



KARAKTERISTIK KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS TAK SEJENIS BAJA KARBON-STAINLESS STEEL

Wijoyo*, Ulil Albab, Wahyu Tri Ardika dan Muhammad Wahyu Darajat

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Surakarta
Jl. Raya Palur Km. 5 Surakarta 57772, Indonesia

*Email: joyowi@yahoo.co.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 05/01/2019
Naskah Direvisi 07/04/2019
Naskah Disetujui 08/04/2019
Naskah Online 09/04/2019

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menyelidiki karakteristik kekuatan tarik sambungan las tak sejenis antara baja karbon dan stainless steel dengan variasi kuat arus. Bahan utama baja karbon rendah ST37, SS316L dan SS304, dengan menggunakan filler E308. Pengelasan ST37-SS316L menggunakan las SMAW, sedangkan pengelasan ST37-SS304 menggunakan las GMAW. Variasi kuat arus yang digunakan berturut adalah 70A, 80A dan 90A. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik UTM untuk mengetahui karakteristik kekuatan tarik dari kedua sambungan sesuai standar ASTM E8M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, karakteristik kekuatan tarik sambungan las paling lemah terjadi di daerah sekitar HAZ pada baja karbon.

Kata kunci: SMAW, GMAW, las tak sejenis, kuat arus

1. PENDAHULUAN

Aplikasi pengelasan masih menjadi pilihan utama di dunia industri, khususnya pada bidang manufaktur. Sambungan las dengan bahan yang berbeda (*dissimilar metal*) telah banyak dilakukan, misal di PT. INKA, memakai bahan baja karbon rendah pada bagian kerangka dan bahan *stainless steel* 304 pada bagian dinding serta pada bagian bodi. Pengelasan dua logam tak sejenis memiliki karakteristik yang berbeda dengan pengelasan dua logam sejenis, yang disebabkan adanya reaksi antara unsur-unsur yang berlainan pada kedua jenis logam tersebut (Kou, 1987).

Pengelasan tak sejenis adalah suatu proses pengelasan logam yang mempunyai perbedaan sifat fisik, mekanik, termal, dan metalurgi sehingga karakteristik sambungan las antara keduanya perlu diteliti. Salah satu kasus adalah pengelasan antara *stainless steel* 316 dan baja karbon rendah akan menghasilkan perbedaan struktur mikro dan sifat mekanik pada daerah sambungannya. Pengontrolan struktur mikro daerah lasan (*Weld Zone*) khususnya saat *root pass* sangat penting karena bisa terbentuk fasa campuran austenit, ferit, dan martensit (Lippold, 2005).

Filler dan arus listrik sangat berpengaruh terhadap sifat fisik-mekanik sambungan las GMAW logam tak sejenis antara baja karbon dan J4. Sambungan las dengan *filler* ER309L dengan arus sebesar 80 A mempunyai kekuatan tarik tertinggi yaitu 314,58 MPa, sedangkan sambungan las dengan *filler* ER70S dengan arus sebesar 60 A mempunyai kekuatan tarik terendah yaitu 281,83 MPa. Pada daerah HAZ baja karbon dan J4 mengalami perubahan struktur mikro yang signifikan dan peningkatan nilai kekerasan dari masing-masing *base metal* (Petrus Heru Sudargo, Triyono dan Kuncoro Diharjo, 2011).

Karakteristik mikrostruktur pada pengelasan plat AISI 904 L *stainless steel* super *austenitic* dengan menggunakan las GMAW, dipengaruhi oleh besarnya panas yang masuk selama pengelasan. Nilai-nilai kekerasan zona HAZ lebih tinggi dari logam las dan logam dasar. Karena jumlah tinggi fase austenit interdendritik dan tingkat pendinginan yang cepat butir semakin lebih baik dalam HAZ (P. Sathiya, dkk., 2010).

L. Suresh Kumar, dkk., (2011), dalam penelitiannya tentang investigasi eksperimental pada aspek pengelasan AISI 304 & 316 dengan proses teknik pengelasan TIG & MIG, menyatakan bahwa kekerasan

stainless steel austenitik ketika dilas dengan proses TIG nilai kekerasan (BHN) di 40 ampere adalah 162,53 dan untuk MIG adalah 196,54. Hal ini menunjukkan bahwa proses MIG cocok untuk pengelasan dengan arus rendah dan kekuatan tarik utama dari las TIG adalah 675,22 MPa sedangkan untuk las MIG adalah 652,029 MPa.

Peningkatan arus listrik pada pengelasan mengakibatkan ketangguhan impak logam las menjadi turun namun sebaliknya kekuatan tariknya semakin meningkat. Penampang patahan uji impak pada hasil lasan menunjukkan bentuk steriasi yang menjadi ciri dari patah ulet (Bayu Kartiko Aji dan Wijoyo, 2016).

Yogi Nasrul, dkk., (2016), menyatakan bahwa variasi arus las SMAW pada sambungan *stainless steel* 304 dan ST 37 memberikan pengaruh pada kekuatan tariknya. Nilai kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh arus 70 ampere dimana mempunyai kekuatan tarik sebesar 51,656 kg/mm², kemudian disusul oleh arus 60 ampere yang memiliki kekuatan tarik 48,724 kg/mm², dan kekuatan tarik terendah pada arus 80 ampere sebesar 48,175 kg/mm².

Trinova Budi, dkk., (2015), dalam penelitiannya menyatakan bahwa adanya pengaruh variasi kuat arus terhadap kekuatan tarik sambungan las. Kekuatan tarik sambungan las *raw material* 36,711 kgf/mm². Nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan 100 A mengalami penurunan yaitu 31,863 kgf/mm². Sedangkan dengan kuat arus pengelasan 125 A, mengalami kenaikan 40,827 kgf/mm². Pada kuat arus pengelasan 150 A, mengalami kenaikan 48,503 kgf/mm².

Bambang Teguh B dan Petrus H, S, (2017), dalam penelitiannya mengenai penggunaan arus listrik dan *filler* pada pengelasan logam berbeda baja karbon rendah ST37 dengan baja tahan karat AISI 316L menyatakan bahwa kekuatan tarik tertinggi pada pengelasan sebesar 330 MPa dengan arus 90 A, dan kekuatan tarik terendah 275 MPa pada arus 60 A. Dari hasil pengujian tarik yang putus adalah didaerah baja karbon, diluar *weld metal* dan HAZ. Hasil kekerasan pengelasan GMAW tertinggi pada arus 90 A dan kekerasan terendah pada arus 60 A.

Penelitian tentang studi pengaruh variasi kuat arus pengelasan pelat AISI 444 menggunakan elektroda AWS E316L telah dilakukan oleh Ojo Kurdi, (2017). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik spesimen *raw material* baja tahan karat *feritic* sebesar 555 N/mm², sedangkan nilai kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan arus 40 A sebesar 395 N/mm², 60 A sebesar 511 N/mm² dan 75 A sebesar 502 N/mm². Terdapat cacat pengelasan berupa porositas pada *weld metal* pada pengelasan arus 40 A yang menyebabkan nilai kekuatan tarik menurun.

Simon Parekke, (2014), dalam penelitian tentang pengaruh pengelasan logam berbeda AISI 1045 dengan AISI 316L terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi pada pengelasan SMAW sebesar 64,01 kg/mm² dengan arus 70 A, dan kekuatan tarik terendah 61,97 kg/mm² pada arus 50 A. Pengelasan GTAW kekuatan tarik tertinggi sebesar 49,54 kg/mm² dengan arus 60 A dan kekuatan

tarik terendah 46,64 kg/mm² dengan arus 70 A. Analisis variasi ANOVA SMAW dan GTAW menunjukkan bahwa 99,9% arus las mempengaruhi kekuatan tarik, dan 0,1% dipengaruhi oleh faktor lain. Pengelasan GTAW menunjukkan bahwa 71,5% arus las mempengaruhi kekuatan tarik, dan 28,5% dipengaruhi oleh faktor lain. Kekerasan pengelasan SMAW tertinggi pada arus 70 A sebesar 22,7 HRC dan kekerasan terendah pada arus 50 A sebesar 16,5 HRC. Pengelasan GTAW kekerasan tertinggi pada arus 60 A sebesar 20,5 HRC dan kekerasan terendah pada arus 50 A sebesar 15,9 HRC. Struktur mikro yang terjadi pada arus 50 A didominasi oleh struktur *ferit*, sementara pada arus 60 A dan 70 A struktur yang terbentuk adalah *perlit* yang berwarna gelap.

Abdullah Bahador, dkk., (2015), meneliti tentang efek logam pengisi yang berbeda untuk mengelas dua logam yang berbeda yaitu, baja tahan karat 316L dan baja karbon paduan rendah A516 70 gr. Elektroda ER 80S-Ni1, ER309L, ER NiCrMo-3 dipilih untuk mengelas dua logam. Berdasarkan hasil uji tarik, semua spesimen gagal pada baja karbon A516 70 gr dengan hasil patah mulur (*cup and cone*). Sampel dilas menggunakan logam pengisi Inconel 615 memiliki kekuatan tertinggi 512 MPa, sementara sampel lain menunjukkan kekuatan hampir serupa 481 dan 487 MPa. Kekuatan tarik dari semua sampel yang dilas ditemukan berada di antara kekuatan tarik dari logam dasar. Uji kekerasan mikro menunjukkan bahwa ER80S-Ni1 memiliki kekerasan tertinggi, sementara profil kekerasan ER309L menunjukkan penurunan tajam pada sisi *stainless steel* dan ER *weld metal* NiCrMo-3 menghasilkan kekerasan permukaan dua logam dasar dengan variasi yang sedikit pada logam las.

Cvetkovski dkk., (2014), dalam penelitiannya tentang pengelasan pelat berbeda jenis antara *austenitic stainless steel* 316 dengan baja karbon 300N2S, hasilnya yaitu tes yang dilakukan mengalami kegagalan saat uji tekuk dikarenakan adanya pori-pori dalam lasan. Adanya porositas yang disebabkan oleh kelembaban pada elektroda dan pada permukaan plat terkena oli. Hasil metalurgi menunjukkan pada logam las terdiri dari *austenit* dan *ferit*, bentuk *ferit* berenda dan *fermicular*. Pada HAZ 300N2S butiran *ferit* terlihat jelas dan kasar. Terdapat juga *proeutecoid* dan *widmanstatten ferrite* pada batas butir.

Achmad Nurhidayat, (2012), melakukan penelitian pada sambungan logam tak sejenis antara austenitic SUS 316L dan ST37. Pada penelitiannya divariasikan pengaruh waktu dan arus listrik pengelasan RSW. Semakin tinggi arus listrik, semakin luas/besar daerah HAZ. Akibatnya menurunnya kandungan *perlit*, diiringi terjadi peningkatan *ferrit* pada HAZ. Hal ini terjadi karena pada daerah las panas yang diterima logam lebih besar dibandingkan dengan daerah HAZ dan daerah logam induk. Demikian juga pendinginan yang terjadi pada daerah las lebih cepat dibandingkan daerah HAZ dan logam induk, sehingga timbul rekristalisasi dan perubahan besar butir. Menyebabkan menurunnya kekuatan tarik pengelasan logam tak sejenis, namun disisi lain karena perbedaan sifat fisik, mekanik dan

material pada sambungan tersebut, dimungkinkan dapat terjadi penurunan sifat mekanik dan ketahanan korosi.

T. S. Balasubramanian, (2011), dalam penelitiannya pengaruh proses pengelasan pada kelelahan sambungan paduan Ti-6Al-4V. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa, ketahanan retak fatik dari paduan Ti6Al-4V oleh proses pengelasan sangat sedikit. Sedangkan, dari proses LBW menunjukkan ketahanan retak fatik tinggi ($m = 3,69$) dari EBW ($m = 3,9$) dan sambungan GTAW ($m = 4,19$). Kekuatan luluh yang tinggi dan keuletan yang tinggi karena adanya mikrostruktur ' α ' berbentuk pipih yang sangat halus pada logam las adalah alasan utama untuk kinerja kelelahan yang superior dari sambungan LBW dibandingkan dengan sambungan GTAW dan EBW. Masukan panas yang rendah dan laju pendinginan yang cepat dalam proses LBW memicu terbentuknya laminer ' α ' yang sangat halus dalam logam las.

Imam Pujo M, dkk., (2008), melakukan penelitian mengenai analisa kekuatan sambungan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) pada plat ST 42 akibat faktor cacat porositas dan *incomplete penetration*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kekuatan tarik optimum terjadi pada plat normal dengan kondisi tanpa perlakuan panas dengan kuat tarik rata-rata sebesar 464,50 N/mm². Kekuatan tarik terendah pada sambungan las tidak normal dengan kondisi *heat treatment* 600°C, harga kekuatan tarik rata-ratanya sebesar 351,23 N/mm². Hasil uji kekuatan tekuk sambungan las rata-rata optimum terjadi pada sambungan normal dengan kondisi tanpa perlakuan panas dengan kuat tekuk rata-rata sebesar 872,17 N/mm². Kekuatan tekuk terendah pada sambungan las tidak normal dengan kondisi *heat treatment* 300°C, harga kekuatan tekuk rata-ratanya sebesar 684 N/mm².

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki karakteristik kekuatan tarik sambungan las tak sejenis antara baja karbon dan *stainless steel* dengan variasi kuat arus.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Bahan utama baja karbon (BC), SS316L dan SS304, dengan menggunakan *filler* E308 dan ER308L. Komposisi kimia *rawmaterial*, *filler* dan hasil lasan terlihat pada Tabel 1.

2.2 Pengelasan

Pengelasan ST37-SS316L menggunakan las SMAW dengan *filler* E308, sedangkan pengelasan ST37-SS304 menggunakan las GMAW dengan *filler* ER308L. Variasi kuat arus yang digunakan berturut adalah 70A, 80A dan 90A.

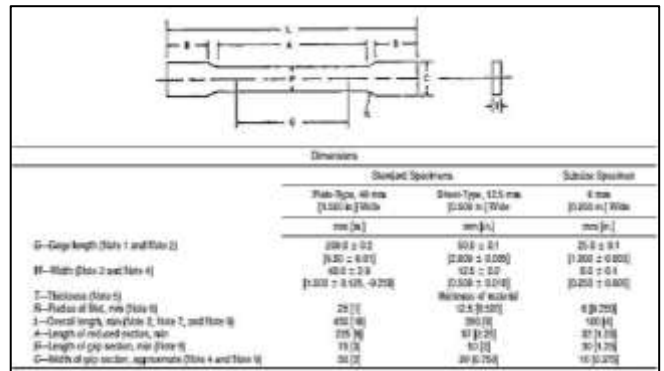
2.3 Pengujian

Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik UTM untuk mengetahui karakteristik kekuatan tarik dari kedua sambungan las yang dilakukan yaitu las GMAW

BC-SS304 dan las SMAW BC-SS316L, sesuai standar ASTM E8M.

Tabel 1. Komposisi kimia *rawmaterial*, *filler* dan logam las

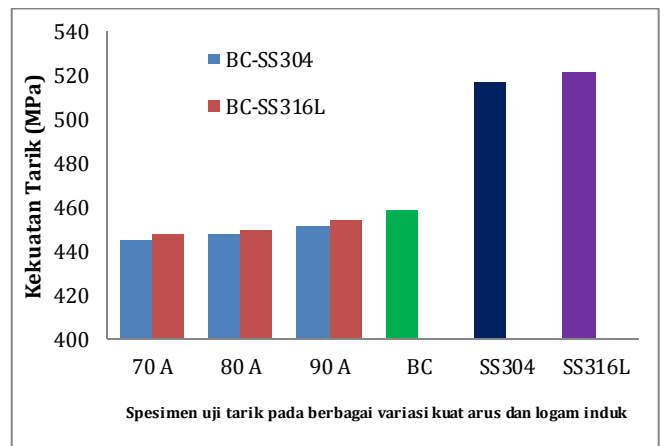
Unsur Kimia	wt%					
	BC	SS304	SS316L	Filler	las BC-SS304	las BC-SS316L
Fe	Balance	Balance	Balance	Balance	Balance	Balance
C	0,153	0,080	0,032	0,051	0,050	0,031
Si	0,026	0,750	1,000	0,623	0,892	0,692
Cu	0,072	-	0,034	0,342	0,118	0,073
Mn	0,425	2,000	2,043	1,324	1,332	0,752
Mo	0,002	-	2,021	19,000	0,116	0,392
S	0,021	0,030	0,032	0,012	0,002	0,020
P	0,020	0,045	0,040	0,030	0,018	0,030
Cr	0,773	19,000	16,000	19,000	16,185	17,842
Ni	0,065	10,000	10,000	10,500	7,161	9,864
N	0,120	0,100	-	-	0,227	0,183



Gambar 1. Dimensi spesimen uji tarik (ASTM E8M)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian tarik dilakukan menggunakan mesin *universal testing machine*. Hasil pengujian tarik pada spesimen *rawmaterials* dan spesimen variasi kuat arus pengelasan 70 A, 80 A dan 90 A, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kekuatan tarik maksimum logam induk dan hasil las BC-SS304, BC-SS316L dengan berbagai variasi kuat arus

Gambar 2, menunjukkan bahwa kekuatan tarik spesimen yang dilas dengan variasi arus 70 A, 80 A dan 90 A dengan pengelasan GMAW antara baja karbon dan

SS304, mengalami penurunan dibandingkan dengan *rawmaterial*nya. Nilai kekuatan tarik terendah dimiliki oleh spesimen las dengan kuat arus 70 A yaitu sebesar 444,64 MPa. Begitu juga dengan pengelasan SMAW antara baja karbon dan SS316L, kekuatan tariknya lebih rendah dari kekuatan tarik *rawmaterial*. Kekuatan tarik paling rendah pada spesimen dengan kuat arus 70 A yaitu sebesar 447,43 MPa.

Jika dibandingkan dengan *rawmaterial* SS304, SS316L dan baja karbon maka spesimen hasil las dengan variasi kuat arus semuanya memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah, baik menggunakan las GMAW maupun las SMAW. Namun demikian karakteristik kekuatan tarik dari hasil las mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan kuat arus yang digunakan saat proses pengelasan, baik untuk las GMAW maupun las SMAW.

Nilai kekuatan tarik hasil las GMAW BC-SS304 dengan variasi kuat arus 70 A, 80 A dan 90 A secara berturut-turut adalah 444,64 MPa, 447,36 MPa dan 451,35 MPa. Sedangkan kekuatan tarik hasil las SMAW BC-SS316L, berturut-turut adalah 447,43 MPa, 449,32 MPa dan 453,48 MPa. Kekuatan tarik *rawmaterial* baja karbon, SS304 dan SS316L berturut-turut adalah 458,72 MPa, 517,00 MPa dan 521,00 MPa. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tarik hasil las SMAW lebih tinggi sedikit dibanding kekuatan tarik hasil las GMAW, bahkan dapat dikatakan sama, tetapi *rawmaterial* yang digunakan berbeda.

Hasil ini sejalan dengan Simon Parreke, (2014), yang menyatakan bahwa kenaikan arus pengelasan akan meningkatkan kekuatan tarik dari hasil lasan. Imam Pujo M, dkk, (2008), menyatakan bahwa kekuatan tarik optimum terjadi pada plat normal dengan kondisi tanpa perlakuan panas.

Karakteristik *rawmaterial* dan logam las dengan variasi kuat arus pengelasan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik *rawmaterial* dan logam las

Material	Karakteristik			
	σ_u (Mpa)	σ_y (Mpa)	ϵ (%)	
BC	458.72	321.10	24.43	
SS304	517.00	361.90	42.35	
SS316L	521.00	364.70	45.67	
70 A	444.64	311.25	13.56	
logam las BC-SS304	80 A	447.36	313.15	12.89
	90 A	451.35	315.95	10.56
70 A	447.43	313.20	21.32	
logam las BC-SS316L	80 A	449.32	314.52	20.21
	90 A	453.48	317.44	18.89

Hasil pengujian tarik juga menunjukkan bahwa patahan selalu terjadi di sekitar daerah HAZ pada baja karbon, baik untuk hasil las GMAW maupun las SMAW, Gambar 3. Ini berarti bahwa kekuatan tarik sambungan

las lebih tinggi dari kekuatan tarik *rawmaterial* baja karbon, yang mana hasil las merupakan perpaduan dari *rawmaterial* baja karbon, *stainless steel* dan fillernya, terbukti dari hasil uji komposisi kimia, pada Tabel 1. Ini juga didukung oleh Bambang Teguh B dan Petrus H, S, (2017), yang menyatakan bahwa penggunaan semua variasi kuat arus las mengakibatkan kekuatan tarik daerah HAZ lebih rendah dari kekuatan tarik *stainless steel* dan *weld metal*.



Gambar 3. Patahan pada spesimen uji tarik

Nilai kekuatan luluh tertinggi adalah pada *rawmaterial* SS316L yaitu sebesar 364,70 MPa, lebih besar dari *rawmaterial* SS304, baja karbon dan lebih besar dari hasil las dengan variasi kuat arus. Nilai kekuatan luluh *rawmaterial* SS304 adalah sebesar 361,90 MPa, sedangkan *rawmaterial* baja karbon yaitu 321,10 MPa. Untuk logam las dengan variasi kuat arus menunjukkan bahwa semakin tinggi kuat arus maka akan menaikkan nilai kekuatan luluhnya. Penelitian ini

sejalan dengan penelitian Trinova Budi, dkk., (2015), bahwa variasi arus pengelasan mempengaruhi tegangan luluh, semakin tinggi kuat arus pengelasan tegangan luluh semakin meningkat. Sedangkan menurut T. S. Balasubramanian, (2011), dalam penelitiannya menunjukkan bahwa kekuatan luluh dan keuletan meningkat karena adanya struktur mikro ' α ' berbentuk pipih dan halus.

Nilai perpanjangan (*elongation*/ ϵ) antara *rawmaterial* dan nilai perpanjangan (*elongation*/ ϵ) logam las dengan variasi kuat arus sambungan las berturut-turut adalah *rawmaterial SS316L* 45,67%, *rawmaterial SS304* 42,35%, logam las BC-SS304 70 A 13,56%, logam las BC-SS304 80 A 12,89%, logam las BC-SS304 90 A 10,56%, logam las BC-SS316L 70 A 21,32%, logam las BC-SS16L 80 A 20,21% dan logam las BC-SS316L 90 A 18,89%.

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa material SS316L cenderung lebih tinggi kekuatan tariknya daripada material SS304 dan baja karbon, hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Abdullah B, (2015), yang menunjukkan hasil patahan berada di daerah baja karbon.

Hasil patahan menunjukkan patah didaerah baja karbon, sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik logam las dengan variasi kuat arus tidak berbeda jauh dari *rawmaterial* baja karbon. Menurunnya kekuatan tarik pada logam las dengan variasi kuat arus dari *rawmaterial* ini karena adanya siklus termal yang mengubah struktur mikro sehingga mempengaruhi kekuatan tariknya.

Kekuatan sambungan las dengan variasi kuat arus 70, 80 dan 90 ampere bisa digunakan dalam pengelasan *dissimilar*. Menurut Bambang Teguh B dan Petrus H, S, (2017), kekuatan tarik pada pengelasan sangat tergantung pada metode pengelasan, kuat arus listrik, tekanan gas, dan cara pengelasan. Walaupun dengan *filler* dan kuat arus yang baik tapi bila pengelasannya kurang baik, maka kualitas hasil lasan akan berkurang.

4. KESIMPULAN

Karakteristik kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus pengelasan. Penggunaan variasi kuat arus las pada pengelasan logam tak sejenis antara baja karbon dan *stainless steel* memiliki karakteristik kekuatan tarik sambungan las paling lemah terjadi di daerah sekitar HAZ pada baja karbon.

5. DAFTAR PUSTAKA

Abdullah Bahador, dkk., 2015. *Effect Of Filler Metal On The Mechanical Properties Of Dissimilar Welding Of Stainless Steel 316L And Carbon Steel A516 GR 70*. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*. Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Johor Bahru, Johor, Malaysia.

Achmad Nurhidayat. 2012. Pengaruh Waktu Dan Arus Listrik Pengelasan Rsw Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Pada Sambungan Logam Tak Sejenis Antara Baja Tahan Karat Ss316 Dan Baja Karbon St37. *Wacana*, ISSN: 977-19799705. Vol. 13 No. 1. Universitas Surakarta.

ASTM E8/E8M. 2009. *Standart Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*. American Society for Testing Methods, West Conshohocken, United States.

AWS A5.4-92. *Specification For Stainless Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding*.

Bambang Teguh B. dan Petrus H. S. 2017. Pengaruh Arus Listrik dan *Filler* Pengelasan Logam Berbeda Baja Karbon Rendah (ST37) Dengan Baja Tahan Karat (AISI 316L) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur. *Prosiding SNST Ke-4*. Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim, Semarang.

Bayu Kartiko Aji dan Wijoyo, 2016. Pengaruh Kuat Arus Listrik Terhadap Ketangguhan Impak Dan Kekuatan Tarik Sambungan Las MIG Baja Karbon Tinggi, Mechatronic AT-AUB Surakarta.

Cvetkovski, dkk., 2014. *Dissimilar Welding Austenitic Stainless Steel S316 With Ferritic Structural Steel Grade 300N2S*. *Scientific Proceedings XI International Congress "Machine, Technologies, Materials"*. Faculty of Technology and Metallurgy 1 Skopje, Macedonia.

Imam Pujo M, dkk., 2008. Analisa Kekuatan Sambungan Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) Pada Marine Plat ST 42 Akibat Faktor Cacat Porositas dan *Incomplete Penetration*. KAPAL, Vol. 5, No.2, Juni. Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Kou, S. 1987. *Welding Metallurgy*, New York: John Wiley, Sons, Inc.

L. Suresh Kumar, dkk. 2011. Experimental Investigation for Welding Aspects of AISI 304 & 316 by Taguchi Technique for the Process of TIG & MIG Welding. *International Journal of Engineering Trends and Technology* 2. Issue2, 28-33.

Lippold Kotecki. 2005. *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel*, Canada: Wiley Inter Science.

Ojo Kurdi. 2017. Studi Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Pelat AISI 444 Menggunakan Elektroda AWS E316L. *Jurnal Teknik Energi*, Vol. 13, No. 1. Januari. Departement Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

P. Sathiya, dkk. 2010. *Microstructural characteristics on bead on plate welding of AISI 904 L super austenitic stainless steel using Gas metal arc welding process*, *International Journal of Engineering, Science and Technology* Vol. 2, No. 6, 2010, pp. 189-199. India.

Petrus Heru Sudargo, Triyono dan Diharjo, Kuncoro. 2011. Pengaruh *filler* dan arus listrik terhadap sifat fisik-mekanik sambungan las GMAW logam tak sejenis antara baja karbon dan J4, *Prosiding Seminar Nasional Science dan Teknologi ke-2 Tahun 2011*. Universitas Wahid Hasyim, Semarang.

Simon Parekke. 2014. Pengaruh Pengelasan Logam Berbeda (AISI 1045) Dengan (AISI 316L) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro, *Jurnal Sains & Teknologi*. Vol.3 No.2. Universitas Hasanuddin Makasar.

Yogi Nasrul, L., Dkk., 2016. Pengaruh Variasi Arus Las Smaw Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Sambungan *Dissimilar Stainless Steel 304 Dan St 37*, *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 24. No. 1, Universitas Negeri Malang.

T. S. Balasubramanian., dkk. 2011. *Effect of Welding Processes on Fatigue Properties of Ti-6Al-4V Alloy Joints*. *World Academy of Science, Engineering and Technology International*. *Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering* Vol.5. No. 2.

Trinova Budi Santoso, Solichin dan Prihanto Tri Hutomo. (2015). Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Las SMAW Dengan Elektroda E7016. Universitas Negeri Malang.

Wirjosumarto, H. 1988. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Yogi Nasrul, L., Dkk. 2016. Pengaruh Variasi Arus Las Smaw Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Sambungan *Dissimilar Stainless Steel 304 Dan St 37*, *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 24.No. 1, Universitas Negeri Malang.

