

PENGARUH BUSUR LAS TERINDUKSI MEDAN MAGNET EKSTERNAL TERHADAP SAMBUNGAN TUMPUL BAJA TAHAN KARAT 304 PENGELASAN *AUTOGENOUS TUNGSTEN INERT GAS WELDING*

Haikal^{1,*}, Moch. Chamim², Ario Sunar Baskoro³, Isnarno⁴, Apri Wiyono⁵

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, Surakarta, 57552

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424

⁴Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta, 57136

⁵Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, 40154

*Email: haikal@sttw.ac.id

Diterima: 23 Januari 2020

Direvisi: 12 Maret 2020

Disetujui: 4 Juli 2020

ABSTRAK

Dalam studi ini, penelitian mengenai penggunaan metode *External Magnetic Field - Tungsten Inert Gas* pada aplikasi sambungan tumpul dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari pemampatan busur las terhadap kualitas hasil sambungan tumpul pelat tipis SS 304. Proses pengelasan ini dilakukan tanpa menggunakan logam pengisi tambahan (*autogenous weld*). Pada penelitian ini medan magnet luar ditimbulkan dengan meletakkan *solenoid* magnetik di sekeliling obor las TIG. Pengaktifkan medan elektromagnetik ini dilakukan secara dinamis dengan menggunakan mikrokontroler. Parameter pengelasan yang digunakan yaitu arus pengelasan 100; 105; 110 A dan kecepatan pengelasan 1,6; 1,8; 2,05 mm/s. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan EMF-TIG dapat menghasilkan lebar manik yang lebih seragam di sepanjang jalur las dengan standar deviasi sebesar 0,08 dibandingkan dengan las TIG konvensional sebesar 0,12. Peningkatan kecepatan las sebesar 2,05 mm/s menyebabkan tidak berpengaruhnya penambahan medan magnet luar terhadap lebar manik las. Parameter arus 105 A dengan kecepatan 1,6; 1,8; 2,05 mm/s menghasilkan pemampatan lebar manik atas berturut-turut sebesar 0,87; 0,61; 0,1 mm. Parameter pengelasan dengan arus 105 A dan kecepatan las 1,6 mm/s memiliki efek pemampatan manik atas yang lebih besar yaitu sebesar 0,84 mm dibandingkan arus 110 A yaitu 0,38 mm.

Kata kunci: *External Magnetic Field - Tungsten Inert Gas; autogenous weld; busur las; medan elektromagnetik; lebar manik*

ABSTRACT

In this study, research on the use of External Magnetic Field method - Tungsten Inert Gas in butt joint applications was done to determine the effect of welding arc compression on the quality of butt joint of SS 304 thin plate. The welding process was performed using autogenous welds. In this study an external magnetic field was generated by placing a magnetic solenoid around the TIG welding torch. Enabling this electromagnetic field is done dynamically using a microcontroller. Welding parameters used are welding current 100; 105; 110 A and welding speed 1.6; 1.8; 2.05 mm/s. The results of this study showed that EMF-TIG welding can produce a more uniform bead width along the weld line with a standard deviation of 0.08 compared with conventional TIG welding of 0.12. Increased welding

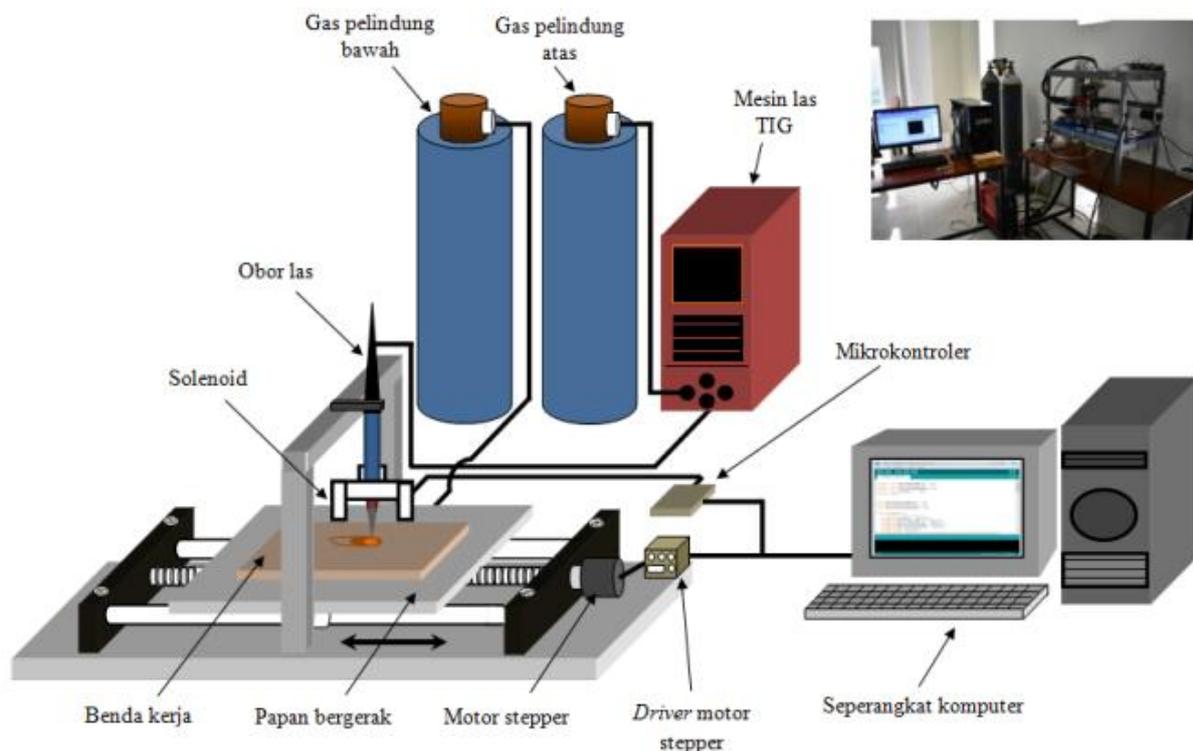
speed of 2.05 mm / s causes no effect on the addition of an external magnetic field to the width of the weld bead. The current parameters are 105 A with a speed of 1.6; 1.8; 2.05 mm / s resulted in compression of the top bead width by 0.87; 0.61; 0.1 mm. The welding parameters with a current of 105 A and welding speed of 1.6 mm / s have a larger upper bead compression effect of 0.84 mm compared to 110 A currents of 0.38 mm.

Keywords: *External Magnetic Field - Tungsten Inert Gas; autogenous weld; arc welding; electromagnetic field; weld bead*

PENDAHULUAN

Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas Welding*) adalah salah satu jenis las busur listrik yang banyak digunakan dalam industri karena dapat menggabungkan berbagai jenis material logam baik sejenis maupun tidak sejenis (*similar or dissimilar metal joint*) dengan hasil kualitas lasan yang tinggi. Proses peleburan logam las terjadi disebabkan pengaruh panas dari busur listrik yang timbul diantara elektroda tungsten (*non-consumable*) dengan benda kerja. Area busur listrik akan dilindungi dari atmosfer oleh gas tidak aktif seperti helium dan argon yang mengalir melalui nosel obor las. Las TIG dapat dioperasikan tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*) atau disebut juga dengan istilah *autogenous welds* (Eisazadeh et al., 2014), untuk menggabungkan material tipis dengan ketebalan kurang dari atau sama dengan 3 mm (Tseng and Chen, 2012, Tseng and Chuang, 2012). Sedangkan *filler* digunakan ketika menyambungkan material dengan ketebalan lebih dari 3 mm. Pengelasan dengan material tebal, umumnya membutuhkan persiapan pada ujung sambungan dan beberapa tahap fase las untuk mengisi celah sambungan secara penuh. Kedalaman penetrasi las merupakan faktor penting dalam menentukan kualitas hasil lasan. Peningkatan kedalaman penetrasi dalam proses pengelasan TIG dapat dilakukan dengan cara menaikkan daya arus lasan. Akan tetapi, kenaikan arus lasan dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan distorsi akibat tingginya *heat input* (Okano and Mochizuki, 2017). Baja tahan karat khususnya tipe austenit memiliki koefisien ekspansi termal tertinggi dan konduktivitas termal terendah dibandingkan

dengan baja karbon dan baja paduan lainnya, sehingga material ini rentan terhadap distorsi setelah proses pengelasan (Tseng and Hsu, 2011). Hal ini dibuktikan oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu Tseng (Tseng, 2013) bahwa pengelasan baja tahan karat tipe 316L dengan menggunakan las TIG konvensional menghasilkan kenaikan distorsi angular seiring dengan peningkatan arus. Selain arus, parameter lain yang berpengaruh terhadap distorsi adalah ketebalan pelat. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Onaka dkk menunjukkan bahwa besar distorsi akibat kenaikan arus mengalami penurunan seiring dengan peningkatan tebal pelat yang dilas (Okano and Mochizuki, 2016). Rekayasa pengelasan TIG telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya sebagai upaya untuk meningkatkan kedalaman penetrasi lasan sejak tahun 1995 (Ahmadi and Ebrahimi, 2015). EMF-TIG (*External Magnetic Field Tungsten Inert Gas*) merupakan metode pengelasan TIG konvensional yang ditambah dengan adanya pengaruh medan magnet dari luar. Berdasarkan dari macam-macam konfigurasi, EMF dapat dikategorikan sebagai CMF (*Cups Magnetic Field*), AMF (*Axial Magnetic Field*), LMF (*Longitudinal Magnetic Field*), TMF (*Transverse magnetic Field*) dan RMF (*Rotating Magnetic Field*) (Wu et al., 2017). Penambahan medan magnet luar dapat merubah perilaku dari busur las TIG (Chen et al., 2015, Li et al., 2008, Lin-Cun and Wei-Dong, 2008, Nomura et al., 2012, Sun et al., 2016, ZhongQin et al., 2005). Nomura dkk (Nomura et al., 2010) menyatakan bahwa busur



Gambar 1. Skema alat penelitian (Baskoro et al., 2018)

las dapat dikontrol dengan menggunakan medan magnet luar sehingga dihasilkan penetrasi las lebih dalam dibandingkan dengan las TIG konvensional. Shoichi dkk (Shoichi et al., 2013) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh EMF pada las TIG dengan filler untuk 2 posisi pengelasan yaitu 1 G dan 4 G. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan medan magnet luar dengan posisi tertentu dapat menimbulkan gaya yang searah gravitasi ataupun dibuat melawan gravitasi (*antigravity*) sehingga dapat mengurangi dampak cacat las seperti *undercut*. Penelitian las TIG dengan menggunakan medan magnet dinamis juga telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu Baskoro dkk (Baskoro et al., 2014). Hasil penelitian menunjukkan bahwa medan magnet yang ditimbulkan oleh *solenoid* secara dinamis berdampak terhadap penetrasi las yang lebih dalam.

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan medan magnet luar pada las TIG konvensional dapat memberikan dampak positif yaitu peningkatan kedalaman penetrasi las dan pengurangan dampak cacat las. Penelitian akhir-akhir ini telah menerapkan EMF pada pengelasan TIG dengan adanya celah sempit pada pelat atau dikenal dengan

istilah *narrow gap welding* untuk aplikasi pelat tebal (Sun et al., 2016). Penelitian-penelitian sebelumnya telah mengfokuskan pada pengaruh medan magnet luar terhadap penetrasi pengelasan TIG untuk pelat tanpa sambungan. Akan tetapi belum ada literatur yang membahas mengenai penggunaan metode EMF-TIG pada aplikasi sambungan tumpul (*butt joint*). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih mendalam tentang pengaruh dari pemampatan busur las akibat penambahan medan magnet luar terhadap kualitas hasil sambungan tumpul pelat tipis AISI 304. Baja tahan karat tipe 304 dipilih sebagai objek dalam penelitian ini dikarenakan baja paduan ini memiliki sifat-sifat yang diinginkan sehingga banyak digunakan dalam industri untuk fabrikasi maupun perbaikan lasan (Aval et al., 2009). Geometri manik las dan kedalaman penetrasi dari hasil sambungan las akan diteliti.

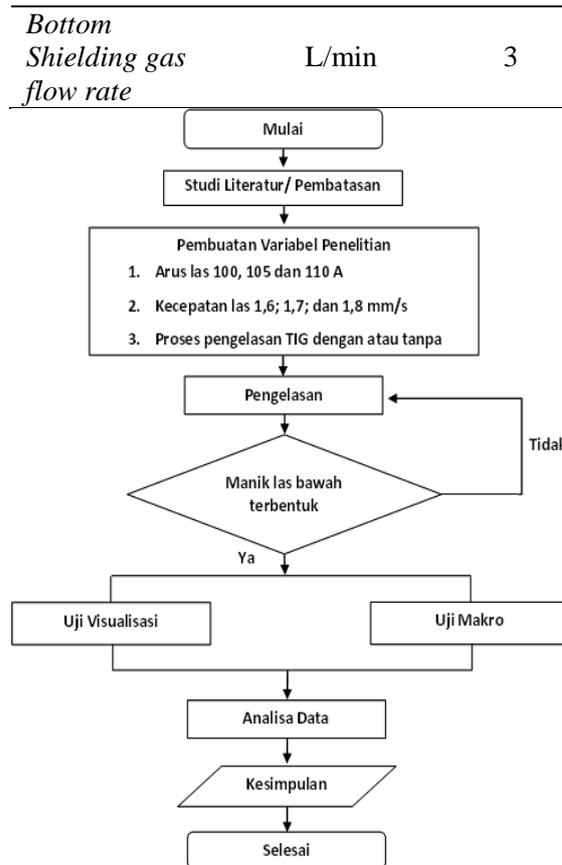
METODE PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat tipe austenit seri 304 dengan ketebalan 3 mm. Spesimen dipotong dengan dimensi 150 x 50 x 3 mm menggunakan *cutting machine* khusus agar

tidak terjadi perubahan sifat pada logam akibat panas yang muncul. Proses pengelasan menggunakan mesin TIG 2200 AC/DC pulse. Gambar 1 menunjukkan skema alat dari penelitian ini yaitu mesin TIG dengan penambahan *solenoid* sebagai pencipta medan magnet luar (EMF-TIG). Pengelasan *autogenous* dilakukan baik dengan adanya penambahan medan magnet luar ataupun tanpa. Sebuah *charge-couple device* (CCD) kamera dengan kemampuan memonitor berkecepatan tinggi digunakan untuk melihat perilaku dari busur las. Table 1 menunjukkan parameter pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini. Gambar 2 menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan dalam studi ini. Medan magnet eksternal dibangkitkan secara dinamis oleh *solenoid* dan juga mikrokontroler sebagai pengatur aktifnya medan magnet. *Solenoid* disusun secara melingkar mengelilingi *torch* seperti ditunjukkan pada gambar 3. Pengelasan dilakukan dengan metode susunan pelat adalah sambungan tumpul dengan panjang las ± 100 mm. Gas Argon tambahan diberikan untuk melindungi area las bagian bawah (*back bead*) agar terhindar dari proses oksidasi.

Tabel 1. Variasi arus dan proses pengelasan

Parameter	Satuan	Nilai
<i>Power source</i>	Dimensionless	DCEN
<i>Welding current</i>	A	100-110
<i>Welding speed</i>	mm/sec	1.6-2.0
<i>AWS classification</i>	Dimensionless	EW Th2
<i>Electrode diameter</i>	mm	2.4
<i>Nominal arc length</i>	mm	2
<i>Shielding gas</i>	Dimensionless	100% Ar
<i>Upper Shielding gas flow rate</i>	L/min	10



Gambar 2. Diagram alir penelitian

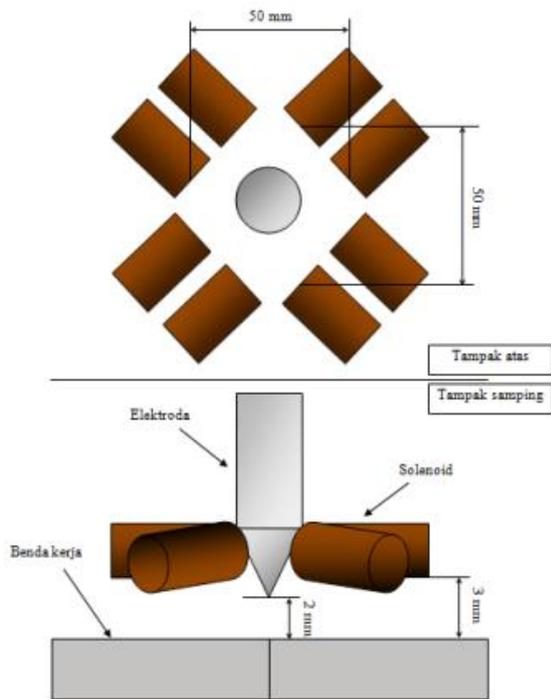
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian las TIG tanpa atau dengan bantuan medan magnet luar dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari pemampatan busur las akibat penambahan medan magnet luar terhadap kualitas hasil sambungan tumpul pelat tipis SS 304. Kualitas hasil sambungan ditentukan berdasarkan geometri las yang diperoleh dengan melakukan beberapa tahap pengujian antara lain uji visualisasi dan uji pengukuran lebar manik las. Data hasil pengujian tersebut dianalisa untuk menghasilkan suatu pembahasan dan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan dari penelitian tersebut.

- Uji Visualisasi

Arus dan kecepatan pengelasan merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap geometri las TIG. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin meningkat kecepatan pengelasan berdampak terhadap menurunnya lebar manik atas. Kenaikan arus las juga berpengaruh terhadap peningkatan lebar manik las atas. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu Aval dkk (Aval et al., 2009)

yang menyatakan bahwa *heat input* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kecepatan pengelasan sehingga volume kolom las menjadi berkurang. Sedangkan arus lebih berpengaruh terhadap kedalaman penetrasi las.



Gambar 3. Susunan *solenoid*

Kenaikan kecepatan las memiliki pengaruh yang signifikan terhadap lebar manik las dibandingkan dengan kenaikan arus. Hal ini sesuai dengan rumusan untuk mencari besar *heat input* yaitu $H_{in} = \eta EI/V$, dimana semakin tinggi kecepatan las maka semakin rendah besar *heat input*. Kenaikan arus las juga dapat berdampak terhadap meningkatnya gaya elektromagnetik. Gaya ini yang akan mendorong logam lebur menuju ke bawah sehingga membuat kolom las lebih dalam selama proses pengelasan.

Gambar 4 menunjukkan visualisasi manik las atas dan manik las bawah antara konvensional TIG dengan EMF-TIG. Terlihat adanya penambahan eksternal medan magnet menghasilkan manik las yang lebih seragam sepanjang garis las.

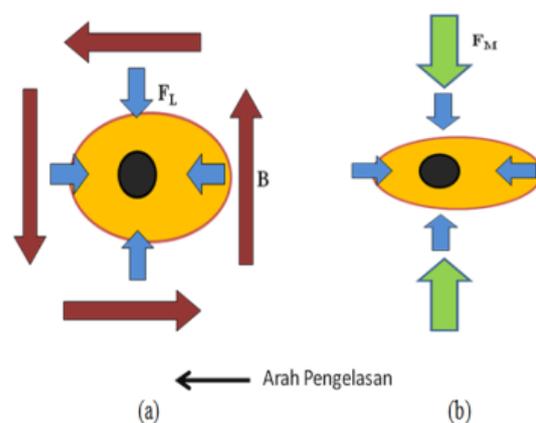
- Uji Pengukuran Lebar Manik Las

Lebar manik bawah untuk kecepatan 1.6 dan 1.8 mm/s memiliki ukuran lebih lebar dibandingkan manik atas. Sedangkan

kecepatan 2.0 mm/s menghasilkan ukuran sebaliknya seperti ditunjukkan pada tabel 3. Hal ini disebabkan *heat input* yang dihasilkan pada kecepatan tersebut terlalu rendah sehingga berkurangnya kemampuan busur las untuk meleburkan logam induk.

Gambar 5 menunjukkan adanya perubahan lebar manik las atas akibat dipengaruhi oleh medan magnet luar. Medan magnet luar yang diaktifkan secara dinamis dan disusun sedekimian rupa mampu memampatkan busur las. Hal ini dibuktikan dengan terjadinya penurunan lebar manik las atas pada EMF TIG dibandingkan dengan las TIG konvensional. Akan tetapi, kemampuan medan magnet luar dalam memampatkan busur las semakin menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan las.

Skema pembentukan busur plasma ketika proses pengelasan dengan atau tanpa medan magnet luar dapat ditunjukkan pada gambar 6. Gambar 6 (a) memperlihatkan adanya medan magnet internal yang terbentuk dengan pergerakan berlawanan arah jarum jam selama proses pengelasan TIG konvensional. Pertemuan antara arus las dengan medan magnet internal ini menghasilkan gaya elektromagnetik yang mengarah ke sumbu tengah busur. Penambahan medan magnet eksternal dapat menghasilkan gaya elektromagnetik yang lebih besar sehingga busur las dapat termampatkan seperti ditunjukkan pada gambar 6 (b).



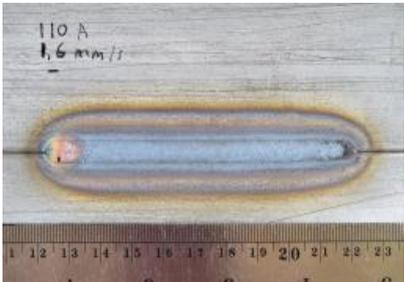
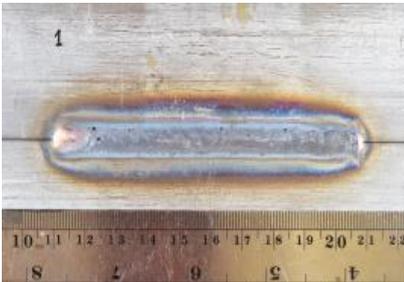
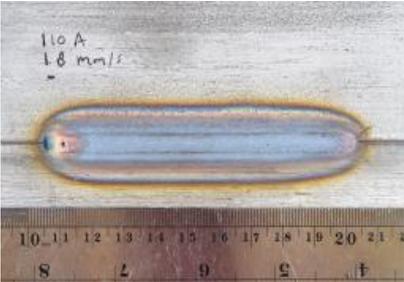
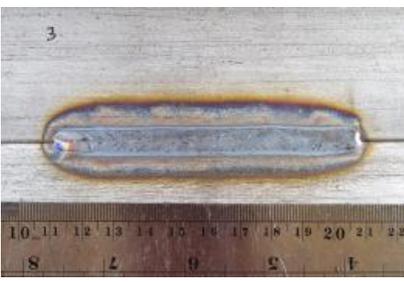
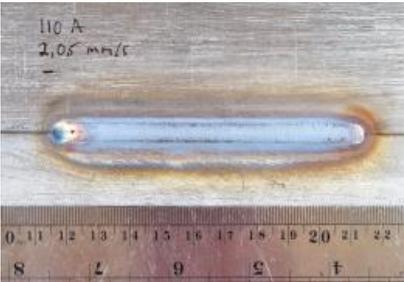
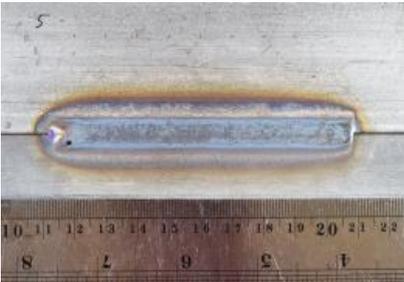
Gambar 6. Skema pembentukan busur plasma: **a** TIG konvensional **b** EMF-TIG

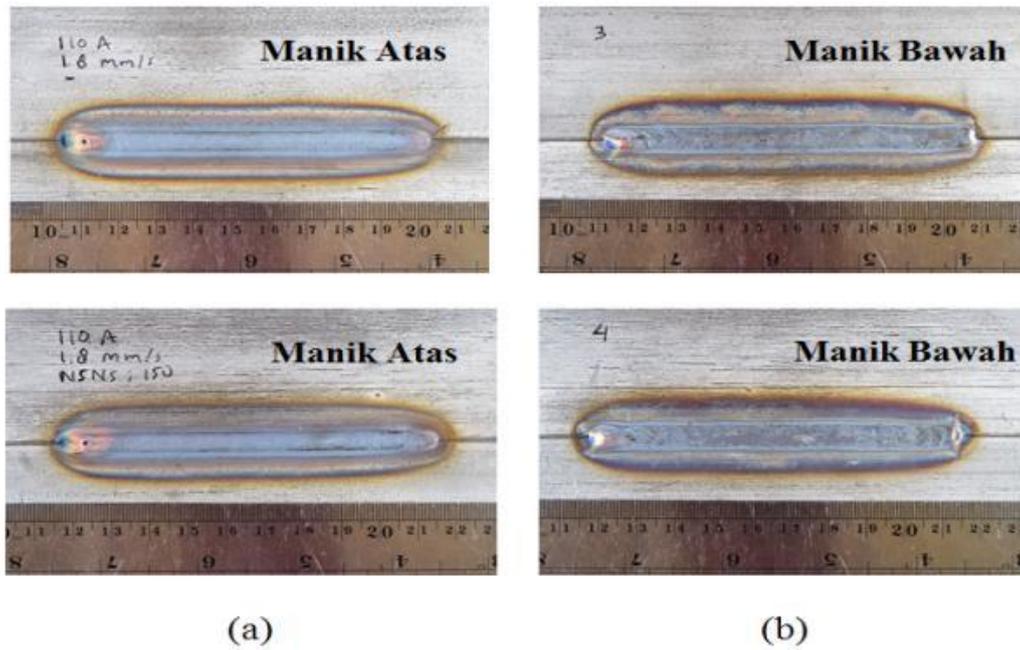
Lebar manik atas untuk kecepatan 2.0 mm/s memiliki ukuran lebih lebar dibandingkan

kecepatan 1.6 dan 1.8 mm/s seperti ditunjukkan pada tabel 4. Hal ini dikarenakan kemampuan medan magnet luar untuk

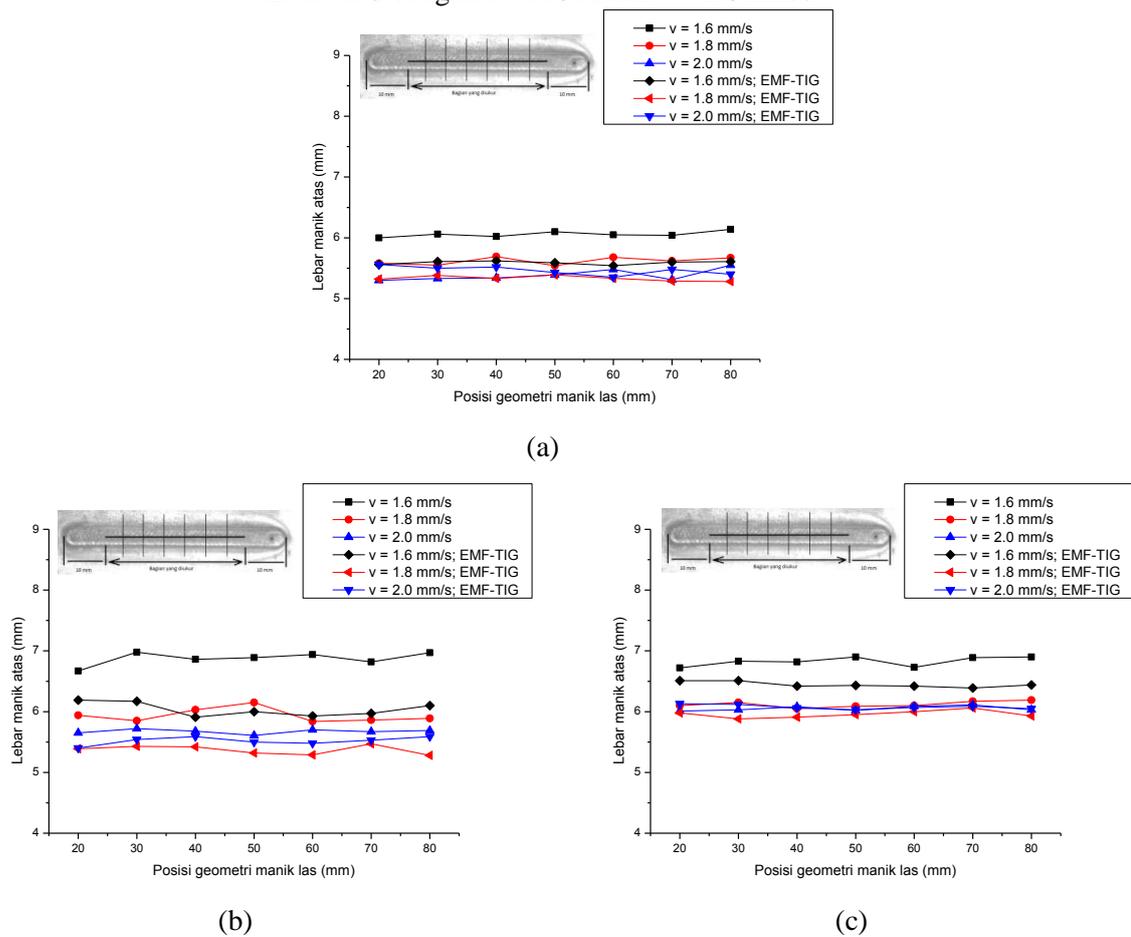
memampatkan busur las menurun saat kecepatan lasan cukup tinggi.

Tabel 2. Visualisasi hasil pengelasan TIG konvensional dengan variasi kecepatan las.

Parameter Las	Manik Atas	Manik Bawah
110 A; 1.6 mm/s	 <p>Handwritten text: 110 A, 1.6 mm/s</p> <p>Scale: 0-23 cm</p>	 <p>Handwritten text: 1</p> <p>Scale: 10-22 cm</p>
110 A; 1.8 mm/s	 <p>Handwritten text: 110 A, 1.8 mm/s</p> <p>Scale: 10-22 cm</p>	 <p>Handwritten text: 3</p> <p>Scale: 10-22 cm</p>
110 A; 2.0 mm/s	 <p>Handwritten text: 110 A, 2.0 mm/s</p> <p>Scale: 0-22 cm</p>	 <p>Handwritten text: 5</p> <p>Scale: 10-22 cm</p>



Gambar 4. Visualisasi hasil pengelasan TIG sambungan *butt joint*: **a** Las konvensional dan **b** Las EMF-TIG dengan $I = 110$ A dan $v = 1.8$ mm/s.



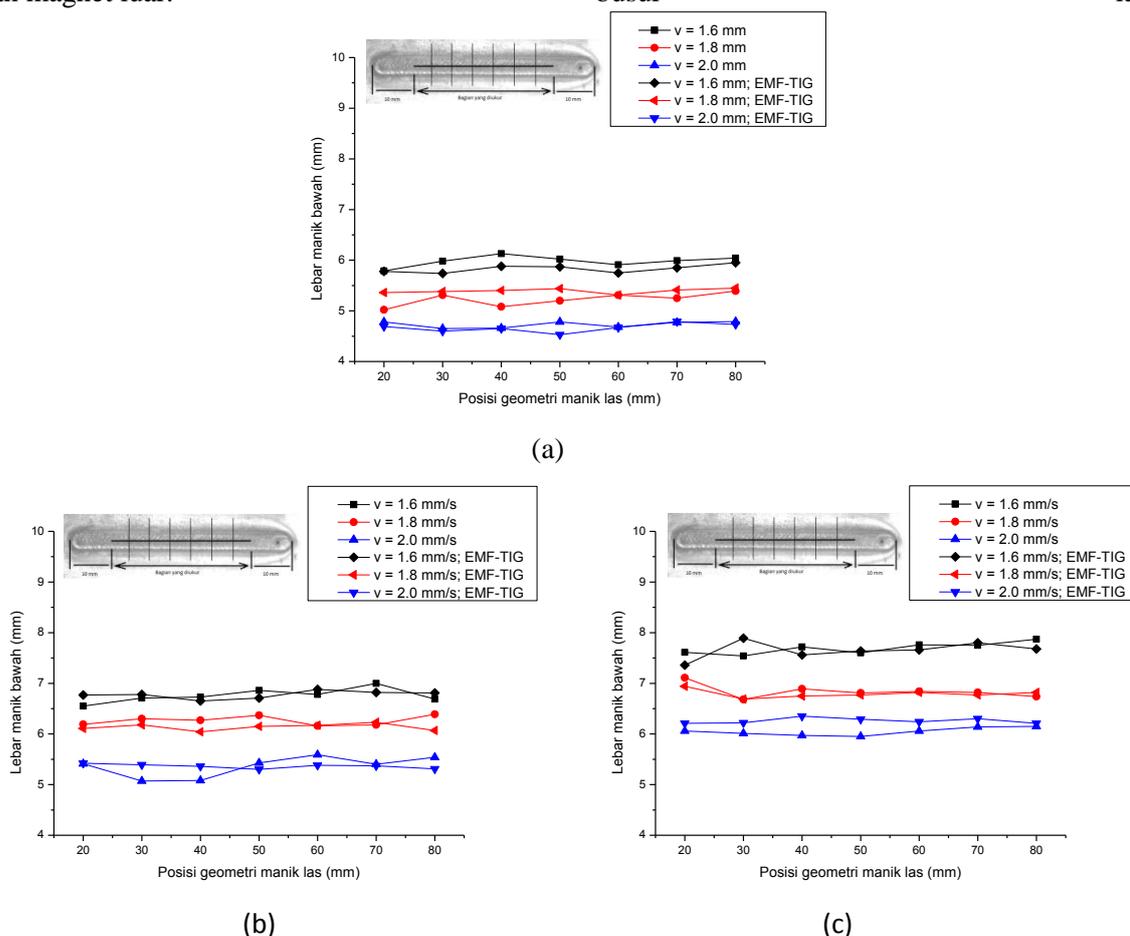
Gambar 5. Pengaruh kecepatan las terhadap lebar manik atas tanpa atau dengan magnet pada: **a** $I = 100$ A **b** $I = 105$ A dan **c** $I = 110$ A

Parameter pengelasan dengan arus 105 A memiliki efek pemampatan yang lebih besar dibandingkan arus 110 A. Hal ini dikarenakan semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan akan membuat busur las menjadi kaku (Baskoro et al., 2014, ZhongQin et al., 2005).

Gambar 7 menunjukkan perbandingan lebar manik las bawah setelah dipengaruhi oleh medan magnet luar. Ukuran lebar manik bawah di sepanjang jalur las terlihat lebih seragam ketika menggunakan bantuan medan magnet luar. Hal ini dikarenakan dalam proses pengelasan TIG konvensional sering terjadi *arc blow* yang berdampak terhadap tidak terfokuskannya busur las (Baskoro et al., 2014). Ukuran lebar manik bawah yang dihasilkan oleh las EMF-TIG cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan las TIG konvensional. Hal ini sebanding dengan data sebelumnya yaitu lebar manik atas yang mengalami penurunan akibat penambahan medan magnet luar.

Gambar 8 menunjukkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu, baskoro dkk (Baskoro et al., 2014). Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah 80, 90 dan 100 A dengan variasi delay aktivasi medan magnet 100, 150 dan 200. Kecepatan proses pengelasan dilakukan secara konstan sebesar 2 mm/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa medan magnet yang ditimbulkan oleh *solenoid* secara dinamis dengan berdampak terhadap peningkatan penetrasi lasan serta lebar manik yang lebih seragam sepanjang las. Akan tetapi pada arus 100 A, pengaruh medan elektromagnetik terhadap manik las sangat kecil.

Hasil penelitian dalam artikel ini membuktikan bahwa kemampuan medan magnet luar dalam memberikan pengaruh terhadap lebar manik las tidak hanya dipengaruhi oleh besar arus las, tetapi juga kecepatan las. Semakin meningkat kecepatan las maka berdampak menurunnya kemampuan medan magnet luar memampatkan busur las.



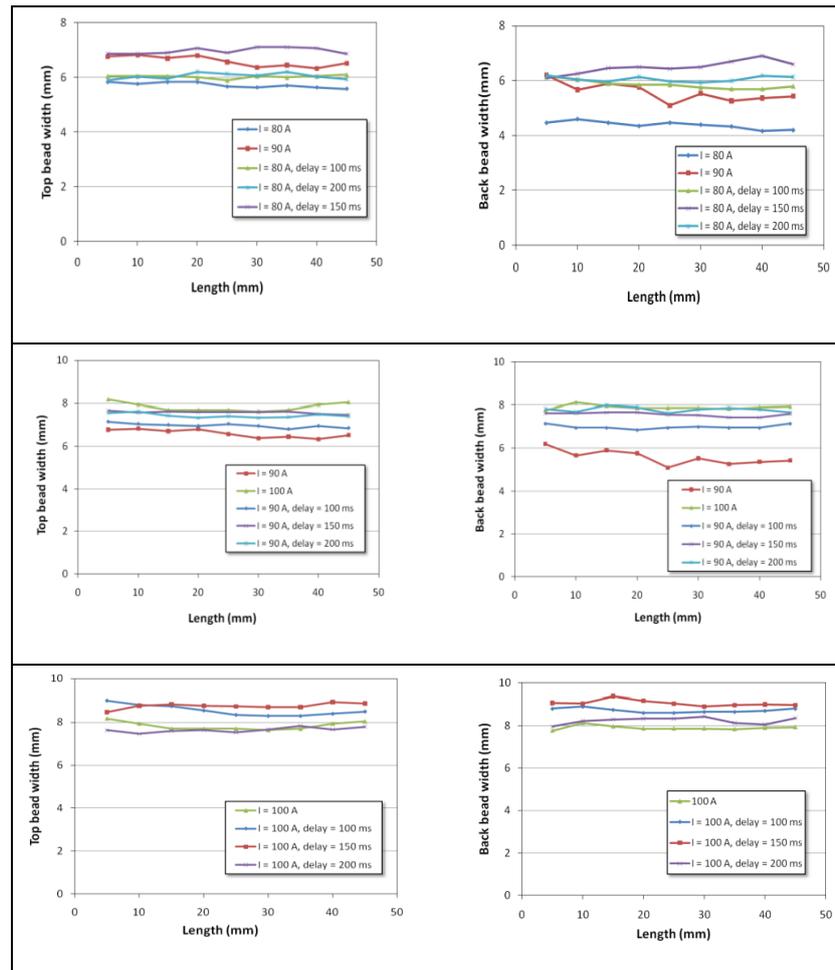
Gambar 7. Pengaruh kecepatan las terhadap lebar manik bawah tanpa atau dengan magnet pada:
a I = 100 A **b** I = 105 A dan **c** I = 110 A

Tabel 1. Lebar manik las untuk pengelasan konvensional TIG

No	Arus (A)	Kecepatan (mm/s)	Lebar manik atas (mm)	Standar deviasi (mm)	Lebar manik bawah (mm)	Standar deviasi (mm)
1	100	1.6	6.06	0.05	5.98	0.11
2	100	1.8	5.62	0.06	5.22	0.13
3	100	2.0	5.39	0.10	4.73	0.06
4	105	1.6	6.88	0.11	6.76	0.14
5	105	1.8	5.94	0.11	6.27	0.09
6	105	2.0	5.67	0.04	5.36	0.21
7	110	1.6	6.83	0.08	7.69	0.11
8	110	1.8	6.12	0.05	6.84	0.14
9	110	2.0	6.05	0.04	6.05	0.08

Tabel 4. Lebar manik las untuk pengelasan EMF-TIG

No	Arus (A)	Kecepatan (mm/s)	Lebar manik atas (mm)	Standar deviasi (mm)	Lebar manik bawah (mm)	Standar deviasi (mm)
1	100	1.6	5.59	0.03	5.83	0.08
2	100	1.8	5.33	0.04	5.39	0.05
3	100	2.0	5.46	0.07	4.67	0.08
4	105	1.6	6.04	0.11	6.77	0.08
5	105	1.8	5.37	0.07	6.14	0.07
6	105	2.0	5.52	0.07	5.36	0.04
7	110	1.6	6.45	0.05	7.66	0.17
8	110	1.8	5.96	0.06	6.79	0.08
9	110	2.0	6.08	0.04	6.26	0.05



Gambar 8. Pengaruh aktivasi medan magnet luar dinamis terhadap lebar manik las atas dan bawah (Baskoro et al., 2014)

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengelasan EMF-TIG dapat menghasilkan lebar manik yang lebih seragam di sepanjang jalur las dengan standar deviasi sebesar 0.08. Sedangkan standar deviasi hasil las TIG konvensional sebesar 0.12.
2. Kemampuan medan magnet luar dalam memampatkan busur las mengalami penurunan seiring dengan kenaikan kecepatan pengelasan. Parameter arus 105 A dengan kecepatan 1.6; 1.8; 2.0 mm/s menghasilkan pemampatan lebar manik atas berturut-turut sebesar 0.87; 0.61; 0.1 mm.
3. Parameter pengelasan dengan arus 105 A dan kecepatan las 1.6 mm/s memiliki efek pemampatan manik atas yang lebih besar yaitu sebesar 0.87 mm dibandingkan arus

110 A yaitu 0.38 mm. Hal ini dikarenakan semakin tinggi arus maka semakin kaku busur las.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmadi, E. & Ebrahimi, A. 2015. Welding Of 316l Austenitic Stainless Steel With Activated Tungsten Inert Gas Process. *Journal Of Materials Engineering And Performance*, 24, 1065-1071.

Aval, H. J., Farzadi, A., Serajzadeh, S. & Kokabi, A. 2009. Theoretical And Experimental Study Of Microstructures And Weld Pool Geometry During Gtaw Of 304 Stainless Steel. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 42, 1043-1051.

Baskoro, A. S., Fauzian, A., Basalamah, H., Kiswanto, G. & Winarto, W. 2018. Improving Weld Penetration By Employing Of Magnetic Poles' Configurations To An Autogenous

- Tungsten Inert Gas (Tig) Welding. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 99, 1603-1613.
- Baskoro, A. S., Frisman, S., Yogi, A. & Winarto, W. Improvement Of Tungsten Inert Gas (Tig) Welding Penetration Using The Effect Of Electromagnetic Field. *Applied Mechanics And Materials*, 2014. Trans Tech Publ, 558-563.
- Chen, T., Xiaoning, Z., Bai, B., Xu, Z., Wang, C. & Xia, W. 2015. Numerical Study Of Dc Argon Arc With Axial Magnetic Fields. *Plasma Chemistry And Plasma Processing*, 35, 61-74.
- Eisazadeh, H., Haines, D. J. & Torabizadeh, M. 2014. Effects Of Gravity On Mechanical Properties Of Gta Welded Joints. *Journal Of Materials Processing Technology*, 214, 1136-1142.
- Li, L.-C., Bai, B., Zhou, Z.-P. & Xia, W.-D. 2008. Axial Magnetic-Field Effects On An Argon Arc Between Pin And Plate Electrodes At Atmospheric Pressure. *Ieee Transactions On Plasma Science*, 36, 1078-1079.
- Lin-Cun, L. & Wei-Dong, X. 2008. Effect Of An Axial Magnetic Field On A Dc Argon Arc. *Chinese Physics B*, 17, 649.
- Nomura, K., Ogino, Y., Haga, T. & Hirata, Y. 2010. Influence Of Magnet Configurations On Magnetic Controlled Tig Arc Welding. *Transactions Of Jwri*, 39, 209-210.
- Nomura, K., Ogino, Y. & Hirata, Y. 2012. Shape Control Of Tig Arc Plasma By Cusp-Type Magnetic Field With Permanent Magnet. *Welding International*, 26, 759-764.
- Okano, S. & Mochizuki, M. 2016. Experimental Study On Generation Characteristics Of Weld Buckling Distortion In Thin Plate. *Transactions Of The Jsme (In Japanese)*, 82, 15-00314-15-00314.
- Okano, S. & Mochizuki, M. 2017. Transient Distortion Behavior During Tig Welding Of Thin Steel Plate. *Journal Of Materials Processing Technology*, 241, 103-111.
- Shoichi, M., Yukio, M., Koki, T., Yasushi, T., Yukinori, M. & Yusuke, M. 2013. Study On The Application For Electromagnetic Controlled Molten Pool Welding Process In Overhead And Flat Position Welding. *Science And Technology Of Welding And Joining*, 18, 38-44.
- Sun, Q., Wang, J., Cai, C., Li, Q. & Feng, J. 2016. Optimization Of Magnetic Arc Oscillation System By Using Double Magnetic Pole To Tig Narrow Gap Welding. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 86, 761-767.
- Tseng, K.-H. 2013. Development And Application Of Oxide-Based Flux Powder For Tungsten Inert Gas Welding Of Austenitic Stainless Steels. *Powder Technology*, 233, 72-79.
- Tseng, K.-H. & Chen, K.-L. 2012. Comparisons Between Tio₂-And Sio₂-Flux Assisted Tig Welding Processes. *Journal Of Nanoscience And Nanotechnology*, 12, 6359-6367.
- Tseng, K.-H. & Chuang, K.-J. 2012. Application Of Iron-Based Powders In Tungsten Inert Gas Welding For 17cr-10ni-2mo Alloys. *Powder Technology*, 228, 36-46.
- Tseng, K.-H. & Hsu, C.-Y. 2011. Performance Of Activated Tig Process In Austenitic Stainless Steel Welds. *Journal Of Materials Processing Technology*, 211, 503-512.
- Wu, H., Chang, Y., Lu, L. & Bai, J. 2017. Review On Magnetically Controlled Arc Welding Process. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 4263-4273.
- Zhongqin, L., Yongbing, L., Yasheng, W. & Guanlong, C. 2005. Numerical Analysis Of A Moving Gas Tungsten Arc Weld Pool With An External Longitudinal Magnetic Field Applied. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 27, 288-295.

