

# PENGELASAN FLUX CORE ARC WELDING UNTUK APLIKASI PENGELASAN PELAT LAMBUNG KAPAL

**YENI MURIANI ZULAIIDA, M ICHSAN KUSUMA, TIARA TRIANA**

Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Email: yeni\_m\_zulaida@untirta.ac.id

## ABSTRAK

*Masalah timbul ketika dilakukan pengelasan pada lambung kapal berbahan material Baja SS400. Proses pengelasan dilakukan di lingkungan pantai. Pengelasan dengan menggunakan metoda flux core arc welding ini menghasilkan porositas lasan yang berukuran relatif besar diatas 20% tebal sampel. Pada penelitian ini mencoba memvariasikan arus dan gas pelindung dengan tujuan menjaga busur agar busur las lebih stabil dan porositas dapat diminimalisasi. Arus pengelasan yang digunakan pada penelitian ini adalah 230, 250 dan 270 A dan dengan laju gas pelindung 12, 18, dan 24 liter/menit. Untuk mengamati cacat porositas di dalam lasan digunakan metoda radiografi. Struktur yang terbentuk akan diamati dengan mikroskop optik. Hasil Pengamatan menunjukkan porositas terjadi pada kuat arus 230 dan 250 A dengan aliran gas pelindung berturut-turut 12 dan 18 liter/menit, tetapi kondisi kedua menghasilkan porositas yang berukuran >1 mm diluar kriteria diterima. Pengamatan metalografi menunjukkan daerah las atas didominasi oleh fasa acicular ferrite dan daerah las tengah didominasi ferrite dan perlite, sedangkan HAZ yang dibagi dua daerah yaitu, coarse grain (CG) dan fine grain (FG) yang masing-masing didominasi oleh bainite, perlite, dan ferrite, sedangkan FG HAZ memiliki fasa ferrite dan perlite. Pengaruh kuat arus menunjukkan peningkatan fasa AF dari 45,002% menjadi 50,534% terhadap matriks. Pengaruh laju alir gas terhadap struktur mikro terlihat pada peningkatan inklusi yang semakin banyak dengan semakin meningkatnya laju gas.*

**Kata kunci:** Flux core arc welding, lambung kapal, arus pengelasan

## ABSTRACT

*Problems arise when welding on a hull made from SS400 Steel material. The welding process is carried out in the coastal environment. Welding using the arc welding flux core method produces relatively large weld porosity above 20% of the sample thickness. In this study try to vary the protective current and gas in order to maintain the arc so that the welding arc is more stable and the porosity can be minimized. The welding currents used in this study were 230, 250 and 270 A and with protective gas rates 12, 18, and 24 liters / minute. To observe porosity defects in welds, radiographic methods are used. The structure formed will be observed with an optical microscope. Observation results showed porosity occurred at 230 and 250 A currents with protective gas flow 12 and 18 liters/minute respectively, but the second condition produced porosity measuring >1 mm excluding acceptable criteria. Metallographic observations show that the upper weld area is dominated by the acicular ferrite phase and the middle weld area is dominated by ferrite and perlite, while the HAZ is divided into two regions, namely coarse grain (CG) and fine grain (FG), each of which is dominated by bainite, perlite, and ferrite, while FG HAZ has ferrite and perlite phases. The effect of current strength shows an increase in AF phase from 45.002% to 50.534% of the matrix. The effect of the gas flow rate on the micro structure is seen in increasing inclusions with increasing gas rates.*

**Keywords:** *flux core arc welding, hull, welding current*

## 1. PENDAHULUAN

Masalah yang biasa timbul pada proses pengelasan yaitu terdapatnya cacat pada hasil lasan yang diakibatkan oleh lingkungan, khususnya pengelasan di galangan kapal yang terletak pada bibir pantai. Lingkungan pantai yang berangin dapat memicu untuk timbulnya cacat- cacat disebabkan oleh udara yang terjebak saat proses pengelasan. Cacat yang sering muncul pada pengelasan baja kapal adalah porositas dan inklusi terak.

Adanya cacat pada pengelasan masih diizinkan tergantung dari batas toleransi yang ditentukan. Batas toleransi ini diatur pada standar *America Society of Mechanical Engineers (ASME) Section IX*, yang tertulis porositas yang pada las-lasan yaitu maksimal 20% dari tebal logam induk. Cacat yang telah melebihi dari batas toleransi dikatakan *reject* atau tidak diterima hasil pengelasannya. Munculnya cacat – cacat ini harus dihindari karena dapat mempengaruhi sifat mekanik material terutama kekuatan tarik, kekuatan impak dan kekerasannya. Oleh karena itu, perlu adanya penyesuaian yang optimal pada parameter dari proses pengelasan. Penyesuaian parameter ini diharapkan dapat menurunkan cacat yang mungkin timbul setelah proses pengelasan

Pemilihan parameter – parameter pengelasan yang sesuai dapat mengurangi cacat yang timbul pada pengelasan. Beberapa parameter pengelasan antara lain, laju alir gas dan kuat arus yang digunakan. Parameter – parameter yang digunakan mengacu pada penelitian sebelumnya. Menurut Salahudin Junus pada penelitiannya mengenai peningkatan aliran gas dengan pengelasan *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*, terbukti dapat menurunkan munculnya cacat porositas pada material aluminium 5083 (Salahuddin Junus, 2011). Kecepatan pengelasan dan kuat arus lasan akan mempengaruhi kuat tarik dari lasan (Mohruni &

Kembaren, 2013)(Santoso, Solichin, & Trihutomo, 2015), dan ketangguhan lasan (Jalil & Rahayu, 2017)

Pada pengelasan *Flux Core Arc Welding* (FCAW), parameter – parameter tersebut berpengaruh terhadap laju pendinginan *weld deposit* serta penetrasi dari las-lasan, sehingga pengelasan FCAW merupakan jenis pengelasan yang masih banyak digunakan pada industri galangan kapal. Metoda pengelasan ini menggunakan 2 jenis pelindung untuk lasan yaitu flux dan gas. Keberadaan gas pelindung CO<sub>2</sub> dapat mempengaruhi mikro struktur lasan yang pada akhirnya akan berpengaruh pula terhadap sifat mekanik khususnya kekuatan impak lasan (Ramzan & Tumer, 2013). Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas las-lasan. Pada penelitian ini akan mengetengahkan pengaruh beberapa kuat arus lasan dan laju alir gas pelindung terhadap cacat porositas dan struktur mikro lasan.

## 2. METODA PENELITIAN

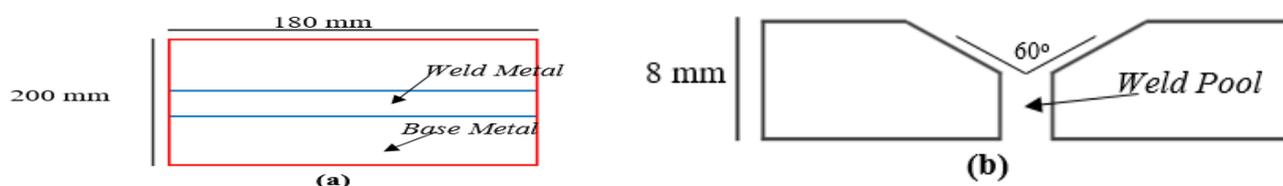
### 2.1 Desain Percobaan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel baja SS400 yang berbentuk pelat dengan ketebalan 8 mm. Sampel dipotong menggunakan mesin potong menjadi berukuran panjang 180 mm dan lebarnya sebesar 100 mm seperti pada **gambar 1**. Setelah itu sampel yang telah dipotong dibuat kampuh berbentuk tirus (*beveling*) dengan mesin *milling* membentuk sudut 30° pada kedua pelat, dan *root face* setinggi 3 mm.

Setelah melakukan preparasi, kemudian dilakukan proses pengelasan FCAW menggunakan gas pelindung CO<sub>2</sub> dan elektroda E71T-1. Kecepatan pengelasan yang di gunakan adalah 30 cm/menit, posisi horizontal polaritas *Direct Current Electrode Positive* (DCEP). Tegangan yang digunakan 22 Volt. Variabel bebas adalah laju alir dengan variasi 12, 18, 24 liter/menit, dan kuat arus dengan variasi 230, 250, 270 Ampere.

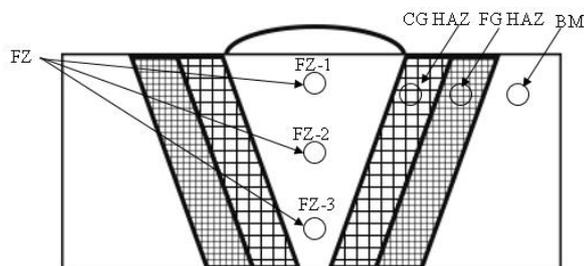
### 2.2. Pengujian dan Pengamatan

Setelah dilakukan proses pengelasan, dilakukan uji tidak merusak untuk melihat kemungkinan adanya cacat didalam las-lasan. Pengujian tidak merusak yang digunakan adalah uji radiografi. Untuk melihat perubahan struktur yang sudah dilas, maka dilakukan uji metalografi. Pengamatan mikro struktur dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada **gambar.2**. Daerah lebur di nyatakan sebagai *fusion zone* (FZ) dan daerah yang tidak lebur dinyatakan sebagai *heat affected zone* (HAZ). Pengambilan sampel mewakili daerah yang terpengaruh temperature pengelasan



**Gambar 1.** Skematis Pengelasan (a) Tampak Atas dan (b) Tampak Samping

Porositas dan struktur mikro akan mempengaruhi sifat mekanik dari lasan. Pengamatan sifat mekanik diperoleh dari hasil uji Tarik, uji dampak dan uji kekerasan. Sebelum dilakukan pengujian merusak, sampel dipreparasi dengan cara memotong sampel sesuai standar masing – masing pengujian.



**Gambar 2** Skema Lokasi Pengambilan Gambar Metalografi

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengamatan Porositas

Dilihat dari **tabel 1**, terlihat adanya beberapa sampel yang memiliki cacat porositas dengan hasil yang diterima ataupun ditolak. Sampel diklasifikasi berdasarkan batas toleransi pada ASME IX, dituliskan bahwa cacat porositas tidak boleh memiliki diameter lebih dari 20% dari tebal sampel. Pada penelitian ini menggunakan sampel dengan ketebalan 8 mm, maka batas toleransi yang diterima adalah 1,6 mm untuk cacat berbentuk lingkaran.

Hasil pengamatan radiografi ada dua kondisi yang menghasilkan cacat porositas, yaitu sampel dengan kuat arus 230 A dan laju gas 12 liter/menit dan sampel dengan kuat arus 250 A dan laju gas 18 liter/menit. Berdasarkan kriteria yang sudah ditentukan maka sampel yang pertama dapat diklasifikasikan diterima, sedangkan sampel yang kedua harus ditolak.

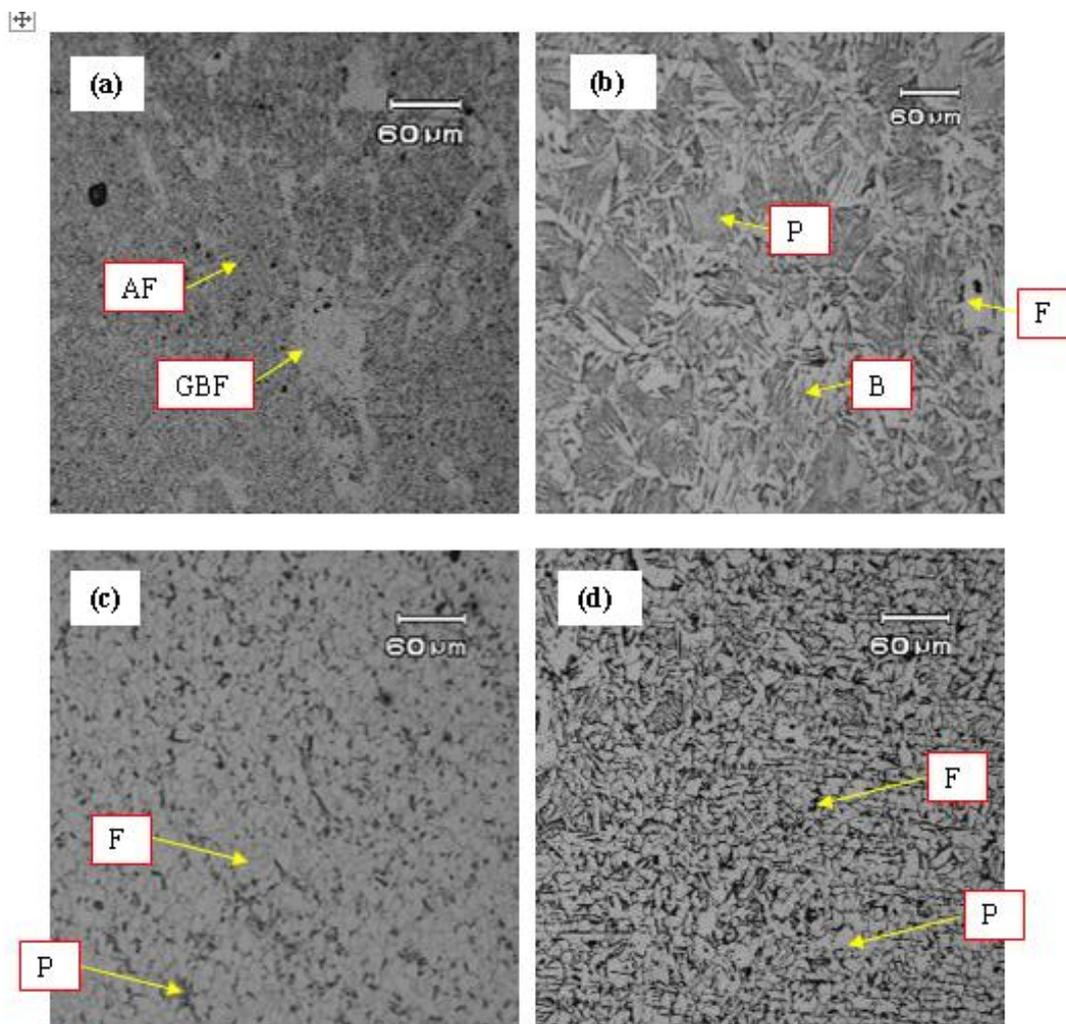
**Tabel 1.** Hasil Pengujian Radiografi

Sampel	Kuat Arus (A)	Laju Alir Gas (l/m)	Cacat Porositas <sup>a</sup>	Ukuran Porositas	Hasil	
					Diterima	Ditolak
1	230	12	●	<1 mm	√	-
2	250	12	○	-	√	-
3	270	12	○	-	√	-
4	230	18	○	-	√	-
5	250	18	●	2 mm	-	√
6	270	18	○	-	√	-
7	230	24	○	-	√	-
8	250	24	○	-	√	-
9	270	24	○	-	√	-

<sup>a</sup> ●/○ = ada / tidak ada

### 3.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

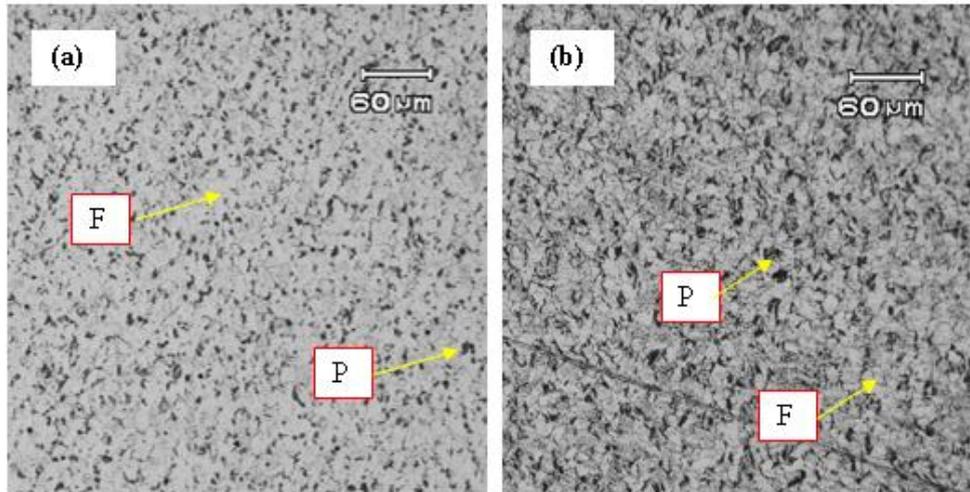
Kenaikan temperatur yang dialami benda kerja akan berpengaruh langsung terhadap struktur mikro dan tentu saja akan berdampak pada sifat mekanik. Lokasi pengambilan sampel seperti yang sudah dijelaskan pada **gambar 2**, mewakili kondisi temperatur yang diterima selama proses pengelasan, baik di daerah lebur atau maupun daerah yang tidak lebur.



**Gambar 3.** Struktur Mikro Perbesaran 200x pada Kuat Arus 230 A dengan Laju Gas 12 Liter/Menit pada daerah (a) FZ-1, (b) CG HAZ, (c) FZ-2, dan (d) FG HAZ

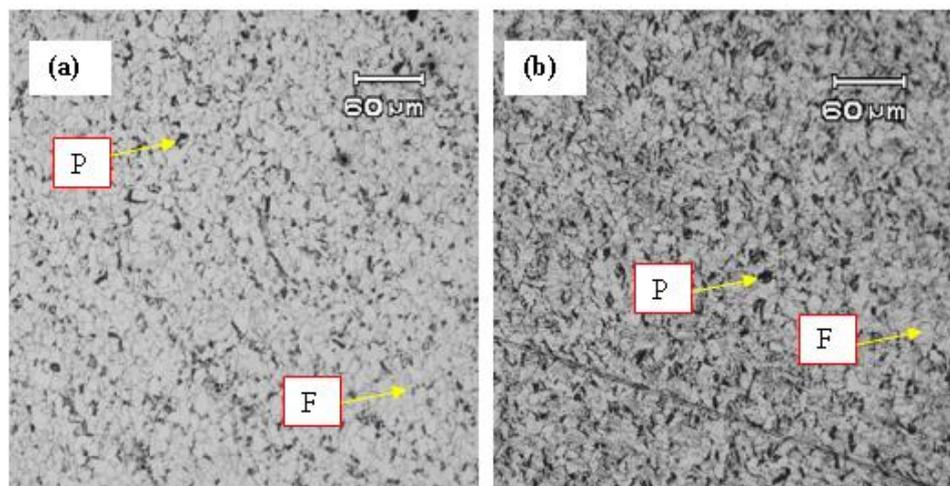
*Fusion Zone* adalah daerah yang lebur pada saat proses pengelasan berlangsung. Pada **gambar 3.a** terlihat daerah FZ-1. Daerah ini merupakan daerah yang dekat dengan sumber panas sehingga pada daerah ini mengalami pengaruh *heat input* yang tinggi dan pendinginan yang cukup cepat terlihat didominasi struktur *acicular ferrite* (AF) dan *grain boundary ferrite* (GBF), pada daerah terpengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) yang paling mendekati FZ merupakan daerah yang menerima cukup banyak panas dan pendinginan yang lebih lambat dibandingkan FZ, sehingga bentuk butir terlihat paling besar dibandingkan daerah lainnya. Daerah ini dinamakan sebagai *coarse grain-heat affected zone* (CG HAZ), **gambar 3.b**, dan didominasi oleh fasa *bainite* (B), *ferrite* (F), dan *pearlite* (P). Struktur mikro di daerah FZ-2 (**Gambar 3.c**) memiliki struktur F dan P. Daerah ini memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan FZ-1, tetapi masih lebih tinggi apabila dibandingkan HAZ. Daerah HAZ yang semakin dekat ke arah *base metal*, memiliki ukuran butir yang lebih kecil dan halus

dibandingkan dengan *base metal* disebut *Fine Grain-Heat Affected Zone* (FG HAZ), **Gambar 3.d**, sehingga kekerasan sedikit lebih tinggi dibandingkan *base metal*. Struktur mikro yang kecil dan halus ini terbentuk karena pengaruh panas yang sedikit sehingga terbentuk fasa yang sama dengan *base metal*, yaitu *ferrite* dan *perlite*.



**Gambar 4** Pengaruh Kuat Arus terhadap Fraksi Fasa (a) 250 A dan (b) 270 A dengan Laju Gas 18 liter/menit

Kuat arus yang di gunakan berpengaruh terhadap heat input yang di terima benda kerja. **Gambar 4** menunjukkan pengaruh kuat arus terhadap struktur mikro. Melalui pengamatan metalografi, kuat arus yang lebih tinggi cenderung menghasilkan fasa *perlite* yang lebih banyak. Seperti terlihat pada **gambar 4.b**, 270 A menunjukkan fasa P lebih banyak dibandingkan 250 A. Hal ini dibuktikan dari perhitungan fraksi fasa P pada matriks gambar (a) hanya 14,615 % sedangkan pada gambar (b) sebesar 25,373 %.



**Gambar 5** Pengaruh Laju Gas terhadap Fraksi Fasa (a) 12 liter/menit dan (b) 18 liter/menit pada Kuat Arus 270 A

Hal sama juga di tunjukkan pada kondisi laju gas pelingung. Pada **gambar 5** menunjukkan pengaruh laju gas terhadap struktur mikro. Perbedaan yang ditunjukkan kecenderungannya sama seperti gambar sebelumnya, yaitu semakin tinggi laju gas yang diberikan akan

menghasilkan fasa P yang lebih banyak. Pada Laju gas 12 liter/menit, **gambar 5.a**, menghasilkan ukuran fasa P yang lebih kecil dan jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan 18 liter/menit, **gambar 5.b**. Secara perhitungan jumlah fraksi fasa yang didapatkan pada gambar (a) adalah 14,955 % sedangkan gambar (b) sebesar 25,373%.

Secara keseluruhan bila membandingkan dengan kondisi aktual di lapangan, variasi arus yang di berikan pada penelitian dapat meminimalisasi terbentuknya porositas pada lasan lambung kapal. Sebelum dilakukan percobaan pendahuluan dengan melakukan simulasi awal. Pada pengelasan simulasi ini parameter pengelasan diset hampir mendekati kondisi di lapangan yaitu, selama proses pengelasan dihembuskan angin dengan kecepatan rendah.

**Tabel 2** Perbandingan Hasil Radiografi Sampel Lab dengan Sampel Hasil Simulasi dan Sampel Pabrik

Sampel	Kuat Arus (A)	Laju Alir Gas (L/m)	Cacat Porositas	Ukuran Porositas	Hasil	
					Diterima	Ditolak
1	270	24	○	-	√	-
2 <sup>a</sup>	270	24	●	<1 mm	√	-
3 <sup>b</sup>	200-300	12	●	3 mm	-	√

<sup>a</sup> Sampel Simulasi

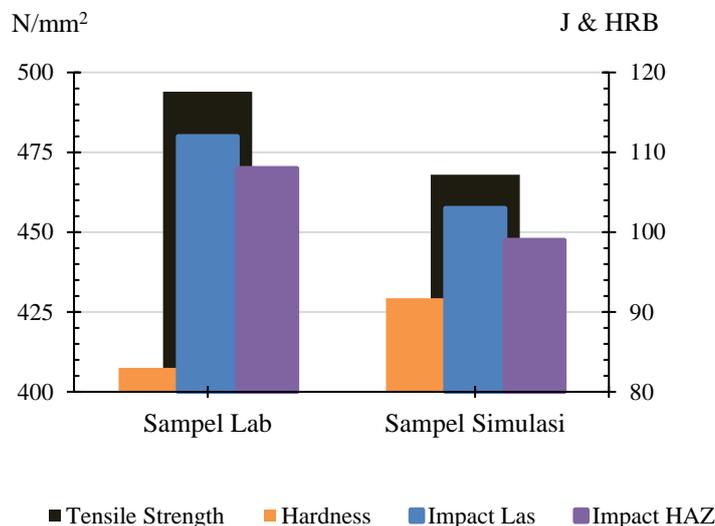
<sup>b</sup> Sampel Pabrik

**Tabel 2** menunjukkan perbandingan antara sampel pabrik, simulasi, dan sampel lab. Sampel lab adalah sampel yang pada proses pengelasannya, tidak dipengaruhi oleh lingkungan menunjukkan hasil yang baik, dengan lasan tanpa ada cacat sedikitpun. Sampel simulasi yang dilakukan, juga menghasilkan hasil lasan yang cukup baik karena meski ditemukannya cacat pada lasan, tapi memiliki ukuran di bawah batas toleransi, sehingga masih dapat diterima. Pengaruh laju alir gas terhadap porositas terlihat dengan adanya perbandingan antara sampel simulasi dengan sampel pabrik. Sampel pabrik dengan variasi kuat arus yang sama, dengan laju gas 12 liter/menit memiliki ukuran cacat porositas sebesar 3 mm, sedangkan sampel simulasi yang dilakukan memiliki ukuran cacat porositas <1 mm. Oleh karena itu, dari hasil penelitian ini dapat dikatakan peningkatan laju alir gas terbukti menurunkan potensi porositas, dan variabel pada sampel simulasi dapat disarankan untuk diterapkan di industri. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya, yang mengatakan bahwa semakin besar laju alir gas maka porositas yang ada juga semakin kecil (Salahuddin Junus, 2011).

**Gambar 6** menjelaskan pengaruh porositas yang ada terhadap sifat mekanik. Pengaruh ini dapat kita lihat jelas dari hasil pengujian tarik. Pada sampel lab memiliki nilai uji tarik sebesar 494N/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada hasil sampel simulasi mengalami penurunan sebesar 5.26% dengan nilai 468 N/mm<sup>2</sup>. Sebanding dengan hasil uji tarik, hasil uji impak las juga menunjukkan penurunan dari 112 J menjadi 108 J. Berbeda dengan kedua hasil sebelumnya, hasil uji kekerasan menunjukkan adanya peningkatan dari 83 HRB menjadi 91,7 HRB. Hal ini dapat dikarenakan dengan adanya angin yang diberikan maka pendinginannya semakin cepat, sehingga meningkatkan nilai kekerasan

Pengaruh Laju alir gas terhadap kekuatan tarik pada 230 dan 250 A tidak terlalu berpengaruh, tetapi kekuatan tarik meningkat pada kuat arus 270 A. Nilai UTS-nya meningkat dari 474 N/mm<sup>2</sup> menjadi 494 N/mm<sup>2</sup>. Pengaruh laju alir gas terhadap energi impak meningkat pada daerah FZ dan menurun pada daerah HAZ. Energi impak pada daerah FZ dengan kuat arus 230 A meningkat dari 108 J menjadi 117 J, pada daerah HAZ menunjukkan hasil 108 J menjadi

105 J. Pengaruh laju alir gas terhadap nilai kekerasan menunjukkan penurunan. Hal ini dibuktikan pada kuat arus 230 A nilai kekerasan memiliki nilai 92,3 HRB dan menurun menjadi 86,3 HRB pada laju gas 24 liter/menit.



**Gambar 6** Perbandingan Sampel Lab dengan Sampel Simulasi

Pengaruh kuat arus terhadap sifat mekanik pada 24 liter/menit dengan kuat arus 230 A dan 270 meningkat dari 448 N/mm<sup>2</sup> menjadi 494 N/mm<sup>2</sup>. Berbanding terbalik dengan hasil uji tarik, hasil uji kekerasan dan dampak justru menunjukkan penurunan. Nilai kekerasan pada laju gas 18 liter/menit terjadi penurunan dari 86,3 HRB menjadi 79,7 HRB pada kuat arus 270 A. Hasil uji dampak pada variabel yang sama dengan kekerasan, juga menunjukkan penurunan energi dampak. Penurunan terjadi dari 112 J menurun menjadi 99 J. Pengaruh kuat arus terhadap hasil metalografi menyebabkan peningkatan fraksi fasa *perlite* dari 14,615 % menjadi 25,373 %.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil radiografi pada sampel lab menunjukkan masih adanya cacat porositas pada variabel kuat arus 250 A dengan laju gas 18 liter/menit, dan 230 A dengan laju gas 12 liter/menit dengan ukuran masing-masing 2 mm dan <1 mm. Tapi tidak ditemukan porositas pada pengelasan dengan kuat arus tinggi di setiap laju gas yang berbeda. Hal ini menunjukkan semakin besar arus yang digunakan maka cacat porositas yang muncul semakin kecil. Hasil yang signifikan juga terlihat ketika dilakukan perbandingan antara sampel pabrik dengan simulasi menunjukkan adanya pengaruh laju gas pelindung terlihat dengan adanya penurunan ukuran porositas dari 3 mm menjadi <1mm. Hasil ini juga menguatkan bahwa semakin besar laju gas yang digunakan maka porositasnya juga semakin kecil

Pengaruh laju alir gas terhadap kekuatan tarik tidak terlalu berpengaruh signifikan pada kuat arus yang lebih rendah, tetapi meningkat kuat arus yang lebih tinggi. Energi dampak pada daerah FZ meningkat tetapi pada daerah HAZ terjadi penurunan. Laju alir gas juga berpengaruh terhadap nilai kekerasan. Semakin besar laju alir gas nilai kekerasan menurun. Pengaruh laju alir gas dapat merubah struktur mikro. Hal ini disebabkan terjadi perubahan laju pendinginan sehingga dan dapat menyebabkan peningkatan fraksi fasa *pearlite*.

Pengaruh peningkatan kuat arus terhadap sifat mekanik adalah semakin tinggi kekuatan arusnya maka terjadi peningkatan kekuatan tarik. Tetapi hal ini berbanding terbalik dengan hasil uji kekerasan dan impact yang justru menunjukkan penurunan. Kuat arus juga berpengaruh terhadap hasil metalografi. Meningkatnya kuat arus menyebabkan peningkatan fraksi fasa *pearlite*.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Jalil, S. A., & Rahayu, T. (2017). Analisa Kekuatan Impact pada Penyambungan Pengelasan SMAW Material ASSAB 705 dengan Variasi Arus pengelasan. *Journal Polimesin*, 15(2), 58–63.
- Mohruni, A. S., & Kembaren, B. H. (2013). Pengaruh Variasi Kecepatan dan Kuat Arus terhadap kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah dengan Elektroda E6013. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 1–8.
- Ramzan, & Tumer, M. (2013). Microstructural Studies and Impact Toughness of dissimilar weldments between AISI 316L and AH36 Steels by FCAW. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5–8), 1433–1447.
- Salahuddin Junus. (2011). Pengaruh Besar Aliran Gas terhadap Cacat Porositas dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan MIG pada Paduan Aluminium 5083. *Jurnal Rotor*, 4(1), 22–31.
- Santoso, T. B., Solichin, & Trihutomo, P. (2015). Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Las SMAW dengan Electroda E7016. *Jurnal Teknik Mesin*, 23(1).

