

Karakterisasi Struktur Mikro dan Kekerasan Hasil Pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) dan *Friction Stir Welding* (FSW) Baja St 37

Sulardjaka*, Deni Fajar Fitriyana, Norman Iskandar, D. I. Mubarok
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH. Tembalang, Semarang
*Email: sulardjaka@undip.ac.id

Abstract

Microhardness distribution and microstructure of St 37 of Shield Metal Arc Welding (SMAW) and Friction Stir Welding (FSW) have been investigated. SMAW processes were done in 0.2 cm/s, 0.4 cm/s and 0.7 cm/s with welding current variation of: 60 A, 80 A and 100 A. FSW was done in variation of rotation tool of shoulder 1500 and 2000 rpm. Microhardness Vickers tests have been conducted on each specimen variation. The results show that the SMAW welding process highest of average hardness is about 284.9 HV on 0.7 cm/s welding speed and 60 A welding current. Highest average hardness of FSW is about 240.7 HV at 1500 rpm tools rotation. Lower of current and higher welding speed on SMAW and lower rotation of pin on FSW give higher hardness of welded joint.

Keyword: *Friction Stir Welding (FSW), hardness, Shield Metal Arc Welding (SMAW), microstructure*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti distribusi kekerasan mikro pada hasil pengelasan baja St 37 dengan metode pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) dan *Friction Stir Welding* (FSW). Pengelasan SMAW dilakukan dengan kecepatan pengelasan: 0,2 cm/det, 0,4 cm/det dan 0,7 cm/det dengan variasi arus pengelasan 60 A, 80 A dan 100 A. Pengelasan dengan FSW dilakukan dengan variasi kecepatan rotasi *pin* 1500 rpm dan 2000 rpm dengan kecepatan pengelasan 4 cm/menit. Pengujian kekerasan mikro dilakukan dengan metode *microhardness Vicker*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan rata – rata terbesar spesimen pengelasan SMAW terdapat pada arus 60 A kecepatan pengelasan 0,7 mm/detik bernilai 284,9 HV. Hasil kekerasan rata – rata terbesar spesimen pengelasan FSW terdapat pada kecepatan putar *pin* 1500 rpm bernilai 240,7 HV. Semakin rendah arus listrik yang digunakan, semakin tinggi kecepatan pengelasan, dan semakin rendah kecepatan putar *pin* maka akan semakin besar nilai kekerasannya.

Kata kunci: *Friction Stir Welding (FSW), Kekerasan, Shield Metal Arc Welding (SMAW), Struktur Mikro*

1. Pendahuluan

Pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang disambung hingga temperatur las yang dilakukan secara, dengan atau tanpa tekanan, hanya dengan tekanan atau dengan tanpa menggunakan pengisi (*filler*) [1]. Metode pengelasan merupakan metode penyambungan yang banyak dipakai dalam aplikasi karena metode ini ekonomis, ringan, cepat dan memiliki fleksibilitas dalam desain [2,3].

Metode pengelasan yang banyak digunakan adalah metode pengelasan fusi. Metode fusi dilakukan dengan melelehkan sebagian logam, sehingga saat logam cair tersebut membeku, kedua logam bisa tersambung. Metode pengelasan dengan metode fusi memiliki kelemahan, yaitu terbentuknya tegangan sisa, adanya distorsi, atau timbulnya retakan atau *void* pada sambungan [3]. Untuk mengatasi kelemahan pada pengelasan fusi, pada tahun 1996 dikembangkan metode *friction stir welding* (FSW). Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) [4]. Temperatur pengelasan FSW tidak terlalu tinggi, sehingga tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. Pengelasan dengan metode FSW membutuhkan energi yang lebih sedikit, jika dibandingkan dengan pengelasan metode pengelasan fusi (*gas metal arc welding*) [5].

Pada pengelasan SMAW, penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila kuat arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan manik - manik las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam [6]. Kecepatan pengelasan juga berpengaruh pada nilai kekerasan dan struktur mikro dari spesimen uji. Kecepatan las yang tinggi dapat menyebabkan kurangnya penetrasi, berkurangnya kekuatan sambungan dan mengakibatkan masukan panas yang diterima per satuan panjang akan menjadi lebih kecil. Hal ini dapat berdampak pada pendinginan yang cepat sehingga dapat memperkeras daerah yang terpengaruh panas [6-9]. Kecepatan putaran *tool shoulder* pada pengelasan FSW mempengaruhi kekuatan tarik hasil pengelasan [10-11].

Penelitian ini meneliti distribusi kekerasan mikro pada hasil pengelasan SMAW dan FSW baja St 37. Pengelasan SMAW dilakukan dengan variasi kecepatan pengelasan dan arus pengelasan. Pengelasan FSW dilakukan dengan variasi kecepatan putaran 1500 rpm dan 2000 rpm dengan kecepatan pengelasan 4 cm/menit.

2. Material dan Metode Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian adalah plat baja St 37. Ukuran benda kerja pengelasan adalah panjang 250 mm, lebar 50 mm, dan tebal 3 mm. Elektroda yang digunakan untuk pengelasan SMAW berjenis E7016 dengan diameter 2,4 mm. *Tool shoulder* yang digunakan untuk pengelasan FSW terbuat dari bahan tungsten karbida.

Pengelasan SMAW dilakukan dengan variasi arus pengelasan yang digunakan adalah 60 A, 80 A, dan 100 A. Kecepatan pengelasan SMAW bervariasi: 0,2 mm/det, 0,4 mm/det dan 0,7 mm/det. Pengelasan FSW dilakukan dengan menggunakan mesin CNC milling. *Shoulder* yang dipakai terbuat dari tungsten karbida dengan ukuran 50 mm x 16 mm. *Pin shoulder* berbentuk kerucut tinggi 2,8 mm, diameter pangkal pin sebesar 6 mm dan diameter ujung 2. Proses pengelasan FSW dilakukan dengan variasi kecepatan rotasi pengelasan sebesar 1500 rpm dan 2000 rpm. Jenis sambungan pengelasan adalah sambungan tumpul (*butt joint*). Pengujian kekerasan mikro yang dilakukan adalah kekerasan mikro Vickers dengan metode pengujian mengacu pada standar ASTM E92.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 menunjukkan besarnya masukan panas (*heat input*) pada proses pengelasan. *Heat input* ini proses pengelasan SMAW, merupakan hasil dari perhitungan berdasarkan persamaan 1 [12].

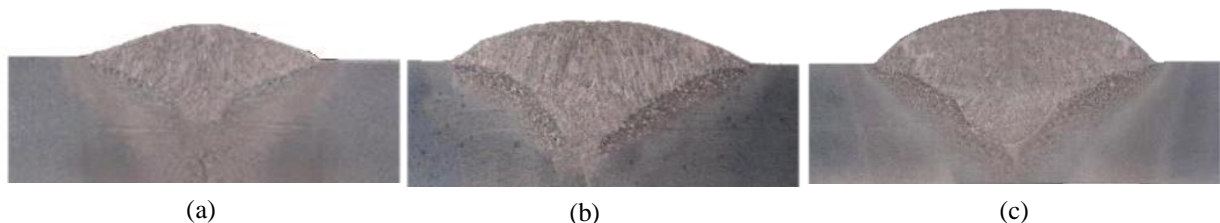
$$q = \frac{V.I.\eta.60}{s.1000} \tag{1}$$

dimana:

- q* : masukan panas (kJ/mm)
- V* : tegangan (Volt)
- I* : arus (ampere)
- η* : efisiensi
- s* : kecepatan pengelasan (mm/menit)

Tabel 1. Nilai *heat input* proses pengelasan SMAW

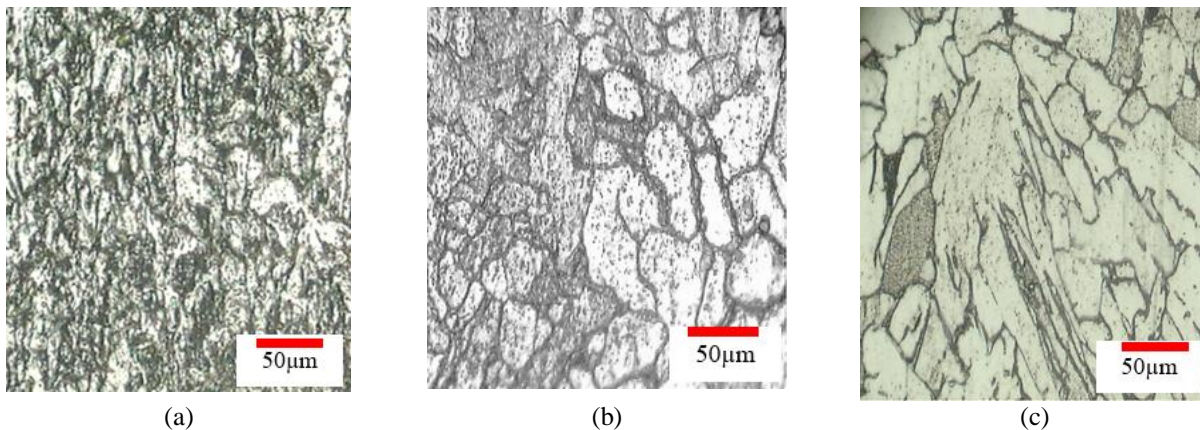
No. Spesimen	Arus listrik (A)	Kecepatan pengelasan (mm/detik)	H (kJ/mm)
1.	60	7	1,97
2.	60	4	3,45
3.	60	2	6,90
4.	80	7	2,62
5.	80	4	4,60
6.	80	2	9,20
7.	100	7	3,28
8.	100	4	5,75
9.	100	2	11,50



Gambar 1. Struktur makro tanpa perbesaran pada spesimen dengan masukan panas, (a) 1,97 kJ/mm (b) 4,60 kJ/mm (c) 11,50 kJ/mm

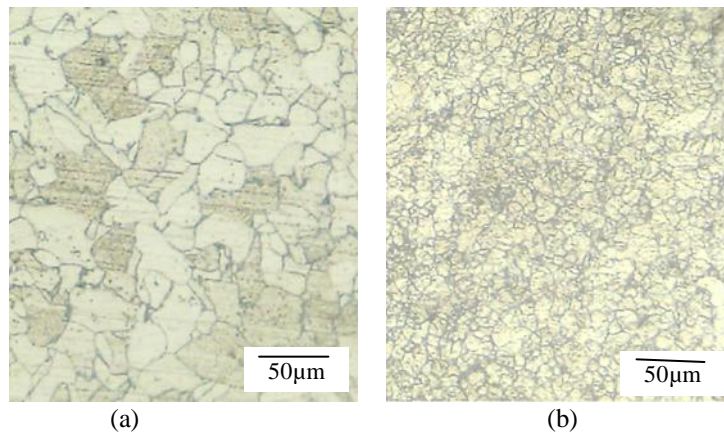
Hasil perhitungan nilai masukan panas (Tabel 1) menunjukkan bahwa pengelasan dengan arus listrik 60 A dan kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik (7 mm/detik) memiliki masukan panas yang kecil. Spesimen dengan arus listrik 100 A dan kecepatan pengelasan 0,2 cm/detik (2 mm/detik) memiliki masukan panas terbesar yaitu 11,5 kJ/mm. Terdapat dua spesimen yang memiliki heat input yang hampir sama yaitu spesimen dengan arus listrik 60 A kecepatan pengelasan 0,4 cm/detik (4 mm/detik) dan spesimen dengan arus listrik 100 A kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik (7 mm/detik). Foto makro hasil pengelasan dengan 3 parameter masukan panas yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 1.

Foto tersebut menunjukkan nilai masukan panas terkecil yaitu 1,97 kJ/mm, menghasilkan luasan zona pengelasan terkecil dengan penetrasi yang dangkal (Gambar 1.a). Semakin besar masukan panas, luasan daerah las akan semakin besar dan kedalaman penetrasi juga akan semakin dalam [6,7,13].



Gambar 2. Struktur mikro daerah HAZ pada hasil pengelasan SMAW dengan masukan panas, (a) 1,97 kJ/mm (b) 4,60 kJ/mm (c) 11,50 kJ/mm

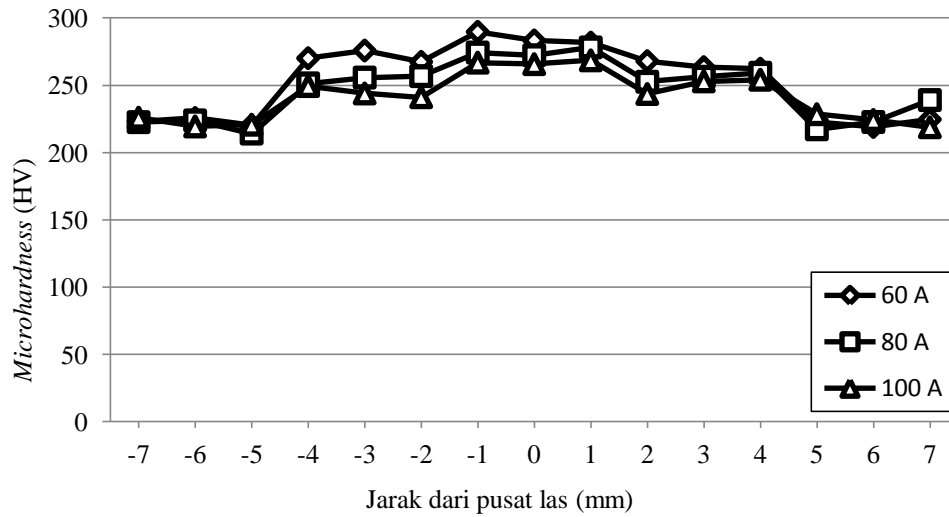
Gambar 2 menunjukkan struktur mikro daerah HAZ pada hasil pengelasan SMAW dengan masukan panas (a) 1,97 kJ/mm (b) 4,60 kJ/mm (c) 11,50 kJ/mm. Heat input berperan besar dalam perubahan struktur mikro pada daerah terpengaruh panas (HAZ). Foto pada Gambar 2 menunjukkan, semakin tinggi masukan panas pengelasan, maka semakin ukuran butir daerah HAZ juga semakin besar. Struktur mikro daerah HAZ hasil pengelasan SMAW, dipengaruhi oleh arus pengelasan dan kecepatan pengelasan. Arus listrik pengelasan berpengaruh langsung pada penetrasi logam las, bentuk manik las, dan dilusi atau pencampuran. Arus las makin besar dapat memperdalam penetrasi logam las dan juga memperlebar HAZ [12, 14].



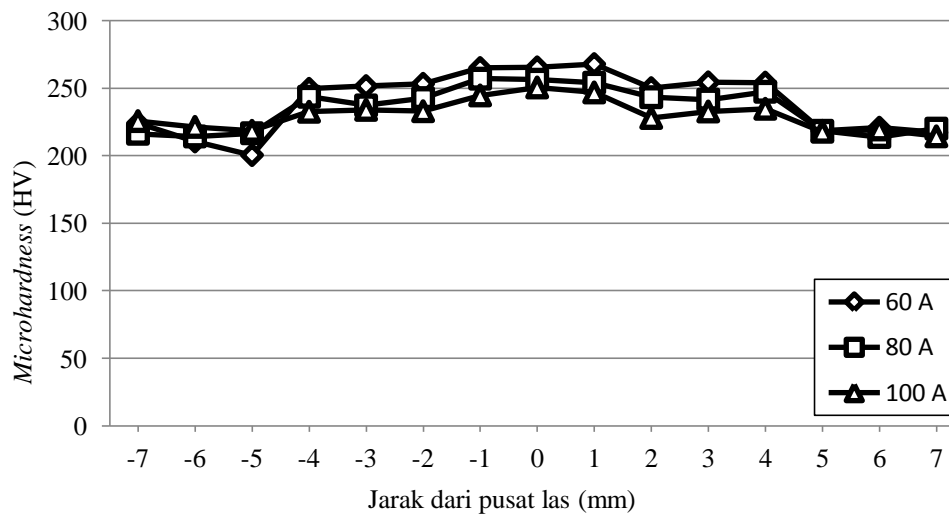
Gambar 3. Struktur mikro HAZ hasil pengelasan FSW, (a) kecepatan putar *tool* 2000 rpm (b) kecepatan putar *tool* 1500 rpm

Struktur mikro daerah HAZ hasil pengelasan FSW ditunjukkan pada Gambar 3. Pada FSW putaran *shouldered pin tool* berpengaruh pada suhu yang dihasilkan, semakin cepat berotasi maka semakin meningkat pula suhu pengelasan. Akibat dari meningkatnya suhu pengelasan, maka semakin meningkat pula pertumbuhan butir dan persebaran material pada daerah pengelasan [10].

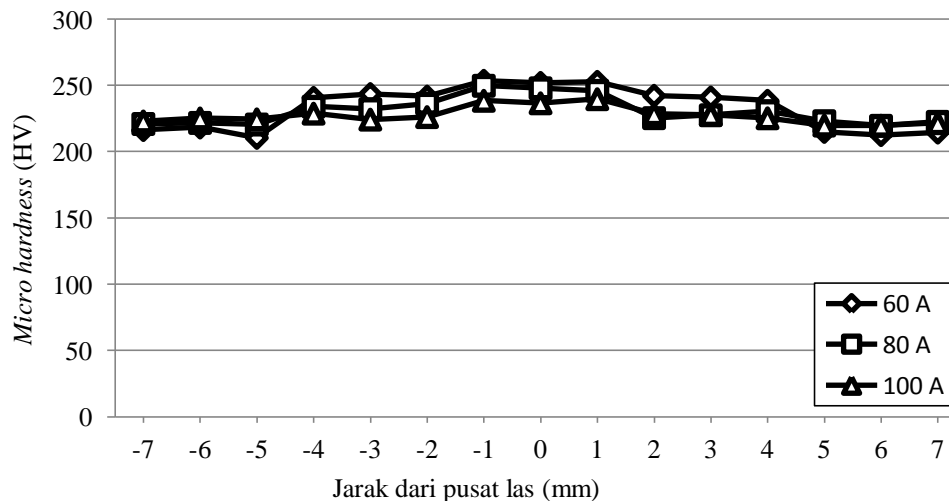
Grafik hasil uji kekerasan pada pengelasan SMAW dengan kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik, 0,4 cm/detik, dan 0,2 cm/detik secara berurutan ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6. Ketiga grafik merupakan perbandingan nilai kekerasan spesimen SMAW dengan variasi arus listrik. Gambar 4 mempunyai nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 60 A kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik. Nilai kekerasan rata – rata pada daerah logam lasnya adalah 284,9 HV dan nilai kekerasan rata – rata pada daerah HAZ nya adalah 267,8 HV. Gambar 5 mempunyai nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 60 A kecepatan pengelasan 0,4 cm/detik. Nilai kekerasan rata – rata pada daerah logam lasnya adalah 266 HV dan nilai kekerasan rata – rata pada daerah HAZ nya adalah 252,1 HV. Gambar 6 mempunyai nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 60 A kecepatan pengelasan 0,2 cm/detik. Nilai kekerasan rata – rata pada daerah *weld metal*-nya adalah 252,8 HV dan nilai kekerasan rata – rata pada daerah HAZ nya adalah 241,3 HV. Semakin kecil arus listrik yang digunakan maka *heat input* kecil namun laju pendinginan dari spesimen tersebut semakin cepat sehingga dapat membuat nilai kekerasan daerah logam las maupun HAZ semakin besar [14].



Gambar 4. Grafik nilai kekerasan pada pengelasan SMAW dengan kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik



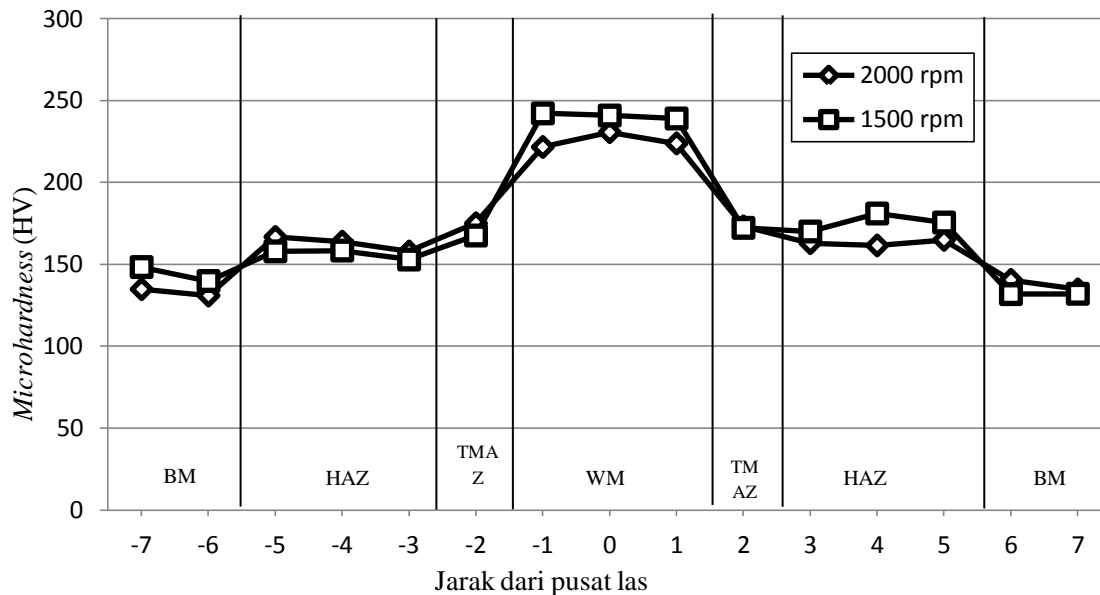
Gambar 5. Grafik nilai kekerasan pada pengelasan SMAW dengan kecepatan pengelasan 0,4 cm/detik



Gambar 6. Grafik nilai kekerasan pada pengelasan SMAW dengan kecepatan pengelasan 0,2 cm/detik

Gambar 7 menunjukkan grafik distribusi kekerasan pada hasil pengelasan FSW. Grafik tersebut menunjukkan nilai kekerasan dari spesimen FSW dengan kecepatan putar *pin* 1500 rpm dan 2000 rpm. Pada kecepatan *pin* 1500 rpm, nilai kekerasan logam lasnya (240,7 HV) lebih tinggi dibanding 2000 rpm karena *cooling rate* nya lebih besar dari 2000 rpm

sehingga nilai kekerasannya semakin besar. Nilai kekerasan HAZ pada kecepatan pin 1500 rpm lebih tinggi daripada 2000 rpm dengan nilai kekerasan 165,9 HV. Nilai kekerasan logam las spesimen FSW ini hampir sama dengan nilai kekerasan pada spesimen SMAW dengan arus listrik 100 A dan kecepatan pengelasan 0,2 cm/detik. Nilai kekerasan spesimen SMAW rata – rata mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen FSW. Hal tersebut disebabkan karena beberapa faktor berupa adanya perbedaan dalam metode pengelasan dan panas yang diterima (*heat input*) sehingga memiliki struktur mikro yang berbeda pula [10].



Gambar 7. Grafik nilai kekerasan pada pengelasan FSW

4. Kesimpulan

Pada metode SMAW, arus las semakin besar dapat memperdalam penetrasi logam las dan memperlebar HAZ dan *weld metal*. Kecepatan pengelasan semakin cepat dapat memperkecil ukuran butir pada HAZ dan *weld metal*. Semakin tinggi arus listrik maka semakin kecil nilai kekerasan baja St 37. Semakin tinggi kecepatan pengelasan maka semakin besar nilai kekerasan baja St 37. Pada metode FSW, struktur mikro daerah HAZ dan logam las terbesar pada kecepatan *pin* 2000. Struktur mikro daerah HAZ dan logam las pada pengelasan FSW terlihat lebih rapi dibandingkan dengan pengelasan SMAW. Semakin tinggi kecepatan putaran *pin* maka semakin kecil nilai kekerasan baja St 37. Pengelasan SMAW dengan arus 60 A dan 80 A mempunyai nilai kekerasan logam las dan HAZ lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen pengelasan FSW dengan kecepatan putaran *pin* 1500 rpm dan 2000 rpm.

Referensi

- [1] American Society for Metal Handbook, 1993, "Welding Brazing and Soldering".
- [2] Armentani, E., Esposito, R., Sepe, R. (2007). *The effect of thermal properties and weld efficiency on residual stresses in welding*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 20, No. 1-2, 319-322.
- [3] Cary, Howard B., 1989, Modern Welding Technology, Prentice Hall, New Jersey.
- [4] Dawes, C.T. dan Thomas, W.M., 1996, Friction Stir Process Weld Aluminum Alloy: A New Friction Welding Technique Allows Easy Welding of Normally Difficult – to – Joint Materials, Welding Journal 75: 41.
- [5] Shrivastava, A., Manuela Kronos, M., dan Pfefferkorn, F.E., 2015, Comparison of energy consumption and environmental impact of friction stir welding and gas metal arc welding for aluminum, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2014.10.001>
- [6] Rathi, V. dan Hunny, 2015, Analyzing the Effect of Parameters on SMAW Process, *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, Vol: 4(6), pp: 16 – 21.
- [7] Hasrizam, W.S., 2015, "Effect of Welding Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties at Coarse Grain Heat Affected Zone of ABS Grade A Steel," ARP Journal vol.10.
- [8] Mizhar, S., 2014, "Pengaruh Masukan Panas Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan pada Pengelasan SMAW dari Pipa Baja Diameter 2,5 Inchi," Jurnal dinamis, Vol. 2.
- [9] Talabi, S.I., Owolabi, O.B., Adebisi, J.A., Yahaya, T., 2014, Effect of welding variables on mechanical properties of low carbon steel welded joint, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol: 9(4), pp: 181 – 186
- [10] Trimble, D., O'Donnell, G. E., Monaghan, J. 2014 *Characterisation of Tool Shape and Roational Speed For Increased Speed During Friction Stir Welding of AA2024-T3*. India: Elsevier Ltd Ireland.

- [11] Sulardjaka, D.F. Fitriyana, A. Budiman, 2017, Kajian Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Shield Metal Arc Welding dan Friction Stir Welding Baja Karbon St 37, ROTASI – Vol. 19(4), pp: 193–200.
- [12] A. Kumar, S.S. Gautam dan A. Kumar, 2014, Heat Input & Joint Efficiency of Three Welding Processes Tig, Mig and Fsw using AA6061, Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res., pp: 89 – 94.
- [13] Shahinfar, A., Eftekhar, A.H., dan Eskandari, H., 2015, “*Microstructural Comparison of Friction Stir Weldment and Shielded Metal Arc Welding in API-X65 Pipe Line,*” Journal of Academic and Applied Studies, Vol: 5 pp.1-3.
- [14] Sonawan, H. dan R. Suratman, 2003, “Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam,” Bandung: Alfabeta.