

**Haikal**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Sekolah Tinggi Teknologi Warga  
Surakarta  
Jurusan Teknik Mesin  
haikal@sttw.ac.id

**Moch. Chamim**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Sekolah Tinggi Teknologi Warga  
Surakarta  
Jurusan Teknik Mesin  
chamim@sttw.ac.id

**Deni Andriyansyah**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Sekolah Tinggi Teknologi Warga  
Surakarta  
Jurusan Teknik Mesin  
andriyansyah.d@gmail.com

**Apri Wiyono**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Jurusan Teknik Mesin  
apri.wiyono@upi.edu

**Ario Sunar Baskoro**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Indonesia  
Jurusan Teknik Mesin  
ario@eng.ui.ac.id

**Isnarno**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Tunas Pembangunan  
Jurusan Teknik Sipil  
isnarno52@gmail.com

## PENINGKATAN KEDALAMAN PENETRASI LAS STAINLESS STEEL 304 DENGAN MEDAN MAGNET EKSTERNAL PADA PENGELASAN AUTOGENOUS TUNGSTEN INERT GAS WELDING

*In this study, research on the use of the External Magnetic Field method – Tungsten Inert Gas was done to determine the effect of welding arc compression on the quality of AISI 304 thin plate weld. 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. Moreover, the D/W ratio obtained under an external magnetic field was higher than without magnetic.*

**Keywords:** External Magnetic Field - Tungsten Inert Gas, Autogenous Weld, Arc Welding, Electromagnetic Field, Weld Bead

### 1. PENDAHULUAN

Pengelasan adalah metode penyambungan material yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur. Meskipun ini bukan ilmu baru, penelitian terkait pengelasan telah terus dilakukan untuk meningkatkan efektivitas dan kinerja proses pengelasan. Secara ilmiah, pengelasan didefinisikan sebagai proses penyambungan yang menghasilkan perpaduan dua bahan sejenis atau tak sejenis dengan memanaskannya hingga suhu pengelasan, dengan atau tanpa penerapan tekanan saja, dan dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi [1]. *Tungsten inert gas (TIG) welding* adalah suatu proses las untuk melelehkan dan menggabungkan logam dengan panas yang ditimbulkan oleh busur las dari *gap* antara elektroda tungsten tidak habis pakai (*non-consumable*) dan logam induk, dan juga dapat digunakan untuk mengelas sambungan tipe tumpul (*butt joint*) dari lembaran tipis hanya dengan fusi, yaitu, tanpa penambahan logam pengisi, yang dikenal sebagai *autogenous welding* [2].

Kedalaman penetrasi adalah salah satu faktor penting yang mana dapat menentukan hasil dari kualitas las [3, 4]. Semakin dalam penetrasi yang dihasilkan leh sambungan las maka akan menghasilkan kekuatan sambungan yang tinggi. Hal ini dapat diperoleh dengan cara meningkatkan masukan panas dengan menggunakan arus yang tinggi [5]. Namun demikian, pemanfaatan energi yang tinggi berdampak terhadap biaya produksi tinggi. Selain arus, penggunaan gas CO<sub>2</sub> sebagai gas pelindung dapat meningkatkan kedalaman penetrasi las. Hal ini dibuktikan oleh peneliti sebelumnya yaitu Lu dkk bahwa penambahan gas CO<sub>2</sub> dengan volume antara 0.092 sampai 10% volume pada gas pelindung Argon menghasilkan perubahan bentuk bentuk kolam las dan penetrasi yang sangat signifikan, dari yang berbentuk dangkal bawah-datar, bentuk silinder dalam ke bawah, dan juga seperti kawah bawah-datar. Namun demikian, penggunaan gas CO<sub>2</sub>

memiliki kelemahan diantaranya menghasilkan banyak percikan (*spatter*), sehingga produk yang dilas terdapat cacat produk secara visual.

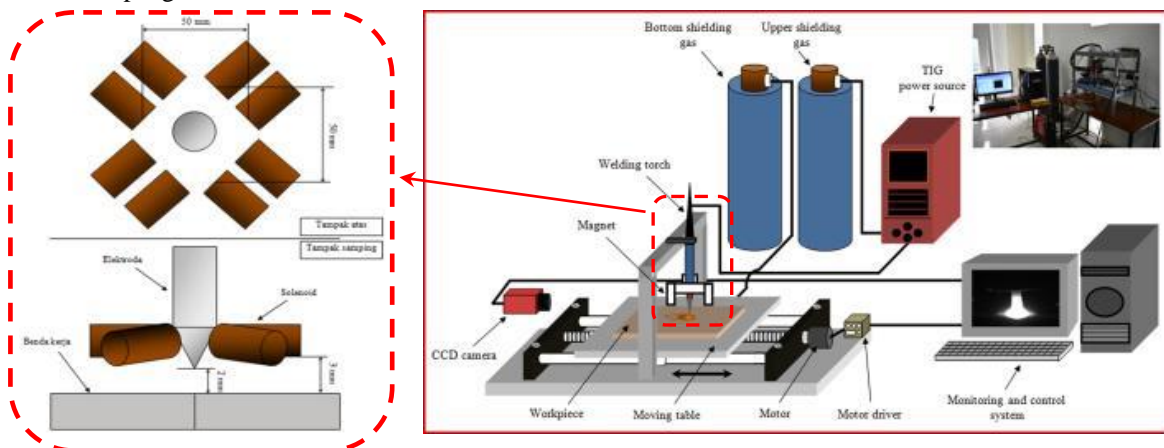
Dalam pengelasan busur, gaya elektromagnetik, gaya *bouyancy*, gaya tegangan permukaan, dan tegangan geser busur adalah faktor paling penting yang mempengaruhi transfer logam di kolam las [2, 6, 7]. Menerapkan medan magnet luar secara signifikan dapat mempengaruhi manik-manik las, terutama pada lebar las dan kedalaman penetrasi [8]. Selain itu, gaya elektromagnetik dapat memodifikasi bentuk dari manik las [9-11] dan struktur mikro las [12]. Nomura dkk [13] telah menyelidiki bahwa lebar manik manik yang lebih sempit dan penetrasi yang lebih dalam dapat diproduksi menggunakan pengelasan TIG dengan kontrol magnetik. Ketika medan magnet aksial diterapkan untuk pengelasan busur, bentuk busur berubah dan menghasilkan bentuk bel berongga [14-17]. Baskoro dkk [18] telah mempelajari efek medan magnet luar untuk pengelasan busur pada pengelasan TIG autogenous. Diketahui bahwa medan magnet dinamis dihasilkan oleh *solenoid system* yang terletak sedemikian rupa dapat menghasilkan penetrasi pengelasan yang lebih dalam daripada proses pengelasan konvensional. Sun dkk [19] menyelidiki bahwa menggunakan kutub magnet ganda dapat menghasilkan distribusi garis magnetik yang lebih seragam daripada kutub magnet tunggal konvensional. Oleh karena itu, bermanfaat untuk meningkatkan kepadatan fluks magnetik di area pengelasan. Baru-baru ini, Baskoro dkk [20] telah melakukan penelitian tentang pengaruh konfigurasi dari susunan magnet permanen dapat menghasilkan pola busur las yang berbeda-beda. Busur las dapat dibelokkan ke arah samping, belakang maupun depan sehingga menghasilkan bentuk penetrasi las yang berbeda satu sama lain.

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. Studi sebelumnya telah melakukan investigasi terkait pengaruh medan magnet eksternal baik secara statis maupun dinamis pada pengelasan TIG [10, 12, 13, 15-20], akan tetapi parameter las lainnya seperti pengaruh kecepatan pengelasan terhadap kemampuan medan magnet eksternal dalam mendapatkan busur las masih sedikit yang mengulasnya. Oleh karena itu, makalah ini mempelajari efek dari medan magnet eksternal dinamis yang diterapkan pada pengelasan TIG *autogenous* dengan kecepatan berbeda, dimensi lebar manik las, bentuk penetrasi las telah diselidiki.

## 2. METODE DAN BAHAN

Material yang digunakan dalam studi ini adalah baja tahan karat AISI 304 dengan ketebalan 2 dan 5 mm. Spesimen diotong ke dalam dimensi 150x50x2 mm untuk dilakukan pengukuran dimensi lebar manik las atas dan manik las bawah. Sedangkan dimensi 150x50x5 mm untuk mengamati bentuk dan rasio kedalaman dengan lebar manik las ( $D/W$ ). proses pengelasan menggunakan mesin las GeKaMac TIG 2200 AC/DC *pulse welding machine*. Gambar 1 menunjukkan skema dari proses pengelasan menggunakan solenoid sebagai pembangkit medan magnet eksternal. Pengelasan *autogenous* dilakukan dengan atau tanpa menggunakan medan magnet eksternal.

Komposisi kimia baja tahan karat yang digunakan diberikan pada tabel 1. Sebelum pengelasan, permukaan semua sampel dibersihkan menggunakan kertas abrasif 400 grit yang fleksibel dan setelah itu dibersihkan secara kimia dengan larutan aseton untuk menghilangkan kotoran pada permukaan. Kondisi pengelasan dan parameter proses yang digunakan dalam percobaan ini ditunjukkan pada tabel 2. Gambar 3 menunjukkan susunan *solenoid* pada sekeliling *torch*. Tiga sampel spesimen dengan ketebalan 3 mm dilakukan sesuai parameter pengelasan untuk uji visualisasi. Kemudian satu sampel dimensi ketebalan adalah 5 mm untuk pengamatan bentuk kolam las.



Gambar 1. Skema proses pengelasan autogenous EMF-TIG Welding [20].

**Tabel 1:** Komposisi kimia pelat AISI 304.

TIPE MATERIAL		% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Ni	% Cr
Stainless steel	SS 304	< 0.07	< 0.75	< 2.00	< 0.045	< 0.030	8.00 ~ 10.50	17.50 ~ 19.50

**Tabel 2:** Variasi arus dan proses pengelasan.

NO	ARUS LAS	KECEPATAN	PROSES PENGELASAN TIG
1	100 (A)	1,6 (mm/s)	Konvensional dan EMF-TIG
2	100 (A)	1,8 (mm/s)	Konvensional dan EMF-TIG
3	100 (A)	2,05 (mm/s)	Konvensional dan EMF-TIG
4	105 (A)	1,6 (mm/s)	Konvensional dan EMF-TIG
5	105 (A)	1,8 (mm/s)	Konvensional dan EMF-TIG
6	105 (A)	2,05 (mm/s)	Konvensional dan EMF-TIG
7	110 (A)	1,6 (mm/s)	Konvensional dan EMF-TIG
8	110 (A)	1,8 (mm/s)	Konvensional dan EMF-TIG
9	110 (A)	2,05 (mm/s)	Konvensional dan EMF-TIG

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Uji visualisasi pada pengelasan TIG konvensional

Arus dan kecepatan pengelasan merupakan parameter las yang sangat berpengaruh terhadap geometri hasil pengelasan TIG. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan las berdampak terhadap penurunan lebar manik atas. Sedangkan pada peningkatan arus las berpengaruh terhadap peningkatan lebar manik las atas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu J. Awali dkk [4] yang menyatakan bahwa input panas berkurang sepanjang dengan meningkatnya kecepatan pengelasan sehingga volume kolam las menjadi menurun.

Peningkatan kecepatan pengelasan memiliki pengaruh signifikan terhadap lebar manik las dibandingkan dengan kenaikan arus. Ini sesuai dengan rumus untuk menentukan besar *input* panas yang dihasilkan selama proses pengelasan yaitu  $H_{in} = \eta E I / V$ , dimana semakin tinggi kecepatan pengelasan maka semakin rendah *input* panas yang dihasilkan. Peningkatan arus pengelasan juga dapat berdampak pada peningkatan gaya elektromagnetik. Gaya ini akan mendorong logam lebur ke bawah sehingga membuat kolam las lebih dalam selama proses pengelasan [2].

Tabel 3 menunjukkan perbandingan lebar manik las pada proses pengelasan dengan atau tanpa penambahan medan magnet luar. Dalam pengelasan TIG konvensional, pengelasan dengan arus 100 A dan 105 A cenderung menghasilkan lebar manik las yang seragam di sepanjang jalur pengelasan. Namun demikian, lebar manik las jauh lebih seragam ketika arus las yang digunakan semakin tinggi yaitu 110 A. Itu terjadi dikarenakan penggunaan arus las yang rendah sangat rentan terhadap terjadinya defleksi pengelasan busur [18].

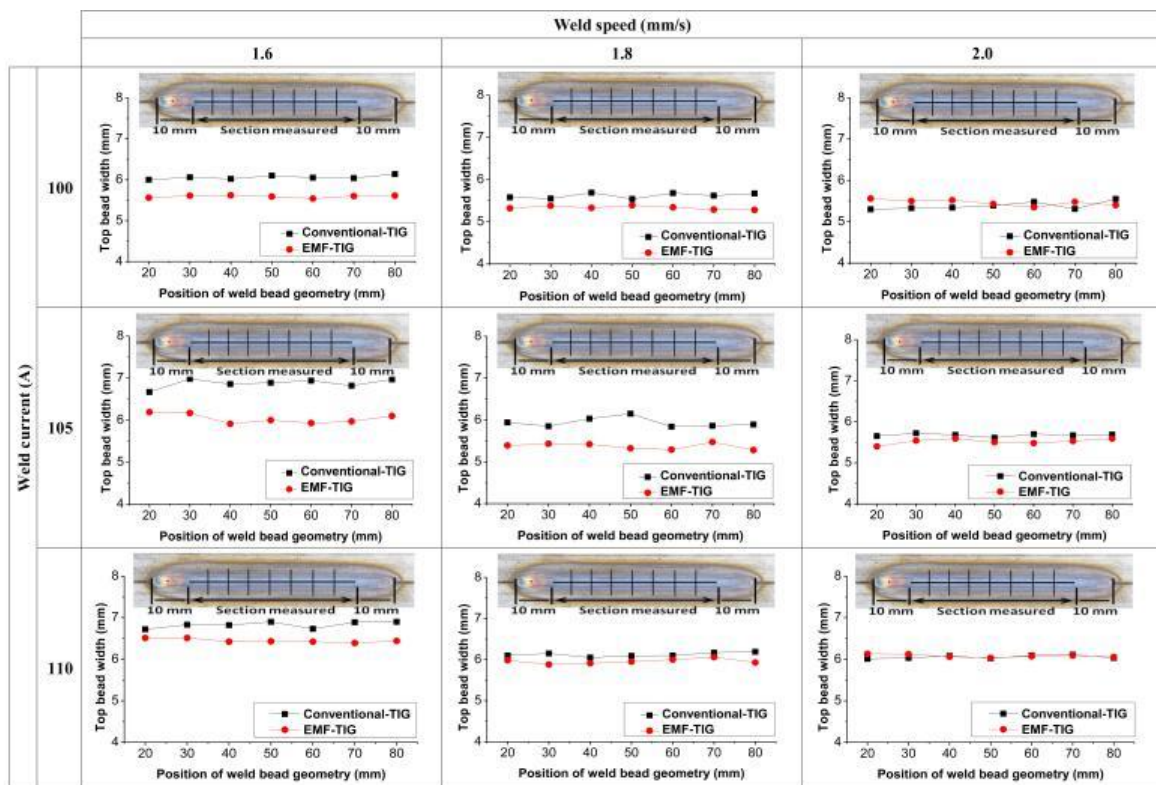
#### 3.2 Perbandingan lebar manik pada pengelasan TIG dengan dan tanpa medan magnet luar

Medan magnet luar yang diaktifkan secara dinamis dan tersusun dalam bentuk kompleks mampu memampatkan busur pengelasan. Ini dibuktikan dengan terjadinya penurunan lebar manik las bagian atas

pada EMF-TIG dibandingkan dengan pengelasan TIG konvensional (Terlihat pada Gambar 3). Akan tetapi, kemampuan medan magnet eksternal untuk mengompresi busur pengelasan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kecepatan pengelasan (Lihat pada Tabel 3).

**Tabel 3:** Lebar manik las atas pada Konvensional TIG dan EMF-TIG.

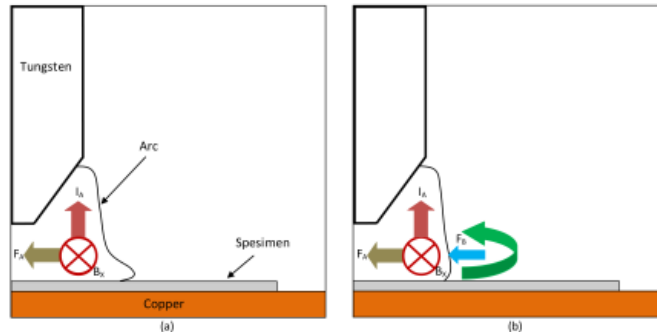
ARUS LAS	KECEPATAN LAS	KONVENSIONAL TIG		EMF-TIG	
		RERATA LEBAR MANIK ATAS	DEVIASI	LRARATA EBAR MANIK BAWAH	DEVIASI
100 (A)	1,6 mm/s	6,06 mm	0,05	5,59 mm	0,03
100 (A)	1,8 mm/s	5,62 mm	0,06	5,53 mm	0,04
100 (A)	2,05 mm/s	5,39 mm	0,10	5,46 mm	0,07
105 (A)	1,6 mm/s	6,88 mm	0,11	6,04 mm	0,11
105 (A)	1,8 mm/s	5,94 mm	0,11	5,37 mm	0,07
105 (A)	2,05 mm/s	5,67 mm	0,04	5,52 mm	0,07
110 (A)	1,6 mm/s	6,83 mm	0,08	6,54 mm	0,05
110 (A)	1,8 mm/s	6,12 mm	0,05	5,96 mm	0,06
110 (A)	2,05 mm/s	6,05 mm	0,04	6,08 mm	0,04



**Gambar 3:** Perbandingan hasil pengukuran lebar manik las atas pada proses pengelasan konvensional TIG dan EMF-TIG untuk semua parameter las.

Skema pembentukan busur plasma ketika proses pengelasan dengan atau tanpa medan magnet luar dapat ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 4 (a) menunjukkan adanya medan magnet internal yang terbentuk dalam gerakan berlawanan arah jarum jam selama proses pengelasan TIG konvensional. Pertemuan antara arus lasan dan medan magnet internal menghasilkan gaya elektromagnetik yang mengarah ke bagian tengah busur. Penambahan medan magnet eksternal dapat menghasilkan gaya elektromagnetik yang lebih besar sehingga busur pengelasan dapat dikompresi seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (b).

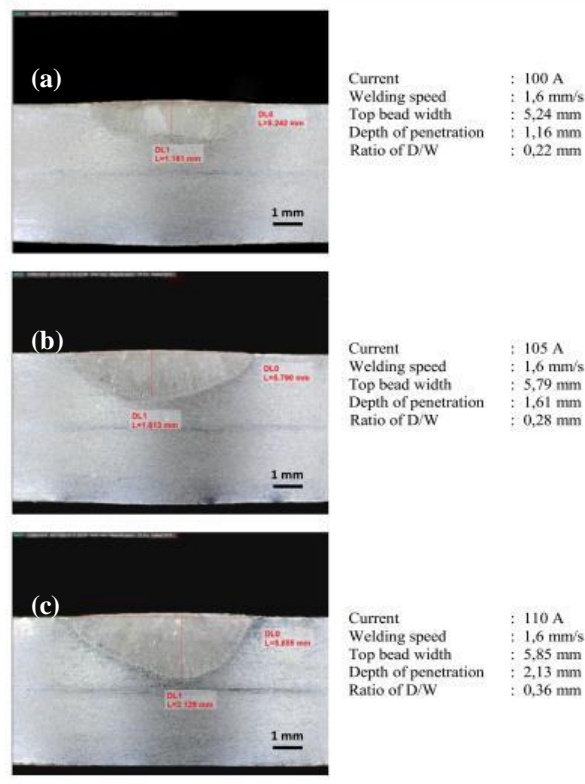
Lebar manik atas untuk kecepatan 2 mm/s memiliki ukuran yang lebih luas dibandingkan kecepatan 1,6 dan 1,8 mm/s pada pengelasan EMF-TIG. Ini karena kemampuan medan magnet luar dalam mengompresi busur las berkurang ketika kecepatan pengelasan yang digunakan cukup tinggi. Parameter pengelasan dengan arus 105 A memiliki efek kompresi yang lebih besar daripada arus 110 A. Itu terjadi karena kekakuan busur pengelasan sangat dipengaruhi oleh besarnya arus pengelasan. Kekakuan busur las meningkat seiring dengan meningkatnya arus pengelasan sehingga dampak EMF pada busur pengelasan menjadi berkurang [17, 18].



**Gambar 4:** Skema medan magnet yang bekerja pada busur las selama proses pengelasan: a. Konvensional TIG, b. EMF-TIG.

### 3.3 Bentuk geometri lasan Konvensional dan EMF-TIG

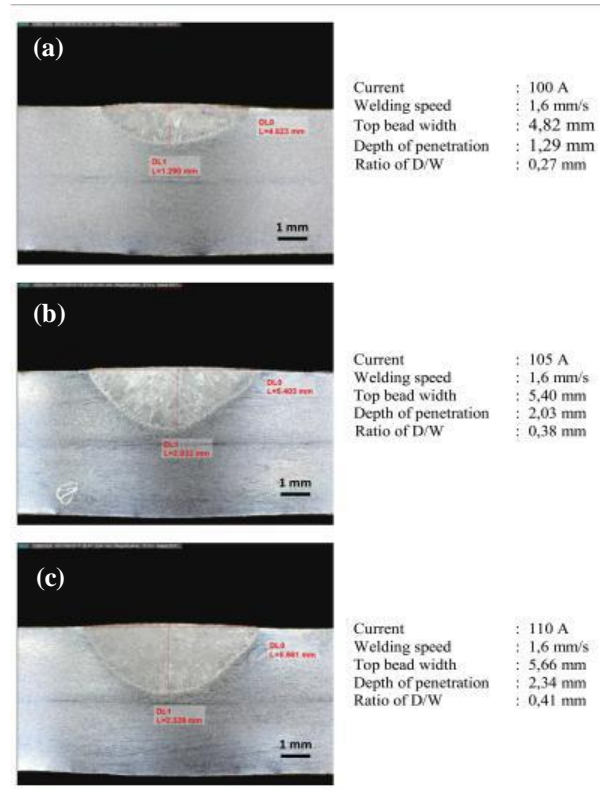
Gambar 5 menunjukkan foto makro hasil dari spesimen yang dilas menggunakan TIG konvensional pada arus 105-110 A dengan kecepatan perjalanan 1,6 mm/s. Peningkatan arus pengelasan berdampak pada semakin dalamnya penetrasi lasan. Fenomena ini terjadi karena *input* panas yang dihasilkan lebih tinggi disertai gaya tekanan besar menggerakkan aliran fluida kolom las ke arah bawah [2]. Besarnya *input* panas selama proses pengelasan masing-masing adalah 0,656 kJ/mm, 0,613 kJ/mm, dan 0,578 kJ/mm.



**Gambar 5:** Bentuk geometri dari kolom las hasil las konvensional TIG: (a) Arus las 100 A, (b) Arus las 105 A, dan (c) Arus las 110 A.

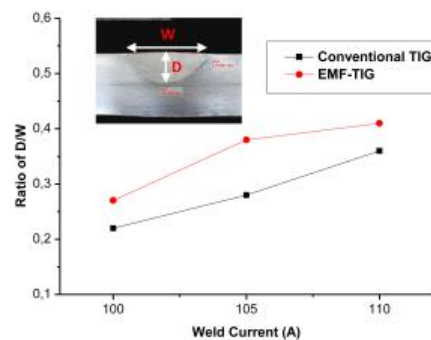
Penelitian sebelumnya yaitu H. Eisazadeh dkk [2] mengatakan bahwa proses pengelasan TIG baik

pengelasan *autogenous* maupun pengelasan *non-autogenous*, terdapat 4 macam gaya penggerak untuk aliran fluida antara lain gaya apung, gaya lorentz, gaya marangoni, dan gaya tegangan geser yang bertindak di permukaan kolam plasma busur. Ketika arus meningkat, gaya lorentz yang dihasilkan juga akan meningkat. Ketika logam dasar mengalami peleburan di sepanjang sumbu kolam, gaya lorentz dihasilkan oleh pertemuan tegak lurus antara arus busur dan medan magnet akan mendorong cairan ke bawah di sepanjang sumbu kolam dan membuat kolam las lebih dalam [4].



**Gambar 6:** Bentuk geometri dari kolam las hasil las EMF-TIG: (a) Arus las 100 A, (b) Arus las 105 A, dan (a) Arus las 110 A.

Proses pengelasan dengan penambahan medan magnet menghasilkan bentuk manik las yang lebih sempit dan penetrasi las lebih dalam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Penyempitan lebar manik las disebabkan oleh adanya gaya lorentz eksternal yang membuat jari-jari busur las mengalami penyusutan. Dengan demikian, panas yang dihasilkan oleh busur pengelasan akan meningkat. Gambar 7 menunjukkan rasio lebar manik las dengan kedalaman penetrasi. Kedalaman penetrasi yang dihasilkan oleh EMF-TIG berkurang ketika arus las yang digunakan dalam proses pengelasan adalah 110 A. Ini dikarenakan *input* panas yang dihasilkan pada arus 110 A terlalu besar sehingga kemampuan EMF untuk kompresi busur las menjadi menjadi berkurang.



**Gambar 7:** Rasio antara lebar manik las atas dengan kedalaman penetrasi las.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari makalah ini dapat ditarik sebagai berikut:

1. EMF-TIG dengan pengaktifan secara dinamis dapat menghasilkan lebar manik yang lebih seragam di sepanjang garis 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; 2,05 mm/s menghasilkan pemampatan lebar manik atas berturut-turut sebesar 0,87; 0,61; 0,1 mm.
3. Struktur makro area las menunjukkan bahwa bentuk manik las yang lebih sempit dan penetrasi las yang lebih dalam telah dihasilkan menggunakan medan magnet eksternal.
4. Rasio D/W tertinggi terjadi pada arus pengelasan 105 A didapat pada proses pengelasan EMF-TIG dibandingkan dengan TIG Konvensional.

#### 5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ario Sunar Baskoro S.T., M.T., M.Eng dan segenap tim laboratorium riset MRC Universitas Indonesia yang telah mendukung penelitian ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. TURAN, T. KOÇAL, and K. ÜNLÜGENÇOĞLU, "Welding technologies in shipbuilding industry," *The Online Journal of Science and Technology*, vol. 1, pp. 24-31, 2011.
- [2] H. EISAZADEH, D. J. HAINES, and M. TORABIZADEH, "Effects of gravity on mechanical properties of GTA welded joints," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 214, pp. 1136-1142, 2014.
- [3] F. GAPSARI and D. H. SULISTYORINI, "Optimasi Kualitas Hasil Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) Baja ASTM 283 Grade A dengan RSM (Response Surface Methodology)," *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Brawijaya*, vol. 2, p. 130667, 2012.
- [4] J. AWALI, Y. S. IRAWAN, and M. A. CHOIRON, "Pengaruh kuat arus pengelasan dua layer dengan metode GTAW dan SMAW terhadap kekuatan tarik pada plat ASTM A 36," *Rekayasa Mesin*, vol. 5, pp. 107-112, 2014.
- [5] H. WIBOWO, M. N. ILMAN, and P. T. ISWANTO, "Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36," *Rekayasa Mesin*, vol. 7, pp. 5-12, 2016.
- [6] D. K. AIDUN, S. A. MARTIN, and J. J. DOMEY, "The effect of gravity on the weld pool shape in stainless steel," in *Centrifugal Materials Processing*, ed: Springer, 1997, pp. 177-182.
- [7] S. KOU and D. SUN, "Fluid flow and weld penetration in stationary arc welds," *Metallurgical Transactions A*, vol. 16, pp. 203-213, 1985.
- [8] M. MALINOWSKI-BRODNICKA, G. DEN OUDEN, and W. VINK, "Effect of electromagnetic stirring on GTA welds in austenitic stainless steel," *Welding journal*, vol. 2, pp. 52s-59s, 1990.
- [9] M. BACHMANN, V. AVILOV, A. GUMENYUK, and M. RETHMEIER, "Experimental and numerical investigation of an electromagnetic weld pool support system for high power laser beam welding of austenitic stainless steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 214, pp. 578-591, 2014.
- [10] Y. LI, C. WU, L. WANG, and J. GAO, "Analysis of additional electromagnetic force for mitigating the humping bead in high-speed gas metal arc welding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 229, pp. 207-215, 2016.
- [11] Z. TANG and M. GATZEN, "Influence on the dilution by laser welding of aluminum with magnetic stirring," *Physics Procedia*, vol. 5, pp. 125-137, 2010.
- [12] R. CHEN, C. WANG, P. JIANG, X. SHAO, Z. ZHAO, Z. GAO, ET AL., "Effect of axial magnetic field in the laser beam welding of stainless steel to aluminum alloy," *Materials & Design*, vol. 109, pp. 146-152, 2016.
- [13] K. NOMURA, Y. OGINO, T. HAGA, and Y. HIRATA, "Influence of magnet configurations on magnetic controlled TIG arc welding," *Transactions of JWRI*, vol. 39, pp. 209-210, 2010.
- [14] T. CHEN, Z. XIAONING, B. BAI, Z. XU, C. WANG, and W. XIA, "Numerical study of DC argon arc with axial magnetic fields," *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, vol. 35, pp. 61-74, 2015.
- [15] L.-C. LI, B. BAI, Z.-P. ZHOU, and W.-D. XIA, "Axial magnetic-field effects on an argon arc between pin and plate electrodes at atmospheric pressure," *IEEE transactions on plasma science*, vol. 36, pp. 1078-1079, 2008.
- [16] L. LIN-CUN and X. WEI-DONG, "Effect of an axial magnetic field on a DC argon arc," *Chinese Physics B*, vol. 17, p. 649, 2008.
- [17] L. ZHONGQIN, L. YONGBING, W. YASHENG, and C. GUANLONG, "Numerical analysis of a

- moving gas tungsten arc weld pool with an external longitudinal magnetic field applied," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 27, pp. 288-295, 2005.
- [18] A. S. BASKORO, S. FRISMAN, A. YOGI, and W. WINARTO, "Improvement of tungsten inert gas (TIG) welding penetration using the effect of electromagnetic field," in *Applied Mechanics and Materials*, 2014, pp. 558-563.
- [19] Q. SUN, J. WANG, C. CAI, Q. LI, and J. FENG, "Optimization of magnetic arc oscillation system by using double magnetic pole to TIG narrow gap welding," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 86, pp. 761-767, 2016.
- [20] A. S. BASKORO, A. FAUZHAN, H. BASALAMAH, G. KISWANTO, and W. WINARTO, "Improving weld penetration by employing of magnetic poles' configurations to an autogenous tungsten inert gas (TIG) welding," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 99, pp. 1603-1613, 2018.