

PENGARUH VARIASI KUAT ARUS PENGELASAN TIG (TUNGSTEN INERT GAS) TERHADAP SIFAT MEKANIS BAHAN AA 5083 H116 DAN CACAT POROSITAS HASIL UJI RADIOGRAFI

Rakha Syahir Shalihan^a, Mudjijana^a, Rela Adi Himarosa^a

^aTeknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul, Yogyakarta 55183
abdulkerud@gmail.com

Abstrak

Alumunium dan paduannya merupakan jenis logam non-ferrous yang banyak digunakan dalam bidang industri kendaraan, pertambangan dan perminyakan. Alumunium memiliki sifat density yang rendah, mampu mesin, memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi, tahan terhadap korosi dan memiliki nilai temperatur lebur yang relatif rendah. Dalam pengelasan alumunium cacat porositas sangat sering terjadi, hal ini menyebabkan penurunan nilai mekanis alumunium yang sangat berbeda jauh jika dibandingkan dengan nilai mekanis dari raw material itu sendiri. Tujuan penelitian ini yaitu pengaruh cacat porositas terhadap sifat mekanis sambungan las TIG pada bahan AA 5083 H116 dengan variasi besaran kuat arus. Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengelasan menggunakan TIG (*Tungsten Inert Gas*) terhadap tiga spesies material AA 5083 H116 dengan variasi kuat arus 85 A, 90 A, dan 95 A. Spesimen memiliki dimensi dengan panjang 300 mm, lebar 150 mm, dan tebal 3 mm. Pengujian mekanis yang dilakukan adalah uji tarik yang mengacu pada standar ASTM E 8-09, uji bending dengan standar ASTM 190. Patahan dari hasil pengujian tarik akan diuji struktur mikro terhadap patahan yang terjadi akibat uji tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis cacat pada spesimen TIG 1 memiliki jenis cacat porositas linier porosity pada bagian kiri las, clustered porosity pada bagian tengah las. TIG 2 memiliki linier porosity pada bagian ujung kanan las linier porosity pada bagian tengah spesimen dengan panjang 2 cm. TIG 3 Spesimen TIG 3 merupakan spesimen dengan tingkat cacat porositas paling banyak diantara dua spesimen TIG 1 dan TIG 2, hasil pengujian radiografi menunjukkan banyaknya porositas berukuran besar yang tersebar memanjang. Hasil pengujian makro menunjukkan patahan spesimen tidak lolos uji radiografi memiliki jenis cacat clustered porosity pada semua spesimen. Hasil uji tarik menunjukkan hasil kekuatan luluh tertinggi dimiliki spesimen TIG 1 dengan arus 85 A dengan nilai 178 MPa, sedangkan untuk kekuatan tarik dan regangan dimiliki spesimen TIG 2 arus 90 A, dengan nilai 137,61 MPa dan nilai regangan 8,18%. Pengujian bending dengan nilai paling tinggi adalah spesimen TIG 3 dengan arus 95 A sebesar 142,33 MPa dan nilai terendah pada spesimen TIG 1 dengan nilai 86,42 MPa.

Kata kunci: Alumunium, AA5083H116, TIG, radiografi, uji tarik, uji bending, uji optik makro.

1. PENDAHULUAN

Satu dekade terakhir ini penggunaan alumunium dapat dengan mudah kita temui dalam kehidupan sehari-hari. Alumunium adalah logam non-ferrous merupakan terobosan baru di dunia industri karena materialnya berkarakter kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Di dunia perkapalan seringkali digunakan pada bagian lambung kapal setelah logam kedua yaitu baja (Sunaryo, 2008: 13). Campuran Alumunium yang sering ditemui untuk bahan pembuatan kapal adalah seri 5xxx (Al-Mg) karena memiliki sifat anti korosi yang baik.

Alumunium paduan sering digunakan dalam industri manufaktur kapal adalah AA 5083. Paduan AA 5083 memiliki karakteristik material yang tinggi pada kekuatan tarik, sifat mampu las yang bagus, massa jenis ringan, memiliki ketangguhan yang bagus pada temperature kriogenik (dibawah atau sama dengan 0 °C) dan tahan terhadap korosi (Mandalf, 2015). Karena kelebihan dari sifat AA 5083 diatas, material ini menjadi sering diaplikasikan dalam kontruksi kapal. Salah satu metode manufaktur yang sering digunakan pada kontruksi kapal adalah pengelasan.

Dibidang perkapalan las TIG atau (Tungsten Inert Gas Welding) sering digunakan. Las TIG sering kita dengar dengan nama lain sebagai las busur menggunakan elektroda yang terbuat dari tungsten. Metode penyambungan dengan TIG dapat dilakukan pada material dengan baja paduan tinggi (high-alloy) dan logam bukan besi, contohnya aluminium, tembaga, dan materi paduan lainnya. TIG atau GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) memiliki teknik kestabilan busur yang tinggi, karena itu teknik GTAW disebut sebagai salah satu teknik las terbaik dalam perkembangan las listrik modern (Dadang, 2013). Teknik las ini memiliki beberapa kelebihan dengan teknik lainnya yaitu, dapat meningkatkan pelumeran material las, cacat las, dan mengurangi asap yang diakibatkan dari proses pengelasan.

Proses pengelasan aluminium sangat rentan terhadap cacat, salah satunya cacat porositas. Cacat porositas merupakan cacat yang sering terjadi pada proses pengelasan. Porositas merupakan ruang kosong yang terdapat pada material dikarenakan terperangkapnya gas pada saat logam cair pada saat proses pengelasan yang menyebabkan terjadinya cacat porositas (Junus, 2011). Cacat porositas tidak bisa terlihat oleh kasat mata karena cacat porositas terdapat pada bagian dalam las, sehingga perlu pengujian radiografi untuk mengetahuinya. Semakin banyak cacat porositas yang terjadi pada material las, maka semakin besar penurunan sifat mekanik yang terjadi.

Salah satu parameter las yang termasuk dalam persyaratan dasar agar mendapat hasil pengelasan yang optimal yaitu penentuan penggunaan arus las yang tepat. Arus las memiliki pengaruh yang besar terhadap masukan panas (heat input) yang diterima logam las, penetrasi dan kecepatan pencairan. Heat input yang diterima logam las dapat mempengaruhi sifat mekanis yang terjadi pada hasil pengelasan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus pengelasan TIG terhadap cacat porositas dan sifat mekanis bahan AA 5083 H116. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa sifat mekanis dari dua buah aluminium paduan AA 5083 H116 yang disambung dengan pengelasan TIG dengan variasi kuat arus. Diharapkan setelah diketahui perbandingan sifat-sifat tersebut, cacat pada hasil las TIG dapat diminimalisir.

2. METODE

2.1. Persiapan Bahan

Enam buah plat bahan AA 5083 H116 dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 75 mm, dan tebal 3 mm, pengelasan dilakukan menggunakan mesin AOTAI ATIG315PAC tegangan las rata-rata = 19 V, arus las elektroda = 85 A, 90 A, dan 95 A, Argon flow = 15 liter/menit. Kecepatan pengelasan = 2,8 mm/dt, 3,2 mm/dt, 2,6 mm/dt

2.2. Uji Radiografi

Radiografi dilaksanakan di Badan Tenaga Nuklir Nasional dengan menggunakan mesin LORAD LPX 200. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas las dan posisi dan jenis cacat pada las yang tidak bisa dilihat oleh kasat mata. Hasil radiografi tes akan menunjukkan posisi cacat las dan las baik sehingga menjadi acuan untuk proses pemotongan spesimen yang digunakan untuk uji tarik dan uji *bending*.

2.3. Uji Tarik

Tujuan dilakukannya uji tarik penelitian ini ialah untuk mengetahui nilai kekuatan luluh (*yield strength*) dan kekuatan tarik maksimal (*ultimate tensile strength*). Pengujian dilakukan terhadap dua belas spesimen yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu spesimen tarik yang tidak lolos uji radiografi berjumlah enam (TIG 1 dua buah, TIG 2 dua buah, TIG 3 dua buah) dan enam buah spesimen yang lolos uji radiografi (TIG 1 dua buah, TIG 2 dua buah, TIG 3 dua buah). Spesifikasi ukuran spesimen uji tarik adalah *Length* (L) 150 mm, *Length of reduced section* (A) 80 mm, *Gage length* (G) 40 mm, *Length of grid section* (B) 25 mm, *Width of grid section* (C) 25 mm, *Width* (W) 15 mm, *Thickness* (T) 3 mm *Radius of fillet* (R) 25 mm.

2.4. Uji Bending

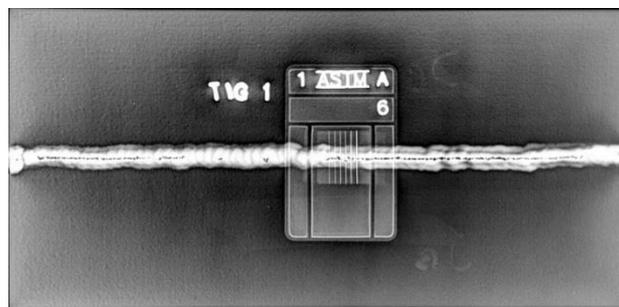
Untuk pembuatan spesimen pengujian *bending* dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta dengan berdasar standar ASTM 190. Spesifikasi ukuran spesimen uji *bending* panjang 100 mm, tebal 3 mm, dan lebar 12,5 mm.

2.5. Uji Makro

Radiografi dilaksanakan di Badan Tenaga Nuklir Nasional dengan menggunakan mesin LORAD LPX 200. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas las dan posisi dan jenis cacat pada las yang tidak bisa dilihat oleh kasat mata. Hasil radiografi tes akan menunjukkan posisi cacat las dan las baik sehingga menjadi acuan untuk proses pemotongan spesimen yang digunakan untuk uji tarik dan uji *bending*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

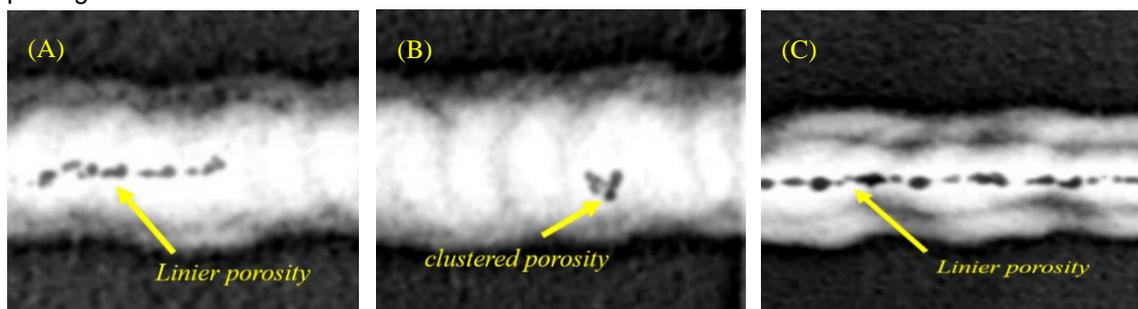
3.1 Analisis Pengujian Radiografi



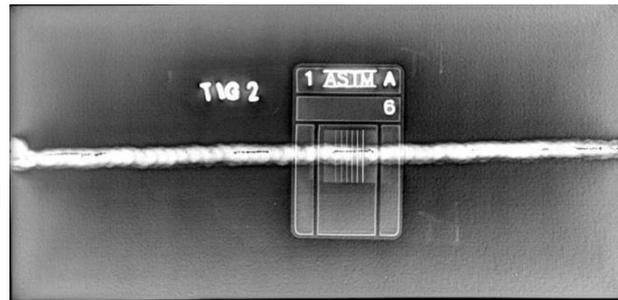
Gambar 3.1 Hasil Uji Radiografi Spesimen 85 A

Dari hasil pengujian radiografi dapat dilihat pada spesimen 85 A menunjukkan pada bagian kiri spesimen terdapat cacat *linier porosity* atau porositas yang berbentuk memanjang sejalur dengan arah las, dengan konsentrasi butiran porositi yang kecil dan sedang (gambar 4.4). *linier porosity* sering juga berbentuk memanjang dengan dari porositas satu sama lain. Pada bagian kanan spesimen las memiliki cacat *linier porosity* juga, tetapi ukurannya sedang dan besar.

Pada bagian tengah spesimen TIG 1 dapat dilihat cacat *clustered porosity*, porositas dengan jenis ini adalah jenis porositas dengan jumlah yang banyak pada konsentrasi yang kecil, bentuk *clustered porosity* biasanya bertumpuk dan tersebar cacat *clustered porosity* dapat dilihat pada gambar 3.2.

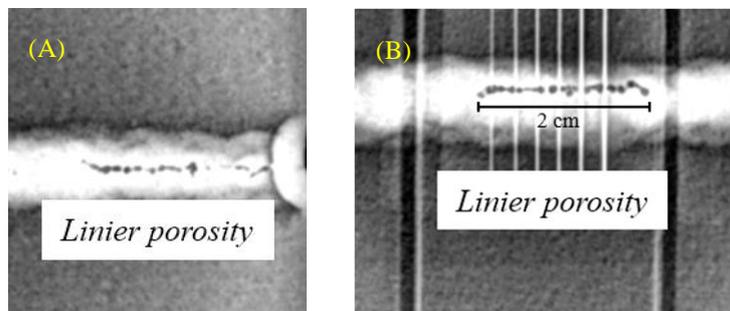


Gambar 3.2 Cacat radiografi pada spesimen 85 A: (A) *linier porosity* pada bagian kiri las, (B) *clustered porosity* pada bagian tengah las, (C) *linier porosity* pada bagian kanan las.



Gambar 3.3 Hasil Uji Radiografi Spesimen 90 A

Pada spesimen 90 A, hasil radiografi menunjukkan adanya cacat linier porosity yang parah dengan ukuran ± 2 cm pada bagian tengah spesimen dengan ukuran porositas kecil dan sedang memanjang searah dengan jalur las. Pada bagian ujung kanan las terdapat cacat linier porosity dengan ukuran porositas yang kecil. Porositas pada spesimen TIG 2 dapat dilihat pada gambar 3.4.

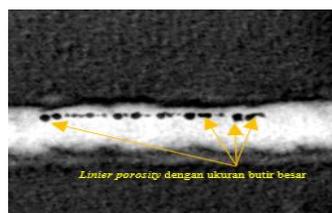


Gambar 3.4 Cacat radiografi pada spesimen 90 A : (A) linier porosity pada bagian ujung kanan las (B) linier porosity pada bagian tengah spesimen dengan panjang 2 cm



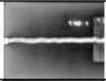
Gambar 3.5 Hasil Uji Radiografi Spesimen 95 A

Spesimen TIG 3 merupakan spesimen dengan tingkat cacat porositas paling banyak diantara dua spesimen TIG 1 dan TIG 2, hasil pengujian radiografi menunjukkan banyaknya porositas berukuran besar yang tersebar memanjang, selain itu jumlah spesimen TIG 3 memiliki jumlah porositas yang paling banyak (Tabel 4.2). Gambar 4.6 menunjukkan cacat radiografi pada spesimen TIG 3.



Gambar 3.6 Cacat radiografi spesimen 95 A

Tabel 3.1 Perhitungan jumlah cacat dan jenis cacat

Spesimen	Bagian	Gambar	Jenis Cacat	Jumlah Cacat			Keterangan
				Halus	Sedang	Besar	
TIG 1	Kanan		<i>Linier porosity</i> (ditengah las parah), <i>clustered porosity</i> , <i>distributed porosity</i>	23	14	24	Tidak lulus
	Kiri		<i>Linier porosity</i> (ditengah las parah), <i>distributed porosity</i>	37	28	19	Tidak lulus
TIG 2	Kanan		<i>Linier porosity</i> (bagian pinggir), <i>distributed porosity</i>	10	13	8	Tidak lulus
	Kiri		<i>Linier porosity</i> (ditengah las parah), dan titik sepanjang ± 2 cm, <i>distributed porosity</i>	16	12	5	Tidak lulus
TIG 3	Kanan		<i>Linier porosity</i> (bagian pinggir) hampir setengah panjang spesimen	12	22	15	Tidak lulus
	Kiri		<i>Linier porosity</i> (bagian pinggir) hampir setengah panjang spesimen, <i>distributed porosity</i>	37	26	18	Tidak lulus

3.2 Hasil Uji Tarik

Tabel 3.2 Nilai kekuatan tarik

Spesimen 85 A	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban (Kg)	Kekuatan tarik (MPa)
Tidak lolos radiografi 1	15,07	3,9	591,49	98,68
Tidak lolos radiografi 2	14,94	3,79	745,41	129,1
Lolos radiografi 1	15,02	3,38	1177,77	227,51
Lolos radiografi 2	15,07	3,58	1412,31	256,72
Rata-rata				178

Spesimen 90 A	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban (Kg)	Kekuatan tarik (MPa)
Tidak lolos radiografi 1	15,04	3,74	555,75	96,89
Tidak lolos radiografi 2	14,97	3,76	756,63	131,82
Lolos radiografi 1	15,08	3,95	1407,21	231,68
Lolos radiografi 2	15,13	3,85	1418,42	238,8
Rata-rata				174,79

Spesimen 95 A	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban (Kg)	Kekuatan tarik (MPa)
Tidak lolos radiografi 1	15,36	3,71	501,7	86,36
Tidak lolos radiografi 2	15,22	3,58	523,11	94,15
Lolos radiografi 1	15,02	3,4	323,25	62,07
Lolos radiografi 2	15,38	4,11	803,54	124,66
Rata-rata				91,80

Tabel 3.3 Nilai kekuatan luluh

Spesimen 85 A	Nilai titik luluh	Nilai titik tarik	Pmax (KN)	Kekuatan luluh (MPa)
Tidak lolos radiografi 1	20	24,5	5,8	80,47
Tidak lolos radiografi 2	24	31	5,65	94,78
Lolos radiografi 1	36	48	8,66	170,58
Lolos radiografi 2	45	58	10,74	199,07
Rata-rata				137

Spesimen 90 A	Nilai titik luluh	Nilai titik tarik	Pmax (KN)	Kekuatan luluh (MPa)
Tidak lolos radiografi 1	17	23	4,02	71,46
Tidak lolos radiografi 2	23	31	5,5	97,71
Lolos radiografi 1	46	58	10,92	183,66
Lolos radiografi 2	48	58	11,51	197,59
Rata-rata				137,61

Spesimen 95 A	Nilai titik luluh	Nilai titik tarik	Pmax (KN)	Kekuatan luluh (MPa)
Tidak lolos radiografi 1	17	23	4,02	71,46
Tidak lolos radiografi 2	23	31	5,5	97,71
Lolos radiografi 1	46	58	10,92	183,66
Lolos radiografi 2	48	58	11,51	197,59
Rata-rata				137,61

Pengujian tarik dengan acuan referensi ASTM E8-09 ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan luluh dan tarik dari hasil pengelasan. Hasil dari pengujian tarik ini menghasilkan grafik yang menunjukkan kekuatan tarik maksimal dari spesimen yang dilambangkan (σ_{max}) dan nilai kekuatan luluh (σ_y).

Hasil uji tarik yang dilakukan dapat diketahui nilai kekuatan tarik maksimal dan nilai kekuatan luluh dari ketiga spesimen yang diuji. Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada gambar berikut:



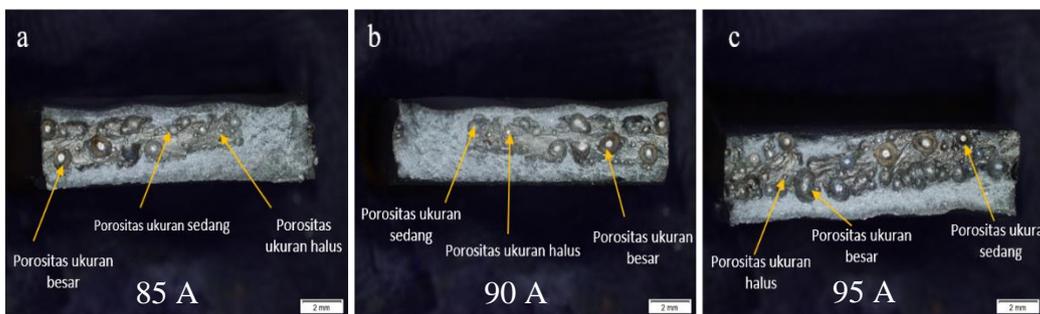
Gambar 3.7. Grafik kekuatan luluh dan kekuatan tarik spesimen 85 A, 90 A, 95 A

Dari data diatas dapat diketahui spesimen TIG 1 dengan kuat arus 85 A memiliki nilai kekuatan luluh sebesar 178 MPa, kekuatan tarik sebesar 137.48 MPa dan nilai regangan 6.51%. Spesimen TIG 2 dengan arus 90 A memiliki nilai kekuatan luluh sebesar 174,79 MPa, kekuatan luluh 137,61 MPa, dan nilai regangan 8,18%. Spesimen TIG 3 dengan arus 95 A memiliki nilai kekuatan luluh sebesar 98,1 MPa, kekuatan tarik 68,59 MPa, dan nilai regangan 4,74%.

Dari gambar 4.17 Grafik hasil uji tarik menunjukkan hasil kekuatan luluh tertinggi dimiliki spesimen TIG 1 dengan arus 85 A dengan nilai 178 MPa, sedangkan untuk kekuatan tarik dan regangan dimiliki spesimen TIG 2 arus 90 A, dengan nilai 137,61 MPa dan nilai regangan 8,18%. Kusuma, dkk (2017) melakukan pengujian tarik spesimen las TIG pada material 5083, hasil pengujian memiliki kekuatan tarik sebesar 196,48 MPa, menunjukkan adanya penurunan nilai kekuatan tarik sebesar 24,57%.

Nilai kekuatan raw material sebesar 275,46 MPa untuk nilai luluh dan sebesar 346,62 untuk nilai kekuatan tarik maksimal (Mudjijana dkk, 2017). Perbandingan nilai tarik hasil las dengan raw material menunjukkan adanya penurunan nilai tarik sebesar 46,2%.

3.3 Hasil Uji Makro



Gambar 3.8. Ukuran porositas pada spesimen 85 A, 90 A, 95 A

Berdasarkan hasil pengamatan makro pada spesimen diatas setelah mengalami proses proses pengujian tarik. Dari hasil pengujian makro menunjukkan semua spesimen memiliki cacat berjenis

clustered porosity, dapat disimpulkan bahwa pengujian radiografi saja kurang efektif untuk menentukan jenis dan jumlah porositas, karena hasil radiografi hanya bisa memvisualisasikan spesimen las bagian spesimen yang ditembakkan sinar-X, sehingga jika ada porositas bertutup menutupi porositas lainnya, tidak bisa tervisualisasikan pada hasil radiografi.

Bagian spesimen dengan variasi arus 85 A memiliki kekuatan tarik yang paling tinggi seperti yang ditampilkan, hal ini dapat terjadi dimana hasil pengamatan struktur makro yang terlihat bahwa pada arus 85 A porositas relatif lebih sedikit dibanding spesimen lainnya. Selain itu, pada spesimen dengan arus 95 A yang memiliki nilai kekuatan tarik terendah, bahwa hal tersebut disebabkan karena cacat porositas yang dimiliki oleh spesimen lebih banyak dan ukurannya lebih besar.

3.4 Hasil Uji Bending

Pengujian beding dilakukan ununtuk mengetagui nilaki kekuatan bending yang dapat di terima oleh spesimen uji. Pengujian bending dibuat berdasarkan ketentuan standar ASTM 190 dengan dimensi ukuran panjang = 100, lebar = 12,7 mm, Tebal = 3mm dengan jarak tumpuan 50 mm. Uji bending dilakukan dengan jenis face bending atau pengujian arah bending diberikan dari permukaan las. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Nilai kekuatan bending spesimen 85 A

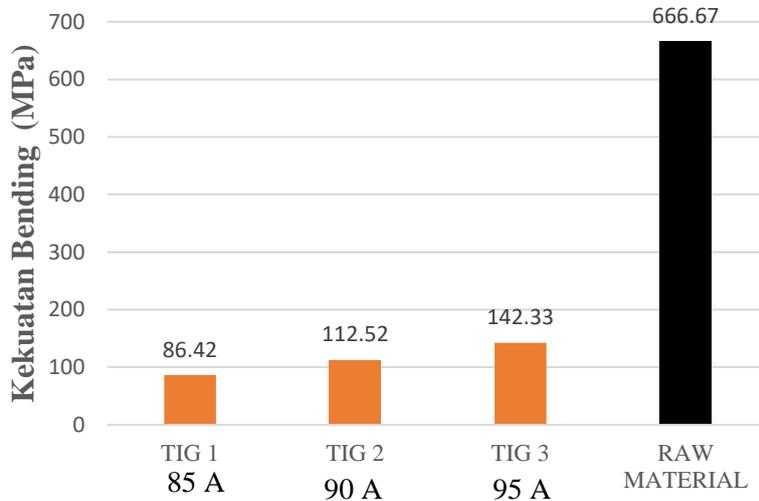
Spesimen 85 A	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	Beban (Kg)	Kekuatan bending (MPa)
Tidak lolos radiografi 1	12,76	4,4	28.5	42,82	72,68
Tidak lolos radiografi 2	12,66	4,14	28.5	21,41	41,31
Lolos radiografi 1	12,43	5,34	28.5	66,28	78,4
Lolos radiografi 2	12,72	2,81	28.5	36,7	153,23
Rata-rata					86,42

Tabel 3. Nilai kekuatan bending spesimen 90 A

Spesimen 90 A	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	Beban (Kg)	Kekuatan bending (MPa)
Tidak lolos radiografi 1	12,62	4,15	28.5	17,33	33,44
Tidak lolos radiografi 2	12,44	4,39	28.5	33,65	48,84
Lolos radiografi 1	12,76	5,91	28.5	84,63	181,89
Lolos radiografi 2	12,57	4,03	28.5	85,65	175,9

Tabel 3. Nilai kekuatan bending spesimen 95 A

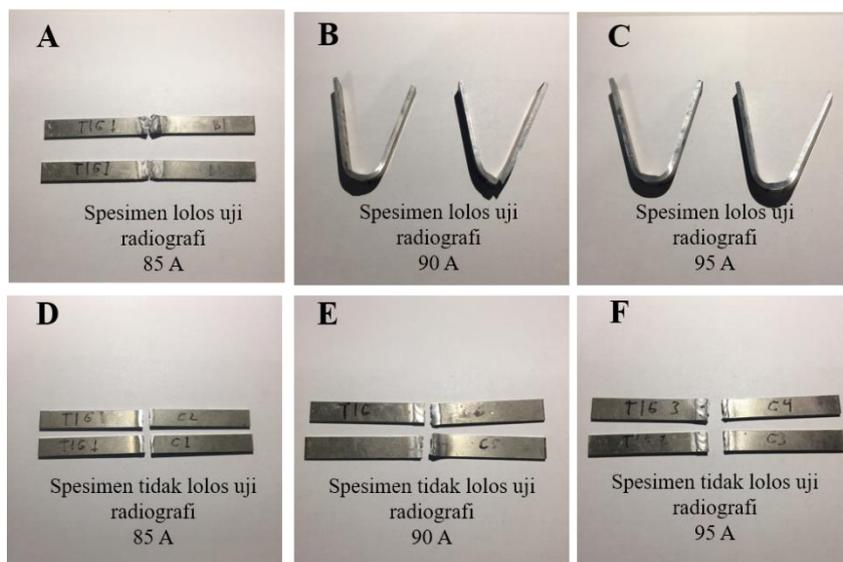
Spesimen 95 A	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	Beban (Kg)	Kekuatan bending (MPa)
Tidak lolos radiografi 1	13,92	3,71	28.5	87,69	191,89
Tidak lolos radiografi 2	14,14	3,63	28.5	37,72	84,89
Lolos radiografi 1	14,54	4,1	28.5	73,41	125,93
Lolos radiografi 2	14,62	3,93	28.5	89,73	166,6
Rata-rata					142,33



Gambar 3.9 Grafik hasil uji bending

Pada grafik diatas dapat dilihat kekuatan *bending* dengan nilai paling tinggi adalah spesimen TIG 3 dengan arus 95 A sebesar 142,33 MPa dan nilai terendah pada spesimen TIG 1 dengan nilai 86,42 MPa. Perbandingan antara spesimen las dengan raw material dengan nilai 666,67 Mpa menunjukkan kekuatan bending hasil las menunjukkan penurunan kurang lebih sekitar 82,9%. Huda, dkk (2017) melakukan pengujian bending pada sambungan las TIG pada material 5083, nilai kekuatan bending diperoleh sebesar 343 MPa. Hasil menunjukkan adanya penurunan yang disebabkan porositas pada kekuatan bending sebesar 66,83%.

Selanjutnya untuk hasil uji bending dengan nilai tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan kuat arus 95 A karena spesimen arus 95 A memiliki nilai tarik terendah dibandingkan dengan spesimen lainnya, dapat disimpulkan bahwa spesimen arus 95 A memiliki karakteristik material yang lebih getas sehingga menghasilkan nilai uji bending yang tinggi akan tetapi nilai uji tarik yang cenderung kecil. Selain itu hasil las dengan arus 95 A menghasilkan hasil las yang cenderung menumpuk pada bagian base metal sehingga hasil las cenderung lebih lebar dibandingkan dengan spesimen lainnya, sehingga kekuatan uji bending lebih besar.



Gambar 3.10 Spesimen hasil uji *bending*

Dari hasil spesimen uji *bending* dapat dilihat pada spesimen lolos uji radiografi dengan arus 85 A terjadi patahan pada proses *bending*, sedangkan pada spesimen lolos uji radiografi dengan arus 90 A terdapat retakan disalah satu spesimen. Pada spesimen lolos uji radiografi dengan arus 95 A tidak terjadi patahan atau retakan.

Dari gambar diatas simpulkan bahwa semakin bertambahnya kuat arus yang digunakan pada proses pengelasan TIG maka sambungan las semakin ulet, sedangkan semakin turunnya kuat arus maka sambungan las akan semakin getas. Hal ini didukung dengan perolehan nilai hasil uji *bending* (gambar 3.9) yang menunjukkan semakin tingginya kuat arus maka nilai kekuatan *bending* semakin naik.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian pada sambungan las TIG pada material AA 5083 H116 dengan variasi arus 85 A, 90 A, 95 A terhadap cacat hasil radiografi, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian tarik hasil terbaik dimiliki spesimen kuat arus 85 A dengan nilai kekuatan tarik 178 MPa dan hasil pengujian *bending* terbesar dimiliki spesimen 95 A dengan hasil 142,33 MPa.
2. Berdasarkan hasil uji radiografi spesimen dengan variasi kuat arus 85 A memiliki jenis cacat *linier porosity* pada bagian kiri las dan *clustered porosity*. Variasi kuat arus 90 A memiliki cacat *linier porosity* pada bagian ujung kanan las dan pada bagian tengah spesimen dengan panjang 2 cm. variasi 95 A memiliki cacat jenis *linier porosity* dengan ukuran butir cacat yang besar dan berjumlah lebih banyak.
3. Cacat porositas berpengaruh terhadap sifat mekanis, pada pengujian tarik mengalami penurunan sebesar 24,57%. Perbandingan nilai tarik hasil las dengan *raw material* menunjukkan adanya penurunan nilai kekuatan tarik sebesar 46,2%. Selanjutnya hasil pengujian *bending* memiliki penurunan sifat mekanis sebesar 66,83%. Perbandingan antara spesimen las dengan *raw material* dengan nilai 666,67 Mpa menunjukkan kekuatan *bending* hasil las menunjukkan penurunan kurang lebih sekitar 82,9%.

REFERENSI

- Aljufri. (2014). *Analisa Pengujian Tarik Statik Hasil Pengelasan TIG pada Material Al-Mg 5083 Menggunakan Analisa Statistik Metode Anova (Varian)*. Skripsi S1, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Malikusaleh Aceh Utara. 5/2:12-1.
- American Society of Mechanical Engineers. (2001). *Materials Part C – Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals*. ASME, New York, USA.
- Bitharas, I., McPherson, N. A., McGhie, W., Roy, D., & Moore, A. J. (2018). *Visualisation and optimisation of shielding gas coverage during gas metal arc welding*. Journal of Materials Processing Technology, Institute of Photonic and Quantum Sciences, Heriot-Watt University, Edinburgh, 255, 451–462.
- Callister, Jr.W.D. (2013). *Material Science and Engineering: An Introduction*, (8th edition). Material & Design. John Wiley & Sons, USA. 12(1), 59.
- Dadang. (2013). *Teknik Las GTAW*. Direktorat Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jendral Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan, Jakarta.
- Hadi, S., Rusiyanto, Pramono. (2017). *Pengaruh Variasi Kampuh Las Dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las Tig pada Alumunium 5083*. Skripsi S1, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang. 8(2), 27–35.
- Huda, M.H., Jokosisworo, S., Yudo, H. (2017). *Pengaruh Pengelasan TIG dan MIG Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending pada Sambungan Pelat Alumunium 5083*. Skripsi S1, Fakultas Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan, Universitas Diponegoro, 14(1), 14.
- Irawan, Y.S. (2012). *Bahan Kuliah S1 Material Teknik (Engineering Materials)*. Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Jeyaprakash, N., Halie, A., Arunprasath, M. (2015). *The Parameters and Equipment Used in TIG Welding: A Review*. Departement of Production Engineering, Defence University, 2(2), 47-66.
- Kusuma, R.C., Jokosisworo, S., Budi, A.W.S. (2017). *Analisis Perbandingan kekuatan Tarik, Impak, Bending dan Mikrografi Alumunium 5083 Pasca Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) dengan Media Pendinginan Air Laut dan Oli*. Skripsi S1, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, 14(1), 14.
- Larson, B. (2000). *REAL-TIME RADIOGRAPHY – An Introductory Course Module for NDT Students*. Image Processing.
- Lu, F., Li, X., Li, Z., Tang, X., & Cui, H. (2015). *Formation and influence mechanism of keyhole-induced porosity in deep-penetration laser welding based on 3D transient modeling*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 90, 1143–1152.
- Mandalf, N.R. (2005). *Aluminium Welding, 2nd ed*. Narosa Publishing House Pvt Ltd, India.
- Mandalf, N.R. (2017). *Ship Construction and Welding, Vol. 2*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Meng, X., Qin, G., Zou, Z. (2016). *Sensitivity of driving forces on molten pool behavior and defect formation in high-speed gas tungsten arc welding*. Key Laboratory for Liquid-Solid Structural Evolution and Processing of Materials, Ministry of Education, Shandong University, 107, 1119–1128.
- Mudjijana, Ilman, M.N., dan Iswanto, P.T. (2017). *Karakterisasi Pengaruh Kecepatan Las pada Pengelasan MIG AA 5083 H116 dengan Elektroda ER 5356*. POROS, Volume 15 Nomor 1, Mei 2017, pp. 26-34.
- NDT Education Resource Center. (2001). *The Collaboration for NDT Education, Radiograph Interpretation – Welds*, Iowa State University.
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja Dan Transmigrasi No : Per. 02/Men/1982 (1982). *Kwalifikasi Juru Las di Tempat Kerja*. Menteri Tenaga Kerja Dan Transmigrasi, Jakarta.
- Riswanda, Ilman, M.N. (2012). *Studi Komparasi Sambungan Las Dissimilar AA5083-AA6061-T6 Antara TIG dan FSW*. Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung. ISBN 978-979-3541-25-9.

- Samuel, S., Dewantara, M.A., Yudo, H. (2017). *Analisa Pengaruh Gas Pelindung Argon Grade A dan Grade C Terhadap Kekuatan Impact dan Bending Sambungan Butt Joint pada Aluminium 5083*. Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. 5(2), 367–373.
- Saputro, G.S. (2015). *Pengaruh Arus Listrik dan Laju Alir Gas Pelindung Terhadap Formasi Lapisan Intermetalik Pada Lap Joint Las Tungsten Inert Gas (TIG) Logam Tak Sejenis Baja Galvanis-Aluminium AA 5052 dengan Filler Al-Si 4043*. Skripsi S1, Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret.
- Sheasby, P.G. & R. Pinner. (2001). *The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and Its Alloys 6th Edition*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 294(1).
- Singh, R. (2016). *Applied Welding Engineering – Processes, Codes, Standards, 2nd ed*. Elsevier Inc, Oxford.
- Sukma, O.P. (2016) *Pengaruh Posisi Sudut Torch Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Sambungan Las TIG Bahan AA 5083 H116 dan Elektroda ER5356*. Skripsi S1, Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada.
- Sunaryo, H., (2008) *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 2 untuk SMK*. Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah. Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Surdia, T. & Saito, S. (1985) *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- TIG Welding – Method and Application*. (1998) ELECTRO-CAL UK *Welding Equipment Specialists*, Milnthorpe, Cumbria.
- Udomphol, T. (2007). *Aluminium and Its Alloys*. Lecture presentation. Suranaree University of Technology, Thailand.
- Wiryosumarto, H., Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Xu, G., Li, L., Wang, H., Li, P., Gou, G., Hu, Q. Du, H. (2019). *Simulation and experimental studies of keyhole induced porosity in laser MIG hybrid fillet welding of aluminum alloy in the horizontal position*. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Advanced Welding Technology, Jiangsu University of Science and Technology, 119(June), 105667.
- Yi, H. J., Lee, Y. J., & Lee, K. O. (2016). *Tig dressing effects on weld pores and pore cracking of titanium weldments*. School of Mechanical Engineering, Pusan National University, 6(10).