

Pengaruh variasi kampuh las dan arus listrik terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las TIG pada aluminium 5083

Satrio Hadi¹, Rusiyanto², dan Pramono³

^{1,2,3}Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
satriohady23@gmail.com

Abstrak : Tujuan penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi kampuh las dan arus listrik terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las TIG pada Aluminium 5083. Variasi jenis kampuh yang digunakan adalah jenis kampuh V, X dan I serta arus listrik yang digunakan sebesar 110,130,dan 150 ampere. Data hasil penelitian dianalisis secara langsung menggunakan grafik dan foto mikro yang kemudian ditarik kesimpulan dari hasil penelitian tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik terbesar didapatkan dari variasi kampuh jenis X dengan arus pengelasan sebesar 150 ampere yaitu 170,98 MPa. Bentuk struktur mikro pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal* memiliki perbedaan pada setiap variasi arus pengelasan. Perbedaan terletak pada jumlah Mg₂Si dan besarnya porositas akibat variasi arus pengelasan.

Kata Kunci: kampuh las, arus listrik, kekuatan tarik, struktur mikro, aluminium 5083

1. Pendahuluan

Menurut *Deutche Industrie Normen (DIN)* (Wiryosumarto, 2000:1) pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang dilakukan pada sambungan lumer atau cair dan terjadi pada daerah setempat dengan energi panas. Selain pada keadaan lumer, pengelasan juga dapat dilakukan hanya dengan menekan dua logam yang sejenis sehingga terjadi ikatan antara atom atom atau molekul-molekul dari logam yang disambungkan menggunakan energi panas. Las busur gas adalah cara pengelasan dimana gas dihembuskan ke daerah las untuk melindungi busur dan logam yang mencair akibat dari panas listrik (Wiryosumarto, 2000:16). Gas yang biasanya digunakan sebagai pelindung adalah gas Helium (He), gas Argon (Ar), gas Karbondioksida (CO₂) atau gas dari campuran dari gas-gas tersebut. Las busur gas (GMAW) elektroda adalah kawat gulungan yang disalurkan melalui pemegang elektroda untuk dicairkan sebagai pengisi sambungan dalam pengelasan (Salmon, 1997:182).

Teknik pengelasan yang kurang sempurna atau tidak sesuai prosedur juga akan menimbulkan cacat pada sambungan pengelasan. Cacat yang biasanya ditimbulkan adalah peleburan tidak sempurna, penetrasi kampuh yang tak memadai, porositas, peleburan berlebihan, terkontaminasi terak serta retak. Penetrasi kampuh yang kurang memadai adalah keadaan dimana kedalaman las kurang dari tinggi alur yang ditetapkan sehingga hasil pengelasan akan berbentuk seperti gunung atau cekungan (Salmon, 1997:197). Cacat ini biasanya disebabkan karena perencanaan alur pengelasan yang tidak sesuai dengan proses atau teknik pengelasan yang dipilih atau juga dapat disebabkan oleh faktor lain seperti elektroda terlalu besar atau kecil, arus listrik yang tidak sesuai atau tidak memadai, bahkan dapat disebabkan oleh laju pengelasan yang terlalu cepat atau lambat (Kenyon, 1985:73).

Menurut Ghazvinloo (2010) dalam penelitian yang berjudul "*Effect of Arc Voltage, Welding Current and Welding Speed on Fatigue Life, Impact Energy and Bead Penetration of AA6061 Joints*

Produced by Robotic MIG Welding menerangkan bahwa umur kelelahan aluminium AA6061 dengan tebal plat 10 mm mengalami penurunan yang signifikan pada arus 110 dan 150 ampere dan tegangan antara 20-26 volt namun umur kelelahan meningkat dengan memberikan kecepatan pengelasan hingga 60 cm/min dan selebihnya akan mengalami penurunan umur kelelahan kembali.

Kekuatan hasil las dipengaruhi oleh besar kecilnya arus yang digunakan dalam proses pengelasan. Adanya aliran kuat arus listrik pada suatu penghantar energi yang berasal dari energi listrik dapat diubah menjadi energi panas. Panas yang terjadi selama proses pengelasan digunakan untuk melelehkan logam induk, Energi yang dihasilkan merupakan daya yang dipakai selama waktu tertentu. Kedalaman peleburan sambungan pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las, semakin tinggi kuat arus yang digunakan maka semakin dalam peleburan pada daerah sambungan sehingga kekuatan tarik juga akan meningkat (Raharjo, 2012:97). Jika bahan induk mudah meleleh maka proses penyambungan akan terjadi dengan baik serta logam pengisi akan dapat bercampur dengan logam induk lewat lelehan tersebut sehingga komposisi logam pengisi dan logam induk akan bercampur dan membentuk sambungan yang kuat. Penggunaan arus yang rendah juga mengakibatkan elektroda akan sulit menyala sehingga mengakibatkan proses pengelasan tidak berjalan dengan maksimal karena logam pengisi sulit mencair dengan logam induk sehingga kedua logam tersebut akan sulit menyambung / menempel.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana pengaruh variasi kampuh las dan arus listrik terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las TIG pada aluminium 5083. Variasi kampuh yang digunakan adalah jenis kampuh V, X dan I serta variasi arus las yang digunakan sebesar 110, 130, dan 150 ampere.

2. Metode Penelitian

Metode Pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Quasi Experimental Time Series* dengan cara melakukan percobaan pada beberapa spesimen pada setiap variasi variabel untuk mendapatkan hasil yang signifikan serta melakukan observasi mengenai hasil penelitian dengan cara menguji tarik spesimen untuk mengetahui kekuatan tarik dan menguji mikro spesimen untuk mengetahui perbedaan struktur mikro pada variasi kampuh las aluminium 5083 menggunakan las TIG. Hasil pengujian tarik dan struktur mikro merupakan hasil dari variasi kampuh yaitu kampuh V tunggal, kampuh persegi dan kampuh X.

Pada Penelitian ini desain penelitian yang digunakan adalah *One Shot Case Study* karena sambungan las akan diberikan variasi kampuh yaitu kampuh V tunggal, kampuh persegi dan kampuh X dan variasi arus listrik yaitu 110 Ampere, 130 Ampere, dan 150 Ampere. Hasil dari pengujian tarik dan pengujian foto mikro dari hasil pengelasan akan dijadikan sebagai data untuk mencari perbedaan pengaruh variasi kampuh las pada sambungan aluminium menggunakan las TIG.

Tabel 1. Desain penelitian

Kelompok (Group)	Perlakuan (Treatment)	Observasi (hasil)
E	X	Y1
		Y2

Keterangan:

E = Variasi Kampuh Las

X = Variasi Arus Listrik

Y1 = Hasil Pengujian Tarik

Y2 = Hasil Uji Struktur Mikro

Adapun variabel independent dalam penelitian ini adalah variasi kampuh las yaitu kampuh las V tunggal, kampuh las persegi dan kampuh las X serta Arus listrik yaitu 110 Ampere, 130 Ampere, dan 150 Ampere. Adapun variabel *dependent* dalam penelitian ini adalah hasil pengujian tarik (σ , ϵ , dan E) dan foto struktur mikro daerah sambungan pada aluminium 5083. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah Kecepatan las, dan diameter kawat las serta proses pendinginan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini adalah hasil penelitian pengaruh variasi kampuh dan kuat arus las terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las TIG pada aluminium 5083. Variasi kampuh las yang digunakan adalah jenis kampuh V, kampuh X dan

kampuh I, sedangkan variasi arus yang digunakan dalam penelitian ini adalah 110 ampere, 130 ampere, 150 ampere. Sudut yang digunakan dalam pembuatan kampuh V dan kampuh X menggunakan sudut sebesar 60°.

Hasil penelitian ini mendapat hasil data pengujian berupa angka untuk mengetahui kekuatan tarik dan berupa gambar dengan perbesaran 500 kali untuk mengetahui struktur mikro sambungan las TIG pada aluminium 5083.

3.1. Hasil

Hasil pengujian tarik dari sambungan las TIG pada aluminium 5083 dengan variasi kampuh V, kampuh X dan kampuh I serta variasi arus pengelasan 110 ampere, 130 ampere, 150 ampere didapatkan kekuatan tarik seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata nilai tegangan tarik sambungan las TIG pada aluminium 5083 dengan variasi kampuh dan arus las

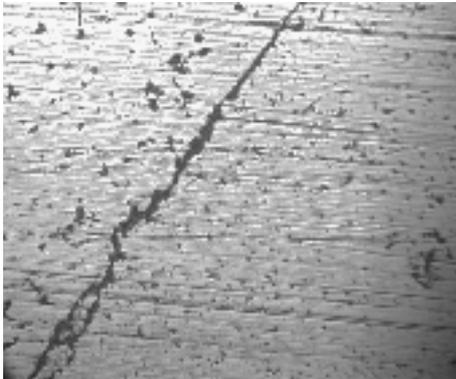
No	Spesimen	Tegangan (σ) (MPa)	Regangan (ϵ) (%)	E (MPa)
1	V 1	112,38	3,21	34,79
2	V 3	122,35	3,94	30,75
6	V 5	126,93	4,02	31,70
4	X 1	112,67	3,25	34,04
5	X 3	122,65	3,54	34,95
3	X 5	170,98	5,12	33,53
7	I 1	81,41	2,48	32,89
8	I 3	85,98	2,20	39,42
9	I 5	135,62	3,21	42,46

Tabel 2 menunjukkan bahwa kekuatan tarik terbesar yang berupa tegangan didapatkan dengan variasi kampuh X dengan menggunakan arus 150 ampere sebesar 170,98 MPa. Kekuatan tarik terkecil didapatkan oleh variasi kampuh jenis kampuh I dengan arus las 110 ampere yaitu sebesar 81,41 MPa. Tabel 2 juga menunjukkan hasil regangan, hasil

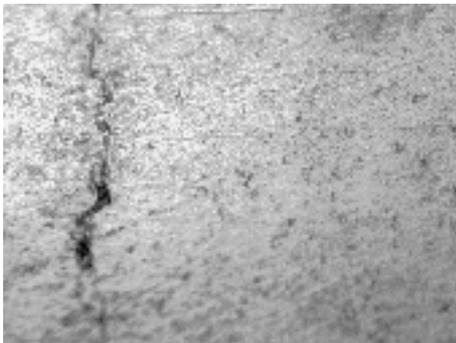
regangan terbesar yaitu 5,12% didapatkan oleh variasi kampuh las jenis X dengan variasi arus 150 ampere. Regangan terkecil diperoleh dari variasi kampuh jenis I dengan arus las 130 yaitu sebesar 2,20%.

Hasil pengamatan struktur mikro dari beberapa sambungan las TIG pada

aluminium 5083 dengan variasi arus las didapatkan gambar struktur mikro seperti



Gambar 1. Struktur mikro sambungan las arus pengelasan 110 ampere (pembesaran 500x)



Gambar 2. Struktur mikro sambungan las arus pengelasan 130 ampere (pembesaran 500x)

ditunjukkan pada Gambar 1 hingga Gambar 3.

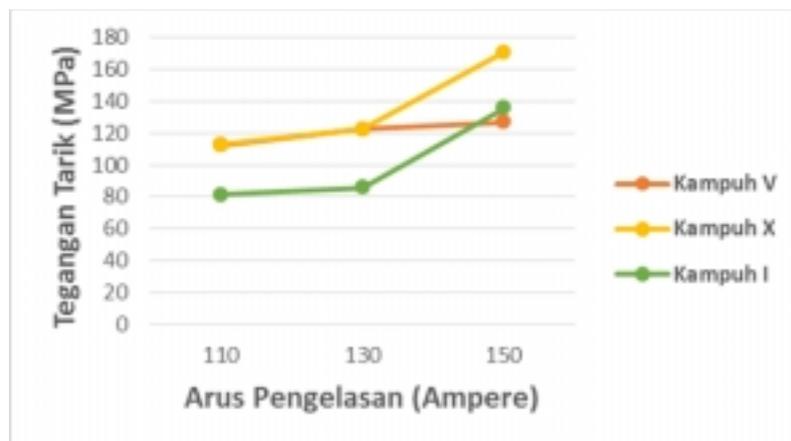


Gambar 3. Struktur mikro sambungan las arus pengelasan 150 ampere (pembesaran 500x)

3.2. Pembahasan

3.2.1. Kekuatan Tarik Sambungan Las TIG Aluminium 5083 dengan Variasi Kampuh Las dan Arus Las

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan antara variasi kampuh dan arus listrik terhadap kekuatan tarik sambungan yang berupa tegangan tarik sambungan las TIG pada aluminium 5083.



Gambar 4. Rata-rata nilai tegangan tarik sambungan las kampuh V dengan variasi arus pengelasan

Gambar 4 menunjukkan adanya kenaikan nilai tegangan tarik yang diakibatkan variasi arus pengelasan yang semakin

besar. Nilai tegangan tarik yang terbesar yang didapatkan dari hasil uji tarik sambungan las TIG pada aluminium 5083

didapatkan pada jenis kampuh X dan arus pengelasan 150 ampere dengan nilai tegangan tarik sebesar 170,98 MPa. Nilai tegangan tarik terkecil didapatkan pada variasi jenis kampuh I dan arus pengelasan 110 ampere dengan nilai tegangan tarik sebesar 81,41 MPa. Jumlah tegangan tarik pada Gambar 4 didapatkan dari penghitungan menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

Dimana : F =Beban (kg)

A_0 =Luas mula dari penampang batang (mm²)

Arus pengelasan yang besar mengakibatkan proses pemanasan lebih cepat sehingga logam induk akan mengalami proses pelelehan yang lebih cepat sehingga bahan pengisi akan lebih cepat bercampur dengan logam induk dan membentuk sambungan yang baik karena terjadi pencampuran yang lebih sempurna dibanding dengan variasi lainnya. Jenis kampuh juga mempengaruhi kekuatan tarik sambungan las karena daerah lebur yang semakin besar akan membuat pencampuran logam isi dan logam induk semakin sempurna dibanding dengan jenis kampuh dengan daerah lebur yang lebih sempit atau kecil. Gambar 4 menunjukkan jenis kampuh X memiliki tegangan tarik paling besar diantara jenis kampuh V dan I pada setiap variasi arus pengelasan 110 ampere, 130 ampere, maupun arus pengelasan 150 ampere. Proses peleburan juga dipengaruhi oleh ketebalan benda yang akan dilas. Semakin tebal benda yang akan dilas maka semakin besar arus pengelasan yang kita gunakan, hal ini dilakukan karena butuh energi panas lebih untuk dapat membuat panas benda yang lebih tebal. Penggunaan arus pengelasan yang kecil pada proses pengelasan dengan benda las tebal dapat mengakibatkan proses penembusan tidak sempurna

artinya hanya bagian yang terkena busur yang dapat meleleh dengan sempurna dan pada bagian tengah atau bawah tidak dapat melebur.

Pada penelitian Aljufri (2007) menyebutkan bahwa rata-rata nilai kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada variasi kampuh V tunggal dengan sudut kampuh 90° dan variasi arus pengelasan 100 ampere pada sambungan las TIG dengan ketebalan bahan 7mm. Hal ini disebabkan karena luasan daerah lebur lebih luas dibanding sudut 70° dan 80°. Arus pengelasan 100 ampere merupakan arus pengelasan yang sesuai dengan variasi kampuh V dengan sudut 90°. Berbeda dengan sambungan las TIG dengan ketebalan benda las 10mm, penggunaan arus 110 ampere belum mampu meleburkan secara sempurna sambungan las sehingga proses peleburan hanya terjadi pada permukaan yang terkena elektroda las saja, sedangkan daerah tengah dan bawah tidak mengalami proses peleburan yang sempurna. Penggunaan arus 150 ampere untuk ketebalan benda 10mm mampu meleburkan sambungan las dengan sempurna pada bagian permukaan, tengah dan bawah sehingga terjadi proses peleburan yang sempurna dan proses pencampuran yang baik antara *base metal* dan *weld metal*.

Menurut Shen (2014) dalam penelitiannya yang berjudul "*Effects of Welding Current on Properties of A-TIG Welded AZ31 Magnesium Alloy Joints with TiO₂ Coating*" menerangkan bahwa kekuatan tarik pada saat arus pengelasan 130 ampere mengalami peningkatan sesuai dengan kenaikan ampere, namun saat arus pengelasan lebih dari 130 ampere kekuatan pada daerah HAZ mengalami penurunan karena daerah lelehan lebih besar sehingga mengakibatkan struktur mikro berubah secara signifikan pada daerah yang lebih luas sehingga menyebabkan kekuatan tarik pada daerah ini menjadi turun.

Hasil pengujian tarik juga mendapatkan nilai regangan dari sambungan las TIG pada aluminium 5083 yang didapatkan dari persamaan berikut:

Regangan:

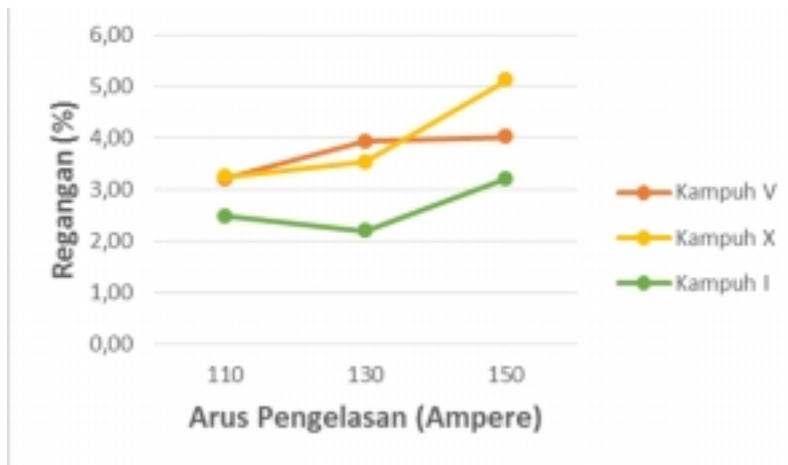
$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana : L_0 = Panjang mula batang uji (mm)

L = Panjang batang uji yang dibebani (mm)

Hasil dari perhitungan menggunakan persamaan diatas didapatkan hasil nilai regangan yang disajikan dalam Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan nilai regangan terbesar didapatkan pada variasi kampuh jenis X dan arus pengelasan 150 ampere yaitu sebesar 5,12%. Nilai regangan terkecil didapatkan dari jenis kampuh I dengan variasi arus pengelasan sebesar 130 ampere yaitu sebesar 2,20%. Secara umum Gambar 5 menerangkan kenaikan nilai regangan pada semua jenis kampuh dan variasi arus pengelasan yang semakin besar.



Gambar 5 Rata-rata nilai regangan sambungan las dengan variasi kampuh dan variasi arus pengelasan

Hasil pengujian tarik yang berupa tegangan tarik serta regangan tarik juga dapat dihitung besar nilai modulus elastisitas dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (MPa)}$$

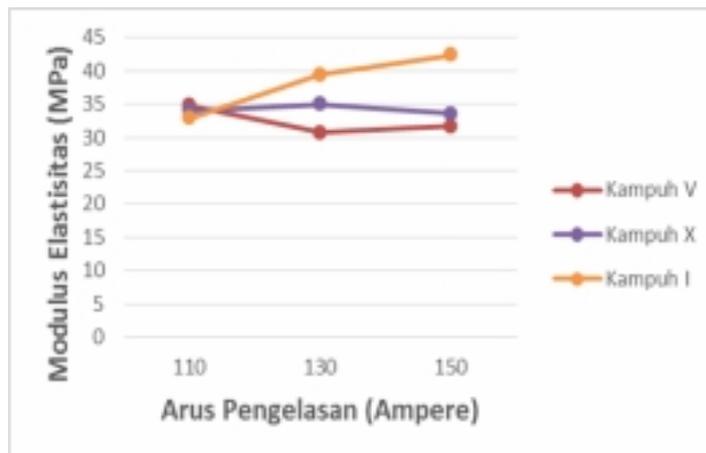
Dimana: σ = Tegangan tarik (MPa)

ϵ = Regangan tarik (%)

sehingga didapatkan hasil modulus elastisitas seperti pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas terbesar didapatkan

pada variasi kampuh I dengan variasi arus pengelasan sebesar 150 yaitu dengan nilai modulus elastisitas sebesar 42,36 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas terendah dengan nilai 30,75 MPa diperoleh pada sambungan dengan variasi kampuh V dan arus pengelasan sebesar 130 ampere. Nilai modulus elastisitas dipengaruhi oleh besar kecilnya tegangan tarik dan regangan tarik. Semakin besar nilai tegangan tarik dan semakin kecil nilai regangan tarik maka nilai modulus elastisitas semakin besar. Sebaliknya apabila nilai tegangan tarik kecil dan nilai regangan besar maka nilai modulus elastisitas semakin kecil.

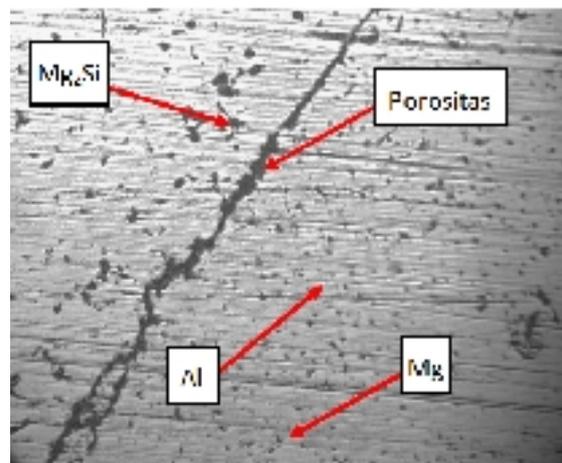


Gambar 6. Rata-rata nilai modulus elastisitas sambungan las dengan variasi kampuh dan variasi arus pengelasan

3.2.2. Struktur Mikro Sambungan Las TIG pada Aluminium 5083 dengan Variasi Kampuh dan Arus Pengelasan

Pengamatan struktur mikro daerah sambungan las dikelompokkan menjadi TIGa variasi arus pengelasan yaitu 110 ampere, 130 ampere, dan 150 ampere. Besar arus pengelasan mempengaruhi bentuk butir Mg_2Si yang terlihat pada gambar setelah dilakukan foto mikro. Daerah *base metal* memiliki struktur magnesium yang renggang dan tidak teratur sama halnya dengan struktur pada daerah las yaitu pada daerah logam pengisi. Pada daerah HAZ bentuk struktur butiran Mg_2Si semakin besar dan terlihat hitam, ini disebabkan karena kandungan Magnesium (Mg) pada aluminium dasar akan keluar dan menyatu dengan Silikon (Si) akibat panas yang didapatkan dari proses pengelasan. Butiran Mg_2Si pada struktur sambungan las ini berwarna hitam, sedangkan kandungan Magnesium (Mg) pada *base metal* berwarna keabu-abuan.

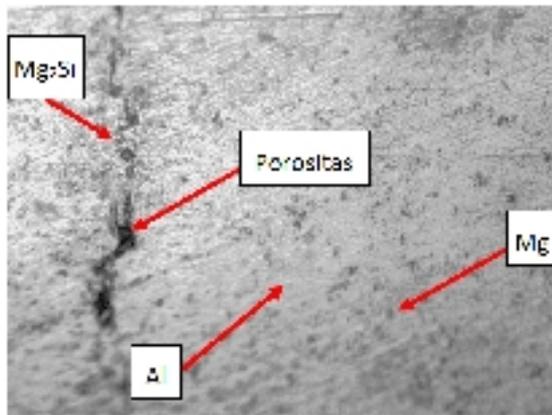
Perubahan struktur mikro pada variasi arus 110 ampere tidak begitu besar dikarenakan proses pemanasan pada variasi 110 ampere terjadi sangat kecil sehingga kandungan Mg pada aluminium ini sulit untuk keluar dan bergabung dengan Si.



Gambar 7. Struktur mikro sambungan las arus pengelasan 110 ampere pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*

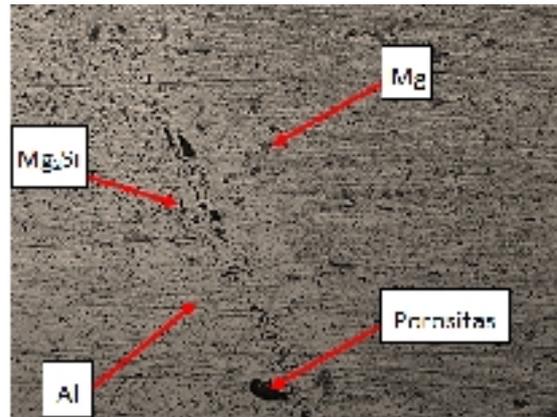
Gambar 7 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dengan mikroskop metalurgi dan terlihat sedikit perbedaan struktur mikro pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Daerah *base metal* terlihat banyak kandungan Mg_2Si berukuran kecil dibandingkan pada daerah *weld metal* yang terlihat sedikit kandungan Mg_2Si yang berukuran lebih besar tapi sedikit dan renggang. Kandungan Mg_2Si terlihat sangat besar pada daerah HAZ karena pada daerah ini terkena panas yang lebih banyak sehingga kandungan Mg dan Si banyak keluar dan bergabung membentuk Mg_2Si . Struktur mikro pada Gambar 7 juga menunjukkan adanya porositas pada bagian sambungan yang begitu jelas.

Porositas ini disebabkan karena antara logam pengisi dan *base metal* tidak dapat melebur dan bercampur dengan sempurna akibat panas yang diberikan kurang besar sehingga masih terdapat porositas.



Gambar 8. Struktur mikro sambungan las arus pengelasan 130 ampere pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*

Gambar 8 menunjukkan struktur mikro daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal* pada sambungan aluminium 5083 dengan variasi arus pengelasan sebesar 130 ampere. Butiran Mg_2Si yang terbesar terlihat pada daerah HAZ karena pada daerah ini terjadi proses pemanasan yang lebih besar dan terjadi pencampuran yang sempurna antara *base metal* dan *weld metal* dibanding daerah lainnya. Perbedaan pada daerah *base metal* dan *weld metal* juga terlihat dari struktur butiran Mg_2Si yang terbentuk setelah terjadi pemanasan akibat pengelasan. Pada daerah *weld metal* terlihat Mg_2Si lebih banyak dan rapat dibanding dengan daerah *base metal* tetapi keduanya mempunyai ukuran butiran yang hampir sama besarnya. Porositas yang terjadi pada daerah sambungan variasi arus pengelasan juga terlihat namun tidak sebesar porositas sambungan yang terjadi pada variasi arus pengelasan 110 ampere karena proses pemanasan pada variasi 130 ampere lebih tinggi dibanding arus pengelasan 130 ampere.



Gambar 9. Struktur mikro sambungan las arus pengelasan 150 ampere pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal* (pembesaran 500x).

Gambar 9 menunjukkan struktur mikro pada daerah sambungan yang meliputi daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Terlihat perbedaan struktur mikro pada ketiga daerah ini pada bentuk butiran, ukuran butiran, kerapatan struktur hingga warna strukturnya. Butiran Mg_2Si pada *weld metal* lebih besar dibandingkan dengan ukuran butiran Mg pada daerah *base metal* karena pada daerah *weld metal* mengalami proses pemanasan yang tinggi dibanding daerah *base metal* sehingga kandungan Mg akan terlepas dari ikatan aluminiumnya. Ukuran butiran Mg_2Si yang besar dan banyak inilah yang menyebabkan nilai tegangan tarik sambungan meningkat, sehingga pada arus yang besar akan memiliki nilai tegangan tarik yang tinggi karena butiran Mg_2Si yang terbentuk lebih banyak akibat proses pemanasan yang lebih tinggi. Struktur pada Gambar 9 terlihat sedikit sekali porositas yang terjadi pada sambungan las variasi 150 ampere. Pemanasan yang sangat tinggi mengakibatkan antara *base metal* dan *weld metal* mencair dan menyatu dengan sempurna sehingga porositas yang terlihat sangat kecil dan sedikit bila dibandingkan dengan variasi arus pengelasan 110 ampere dan 130 ampere.

4. Penutup

Hasil pengujian kekuatan tarik menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik dan regangan sambungan las TIG pada aluminium 5083 dipengaruhi oleh variasi kampuh dan arus las, semakin besar daerah leleh dan arus pengelasan maka semakin besar kekuatan tarik dan regangan tarik. Nilai tegangan tarik terbesar adalah 170,98 MPa dan tegangan tarik terkecil adalah 81,41 MPa. Nilai regangan terbesar dengan nilai 5,12% dan nilai tegangan terendah dengan nilai 2,2%. Bentuk butiran Mg_2Si yang terbentuk pada variasi arus pengelasan berbentuk hampir sama, namun ukurannya yang berbeda. Semakin besar arus pengelasan yang digunakan maka bentuk dan ukuran butir Mg_2Si semakin besar dan banyak.

Adapun saran yang diberikan adalah penggunaan kampuh dan arus pengelasan yang baik untuk pengelasan TIG bahan Aluminium 5083 adalah menggunakan kampuh X dan arus pengelasan 150 ampere serta untuk jenis penelitian yang sejenis diharapkan dapat melihat faktor lain yang juga dapat mempengaruhi hasil sambungan las dan kekuatan sambungan las.

5. Daftar Pustaka

- Ghazvinloo, H.R. et.al. 2010. *Effect of Arc Voltage, Welding Current and Welding Speed on Fatigue Life, Impact Energy and Bead Penetration of AA6061 Joints Produced by Robotic MIG Welding*. Indian Journal of Science and Technology. Vol.3/2.
- Kenyon, W. 1985. Dasar-dasar Pengelasan. Translated by. Ginting, Dines. Jakarta: Erlangga.
- Raharjo. 2012. Variasi Arus Listrik terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW). Simposium Nasional hal 93-97.
- Salmon, Charles, G. et.al. 1997. Struktur Baja Desain dan Perilaku. Jakarta: Erlangga.
- Shen, Jun. et.al. 2013. *Effects of Welding Current on Properties of A-TIG Welded AZ31 Magnesium Alloy Joints With TiO_2 Coating*. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 24:2507 – 2515.
- Wiryosumarto, Harsono. dan Okumura. 2000. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Aljufri. dkk. 2007. Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Tunggal dan Kuat Arus Pada Sambungan Logam Aluminium-Mg 5083 terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan TIG. Jurnal Saintek. 5/2:12-1.