JURNAL TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI PADANG
http://ejournal.itp.ac.id/index.php/tmesin/
Vol. 7, No. 2, October 2017

e-ISSN: 2598-8263
p-ISSN: 2089-4880

Pengaruh Pengelasan TIG pada *Stainless Steel* 304 dan 304L terhadap Sifat Mekanik, Karakterisasi XRD, dan EDX sebagai Material *Pressure Vessel*

The Effect of TIG Welding for 304 and 304L Stainless Steel to Mechanical Properties , XRD and EDX Characterization as Pressure Vessel Materials

Vuri Ayu Setyowati[1,*], Eriek Wahyu Restu Widodo[1, 2]
[1,2]*Departement of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*
Jl. Arief Rahman Hakim No. 100, Surabaya, Indonesia

Received 18 August 2017; Revised 18 September 2017; Accepted 07 October 2017, Published 31 October 2017
http://dx.doi.10.21063/JTM.2017.V7.74-80
Academic Editor: Asmara Yanto (asmarayanto@yahoo.com)

**Correspondence should be addressed to vuriayu@gmail.com*
Copyright © 2017 V. A. Setyowati. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License.

Abstract
The aim of this paper is to analyze the effect of TIG welding for Austenitic Stainless Steel type 304 and 304L as pressure vessel materials. These materials have different carbon content. 304 SS and 304L SS of 6mm metal sheet were used as observed materials. The groove angel for welded specimens is 60º and TIG welding current is 100A. Current and voltage for welding process are set constant. For analyzing mechanical properties, tensile test was used to calculate the yield strength, tensile strength, and elongation. X-Ray Diffraction (XRD) and X-Ray Spectroscopy (EDX) test were used to analyze the phase and element compositions, respectively. The tensile strength of welded 304 SS was decrease to 425,64 MPa compared to 304 SS which is 466,67 MP to 422,22 MPa. The highest elongation of 22% among to welded 304L SS and it has good ductility. Based on, XRD measurements, all specimens have austenite peaks but 304L SS and welded 304L SS have δ-ferrite peaks. EDX measurement was also used to explain the element composition supporting mechanical properties.

Keywords*: 304 SS, 304L SS, TIG welding, mechanical properties, XRD analysis*

1. Pendahuluan

Stainless Steel (SS) pada umumnya banyak digunakan pada dunia industri seperti industri makanan, pupuk, dan industri tenaga listrik. Penggunaan SS yang luas dikarenakan SS memiliki jangka waktu umur pemakaian yang lama dan ketahanan terhadap korosi yang bagus [1].

SS 304 dan SS 304L adalah austenitic SS yang sangat umum digunakan. SS 304L digunakan sebagai material pertahanan dan bidang nuklir karena ketahanan korosi pada lingkungan air laut yang sangat bagus. Sifat seperti itu dikarenakan memiliki kandungan molybdenum untuk mencegah korosi karena unsur klorida. Selain itu kandungan karbon yang rendah dapat meningkatkan ketahanan pada korosi batas butir (*intergranular corrosion*) [2]. Rendahnya kadar karbon SS 304L sebesar 0,03 wt% menyebabkan sedikit presipitasi karbida yang terbentuk. Hal tersebut membuat SS 304 L cocok untuk pengelasan dan digunakan sebagai aplikasi pembangkin tenaga (*power plant*) [3]. Komposisi kimia paduan SS 304 dan SS 304L sama kecuali kadar karbonnya. SS 304 memiliki kadar karbon lebih tinggi yaitu 0,8% sehingga mengandung karbida yang tinggi. SS 304 juga sebagai reaktor *pressure vessel* yang merupakan bagian dari *power plant* [4].

Penggunaan SS yang diaplikasikan pada beberapa peralatan industri tidak lepas dari proses pengelasan. Pengelasan merupakan upaya untuk melakukan penyambungan material baik material yang sama maupun material yang

© 2017 Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) - ITP. All rights reserved.

berbeda dengan menggunakan energi panas, sehingga logam di sekitar mengalami perubahan sifat baik sifat mekanik, struktur metalurgi, deformasi, maupun tegangan termal [5]. Teknik pengelasan perlu diperhatikan karena berakibat pada sifat mekanik material dan performa peralatan yang dihasilkan. Saat terjadi pengelasan terdapat beberapa permasalahan diantaranya perubahan tegangan pada material yang besar disebabkan oleh adanya perubahan struktur mikro pada daerah sekitar lasan. Fenomena seperti itu akan mengakibatkan penurunan kekuatan material yang disebabkan adanya tegangan sisa (*residual stress*) sehingga lebih mudah terjadinya retakan [5] [6].

Kedua tipe austenitic SS 304 dan 304L diaplikasikan sebagai material pembangkit tenaga (power plant) yakni pressure vessel salah satunya. Pada power plant terdapat reactor pressure vessel dan pipa SS. Oleh karena itu penyambungannya dilakukan proses pengelasan. Pada pengelasan SS tipe ini terjadi banyak kegagalan (failure) pada zona yang terkena panas (*Heat affected zone* HAZ) maupun zona yang dipanaskan (*welded zone*) [7]. Beberapa faktor kegagalan untuk pengelasan SS perlu diketahui baik dari segi pelaksanaan pengelasan maupun jenis logam induk yang digunakan. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh kadar karbon SS 304 dan SS 304L yang dilakukan pengelasan TIG terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi.

2. Material dan Metode

A. Material

Material uji pada penelitian ini adalah plat SS tipe 304 dan 304L dengan ketebalan 6 mm. Adapun komposisi material SS 304 dan 304L sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi Kimia SS 304 dan SS 304L [8]

Tipe SS	Persentase elemen (%)					
	Si	P	C	Mn	Cr	Ni
304	0,75	0,045	0,08	2	18-20	8– 10,5
304L	0,75	0,045	0,03	2	18 - 20	8 – 10,5

B. Metode Penelitian

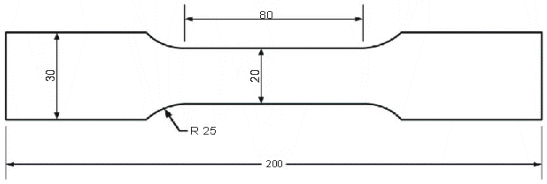
Metode penelitian ini dilakukan beberapa tahap yaitu tahap persiapan, tahap pengelasan, dan tahap karakterisasi. Tahap persiapan meliputi pemotongan spesimen pada material SS 304 dan SS 403L yang akan dilakukan pengelasan maupun tanpa dilas. Pemotongan dilakukan menggunakan gerinda tangan dan sudut *groove* yang digunakan adalah 60°. Spesimen hasil pemotongan bisa dilihat pada Gambar 1 berikut ini.

Gambar 1. Hasil Pemotongan dan Pembuatan Groove pada Spesimen yang akan Dilas

Pada tahap pengelasan, permukaan material dibersihkan terlebih dahulu. Pengelasan dilakukan dengan metode TIG (*Tungsten Inert Gass*) dengan besar arus 100A dan menggunakan filler TG – S308L. Kecepatan dan tegangan diasumsikan konstan. Berikut ini Gambar 2 menunjukkan spesimen setelah dilakukan pengelasan TIG.

Gambar 2. Spesimen yang Sudah Dilas

Tahap terakhir pada penelitian ini adalah karakterisasi dan pengujian. Sifat mekanik diperoleh dari hasil pengujian tarik dan kekerasan, sedangkan karakterisasi diperoleh dari pengujian XRD untuk mengetahui fasa maupun komponen senyawa yang terbentuk dan EDX untuk mengetahui komposisi unsur pada masing-masing spesimen. Pengujian tarik dilakukan dengan dimensi spesimen sesuai standard ASTM E8. Adapun dimensi dari spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.

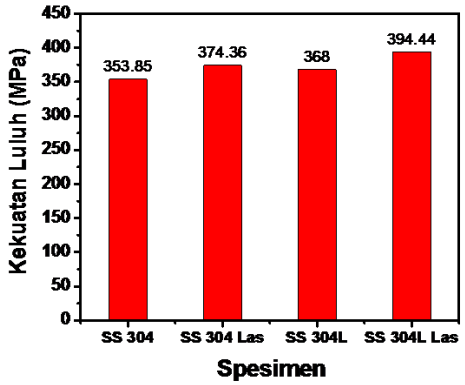


Gambar 3. Spesimen Uji Tarik

3. Hasil dan Pembahasan

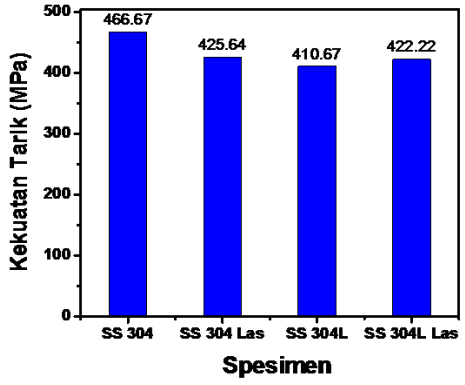
Besarnya kekuatan luluh berbanding terbalik dengan kekuatan tarik pada material SS 304. Kekuatan luluh SS 304 las lebih tinggi dibandingkan tanpa las, akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan tanpa dilakukan pengelasan seperti yang ditunjukkan Gambar 4. Hal ini dapat dikatakan

bahwa kekuatan luluh pada material SS 304 sebelum dan setelah pengelasan berbanding terbalik dengan kekuatan tariknya [9].



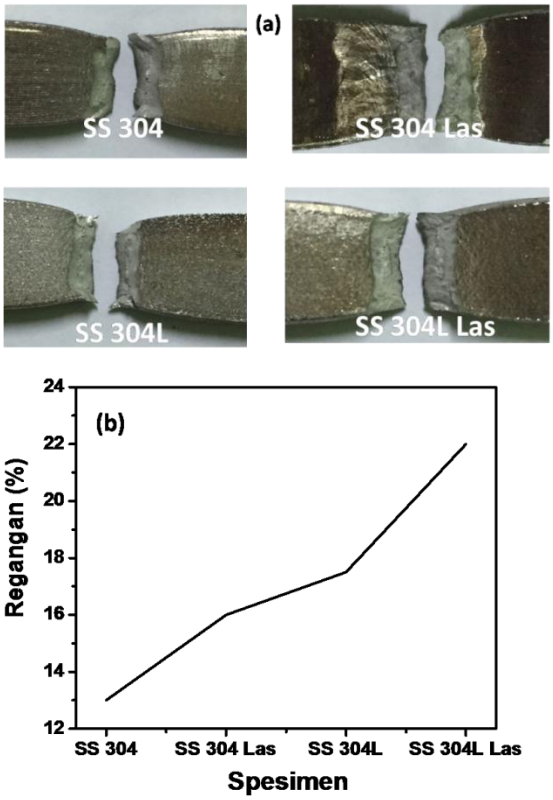
Gambar 4. Kekuatan Luluh pada spesimen 304 dan 304L

Berdasarkan hasil uji tarik pada Gambar 5 dapat ditentukan kekuatan tarik pada material SS 304 dan SS 304L baik tanpa las maupun dilakukan pengelasan. Pada spesimen tipe 304 las kekuatan tarik lebih rendah dibandingkan dengan tanpa las yakni sebesar 425,64 MPa dibandingkan 466,67 MPa. Sedangkan spesimen tipe 304L las memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan SS 304L tanpa las. Perbedaan ini kemungkinan terjadi karena pengaruh perbedaan kadar karbon pada kedua jenis material SS. Pada proses pengelasan hal ini bisa terjadi karena pengelasan dapat berpengaruh terhadap stuktur mikro sehingga memiliki potensi untuk mempengaruhi sifat mekanik dan ketahanan korosi [10]. Perbandingan kekuatan tarik pada spesimen tanpa las SS 304 dan SS 304L, SS 304L memiliki tegangan yang lebih kecil yaitu 410,67 MPa dibandingkan dengan SS 304 sebesar 466,67.

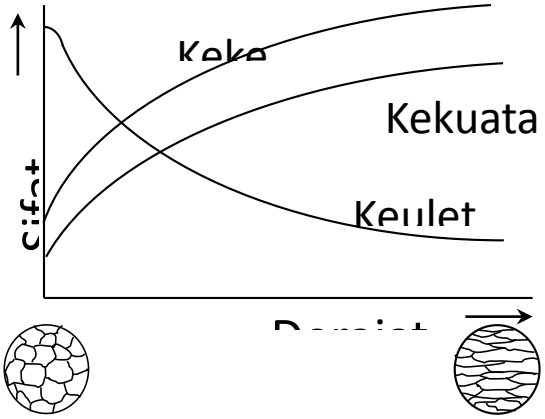


Gambar 5. Kekuatan Tarik pada spesimen 304 dan 304L

Bentuk spesimen setelah dilakukan uji tarik (*tensile test*) dapat dilihat pada Gambar 6 (a). Patahan pada kedua spesimen baik SS 304 dan SS 304L terdapat pada bagian tengah area *gauge length*. Tegangan akan terkonsentrasi pada bagian *gauge length* sehingga saat material tidak mampu lagi menahan beban maksimal, maka material akan patah pada area ini. Apabila diamati dari bentuk patahan yang ditunjukkan pada Gambar 6 (a) maka dapat diketahui bentuk patahan yang berserabut dan berwarna abu-abu. Hal ini dapat disimpulkan bahwa material SS 304 dan SS 304L bersifat ulet.



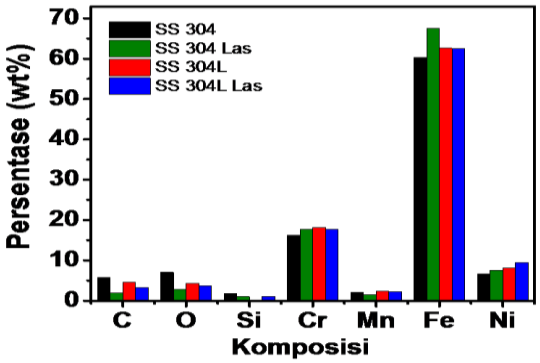
Gambar 6. (a) Bentuk patahan spesimen uji tarik dan (b) regangan spesimen



Gambar 7. Hubungan Sifat Mekanik Material terhadap Derajat Deformasi

Tingkat keuletan untuk material las SS 304 dan las SS 304L memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen tanpa las. Hal tersebut dapat dilihat berdasarkan persentase regangan (*elongation*) pada Gambar 6 (b). Regangan merupakan nilai yang dapat

menentukan keuletan suatu material, diperoleh dari pengurangan area untuk dapat mengetahui deformasi plastis yang terjadi sebelum patah [11]. Spesimen tanpa las memiliki persentase regangan yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen yang dilas. Hal tersebut menunjukkan bahwa hanya sedikit deformasi yang terjadi [12]. Besarnya nilai keuletan berbanding terbalik dengan kekuatan tarik. Semakin kuat material maka memiliki keuletan yang lebih rendah. Adapun hubungan sifat mekanik tersebut ditunjukkan pada Gambar 7. Rendahnya persentase regangan ini juga disebabkan karena rendahnya jumlah carbida chrom (Cr-C) dibandingkan SS 304L seperti pada hasil EDX Gambar 8 [13].



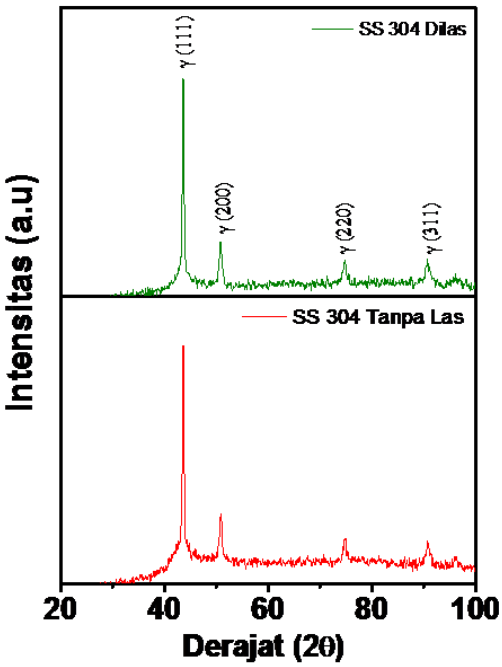
Gambar 8. Hasil Uji Komposisi EDX pada Spesimen SS 304 dan SS 304L

Pengujian X-Ray Diffraction bertujuan untuk mengetahui fasa ataupun komponen senyawa yang ada pada suatu material. Pada Gambar 9 menunjukkan hasil pola difraksi untuk spesimen SS 304 sebelum dan setelah dilas. Pada posisi 2θ sebesar 50,7° tampak jelas bahwa SS 304 dilas memiliki pergeseran puncak lebih lebar dibandingkan dengan spesimen SS 304 tanpa las. Selain itu, puncak pada spesimen SS 304 las lebih lebar dibandingkan dengan spesimen tanpa las. Pergeseran dan pelebaran puncak yang terjadi ditandai dengan besarnya angka pelebaran (FWHM) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi peregangan kisi kristal yang disebut tegangan internal kisi dalam suatu Kristal [14].

Tabel 2. Posisi Pola XRD dan Data FWHM SS 304

SS 304 Las		**SS 304 Tanpa Las**	
Pos. [°2Th.]	FWHM Left [°2Th.]	Pos. [°2Th.]	FWHM Left [°2Th.]
43,6358	0,2007	43,6352	0,1004
50,7981	0,2676	50,9241	0,4015
74,7928	0,4015	74,9352	0,3346
90,5681	0,6691	90,6906	0,346

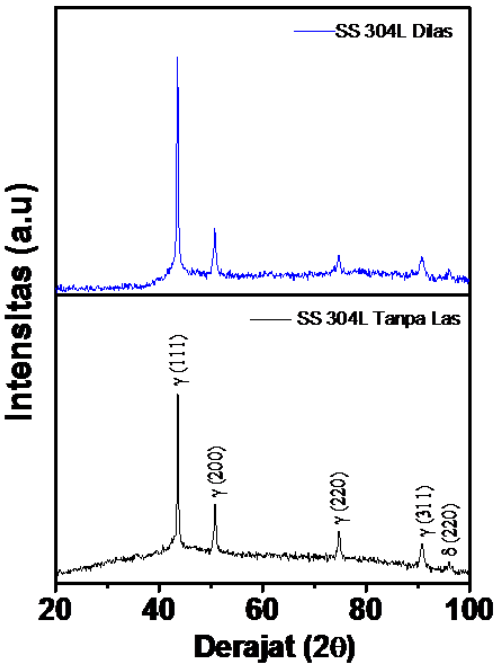
Puncak pola difraksi XRD ditunjukkan pada Gambar 9. Beberapa puncak baik spesimen SS 304 dilas maupun tanpa las teridentifikasi sebagai puncak austenite pada sudut difraksi 2θ sebesar 43,6° (111), 50,7° (200) , 74,7° (220), dan 90,5° (311) [10]. Selain itu, hasil XRD juga dapat menentukan senyawa yang terdapat pada material tersebut. Pada sudut 2θ sebesar 43,6° menunjukkan senyawa intermetalic (Fe-Ni dan CrNiFe) dan karbida $(Cr, Fe)_7C_3$ pada posisi 2θ sebesar 50,7° [4]. Fasa tungal austenite yang teridentifikasi pada hasil XRD ini menyebabkan tingkat keuletan yang lebih rendah dibandingkan spesimen SS 304L seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.b .



Gambar 9. XRD spesimen SS 304 tanpa dan dengan dilas

Pada Gambar 10 menunjukkan grafik XRD untuk SS 304L. Sebagian besar puncak teridentifikasi sebagai fasa austenite seperti pada material SS 304. Terdapat satu puncak difraksi XRD pada posisi sudut 2θ sebesar 96° sebagai fasa δ-ferit. Fasa ini terdapat pada material SS 304L baik sebelum maupun setelah proses pengelasan. Puncak fasa δ-ferit pada sepesimen 304L las memiliki intensitas yang lebih rendah dibandingkan sebelum dilas.. Selama proses pendinginan setelah pengelasan berlangsung, terjadi perubahan fasa δ→ɣ, karena perubahan fasa merupakan proses yang dikontrol oleh difusi. Laju pendinginan pada pengelasan TIG tidak mampu merubah perubahan fasa menjadi austenite ɣ secara komlit sehingga masih terdapat fasa δ-ferit dengan intensitas yang rendah [15]. Jumlah δ-ferit yang sedikit berperan

untuk mencegah permasalahan retak panas (*hot cracking*) selama pendinginan proses pengelasan [16].



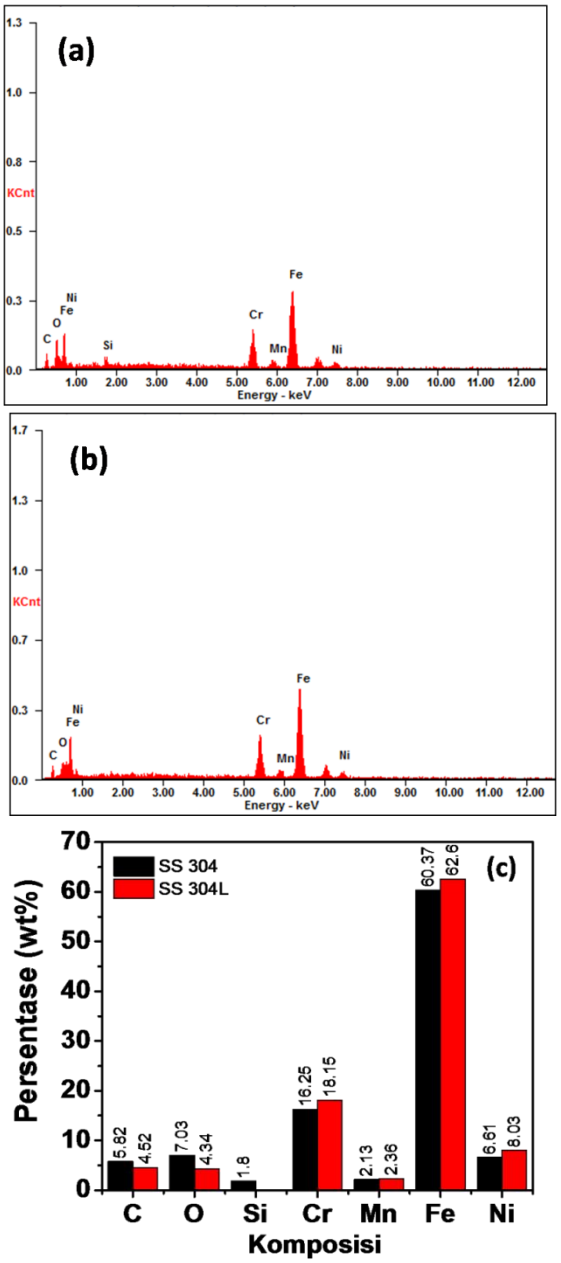
Gambar 10. XRD spesimen SS 304L tanpa dan dengan dilas

Berbeda dengan pola puncak XRD pada material SS 304, puncak hasil XRD untuk SS 304L tanpa memiliki bentuk yang lebih lebar dan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan. Hal ini dapat dilihat dari nilai FWHM yang lebih besar untuk spesimen las seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3di bawah ini.

Tabel 3. Posisi Pola XRD dan Data FWHM SS 304L

SS 304L Las		SS 304L Tanpa Las	
Pos. [°2Th.]	FWHM Left [°2Th.]	Pos. [°2Th.]	FWHM Left [°2Th.]
43,5656	0,1004	43,6455	0,1171
50,765	0,1673	50,8432	0,2007
74,7919	0,3346	74,7099	0,4015
90,6392	0,6691	90,727	0,5353
96,0158	0,8029	96,264	0,8029

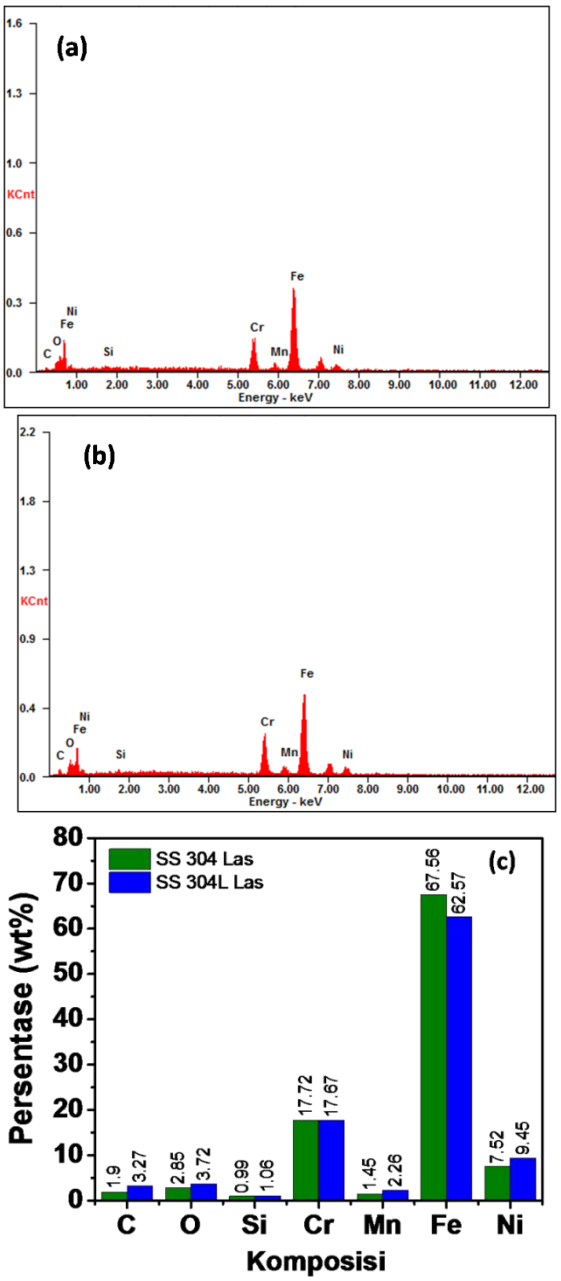
Analisa komposisi berdasarkan hasil EDX menunjukkan bahwa pada spesimen SS 304 dan SS 304L baik tanpa pengelasan maupun dengan dilas memiliki kandungan unsur Carbon (C), Oksigen (O), Silikon (Si), Krom (Cr), Mangan (Mn), Besi (Fe), dan Nikel (Ni). Pada Gambar 11 (c) meunjukkan bahwa material SS 304 tanpa las memiliki kandungan unsur Si sebesar 1,8% sedangkan SS 304L tidak memiliki kandungan unsur Si. Unsur Si pada logam memiliki peran memperbaiki kekuatan tarik material [17]. Oleh karena itu kekuatan tarik pada material SS 304 lebih tinggi dibandingkan SS 304L seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 11. Hasil Uji Komposisi EDX Spesimen Tanpa Las (a) SS 304 dan (b) SS 304L (c) Spectra EDX SS 304 dan SS 304L

Perbedaan kandungan komposisi spesimen las SS 304 dan SS 304L dapat dilihat pada Gambar 12. Komponen unsur sebelum pengelasan tetap ada ketika spesimen sudah dilakukan pengelasan, akan tetapi terjadi penurunan pada kadar C, O, Si, Mn. Penurunan kadar unsur C dan O yang cukup banyak dari SS 304 tanpa dan dengan dilas menyebabkan penurunan kekuatan tarik pada SS 304L las seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Adapun penurunan kadar C untuk spesimen SS

304 tanpa dan dengan dilas adalah 5,82wt% menjadi 1,9wt%. Berbeda halnya pada material SS 304L penurunan kadar C tidak terlalu signifikan, di mana persentase C tanpa las sebesar 4,52wt% sedangkan untuk SS 304L las sebesar 3,72wt%. Penurunan kadar karbon tersebut tidak berpengaruh terhadap penurunan kekuatan tarik pada SS 304L.



Gambar 12. Hasil Uji Komposisi EDX Spesimen Las (a) SS 304 dan (b) SS 304L (c) Spectra EDX SS 304 dan SS 304L

Pengelasan TIG menyebabkan kenaikan persentase unsur Fe dan Ni untuk material SS 304 sedangkan pada material SS 304L setelah dilas memiliki kandungan unsur Si sebesar 1,06%. Keberadaan unsur Si pada spesimen SS 304L las dapat memperbaiki kekuatan tarik apabila dibandingkan dengan SS 304L tanpa las yang tidak memiliki kandungan unsur Si [17].

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan karakterisasi XRD untuk menjelaskan pengaruh komposisi kadar karbon pada sifat mekanik dan analisa XRD maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik tertinggi pada material SS 304 tanpa las. Pengelasan pada SS 304 menyebabkan penurunan kekuatan tarik sedangkan pada SS 304L memperbaiki kekuatan tarik. Kekuatan tarik pada SS 304 dan SS 304L memiliki hubungan berbanding terbalik dengan kekuatan luluh. Tingginya kekuatan tarik material SS 304 tanpa las disebabkan karena kandungan unsur Si yang dapat memperbaiki kekuatan material. Analisa kandungan unsur didapatkan dari hasil EDX. Kekuatan luluh pada material SS 304L las memiliki nilai paling tinggi dan material ini memiliki keuletan paling tinggi dengan persentase regangan sebesar 22%. Sedangkan keuletan pada material SS 304L las paling baik disebabkan karena adanya fasa δ-ferit yang sedikit berperan untuk mencegah permasalahan retak panas (*hot cracking*) selama pendinginan proses pengelasan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas pendanaan penelitian melalui skema Penelitian Dosen Pemula tahun 2017. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang membantu dan operator di Laboratorium Material dan Metalurgi ITATS serta Laboratorium Karakterisasi ITS atas terselesaikannya penelitian ini.

Referensi

[1] X. Yuan, L. Chen, Y. Zhao, H. Di, and F. Zhu, "Influence of annealing temperature on mechanical properties and microstructures of a high manganese austenitic steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 217, pp. 278-285, 2015.

[2] R. K. Desu, H. N. Krishnamurthy, A. Balu, A. K. Gupta, and S. K. Singh, "Mechanical properties of austenitic stainless steel 304L and 316L at elevated temperatures," *Journal of Materials Research and Technology*, 2015.

[3] H. G. Simms, "Oxidation behaviour of austenitic stainless steels at high

temperature in supercritical plant," University of Birmingham, 2011.
[4] N. Arivazhagan, S. Singh, S. Prakash, and G. Reddy, "Investigation on AISI 304 austenitic stainless steel to AISI 4140 low alloy steel dissimilar joints by gas tungsten arc, electron beam and friction welding," *Materials & Design*, vol. 32, pp. 3036-3050, 2011.
[5] A. Setiawan and Y. A. Y. Wardana, "Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 8, pp. pp. 57-63, 2006.
[6] D. Luder, T. Hundhausen, E. Kaminsky, Y. Shor, N. Iddan, S. Ariely, *et al.*, "Failure analysis and metallurgical transitions in SS 304L air pipe caused by local overheating," *Engineering Failure Analysis*, vol. 59, pp. 292-303, 1// 2016.
[7] P. J. Singh, B. Guha, and D. Achar, "Fatigue life prediction for stainless steel welded plate CCT geometry based on Lawrence's local-stress approach," *Engineering Failure Analysis*, vol. 10, pp. 655-665, 2003.
[8] J. E. Bringas, "Comparative World Steel Standards," 2002.
[9] S. Jung, C. Jeon, Y. H. Jo, W.-M. Choi, B.-J. Lee, Y.-J. Oh, *et al.*, "Effects of tungsten and molybdenum on high-temperature tensile properties of five heat-resistant austenitic stainless steels," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 656, pp. 190-199, 2/22/ 2016.
[10] G. Mirshekari, E. Tavakoli, M. Atapour, and B. Sadeghian, "Microstructure and corrosion behavior of multipass gas tungsten arc welded 304L stainless steel," *Materials & Design*, vol. 55, pp. 905-911, 2014.
[11] K.-E. Thelning, *Steel and its heat treatment*: Butterworth-Heinemann, 2013.
[12] H. Li, Z. Jiang, H. Feng, S. Zhang, L. Li, P. Han, *et al.*, "Microstructure, mechanical and corrosion properties of friction stir welded high nitrogen nickel-free austenitic stainless steel," *Materials & Design*, vol. 84, pp. 291-299, 2015.
[13] L. Zheng, X. Hu, X. Kang, and D. Li, "Precipitation of M 23 C 6 and its effect on tensile properties of 0.3 C–20Cr–11Mn–1Mo–0.35 N steel," *Materials & Design*, vol. 78, pp. 42-50, 2015.
[14] P. ZrNbMoGe, "ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN KRISTAL," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*, 2009.
[15] M. Dadfar, M. Fathi, F. Karimzadeh, M. Dadfar, and A. Saatchi, "Effect of TIG welding on corrosion behavior of 316L stainless steel," *Materials Letters*, vol. 61, pp. 2343-2346, 2007.
[16] L. John and J. K. Damian, "Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels," ed: A John Wiley and Son, 2005.
[17] G. E. Totten, *Steel heat treatment: metallurgy and technologies*: CRC press, 2006.