PENGARUH VARIASI SUDUT KAMPUH DAN KUAT ARUS TERHADAP KEKUATAN TARIK ALUMINIUM 6061 PADA PENGELASAN *TUNGSTEN INERT GAS (TIG)*

SKRIPSI

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

oleh
Ahmad Ardiyanto
5201412061

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNUVERSITAS NEGERI SEMARANG
2017

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "**Pengaruh Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 6061 Pada Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG)**" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 16 Desember 2016.

Oleh

Nama : Ahmad Ardiyanto
NIM : 5201412061
ProgamStudi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Panitia

Ketua Panitia

Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekertaris

Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Penguji Utama

Drs. Masugino, M.Pd
NIP. 195207211980121001

Pembimbing I

Dr. Ir. Basyirun, S.Pd., M.T.,IPP
NIP. 196809241994031002

Pembimbing II

Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T.
NIP. 196707261993031003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Ahmad Ardiyanto

NIM : 5201412061

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 6061 Pada Pengelasan *Tungsten Inert Gas (TIG)***" ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semarang, 11 Januari 2017

Yang membuat pernyataan

Ahmad Ardiyanto
NIM. 5201412061

ABSTRAK

Ardiyanto, ahmad. 2016. Pengaruh Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 6061 Pada Pengelasan *Tungsten Inert Gas (TIG).* Dr., Ir. Basyirun, S.Pd., M.T., IPP, Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T. Pendidikan Teknik Mesin.

Kekuatan tarik pada logam hasil lasan sangat dipengaruhi oleh masukan panas yang terjadi pada proses pengelasan, masukan panas akan mengakibatkan logam las berdifusi dengan baik atau tidak sehingga akan berpengaruh pada kekuatan tarik hasil lasan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur mikro pada hasil sambungan aluminium menggunakan las *TIG* dan mengetahui nilai kekuatan tarik pada sambungan aluminium dengan variasi sudut kampuh V dan kuat arus.

Metode yang digunakan adalah penelitian eksperimen, untuk mengetahui sebab akibat berdasarkan perlakuan yang diberikan oleh peneliti yaitu berupa pengelasan dengan variasi sudut kampuh dan kuat arus. Pengelasan dilakukan dengan metode *TIG (Tungsten Inert Gas)* pada Al 6061 dengan bahan pengisi*/ filler ER4043* dan *electrodes wolfram pure (EWP)* dengan kampuh V 50º, 85° dan 120°. Variasi kuat arus yang digunakan dalam penelitian ini adalah 60A, 110A dan 160A, kemudian di lakukan uji *metallographic* dan pengujian tarik. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif, dimana data yang diperoleh di rata-rata dan disajikan dalam bentuk grafik kemudian dideskripsikan dan disimpulkan.

Sudut kampuh 120º dengan kuat arus 160 A persipitat Mg_2Si terdispersi banyak dan merata pada weld metal maupun HAZ. Struktur yang baik terjadi pada penggunaan sudut 85º dengan kuat arus 160 A dimana persipitat Mg_2Si terdispersi secara merata dan struktur berbentuk *equiaxed*. Kekuatan tarik sambungan aluminium dengan sudut kampuh 50° terjadi pada kuat arus 160 A adalah sebesar 10,62 kg/mm^2. Penggunaan sudut kampuh sebesar 85° kekuatan tarik terbesar pada kuat arus 160 A sebesar 16,45 kg/mm^2. Sudut kampuh 120° menghasilkan kekuatan tarik terbesar pada kuat arus 160 A dengan 16,17 kg/mm^2. Berdasarkan uji tarik diperoleh nilai tegangan tarik tertinggi pada penggunaan sudut kampuh 85° dengan kuat arus 160 A sebesar 16,45 kg/mm^2, kekuatan tarik terendah terjadi pada penggunaan sudut kampuh 85° dengan kuat arus 60 A sebesar 1,27 kg/mm^2. Berdasar nilai tegangan tarik tersebut disimpulkan bahwa tegangan tarik meningkat dengan parameter yang diijinkan. Penggunaan sudut dan kuat arus yang disarankan untuk mendapatkan kekuatan tarik maksimal pada pengelasan Al 6061 adalah 85º dengan kuat arus 160 A.

Kata kunci: *Al 6061 , kuat arus, tegangan tarik, Sudut kampuh V, Tungsten Inert Gas (TIG).*

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Hidup seperti perlombaan, kalau kalian tidak cepat, kalian akan kalah.
2. Ilmu pengetahuan bisa didapat dimana saja, dimanapun bisa diperoleh, maka raihlah itu.
3. " Jika terlintas pikiran bodoh di otakmu, pandang foto orang tuamu dan bayangkan apa yang akan terjadi pada senyum mereka jika kau mati "(3 Idiots).

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya ini untuk:

1. Kedua orang tuaku tercinta (Choiriyah dan Waryanto) yang selalu mengasihi, menyayangi, mencintai dan berjuang demi pendidikanku.
2. Kakakku (Atik Lestari dan Suparmanto) dan Keponakanku (Azka dan Ghaida).
3. Almamaterku Program Studi Pendidikan Teknik Mesin UNNES.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan karunia dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 6061 Pada Pengelasan *Tungsten Inert Gas (TIG)*". Skripsi ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Rusiyanto S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Ir. Basyirun S.Pd., M.T., IPP dosen pembimbing I yang dengan penuh kesabaran membimbing dan mengarahkan hingga selesainya skripsi ini.
3. Dr. Heri Yudiono S.Pd., M.T., dosen pembimbing II yang memberikan bimbingan dan dorongan hingga selesainya skripsi ini.
4. Drs. Masugino M.Pd., dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan.
5. Ibu dan Bapak tersayang yang telah dengan ikhlas mengorbankan seluruh hidupnya dengan diiringi doa untuk keberhasilan cita-cita penulis.
6. Rekan-rekan mahasiswa dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Saran dan kritik dari pembaca sangat diperlukan demi menambah wawasan penulis. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang terkait.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semarang, 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL ..... **i**

HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ..... **iii**

ABSTRAK ..... **iv**

MOTTO DAN PERSEMBAHAN ..... **v**

KATA PENGANTAR ..... **vi**

DAFTAR ISI ..... **vii**

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN ..... **ix**

DAFTAR GAMBAR ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **xiv**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xv**

BAB I PENDAHULUAN **1**

A. Latar Belakang Masalah 1

B. Identifikasi Masalah 3

C. Pembatasan Masalah 5

D. Rumusan Masalah 5

E. Tujuan Penelitian 6

F. Manfaat Penelitian 6

BAB II KAJIAN PUSTAKA **8**

A. Kajian Teori 8

B. Kajian Penelitian yang Relevan 34

C. Kerangka Berpikir 35

BAB III METODOLOGI PENELITIAN **38**

A. Desain Penelitian 38

B. Alat dan Bahan Penelitian 39

C. Dimensi Spesimen 39

D. Diagram Alir 40

E. Proses Penelitian 40

F. Teknik Pengumpulan Data 48

G. Analisis Data 51

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... 52
A. Hasil Penelitian 52
B. Pembahasan..... 73
C. Keterbatasan Penelitian..... 83
BAB V PENUTUP..... 84
A. Simpulan..... 84
B. Saran..... 85
DAFTAR PUSTAKA..... 87
LAMPIRAN-LAMPIRAN 89

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol	**Arti**
Ar	Argon
He	Heliums
A	Ampere
º	Derajat
ºC	Derajat Celcius
%	Persen
A_o	Luas Mula Penampang
A_f	Luas Setelah Ditarik
L_o	Panjang Sebelum Ditarik
L	Panjang Batang Uji
P_u	Beban *Ultimate*
q	Reduksi Penampang
ε	*Elongation*
L_f	Panjang Setelah Diuji Tarik
P	Beban yang Digunakan
P_y	Beban *Yield*
H_u	Tinggi *Ultimate*
H_y	Tinggi *Yield*
Kg/mm^2	Kilogram Per Milimeter Kuadrat
μm	Micron Meter
Kg	Kilogram
σ_u	Tegangan Ultimate
σ_y	Tegangan Luluh

Singkatan	**Arti**
Al-Mg-Si	Aluminium Magnesium Silikon
AWS	*American Welding Society*
API	*American Petroleum Institute*
Al6061	Aluminium 6061

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

TIG	*Tungsen Inert Gas*
GTAW	*Gas Tungsen Arc Welding*
AC	*Alternating Curent*
DC	*Direct Curent*
mm	Milimeter
HAZ	*Heat Affected Zone*
MPa	Mega Pascal
ASTM	*American Society of Testing and Materia*
ASME	*American Soceity of Mechanical Engineers*
EWP	*Elektrode Wolfram Tungsen*

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

2.1 Skema Las *TIG* 10
2.2 Bentuk Kampuh V 21
2.3 Arah Pembekuan dari Logam Las 23
2.4 Bagian Las 24
2.5 Bagian Retakan 25
2.6 *Inclusion* 25
2.7 Porositas 26
2.8 *Lack of Fusion and Penetration* 27
2.9 *Imperfect Shape* 27
2.10 Kurva Tegangan Regangan 29
2.11 Hubungan Tegangan Regangan dan Cara Mencari Kekuatan Luluh 30
2.12 Jenis Patahan pada Logam 30
2.13 Struktur Plat Al 6061 31
2.14 Struktur Jaringan Interdendritik Aluminium Silikon Eutektik 32
2.15 Porositas pada Daerah Las Al 6061 32
2.16 Jenis Butir 33
2.17 Hubungan Ukuran Butir dan *Mechanical Properties* 33
2.18 Kerangka Pikir 36
3.1 Dimensi Spesimen Uji Komposisi 40
3.2 Dimensi Spesimen Uji Tarik 40
3.3 Diagram Alir 41
3.4 Sudut Kampuh V 42
3.5 Proses Pembuatan Sudut Kampuh 42
3.6 Sepctrotest TXC 03 43
3.7 Penyetelan Parameter Las 44
3.8 Pembersihan *Raw Material* 44
3.9 Pemasangan Pada *Backing Bar* 45
3.10 Proses Pengelasan 45
3.11 Pengamatan Foto Struktur Mikro 46
3.12 Spesimen Uji Tarik 47

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

3.13 Proses Pengujian Tarik 48
4.1 Struktur Mikro *Raw Material* Al 6061 53
4.2 Struktur Mikro Pengelasan Sudut Kampuh 50° dan Kuat Arus 60 A 53
4.3 Struktur Mikro Pengelasan Sudut Kampuh 85° dan Kuat Arus 60 A 54
4.4 Struktur Mikro Pengelasan Sudut Kampuh 120° dan Kuat Arus 60 A .. 55
4.5 Struktur Mikro Pengelasan Sudut Kampuh 50° dan Kuat Arus 110 A .. 56
4.6 Struktur Mikro Pengelasan Sudut Kampuh 85° dan Kuat Arus 110 A .. 57
4.7 Struktur Mikro Pengelasan Sudut Kampuh 120°
dan Kuat Arus 110 A 58
4.8 Struktur Mikro Pengelasan Sudut Kampuh 50° dan Kuat Arus 160 A .. 59
4.9 Struktur Mikro Pengelasan Sudut Kampuh 85° dan Kuat Arus 160 A .. 60
4.10 Struktur Mikro Pengelasan Sudut Kampuh 120°
dan Kuat Arus 160 A 60
4.11 Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik 63
4.12 Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Terhadap Tegangan Luluh..... 63
4.13 Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Terhadap Regangan 66
4.14 Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Terhadap q 67
4.15 Patahan Uji Tarik Spesimen Hasil Pengelasan
dengan Sudut Kampuh 50° dan Kuat Arus 60 A 67
4.16 Patahan Uji Tarik Spesimen Hasil Pengelasan
dengan Sudut Kampuh 85° dan Kuat Arus 60 A 68
4.17 Patahan Uji Tarik Spesimen Hasil Pengelasan
dengan Sudut Kampuh 120° dan Kuat Arus 60 A 69
4.18 Patahan Uji Tarik Spesimen Hasil Pengelasan
dengan Sudut Kampuh 50° dan Kuat Arus 110 A 69
4.19 Patahan Uji Tarik Spesimen Hasil Pengelasan
dengan Sudut Kampuh 85° dan Kuat Arus 110 A 70
4.20 Patahan Uji Tarik Spesimen Hasil Pengelasan
dengan Sudut Kampuh 120° dan Kuat Arus 110 A 70
4.21 Patahan Uji Tarik Spesimen Hasil Pengelasan
dengan Sudut Kampuh 50° dan Kuat Arus 160 A 71

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

4.22 Patahan Uji Tarik Spesimen Hasil Pengelasan dengan Sudut Kampuh 85° dan Kuat Arus 160 A 71
4.23 Patahan Uji Tarik Spesimen Hasil Pengelasan dengan Sudut Kampuh 120° dan Kuat Arus 160 A 71
4.24 *Lack of Penetration* & *Fusion* Hasil Pengelasan Kuat Arus 60 A 77

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1 Penggunaan Las *TIG* untuk Beberapa Logam 11
2.2 Besar Arus dalam Pengelasan dengan Elektroda Wolfram 11
2.3 Spesifikasi dan Sifat Argon 13
2.4 Kode dan Komposisi Kimia Elektroda Tungsten 15
2.5 Besar Arus untuk Beberapa Diameter Logam Pengisi 17
2.6 Perlakuan Panas Terhadap Al Paduan 20
2.7 Komposisi Al 6061 21
2.8 Rancangan Sambungan Las *TIG* pada Al dan Paduannya..... 22
3.1 Jumlah Kebutuhan Spesimen..... 48
3.2 Kekuatan Uji Tarik Benda Hasil Pengelasan..... 49
3.3 Kekuatan Luluh Benda Hasil Pengelasan..... 50
4.1 Hasil Uji Komposisi Al 6061 52
4.2 Hasil Uji Tarik *Raw Material* Al 6061 61
4.3 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Setelah Pengelasan 62
4.4 Hasil Perhitungan σ_y dan q Setelah Pengelasan 65

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Surat Tugas Dosen Pembimbing 89
2. Sertifikat Pengelasan 90
3. Surat Keterangan Pengujian 91
4. Hasil Uji Komposisi 92
5. Grafik Hasil Uji Tarik dan Perhitungan..... 94
6. Hasil Perhitungan Regresi Ganda dengan SPSS 17 150
7. Foto Kegiatan..... 152

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kekuatan tarik merupakan salah satu hal yang sangat diperhitungkan dalam pemilihan sebuah material bahan industri. Faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik suatu bahan sangat beragam, salah satunya adalah karena perubahan struktur akibat dari proses pemanasan. Salah satu pemanasan yang diberikan pada suatu material adalah pengelasan. Logam yang mengalami pengaruh pemanasan akibat pengelasan akan mengalami perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan. Bentuk struktur mikro bergantung pada temperatur tertinggi yang dicapai selama proses pengelasan, kecepatan pengelasan dan laju pendinginan daerah lasan. Daerah logam yang mengalami perubahan struktur akibat pemanasan ini disebut daerah pengaruh panas atau *Heat Affeccted Zone (HAZ).*

Kenaikan temperatur ruang pada semua jenis logam pada umumnya mampu menaikkan keuletan dan tidak selalu mengakibatkan hilangnya tegangan serta kekakuan material logam. Fase atau struktur dari logam akan berubah dengan kenaikan temperatur yang dengan sendirinya mempunyai konsekuensi terhadap sifat mekanisnya seperti: tarik, tekan, geser, puntir, lengkung dan tekuk (Prawira *et al.*, 2015).

Kekuatan tarik pada logam hasil lasan sangat dipengaruhi oleh masukan panas yang terjadi pada proses pengelasan, masukan panas akan mengakibatkan logam las berdifusi dengan baik atau tidak sehingga akan berpengaruh pada kekuatan tarik hasil lasan (Suyono *et al.*, 2011). Masukan panas yang terjadi adalah efek dari penggunaan arus pada saat proses pengelasan.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Efisiensi pengelasan dapat ditambah dengan menambah arus las. Bagaimanapun, arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kawat inti elektrode las mengalami kelebihan panas selama proses pemanasan, dan bahan-bahan fluks akan memburuk, menyebabkan takikan dan tampilan rigi-rigi las yang buruk. Sebaliknya, arus las yang terlalu rendah cenderung menyebabkan penumpukan, memungkinkan terjadinya cacat-cacat las, seperti kurang penembusan dan pemasukan terak (Sunaryo, 2008: 241). Hal ini akan menyebabkan turunnya kekuatan tarik pada material hasil lasan.

Kekuatan tarik hasil pengelasan juga dipengaruhi jenis kampuh yang digunakan dalam proses pengelasan. Tingkat penurunan kekuatan hasil las dibandingkan dengan kekuatan raw material diperoleh hasil terbaik adalah kampuh U dengan kekuatan hasil las 62% dari kekuatan *raw material*, kampuh V dengan 59% dari kekuatan raw material sementara terendah adalah kampuh X dengan kekuatan tarik 55% dari kekuatan *raw material* (Huda *et al*., 2013). Pada penggunaan jenis kampuh V pemilihan sudut kampuh juga akan berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil lasan. Machmoed (2012) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa nilai tegangan tarik maksimum dan regangan tarik maksimum terdapat pada spesimen alur V 70° sebesar 1938 MPa dan 25,3% pada sambungan baja karbon rendah dengan menggunakan las *MIG*, hal ini membuktikan bahwa perencanaan yang baik akan menghasilkan hasil yang optimal.

Melihat sebab-sebab yang mempengaruhi kekuatan tarik dari penyambungan (pengelasan), penelitian ini akan memvariasikan sudut kampuh V tunggal dan kuat arus dari proses pengelasan menggunakan las *TIG* atau *GTAW*.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Pemilihan aluminium (Al) sebagai benda uji dalam penelitian ini karena sebagai bahan pendekatan dari aplikasi lapangan dan sebagai informasi tambahan bagi penelitian sejenis selanjutnya. Penggunaan bahan alumunium saat ini sangat banyak dalam bidang konstruksi, salah satunya dalam konstruksi perkapalan. Aluminium banyak digunakan untuk konstruksi pada bagian tangki, khususnya tangki air tawar dan tangki bahan bakar dimana pada penyambungannya menggunakan proses pengelasan.

Bersumber dari alasan- alasan seperti yang disebutkan di atas maka dalam penelitian ini akan dilaksanakan penelitian yang mengarah pada fenomena-fenomena lapangan tersebut namun lebih ke arah yang bersifat umum dan dasar, yaitu nilai kekuatan tarik pada penyambungan (pengelasan) logam aluminium (Al) dengan pengaruh variasi sudut kampuh dan kuat arus.

B. Identifikasi Masalah

Bersumber dari latar belakang di atas terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik pada material hasil lasan antara lain:

1. Pemilihan arus pada proses pengelasan akan berdampak pada kekuatan tarik hasil las, arus yang terlalu tinggi akan mengakibatkan pemanasan yang berlebih menyebabkan tampilan rigi-rigi yang buruk dan sebaliknya penggunaan arus yang terlalu rendah akan mengakibatkan tembusan yang kurang maksimal sehingga akan mengakibatkan menurunya tingkat kekuatan tarik material hasil las. Aluminium memiliki lapisan oksida tahan api sehingga diperlukan arus yang sesuai untuk mampu mencairkan bagian permukaan maupun inti dar *base metal*.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2. Arus las juga akan berdampak pada masukan panas yang terjadi, kekuatan tarik bisa didapatkan secara maksimal jika masukan panas tidak terlalu tinggi dan tidak juga terlalu rendah. Masukan panas yang cukup akan membuat *weld metal* dan *base metal* berdifusi baik dan tidak akan mengalami cacat *lack of fusion*.
3. Pemilihan desain sambungan las dan bentuk sambungan *(welding joint)*. Pemilihan didasarkan pada persyaratan umum atau spesifikasi mutu (kekuatan) yang diinginkan, bentuk dan konstruksi las, tegangan timbul *(residual stres)* maupun tegangan yang diperhitungkan akan timbul akibat pemakaian (pembebanan). Salah satu rancangan sambungan las *TIG* pada bahan aluminium adalah dengan alur bentuk V tunggal.
4. Kecepatan laju pengelasan (*travel speed)* juga merupakah faktor yang akan mempengaruhi kekuatan tarik hasil pengelasan. Semakin besar kecepatan pengelasan *(travel speed)* maka nilai kekuatan tarik akan semakin besar. Pengelasan dengan bahan aluminium harus dilakukan dengan *travel speed* yang sesuai agar tidak terjadi pencairan pada bagian inti akibat panas yang berlebih karena lambatnya *travel speed.*
5. Elektroda pada pengelasan *TIG* dengan jenis arus *AC High Frequency* yang digunakan untuk mencaikan aluminium harus mempunyai unjuk kerja yang baik, karena tidak semua jenis elektroda mampu digunakan dalam jenis arus AC maupun DC.
6. Posisi pengelasan juga berdampak pada kekuatan tarik yang akan dihasilkan pada sambungan lasan. Setiap posisi pengelasan akan

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

mengakibatkan penyebaran panas pada daerah *HAZ Heat Affected Zone)* berbeda, sehingga posisi pengelasan yang mampu menyebarkan panas secara merata pada *heat affected zone (HAZ)* akan meningkatkan nilai kekuatan tarik sambungan tersebut.

C. Pembatasan Masalah

Sebagaimanna telah disebutkan pada identifikasi masalah tentang beberapa faktor penyebab tingkat kekuatan tarik pada hasil lasan, maka penelitian ini dibatasi pada penggunaan variasi sudut kampuh dan kuat arus dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Proses penyambungan dua logam Aluminium 6061 menggunakan proses las *GTAW* atau *TIG-AC High Frequency* .
2. Variasi sudut kampuh yang digunakan dalam penelitian ini adalah 50°, 85°, dan 120°.
3. Variasi arus 60 A, 110 A, dan 160 A.
4. Logam pengisi menggunakan AWS ER4043 diameter 2,4mm.
5. Elektroda menggunakan *pure tungsten electrodes.*
6. Posisi pengelasan 1G *(Down Hand).*
7. Gas pelindung *(Inert Gas)* yang digunakan adalah argon murni (99,99%).

D. Rumusan Masalah

Permasalahan yang tentunya akan menjadi fokus utama dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut kampuh dan kuat arus terhadap struktur mikro pada sambungan aluminium menggunakan las *TIG.*

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2. Bagaimana pengaruh variasi sudut kampuh V dan kuat arus terhadap kekuatan tarik pada sambungan alumunium menggunakan las *TIG*.

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi sudut kampuh dan kuat arus terhadap struktur mikro pada hasil sambungan aluminium menggunakan las *TIG*.
2. Mengetahui pengaruh variasi sudut kampuh V dan kuat arus terhadap kekuatan tarik pada sambungan aluminium menggunakan las *TIG*.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini secara teoritis adalah sebagai berikut:

1. Setelah mengetahui struktur mikro pada benda hasil lasan diharapkan memberikan informasi perubahan struktur mikro akibat proses pengelasan *TIG* pada sambungan alumunium.
2. Setelah mengetahui nilai kekuatan tarik pada sambungan aluminium akibat variasi sudut kampuh dan kuat arus maka hal ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan sudut kampuh yang tepat untuk mendapatkan hasil sambungan dengan kekuatan tarik sesuai dengan tuntutan.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Manfaat secara praktis dari penelitian yang telah dilaksanakan ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan dan wawasan bagi peneliti dan pembaca tentang pengaruh variasi sudut kampuh V dan kuat arus terhadap kekuatan tarik benda hasil lasan.

2. Memberikan informasi pada istitusi teknologi produksi pada perusahaan-perusahaan yang menggunakan prosses penyambungan logam menggunakan material aluminium dengan las *Tungsten Inert Gas (TIG),* tentang sudut kampuh V dan kuat arus yang digunakan untuk mendapatkan hasil sambungan yang optimal.
3. Memberikan gambaran pengaruh pemilihan sudut kampuh V dan kuat arus terhadap kekuatan tarik benda hasil lasan sehingga dapat mempertimbangkan keuntungan dan kerugian serta dapat mempertimbangkan kebijakan apa yang harus diambil.
4. Memberikan informasi tentang pengaruh pemilihan sudut kampuh V dan kuat arus terhadap kekuatan tarik sambungan aluminium 6061 hasil pengelasan *Tungsten Inert Gas (TIG).*
5. Sebagai acuan praktisi untuk menentukan variasi sudut kampuh dan kuat arus yang digunakan untuk memperoleh kekuatan tarik yang optimal pada hasil pengelasan aluminium 6061 menggunakan metode pengelasan *Tungsten Inert Gas (TIG)*.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Pengelasan

Mengingat dalam penelitian ini penulis mengambil tema tentang pengelasan maka peneliti akan sedikit memaparkan tentang teori pengelasan. Pengelasan dalam bidang konstruksi sangat luas penggunaannya meliputi konstruksi jembatan, perkapalan, industri karoseri dll. Disamping untuk konstruksi las juga dapat untuk mengelas cacat logam pada hasil pengecoran logam, mempertebal yang aus (Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 1).

Berdasarkan definisi dari *Deutche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 1). Energi panas yang digunakan untuk mencairkan logam pada proses pengelasan dapat berasal dari pembakaran gas, sinar elektron, gesekan, gelombang ultrasonik, tahanan listrik, atau busur listrik.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan. Proses pengerjaan pengelasan harus mengikuti standar tertentu yang telah ada seperti: ASME *(American Soceity of Mechanical Engineers),* API

(American Petroleum Institute). Dalam hal ini pemilihan proses las, pemeliharaan *filler metal,* perncanaan prosedur pengelasan, kualifikasi prosedur pengelasan, perancangan dann prosedur pabrikasi, serta pengendalian mutu harus dilakukan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

2. *TIG (Tungsten Inert Gas Welding)*

Fokus utama pada penelitian ini adalah pengelasan menggunakan las *TIG (Tungsten Inert Gas),* dalam bahasan ini penulis akan memaparkan tentang pengelasan *TIG*. Las *TIG* (*Tungsten Inert Gas Welding*) adalah nama dalam bahasa Inggris untuk *Wolfram Inert Gas* (*WIG schweissen*) dalam bahasa Jerman atau dalam bahasa Indonesia disebut sebagai las busur gas elektroda tungsten. Jenis las ini adalah salah satu metode yang termasuk paling penting dalam pengerjaan baja paduan tinggi (*high-alloy*) dan logam bukan besi (*non-ferrous*) seperti aluminium, tembaga, titanium, Molibdenum dan paduan dari padanya (Dadang, 2013: 4-5).

Menurut Wiryosumarno dan Okumara (2000: 17), penggunaan las TIG mempunyai dua keuntungan yaitu pertama kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam pengisi dapat diatur semaunya. Keuntungan yang kedua adalah kualitas yang lebih baik dari daerah las. Oleh karena itu, maka TIG biasa digunakan untuk mengelas baja-baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja tahan panas dan untuk mengelas loga-logam bukan baja.

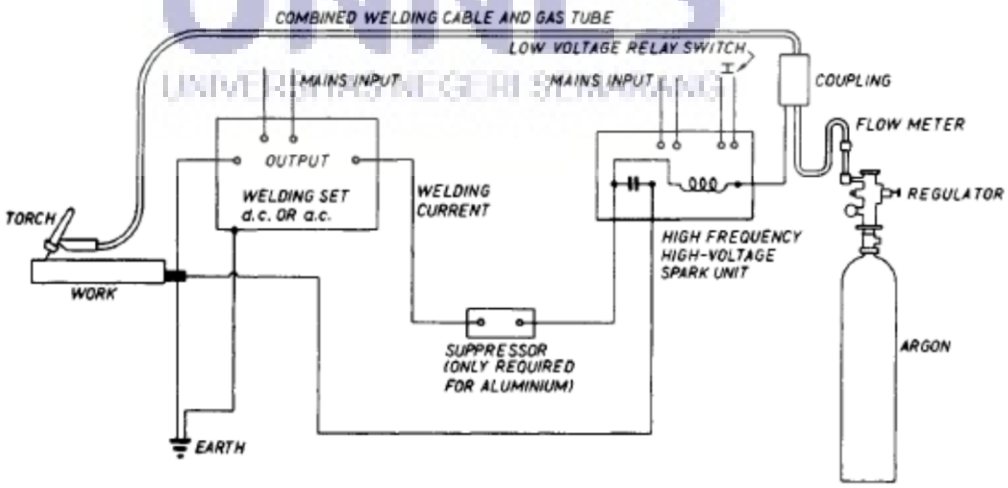
Pengelasan *TIG* merupakan cara pengelasan dimana busur las menyala diantara elektroda tungsten dan benda kerja, sementara itu aliran gas pelindung menyelubungi busur las dan daerah lasan untuk meindungi dari pengauh udara sekitar. Berbeda dengan elektroda pada proses busur metal manual, tungsten tidak

akan meleleh menjadi logam pengisi, yang kemudian digolongkan dalam elektroda *non-consumable*. Penggunaan las *TIG* ini dapat dilakukan secara manual dan secara otomatis yaitu dengan melakukan pengumpanan logam pengisi secara otomatis. Skema las *TIG* seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam proses pengelasan menggunakan las *TIG*.

a. Sumber Arus dan Kuat Arus

Pemilihan dalam penggunaan jenis arus baik AC maupun DC ditentukan dari jenis material yang akan dilas. Pada logam yang memiliki permukaan oksida tahan api seperti aluminium serta paduannya, paduan magnesium, dan alumunium perunggu digunakan arus AC sementara arus DC digunakan pada baja paduan, stainless steel, tembaga dan paduannya, nikel dan paduannya, titanium, zirkonium dan perak (Davies, 1993:147). Tabel 2.1 menunjukkan penggunaan mesin las *TIG* untuk beberapa jenis logam. Bersumber dari teori tersebut maka penelitian ini akan menggunakan arus AC. Penggunaan arus AC ini disesuaikan dengan penggunaaan *base metal* yang akan dipakai dalam penelitian ini, yaitu paduan alumunium 6061. Jenis arus AC yang digunakan adalah arus AC *high frequency*.



Gambar 2.1 Skema Las *TIG* (Davies, 1993: 147)

Tabel 2.1 Penggunaan Las TIG untuk Bebrapa Logam

Logam	Listrik Ac Frekuensi Tinggi	Listrik DC polaritas lurus	Listrik DC polaritas balik
Baja	Terbatas	Sesuai	-
Baja tahan karat	Terbatas	Sesuai	-
Besi cor	Terbatas	sesuai	-
Aluminium dan paduannya	Sesuai	-	Pelat tipis
Magnesium dan paduannya	Sesuai	-	Pelat tipis
Tembaga dan paduannya	Terbatas	Sesuai	-
Aluminium brons	Sesuai	terbatas	-

Sumber: Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 19

Arus pengelasan las listrik adalah besarnya aliran atau arus listrik yang keluar dari mesin las. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan amperemeter. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang digunakan dalam pengelasan, jenis logam, bentuk sambungan, dan ketebalan benda kerja juga mempengaruhi dalam penentuan arus yang akan digunakan. Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan terbentuknya manik las yang terlalu lebar dan deformasi dalam pengelasan. Penentuan amper juga dipengaruhi oleh diameter elektroda tabel 2.2 menunjukan besarnya arus dalam pengelasan dengan elektroda *wolfram.*

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Tabel 2.2 Besar Arus dalam Pengelasan dengan Elektroda Wolfram

Diameter elektroda (mm)	Arus pengelasan (A)	
	Wolfram pure	Wolram-thorium
1,0	10-60	15-80
1,6	40-110	60-150
2,4	80-160	140-250
3,2	140-210	225-325
4,0	170-275	300-425
5,0	250-350	400-500
6,4	300-450	-

Sumber: Wiryosumarto dan Okumara, 1981: 120

b. Kecepatan Pengelasan *(travel speed)*

Kecepatan pengelasan *(travel speed)* berhubungan terbalik terhadap ukuran *weld bead*. Bila kecepatan pengelasan meningkat maka ukuran *weld bead* berkurang sehingga *heat input* juga berkurang. Kecepatan pengelasan yang rendah akan menyebabkan pencairan yang banyak dan pembentukan manik datar yang dapat menimbulkan terjadinya lipatan manik. Sedangkan kecepatan yang tinggi akan menurunkan lebar manik dan menyebabkan terjadinya bentuk manik yang cekung dan takik.

Heat input ini berbanding lurus dengan arus dan tegangan yang digunakan serta berbanding terbalik dengan kecepatan pengelasan. Bila menggunakan *heat input* yang rendah, mengharuskan kecepatan pengelasan yang relatif pelan, maka energi panas banyak menyebar kebagian logam, sehingga semakin banyak daerah yang dipanasi, berarti lebih banyak daerah yang mengalami perubahan struktur kristal. Sebaliknya dengan *heat input* yang tinggi, aluminium mencair dengan cepat, sehingga kecepatan pengelasan lebih besar, yang berarti daerah yang dipengaruhi panas las sempit. Semakin besar masukan panas makin besar pula perubahan bentuk atau distorsi yang terjadi. Apabila *heat input* dari suatu pengelasan terlalu tinggi maka daerah HAZ akan menjadi lebar sehingga mudah terjadi cacat seperti *undercut*. Akan tetapi apabila *heat input* terlalu kecil maka juga akan menimbulkan cacat las seperti *inclusion* (Yoedhawan, 2014).

c. Gas Pelindung

Udara sekitar pengelasan mengandung banyak unsur oksigen dan juga nitrogen, pada temperatur yang tinggi gas tersebut akan bereaksi pada kebanyakan jenis logam yang menyebabkan teroksidasinya logam sehingga menghasilkan

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

sambungan las yang buruk. Proses pengelasan *TIG* membutuhkan gas yang dapat melindungi selama pengelasan, untuk itu dibutuhkan gas yang tidak menimbulkan reaksi terhadap logam dan temperatur tinggi. Sifat netral tersebut hanya dimiliki oleh gas mulia yaitu argon dan helium, yang kemudian gas tersebut sering disebut *inert gas.* Berikut macam-macam gas pelindung yang digunakan dalam pengelasan *TIG*.

1) Argon (Ar)

Gas pelindung yang paling sering digunakan atau paling umum adalah argon, gas argon dikenal karena kemurniannya pada temperatur tinggi. Argon baik murni atupun mengandung sedikit unsur lain (karbon dioksida, oksigen, hidrogen dan helium) banyak digunakan pada baja karbon dan juga stainless steel, aluminium, dan sebagainya (Dadang, 2013: 59). Spesifikasi dan sifat-sifat argon dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi dan Sifat Argon

Spesifikasi	Simbol Kimia	Ar
	Titik Didih	-185,9°C
	Berat Jenis Relatif	1,4
	Berat Molekul	40
	Suhu Kritis	-122,4°C
	Berat Jenis Gas (@101,3kPa & 15°C)	1,78 kg/m^3
	Berat Jenis Cairan (B. Pt.)	1393 kg/m^3
	Isi Spesifik (@101,3kPa &15°C)	0,591 m^3/kg
	Titik Api	Tidak Terbakar
Sifat-sifat	Tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa, mudah larut dalam air, dan bukan gas yang mudah terbakar.	

Sumber: Dadang, 2013: 59

Argon dengan kemurnian (99,99%) sering digunakan dalam pengelasan pada logam aluminium dan paduannya, sementara itu pada titanium dibutuhkan kemurnian yang sangat ekstrim. Argon dengan campuran 5% hidrogen mampu meningkatkan kecepatan pengelasan atau penetrasi pada proses pengelasan

stainless steel dan paduan nikel (Davies, 1993: 148). Berdasarkan literatur tersebut maka dalam penelitian ini *inert gas* yang digunakan adalah gas argon (Ar).

2) Helium (He)

Helium dapat digunakan pada aluminium dan paduannya serta pada tembaga, namun helium lebih mahal daripada argon. Campuran 30% helium dan 70% argon sekarang digunakan, dan mampu meningkatkan kecepatan pengelasan. Mekanisme pengelasan aluminium dengan arus DC dengan helium mampu memperdalam penetrasi dan kecepatannya (Davies, 1993: 148).

d. Elektroda

Elektroda tungsten terdiri dari elektroda tungsten murni dan elektroda tungsten paduan. Elektroda tungsten murni sangat baik untuk digunakan pada arus AC. Sementara tungsten paduan ada yang hanya dapat digunakan pada arus DC dan ada juga yang dapat digunakan pada arus DC maupun AC. Berikut karakteristik elektroda tungsten berdasarkan unsur paduannya.

1) Thoriated Tungsten Electrodes

Thoriated merupakan elektroda yang umum dugunakan di Amerika dan beberapa negara lain. Elektroda ini bekerja dengan baik pada arus yang tinggi, utamanya digunakan dalam proses pengelasan arus DC untuk baja karbon, paduan nikel, *stainless steel* dan titanium.

2) Zirconiated Tungsten Electrodes

Elektroda jenis ini mempunyai unjuk kerja yang baik dalam pengelasan AC. Elektroda jenis ini mempunyai kestabilan busur yang lebih baik daripada pure tungsten, terutama pada pengelasan AC dengan beban arus yang tinggi. *Zirconiated*

tungsten umumnya digunakan pada pengelasan AC dengan material Aluminium dan magnesium.

3) Lanthanated Tungsten Electrodes

Lanthanated tungsten merupakan bahan non radioactive dengan unjuk kerja pengelasan yang baik. Konduktivitas lisktriknya hampir sama dengan 2% *thoriated tungsten*. Tungsten ini utamanya digunakan pada pengelasan DC akan tetapi juga menunjukkan hasil yang bagus pada hasil pengelasan AC.

4) Ceriated Tungsten Electrodes

Ceriated tungsten merupakan bahan non radioactive yang dikenal secara khusus digunakan pada pengelasan DC dengan amper rendah. Elektroda jenis ini populer digunakan pada pengelasan pipa, komponen yang sangat kecil dan siklus pengelasan yang pendek.

Normalisasi atau pengkodean elektroda tunsten menurut ISO 6848 yang didasarkan pada komposisi kimia dan kode warna elektroda tungsten dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kode dan Komposisi Kimia Elektroda Tungsten

Kode	Paduan oksid (%)	Kode Warna
W	Tanpa Paduan	Hijau
WT 10	0.9... 1.2 Thorium Oksid	Kuning
WT 20	1.8... 2.2 Thorium Oksid	Merah
WT 30	2.8... 3.2 Thorium Oksid	Violet
WT 40	3.8... 4.2 Thorium Oksid	Orange
WZ 3	0.15... 0.5 Zirkonium Oksid	Coklat
WZ 8	0.7... 0.9 Zirkonium Oksid	Putih
WL 10	0.9... 1.2 Lanthanium Oksid	Hitam
WL 20	1.8... 2.2 Lanthanium Oksid	Biru Muda
WC 20	1.8... 2.2 Cherium Oksid	Abu-abu

Sumber: Dadang, 2013: 47

Melihat karakteristik dari elektroda baik itu elektroda tungsten murni *(pure tungsten electrodes)* maupun paduan dalam teori di atas, maka dalam penelitian penulis akan menggunakan *pure tungsten electrodes*. Hal ini sesuai dengan teori

bahwa penggunaan elektroda tersebut sangat baik digunakan dalam pengelasan arus ac dengan frekuensi tinggi pada material alumunium.

e. *Filler Rod* (Bahan tambah las *GTAW*)

Pada proses pengelasan *GTAW* atau *TIG* elektroda merupakan bahan tak habis pakai (*non consumable*) sehingga memerlukan bahan tambah untuk mengisi kampuh logam lasan, bahan ini yang sering disebut dengan (*filler rod*). *Filler rod* yang digunakan pada proses pengelasan memiliki komposisi yang lebih unggul dari *base metal* yang akan dilas, hal ini bertujuan untuk mengatasi terjadinya transformasi struktur yang akan mempengaruhi sifat mekanik logam.

Filler rod untuk las *TIG* memiliki berbagai ukuran diameter, tersedia ukuran standar diameter 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 3.2, 4.0, dan 5.0 mm. Kodefikasi dilakukan untuk memudahkan welder melakukan pemilihan dan menstandarkan bahan tambah las *GTAW* atau *TIG*. Beberapa kodefikasi yang ada antara lain *AWS (American Welding Society), DIN (Deutsche Industrie Norm),* dan *JIS (Japan Industrie Standart)*. Berikut beberapa *filler rod* menurut standar *AWS*.

1) Untuk Mengelas Baja Karbon

ER70S-2, ER70S-6, dan beberapa pilihan ER70S lainnya dengan angka yang berbeda diakhir, masing- masing mewakili komposisi kimia dalam logam pengisi untuk mengatasi kondisi tertentu dari logam atau jenis sendi yang akan dilas. Klasifikasi *filler rod* ini digunakan untuk mengelas pipa berdiameter kecil dan pelat baja, maupun tembusan *(root pass)* pada pengelasan pipa.

2) Untuk Mengelas *Stainless Steel*

Filler rod yang digunakan dalam pengelasan *stainless steel* tipe 304 ataupun seri 300 lainnya yang secara luas digunakan dalam bidang manufaktur adalah *filler*

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

rod dengan kode ER308 dan ER308L. Kode ER309 dan ER309L digunakan dalam pengelasan dengan *base metal* yang berbeda *(Dissimilar)*, *filler* jenis ini mampu digunakan dalam panas tinggi dan memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Penyambungan pada bejana tekan, katup, peralatan kimia, dan aplikasi dilaut menggunakan *filler* dengan kode ER316 dan ER316L. Kode "L" mengacu pada jumlah karbon rendah pada *filler metal* (kurang dari 0,8%), yang membantu menghambat bahkan mencegah korosi.

3) Untuk Mengelas Logam Aluminium

Pengelasan paduan aluminium seri 6000 dan beberapa paduan lainnya digunakan *filler* dengan kode ER4043. *Filler* ini cocok digunakan dalam pengelasan komponen otomotif seperti rangka, poros penggerak, dan rangka sepeda. Sementera itu kode ER5356 merupakan *filler rod* paduan aluminium magnesium yang digunakan untuk mengelas paduan aluminium cor dan tempa. Umumnya direkomendasikan untuk pengelasan paduan aluminium seri 5000 atau 6000.

Berikut dalam Tabel 2.5 menunjukkan besar arus dan diameter logam pengisi yang harus digunakan.

Tabel 2.5 Besar Arus untuk Beberapa Diameter Logam Pengisi

Diameter Batang Logam Pengisi (mm)	Arus Pengelasan (Amp.)
1,6	40-100
2,0	60-130
2,4	70-150
3,2	130-200
4,0	180-250
5,0	240-360
6,0	≥340

Sumber: Wiryosumarto & Okumura, 2000: 124

Filler yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *filler* dengan kode ER4043, penggunaan *filler* jenis ini sesuai dengan teori yang ada dimana

ER4043 merupakan *filler* yang dipakai pada pengelasan paduan alumunium seri 6000. Diamater *filler* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2,4 mm hal ini sesuai dengan rentang variasi arus pengelasan yang diijinkan dengan variasi arus yang akan dilakukan dalam penelitian.

3. Aluminium

Mengingat penelitian ini menggunakan alumunium sebagai bahan untuk penelitian maka dalam sub-bab ini penulis akan membahas tentang material jenis ini. Aluminium adalah paduan logam ringan yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dan merupakan konduktor yang cukup baik. Aluminium berwarna putih kebiru- biruan, lebih keras dari timah putih, tetapi lebih lunak daripada seng. Aluminium memiliki kekuatan tarik sebesar 10 kg/mm, dan untuk memperbaiki sifat mekanisnya bahan alumunium ditambahkan beberapa unsur paduan. Penambahan beberapa unsur lain seperti Cu, Mn, Mg, Si, Ni dan sebagainya, akan meningkatkan kekuatan mekaniknya, ketahanan terhadap korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian. Berdasarkan klasifikasinya aluminium dibagi menjadi tujuh jenis.

a. Aluminium Murni (seri 1000)

Aluminium dari jenis ini memiliki kemurnian antara 99% hingga 99,9%, aluminium murni memiliki sifat tahan korosi, konduktor, dan penghantar panas yang baik.

b. Paduan Al-Cu (seri 2000)

Jenis paduan Al-Cu memiliki ketahanan korosi yang jelek, sifat mampu las paduan ini juga kurang baik, paduan jenis ini biasa digunakan pada konstruksi keling dan banyak sekali digunakan pada konstruksi pesawat terbang.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

c. Jenis Al-Mn (seri 3000)

Mn adalah unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi, dn dipakai untuk membuat paduan tahan korosi. Penambahan unsur Mn akan memperbaiki ductility pada logam aluminium.

d. Paduan Al-Si (seri 4000)

Penambahan unsur Si ini akan berdampak pada ketahanan terhadap korosi akan tetapi akan mengalami penurunan untuk proses machining. Paduan ini sangat baik kecairannya, yang mempunyai permukaan bagus sekali, dan sangat baik untuk paduan coran.

e. Paduan Al-Mg (seri 5000)

Paduan jenis ini tidak dapat diperlaku panaskan, tetapi memiliki daya tahan korosi yang baik, dan dalam sifat mampu lasnya. Penambahan Mg akan memperbaiki logam aluminium dari segi kekuatannya.

f. Paduan Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan ini memiliki sifat mampu potong dan mampu las yang baik, sifat tahan korosi dari paduan ini juga cukup baik. Jenis ini merupakan paduan yang memiliki kekuatan kurang untuk bahan tempaan dibanding dengan paduan-paduan lainnya.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

g. Paduan Al- Zn (seri 7000)

Penambahan unsur Zn dalam paduan ini akan memperbaiki sifat logam aluminium tahan terhadap korosi dan mengurangi terjadinya keretakan panas dan pengerutan.

Kekuatan dan kekerasan logam aluminium paduan dapat diperbaiki dengan perlakuan panas atau perlakuan dingin *(heat treatment)*, tetapi tidak semua

aluminium paduan dapat diberikan *heat treatment*. Paduan aluminium yang dapat dilakukan perlakuan panas adalah sebagai berikut.

Tabel 2.6 Perlakuan Panas Terhadap Aluminium Paduan

Dapat diberi perlakuan panas	Tak dapat diberi perlakuan panas
2011	1060
2014	1100
2017	3003
2018	3004
2024	4043
2025	5005
2117	5052
2118	5056
2618	5083
4032	5086
6053	5184
6061	5252
6063	5257
6066	5357
6101	5454
6151	5456
7039	5557
7075	5657
7079	
7178	

Sumber: Sunaryo, 2008: 16

4. Aluminium 6061

Aluminium 6061 merupakan paduan antara Al-Mg-Si, paduan ini dapat dikeraskan dengan penuaan panas setelah proses pelarutan. Padauan ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstruksi dan sangat baik untuk mampu bentuk yang tinggi pada temperatur biasa (Surdia dan Saito, 1999: 140).

Komposisi kimia dari paduan Al 6061 dapat dilihat pada Tabel 2.7. Penggunaan paduan ini antara lain: industri ruang angkasa, mobil, rem piston, hidrolik piston, mount lensa kamera, perlengkapan pesawat, katup dan bagian katup, kerangka sepeda dan lain-lain. Paduan 6061 ini banyak dipilih karena memiliki kekuatan yang sangat baik untuk rasio berat, keuletan yang baik,

ketahanan korosi dan ketahanan retak di lingkungan yang merugikan (Leon dan Jayakumar, 2014). Pemilihan bahan Al 6061 pada penelitian ini adalah sebagai bahan pendekatan dari aplikasi lapangan.

Tabel 2.7 Komposisi Al 6061

Komponen	Jumlah (%)
Aluminium (Al)	Balance
Magnesium (Mg)	0.8-1.2
Silicon (Si)	0.4-0.8
Iron (Fe)	Max 0.7
Copper (Cu)	0.15-0.4
Zinc (Zn)	Max 0.25
Titanium (Ti)	Max 0.15
Manganese (Mn)	Max 0.15
Chromium (Cr)	0.04-0.05
Bahan Lain	0.05

Sumber:Hassan et al., 2012

5. Kampuh V

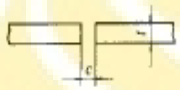
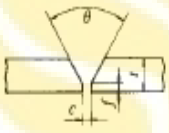
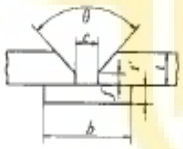
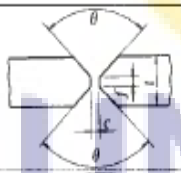
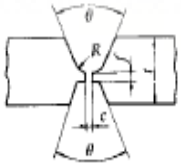
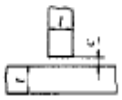
Alur pengelasan dinyatakan oleh sepasang sisi ujung dari dua logam yang akan disambung dengan pengelasan. Sebuah kampuh las harus dirancang untuk pengelasan yang efisien secara ekonomis dan mudah pelaksanaannya serta untuk meminimalkan jumlah endapan tanpa menyebabkan cacat las.

Gambar 2.2 Bentuk Kampuh V(Sunaryo, 2008: 234)

Kampuh las dapat dipersiapkan dengan proses pemesinan atau pemotongan panas lainnya. Metode pemotongan panas yang dapat dipakai meliputi: pemotongan gas, pemotongan busur plasma, pemotongan busur udara, pemotongan laser, dan sebagainya.

Tabel 2.8 menunjukan rancangan sambungan las TIG pada alumunium dan paduannya, pada penelitian ini penulis akan menggunakan jenis sambungan alur bentuk V tunggal. Pemilihan bentuk alur kampuh tersebut berdasarkan ketentuan ketebalan *base metal* yang akan digunakan yaitu 4-25 mm dan dengan variasi sudut rata-rata dari rentangan 60-110° dan di bawah rentangan serta di atas dari rentangan tersebut.

Tabel 2.8 Rancangan Sambungan Las *TIG* pada Aluminium dan Paduannya

Jenis Sambungan		Bentuk alur	Tebal logam induk t (mm)	Jumlah lapisan	Ukuran (mm) (lihat sketsa)		Keterangan
					Las TIG	Las MIG	
Sambungan tumpul untuk pelat.	Alur persegi		≦6	1–2	$c \leqq 3$	$c \leqq 2$ Ukuran setiap penahan. $c \leqq t$	Pembulatan sudut dibolehkan
	Alur bentuk V tunggal		4–25	≧1	$c \leqq 3$ $f \leqq 3$ $\theta = (60–110°)$ ± 5	$c \leqq 3$ $f \leqq 3$ $\theta = (40–30)$ ± 5	Dapat menggunakan setrip penahan atau Las lawan
	Alur bentuk V tunggal dengan setrip penahan		≧4	≧1	—	$c = 3 \sim 6$ $f \leqq 6$ $\theta = (45–70°C)$ ± 5 $f' = 4–10$ $b = 20–50$	Sangat sesuai untuk Las TIG
	Alur bentuk V ganda		≧8	≧2	$c \geqq 3$ $f \leqq 2$ $\theta = (40–90°) \pm 5$		Dibolehkan menggunakan alur bentuk V yang tidak simetris.
	Alur bentuk U Tunggal.		≧8	≧2	$c \leqq 2$ $f = 1,5–3$ $R = 4–8$ $\theta = (30–60°) \pm 5$		Dapat menggunakan setrip penahan atau Las lawan
	Alur bentuk U ganda		≧16	≧2	$c \leqq 2$ $f = 45$ $R = 6–8$ $\theta = (30 \sim 60) \pm 5$		Dibolehkan menggunakan alur bentuk U yang tidak simetris Las lawan harus didahului dengan pemahatan.
	Tanpa alur		≧1	≧1	$c \leqq 2$		Bila tebalnya tidak sama, yang diambil sebagai dasar adalah pelat atau batang yang lebih tipis

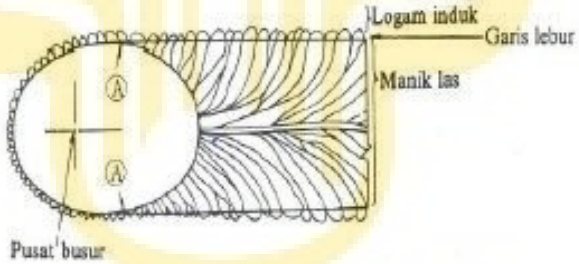
Sumber: Wiryosumarto & Okumura,2000: 124

6. Siklus *Thermal* Daerah Lasan

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 56), daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa Inggrisnya adalah *"Heat Affected Zone"* dan disingkat menjadi daerah *HAZ* dan logam induk yang tak terpengaruhi.

a. Logam Las

Menurut Widharto (2013: 455), logam las adalah perpaduan antara bahan pengisi (*filler metal*) dengan logam induk yang kemudian setelah membeku membentuk jalur las. Logam didaerah pengelasan mengalami siklus termal yakni pencairan kemudian pembekuan. Kondisi ini menyebabkan perubahan struktur mikro dari logam yang bersangkutan.



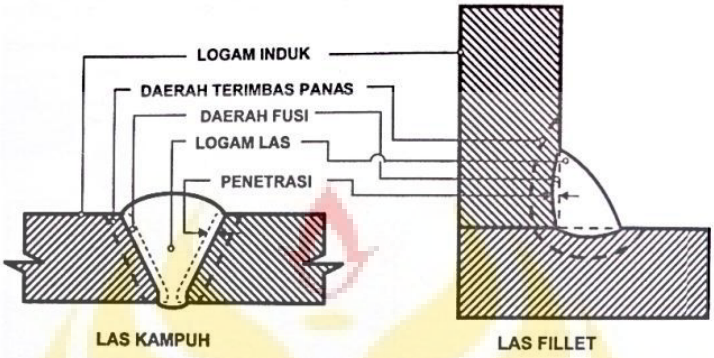
Gambar 2.3 Arah Pembekuan dari Logam Las
(Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 57)

Pada Gambar 2.3 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakkan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama (Wiryosumarto dan Okumura 2000: 57).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

b. Logam Induk

Menurut Widharto (2013: 456), logam induk adalah bagian logam yang jauh dari bagian las sehingga tidak terpengaruh oleh suhu panas las dan tetap dalam struktur mikro dan sifat semula.



Gambar 2.4 Bagian las (Widharto, 2013: 456)

c. *Heat Affected Zone (HAZ)*

Menurut Sonawan dan Suratman (2006: 66), pemanasan lokal pada permukaan logam induk selama proses pengelasan menghasilkan daerah pemanasan yang unik, artinya disetiap titik yang mengalami pemanasan itu memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Pada pengelasan busur listrik, permukaan logam yang berhubungan langsung dengan busur listrik akan mengalami pemanasan paling tinggi yang memungkinkan daerah tersebut mencapai titik cairnya.

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 56), daerah terimbas panas atau *HAZ* adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

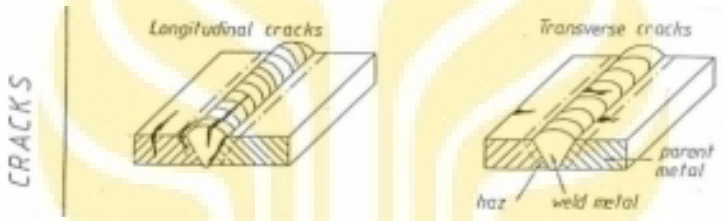
7. Cacat Las

Jenis cacat las pada proses pengelasan yang mungkin dapat terjadi beberapa diantaranya adalah retak *(cracks), slag inclusion,* porositas *(porosity),* kurang fusi

(lack of fusion), kurang penetrasi *(lack of penetration)*, bentuk yang tidak sempurna *(imperfect shape)*.

a. Retak *(cracks)*

Jenis cacat ini bisa terjadi pada logam las *(weld metal)*, logam induk *(base metal)*, atau pada daerah *heat affected zone (HAZ)*. Cacat retak dibagi menjadi dua yaitu retak dingin dan retak panas. Bagian retakan juga dibagi menjadi dua yaitu retakan memanjang *(longitudinal crack)* dan retakan melintang *(transverse crack)*. Retak panas terjadi pada suhu tinggi ketika proses pembekuan berlangsung. Retak dingin umumnya terjadi di bawah suhu 200ºC setelah proses pembekuan.

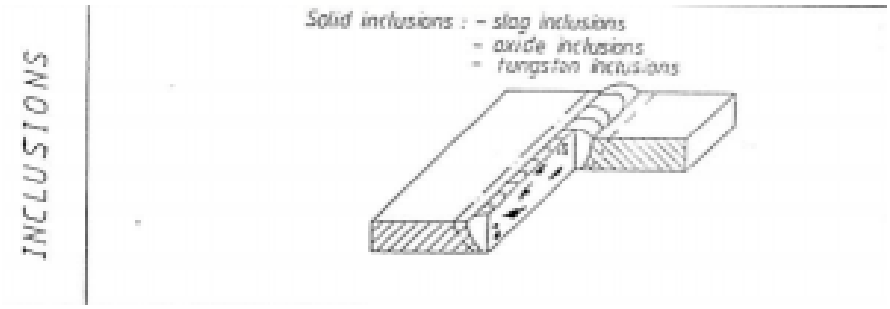


Gambar 2.5 Bagian Retakan (http://kawatlas.jayamanunggal.com/jenis-cacat-las/)

b. *Slag Inclusion*

Cacat ini disebabkan oleh pengotor atau inklusi baik berupa produk karena reaksi gas atau berupa unsur-unsur yang berasal dari luar. Seperti terak *(slag inclusion)*, oksida *(oxide inclusion)*, logam wolfram *(tungsten inclusion)* atau lainnya. Cacat las ini umumnya terjadi pada daerah bagian logam las *(weld metal)*, hal ini akan mengurangi kekuatan hasil pengelasan.

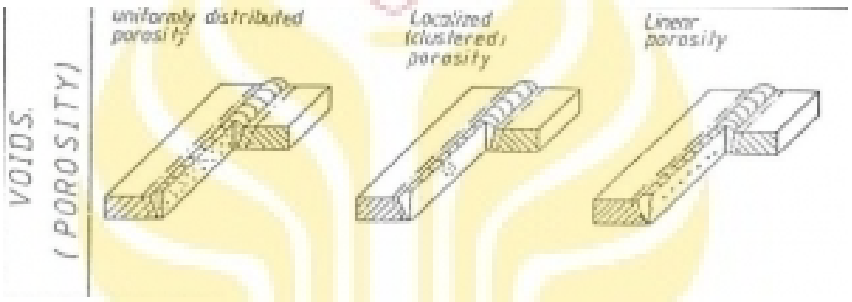
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 2.6 *Inclusion* (http://kawatlas.jayamanunggal.com/jenis-cacat-las/)

c. Porositas *(porosity)*

Porositas merupakan cacat las berupa lubang-lubang halus atau pori-pori yang biasanya terbentuk di dalam logam las akibat terperangkapnya gas yang terjadi ketika proses pengelasan. Di samping itu, porositas dapat pula terjadi karena kekurangan logam cair karena penyusutan ketika logam membeku. Porositas seperti itu disebut *shrinkage porosity*. Jenis porositas las dapat dibedakan berdasarkan pori-pori yang terjadi yaitu porositas terdistribusi merata, porositas teraalokakisasi, porositas linier.



Gambar 2.7 Porositas (http://kawatlas.jayamanunggal.com/jenis-cacat-las/)

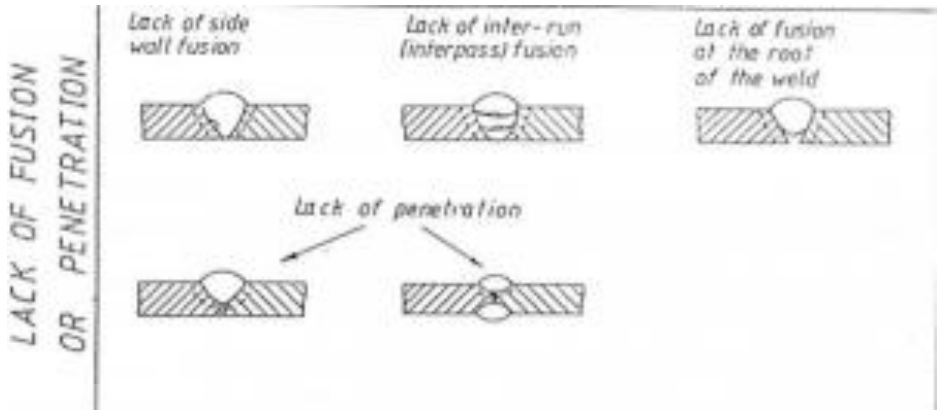
d. Kurang fusi *(lack of fusion)*

Cacat ini merupakan cacat akibat terjadinya *"discontinuity"* yaitu ada bagian yang tidak menyatu antara logam induk dengan logam pengisi. Di samping itu cacat jenis ini dapat pula terjadi pada pengelasan berlapis *(multipass welding)* yaitu terjadi antara lapisan las yang satu dan lapisan yang lainnya.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

e. Kurang penetrasi *(lack of penetration)*

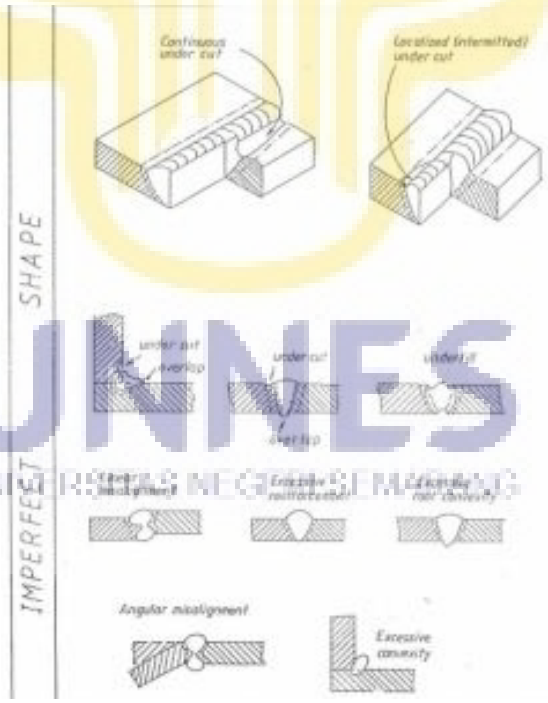
Cacat jenis ini terjadi bila logam las tidak menebus mencapai sampai ke dasar dari sambungan. Ketika meletakkan manik pertama sepanjang akar dalam kampuh, penetrasi diakar mungkin tidak teratur atau tidak cukup. Ketika kuat arus berlebihan, penetrasi yang terjadi akan terlalu tinggi. Penetrasi yang kurang terjadi karena pengaturan kuat arus terlalu rendah, atau *travel speed* terlalu tinggi.



Gambar 2.8 *Lack of Fusion and Penetration*
(http://kawatlas.jayamanunggal.com/jenis-cacat-las/)

f. Bentuk manik las yang tidak sempurna *(imperfect shape)*

Jenis cacat ini memberikan geometri sambungan las yang tidak baik atau tidak sempurna seperti *undercut, underfill, overlap, excessive reinforcement* dan lain-lain. Morfologi geometri dari cacat ini biasanya bervariasi.



Gambar 2.9 *Imperfect Shape* (http://kawatlas.jayamanunggal.com/jenis-cacat-las/)

8. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dalam penelitian ini dilaksanakan untuk menentukan kekuatan tarik, titik mulur (kekuatan lentur) las, pemanjangan dan pengurangan

material las. Spesimen akan dipegang pada ujung-ujungnya dengan jepitan alat penguji, dan ditarik dengan menggunakan beban tarik. Berat beban ditingkatkan sedikit demi sedikit sampai spesimen itu patah. Penguji akan secara otomatis menghasilkan diagram perpanjangan beban, yang menunjukkan hubungan antara beban tarik dengan pemanjangan spesimen. Gambar 2.10 menunjukkan contoh kurva hubungan tegangan dan regangan.

Spesimen uji tarik yang digunakan untuk sambungan las harus diambil dari hasil sambungan las yang dianggap dapat mewakili dari proses pengelasan. Untuk menentukan sifat-sifat mekanis dari daerah las, spesimen tersebut harus diambil dari porsi logam yang dilas. Sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Tegangan ; $\sigma = \frac{P}{A_0}$ ..... (1)

P = beban (Kg)
A_0 = luas mula dari penampang benda uji (mm^2)

Regangan ; $\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} X\ 100\%$..... (2)

L_0 = panjang mula dari benda uji
L = panjang benda uji yang dibebani

Tegangan Luluh ; 1 mm $= \frac{P_u}{hU}$ ..... (3)

$P_y = h_y \times P$ ..... (4)

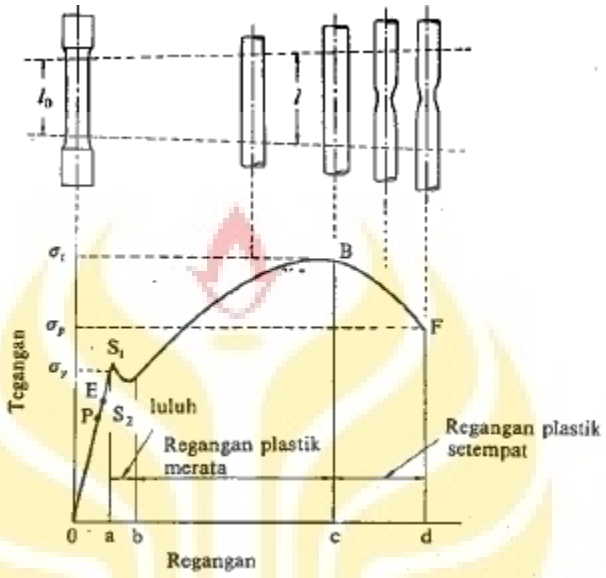
$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0}$ ..... (5)

P = Beban/mmb (kg)
P_y = Beban *yield* (kg)
P_u = Beban *ultimate* (kg)
A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)
hU = tinggi *ultimate* (mm)
hY = tinggi *yield* (mm)
σ_y = Tegangan *yield*

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Reduksi Penampang ; $q = \frac{A_0 - A_f}{A_0} X\ 100\%$ ..... (6)

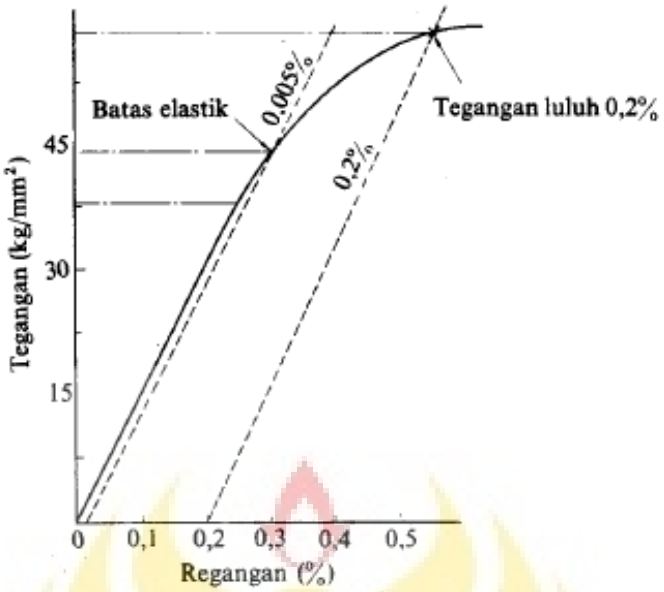
q = Reduksi penampang (%)
A_f = Luas penampang setelah uji tarik
A_0 = Luas penampang sebelum uji tarik



Gambar 2.10 Kurva Tegangan Regangan(Wiryosumarto & Okumura, 2000: 182)

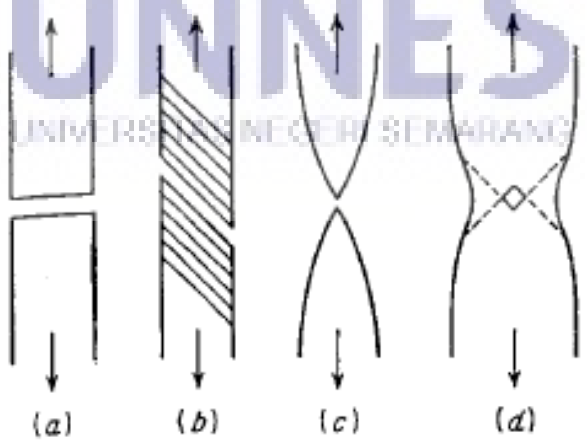
Hubungan antara tegangan dan regangan untuk batang uji bulat dapat dilihat dalam Gambar 2.10. Di dalam gambar, titik P menunjukkan batas di mana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi dan titik E menunjukkan batas di mana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastik. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastik dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S_1 disebut titik luluh atas dan titik S_2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2% seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11. Cara ini dinamakan metode *offset* atau disebut metode tegangan luluh atau tegangan uji 0,2%.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 2.11 Hubungan Tegangan dan Regangan dan Cara Memperoleh Kekuatan Luluh 0,2% (Wiryosumarto & Okumura, 2000: 182)

Logam dapat menunjukkan berbagai jenis patahan, tergantung dari material, suhu, keadaaan tegangan, dan tingkat pembebanan. Terdapat dua kategori patahan yaitu patah ulet *(ductile)* dan patah getas *(brittle).* Patah getas ini ditandai dengan pemisahan normal pada hasil penarikan. Patahan ulet akan mengakibatkan terjadinya *necking*, patahan dimulai di pusat spesimen dan kemudian meluas sepanjang garis putus-putus. Hal ini sering disebut patahan *"cup and cone".*

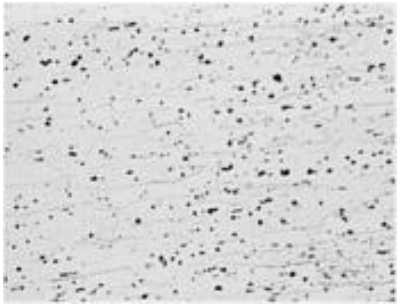


Gambar 2.12 Jenis Patahan pada Logam (a)Patah Getas (b)Patah Geser pada Logam Ulet (c)Patah Ulet pada Logam yang Sangat Ulet (d)Patah Ulet *"Cup and Cone"*(Dieter, 1988: 243)

9. Pengamatan Struktur Mikro

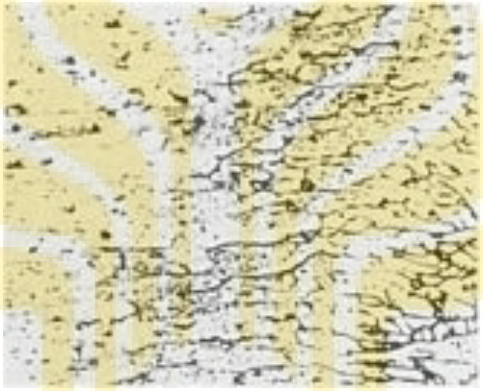
Uji struktur mempelajari struktur material logam. Untuk keperluan pengujian, material logam dipotong-potong, kemudian potongan-potongan diletakkan di bawah dan dikikis dengan material alat penggores yang sesuai. Uji struktur ini dilaksanakan secara makroskopik atau mikroskopik. Dalam uji makroskopik, permukaan spesimen diperiksa dengan mata telanjang atau melalui loupe untuk mengetahui status penetrasi, jangkauan yang terkena panas, dan kerusakannya (Sunaryo, 2008: 449).

Pemeriksaan mikroskopik, permukaan spesimen diperiksa melalui mikroskop metalurgi untuk mengetahui jenis struktur dan rasio komponen-komponennya, untuk menentukan sifat-sifat materialnya (Sunaryo, 2008: 449). Gambar 2.13 menunjukkan struktur mikro pada plat aluminium 6061, pada gambar ini ditunjukkan pada bagian dengan warna terang adalah fasa Al dan gelap adalah fasa paduan. Struktur jaringan interdendritik aluminium silikon eutektik ditunjukkan pada Gambar 2.14 pada gambar dengan warna gelap. Pengamatan struktur mikro juga bertujuan untuk mengetahui cacat las yang terjadi pada hasil pengelasan. Gambar 2.15 menunjukkan terjadinya cacat porositas pada hasil pengelasan. Porositas yang terjadi pada hasil pengelasan ditunjukkan dengan bulatan-bulatan gelap pada hasil foto struktur mikro.

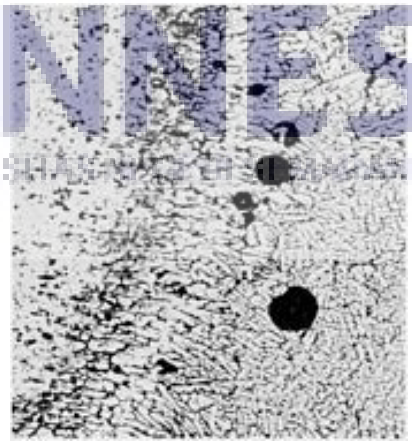


Gambar 2.13 Struktur Plat Al 6061*(Metals Handbook 9th Edition Vol.9 of Metallography and Microstructures)*

Mg_2Si adalah suatu senyawa yang terbentuk ketika magnesium bereaksi mengikat silikon yang mengandung presipitat Mg_2Si lebih keras dan kuat. Semakin banyak unsur paduannya seperti Mg_2Si maka akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan logam tersebut. Karena struktur butir juga memiliki batas-batas butir dan batas butir merupakan rintangan bagi pergerakan dislokasi. Butir semakin halus cenderung akan semakin memperbanyak batas butir. Batas butir yang banyak akan mengakibatkan gerakan dislokasi semakin sulit yang nantinya juga akan meningkatkan sifat mekanik dari logam (Setyawan dan Dwilaksana, 2014).

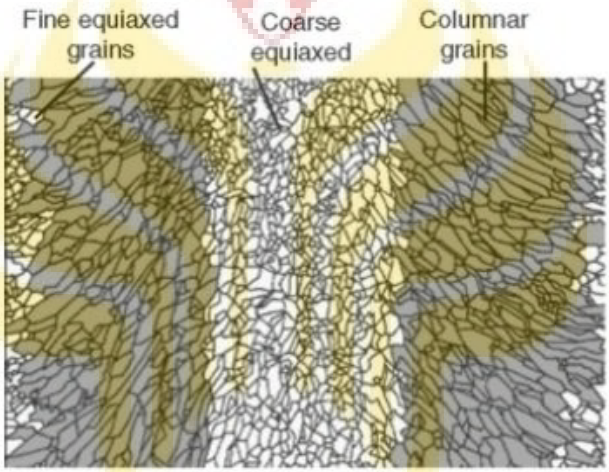


Gambar 2.14 Struktur Jaringan Interdendritik Aluminium Silikon Eutektik (gelap) pada Derah Las (kanan)*(Metals Handbook 9th Edition Vol.9 of Metallography and Microstructures)*

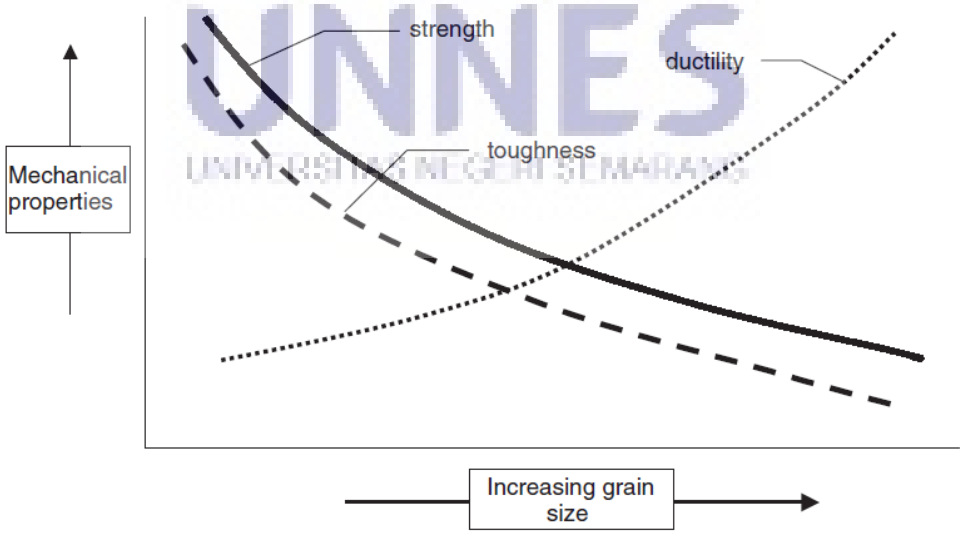


Gambar 2.15 Porositas pada Daerah Las Al 6061*(Metals Handbook 9th Edition Vol.9 of Metallography and Microstructures)*

Ukuran butir struktur mikro suatu logam akan mempengaruhi tingkat kekuatan suatu material. Ukuran butir tidak dapat digunakan untuk mengontrol kekuatan pada alumunium dan paduannya, namun hal ini digunakan untuk mengurangi resiko terjadinya retak panas. Umumnya, pertambahan besar ukuran butir akan menurunkan tingkat kekuatan luluh *(yield strength)* dan kekuatan tarik maksimal *(ultimate tensile strength)*, fenomena ini lebih dikenal dengan persamaan *Hall and Petch* (Mathers, 2002: 12). Bentuk butiran aluminium dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Jenis Butir *(Metals Handbook 9th Edition Vol.9 of Metallography and Microstructures)*



Gambar 2.17 Hubungan Ukuran Butir dan *Mechanical Properties* (Mathers,2002: 13)

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Sejauh pengetahuan penulis, dari literatur yang telah dibaca terdapat berbagai penelitian mengenai pegelasan *TIG* yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Beberapa literatur tersebut akan penulis sampaikan untuk mendukuk penelitian yang akan dilakukan, diantaranya:

Penggunaan variasi arus dalam pengelasan *TIG* menurut penelitian yang dilakukan oleh Yunus Yakub dan Media Nofri (2013) tentang variasi arus listrik terhadap sifat mekanik mikro sambungan las baja tahan karat AISI 304 disimpulkan bahwa pengelasan dikatakan berhasil, karena pengujian tarik pada benda uji dengan variasi arus 30 A, 40 A, dan 50 A mengalami patah pada daerah *HAZ (Heat Affected Zone)*, hal ini karena daerah tersebut merupakan daerah terlemah. Sementara itu nilai kekuatan tarik maksimum didapat pada penggunaan arus 40 A sebesar 698 N/mm^2. Penelitian tersebut menggunakan baja tahan karat sebagai spesimen, sementara pada penelitian yang akan dilakukan pada penelitian kali ini adalah paduan alumunium 6061.

Menurut Nukman (2009) dalam penelitian yang berjudul sifat mekanik baja karbon rendah akibat variasi bentuk kampuh las dan mendapat perlakuan panas *anneling* dan *normalizing* dikemukakan bahwa patahan spesimen pengelasan terjadi pada daerah *HAZ*, hal ini karena struktur bahan tambah sudah sama dengan *base metal* karena telah mengalami proses perlakuan panas. Kekuatan tarik terbesar pada benda hasil pengelasan didapat pada penggunaan kampuh V ganda dengan kekuatan tarik sebesar 52,85 kgf/mm^2 yang telah diberi proses *normalizing.* Penelitian ini mempunyai kesamaan pada pengujian tarik yang dilakukan dan penggunaan jenis kampuh las, namun dalam penelitian tersebut sudut kampuh V

yang digunakan sebesar 60° pada baja karbon rendah dengan proses pengelasan *SMAW (Shield Metal Arc Welding).*

Penelitian tentang variasi sudut kampuh dan kuat arus menurut Aljufri, dkk (2007) dalam pengaruh variasi kampuh sudut V tunggal dan kuat arus pada sambungan logam aluminium-Mg 5083 terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan TIG menyebutkan bahwa hasil pengelasan pada paduan Al-Mg sangat dipengaruhi oleh besar sudut kampuh dan kuat arus, hal tersebut dibuktikan pada hasil pengujian dengan sudut kampuh sebesar 90° dan kuat arus 100 A menghasilkan kekuatan tarik maksimum. Sementara kekuatan tarik terendah terjadi pada hasil pengelasan dengan kuat arus 150 A dan sudut kampuh 70°. Kesamaan penggunan variasi sudut kampuh dan kuat arus dalam penelitian ini menunjukkan bahwa variasi tersebut akan berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan paduan Al-Mg hasil pengelasan *TIG*. Sementara itu dalam penelitian yang akan dilakukan penulis, material yang akan digunakan merupakan paduan alumunium seri 6000.

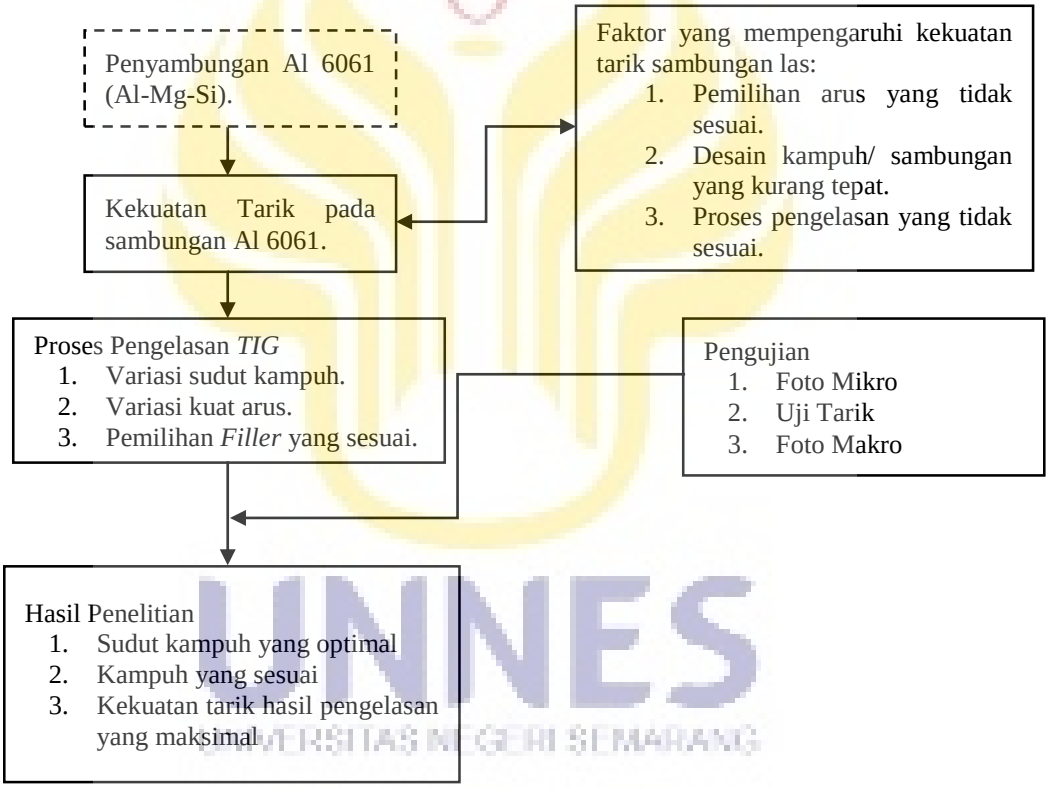
Penelitian tentang pengelasan *TIG* sudah banyak dilakukan dalam penelitian sebelumnya, namun dalam penelitian kali ini penulis akan melakukan penelitian tentang pengaruh variasi sudut kampuh V dan kuat arus terhadap kekuatan tarik alumunium 6061 pada pengelasan *TIG*.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

C. Kerangka Pikir Penelitian

Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan logam, terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kualitas dari hasil lasan diantaranya: mesin las yang digunakan, bahan yang digunakan, prosedur pengelasan, cara pengelasan, arus pengelasan, jenis sambungan, dan juru las. Kualitas hasil las dapat diketahui dengan cara memberikan pembebanan pada hasil lasan tersebut. Gaya ataupun pembebanan

tersebut berupa pengujian kekuatan tarik pada benda hasil lasan. Pengelasan pada bahan aluminium dapat dilakukan dengan menggunakan las *TIG*. Jenis arus yang digunakan dalam pengelasan *TIG* ada 2 yaitu arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Bahan aluminium memiliki permukaan oksida tahan api sehingga dipergunakan jenis arus AC. *Base metal* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium 6061 sehingga akan digunakan jenis arus *AC High Frequency*. Secara sederhana kerangka berpikir dalam penelitian ini seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 2.18 Kerangka Pikir

Proses pengelasan *TIG* membutuhkan gas pelindung yang diperlukan untuk menghindari terjadinya proses oksidasi selama proses pengelasan berlangsung. Gas yang dibutuhkan dalam proses pengelasan harus mampu melindungi selama proses pengelasan dan tidak menimbulkan reaksi pada logam dan temperatur tinggi. Sifat netral tersebut hanya dimiliki oleh gas mulia yaitu argon dan helium, yang

kemudian sering disebut *inert gas*. Gas argon akan digunakan sebagai gas pelindung pada penelitian ini karena sesuai dengan bahan yang akan dilas yaitu aluminium.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi variasi sudut kampuh (50º, 85º dan 120º) dan kuat arus (60 A, 110 A dan 160 A) akan mengakibatkan perubahan bentuk butir dan akan meningkatkan terbentuknya persipitat Mg_2Si. Sudut kampuh 120º dengan kuat arus 160 A persipitat Mg_2Si terdispersi banyak dan merata pada weld metal maupun HAZ, namun bentuk strukturnya runcing yang mengakibatkan mudahnya terjadinya retakan. Struktur yang baik terjadi pada penggunaan sudut 85º dengan kuat arus 160 A dimana persipitat Mg_2Si terdispersi secara merata dan struktur berbentuk *equiaxed*.
2. Semakin besar sudut kampuh dan kuat arus tidak selalu meningkatkan kekuatan tarik hasil pengelasan *tungsten inert gas (TIG)* pada pengelasan Al 6061, hal ini akibat dari perubahan struktur yang terbentuk. Penggunaan kuat arus dan sudut kampuh yang kecil meningkatkan terjadinya cacat pada hasil las sehingga menurunkan kekuatan tariknya. Berdasarkan uji tarik diperoleh nilai tegangan tarik tertinggi pada penggunaan sudut kampuh 85° dengan kuat arus 160 A sebesar 16,45 kg/mm^2, kekuatan tarik terendah terjadi pada penggunaan sudut kampuh 85° dengan kuat arus 60 A sebesar 1,27 kg/mm^2. Kuat arus memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap hasil kekuaan tarik

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

dimana pada hasil perhitungan regresi terlihat bahwa kenaikan kekuatan tarik sebesar 11,91% pada tiap kenaikan satu satuan kuat arus. Tingkat kenaikan kekuatan tarik pada tiap satu satuan kenaikan sudut kampuh yang digunakan adalah sebesar 4,4%, sehingga terlihat bahwa kuat arus memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kekuatan tariknya.

B. Saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang sudah dilakukan, ada beberapa saran yang direkomendasikan oleh peneliti. Adapun sarannya adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan adanya PWHT pada hasil lasan Al 6061 untuk mendapatkan butir dan bentuk struktur yang lebih halus sehingga kekuatan tariknya semakin meningkat.
2. Untuk tingkat efisiensi penggunaan *filler* dan penembusan diharapkan pengelasan *TIG* Al 6061 menggunakan kuat arus yang telah ditentukan untuk mendapatkan kekuatan tarik yang maksimal dan penggunaan sudut kampuh yang tidak terlalu lebar ataupun terlalu kecil. Diharapkan pengelasan Al 6061 dengan tebal 8 mm menggunakan sudut kampuh 85° dan kuat arus 160 A untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang baik.
3. Benda hasil lasan diberikan PWHT untuk menghilangkan *residual stress* yang akan memperbaiki kekuatan tariknya, peneliti selanjutnya dapat mengambil judul pengaruh PWHT terhadap tingkat *residual stress* pada hasil pengelasan TIG Al 6061.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

4. Penelitian selanjutnya dapat mengambil topik pengaruh *filler metal* terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan Al 6061 dengan menggunakan las *tungsten inert gas* (TIG).
5. Melakukan pengujian bending dan *SEM* pada hasil pengelasan *TIG* Al 6061, peneliti selanjutnya dapat mengambil topik pengaruh variasi sudut kampuh dan kuat arus terhadap kekuatan bending dan struktur mikro pada Al 6061 hasil pengelasan TIG.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR PUSTAKA

Aljufri, *et al*. 2007. Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Tunggal dan Kuat Arus Pada Sambungan Logam Aluminium-Mg 5083 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan TIG. *Jurnal Saintek.* Volume 5, No. 2: 12-19.

ASM Handbook. 1998. *Metallography and Microstructure Vol. 9.*

ASTM E8/E8M-09. 2010. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.*

Dadang. 2013. *Teknik Las GTAW.* Jakarta: Direktorat Jendral Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kepenidikan.

Davies, A. C. 1993. *The Science and Practice of Welding Vol. 2.* Cambridge: Cambridge University Press.

Dieter, George E. 1988. *Mechanical Metallurgy ed. SI Metric.* UK: Mc Graw-Hill Book Company.

Hassan, M. K., Mohammed, Y. dan El-Ainin, A. 2012. Improvement of Al-6061 alloys Mechanical Properties by Controlling Processing Parameters. *International Journal of Mechanical and MechatronicsEngineering.*Vol. 12, No. 02: 14-18.

Huda, S. *et al*. 2013. Analisa Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh Pada Pengelasan SMAW Terhadap Distorsi Sudut dan Kekuatan Tarik Sambungan BUTT-JOIN Baja AISI 4140. *Jurnal Teknologi.* Volume 6, No. 2: 193-200.

Jaya Manunggal Perkasa. Jenis Cacat Las. *http://kawatlas.jayamanunggal.com/jenis-cacat-las/*. Diakses pada 16 Oktober 2016 (11.10)

Kumar, T. S., Balasubramanian, V. dan Sanavullah, M. Y. 2007. Influences of pulsed current tungsten inert gas welding parameters on the tensile properties of AA 6061 aluminium alloy. *Materials and Design* (online) 28: 2080-2092, (http://www.sciencedirect.com), diakses pada 5 Oktober 2016.

Leon, J. S. dan Jayakumar, V. 2014. Investigation of Mechanical Properties of Alumunium 6061 alloy Friction Stir Welding. *American Journal of Mechanical Engineering and Automation.* Volume 1, No. 1: 6-9.

Machmoed, B. R. 2012. *Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V (one side welding) Sambungan Las MIG Terhadap Distorsi dan Kekuatan Tarik Baja Karbon Rendah.* Laporan Pengembangan IPTEK Dana PNPB Tahun Anggaran 2012.

Mathers,G. 2002. *The Welding of Aluminium and Its Alloys.* Boca Raton Boston New york Washington DC: CRC Press.

Nukman. 2009. Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah Akibat Variasi Bentuk Kampuh Las dan Mendapat Perlakuan Panas *Annealing* dan *Normalizng. Jurnal Rekayasa Mesin.* Volume 9, No. 2: 37-43.

Prawira, M. Z. *et al*. 2015. Pengaruh Perbedaan Suhu Terhadap Kekuatan *Impact* Alumunium 5083 Hasil Pengelasan *Tungsten Inert Gas. Jurnal Teknik Perkapalan.* Volume 3, No. 3: 362-370.

Riswanda dan M. N. Ilman. 2012. Pengaruh Variasi Arus Terhadap Sifat Mekanik Dan Korosi Sambungan Las Tak Sejenis Aluminium Paduan 5083 Dan 6061-T6. *National Welding Seminar.* ISBN, No. 978-602-9494-10-5.

Setyawan, F.W. dan Dwilaksana, D. 2014. Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Aluminium Paduan Al-Mg-Si Hasil Pengelasan *Friction Welding* Dengan Variasi Kecepatan Putar. *Jurnal ROTOR.* Volume 7, No. 2.

Sonawan, H dan Rochim Suratman. 2006. *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung: Alfabeta.

Sunaryo, H. 2008. *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

-------. 2008. *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Surdia, T. dan Saito, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik* (Cetakan ke-4). Jakarta: Pradnya Paramita.

Suyono, E. H. *et al.* 2011. Pengaruh Kuat Arus dan Campuran Gas Argon-Co_2 Pada Pengelasan *GMAW* Terhadap Kekuatan Tarik dan *Impact* Pada Baja Karbon Medium Fasa Ganda. *Jurnal Rekayasa Mesin.* Volume 2, No. 2: 137-144.

Widharto, S. 2013. *Welding Inspection.* Jakarta: Mitra Wacana Media.

Wiryosumarto, H. dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam* (Cetakan ke-8). Jakarta: Pradnya Paramita.

Yakub, Y. dan Nofri, M. 2013. Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanik Mikro Sambungan Las Baja Tahan Karat AISI 304. *E- Journal WIDYA Eksakta.* Volume 1, No. 1: 7-11.

Yoedhawan, A. J. P. 2014. Analisis Kekerasan, Cacat Las, dan Struktur Mikro Pada Sambungan T Paduan aluminium 6061 T6511 Hasil GMAW Dengan Variasi Arus. *Jurnal ROTOR.* Volume 7, No. 2: 1-8.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG