEL SERI J4 AKIBAT PERLAKUAN PANAS

## *SENSITIZATION BEHAVIOR OF STAINLESS STEEL TYPE J4 DUE TO HEAT TREATMENTS*

Gadang Priyotomo<sup>1,\*</sup> dan I Nyoman Gede Putrayasa A<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Gedung 474, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia

\*E-mail: gadangp@gmail.com

---

### ARTICLE INFO

#### Article history

Received date:

11 January 2017

Received in revised form date:

4 May 2017

Accepted date:

29 May 2017

Available online date:

30 November 2018

---

### Abstract

*The failure of austenitic stainless steel during the industrial applications is place sensitization due to heat treatment. The investigation of that failure has been investigated by researchers in particular for stainless steel 2XX and 3XX types, while there isno or little investigation for stainless steel J4 type. Furthermore, the investigation of the presence of sensitization on stainless steel was conducted by referring to American Society for Testing and Materials (ASTM) A262-02a, which the characterization of metal surface morphologies dan chrom content used optical microscope and scanning electron mikroskop, and Energy-dispersive X-ray spectroscopy, respectively. The results elucidate that sensitization is produced in temperature range from 700 up to 900 °C. There isgrain boundaries attack on surface morphologies after sensitization test in the temperature range from 700 up to 900 °C ,which is unlikely to happen at temperature of 600 °C. The possibility of chromium diffusion to grain boundaries took place from the decrease of chromium content adjacent with grain boundaries and the increase of chromium content in grain boundaries, which implies the formation of intermetallic compound of carbide.*

**Keywords:** *Austenitic stainless steel, Sensitization, Heat treatment, Grain boundaries.*

---

### Kata kunci:

*Stainless steel* austenitik  
Sensitasi  
Perlakuan panas  
Batas butir

---

### Abstrak

Kegagalan logam *stainless steel* austenitik saat diaplikasikan di industri adalah terjadinya sensitasi akibat pelakuan panas. Investigasi kegagalan tersebut telah dilakukan oleh peneliti terutama *stainless steel* seri 2XX dan 3XX hampir 20 tahun, dimana belum atau sedikit investigasi terhadap *stainless steel* seri J4. Lebih jauh lagi, investigasi keberadaan sensitasi logam *stainless steel* dilakukan dengan mengacu pada standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM) A262-02a, dimana karakterisasi morfologi permukaan logam dan kadar kromium menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscope*, serta *energy-dispersive X-ray spectroscopy*. Hasil riset menjelaskan bahwa sensitasi terbentuk pada rentang suhu antara 700° s.d. 900 °C, akan tetapi hal tersebut tidak terjadi pada suhu 600 °C. Morfologi permukaan logam setelah uji sensitasi rentang suhu antara 700 s.d. 900 °C mengalami serangan batas butir, sebaliknya logam bersuhu 600 °C tidak mengalami hal tersebut. Kemungkinan difusi unsur kromium ke batas butir terjadi dari penurunan kadar kromium di sekitar batas butir dan kenaikan unsur kromium di batas butir, dimana ini mengindikasikan terbentuknya senyawa intermetalik karbida.

## PENDAHULUAN

Logam *stainless steel* austenitik umumnya digunakan pada unit bejana tekanan tinggi, transportasi, industri medis, dan lain-lain dikarenakan sifat mekanik yang baik (Davids 1994). Logam tersebut merupakan paduan logam krom dan nikel dengan struktur kristal *body centered cubic* yang mengandung unsur krom lebih dari 12%. Lebih jauh lagi, logam ini mempunyai nilai keuletan dan formabilitas yang baik. Keunggulan sifat logam *stainless steel* austenitik adalah ketahanan terhadap korosi pada rentang lingkungan korosif lemah hingga kuat dikarenakan pembentukan lapisan pasif krom oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) di permukaan logam (Mohd Warikh Abd Rashid, Miron Gakim and Zulkifli Mohd Rosli 2012). Walaupun logam *stainless steel* dikategorikan sebagai material tahan korosi, logam tersebut mengalami proses berbagai jenis korosi tergantung dari aplikasi dan lingkungannya.

Mengacu pada kegagalan korosi, salah satu masalah besar dalam penggunaan material *stainless steel* austenitik adalah kerentanan terhadap proses sensitasi saat diekspos pada temperatur tinggi pada waktu yang singkat dengan waktu pendinginan udara. Proses pada perlakuan panas yang singkat memberikan efek sensitasi (proses yang dihubungkan dengan pengendapan krom karbida seperti  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  atau  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  di sepanjang batas butir) yang terjadi ketika *stainless steel* austenitik dipanaskan kembali pada rentang temperatur 550 s.d. 850 °C (Atanda. P 2010). Salah satu contoh proses sensitasi adalah pengerjaan pengelasan logam *stainless steel* seri 304 L tanpa prosedur *post welding heat treatment* (Viranshu et al. 2015). Lebih jauh lagi, dalam rentang temperatur sensitasi, atom-atom karbon ter-

difusi ke dalam batas butir, dimana ber-senyawa dengan unsur krom, membentuk senyawa krom karbida, daerah didekat batas butir mengalami pelepasan unsur krom (Viranshu et al. 2015). Proses sensitasi dan pembentukan endapan krom karbida berhubungan dengan salah satu jenis korosi, yaitu korosi retak tegang pada logam *stainless steel* (Priyotomo 2008). Korosi retak tegang terjadi dikarenakan adanya pelemahan di daerah dekat batas butir, dimana konsentrasi krom lebih rendah dibandingkan dengan batas butir (Davidson, R.M. and T. DeBold 1987). Fenomena sensitasi pada logam *stainless steel* telah diinvestigasi oleh berbagai peneliti di dunia, dimana penelitian tersebut mencakup semua jenis *stainless steel* antara lain *stainless steel* feritik, *stainless steel* austenitik, dan *stainless steel* martensitik (Pistorius, P.C 1996; Priyotomo 2008; Xiaofei Yu and Shenhao Chen 2009; Atanda. P 2010; Rashid et al. 2012; Václav ŠEFL 2012; Viranshu et al. 2015). Pengembangan logam *stainless steel* austenitik khususnya seri 200 mengalami kemajuan, dimana industri mereduksi penambahan unsur mangan dan menambah unsur tembaga untuk mengurangi biaya produksi logam. Diversifikasi produk *stainless steel* austenitik bernama seri J4 dilakukan dari produk industri India. Seri J4 inisendiri belum memilikistandar internasional, antara lain standar ASTM, AISI, dan lain-lain. Khususnya logam *stainless steel* seri J4 dengan penambahan unsur tembaga, belum atau sedikit peneliti menginvestigasi fenomena sensitasi. Tujuan penelitian ini adalah menginvestigasi fenomena sensitasi logam *stainless steel* seri J4 melalui proses perlakuan panas dan menjelaskan mekanisme terjadinya sensitasi.

## METODE

### Persiapan Spesimen dan Karakterisasi Awal

Spesimen uji dalam penelitian ini menggunakan logam *stainless steel* tipe J4 dengan penambahan unsur tembaga. Karakterisasi awal dilakukan dengan mengetahui komposisi unsur-unsur yang ada pada logam tersebut dengan menggunakan alat *ARL Spark Optical Emission Spectrometer*, dimana dimensi spesimen uji tersebut adalah 3x3 cm. Sebelum dilakukan investigasi pendeteksian kerentanan serangan batas butir pada baja *stainless steel* austenitik sesuai standar ASTM A262-02a, proses perlakuan panas dilakukan pada spesimen uji dengan rentang temperatur antara 600 s.d. 900 °C dengan waktu penahanan saat temperatur tercapai satu jam. Setelah itu, dilakukan dengan pendinginan dengan laju yang lambat di dalam *muffle furnace*. Sebagai pembanding, perlakuan panas *solution annealing* pada spesimen uji dilakukan melalui pemanasan hingga temperatur 1.050 °C, ditahan waktu satu jam, kemudian dilakukan pendinginan cepat dengan proses *quenching* di dalam media air.

### Pengujian Kerentanan Serangan Batas Butir Logam

Pengujian ini dilakukan untuk melihat secara visual keberadaan serangan batas butir pada logam *stainless steel* yang tersensitasi saat perlakuan panas dengan mengacu pada standar uji ASTM A262-02a. Lebih jauh lagi, langkah-langkah prosedur yang dilakukan antara lain:

- Sampel dipotong dengan dimensi 25 mm x 25 mm.
- Sampel ditempatkan dalam media resin yang dikeraskan agar mudah dilakukan preparasi sampel melalui proses amplas dan poles.

- Sampel diampas dari grit 120 hingga 1200 kemudian dipoles dengan pasta alumina dari ukuran 1 mikron hingga 0,05 mikron.
- Pembuatan larutan etsa melalui penambahan larutan dengan komposisi 100 gram serbuk asam oksalat ( $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ ) dan 900 mL air distilasi, dimana dua bahan dicampur hingga 1000 mL.
- Sampel-sampel tersebut dietsa elektrik dengan rapat arus 1 A/cm<sup>2</sup> selama 90 detik.
- Setelah proses etsa selesai, pengamatan visual dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik, perbesaran 100x dan 500x untuk mengidentifikasi jejak karbida di batas butir pada sampel uji.
- Pengamatan struktur permukaan etsa spesimen mengacu klasifikasi baku standar ASTM A262-02a poin 6, dimana klasifikasi secara umum menjelaskan struktur berjenjang (*step structure*) dan struktur berparit (*ditch structure*).
- Struktur berjenjang merupakan butir-butir dibatasi oleh batas butir yang berjenjang, dimana ini mengindikasikan bahwa *stainless steel* tidak terjadi proses sensitasi. Lebih jauh lagi, struktur berparit merupakan struktur dengan banyak butir-butir yang dikelilingi oleh profil berparit, dimana ini juga mengindikasikan *stainless steel* telah mengalami proses sensitasi.

### Pengamatan Material yang Tersensitasi

Pengamatan logam *stainless steel* yang telah dilakukan pengujian pendeteksian kerentanan serangan batas butir berstandar ASTM A262-02, selanjutnya diobservasi lebih lanjut dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) untuk melihat morfologi batas butir setiap variasi

temperatur kerja pada perlakuan panas. Setelah itu, identifikasi keberadaan unsur-unsur pada permukaan spesimen *stainless steel* dilakukan dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Material *Stainless Steel* Seri J4

Karakterisasi material spesimen uji dalam penelitian sangat penting untuk memastikan kembali jenis material tersebut sebelum diuji. Hasil pengujian komposisi kimia material dengan menggunakan *ARL Spark Optical Emission Spectrometer* terlihat pada Tabel 1. Komposisi kimia unsur-unsur logam spesimen uji sesuai dengan standar logam *stainless steel* seri J4 hasil produksi industri asal India, dimana penambahan unsur tembaga dilakukan untuk mengurangi *work hardening rate* logam tersebut. Penambahan unsur tembaga (Cu) dilakukan sekaligus pengurangan unsur nikel (Ni), dimana kedua unsur tersebut sebagai penstabil fasa austenit sama juga dengan unsur mangan (Mn).

**Tabel 1.** Komposisi kimia unsur logam *stainless steel* seri J4

Unsur	Standar material	Spesimen uji
C	0.10 (maks)	0.06
Mn	8.5-10.0	8.85
S	0.01 (maks)	0.007
P	0.75 (maks)	0.026
Si	0.75 (maks)	0.44
Cr	15-16 (maks)	15.2
Cu	1.50-2.00 (maks)	1.67
N	0.20 (maks)	-
Ni	1.00-2.00	1.18

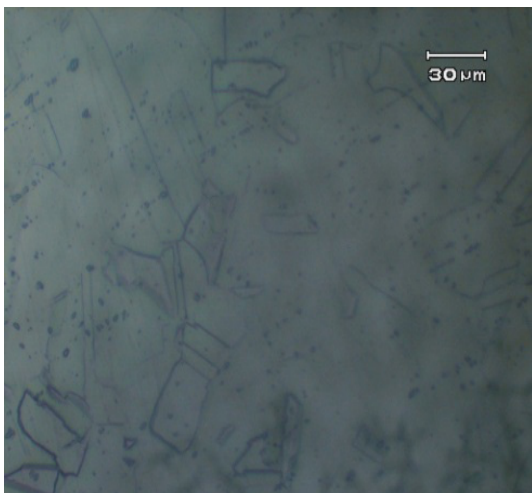
Lebih jauh lagi, penambahan unsur kromium paling sedikit 13% cukup memberikan perlindungan terhadap korosi, yang disebabkan oleh peningkatan ketebalan lapisan protektifnya dapat meningkatkan ketahanan korosi (Devaraju 2015). Gooch (1996) menjelaskan bahwa pembentukan lapisan pasivasi sebagai lapisan yang bertanggung jawab atas ketahanan korosi pada *stainless steel* terjadi minimal konsentrasi kromium 12% di dalam larutan 1 M  $H_2SO_4$ .

### Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Serangan Batas Butir

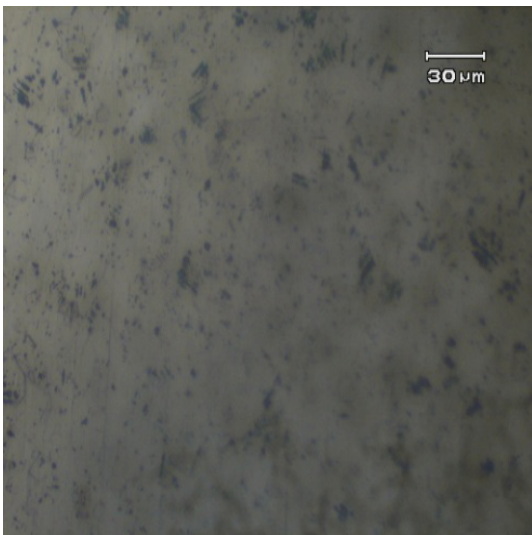
Setelah dilakukan pengujian deteksi kerentanan *stainless steel* terhadap serangan korosi batas butir yang mengacu pada ASTM A262-02a, *Practice A*, hasil mikrostruktur setiap material terlihat pada Gambar 1 s.d. 5. Gambar 1 memperlihatkan morfologi *step structure* pada spesimen dengan perlakuan panas *solution annealing* sebagai pembanding, dimana morfologi bertangga-tangga antara butiran mengindikasikan tidak ada bentukan berparit pada batas butir. Ketiadaan bentukan parit pada batas butir memperlihatkan tidak ada serangan korosi batas butir. Lebih jauh lagi, perlakuan panas dilakukan pada suhu 600 °C dan didinginkan di tungku. Morfologi bertangga-tangga antara butiran logam terlihat pada Gambar 2. Ini berarti bahwa tidak ada serangan batas butir yang sama dengan *stainless steel* hasil *solution annealing*. Di sisi lain, pemanasan material dilakukan pada suhu 700, 800, dan 900 °C memperlihatkan perubahan morfologi menjadi bentukan parit-parit berwarna gelap di batas butir yang mengindikasikan serangan korosi batas butir terjadi.

**Tabel 2.** Perlakuan panas pada *stainless steel* seri J4

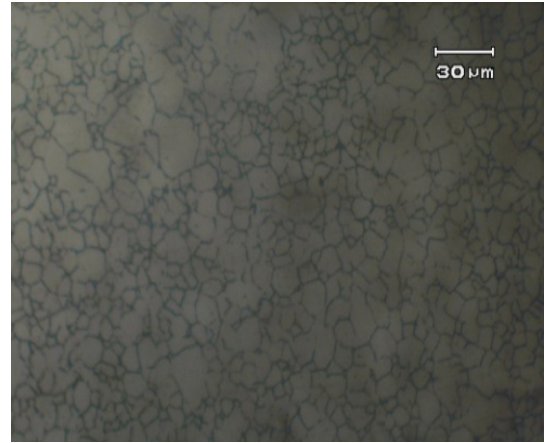
No	Suhu operasional (°C)	Morfologi permukaan logam (acuan ASTM A262-02a)
1	600	<i>Step structure</i>
2	700	<i>Ditch structure</i>
3	800	<i>Ditch structure</i>
4	900	<i>Ditch structure</i>



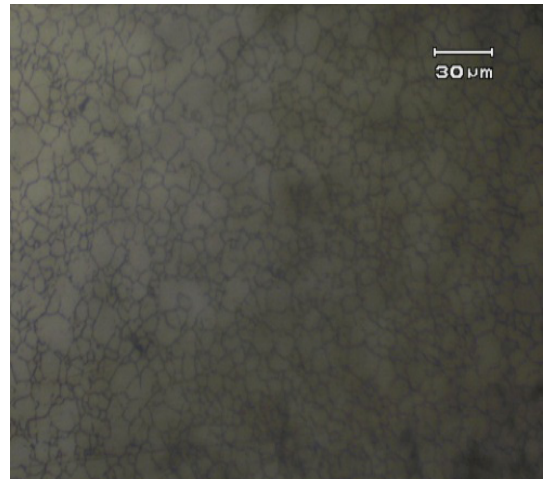
**Gambar 1.** Mikrostruktur SS J4 setelah perlakuan panas *solution annealing* suhu 1.050 °C, ditahan satu jam, dan di *quenching* dengan air.



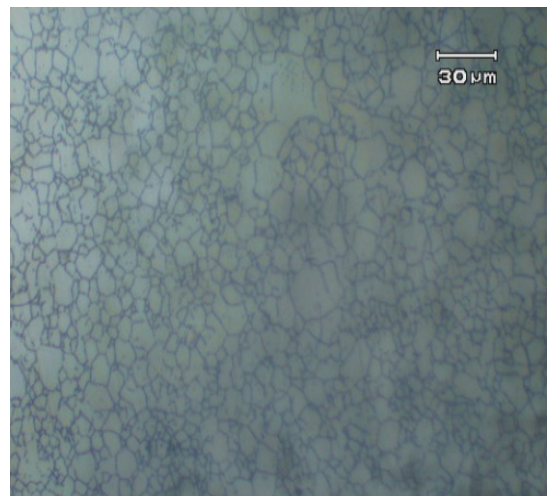
**Gambar 2.** Mikrostruktur SS J4 setelah perlakuan panas bersuhu 600 °C, ditahan satu jam, dan pendinginan tungku



**Gambar 3.** Mikrostruktur SS J4 setelah perlakuan panas bersuhu 700 °C, ditahan satu jam, dan pendinginan tungku

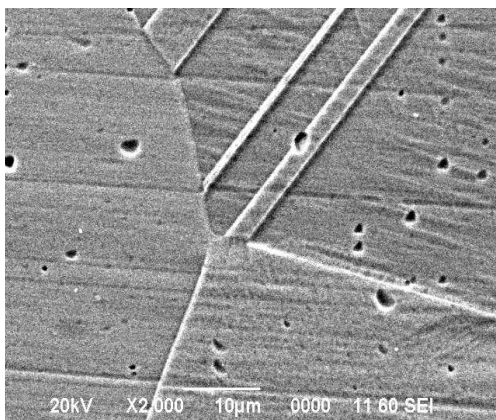


**Gambar 4.** Mikrostruktur SS J4 setelah perlakuan panas bersuhu 800 °C, ditahan satu jam, dan pendinginan tungku.



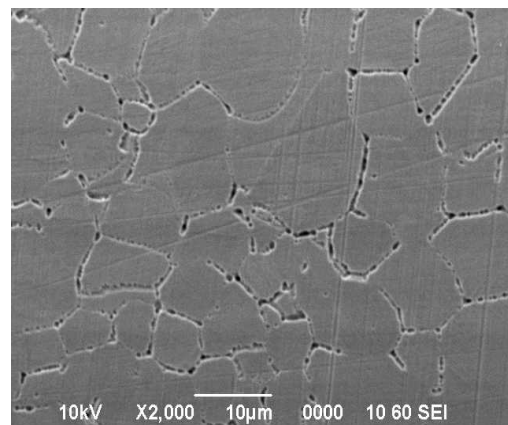
**Gambar 5.** Mikrostruktur SS J4 setelah perlakuan panas bersuhu 900 °C, ditahan satu jam, dan pendinginan tungku

Tabel 2 mengindikasikan bahwa pemanasan spesimen *stainless steel* J4 pada temperatur 600 °C tidak meningkatkan kerentanan terhadap sensitasi yang berkontribusi membentuk daerah yang rentan serangan batas butir dikarenakan ber-morfologi *step structure*, dibandingkan dengan spesimen uji dengan perlakuan panas 700, 800, dan 900 °C yang ber-morfologi *ditch structure*, dikarenakan adanya difusi kation kromium ke arah batas butir dan bersenyawa membentuk senyawa intermetalik karbida (ASTM 2002). Metode lanjutan observasi morfologi permukaan spesimen juga dilakukan dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) untuk melihat serang-

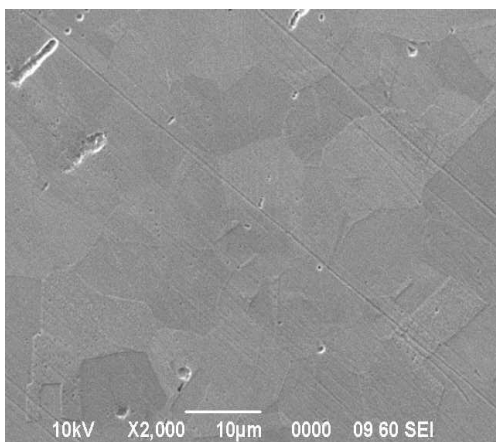


**Gambar 6.** Mikrostruktur SEMSS J4 setelah perlakuan panas solution annealing suhu 1.050 °C, ditahan satu jam, dan *quenching* air

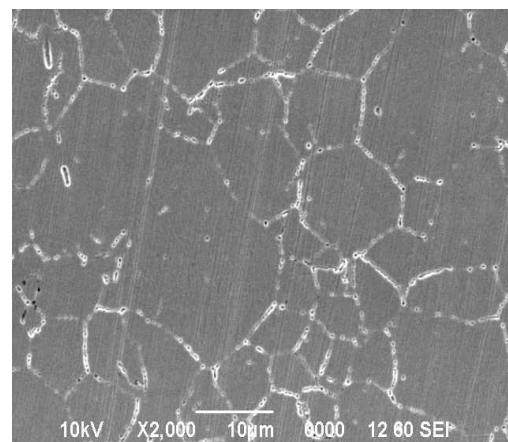
an batas butir. Pada *stainless steel*, hasil *solution annealing* memperlihatkan tidak terjadi serangan batas butir yang terlihat pada Gambar 6 sama dengan *stainless steel* hasil pemanasan bersuhu 600 °C, terlihat pada Gambar 7. Lebih jauh lagi, ketiadaan terjadinya serangan batas butir disebabkan terjadinya proses elektrokimia berupa proses anodik terutama dalam butir akibat orientasi kristal yang berbeda setiap butir (Rem.T.H.O 1957; Takayama. Y and K. Nohara 2010; Venegas 2015). Oleh karena itu, hal ini mengindikasikan perbedaan ketinggian tiap butir pada Gambar 6 dan 7 dikarenakan proses pelarutan anodik secara selektif akibat perbedaan orientasi kristal.



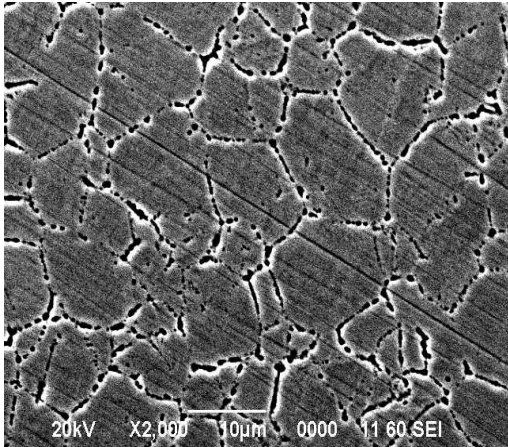
**Gambar 8.** Mikrostruktur SEM SS J4 setelah perlakuan panas bersuhu 700 °C, ditahan satu jam, dan pendinginan tungku



**Gambar 7.** Mikrostruktur SEM SS J4 setelah perlakuan panas bersuhu 600 °C, ditahan satu jam, dan pendinginan tungku



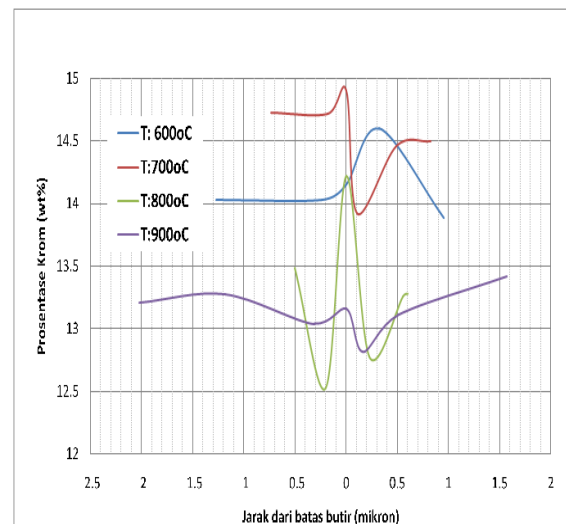
**Gambar 9.** Mikrostruktur SEM SS J4 setelah perlakuan panas bersuhu 800 °C, ditahan satu jam, dan pendinginan tungku



**Gambar 10.** Mikrostruktur SEM SS J4 setelah perlakuan panas bersuhu 900 °C, ditahan satu jam, dan pendinginan tungku

Pada sisi lain, perlakuan panas *stainless steel* J4 dengan rentang suhu 700 s.d. 900 °C memperlihatkan serangan batas butir yang masif yang mengindikasikan telah terjadi pelarutan anodik di sekitar batas butir di daerah sensitasi. Hasil riset ini sama dengan logam *stainless steel* seri 201, 304, 304L, dan 316L dengan rentang suhu pemanasan 650 s.d. 900 °C yang juga mengalami proses sensitasi yang mengakibatkan terjadinya serangan batas butir (Tsai.N.S. 1984; Coetzee. M 1996; Atanda. P 2010; Mohd Warikh Abd Rashid, Miron Gakim and Zulkifli Mohd Rosli 2012; Tukur.S.A., M.S Dambatta and A. Ahmed 2014; Viranshu 2015). Lebih jauh lagi, Gambar 11 memperlihatkan kurva konsentrasi krom dengan fungsi jarak dari batas butir logam *stainless steel* J4. Berdasarkan hasil riset, tendensi kenaikan konsentrasi kromium terjadi pada logam *stainless steel* dengan perlakuan panas 700, 800, dan 900 °C di batas butir kemudian turun menjauhi batas butir, kecuali dengan perlakuan panas 600 °C. Nakamichi. H, K. Sato, Y. Miyata and M. Kimura (2008) menjelaskan indikasi kenaikan konsentrasi unsur krom di batas butir terjadi diiringi penurunan konsentrasi unsur krom menjauhi batas butir pada logam *stainless steel* martensitik yang mengakibatkan keberadaan karbida

terbentuk di batas butir. Penurunan kadar krom di daerah sensitasi menjadikan daerah tersebut bersifat anodik dibandingkan dengan daerah diluar sensitasi (daerah pasif) dimana proses galvanis lokal terjadi (Hudson, B.F 2001; Viana, P.R. and L.Venturini 2015). Di sisi lain, presipitasi krom karbida di batas butir menurunkan pembentukan lapisan pasif  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  di daerah sensitasi (Priyotomo 2008) yang terlarut membentuk *ditch* atau parit berwarna hitam yang terlihat pada Gambar 3 s.d. 6. Lebih jauh lagi, pada Gambar 11, indikasi terjadinya difusi unsur krom ke batas butir mengakibatkan penurunan kadar krom berjarak  $\pm 0,2$  mikron dari batas butir, yang pada akhirnya proses difusi tersebut membentuk karbida (Abhay K. Jha 2016).



**Gambar 11.** Distribusi kadar kromium melewati batas butir logam *stainless steel* seri J4

Walaupun demikian, verifikasi pembentukan krom karbida tidak mudah dilakukan dengan menggunakan metode *X-Ray diffraction* (XRD), sehingga penggunaan *transmission electron microscopy* (TEM) *electron diffraction* dapat dimungkinkan dilakukan untuk melihat orientasi kristalografi dan struktur karbida (Abhay K. Jha 2016). Penelitian ini belum dapat menjelaskan keberadaan senyawa inter-

metalik krom karbida dibatas butir logam *stainless steel* J4 secara komprehensif, sehingga eksperimen lebih lanjut akan dilakukan untuk ini.

## KESIMPULAN

*Stainless steel* seri J4 mengalami sensitasi setelah dilakukan perlakuan panas dengan rentang suhu antara 700 s.d. 900 °C, tetapi tidak terjadi sensitasi pada perlakuan panas 600 °C. Morfologi permukaan logam setelah uji sensitasi berstandar ASM A262-02a dengan rentang suhu antara 700 s.d. 900 °C mengalami serangan batas butir, sebaliknya tidak dengan logam bersuhu 600 °C. Penurunan kadar kromium yang berjarak ±0,2 mikron dari batas butir dan naiknya unsur kromium di batas butir mengindikasikan adanya proses difusi kromium ke batas butir dan terbentuknya senyawa intermetalik karbida.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, khususnya rekan-rekan peneliti dan teknisi di laboratorium Korosi dan Laboratorium Logam.

## DAFTAR ACUAN

- Abhay K. Jha, K. Sreekumar. 2016. "No Title." *Engineering Failure Analysis* 16: 1379–1386.
- ASTM. 2002. "Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels." In *ASTM A262-02*, 1–16.
- Atanda.P, A.Fatudimu. 2010. "Sensitization Study of Normalized 316L Stainless Steel." *Journal of Minerals and Materials Characterization & Engineering* 9 (1): 13–23.

- Coetzee. M, P.G.H. Pistorius. 1996. "The Welding of Experimental Low-Nickel Cr-Mn-N Stainless Steels Containing Copper." *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 99–108.
- Davids, J.R. 1994. *ASM Speciality Handbook, Stainless Steels, Welding*.
- Davidson.R.M., T. DeBold, M.J. Johnson. 1987. "Corrosion of Stainless Steels." In *Metals Handbook, Corrosion* 13.
- Devaraju, A. 2015. "Development of Austenitic Stainless Steel Type 316LN-a Review." *International Journal of Design and Manufacturing Technology* 66 (2): 48–53.
- Gooch, G. 1996. "Corrosion Behavior of Welded Stainless Steel." *Welding Journal*, 135–153.
- Hudson.B.F. 2001. "Corrosion in 316 Stainless Steel versus 316 Low Carbon Stainless Steel."
- Kumar.V, P. Joshi,S.Dhakad,H. Shekhar,S. Singh, S. 2015. "Analysis of the Effect of Sensitization on Austenitic Stainless Steel 304L Welded by GTAW Process." *Open International Journal of Technology Innovations and Research* 14: 1–12.
- Mohd Warikh Abd Rashid, Miron Gakim, Zulkifli Mohd Rosli, Mohd Asyadi Azam. 2012. "Formation of Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> during the Sensitization of AISI 304 Stainless Steel and Its Effect to Pitting Corrosion." *International Journal of Electrochemical Science* 7: 9465–77.
- Nakamichi.H,K.Sato,Y.Miyata,M.Kimura, K.Masamura. 2008. "Quantitative Analysis of Cr-Depleted Zone Morphology in Low Carbon Martensitic Stainless Steel Using FE-(S)TEM." *Corrosion Science* 50 (2): 309–15.
- Pistorius.P.C. 1996. "Sensitization of Type 430 Ferritic Stainless Steel during Continuous Annealing." *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 119–25.



- Priyotomo, G. 2008. "Hubungan Korosi Batas Butir Baja Tahan Karat Tipe 304 Metode ASTM A262 dan Temperatur Sensitasi." *Korosi* 17 (1): 45–52.
- Rem.T.H.O. 1957. "Influence of Crystallographic Orientation on the Corrosion Rate of Aluminum in Acids and Alkalies." *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 58 (3): 157–66.
- Takayama.Y, K. Nohara, H. Kato. 2010. "Influence of Crystallographic Orientation on Corrosion Behavior of 5N Purity Aluminum." In *Proceedings of the 12th International Conference on Aluminium Alloys*.
- Tsai.N.S., T.W. 1984. "The Size of the Sensitization Zone in 304 Stainless Steel Welds." *J. Materials for Energy Systems* 6 (1): 33–37.
- Tukur.S.A., M.S Dambatta, A. Ahmed, N.M. Mu'az. 2014. "Effect of Heat Treatment Temperature on Mechanical Properties of the AISI 304 Stainless Steel." *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3 (2): 9516–20.
- Václav ŠEFL, Jaroslav BYSTRIANSKÝ. 2012. "Sensitivity to Intergranular Attack Kinetics of High-Alloyed Austenitic Stainless Steels with Copper." In *the Proceeding of MET-AL*, 1–6.
- Venegas.V, F. Caleyó, L. E. Vázquez, T. Baudin, J. M. Hallen. 2015. "On the Influence of Crystallographic Texture on Pitting Corrosion in Pipeline Steels." *Int. J. Electrochem. Sci* 10: 3539–52.
- Viana.P.R., L.Venturini, Y. S. Souza. 2015. "Intergranular Corrosion of AISI 304 Heat Treated at 800 °C Varying Range Times." *J. Chem. Chem. Eng* 9: 262–68.
- Viranshu Kumar, Pradeep Joshi, Shivdayal Dhakad, Hirendra Shekhar, Sukhbaj Singh,Shailesh Kumar.2015."Sensitization on Austenitic Stainless Steel 304L Welded by GTAW Process." *HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research* 14: 1–12.
- Xiaofei Yu, Shenhao Chen, Liang Wang. 2009. "Effect of Solution Treatment Conditions on the Sensitization of Austenitic Stainless Steel." *Journal of the Serbian Chemical Society* 74 (11): 1293–1302.

