

Inspeksi Kualitas Hasil Las Proses Pengelasan SMAW dengan Menggunakan *Jig* Sebagai Alat Bantu

Rusnaldy^{a,*}, Arianto^a dan P. Paryanto^a

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang

*E-mail: rusnaldy@yahoo.com

Abstract

Shielded metal arc welding (SMAW) is one of the most widely used welding processes in various industries. It is also used in SMK and vocational school in college, as well as a topic of student final projects. While other welding processes produce a better weld than SMAW, it is still widely used because of its low production cost and a simple and portable welding machine. Eventhough, it is the simplest, in terms of equipment requirements, but it is, perhaps, the most difficult in terms of welder training and skill-level requirements. To overcome the problem, it would require a jig welding to be used by students to perform a welding process in order to conduct their final project without experienced welders' help. In this study it has been designed and made a jig welding that is a design development out of an earlier jig welding that still has many weaknesses. The quality of the new jig welding is seen through a series of tests and inspections for the SMAW process's results. Testing and inspection results show that a new jig welding overcome the weaknesses of the old one. The new jig was able to perform a welding process for position 1G for a 20 cm buttjoint with the use of electrode in a single welding process. The new jig also succeeded in reducing the vibrations that occur as the electrode moves during the welding process. The quality of the weld by using new jig was seen from the results of SMAW process conducted with the parameters of the process of variations in welding speed (1.8 mm/s, 2.8 mm/s and 3.8 mm/s) and current usage (60 A and 70 A). Visual inspection shows that the use of a new jig welding could eliminate the number and type of welding defects. And from dimensional inspection of welds, it shows that a new jig welding has been able to generate a standardized measure of welds, especially when doing a SMAW process for buttjoint with a 2-mm root gap.

Keywords: *welding process; SMAW; jig welding, visual welding inspection*

Abstrak

Proses pengelasan busur listrik atau *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* adalah salah satu jenis proses pengelasan yang paling banyak digunakan di berbagai industri. Proses pengelasan SMAW juga digunakan dalam praktikum di SMK dan sekolah vokasi di perguruan tinggi, termasuk juga sebagai topik penelitian untuk tugas akhir mahasiswa. Walaupun proses pengelasan lain dapat menghasilkan hasil las yang lebih baik dibanding proses pengelasan SMAW, namun proses pengelasan SMAW masih banyak digunakan karena biaya produksinya yang rendah, mesin lasnya yang sederhana dan mudah dibawa kemana-mana atau portabel. Namun demikian dalam hal pelatihan dan peningkatan keahlian *welder*, pengelasan SMAW adalah yang paling sulit dilakukan. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dibuat suatu *jig welding* sebagai alat bantu proses pengelasan SMAW agar dapat digunakan oleh para siswa dan mahasiswa dalam melakukan praktikum dan terutama dalam mengerjakan tugas akhir mereka tanpa bantuan *welder* yang berpengalaman untuk topik penelitian tentang proses pengelasan SMAW. Pada studi ini telah dirancang dan dibuat suatu *jig welding* yang merupakan pengembangan desain dari *jig* sebelumnya yang telah dibuat dan masih banyak memiliki kekurangan-kekurangan. Kualitas *jig* ini dilihat melalui serangkaian pengujian dan inspeksi atas hasil proses pengelasan SMAW tersebut. Hasil pengujian dan inspeksi hasil las yang dihasilkan menunjukkan bahwa *jig* yang telah diperbaiki desainnya mampu mengatasi kurang-kekurangan dari *jig* sebelumnya. *Jig* yang baru mampu melakukan proses pengelasan untuk posisi pengelasan 1G untuk sambungan *buttjoint* dengan penggunaan elektroda sepanjang 30 cm dalam satu kali proses pengelasan. *Jig* yang baru juga berhasil mengurangi getaran

yang terjadi saat pergerakan elektroda saat proses pengelasan berlangsung. Kualitas hasil las dengan menggunakan jig yang baru dilihat dari hasil proses pengelasan yang dilakukan dengan parameter proses berupa variasi kecepatan las (1,8 mm/s, 2,8 mm/s dan 3,8 mm/s) dan arus yang digunakan (60 A dan 70 A). Dari hasil inspeksi visual terlihat bahwa penggunaan *jig welding* yang baru mampu mengurangi jumlah dan jenis cacat yang terjadi. Dan dari hasil pengukuran hasil lasan dengan menggunakan *welding gauge* terlihat bahwa *jig welding* yang baru telah dapat menghasilkan ukuran dimensi lasan yang sesuai dengan kriteria yang distandarkan, terutama ketika melakukan proses pengelasan SMAW untuk sambungan *butt joint* dengan *root gap* sebesar 2 mm.

Kata kunci: Pengelasan, SMAW, jig welding, inspeksi visual las

1. Pendahuluan

Teknik pengelasan sudah berkembang dengan pesat seiring penggunaan tenaga listrik pada akhir abad 19 sebagai sumber panas untuk proses pengelasan [1]. Proses pengelasan adalah proses produksi sekunder yang digunakan untuk menyambung suatu struktur dari beberapa elemen dan menyambung suatu produk tertentu [2]. Saat ini pengelasan telah digunakan dalam aplikasi seperti di industri perkapalan, konstruksi bangunan dan jembatan, pembuatan bejana tekan, pipa saluran minyak dan gas, dan di industri otomotif dan kereta api.

Proses pengelasan saat ini telah berkembang dengan sangat pesat. Pengembangan proses pengelasan pada dasarnya dilakukan untuk mencari cara melindungi logam las agar tetap bersih dan terhindar dari reaksi dengan udara luar serta mencari cara untuk mencari sumber panas yang efisien yaitu berupa *heat input* yang serendah mungkin dan *power density* dari sumber panas yang sebesar mungkin. Karena dengan menaikkan *power density* maka akan dihasilkan penetrasi las yang lebih dalam, kecepatan las yang lebih tinggi dan kualitas logam las dengan kerusakan yang serendah mungkin pada hasil proses pengelasan [3]. Tentu saja semakin tinggi *power density* dari sumber panas, semakin modern dan mahal peralatan yang harus diadakan.

Dalam aplikasinya proses pengelasan busur listrik atau Shielded Metal Arc Welding (SMAW) adalah salah satu jenis proses pengelasan yang paling banyak digunakan. Di dunia, beberapa peneliti telah melakukan studi untuk melihat keunggulan pengelasan SMAW ini terhadap jenis proses pengelasan yang lain, seperti Gas Metal Arc Welding (GMAW). Sayed dkk. meneliti kemampuan (weldability) material baja C45 dengan menggunakan proses pengelasan SMAW dan GMAW [4]. Hasilnya menunjukkan bahwa baik proses pengelasan dengan SMAW maupun GMAW sama-sama tidak ditemukan adanya retak atau *crack* baik di logam las, HAZ dan logam induk. Yu dkk. meneliti ketangguhan (*fracture toughness*) pada pengelasan pipa pendingin dengan menggunakan proses pengelasan SMAW dan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) [5]. Walau hasilnya menunjukkan bahwa proses GTAW menghasilkan ketangguhan yang lebih baik dibanding dengan proses SMAW, namun tidak ditemukan adanya retak dari hasil kedua pengelasan tersebut. Sementara itu Narasimhan dkk meneliti pengaruh penggabungan proses pengelasan SMAW dan GMAW terhadap efisiensi dan kekuatan hasil las [6]. Laju aliran gas pelindung yang digunakan dapat dikurangi hingga 3 kali dengan kualitas hasil las yang sama baiknya. *Slag* atau kotoran tidak ditemukan pada logam las dan kekerasan yang dihasilkan pada logam las lebih tinggi dibanding pada logam las hasil proses GMAW sendiri. Peneliti-peneliti lain juga telah meneliti aspek lain dari proses pengelasan SMAW, seperti tentang oksidasi yang terjadi [7], pengaruh *post weld heat treatment* [8], proses pengelasan SMAW pada dinding tipis [9], pengaruh parameter las terhadap lebar kampuh las [10] dan pengujian mampu las baja karbon ASTM A36 [11]. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun proses pengelasan lain dapat menghasilkan hasil las yang lebih baik daripada proses pengelasan SMAW, namun proses pengelasan SMAW masih banyak digunakan di industri karena biaya produksinya yang rendah dan mesin lasnya yang sederhana dan mudah dibawa kemana-kemana atau *portable*. Namun demikian dalam hal pelatihan dan peningkatan keahlian *welder*, pengelasan SMAW adalah yang paling sulit dilakukan [12]

Di industri dalam negeri, pengelasan SMAW juga banyak digunakan. Praktek-praktek pengelasan siswa/mahasiswa di beberapa SMK dan sekolah vokasi di perguruan tinggi juga banyak menggunakan pengelasan SMAW tersebut. Pengelasan SMAW juga banyak digunakan pada penelitian tugas akhir mahasiswa. Kendala yang banyak ditemui oleh para mahasiswa adalah kekonsistenan pelaksanaan proses pengelasan tersebut, karena umumnya mereka sendiri yang melakukan proses pengelasan tersebut bukan *welder* profesional. Agak susah bagi mahasiswa untuk menjaga kestabilan kecepatan las dan jarak busur las. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu dibuat alat bantu atau *jig* yang mampu menjaga kestabilan jarak busur las dan kecepatan las.

Desain dan pembuatan *jig* telah dilakukan sebelumnya untuk karya tugas akhir mahasiswa [13]. Dalam penelitian sebelumnya telah berhasil dirancang dan dibuat sebuah *jig* sebagai alat bantu proses pengelasan SMAW secara semi otomatis. *Jig* tersebut memiliki 2 sumbu gerakan pengelasan, yaitu sumbu x dan sumbu z (vertikal). *Jig* ini digunakan dalam melakukan proses pengelasan untuk posisi 1G, sehingga *jig* ini hanya dapat digunakan untuk mengelas sambungan *butt joint* dan *corner joint*. Masih ada beberapa kekurangan yang dihasilkan dari desain *jig* awal ini, seperti elektroda bergerak secara rotasi, elektroda tidak terkomsumsi secara maksimal, getaran yang terjadi masih cukup besar, kampuh las yang tidak rapi dan banyak dijumpai beberapa cacat las.

Studi ini fokus pada pengujian dan inspeksi hasil las dari proses pengelasan SMAW dengan menggunakan *jig* yang telah dikembangkan dari *jig* yang sebelumnya untuk mengatasi kekurangan-kekurangan yang terjadi agar proses pengelasan SMAW dapat dilakukan oleh mahasiswa dan dapat menghasilkan kampuh las yang lebih baik dan bebas dari berbagai cacat pengelasan.

2. Material dan Metode Penelitian

2.1. Pengembangan Desain dan Pembuatan *Jig* Baru

Jig baru hasil pengembangan dan *jig* lama dapat dilihat pada Gambar 1. Pembahasan tentang proses desain dan pembuatannya dapat dilihat pada [14]. Perbedaan antara *jig* lama sebelum dikembangkan dan *jig* baru sesudah dikembangkan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. *Jig* welding sebelum dikembangkan (atas) dan setelah dikembangkan (bawah)

2.2. Pengujian *Plotting*

Pengujian *plotting* pada *jig* welding dilakukan untuk mengetahui getaran yang terjadi akibat mekanisme transmisi daya pada *leadscrew* dan mengetahui efektifitas dari *slider* sebelum dilakukan proses pengelasan. Persiapan pengujian *plotting* dapat dilihat pada Gambar 2.

2.3. Proses Pengelasan

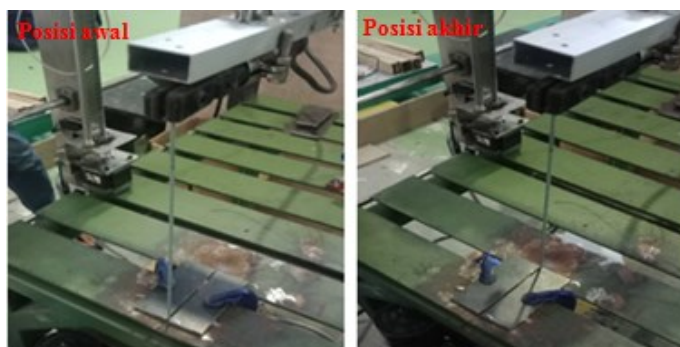
Material benda kerja yang digunakan pada proses pengelasan adalah pelat baja ASTM A36 dengan ukuran 40 mm x 100 mm x 4 mm. Posisi pengelasan adalah 1G dan kawat elektroda yang digunakan adalah kawat elektroda terbungkus jenis E6013 dengan diameter 2 mm. Mesin las yang digunakan pada pengujian ini adalah mesin las listrik AC merek Rilon Model ARC 160 yang dapat diatur arus listriknya dari 30 A sampai 160 A. Tipe sambungan yang digunakan adalah *buttjoint* dengan ukuran *root gap* 0 mm dan 2 mm. Arus yang digunakan sebesar 60 A dan 70 A dengan tiga variasi kecepatan las yaitu 1,8 mm/s, 2,8 mm/s dan 3,8 mm/s. *Setting* proses pengelasan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Perbandingan *jig* sebelum dan sesudah pengembangan desain

No.	Kriteria	Sebelum	Sesudah
1	Jumlah lengan	1	2
2	Proses percikan pertama sampai pengelasan	manual	otomatis
3	Gerak lengan pengelasan	rotasi	translasi
4	Mekanisme kerja	Semi otomatis	Semi otomatis
5	Pelepasan elektroda saat melekat di benda las	manual	manual
6	Penghabisan elektroda	Tidak bisa	bisa
7	Jumlah operator	2 orang	1 orang



Gambar 2. Proses *plotting*



Gambar 3. *Setting* gerakan kawat las

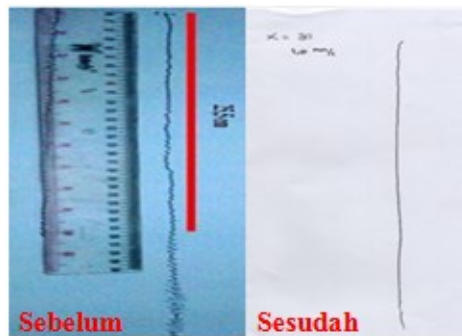
2.4. Inspeksi Hasil Las

Inspeksi hasil las dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil las dengan menggunakan *jig* yang telah diperbaiki desainnya dari *jig* sebelumnya. Inspeksi meliputi pengukuran dimensi dan pengamatan visual. Dimensi hasil las yang diukur meliputi *reinforcement*, kedalaman penetrasi logam las dan lebar kampuh las, sementara inspeksi visual meliputi semua cacat-cacat yang terjadi di permukaan logam las, HAZ dan logam induk.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian *Plotting*

Hasil pengujian *plotting* dapat dilihat pada Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ada peningkatan gerakan yang menghasilkan garis yang cukup lurus bila dibandingkan dengan hasil *plotting* sebelum *jig welding* diperbaiki desainnya. Sebelum diperbaiki terlihat hasilnya berbentuk garis zig-zag yang mengindikasikan terjadinya getaran saat gerakan spidol dari posisi awal dan posisi akhir. Setelah perbaikan desain *jig* dilakukan, getaran dapat dikurangi walau gerakan lurus sempurna belum dicapai. Hal ini akan diperbaiki pada desain selanjutnya.



Gambar 4. Perbandingan hasil pengujian plotting dari jig welding sebelum dan sesudah diperbaiki desainnya

3.2. Hasil Proses Pengelasan

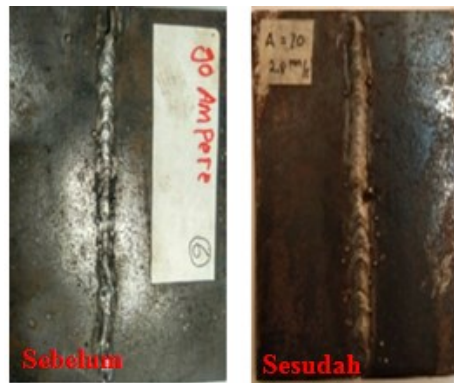
Hasil pengelasan merupakan bagian yang penting dalam penelitian pengembangan *jig* ini. Karena untuk menilai apakah pengembangan berhasil atau tidak salah satunya dapat dilihat pada hasil pengelasannya. Gambar 5 adalah contoh hasil pengelasan dengan menggunakan *jig* sebelum dan sesudah diperbaiki desainnya. Proses pengelasan yang menggunakan *jig* awal dilakukan dengan menggunakan arus sebesar 90 A dan kecepatan pengelasan sebesar 2,5 mm/s, sementara untuk proses pengelasan yang dibantu oleh *jig* setelah diperbaiki desainnya menggunakan arus sebesar 70 A dan kecepatan pengelasan sebesar 2,8 mm/s.

Pada hasil pengelasan dengan menggunakan *jig* yang lama terlihat bahwa logam las tidak rapi dan beberapa ada yang putus-putus, sehingga hasil tersebut tidak memenuhi kriteria yang dapat diterima pada cacat hasil pengelasan. Sementara pada hasil pengelasan dengan menggunakan *jig* yang baru, dari hasil pengamatan visual secara umum hasilnya lebih baik walaupun masih terdapat beberapa cacat pengelasan. Logam las hasil pengelasan *jig* yang sudah dikembangkan hasilnya lebih rapi dan tidak putus-putus.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengamatan visual terhadap jenis cacat yang ditemui dari hasil pengelasan dengan menggunakan *jig* yang baru pada sambungan dengan *root gap* 0 mm dan 2 mm. Jenis-jenis cacat yang ditemukan pada permukaan adalah *spatter*, *lack of fusion* (LoF) dan *undercut*. Dari tabel 2 terlihat bahwa proses pengelasan dengan sambungan *root gap* sebesar 0 mm dan menggunakan kecepatan pengelasan yang rendah (1,8 mm/s) akan menghasilkan jenis cacat yang sedikit. Hanya ditemukan adanya *spatter* pada permukaan benda kerja dengan menggunakan kecepatan las yang kecil baik pada penggunaan arus 60 A dan 70 A. *Spatter* umumnya disebabkan karena penggunaan arus yang berlebihan dan juga karena adanya kotoran [15-16]. Sementara dengan naiknya kecepatan las timbul cacat lain yang ditemukan yaitu *undercut* dan *lack of fusion*. Baik *undercut* maupun *lack of fusion* disebabkan oleh kecepatan las yang tinggi dan ukuran elektroda yang jauh lebih besar dibanding *root gap* [15-16]. Itu sebabnya ketika *root gap* diperbesar dari 0 mm menjadi 2 mm tidak ditemukan adanya cacat *undercut* dan *lack of fusion* pada hasil las.

Pada tabel 3 dapat dilihat hasil pengukuran logam las dengan menggunakan *welding gauge*. Hasil las yang diukur meliputi tinggi *reinforcement*, kedalaman penetrasi dan lebar lasan (*width of weld*). *Reinforcement* maksimal yang diijinkan untuk sambungan buttjoint adalah 3 mm [16]. Dari data terlihat bahwa semua hasil pengelasan memiliki ukuran *reinforcement* kurang dari 3 mm, sehingga hasil pengelasan dengan *jig welding* yang baru dapat diterima.

Sementara itu tebal pelat yang digunakan pada proses pengelasan ini adalah 4 mm. Dari data hasil pengukuran penetrasi terlihat bahwa semua hasil pengelasan dengan menggunakan ukuran *root gap* sebesar 0 mm tidak ada kedalaman penetrasi yang mencapai 4 mm. Hal ini mungkin disebabkan karena sulitnya logam cair mengalir dari atas hingga ke bawah karena tidak ada celah untuk hal itu. Ketika ukuran *root gap* diperbesar menjadi 2 mm, maka kedalaman penetrasinya meningkat hingga mencapai 4 mm, sesuai dengan tebal pelat yang disambung. Sementara itu dari data tentang lebar las atau *width of welds* menunjukkan bahwa pada *root gap* sebesar 0 mm, baik pada besar arus 60 A dan 70 A terlihat bahwa naiknya kecepatan las menyebabkan ukuran lebar lasan menjadi berkurang. Sementara itu pada *root gap* sebesar 2 mm, lebar lasan yang dihasilkan cukup besar, yaitu sebesar 7-9 mm. Untuk sambungan jenis *buttjoint*, penghitungan besarnya kekuatan sambungan las tidak memperhitungkan besarnya lebar lasan, tapi panjang lasan dan dalamnya penetrasi [1]. Pengaruh *welder* sangat besar pada besar kecilnya lebar lasan yang dihasilkan dan biasanya besarnya maksimal lebar lasan yang dihasilkan adalah 3 kali dari diameter elektroda [17]. Dari hasil pengukuran lebar lasan terlihat bahwa pada *root gap* sebesar 0 mm, kecepatan las yang rendah akan menghasilkan lebar las maksimal yang diinginkan. Sementara pada *root gap* sebesar 2 mm, besarnya lebar lasan yang dihasilkan melebihi dari lebar lasan maksimal yang diharapkan.



Gambar 5. Hasil proses pengelasan dengan menggunakan jig sebelum dan setelah diperbaiki desainnya

Tabel 2. Hasil inspeksi visual dengan menggunakan jig baru

No.	Arus	Kecepatan Las (mm/s)	Jenis Cacat	
Root gap = 0 mm				
1	60 A	1.8	<i>Spatter</i>	
2		2.8	LOF, <i>Spatter</i> , <i>undercut</i> 1 mm	
3		3.8	LOF, <i>spatter</i>	
4		1.8	<i>Spatter</i>	
5		70 A	2.8	<i>Undercut</i> 1mm, <i>sparter</i>
6			3.8	LOF, <i>Sparter</i>
Root gap = 2 mm				
1	60 A	1,8	<i>Spatter</i>	
2	70 A	3,8	<i>Spatter</i>	

Tabel 3. Hasil pengukuran dimensi dengan menggunakan jig baru

No.	Arus	Kecepatan Las mm/s	Weld size			
			Reinforcement (mm)	Penetration (mm)	Width of weld (mm)	
Root gap = 0 mm						
1	60 A	1.8	1,5	3	6-9	
2		2.8	1,5	3	6	
3		3.8	1	2	5	
4		70 A	1.8	2	3	7-9
5			2.8	1	3	6
6			3.8	1,5	2	5
Root gap = 2 mm						
1	60 A	1.8	<1	3-4	7	
2	70 A	3.8	1-1,5	3-4	7-9	

4. Kesimpulan

Dari hasil yang diperoleh dapat ditarik kesimpulan bahwa *jig welding* yang baru dapat digunakan untuk membantu proses pengelasan SMAW menggantikan peran *welder* untuk posisi pengelasan 1G dan jenis sambungan *buttjoint*. *Jig welding* baru mampu mengurangi terjadinya getaran saat proses pengelasan sedang berlangsung dan elektroda sepanjang 30 cm dapat habis semuanya digunakan untuk proses pengelasan. Cacat las yang terjadi berhasil dikurangi dengan menggunakan *jig welding* yang baru. Dan dari hasil pengukuran logam las terlihat bahwa dimensi hasil lasan telah memenuhi kriteria dimensi yang diminta, terutama ketika menggunakan sambungan *buttjoint* dengan *root gap* sebesar 2 mm.

Daftar Pustaka

- [1] Wiryosumarto, H, Okumura, T., 1991, "*Teknologi Pengelasan Logam*," Cetakan kelima, Indonesia: PT. Pradnya Paramita.
- [2] Messler, R.W., 2004, "*Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy*," 2nd edition, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- [3] Kou, S., 2003, "*Welding Metallurgy*," 2nd edition, USA: A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- [4] Sayed, A.R., Kumar, D., Shahare, G.M., Nawkshare, N.N., Bhanarkar, R.Y., Dhande, D.R., Ramteke, A.R., Bharadkar, U.S., "*Mechanical and microstructural testing of C-45 material welded by using SMAW and GMAW process*," Materials Today: Proceedings, Article in press.
- [5] Yu, W., Fan, M., Shi, J., Xue, F., Chen, X., Liu, H., 2018, "*A comparison between fracture toughness at different locations of SMAW and GTAW welded joints of primary coolant piping*," Engineering Fracture Mechanics. 202: 135–146.
- [6] Narasimhan, P.N., Mehrotra, S., Raja, A.R., Vashista, M., Yusufzai, M.Z.K., 2019, "*Development of hybrid welding processes incorporating GMAW and SMAW*," Materials Today: Proceedings, 18: 2924–2932.
- [7] Kumar, R., Tewari, V.K., Prakash, S., 2009, "*Oxidation behavior of base metal, weld metal and HAZ regions of SMAW weldment in ASTM SA210 GrA1 steel*," Journal of Alloys and Compounds 479: 432–435.
- [8] Ahmed, S.R., Agarwal, L.A., Daniel, B.S.S., 2015, "*Effect of different post weld heat treatments on the mechanical properties of Cr-Mo boiler steel welded with SMAW process*," Materials Today: Proceedings, 2: 1059–1066.
- [9] Karalis, D.G., Papazoglou, V.J., Pantelis, D.I., 2009, "*Mechanical response of thin SMAW arc welded structures: Experimental and numerical investigation*," Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 51: 87–94.
- [10] Pathak, D., Singh, R.P., Gaur, S., Balu, V., "*Influence of input process parameters on weld bead width of shielded metal arc welded joints for AISI 1010 plates*," Materials Today: Proceedings, Article in press.
- [11] Rusnaldy, Maulana, M.E., 2017, "*Pengujian mampu las baja karbon ASTM A36 dengan proses las busur listrik*," Rotasi, 19(4): 226–230
- [12] ___, 1993, "*ASM Handbook – Welding, brazing and soldering*," USA: ASM International.
- [13] Prayitno, A., 2018, "*Desain dan pembuatan jig untuk pengelasan shield metal arc welding (SMAW)*," Universitas Diponegoro.
- [14] Arianto, 2020, "*Pengembangan desain dan pembuatan jig untuk pengelasan shield metal arc welding (SMAW)*," Universitas Diponegoro.
- [15] ___, 1996, "*The everyday pocket handbook for visual inspection and weld discontinuities – Causes and remedies*," USA: American Welding Standard.
- [16] ___, 2000, "*Welding Inspection Handbook*," USA: American Welding Standard.
- [17] Ardiansyah, M., 2019, "*Analisa lebar weld bead pada pipa carbon material SA333 grade 6 dengan proses GTAW+SMAW terhadap kekerasan, struktur mikro dan radiography*," Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.