

**ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR
MIKRO PADA SAMBUNGAN *T-JOINT* DAN *BUTT
JOINT* PIPA ALUMINIUM DENGAN METODE *TIG
ARGON WELDING***



Disusun Untuk Memenuhi Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Disusun oleh :

HAKIM SETIAWAN

D200 140 159

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA
SAMBUNGAN *T-JOINT* DAN *BUTT JOINT* PIPA ALUMINIUM DENGAN
METODE *TIG ARGON WELDING***

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh

HAKIM SETIAWAN

D200 140 159

Naskah Publikasi ini telah di terima dan disahkan oleh

Pembimbing Utama



(Agus Dwi Anggono, S.T., M.Eng., Ph.D.)

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN *T-JOINT* DAN *BUTT JOINT* PIPA ALUMINIUM DENGAN METODE *TIG ARGON WELDING*

Oleh:

HAKIM SETIAWAN
D200 140 159

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Fakultas Teknik Jurusan Teknik
Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta Pada hari Selasa 31 Oktober 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan penguji :

Ketua : Agus Dwi Anggono, ST, M.Eng, Ph.D.

(.....)

Anggota 1 : Ir. Bibit Sugito, M.T.

(.....)

Anggota 2 : Tri Widodo Besar R., S.T., M.Sc., Ph.D.

(.....)

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah
Surakarta


Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 26 Oktober 2017

Yang menyatakan,



Hakim Setiawan

ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN *T-JOINT* DAN *BUTT JOINT* PIPA ALUMINIUM DENGAN METODE *TIG ARGON WELDING*

Abstrak

Berbagai macam metode Liquid State Welding telah digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan, salah satu yang sering digunakan adalah TIG welding. Las ini mampu mengurangi panas berlebih pada benda kerja karena memiliki gas inert yaitu argon yang berfungsi sebagai gas pelindung dan pendingin, sehingga mampu mengurangi reaksi antara material non-ferro dengan udara bebas. Reaksi yang dimaksud adalah reaksi yang mengakibatkan porositi yang besar dan menimbulkan dross pada hasil las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari jenis aluminium yang sama dan struktur mikro dari sambungan las yang berbeda dengan uji tarik dan uji mikro. Hal itu dilakukan dengan menggunakan uji tarik pada sambungan T-joint dan butt joint.

Dalam penelitian ini, proses pengelasan dilakukan pada pipa aluminium yang sama dengan diameter 22,2 mm dan tebal 1,6 mm menggunakan TIG Argon Welding dengan bahan tambah aluminium alloy. Analisis selesai dilakukan dengan mengetahui perbandingan kekuatan las antara butt joint dan T-joint.

Pada pengujian Tarik, T-joint memiliki rata-rata tegangan tarik sebesar 38,6 N/mm² dan rata-rata regangan yang dihasilkan 12 %. Pengujian tarik sambungan butt joint memiliki rata-rata tegangan yang dihasilkan 40,3 N/mm² dan rata-rata tegangan yang dihasilkan 10,23 %. Struktur mikro pada daerah welding atau bahan tambah menghasilkan besaran butir yang lebih kasar daripada base metal karena perbedaan kandungan material.

Kata kunci : TIG argon welding, beda sambungan, pengelasan sejenis

Abstract

There are many methods of Liquid State Welding. It have been used in industries to meet various needs. One of the often used method is TIG welding. The weld method is able to reduce excessive heat in the workpiece because it has an inert gas argon that serves as a protective gas and coolant. It can reduce the reaction between non-ferrous material and air. The reaction can cause large porosity and develop dross material in the welding zone. The objectives of this study are to investigate the welding strength and micro structure of the joint. Tensile test and micro photograph are conducted for the types of specimens T-joint and Butt joint.

In this research, the welding process was conducted on the same material of aluminum pipe with the diameter of 22.2 mm and 1.6 mm thick by using TIG Argon Welding method. The welding was done with added aluminium alloy.

In tensile test results, the T-joint has an average tensile stress of 38.6 N / mm² and a mean strain yield of 12%. The tensile test of the butt joint has an average stress of 40.3 N / mm² and the average strain of 10.23%. The microstructure investigation in the weld zone, the grain size was bigger than the base metal, this is due to differences in material content.

Keywords: TIG argon welding, welding of aluminum, T-joint, Butt joint

1. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi dibidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan ketrampilan yang tinggi bagi pengelas agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik.

Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya. Dalam pekerjaan konstruksi, pengelasan bukan tujuan utama melainkan sarana untuk mencapai tujuan yang lebih sempurna. Dalam pekerjaan pengelasan kita harus memperhatikan kesesuaian pada konstruksi las agar tercapai hasil yang maksimal. Untuk itu pengelasan harus diperhatikan beberapa hal yang penting, diantaranya efisiensi pengelasan, penghematan tenaga, penghematan energi, dan tentunya dengan biaya yang murah.

Saat ini terdapat 2 macam proses pengelasan, yaitu: *Solid State Welding* (SSW) dan *Liquid State Welding* (LSW). SSW merupakan proses pengelasan logam yang dilakukan dibawah titik leleh benda kerja tersebut., sedangkan LSW adalah proses pengelasan logam dengan cara mencairkan logam tersebut terlebih dahulu.

Berbagai macam metode *Liquid State Welding* telah digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan, salah satu yang sering digunakan adalah *Tungsten Inert Gas Argon Welding (TIG Argon)*. Las ini mampu mengurangi panas berlebih pada benda kerja karena memiliki gas inert yaitu argon yang berfungsi sebagai gas pelindung dan pendingin, sehingga mampu mengurangi reaksi antara material non-ferro dengan udara bebas. Reaksi yang dimaksud adalah reaksi yang mengakibatkan porositi yang besar dan menimbulkan *dross* pada hasil las.

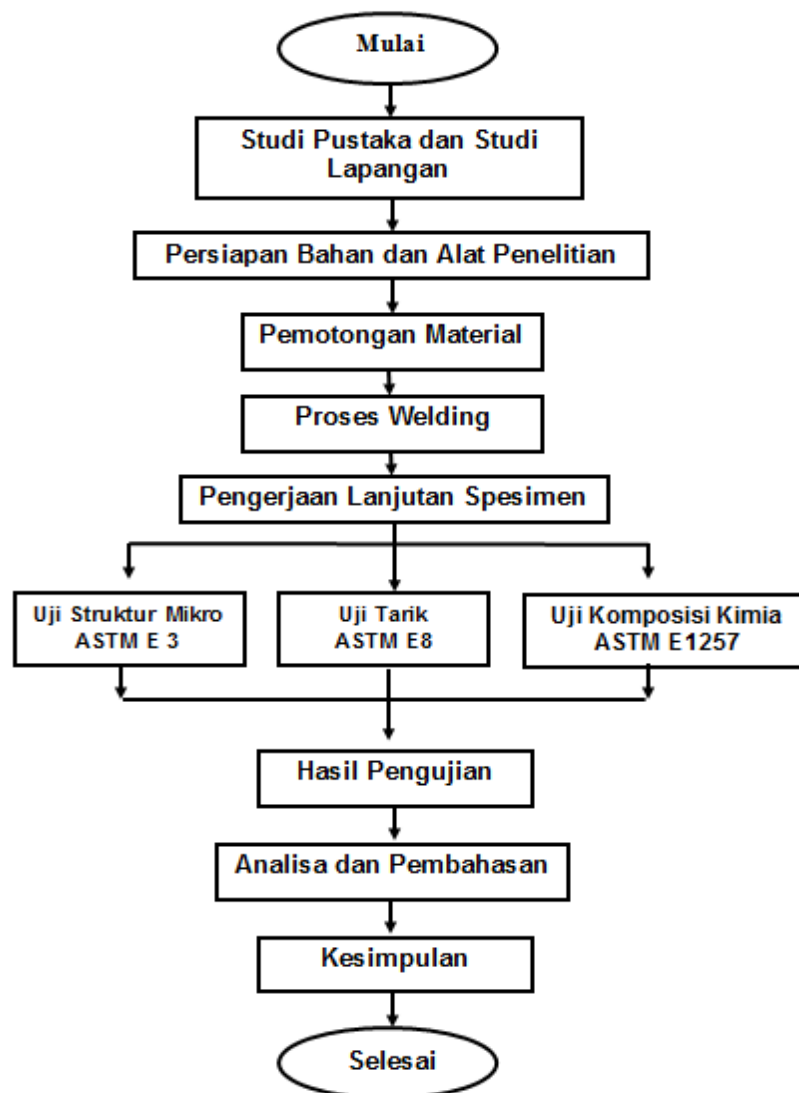
Tujuan dari penelitian ini adalah agar dapat mengetahui lebih jelas mengenai kekuatan sambungan las pada material aluminium yang disambung dengan proses las TIG. Dimana las TIG yang memiliki gas inert yang berfungsi sebagai gas

pelindung dan pendingin, dengan material aluminium yang mudah bereaksi dengan udara luar.

Dalam penelitian ini akan di fokuskan pada proses welding dengan las TIG Argon menggunakan bahan tambah aluminium dengan logam induk aluminium paduan dengan dua metode sambungan yaitu butt joint dan T joint. Sedang struktur mikro diamati pada daerah *weld metal*, *Heat Affacted Zone* (HAZ) dan logam induk, sedang sifat mekanik berupa kekuatan tarik yang dilakukan sampai sambungan mengalami patah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

2.2. Bahan dan Alat

2.2.1. Bahan

1. Pipa Aluminium Ø22,2 mm, t=1,6mm.
2. Aluminium Alloy Filler ER5356 Ø1,6 mm

2.2.2. Alat Pengelasan

1. Mesin Las Tig Argon Merk *Kemppi*
2. Jangka sorong (*Caliper*) jenis *dial* merk mitutoyo
3. Gerinda tangan dan kikir

2.2.3. Alat Pengujian

1. Alat Uji Komposisi Kimia (Spectrometer)
2. Alat Uji Metallography (Struktur Mikro)
3. Alat Uji Tarik
4. Mikroskop merk Nikon untuk fotomikro

2.2.4. Proses Pengelasan

1. Mempersiapkan bahan uji, kemudian diletakkan ditempat yang rata.
2. Mempersiapkan mesin las beserta kelengkapannya.
 - a. Mengatur jenis aliran yang akan digunakan, karena material yang akan di las adalah aluminium maka aliran yang sesuai adalah aliran AC.
 - b. Mengatur arus listrik maksimal yang diijinkan (*Ampere*).
 - c. Mengalirkan gas argon dari tabung ke mesin las
 - d. Menyiapkan meja konduktif antara lain dengan memasang clamp aliran ground ke sisi meja, membersihkan karat agar aliran listrik bisa mengalir dengan maksimal.
 - e. Memakai pakaian dan peralatan khusus untuk melindungi tubuh dari paparan sinar las TIG.
3. Mulai mengelas dengan mendekatkan handle ke material kemudian menyalakan aliran listrik dengan cara menginjak

pedal sehingga muncul pancaran di ujung handle. Saat pancaran timbul, dengan seketika dekatkan elektroda sehingga elektroda meleleh. Arahkan lelehan elektroda tersebut ke sepanjang sambungan yang akan dilas .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Komposisi Kimia

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia

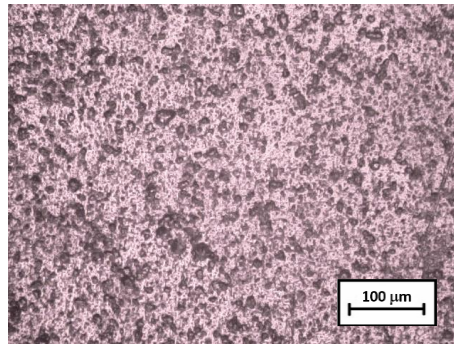
UNSUR	SAMPEL UJI	
	16/S1157 (%)	Deviasi
Al	97,97	0,3443
Si	0,298	0,215
Fe	0,536	0,0553
Cu	0,169	0,0041
Mn	0,0216	0,0014
Mg	<0,0500	<0,0000
Cr	<0,0150	<0,0000
Ni	0,340	0,553
Zn	0,335	0,394
Sn	<0,0500	<0,0000
Ti	0,0622	0,0789
Pb	<0,0300	<0,0000
Be	0,0001	0,0000
Ca	0,0066	0,0032
Sr	<0,0005	<0,0000
V	0,0223	0,0212
Zr	0,0968	0,131

Dengan melihat hasil dari pengujian komposisi kimia, material termasuk aluminium paduan. Presentase kandungan unsur yang mendominasi pada paduan aluminium antara lain: Aluminium (Al), Silicon (Si), sehingga aluminium tersebut termasuk jenis aluminium paduan Al-Si dengan nomor seri 4000.

Paduan tersebut mempunyai kadar aluminium (Al) 97,97%, kadar silicon 0,166%. Silicon (Si) meningkatkan sifat mampu alir dalam paduan cor, mengurangi pembekuan dan kecenderungan untuk retak panas, Besi (Fe) dengan presentasi yang kecil dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada beberapa paduan. Mengurangi retak panas terutama pada paduan cor, selain itu terkandung unsur lain dengan prosentase yang relative kecil pada aluminium.

3.2. Analisa Struktur Mikro

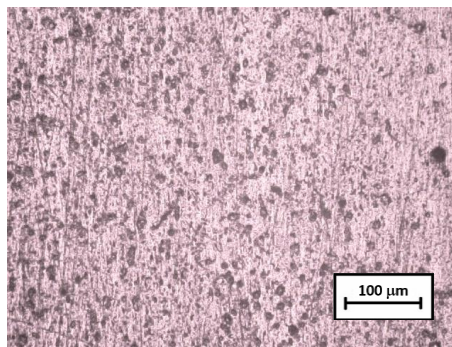
3.2.1. *Base metal*



Gambar 4. *Base metal* aluminium

Base metal adalah daerah yang tidak terpengaruh pengelasan baik itu panas maupun pencairan. Pada gambar 4, pada daerah base metal terlihat butiran-butiran, hal ini dikarenakan proses pembentukan secara ekstruksi. Semakin besar beban penekanan saat melakukan proses tersebut maka semakin rapat butiran, begitupun sebaliknya.

3.2.2. HAZ

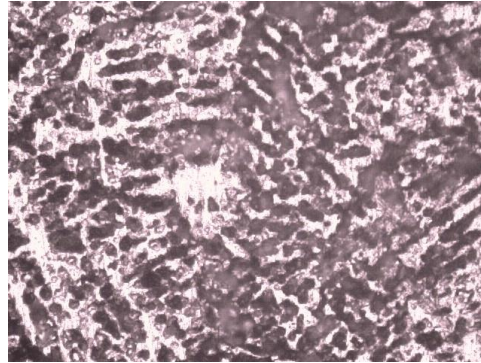


Gambar 5. HAZ aluminium

Pada gambar 5, Daerah HAZ adalah daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis. Daerah HAZ terjadi perubahan ukuran butir (grain size) dimana perubahan ukurannya tergantung dari karakteristik material, suhu, lama pemanasan dan laju pendinginan. Pada daerah HAZ ini ukuran butir lebih sedikit tetapi tidak terdeformasi secara mekanik. Fenomena pembesaran dan pengecilan butir ini akan mempengaruhi kekuatan

mekanik pada material tersebut. Semakin besar ukuran butir maka akan menurunkan kekerasan dan kekuatan tariknya (Rajakumar dan Balasubramanian, 2012).

3.2.3. Daerah Las



Gambar 6. Daerah Las Pengelasan Aluminium

Pada gambar 6. Struktur mikro pada daerah welding atau filler metal dipengaruhi oleh panas dari welding. Pada daerah ini mengalami deformasi plastis sehingga menghasilkan rekristalisasi yang menghasilkan pembesaran butir (grain growth). Pembesaran butir ini akibat pengaruh material aluminium heat-treatable yang mengalami *overaging* (Ir. Winarto, 2008).

3.3. Pengujian Tarik

3.3.1. Perhitungan Pengujian Tarik

Tabel 2. Data Base Metal

Spec.	A	F	L0	L1	ΔL
1	383.596	23850	50	58	8
2	383.596	25139.9	100	120.5	20.5

Tabel 3. Data Butt Joint

Spec.	A	F	L0	L1	ΔL
1	383.596	15381	50	55.4	5.4
2	383.596	15703	50	55.15	5.15

Tabel 4 Data T- Joint

Spec.	A	F	L0	L1	Δ
1	383.596	14941	50	56	6

Keterangan :

A = Luas Area (mm²)

F = Gaya Maksimal (N)

L0 = Panjang awal (mm)

L1 = Panjang Akhir (mm)

ΔL = Selisih panjang (mm)

Berdasarkan data hasil pengujian diatas, maka bisa dilakukan perhitungan untuk mencari tegangan maksimal, regangan, dan modulus elastisitasnya.

1. Tegangan : $\sigma = \frac{F_{max}}{A_0}$ (N/mm²)

Base Metal 1 : $\sigma = \frac{23850 \text{ N}}{383.596 \text{ mm}^2} = 62.17 \text{ N/mm}^2$

Base Metal 2 : $\sigma = \frac{25139.9 \text{ N}}{383.596 \text{ mm}^2} = 65.54 \text{ N/mm}^2$

Butt Joint 1 : $\sigma = \frac{15381 \text{ N}}{383.596 \text{ mm}^2} = 40.10 \text{ N/mm}^2$

Butt Joint 2 : $\sigma = \frac{15703 \text{ N}}{383.596 \text{ mm}^2} = 40.94 \text{ N/mm}^2$

T Joint : $\sigma = \frac{14941 \text{ N}}{383.596 \text{ mm}^2} = 38.95 \text{ N/mm}^2$

2. Regangan : $\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$

Base Metal 1 : $\epsilon = \frac{58-50}{50} \times 100\% = 16 \%$

Base Metal 2 : $\epsilon = \frac{120.5-100}{100} \times 100\% = 20.5 \%$

Butt Joint 1 : $\epsilon = \frac{55.4-50}{50} \times 100\% = 10.8\%$

Butt Joint 2 : $\epsilon = \frac{55.15-50}{50} \times 100\% = 10.3\%$

T Joint : $\epsilon = \frac{56-50}{50} \times 100\% = 12\%$

3. Modulus Elastisitas : $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ (MPa)

Base Metal 1 : $E = \frac{62.17 \text{ N/mm}^2}{16 \%} = 3.89 \text{ MPa}$

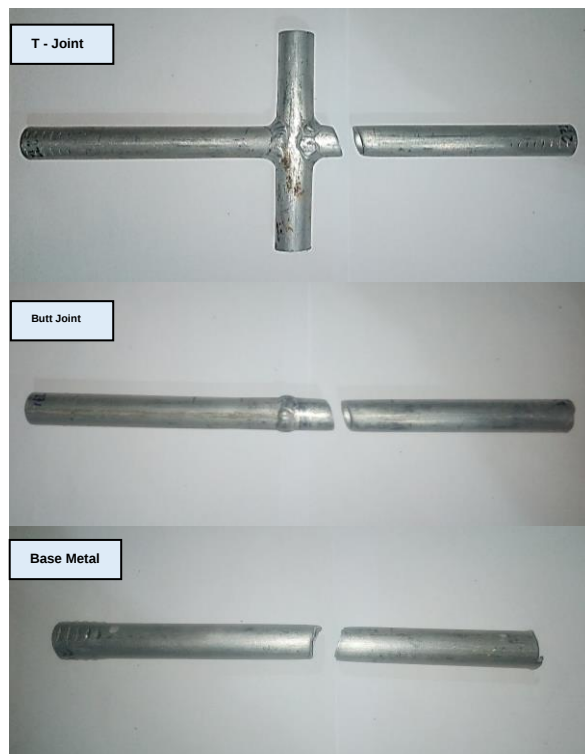
Base Metal 2 : $E = \frac{65.54 \text{ N/mm}^2}{20.5 \%} = 3.20 \text{ MPa}$

Butt Joint 1 : $E = \frac{40.10 \text{ N/mm}^2}{10.8\%} = 3.71 \text{ MPa}$

Butt Joint 2 : $E = \frac{40.94 \text{ N/mm}^2}{10.3\%} = 3.97 \text{ MPa}$

T Joint : $E = \frac{38.95 \text{ N/mm}^2}{12\%} = 3.25 \text{ MPa}$

3.3.2. Analisis Uji Tarik



Gambar 7. Bentuk Spesimen setelah Uji Tarik

Tabel 2. hasil pengujian tarik pipa lurus tanpa sambungan

Spesimen	Tegangan maksimal (N/mm ²)	Regangan pada saat tegangan maksimal (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
1	62.17	16.0	3.89
2	65.54	20.5	3.20
Rata-Rata	63.86	18.25	3.54

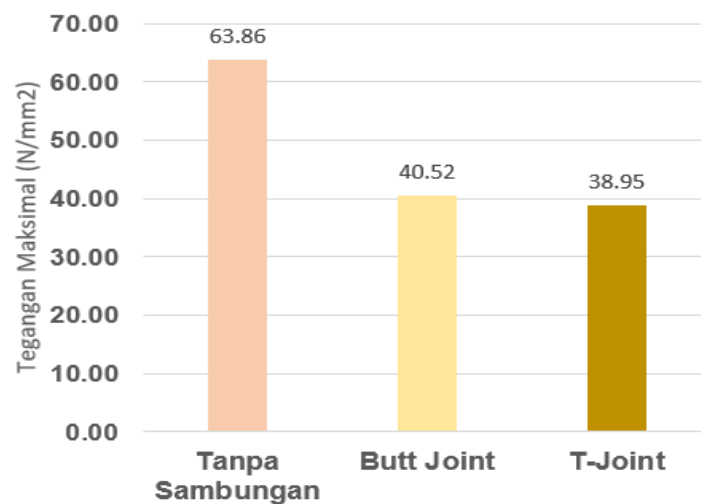
Tabel 3. hasil pengujian tarik pipa dengan sambungan *butt joint*

Spesimen	Tegangan maksimal (N/mm ²)	Regangan pada saat tegangan maksimal (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
1	40.10	10.8	3.71
2	40.94	10.3	3.97
Rata-Rata	40.52	10.55	3.84

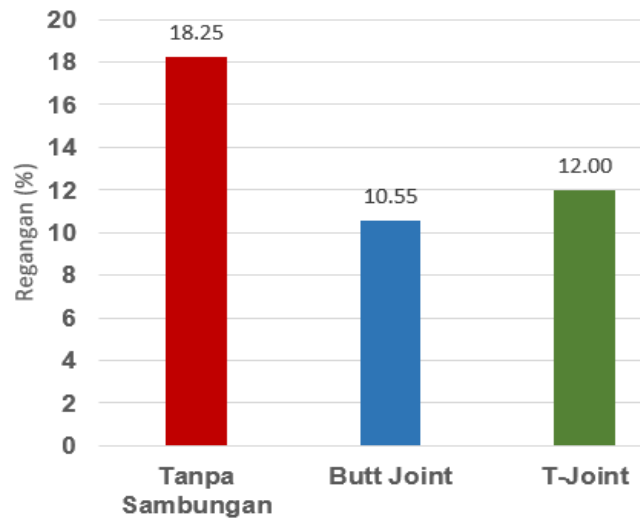
Tabel 4. Hasil Pengujian Tarik Pipa dengan Sambungan *T-joint*

Spesimen	Tegangan maksimal (N/mm ²)	Regangan pada saat tegangan maksimal (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
1	38.95	12	3.25

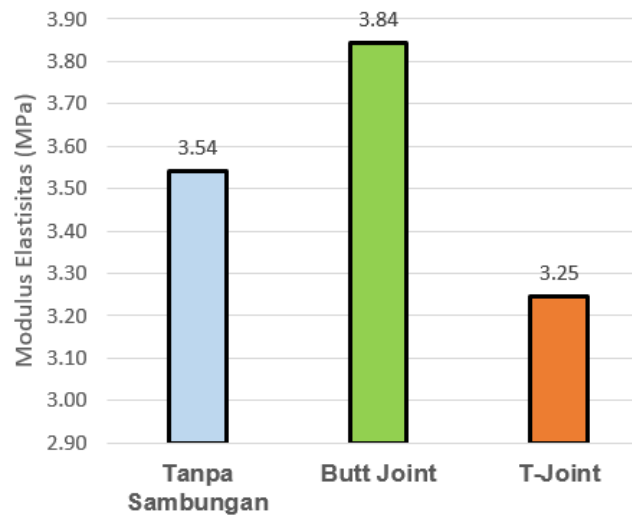
Data hasil pengujian tarik tersebut kemudian dibuat grafik perbandingan regangan dan tegangan rata-rata.



Gambar 8. Grafik Tegangan Maksimal



Gambar 9. Grafik Regangan (%).



Gambar 10. Grafik Modulus Elastisitas

3.3.3. Perhitungan Kekuatan Sambungan Las

Kekuatan *Butt Joint Weld*

Diketahui :

Ø pipa spesimen aluminium = 22.2 mm

t pipa specimen aluminium = 1.6 mm

σ_t specimen *butt joint 1* = 62.17 N/mm²

Single V Butt Joint : $F_t = t \cdot L \cdot \sigma_t$

Keterangan :

F_t = Beban Maksimal (N)

T = Tebal Material (mm)

$$\begin{aligned} L &= \text{Panjang Pengelasan} & (\text{mm}) \\ \sigma_t &= \text{Tegangan Tarik maksimum} & (\text{N/mm}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \text{Keliling Lingkaran pipa specimen} \\ L &= 2 \cdot \pi \cdot r \\ &= 2 \cdot \pi \cdot 11.1 \text{ mm} \\ &= 69.74 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Single V Butt Joint : } F_t &= t \times L \times \sigma_t \\ F_{t1} &= 1.6 \times 69.74 \times 62.17 \\ &= 6937.17 \text{ N} \end{aligned}$$

Gambar 7. pada grafik menunjukkan nilai tegangan maksimal dari spesimen tanpa sambungan, *butt joint*, dan *T- joint* yang telah di uji tarik. Pada tiap spesimen menunjukkan nilai tegangan maksimal yang berbeda. Pada spesimen tanpa sambungan memiliki rata-rata tegangan maksimal sebesar 64,09 N/mm², spesimen *butt joint* memiliki rata-rata tegangan maksimal sebesar 40,3 N/mm² dan spesimen *T- joint* memiliki rata-rata tegangan maksimal sebesar 38,6 N/mm².

Gambar 8. pada grafik menunjukkan nilai regangan dari spesimen tanpa sambungan, *butt joint*, dan *T-joint* yang telah di uji tarik. Pada tiap spesimen menunjukkan nilai regangan maksimal yang berbeda. Pada spesimen tanpa sambungan memiliki regangan tarik rata-rata 17,93 %, spesimen *butt joint* memiliki regangan tarik rata-rata 10,23 % dan spesimen *T- joint* memiliki regangan rata-rata 12 %.

Gambar 9. pada grafik menunjukkan nilai modulus elastisitas dari spesimen tanpa sambungan, *butt joint*, dan *T- joint* yang telah di uji tarik. Pada tiap spesimen menunjukkan nilai modulus elastisitas yang sedikit berbeda. Pada spesimen tanpa sambungan memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 3,6 MPa, spesimen *butt joint* memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 3,95 MPa

dan spesimen *T- joint* memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 3,23 MPa.

Perpatahan setelah mengalami tegangan tarik dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat HAZ dan sifat daerah sambungan pengelasan. Pada hasil penelitian spesimen yang terjadi perpatahan di daerah base metal.

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan Analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan didapatkan komposisi kimia Alumunium adalah Al (97.97 %), Si (0.298 %), Cu (0.169 %), Mn (0.0216 %), Mg (0.0500 %), Zn (0.335 %). Sehingga diketahui komposisi paling dominan adalah aluminium dan silicon, maka dapat disimpulkan bahwa jenis alumunium yang digunakan adalah paduan Al-Si.
2. Berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian struktur mikro proses las TIG Argon tetap mempengaruhi terbentuknya struktur mikro logam baru namun relative kecil. Pada daerah HAZ mengalami pengurangan jumlah butiran, sedangkan pada daerah las menghasilkan butiran-butiran yang lebih kasar dari base metal dan HAZ akibat panas saat proses welding dan juga dari jenis material bahan tambah yang berbeda.
3. Berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian tarik, kekuatan tarik *T-Joint* dan *butt joint* mengalami penurunan dibandingkan spesimen tanpa sambungan dan bagian patah pada semua spesimen terjadi pada bagian base metal. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan tambah memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada base metal.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian TIG Argon Welding alumunium yang telah dilakukan penulis menyarankan beberapa hal antara lain:

1. Melakukan persiapan yang matang, terutama mengenai jenis dan dimensi material. Hal ini dilakukan agar bisa disesuaikan dengan jenis perlakuan dan pengujian yang ada serta bisa disesuaikan dengan standard yang sesuai pula.
2. Bagi yang tertarik dalam bidang welding, disarankan untuk dapat melakukan penelitian yang lebih variatif baik dalam jenis bahan, bahan tambah dan pengujian yang dilakukan sehingga dapat menambah pengetahuan dan meningkatkan penelitian dalam bidang pengelasan.
3. Pada pelaksanaan pengujian konstruksi dengan menggunakan sambungan *welding* hendaknya memperhatikan beberapa parameter, antara lain jenis tambah, posisi pengelasan dan kecepatan menggerakkan bahan tambah saat meleleh, sebab dapat berpengaruh terhadap sifat-sifat material.
4. Perlunya alat bantu ukur, untuk pengukuran suhu pada saat welding.

PERSANTUNAN

Syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan penelitian ini dapat terselesaikan .

Tugas Akhir berjudul “Analisis Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro pada Sambungan *T- Joint* dan *Butt Joint* Pipa Aluminium dengan Metode *TIG Argon Welding*” dapat terselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis dengan segala ketulusan dan keikhlasan hati ini menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Ir. Subroto, M. T., Selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Agus Dwi Anggono, ST, M.Eng, PhD., selaku dosen pembimbing utama terima kasih telah banyak memberikan banyak waktu, ilmu, saran, arahan dan motifasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

4. Seluruh Dosen yang telah membimbing ku selama ini, memberi pengajaran ilmu dan segala hal baik yang telah kuperoleh.
5. Ayahanda Syamsuddin dan Ibunda Uning Widiyani, orang tua saya yang sangat saya cintai, yang telah mengorbankan segalanya demi masa depan saya.
6. Kakak, adik, saudara, dan keluarga besar tercinta yang selalu mendukungku dan memberi motivasi.
7. Seluruh teman-teman Universitas Muhammadiyah Surakarta.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan penulis satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca akan penulis terima dengan senang hati.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials, 2001, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*, ASTM, E3
- American Society for Testing and Materials, 2003, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*, ASTM, E8M-04
- Chandra, H., 2003, “*Kaji Eksperimen Pengelasan TIG untuk Paduan Aluminium dengan Menggunakan Busur Gas Argon (Ar) dan Gas Helium (He)*”, Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Haynes, J. H., dan Jay, S., 1994, *The Haynes Welding Manual*, Haynes North America Inc., California
- Irawan, Agustinus Purna, 2009, “Diktat Elemen Mesin”, Teknik Mesin Universitas Tarumanegara, Jakarta
- Sitopu, F., 2014, *Cold and Hot Working*. Diakses pada 2 Mei 2016 dari Slideshare. <http://www.slideshare.net/feliksloositopu/cold-and-hot>
- Totten, G. E., dan MacKenzie, D. S., 2003, *Handbook of Aluminium Volume 1 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker Inc., New York.
- Wirjosumarto, H., Okumura, S., 1996, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wirjosumarto, H. Dan Okumura, T., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, cetakan kedelapan, Pradnya Paramita.
- W. Kenyon. 1985. *Dasar-Dasar Pengelasan (Basic Welding and Fabrication)*, Alih Bahasa Dines Ginting, Erlangga, Jakarta.