

Kajian Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan *Shield Metal Arc Welding* dan *Friction Stir Welding* Baja Karbon St 37

*Sulardjaka, D.F. Fitriyana, A. Budiman

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH. Tembalang, Semarang

*sulardjaka@undip.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti kekuatan tarik, hasil pengelasan *shield metal arc welding* (SMAW) dan *friction stir welding* (FSW) baja St 37. Pada penelitian ini, pengelasan SMAW dilakukan dengan variasi kecepatan pengelasan dan arus pengelasan. Pengelasan SMAW menggunakan elektroda E7016 dengan variasi arus pengelasan: 60 A, 80A, dan 100 A, serta variasi kecepatan pengelasan: 0,2 cm/detik, 0,4 cm/detik dan 0,7 cm/detik. Pengelasan FSW dilakukan dengan menggunakan mesin freis CNC pada variasi kecepatan putaran pahat: 1500 rpm dan 2000 rpm. Pengujian tarik dilakukan sesuai standar ASM E8/E8M – 09. Hasil pengujian tarik menunjukkan, nilai kekuatan tarik tertinggi pengelasan SMAW dihasilkan dari pengelasan dengan arus 60 A dan kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik, yaitu sebesar 373 MPa. Pengelasan dengan parameter pengelasan ini, menghasilkan sambungan dengan nilai elongasi sebesar 1,54%. Pengelasan FSW dengan kecepatan putaran pahat 2000 rpm, menghasilkan kekuatan tarik sebesar 350 MPa dan nilai elongasi nya 25,3%.

Kata kunci: *Friction Stir Welding* (FSW), Kekuatan tarik, *Shield Metal Arc Welding* (SMAW), Struktur Mikro, Arus, Kecepatan pengelasan, Kecepatan putaran pin

1. Pendahuluan

Pengelasan adalah proses penyambungan logam, yang dihasilkan oleh pertumbuhan bersama dari bahan atau pertumbuhan dari salah satu bahan yang dilas, akibat pemanasan sampai temperatur pengelasan, dengan atau tanpa tekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*) [1]. Pengelasan merupakan metode penyambungan yang penting karena memiliki efisiensi sambungan yang tinggi, persiapan yang mudah, fleksibilitas dan ongkos fabrikasi yang murah [2]. Berkembangnya teknologi pengelasan logam, saat ini telah banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan kualitas sambungan hasil pengelasan. Berdasarkan fasa terjadinya penyambungan, pengelasan bisa digolongkan dengan pengelasan fasa padat (*solid state joining*) dan pengelasan fasa cair (*fussion welding*)

Masukan panas (*heat input*) merupakan salah satu parameter pengelasan yang berpengaruh terhadap sifat mekanis hasil pengelasan baja. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Rathi dan Hunny (2015) menunjukkan bahwa pada pengelasan baja J7 201 SS dengan metode pengelasan SMAW, pengelasan masukan panas yang rendah memberikan kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengelasan dengan masukan panas tinggi. Ketangguhan pengelasan dengan masukan panas rendah lebih rendah jika dibandingkan dengan ketangguhan pada hasil pengelasan dengan masukan panas tinggi [3]. Pada material baja karbon rendah, pengelasan berpengaruh terhadap struktur mikro dan sifat mekanis material. Struktur mikro pada daerah pusat pengelasan berbeda dengan struktur mikro pada daerah HAZ dan logam dasar. Pada daerah HAZ terbentuk *Widmanstatten ferrite* dan ferit kasar dan koloni pearlite [4]. Pengelasan SMAW pada baja karbon medium pada daerah logam las terbentuk struktur *pearlite* kasar di dalam matrik *ferite*. Pada daerah HAZ terbentuk struktur *ferite* dan *pearlite* halus. Terjadi peningkatan kekerasan pada daerah HAZ dan logam las, namun terjadi penurunan ketangguhan [5].

Untuk mengatasi kelemahan pada pengelasan fusi, metode *friction stir welding* (FSW) mulai dikembangkan. Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*)[6]. Proses pengelasan dengan FSW terjadi di bawah temperatur solvus, sehingga tidak terjadi penurunan kekuatan akibat *over aging* dan larutnya endapan koheren. Temperatur pengelasan FSW tidak terlalu tinggi, sehingga tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. Penelitian pengelasan material baja dengan metode FSW telah mulai dilakukan. Untuk mereduksi aktivasi pada baja ferritic/martensitic, telah dilakukan penelitian untuk mengelas baja F82H dengan metode FSW. Pengelasan dilakukan dengan kecepatan putaran 100 rpm dan kecepatan pengelasan 100 mm/menit [7]. Penelitian tentang pengelasan FSW baja lunak menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik terhadap hasil pengelasan, pengelasan FSW menghasilkan kekuatan luluh yang lebih tinggi namun elongasinya menurun [8].

Pada penelitian ini dilakukan kajian terhadap sifat mekanis (kekuatan tarik) dan struktur mikro hasil pengelasan baja St 37 dengan dua metode pengelasan yang berbeda, yaitu pengelasan fasa cair dan pengelasan fasa padat. Pengelasan fasa cair menggunakan metode pengelasan SMAW dan pengelasan fasa padat dengan menggunakan metode FSW. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membandingkan kekuatan tarik dan struktur mikro pada hasil pengelasan SMAW dan FSW baja St 37.

2. Material dan metode

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah plat baja St 37 dengan panjang 250 mm, lebar 50 mm, dan tebal 3 mm. Komposisi kimia material baja St 37 ditunjukkan pada Tabel 1. Sifat mekanis baja St 37 ditunjukkan pada Tabel 2. Jenis sambungan yang diteliti pada penelitian ini adalah sambungan *but joint*. Pengelasan SMAW menggunakan elektroda E7016 dengan diameter 2,4 mm. Pengelasan dilakukan dengan variasi arus: 60 A, 80 A, dan 100 A serta variasi kecepatan pengelasan: 0,2; 0,4 dan 0,7 cm/detik. Proses pengelasan FSW dilakukan dengan menggunakan mesin freis CNC. Pahat (*tool shoulder*) yang digunakan terbuat dari pahat karbida. Pengelasan FSW dilakukan pada kecepatan 4 cm/menit dengan variasi kecepatan rotasi pahat: 1500 rpm dan 2000 rpm. Dimensi dan foto *tool shoulder* untuk proses FSW ditunjukkan pada Gambar 1.

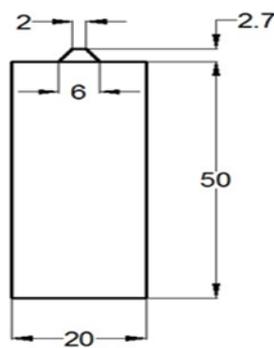
Karakterisasi mekanis terhadap sambungan las yang dilakukan adalah pengujian tarik. Pengujian tarik dilakukan mengacu pada standarisasi ASTM E8. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik menggunakan etsa nital.

Tabel 1. Komposisi Kima Baja St 37

Unsur	C	Si	Mn	P	S
% massa	0,17	-	1,4	0,045	0,045

Tabel 2. Sifat Mekanis St 37

Kekuatan luluh	378 MPa
Kekuatan tarik	322 MPa
elongasi	25 %



(a)



(b)

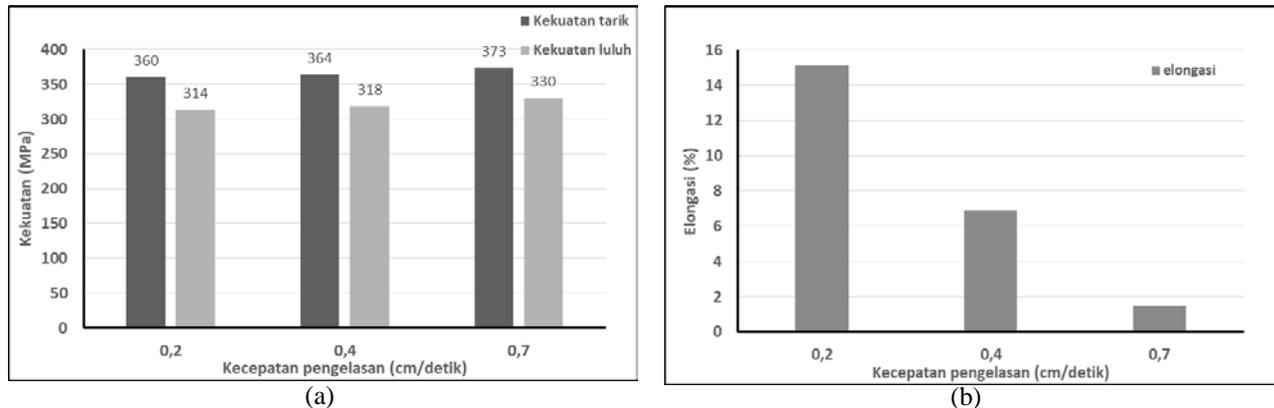
Gambar 1. (a) Dimensi *tool shoulder* dan (b) Foto *tool shoulder*

3. Hasil dan pembahasan

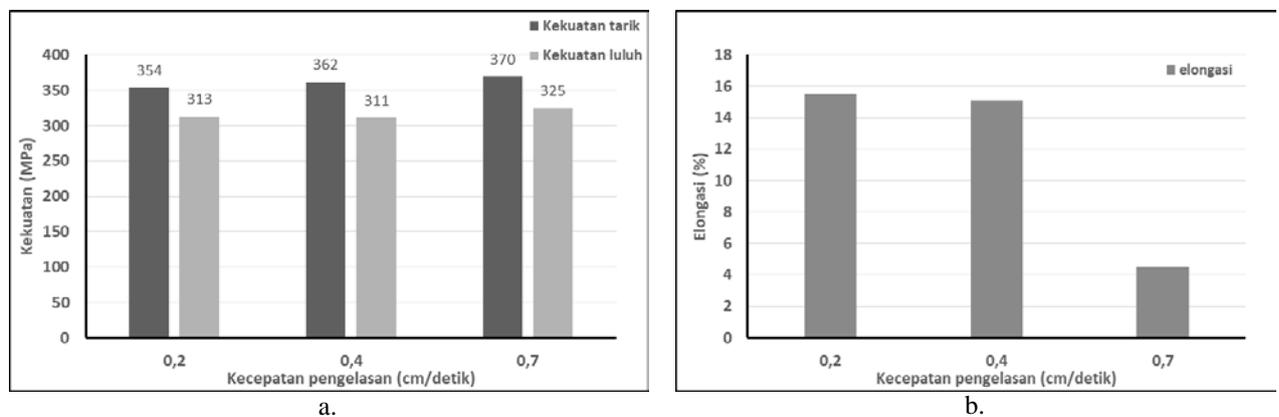
Hasil pengujian tarik hasil pengelasan SMAW baja St 37 ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4. Hasil pengelasan dengan arus pengelasan 60 A seperti ditunjukkan pada Gambar 2(a) dan Gambar 2(b) menunjukkan bahwa, kekuatan tarik dan kekuatan luluh tertinggi didapat pada pengelasan dengan kecepatan 0,7 cm/detik, namun didapat sambungan yang getas. Nilai elongasi tertinggi didapat pada pengelasan dengan kecepatan 0,2 cm/detik (Gambar 2(b)), namun untuk pengelasan dengan arus 60 A, kecepatan ini menghasilkan kekuatan terendah. Hasil pengujian tarik dari spesimen baja St 37 dengan pengelasan dengan arus 60 A, 80 A dan 100 A dapat dilihat pada grafik hasil pengujian tarik (Gambar 2(a), 3(a) dan 4(a)). Pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa, nilai kekuatan tarik pada pengelasan dengan arus 60 A, nilai kekuatan tarik pada kecepatan pengelasan 0,2 cm/detik adalah 360 MPa, pada kecepatan pengelasan 0,4 cm/detik adalah 364 MPa dan pada kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik 373 MPa. Gambar 2 menunjukkan semakin lama waktu pengelasan nilai kekuatan tarik semakin kecil. Pada grafik tersebut juga menunjukkan penurunan nilai kekuatan tarik seiring dengan penurunan kecepatan pengelasan, hal ini sejalan dengan hasil penelitian Talabi, dkk.[9].

Pada pengelasan dengan kecepatan 0,2 cm/detik nilai kekuatan tarik pengelasan dengan arus 60 A memiliki nilai kekuatan paling tinggi kemudian pengelasan dengan arus 80 A dan paling rendah pengelasan dengan arus 100 A. Fenomena serupa juga terjadi pada pengelasan dengan kecepatan 0,4 cm/detik dan 0,7 cm/detik. Pada pengelasan dengan kecepatan 0,4 cm/detik nilai kekuatan tarik tertinggi didapat pada pengelasan dengan arus 60 A diikuti pengelasan dengan arus 80 A dan pengelasan dengan arus 100 A menghasilkan kekuatan tarik terendah. Pada pengelasan dengan kecepatan 0,7 cm/detik nilai kekuatan tarik pengelasan pada arus 60 A memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi, kemudian pengelasan dengan arus 80 A dan paling rendah pengelasan dengan arus 100 A (Gambar 3(a) dan Gambar 4(a)). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan Huda, dkk. tentang efek parameter pengelasan terhadap struktur mikro dan sifat mekanis. Hasil penenelitian menunjukkan bahwa penurunan kekuatan tarik sejalan dengan kenaikan kuat arus yang digunakan [10]. Dari berbagai variasi pengelasan yang telah dilakukan, nilai kekuatan tarik paling tinggi pada metode pengelasan SMAW adalah pada pengelasan dengan arus 60 A dengan

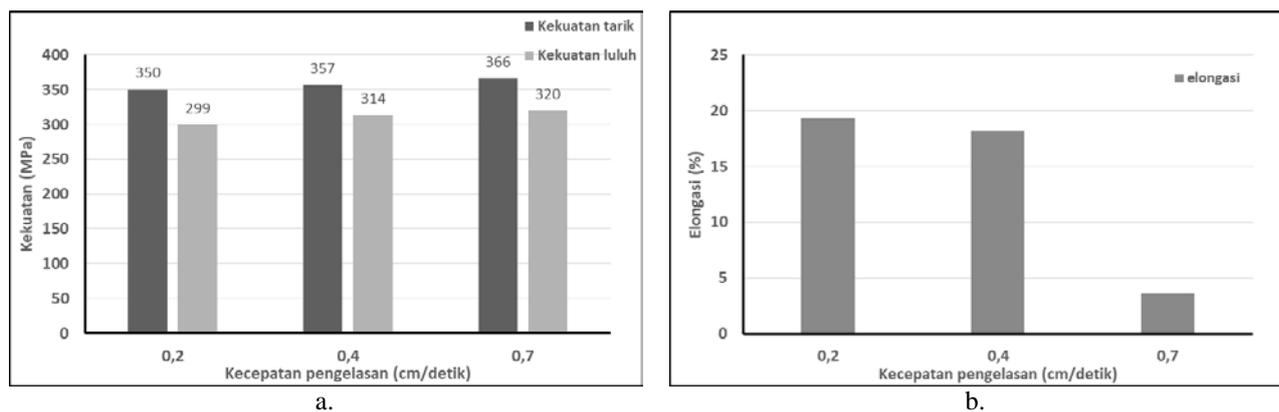
kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik dan nilai kekuatan tarik paling rendah adalah pada pengelasan dengan arus 100 A dengan kecepatan 0,2 cm/detik. Untuk elongasi pada arus yang sama, semakin rendah kecepatan pengelasan nilai elongasi semakin tinggi (Gambar 2(b), Gambar 3(b) dan Gambar 4(b)).



Gambar 2. Karakterisasi mekanis sambungan hasil pengelasan SMAW baja St 37 pada arus pengelasan 60 A, (a) Kekuatan tarik dan luluh dan (b) Elongasi



Gambar 3. Karakterisasi mekanis sambungan hasil pengelasan SMAW baja St 37 pada arus pengelasan 80 A, (a) Kekuatan tarik dan luluh dan (b) Elongasi

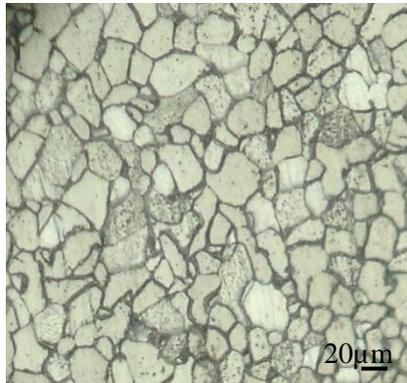


Gambar 4. Karakterisasi mekanis sambungan hasil pengelasan SMAW baja St 37 pada arus pengelasan 100 A, (a) Kekuatan tarik dan luluh dan (b) elongasi

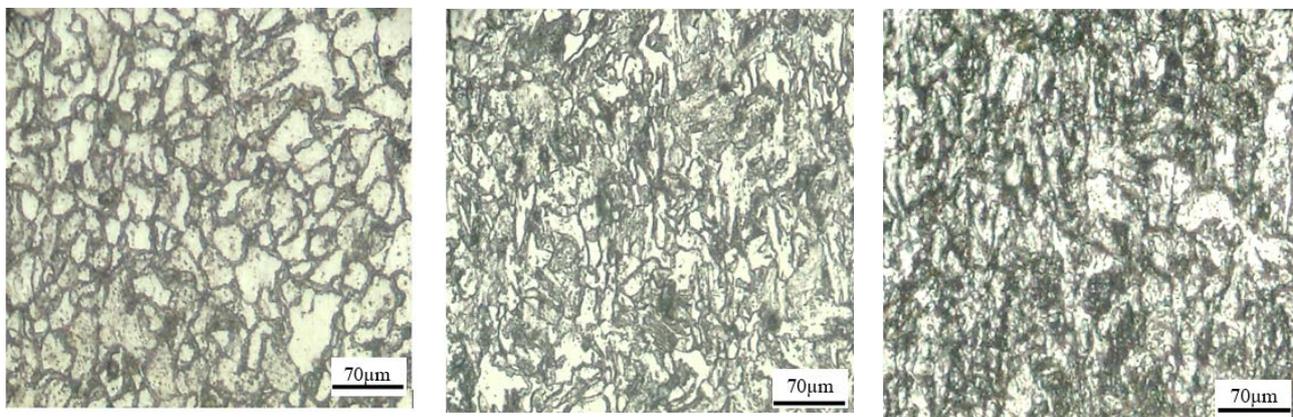
Hasil pengujian tarik terhadap sambungan FSW baja St 37 ditunjukkan pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa pengelasan FSW dengan kecepatan putaran 1500 rpm menghasilkan kekuatan luluh sebesar 280 Mpa, kekuatan tarik 331 MPa dan elongasi 10,5 %. Pengelasan FSW dengan dengan kecepatan putaran 2000 rpm, menghasilkan kekuatan luluh 329 MPa, kekuatan tarik 350 MPa dan elongasi 25,3 %.

Tabel 3. Hasil uji tarik pengelasan FSW

No	Kecepatan Rotasi pin	Kekuatan Luluh (MPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	Elongasi (%)
1	1500 rpm	280	331	10,5
2	2000 rpm	329	350	25,3



Gambar 4. Struktur Mikro Logam Induk

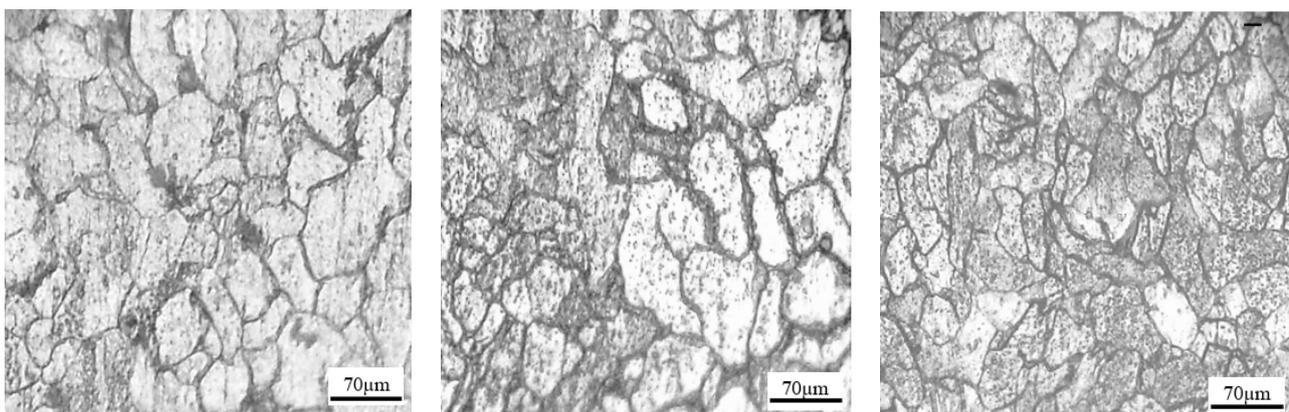


(a)

(b)

(c)

Gambar 5. Struktur Mikro Daerah HAZ Hasil Pengelasan SMAW dengan arus 60 A, (a) kecepatan Pengelasan 0,2 cm/detik, (b) Kecepatan Pengelasan 0,4 cm/detik dan (c) Kecepatan Pengelasan 0,7 cm/detik.

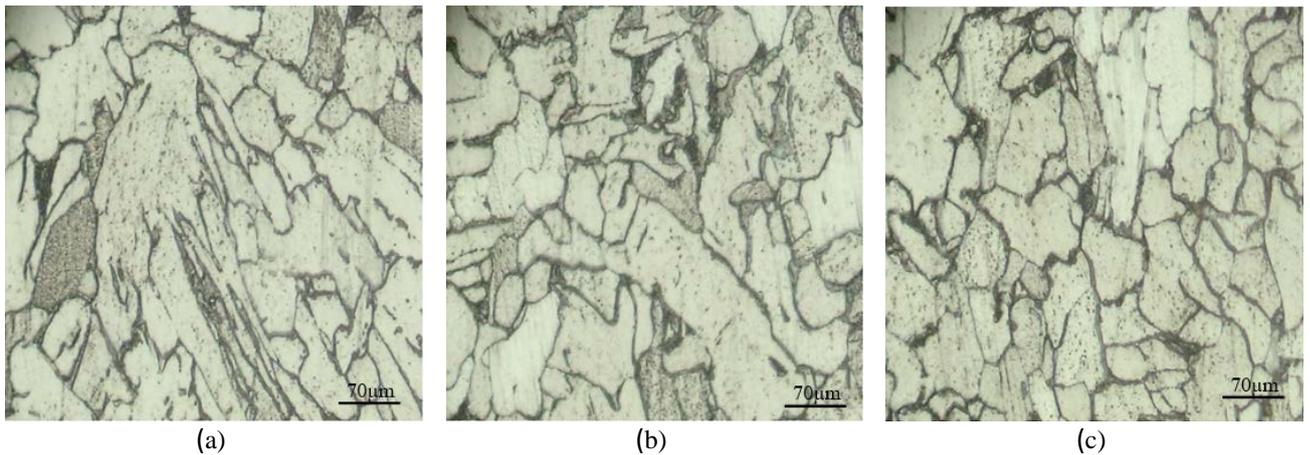


(a)

(b)

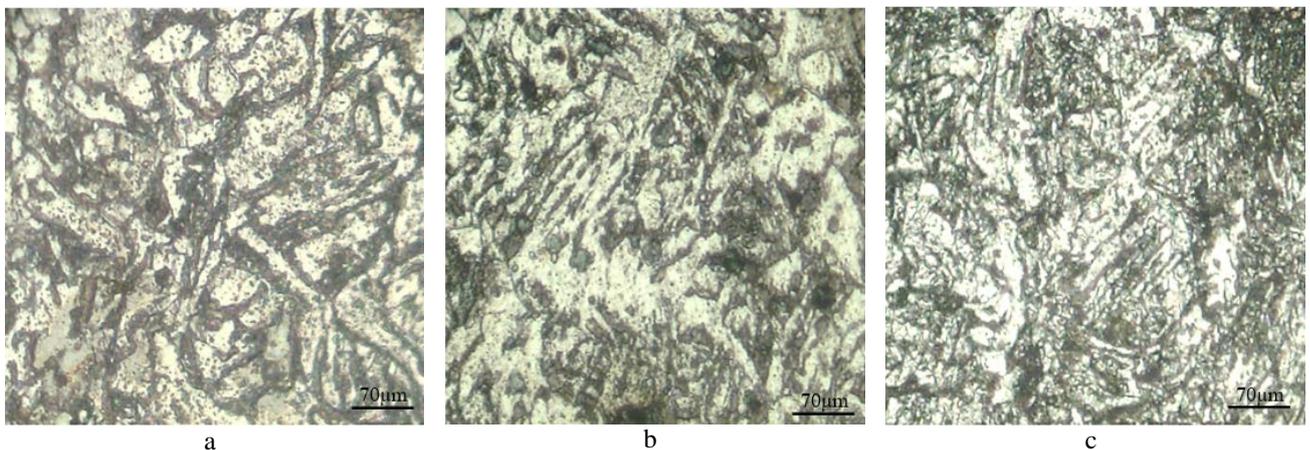
(c)

Gambar 6. Struktur Mikro Daerah HAZ Hasil Pengelasan SMAW dengan arus 80 A, (a) Kecepatan Pengelasan 0,2 cm/detik (b) Kecepatan Pengelasan 0,4 cm/detik dan (c) Kecepatan Pengelasan 0,7 cm/detik.
a.

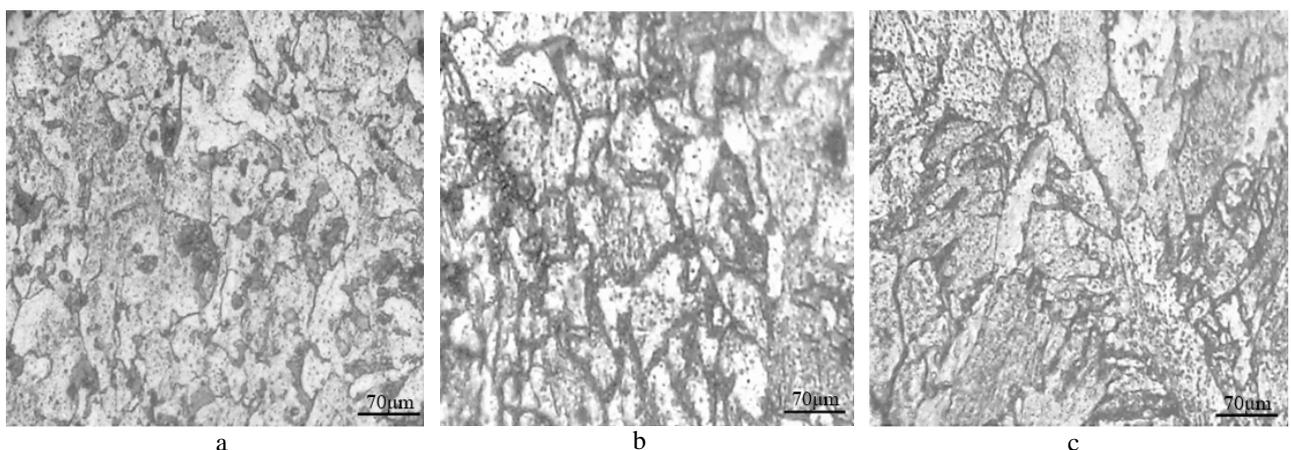


Gambar 7. Struktur Mikro Daerah HAZ Hasil Pengelasan SMAW dengan arus 100 A, (a) Kecepatan Pengelasan 0,2 cm/detik, (b) Kecepatan Pengelasan 0,4 cm/detik dan (c) Kecepatan Pengelasan 0,7 cm/detik

Foto struktur mikro logam induk ditunjukkan pada Gambar 4. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa struktur mikro logam induk terdiri dari *ferite* dan *pearlite*. Struktur mikro pada daerah HAZ ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7. Dari foto struktur mikro tersebut ditunjukkan bahwa pada daerah HAZ struktur mikro hasil pengelasan berupa *pearlite*, *ferite* kasar, *ferite* halus, dan *ferite* poligonal.



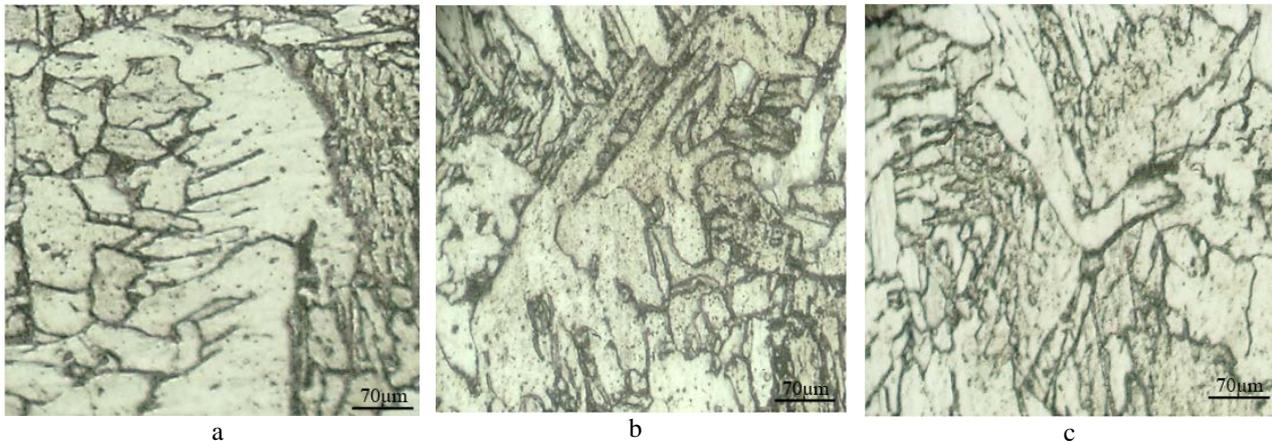
Gambar 8. Struktur Mikro Daerah Logam Las pada Hasil Pengelasan SMAW dengan arus 60 A
a. Kecepatan Pengelasan 0,2 cm/detik. b. Kecepatan Pengelasan 0,4 cm/detik. c. Kecepatan Pengelasan 0,7 cm/detik.



Gambar 9. Struktur Mikro Daerah Logam Las pada Hasil Pengelasan SMAW dengan arus 80 A
a. Kecepatan Pengelasan 0,2 cm/detik. b. Kecepatan Pengelasan 0,4 cm/detik. c. Kecepatan Pengelasan 0,7 cm/detik.

Gambar 5(a-c) menunjukkan struktur mikro daerah HAZ hasil pengelasan SMAW dengan arus 60 A dengan kecepatan pengelasan 0,2; 0,4 dan 0,7 cm/detik. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan

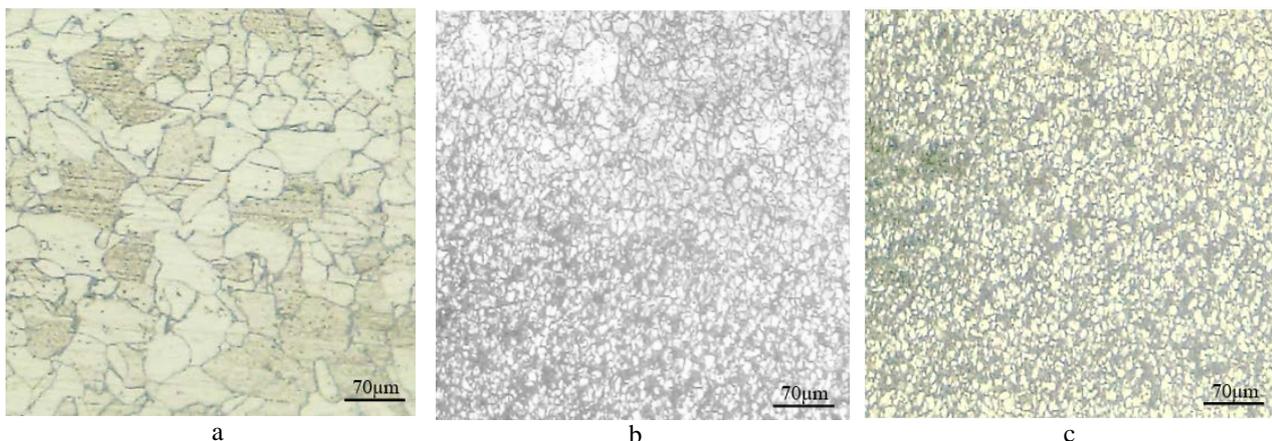
pengelasan ukuran butir semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin tinggi kecepatan pengelasan mengakibatkan masukan panas (*heat input*) semakin rendah. Meningkatnya kecepatan pengelasan juga mengakibatkan meningkatnya laju pendinginan. *Heat input* yang tinggi serta laju pendinginan yang rendah pada pengelasan dengan kecepatan yang rendah mengakibatkan terjadinya pengasaran butir [11-12]. Fenomena yang sama juga terjadi pada pengelasan dengan arus 80 A dan 100 A seperti ditunjukkan pada Gambar 6(a-c) dan 7(a-c).



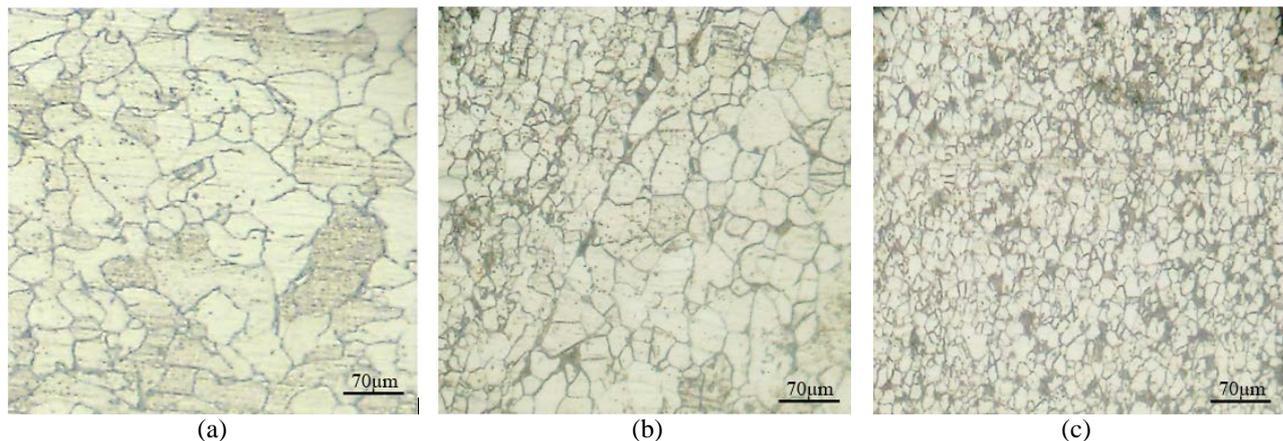
Gambar 10. Struktur Mikro Daerah Logam Las pada Hasil Pengelasan SMAW dengan arus 100 A Kecepatan Pengelasan 0,2 cm/detik. b. Kecepatan Pengelasan 0,4 cm/detik. c. Kecepatan Pengelasan 0,7 cm/detik.

Struktur mikro daerah *weld metal* ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10. Dari gambar tersebut ditunjukkan bahwa pada logam las, memiliki struktur mikro berupa *perlite*, *acicular ferite*, *ferite* pada batas butir, dan *Widmanstatten ferite*. Untuk setiap parameter arus, ukuran butir terkecil terdapat pada kecepatan pengelasan yang tertinggi yaitu: 0,7 cm/detik (Gambar 8(c), Gambar 9(c) dan Gambar 10(c)). Arus pengelasan dan kecepatan pengelasan berpengaruh pada besarnya *heat input* selama proses pengelasan, nilai *heat input* ini mempengaruhi luas daerah HAZ dan *weld metal* serta meningkatnya *heat input* maka rata-rata ukuran butir yang terbentuk juga meningkat [10-12]. Hasil struktur mikro daerah HAZ dan *weld metal* pada kecepatan pengelasan yang sama dengan arus yang berbeda menghasilkan daerah HAZ dan *weld metal* terbesar pada pengelasan dengan arus 100 A kemudian diikuti oleh 80 A dan 60 A. Ukuran butir mempengaruhi pergerakan dislokasi yang berdampak pada sifat mekanik material, semakin kecil ukuran butir yang terbentuk maka akan semakin keras dan getas karena sukarnya pergerakan dislokasinya.

Struktur mikro hasil pengelasan FSW pada kecepatan putaran pahat 1500 rpm dan 2000 rpm ditunjukkan secara berurutan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Pada gambar tersebut ditunjukkan struktur mikro hasil pengelasan FSW yang terdiri dari daerah HAZ, TMAZ (daerah yang terkena beban mekanik dan panas) dan WZ (logam las). Pada daerah logam las dan TMAZ mengalami penghalusan butir sebagai akibat adanya pengaruh panas dan mekanis (proses tekanan dan pengadukan). Pada daerah HAZ pengaruh perubahan butir tidak terlalu besar karena panas yang masuk akibat proses pengelasan FSW juga tidak terlalu tinggi.



Gambar 11. Struktur Mikro Daerah Hasil Pengelasan FSW dengan Kecepatan Putaran Pahat 1500 rpm
a. HAZ. b. TMAZ. c. *Weld zone*.



Gambar 12. Struktur Mikro Daerah Hasil Pengelasan FSW dengan Kecepatan Putaran Pahat 2000 rpm, (a) HAZ, (b) TMAZ dan (c) *Weld zone*.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kekuatan tarik pada pengelasan dengan arus 60 A pada kecepatan pengelasan 0,2 cm/detik adalah 360 MPa, pada kecepatan pengelasan 0,4 cm/detik adalah 364 MPa dan pada kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik 373 MPa, kenaikan nilai tarik sebanding dengan penurunan kecepatan las juga terjadi pada pengelasan 80 A dan 100 A, semakin cepat waktu pengelasan nilai kekuatannya semakin tinggi tetapi keuletannya berkurang.
2. Dari seluruh pengelasan SMAW nilai kekuatan tarik paling tinggi yaitu pada pengelasan 60 A dengan kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik sebesar 373 MPa dan paling rendah pada pengelasan 100 A dengan kecepatan 0,2 cm/detik sebesar 366 MPa serta dari data yang didapat dari hasil pengujian semakin tinggi arus nilai kekuatan tariknya semakin rendah.
3. Kekuatan tarik hasil pengelasan FSW dengan kecepatan putaran 2000 rpm, lebih tinggi jika dibanding dengan kekuatan tarik pada hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 1500 rpm.
4. Dari data hasil uji tarik pada pengelasan SMAW dan FSW, nilai kekuatan tarik tertinggi ada pada pengelasan SMAW, untuk nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh pengelasan SMAW yang mendekati nilai FSW adalah pada pengelasan 100 A dengan kecepatan pengelasan 0,2 cm/detik.
5. Nilai elongasi tertinggi dari seluruh pengelasan yaitu pada pengelasan FSW dengan kecepatan putaran pin 2000 rpm yaitu sebesar 25,3% dan untuk nilai elongasi tertinggi pada pengelasan SMAW pada pengelasan dengan 100 A dengan kecepatan 0,2 cm/detik sebesar 19,34%, sedangkan elongasi *raw material* baja St 37 sebesar 29,57.

Referensi

- [1] Cary, Howard B., 1989, *Modern Welding Technology*, Prentice Hall, New Jersey
- [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] Rathi, V. dan Hunny, 2015. *Analyzing the Effect of Parameters on SMAW Process*, International Journal of Emerging Research in Management & Technology, Vol. 4, No. 6, 16-21.
- [4] Boumerzoug, Z., Derfouf, C., Baudin, T., 2010. *Effect of Welding on Microstructure and Mechanical Properties of an Industrial Low Carbon Steel*, Engineering, Vol. 2, 502-506.
- [5] Mohammed, R.A., Abdulwahab, M., Dauda, E.T., 2013. *Properties Evaluation of Shielded Metal Arc Welded Medium Carbon Steel Material*, IJRSET, Vol. 2, No. 8, 3352-3357.
- [6] 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, Vol. 75. No. 3, 41-47.
- [7] Noh, S., Ando, M., Tanigawa, H., Fujii, H., 2016. *Friction stir welding of F82H steel for fusion applications*, Journal of Nuclear Materials, Vol. 478, 1 – 6.
- [8] Karami, S., Jafarian, H., Eivani, A.R. dan Kheirandish, S, 2016, Engineering tensile properties by controlling welding parameters and microstructure in a mild steel processed by friction stir welding, Materials Science & Engineering A, Vol. 670, pp : 68–74
- [9] Talabi, S.I., Owolabi, O.B., Adebisi, J.A., Yahaya, T. (2014). *Effect of welding variables on mechanical properties of low carbon welded joint*, Advances in Production Engineering & Management, Vol. 9. No. 4, 181-186.

- [10] Wan Muda, W.S.H., Nasir, N.S.M., Mamat, S., Jamian, S., 2015. *Effect of Welding Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties at Coarse Grain Heat Affected Zone of Abs Grade a Steel*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 10, No. 20, 9487-9495.
- [11] Samir, M.Y., 2015. *Investigation on Effect of Heat Input on Cooling Rate and Mechanical Property (Hardness) Of Mild Steel Weld Joint by MMAW Process*, IJMER, Vol. 5, No. 3, 34-41.
- [12] M. A. Bodude, M.A. dan Momohjimoh, I, 2015. *Studies on Effects of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Welded Low-Carbon Steel*, Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, Vol.3, 142-153