



TUGAS AKHIR - TM 090340

**PERBEDAAN SIFAT MEKANIK HASIL
PENYAMBUNGAN LAS GTAW PADA
ALUMINIUM 6061 DENGAN FILLER ER4043
DAN ER5356**

Mochammad Sholichuddin
NRP 2109 030 088

Dosen Pembimbing
Ir. Subowo, M. Sc.

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014



TUGAS AKHIR - TM 090340

**DIFFERENCE OF MECHANICAL PROPERTIES
IN TUNGSTEN INERT GAS WELDING ON 6061
ALUMINIUM WITH ER4043 AND ER5356
FILLER**

Mochammad Sholichuddin
NRP 2109 030 088

Dosen Pembimbing
Ir. Subowo, M. Sc.

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014

**PERBEDAAN SIFAT MEKANIK HASIL
PENYAMBUNGAN LAS GTAW PADA ALUMINIUM
6061 DENGAN FILLER ER4043 DAN ER5356**

Nama Mahasiswa : Mochammad Sholichuddin
NRP : 2109 030 088
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir.Subowo M. Sc

Abstrak

Perkembangan teknologi pengelasan yang berkembang di industri perkapalan saat ini penggunaan las GTAW dengan menggunakan bahan aluminium sebagai bahan pembuatan kerangka kapal dengan metode fillet weld.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan las GTAW untuk bahan aluminium 6061 MgSi dengan filler ER4043 dan ER5356 pada sambungan V-groove diharapkan dapat mengetahui perbandingan pengelasan dengan filler ER4043 dan filler ER5356. Penelitian tersebut menggunakan 2 spesimen, setelah spesimen dibentuk dan dilas maka dilakukan pengujian tarik, pengujian kekerasan Vickers, serta pengamatan mikrostruktur.

Hasil uji kekerasan menunjukkan kekerasan logam berkurang dari logam las ke arah HAZ dan logam induk. Hasil mikrostruktur menunjukkan dari logam induk ke daerah logam las terlihat masing-masing mempunyai bentuk butir cill, columnar dan equiaxial. Sedangkan pengelasan dengan filler ER5356 hasil kekerasan menunjukkan lebih rendah dibandingkan dengan pengelasan dengan filler ER4043. Dari hasil mikrostruktur pada pengelasan dengan filler ER5356 dapat dilihat di daerah logam las permukaan logam las lebih kasar dibandingkan dengan pengelasan dengan filler ER4043.

Kata kunci : Las GTAW, aluminium 6061 MgSi,
filler ER4043 dan ER5356.

**DIFFERENCE OF MECHANICAL PROPERTIES IN
TUNGSTEN INERT GAS WELDING ON 6061
ALUMINIUM WITH ER4043 AND ER5356 FILLER**

Name of student : Mochammad Sholichuddin
NRP : 2109 030 088
Departement : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Adviser lecture : Ir.Subowo M. Sc

Abstract

Development of welding technology developed in the shipping industry is currently using GTAW welding using aluminum as materials for ships with the framework of fillet weld method.

The study was conducted by using the GTAW welding for aluminum 6061 MgSi with ER4043 filler and ER5356 filler on the V-Groove connection is expected to know the comparison welding with ER4043 filler and ER5356 filler. The study used two specimens, after the specimen is formed and welded to the tensile test, Vickers hardness testing and microstructural observations.

After conducting measurements, tests, and observations on the specimen material obtained gouging comparison of the with ER4043 filler and ER5356 filler. That the ER5356 welding filler value of have distorted the results of a large and a lower hardness value of the tensile test more lower than 4043 welding filler. The result of the value of hardness at 5356 welding filler is lower than 4043 welding filler.

Keywords : GTAW welding, aluminum 6061 MgSi,
filler ER4043 and ER5356

**PERBEDAAN SIFAT MEKANIK HASIL
PENYAMBUNGAN LAS GTAW PADA ALUMINIUM
6061 DENGAN FILLER ER4043 DAN ER5356**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik Mesin
pada
Bidang Studi Teknik Produksi
Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

Oleh :
MOCHAMMAD SHOLICHUDDIN
NRP. 2109 030 088

Mengetahui /Menyetujui :
(Pembimbing)



Dr. Subowo M. Sc
NIP. 19581004 198701 1 001

**SURABAYA
FEBRUARI, 2014**

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Syukur selalu hanya bagi Allah SWT, yang telah menaburkan jutaan bulan dan bintang penghias semesta raya, pemilik cahaya diatas cahaya, yang menghiasi dunia dengan bunga, rasa cinta dan air mata, yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Sholawat serta salam kami panjatkan kepada Rasullulah Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis yang wajib diselesaikan oleh setiap mahasiswa Program Studi Diploma III, untuk mendapatkan gelar Ahli Madya pada jurusan D-3 Teknik Mesin FTI – ITS.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan baik sacara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Subowo M. Sc. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu penulisan laporan Tugas Akhir ini sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, MSc. selaku Koordinator Program Studi D III Teknik Mesin FTI – ITS.
3. Ibu Liza Rusdiyana, ST, MT. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi D III Teknik Mesin FTI – ITS.
4. Bapak Ir. Winarto, DEA. selaku dosen wali.
5. Semua dosen dan karyawan Program Studi D III Teknik Mesin FTI – ITS.
6. Bapak dan ibu tercinta, untuk nenek serta kakek tercinta, adik-adikku tersayang yang telah memberikan dorongan moril, materiil, dan spiritual kepada penulis.
7. Semua keluarga besar di Surabaya atas dorongan moril dan spiritual pada penulis.

8. Rika Yunita yang telah member dorongan moril dan spiritual pada penulis.
9. Kepada Angga frediansyah serta semua anak-anak kontrakan 2008 yang tidak saya sebut satu persatu terimakasih atas semua bantuan dan kerjasamanya.
10. Rekan-rekan seperjuangan D III TeknikMesin FTI-ITS, terutama angkatan 2009 terimakasih atas bantuan dan semangat yang telah diberikan
11. Dan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, kami mengucapkan banyak terima kasih.

Akhirnya semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk sekarang dan masa yang akan datang. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, sehingga saran dan kritik yang membangun mampu menyempurnakan penulisan laporan dimasa yang akan datang.

Surabaya, 07 februari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Judul.....	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	v
Abstract	vii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
1.6. Sistematika Penulisan	2
BAB II DASAR TEORI	5
2.1. Pengelasan	5
2.1.1. Las GTAW	6
2.2. Gas pelindung	12
2.3. Prinsip operasi	12
2.4. Aplikasi penggunaan las GTAW	13
2.5. Kelebihan dan kelemahan las GTAW	14
2.6. Elektroda GTAW	15
2.7. Filler aluminium	19
2.8. Aluminium	20
2.8.1. Aluminium 6061 MgSi.....	22

2.9. Pengujian kekerasan	24
2.10. Pengamatan Metalografis.....	27
2.11. Uji tarik (tensile test)	31
2.12. Konfigurasi sambungan las.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1. Rancangan Percobaan	35
3.2. Diagram Alir (flow chart)	35
3.3. Material benda uji	37
3.3.1. Sifat mekanik aluminium.....	37
3.3.2. Persiapan alat	39
3.3.3. Persiapan spesimen awal.....	42
3.3.4. Pengelasan awal	42
3.4. Pengambilan Data	44
3.4.1. Pengujian kekerasan vickers	44
3.4.2. Pengamatan mikro struktur	47
3.4.3. Pengujian tarik	49
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	51
4.1. Hasil pengelasan	51
4.1.1. Data hasil pengujian tarik	51
4.1.2. Hasil pengujian microhardness vickers	52
4.1.3. Hasil Pengamatan mikrostruktur	55
4.2. Pembahasan Hasil Pengujian	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1. Kesimpulan	63
5.2. Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.2	Komposisi Kimia Untuk Elektroda aluminium..	22
Table 3.1	sifat mekanis aluminium 6061 MgSi.....	37
Tabel 3.2	kandungan kimia aluminium 6061 MgSi.....	38
Tabel 3.3	data proses pengelasan	43
Tabel 4.1	Hasil uji tarik.....	52
Tabel 4.2	Data hasil uji kekerasan vickers	54



(Halaman ini sengaja di kosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengelompokan Proses Pengelasan Menurut AWS	6
Gambar 2.2	Skema Pengelasan GTAW	7
Gambar 2.3	Tiga jenis arus listrik pada GTAW	8
Gambar 2.4	Pengasahan sudut tip electrode yang benar dan salah	10
Gambar 2.5	Bentuk ujung tip electrode untuk berbagai Sumber tenaga	11
Gambar 2.6	Susunan peralatan Las GTAW	13
Gambar 2.7	Aplikasilas GTAW	14
Gambar 2.8	Diagram fase al-MgSi	23
Gambar 2.9	Sifat yang berhubungan dengan kekerasan	24
Gambar 2.10	Hasil tapak tekan pengujian Vickers	26
Gambar 2.11	Spesimen ukuran dan bentuk objek pembesaran	28
Gambar 2.12	Pengaruh etsa terhadap permukaan spesimen	30
Gambar 2.13	Pantulan sinar pada pengamatan metalografi	32
Gambar 2.14	Bentuk Dasar Lasan, (a) Groove Welds, (b) Fillet Welds, (c) Plug Welds, (d) Surfacing Welds	32
Gambar 2.15	(a)butt joints (b)corner (c)lap joint (d)tee joint (e)edge joints	32
Gambar 2.18	Variasi Sambungan Pada Las	35
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 3.2	Persiapan Bentuk Spesimen	39
Gambar 3.3	Infrared thermograf	40

Gambar 3.4	Mesin poles.....	41
Gambar 3.5	layer pada pengelasan.....	43
Gambar 3.6	Hasil tapak tekan pengujian Vickers	45
Gambar 3.7	titik identasi uji kekerasan	47
Gambar 3.8	Alat mikro struktur olympus	49
Gambar 3.9	Standarisasi uji tarik ASME IX.....	49
Gambar 4.1	spesimen setelah di uji tarik	51
Gambar 4.2	letak titik identasi	53
Gambar 4.3	grafik kekerasan	55
Gambar 4.4	Foto mikro struktur daerah logam las dengan filler ER4043.....	56
Gambar 4.5	Foto mikro struktur daerah logam HAZ Dengan filler ER4043	56
Gambar 4.6	Foto mikro struktur daerah logam induk Dengan filler ER4043.....	57
Gambar 4.7	Foto mikro struktur daerah logam las Dengan filler ER5356.....	57
Gambar 4.8	Foto mikro struktur daerah logam HAZ dengan filler ER5356	58
Gambar 4.9	Foto mikro struktur daerah logam induk Dengan filler ER4043.....	58
Gambar 4.10	Foto mikro struktur spesimen pengelasan Dengan filler ER4043 pembesaran 500X...	59
Gambar 4.11	Foto mikro struktur spesimen pengelasan Dengan filler ER4043 pembesaran 500X...	59
Gambar 4.12	Foto mikro struktur spesimen pengelasan Dengan filler ER5356 pembesaran 500X...	60
Gambar 4.13	Foto mikro struktur spesimen pengelasan Dengan filler ER5356 pembesaran 500X...	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Teknologi pengelasan sering digunakan pada industri di bidang pemesinan. Dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini, beragam metode pengelasan yang digunakan semakin berkembang dalam menghasilkan suatu produk las yang berkualitas. Penggunaan metode pengelasan yang berkembang saat ini dalam industri yaitu GTAW. GTAW merupakan metode pengelasan menggunakan filler dengan gas pelindung.

Perkembangan di industri dibidang teknik mesin disesuaikan dengan kebutuhan dan tingkat keandalan yang tinggi dengan keadaan konstruksi seringan mungkin. Paduan aluminium adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari sisi: kemampuan pemesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, ketahanan terhadap korosi. Kegagalan pada komponen mesin, seperti keretakan akibat beban yang terus menerus tidak dapat dihindari dan dihilangkan sama sekali, namun terus diminimal kan melalui penelitian-penelitian.

Dengan melakukan penelitian mengenai perbandingan antara filler ER4043 dan ER5356 dengan mengetahui kekuatan sambungan las melalui pengujian uji tarik, uji kekerasan (Vickers test), dan foto mikrostruktur.

1.2 Perumusan Masalah.

- Pengaruh penyambungan las GTAW pada aluminium dengan filler ER4043 dan ER5356 terhadap sifat mekanik (uji tarik, uji kekerasan dan struktur mikro).

1.3 Batasan Masalah.

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

- Material bahan yang dijadikan penelitian adalah Aluminium 6061 MgSi.
- Metode pengelasan yang digunakan adalah GTAW.
- Pengelasan menggunakan filler ER4043 dan ER5356.
- Diameter filler yang digunakan 1,6mm.
- Diameter tungsten electrode 2,6 mm.
- Jenis sambungan yang digunakan V-groove dengan sudut 60°.
- Analisa sambungan las menggunakan uji tarik, Vickers test, dan mikrostruktur test.
- Dimensi material bahan penelitian adalah 300mm x 250mm x 12mm.
- Di asumsikan proses pengelasan sama.

1.4 Tujuan.

Mengetahui perbedaan hasil penyambungan las GTAW antara pengelasan dengan filler ER4043 dan filler ER5356 dengan perlakuan yang sama.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan :

- Sebagai literatur pengelasan pada industri yang menggunakan bahan aluminium 6061 MgSi.
- Sebagai wacana untuk perancangan konstruksi disuatu industri di bidang pemesinan.
- Sebagai pertimbangan intensitas pemilihan filler.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini terbagi menjadi beberapa bab yang dapat ditunjukkan sebagai berikut :

- **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bagian ini menguraikan tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TEORI**

Membahas mengenai beberapa dasar teori yang berkaitan tentang material bahan aluminium, pengelasan mengenai las GMAW serta pengelasan MIG, elektroda yang digunakan, penggunaan gas pelindung, dan mengenai perbaikan las.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini menguraikan tentang langkah – langkah yang digunakan dalam melakukan pengambilan data serta sarana dan prasarana yang terlibat dalam pengambilan data.

- **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini menampilkan data – data yang telah didapat pada saat penelitian berlangsung serta membahas mengenai pengolahan data yang didapat dari hasil penelitian sebagai hasil akhir.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Menyimpulkan secara garis besar berbagai fenomena yang timbul dan variabel yang berpengaruh dari penelitian yang dilakukan serta saran untuk memberikan hasil penelitian yang lebih baik.



BAB II

DASAR TEORI

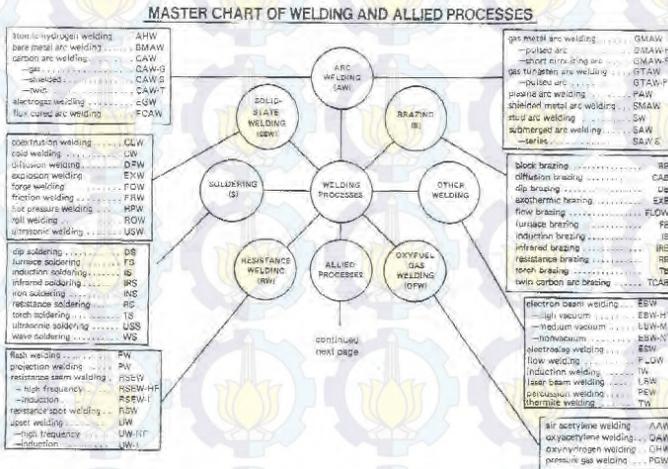
2.1. PENGELASAN

Definisi pengelasan menurut AWS (*American Welding Society*) adalah proses penggabungan yang menghasilkan peleburan material dengan cara memanaskan material tersebut hingga temperatur pengelasan, dengan atau tanpa tekanan atau hanya menggunakan tekanan, dan dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi. Dari definisi tersebut perlu ditinjau lebih lanjut mengenai beberapa bagian yang penting sebagai berikut:

1. Yang dimaksud dengan peleburan material adalah tidak adanya gangguan fisik dalam penyatuan bagian yang disambung, bukan seperti pemasangan yang menggunakan baut atau keling yang pasti menyisakan celah.
2. Yang dimaksud dengan temperatur pengelasan adalah suhu yang dibutuhkan untuk proses penyambungan tersebut, tidak selalu diartikan temperatur leleh (*melting point*) dari material yang disambung. Temperatur yang digunakan menyesuaikan dengan jenis pengelasan yang akan dilakukan, dan berkaitan dengan perlu atau tidaknya tekanan pada proses pengelasan tersebut.
3. Perlu atau tidaknya tekanan tergantung dari jenis pengelasan yang akan digunakan dan temperatur penyambungan pada proses pengelasan. Secara umum, proses pengelasan dapat dilakukan dalam jangkauan yang luas mulai dari tanpa tekanan dengan temperatur leleh material, hingga tekanan yang besar sehingga mampu menyebabkan deformasi plastis tanpa perlu memanaskan material sampai temperatur lelehnya.
4. Perlu atau tidaknya penggunaan logam pengisi tergantung dari jenis pengelasan. Apabila menggunakan logam

pengisi, sebaiknya digunakan logam pengisi dari jenis yang sama dengan material yang disambung.

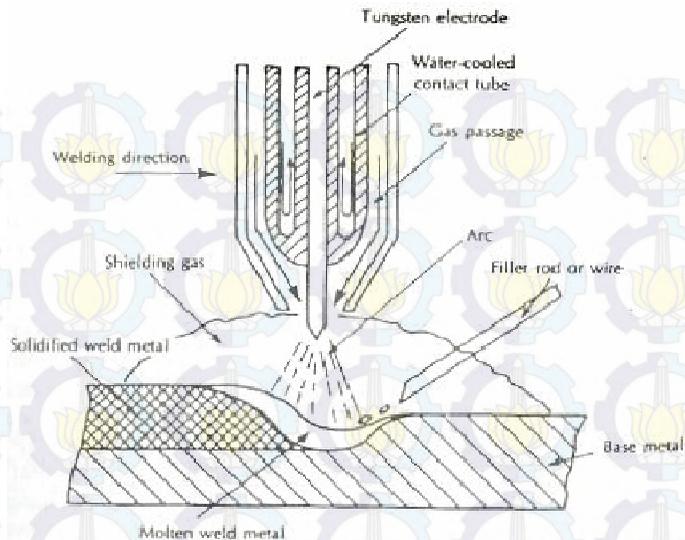
Secara umum, menurut AWS proses pengelasan dikelompokkan menjadi tujuh : soldering, brazing, solid-state welding, resistance welding, oxyfuel gas welding, arc welding, other welding. Secara lengkap dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Pengelompokan proses pengelasan menurut AWS

2.1.1. GTAW

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) atau sering juga disebut Tungsten Inert Gas (TIG) merupakan salah satu dari bentuk las busur listrik (Arc Welding) yang menggunakan inert gas sebagai pelindung dengan tungsten atau wolfram sebagai elektrode. Skema dari GTAW dapat dilihat dalam Gambar 2.3. Pengelasan ini dikerjakan secara manual maupun otomatis.



Gambar 2.2 Skema pengelasan GTAW

Elektrode pada GTAW termasuk elektrode tidak terumpan (*non consumable*) berfungsi sebagai tempat tumpuan terjadinya busur listrik. GTAW mampu menghasilkan lasan berkualitas tinggi pada hampir semua jenis logam mampu las.

Sumber listrik GTAW dapat menggunakan generator AC maupun DC. Ciri khas generator jenis AC yaitu merupakan kombinasi antara *cleaning* dengan penetrasi medium dan mencegah elektrode tungsten *overheating*. Penggunaan arus DC dibedakan menjadi dua yaitu polaritas lurus (*Direct Current Straight Polarity*) dan polaritas balik (*Direct Current Reserve Polarity*). Gambar 2.3 berikut menunjukkan perbedaan penggunaan jenis arah aliran listrik yang digunakan dalam pengelasan.



Gambar 2.3 Tiga jenis arus listrik pada GTAW.

DCSP, dua pertiga konsentrasi panas pada benda kerja, sedangkan untuk DCRP, dua pertiga konsentrasi panas pada elektrode tungsten. Untuk AC, konsentrasi panas masing-masing setengah pada elektrode dan benda kerja. Konsentrasi panas ditimbulkan adanya benturan elektron pada benda kerja dan elektrode tungsten. DCSP menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dibandingkan dengan AC tetapi tidak mengalami *oxide cleaning*. DCRP mengalami *oxide cleaning*, tetapi penetrasi yang dihasilkan lebih dangkal daripada AC.

GTAW menggunakan elektrode tungsten. Elektrode tungsten dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu :

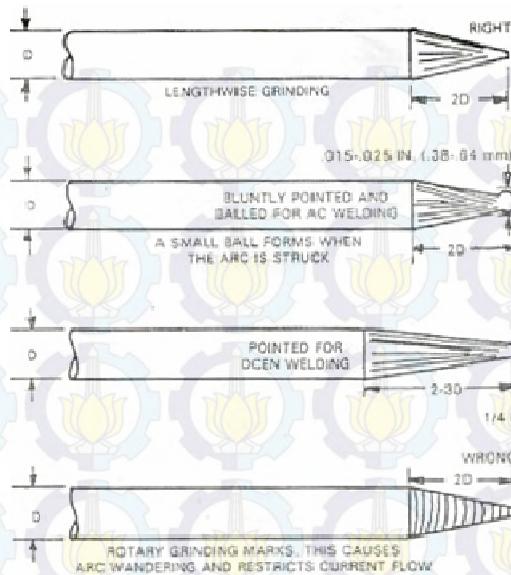
- Tipe thorium (paduan tungsten dengan thorium)
- Tipe zirconium (paduan tungsten dengan zirconium)
- Tipe tungsten murni

Cara pemilihan tipe elektrode dan jenis arus listrik yang dipakai (AC atau DC) disesuaikan dengan kebutuhan karena untuk tiap jenis elektrode memiliki titik lebur dan konduktivitas listrik yang berbeda. Elektrode tipe tungsten murni sering digunakan untuk pengelasan dengan sumber tenaga DCSP (Direct Current Straight Polarity). Titik leburnya cukup tinggi, $\pm 4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($6170\text{ }^{\circ}\text{C}$), sehingga sulit meleleh. Tetapi jika dibandingkan dengan dua tipe elektrode yang lain, titik leburnya lebih rendah. Jenis ini kurang baik karena masih memungkinkan terjadinya kontaminasi baik pada *base metal* maupun pada elektrode itu sendiri (*low resistance to contamination*). Elektrode

tipe zirconium merupakan paduan tungsten dengan zirconium, dengan kandungan zirconium berkisar antara 0,3% – 0,5%. Titik leburnya $\pm 3800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (6872 $^{\circ}\text{C}$). Elektrode tipe thorium merupakan paduan antara tungsten dengan thorium, dengan kandungan thorium 1% – 2%. Titik leburnya bisa mencapai 4000 $^{\circ}\text{C}$. Sulit sekali kemungkinan terjadi kontaminasi.

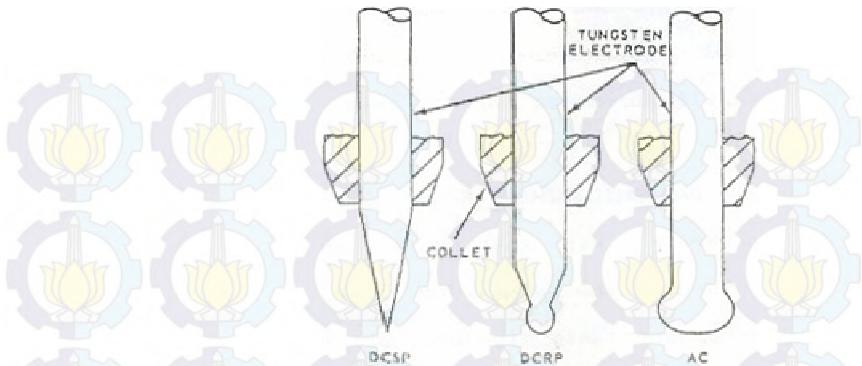
Penambahan unsur thorium atau zirconium akan menaikkan titik leburnya, dan menaikkan konduktivitas listriknya, sehingga elektron yang dipancarkan lebih banyak, sehingga busur listrik yang ditimbulkan lebih stabil dan memudahkan permulaan (*starting arc*) penyalaan busur listrik. Selain itu kemungkinan terjadi kontaminasi pada logam las akibat tungsten cair sangat kecil. Hal tersebut dapat memperpanjang umur pakai elektrode pada pengoperasian arus listrik tinggi.

Selain faktor konduktivitas listrik, kestabilan busur listrik masih dipengaruhi oleh besar sudut tip elektrode, dan cara pengasahan. Kesalahan mengasah tipe elektroda akan menyebabkan busur listrik stabil dan melebar sedangkan kesalahan pemilihan besar sudut tip elektrode menyebabkan busur listrik tidak stabil atau ujung tip elektrode meleleh karena *overheating*. Pengasahan sudut tip elektrode yang terbaik adalah arah pengasahan sejajar dengan panjang elektrode, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.4 Pengasahan sudut tip elektrode yang benar dan salah.

Untuk pemakaian jenis arus listrik AC, bentuk ujung elektrode tungsten mendekati bulat. Hal ini berhubungan erat dengan konsentrasi panas yang timbul pada elektrode tungsten. Untuk pemakaian sumber tenaga DCSP bentuk ujung elektrode lancip. Gambar 2.5 memperlihatkan bentuk ujung elektrode untuk berbagai sumber tenaga pengelasan yang dipakai.



Gambar 2.5 Bentuk ujung tip elektrode untuk berbagai sumber tenaga.

Fungsi utama dari gas pelindung adalah melindungi logam las dari kontaminasi udara luar, disamping itu juga sebagai fluida pendingin elektrode tungsten. Gas pelindung yang digunakan biasanya gas mulia yang sulit sekali bereaksi dengan udara luar. Tetapi kadang-kadang dipakai juga gas yang lain seperti Nitrogen (N_2), Oksigen (O_2), dan karbondioksida (CO_2). Gas pelindung yang biasanya digunakan pada GTAW adalah gas mulia Argon (Ar), Helium (He), atau campuran keduanya.

Argon adalah gas mulia yang stabil, sulit bereaksi dengan unsur lainnya. Argon sebagai gas pelindung membuat busur lebih stabil dan percikan berkurang. Argon lebih mudah mengion atau terionisasi dibandingkan dengan Helium, sehingga Argon dapat dianggap sebagai konduktor listrik. Konduktivitas panas Argon rendah, menyebabkan pengaliran panas melalui busur lambat. Oleh sebab itu sangat baik untuk pengelasan logam yang tipis.

Helium merupakan gas mulia yang tidak mudah bereaksi dengan unsur lainnya. Konduktivitas panas Helium lebih tinggi dari Argon, sehingga pemindahan panas melalui busur lebih besar, akibatnya Helium lebih

cocok untuk proses pengelasan logam yang lebih tebal, dan logam yang mempunyai konduktivitas panas yang tinggi seperti : aluminium, tembaga, magnesium, dll. Tegangan busur lebih tinggi jika menggunakan Helium dan banyak terjadi percikan serta penetrasi yang dihasilkan dangkal.

2.2. GAS PELINDUNG

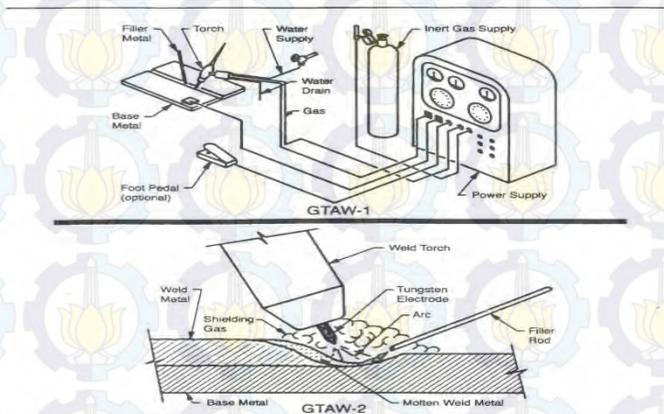
Tujuan utama gas pelindung dalam GTAW ialah untuk melindungi logam cair dan daerah las HAZ (Heat Affected Zone) terhadap oksidasi dan kontaminasi lain. Logam yang reaktif seperti titanium memerlukan perlindungan di atasnya yang lebih luas disekitar lasnya.

Semula gas yang dipakai untuk pelindung ialah gas mulia (argon dan helium), dan dari penggunaan gas mulia (inert) inilah timbul nama TIG (Tungsten Inert Gas), tetapi sekarang CO₂ dapat dipakai secara luas, dan juga campuran antar oksigen dan CO₂ dengan gas mulia. Oleh karenanya, selain sambutan TIG, dipakai juga GTAW, bahkan banyak juga yang dalam penamaan proses ini menggunakan CO₂ (las busur CO₂).

2.3. PRINSIP OPERASI

Proses GTAW diilustrasikan pada Gambar 1.1. Proses ini menggunakan tungsten non konsumsi (atau paduan tungsten). Gas perisai dialirkan melalui torch untuk melindungi elektroda, mencairkan weld pool, dan memperkuat logam las dari kontaminasi atmosfer. Busur listrik dihasilkan oleh aliran arus konduktif yang di ionisasikan oleh pelindung gas. Busur ini diposisikan antara ujung elektroda dan banda kerja. Panas yang dihasilkan oleh busur mencairkan logam dasar. Setelah busur dan weld pool terjadi, torch tersebut akan dipindahkan di sepanjang sambungan. Jika menggunakan

filler wire, biasanya ditambahkan untuk mengisi sambungan.



Gambar 2.6 Susunan Peralatan GTAW.

2.4. APLIKASI PENGGUNAAN LAS GTAW

GTAW mempunyai keunggulan pada pengelasan pipa-pipa tipis dan *tubingstainless steel* diameter kecil, paduan nikel, paduan tembaga dan aluminium. Pada pengelasan pipa dinding tebal, GTAW sering kali dipakai pada root pass untuk pengelasan yang membutuhkan kualitas tinggi, seperti pada pipa-pipa tekanan tinggi dan temperatur tinggi dan pipa-pipa belokan pada dapur pemanas. GTAW juga digunakan pada root pass apabila membutuhkan permukaan dalam yang licin, seperti pada pipa-pipa dalam *acid service*. Karena ada perlindungan inert gas terhadap pengelasan dan mudah dalam mengontrol proses las, membuat GTAW sering kali digunakan pada logam-logam reaktif seperti titanium dan magnesium.

Pada pipa-pipa tipis, 0,125 inci atau kurang, bisa digunakan sambungan berbentuk persegi dan rapat. Root pass dikerjakan tanpa menambahkan filler metal (disebut

dengan *autogenous weld*). Pada pipa-pipa tebal, bagian ujung sambungan mesti dibevel, diluruskan dan diberi celah (disebut dengan bukaan akar), kemudian ditambahkan filler metal selama pengelasan root pass. Sebagai pengganti filler metal, bisa juga disisipkan *consumable insert* (ring penahan) ke dalam sambungan, yang nantinya bersatu dengan root (sebagai filler metal tambahan). Pengelasan dengan consumable insert membutuhkan kontrol kelurusan sambungan yang teliti.



Gambar 2.7 Aplikasi Las GTAW

2.5. KELEBIHAN DAN KELEMAHAN LAS GTAW

➤ Kelebihan Las GTAW

Proses GTAW menghasilkan pengelasan bermutu tinggi pada bahan-bahan ferrous dan non ferrous. Dengan teknik pengelasan yang tepat, semua pengotor yang berasal dari atmosfer dapat dihilangkan. Keuntungan utama dari proses ini yaitu, bisa digunakan untuk membuat root pass bermutu tinggi dari arah satu sisi pada berbagai jenis bahan. Oleh karena itu GTAW digunakan secara luas pada pengelasan pipa, dengan batasan arus mulai dari 5 hingga 300 amp, menghasilkan kemampuan lebih besar untuk mengatasi masalah pada posisi sambungan yang berubah-ubah seperti celah akar. Sebagai contoh, pada pipa tipis (dibawah 0,20 inci) dan logam-logam lembaran, arus bisa diatur cukup rendah

sehingga pengendalian penetrasi dan pencegahan terjadinya terbakar tembus (*burnt through*) lebih mudah dari pada pengerjaan dengan proses menggunakan elektroda terbungkus. Kecepatan gerak yang lebih rendah dibandingkan dengan SMAW akan memudahkan pengamatan sehingga lebih mudah dalam mengendalikan logam las selama pengisian dan penyatuan.

➤ **Kelemahan Las GTAW**

Kelemahan utama proses las GTAW yaitu laju pengisian lebih rendah dibandingkan dengan proses las lain umpamanya SMAW. Disamping itu, GTAW butuh kontrol kelurusan sambungan yang lebih ketat, untuk menghasilkan pengelasan bermutu tinggi pada pengelasan dari arah satu sisi. GTAW juga butuh kebersihan sambungan yang lebih baik untuk menghilangkan minyak, grease, karat, dan kotoran-kotoran lain agar terhindar dari porosity dan cacat-cacat las lain.

GTAW harus dilindungi secara berhati-hati dari kecepatan udara di atas 5 mph untuk mempertahankan perlindungan inert gas di atas kawah las.

2.6. ELEKTRODA GTAW

- **Elektroda Tungsten**

Elektroda tungsten adalah elektroda tidak terumpan (*nonconsumable electrode*) yang berfungsi sebagai pencipta busur nyala saja yang digunakan untuk mencairkan kawat las yang ditambahkan dari luar dan benda yang akan disambung menjadi satu kesatuan sambungan. Elektroda ini tidak berfungsi sebagai logam pengisi sambungan sebagaimana yang biasa dipakai pada elektroda batang las busur metal maupun elektroda gulungan pada las GMAW.

Elektroda tungsten murni biasa digunakan untuk pengelasan AC pada pengelasan aluminium maupun magnesium. Elektroda tungsten thorium digunakan untuk pengelasan DC. Elektroda tungsten Zirconium digunakan untuk AC- HF Argon dan AC Balanced Wave Argon. Elektroda tungsten disediakan dalam berbagai ukuran diameter dan panjang. Untuk diameter dari mulai ukuran 0,254 mm sampai dengan 6,35 mm. Untuk panjang disediakan mulai dari 76,2 mm sampai dengan 609,6 mm. Pengasahan elektroda tungsten dilakukan membujur dengan arah putaran gerinda. Pengasahan dengan arah ini akan mempermudah aliran arus yang akan digunakan di dalam pengelasan, sebaliknya jika penggerindaan dilakukan melintang dengan arah putaran batu gerinda akan mengakibatkan terhambatnya jalannya arus yang digunakan untuk mengelas.

- **Kawat elektroda**

GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) adalah salah satu jenis proses las cair (fusion welding) yang banyak digunakan pada pengerjaan konstruksi ringan sampai berat. Hasil maksimal akan dicapai apabila jenis kawat elektroda yang digunakan sama dengan jenis logam yang dilas. Jenis logam yang dapat dilas menggunakan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) ada beberapa macam antara lain :

- a. Baja tegangan tinggi dan menengah
- b. Baja paduan rendah
- c. Baja tahan karat (stainless steel)
- d. Aluminium
- e. Tembaga
- f. Tembaga paduan, dll

- **Jenis-jenis elektroda**

Pada dasarnya terdapat lima faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis elektroda pada proses pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), yaitu :

- a. Komposisi kimia benda kerja
- b. Properti mekanik benda kerja
- c. Jenis gas pelindung
- d. Jenis servis/layanan atau aplikasi yang dibutuhkan
- e. Jenis penyambungan las

Setelah kita ketahui faktor-faktor utama yang mempengaruhi pemilihan sebuah elektroda, berikut adalah macam-macam kandungan jenis sesuai dengan kegunaannya :

- a) Elektroda ferro

Pada umumnya yang digunakan untuk proses pengelasan logam ferro adalah las MAG (Metal Active Gas). Terdapat persamaan yang mendasar pada elektroda ferro MAG (Metal Active Gas), setiap elektroda memiliki unsur paduan. Untuk mengelas besi karbon menggunakan proses pengelasan MAG (Metal Active Gas), fungsi utama penambahan unsur paduan pada elektrodanya adalah untuk mengatur deoksidasi genangan las (weld puddle) dan untuk membantu menentukan properti mekaniknya. Deoksidasi adalah kombinasi elemen dengan oksigen dari genangan las menghasilkan slag atau formasi kaca (glass formation) pada permukaan.

- b) Paduan Silikon (Si)

Silikon adalah elemen deoksidasi yang paling sering digunakan untuk paduan elektroda mengandung 0,40% hingga 1,00% silikon. Dalam jangkauan persentase, silikon menunjukkan kemampuan

deoksidasi yang baik. Memperbesar banyaknya silikon akan menaikkan kekuatan las dengan sedikit penurunan ketangguhan. Tetapi jika diatas 1 hingga 1,2% silikon, logam las akan sangat sensitif terhadap retak (crack).

c) Paduan Mangan (Mn)

Mengan juga digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan deoksidasi logam las. Elektroda mild-steel mengandung 1,00% hingga 2,00% mangan. Dengan menaikkan banyaknya mangan akanmeningkatkan kekuatan dan akan mengurangi sensifitas keretakan karena panas dari logam las.

d) Paduan Aluminium (Al), Titanium (Ti), Zirconium (Zr)

Ketiga elemen ini merupakan elemen deoksidasi yang sangat kuat. Dengan penambahan yang sedikit dari ketiga elemen ini akan sedikit meningkatkan kekuatan. Komposisi jumlah keseluruhan dari ketiga elemen ini tidak lebih dari 0,2%.

e) Paduan karbon dan lainnya

Karbon mempengaruhi struktur dan properti mekanik logam las lebih besar dibandingkan dengan elemen paduan lainnya. Untuk kegunaan pengelasan baja karbon, elektroda mengandung 0,05 hingga 0,12% karbon. Persentase ini cukup untuk menghasilkan kekuatan logam las yang diinginkan tanpa mempengaruhi ketangguhan dan porositi.

Nikel, krom dan molybdenum terkadang ditambahkan untuk meningkatkan properti mekanik dan ketahanan korosi. Dalam jumlah kecil, mereka dapat digunakan dalam elektroda baja karbon untuk

meningkatkan kekuatan dan ketangguhan dari logam deposit.

2.7. FILLER ALUMINIUM

Elemen dasar yang digunakan dalam filler aluminium adalah magnesium, mangan, seng, silikon, dan tembaga. Alasan utama menambahkan elemen tersebut adalah untuk meningkatkan kekuatan dan logam aluminium murni. Selain itu ketahanan korosi dan weldability juga merupakan alasan penambahan elemen tersebut. Filler yang paling sering digunakan adalah filler yang mengandung magnesium 5356 dan mengandung silikon 4043. Filler aluminium menggunakan standar penomoran menurut AWS A5.3.

Adapun komposisi kimia untuk filler Aluminium dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.1 Komposisi kimia untuk filler aluminium

AWS CLASS	ESAB DESIGNATION	IRON& SILICON									
		MAGN.	SILICON	IRON	SILICON	COPPER	MANG.	CHROM.	ZINC	NICK.	TITAN.
ER1100	1100 HQ(1)	..	1.0	..	..	0.05-0.20	0.05	..	0.10	..	..
ER1260	..	..	0.40	..	..	0.04	0.01	..	..	..	..
ER2319	..	0.02	..	0.30	0.20	5.8-6.8	0.20-0.40	..	0.10	..	0.10-0.20
ER4145	..	0.15	..	0.80	3.3-10.7	3.3-4.7	0.15	0.15	0.20	..	..
ER4043	4043 HQ (1)	0.05	..	0.80	4.5-6.0	0.30	0.05	..	0.10	..	0.20
ER4047	..	0.10	..	0.80	11.0-13.0	0.30	0.15	..	0.20	..	..
ER5039	..	3.3-4.3	..	0.40	0.10	0.03	0.30-0.50	0.10-0.20	2.4-3.2	..	0.10
ER5554	5554 HQ (1)	2.4-3.0	0.40	..	..	0.10	0.50-1.0	0.05-0.20	0.25	..	0.05-0.20
ER5654	5654 HQ (1)	3.1-3.9	0.45	..	..	0.05	0.01	0.15-0.35	0.20	..	0.05-0.15
ER5356	5356 HQ (1)	4.5-5.5	0.50	..	..	0.10	0.05-0.20	0.05-0.20	0.10	..	0.05-0.20
ER5556	5556 HQ (1)	4.7-5.5	0.40	..	..	0.10	0.50-1.0	0.05-0.20	0.25	..	0.05-0.20
ER5183	5183 HQ (1)	4.3-5.2	..	0.40	0.40	0.10	0.50-1.0	0.05-0.25	0.25	..	0.15
R-CN4A	..	0.03	..	1.0	1.5	4.0-5.0	0.35	..	0.35	..	0.25
R-CN42A	..	1.2-1.8	..	1.0	0.70	3.5-4.5	0.35	0.25	0.35	1.7-2.3	0.25
R-SC51A	..	0.40-0.60	..	0.80	4.5-5.5	1.0-1.5	0.5	0.25	0.35	..	0.25
R-SG70A	..	0.20-0.40	..	0.60	6.5-7.5	0.25	0.35	..	0.35	..	0.25

2.8. ALUMINIUM

Aluminium dikenal sebagai logam yang ringan dan memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi dan merupakan konduktor listrik yang baik. Kemajuan akhir-akhir ini dalam teknik pengelasan busur listrik dengan gas mulia menyebabkan pengelasan aluminium dan paduannya menjadi berkembang di banyak bidang.

Aluminium secara umum diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu :

- Heat treatable alloy jenis paduan dapat ditingkatkan kekuatannya dengan cara perlakuan panas misalnya saja dengan cara pengerasan presipitasi (precipitation hardening).
- Jenis paduan Non-heat treatable alloy akan mengalami peningkatan kekuatan apabila paduan itu dikenai deformasi plastis atau pengerjaan dingin (cold working).

Berat jenis aluminium hanya $2,7 \text{ ton/m}^3$, sehingga walaupun kekuatannya rendah tetapi strength to weight ratio masih lebih tinggi daripada baja, karena banyak digunakan pada konstruksi yang harus ringan, seperti alat transportasi, pesawat, kapal perang, dll. Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksid aluminium pada permukaan. Lapisan oksid ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta sangat stabil (tidak bereaksi dengan lingkungannya) sehingga melindungi bagian sebelah dalam. Adanya lapisan oksid ini disatu pihak menyebabkan tahan korosi tetapi dipihak lain menyebabkan aluminium menjadi sukar dilas dan disolder (titik leburnya lebih dari 2000°C).

Dalam sistem penomoran aluminium, sebagai contoh seri 1XXX berarti aluminium tersebut mempunyai kemurnian 99,0% atau lebih, sedangkan seri 2XXX

sampai 8XXX adalah grup paduan aluminium dengan kandungan elemen paduan yang besar.

Secara singkat cara pengidentifikasian aluminium ditunjukkan seperti di bawah :

- 1XXX - aluminium dengan kemurnian 99% atau lebih
- 2XXX - aluminium-copper
- 3XXX - aluminium-mangan
- 4XXX - aluminium-silikon
- 5XXX - aluminium-magnesium
- 6XXX - aluminium-magnesium dan silikon
- 7XXX - aluminium-zinc
- 8XXX - aluminium-elemen lain

Pada grup 1XXX kemurnian aluminium paling sedikit 99,00% dan paling besar tergantung kepada dua angka terakhir yang terdapat pada grup paduan itu.

Angka kedua menyatakan variasi elemen lain dalam batas-batas ketidak murnian. Apabila angka kedua nol (0) menyatakan bahwa tidak memerlukan kontrol khusus terhadap sifat-sifat khusus elemen lainnya.

Angka satu (1) sampai sembilan (9) memerlukan kontrol khusus terhadap satu atau beberapa elemen lainnya. Paduan 1030 menyatakan kadar aluminium 99,30%, tanpa memerlukan kontrol khusus terhadap elemen lainnya. Begitu juga paduan 1075, 1175, dan 1275 kadar aluminium sama yaitu 99,75%.

Pada grup paduan 2XXX sampai 8XXX, kedua angka terakhir tidak mempunyai arti, hanya menunjukkan perbedaan identitas dari peduan itu dalam perdagangan. Bila ada paduan baru dimodifikasi maka kedua angka terakhir mulai XX01 sampai XX09, angka kedua pada grup paduan menyatakan modifikasi paduan. Jika angka kedua dari paduan nol (0) berarti paduan itu paduan utama. Angka modifikasi itu dari angka 1 sampai 9. Sebagai contoh misalnya paduan 2017 adalah

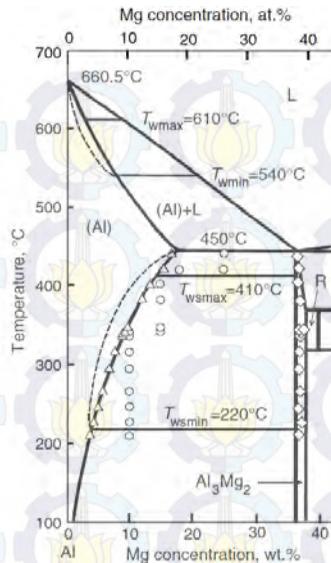
paduan copper, dan 2117 adalah modifikasi dari pada paduan aluminium copper itu. Begitu juga 5356 dan 5456 adalah modifikasi dari paduan 5056.

Keuntungan dari aluminium adalah sebagai berikut :

- Hemat energi
- Konduktor panas yang baik
- Daya angkut mudah
- Mudah dibentuk
- Tahan karat, karena lapisan Al_2O_3 terbentuk secara rapat sehingga lapisan tersebut menjadi lapisan pelindung

2.8.1. ALUMINIUM 6061 MgSi

Aluminium 6061 MgSi merupakan aluminium paduan yang paling banyak digunakan di dunia industri. Aluminium ini merupakan paduan aluminium dengan komposisi Magnesium 0,47%, Mangan 0,1%, chromium 0,1%, yang memiliki sifat tidak dapat diperlaku panaskan, tetapi memiliki sifat yang baik dalam daya tahan korosi terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu las yang sangat baik. Di bawah ini adalah penunjukkan diagram fasa dari Al-MgSi.



Gambar 2.8 Diagram fasa Al-MgSi

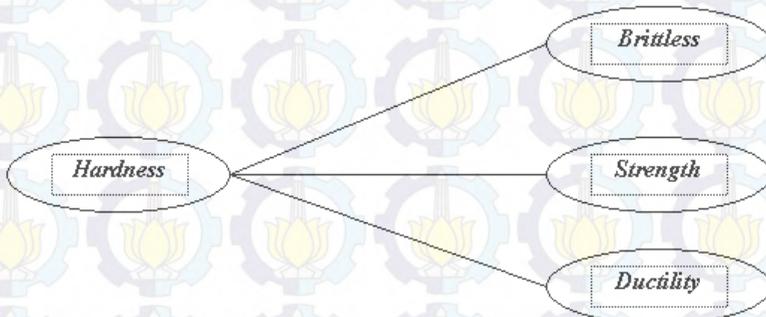
Huruf “H” pada aluminium H116 6061 selalu diikuti dengan satu angka atau lebih yang menyatakan pekerjaan dingin. Angka pertama menyatakan spesifikasi pengerjaan. Angka berikutnya menyatakan tingkat kekerasan seperti tecantum di bawah ini :

- XXXX - H1 , hanya pengerasan regang
- XXXX - H2 , pengerasan regang dan aniling
- XXXX - H3 , pengerasan regang menstabilkan dengan temperatur perlakuan panas yang rendah.
- XXXX - H12 , ¼ keras
- XXXX - H14 , ½ keras
- XXXX - H16 , ¾ keras
- XXXX - H18 , penuh keras
- XXXX - H111 , proses pemanasan dan perlakuan dingin selama peregangangan atau pengolahan lain sehingga tidak memenuhi syarat sebagai pemanasan atau O temper.

- XXXX – H112 , sedikit pengerasan regang dari perlakuan panas atau dari perlakuan dingin yang terbatas.
- XXXX – H116 , fabrikasi khusus, peregangan terkontrol, ketahanan korosi lunak untuk paduan Al-Mg (proses mekanik material yang terbatas dan ketahanan exfoliasi korosi tertentu).

2.9. PENGUJIAN KEKERASAN

Kekerasan suatu bahan adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap indentasi, tahan terhadap beban tanpa penggoresan , tahan terhadap aus, tahan terhadap pengikisan (abrasi). Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strenght (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.9 sifat yang berhubungan dengan kekerasan.

Pengujian kekerasan dapat dibagi menjadi 3 metode antara lain sebagai berikut :

- Metode pengujian kekerasan brinell
- Metode pengujian kekerasan vickers
- Metode pengujian kekerasan rockwell

Dalam pengujian penelitian ini yang digunakan adalah pengujian kekerasan Vickers. Pada dasarnya metode pengujian kekerasan Vickers hampir sama dengan Brinells hanya indentornya saja yang berbeda. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada metode pengujian kekerasan Vickers adalah sebagai berikut :

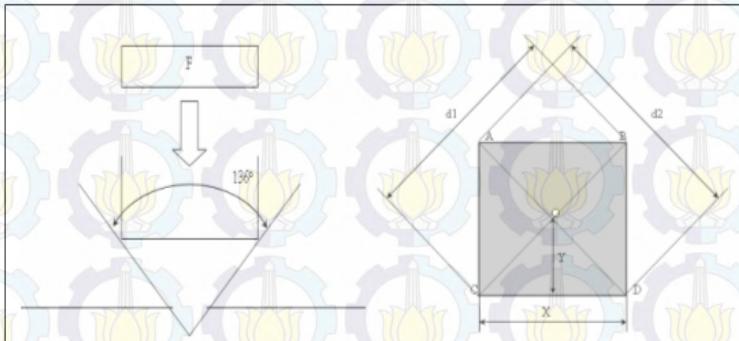
1. Spesimen harus memenuhi persyaratan:
 - Permukaan harus rata dan Halus
 - Dapat ditumpu dengan baik dan permukaan horisontal
2. Indentor yang digunakan adalah pyramid intan yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136° .
3. Pada dasarnya semua beban bisa digunakan, kecuali untuk pelat yang tipis harus digunakan beban yang ringan.
4. Pada pelaksanaannya, pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menekan indentor pada permukaan specimen selama 10 – 30 detik.
5. Nilai kekerasan pengujian ini dinyatakan dalam satuan DPH (Vickers Diamond Pyramid Hardness) yang dihitung berdasarkan diagonal indentasi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{DPH} &= \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2 \\ &= 1,854 P/d^2 \end{aligned}$$

Untuk : $\alpha = 136^\circ$

Dimana : P = Gaya tekan (kgf)
d = diagonal identasi (mm)

Persamaan ini didapatkan dari :



Gambar 2.10. Hasil Tapak Tekan Pengujian Vickers

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$X = d \cos 45^\circ$$

$$= \frac{1}{2} d \sqrt{2}$$

$$Y = \frac{1}{2} X / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{2} d \sqrt{2} \right) / \cos 22^\circ$$

$$L \Delta AOB = \frac{1}{2} X \cdot Y$$

$$= \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2} \right) / \cos 22^\circ$$

$$= (1/8 d^2) / \cos 22^\circ$$

$$\begin{aligned}
 A &= 4 L \Delta AOB \\
 &= 4 (1/8 d^2) / \text{Cos } 22^\circ \\
 &= (1/2 d^2) / \text{Cos } 22^\circ \\
 \text{HVN} &= P/A \\
 &= 1,854 P/d^2
 \end{aligned}$$

6. Penulisan nilai kekerasan seperti contoh berikut :
150 DPH 150/10

Dimana : 150 = Nilai Kekerasan

DPH = Metode Pengujian
Vickers

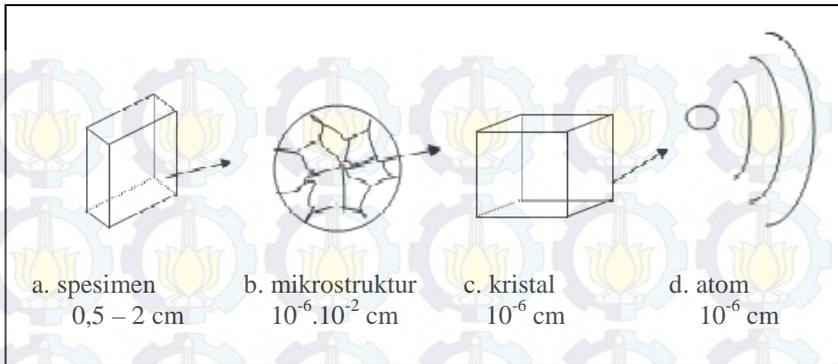
150 = Gaya Pembebanan

10 = Waktu Pembebanan

7. Sama dengan pengujian kekerasan dengan Brinells, karena pengukuran dilakukan secara manual maka terdapat kemungkinan terjadinya kesalahan ukur. Kesalahan itu mungkin terjadi pada saat pemfokusan objek pada layar, peletakan alat ukur pada objek dan pembacaan pengukurannya.

2.10. PENGAMATAN METALOGRAFIS

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan miroskop optis dan mikroskop electron. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu. *Gambar 2.13* berikut menjelaskan spesimen dengan pembesaran dan lingkup pengamatannya.



Gambar 2.11 spesimen, ukuran dan bentuk obyek pembesaran

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa penyelidikan mikrostruktur berkisar 10^{-6} cm (batas kemampuan elektron mikroskop hingga 10^{-2} cm batas kemampuan mata manusia). Biasanya objek pengamatan yang digunakan 10^{-5} cm atau pembesaran 5000-30000 kali untuk mikroskop elektron dan 10^{-3} cm atau order pembesaran 100-1000 kali mikroskop optik.

Agar permukaan logam dapat diamati secara metalografi, maka terlebih dahulu dilakukan persiapan sebagai berikut :

1. Pemotongan spesimen

Pada tahap ini diharapkan spesimen dalam keadaan datar, sehingga memudahkan dalam pengamatan.

2. Mounting spesimen (bila diperlukan)

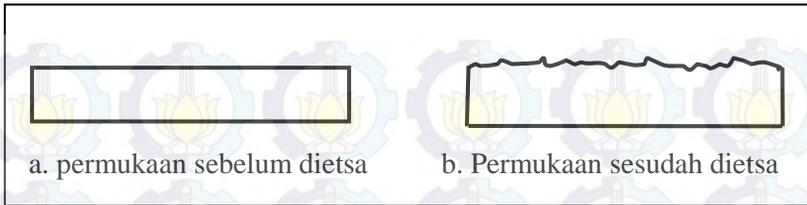
Tahap mounting ini, spesimen hanya dilakukan untuk material yang kecil atau tipis saja. Sedangkan untuk material yang tebal, tidak memerlukan proses mounting.

3. Grinding dan polishing

Tahap grinding dan polishing ini bertujuan untuk membentuk permukaan spesimen agar benar-benar rata. Grinding dilakukan dengan cara menggosok spesimen pada mesin *hand grinding* yang diberi kertas gosok dengan ukuran grid yang paling kasar (grid 320) sampai yang paling halus. Sedangkan polishing sendiri dilakukan dengan menggosokkan spesimen di atas mesin *polishing machine* yang dilengkapi dengan kain wool yang diberi serbuk alumina dengan kehalusan 1-0,05 mikron. Penambahan serbuk alumina ini bertujuan untuk lebih menghaluskan permukaan spesimen sehingga akan lebih mudah melakukan metalografi.

4. Etsa (etching)

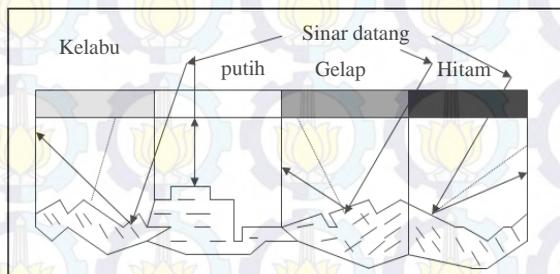
Proses etsa ini pada dasarnya adalah proses korosi atau mengerosikan permukaan spesimen yang telah rata karena proses grinding dan polishing menjadi tidak rata lagi. Ketidakrataan permukaan spesimen ini dikarenakan mikrostruktur yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda, sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Pada pelaksanaannya, proses etsa ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pada cairan etsa dimana tiap jenis logam mempunyai cairan etsa (*etching reagent*) sendiri-sendiri. Perhatikan gambar 2.14 yang menunjukkan pengaruh efek proses etsa permukaan spesimen yang telah mengalami proses grinding dan polishing.



Gambar 2.12 pengaruh etsa terhadap permukaan spesimen

Setelah permukaan spesimen dietsa, maka spesimen tersebut siap untuk diamati di bawah mikroskop dan pengambilan foto metalografi.

Pengamatan metalografi pada dasarnya adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Dengan demikian apabila seberkas sinar di kenakan pada permukaan apesimen maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Semakin tidak rata permukaan, maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya warna yang tampak pada mikroskop adalah berwarna terang (putih) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.15



Gambar 2.13 Pantulan sinar pada pengamatan metalografi

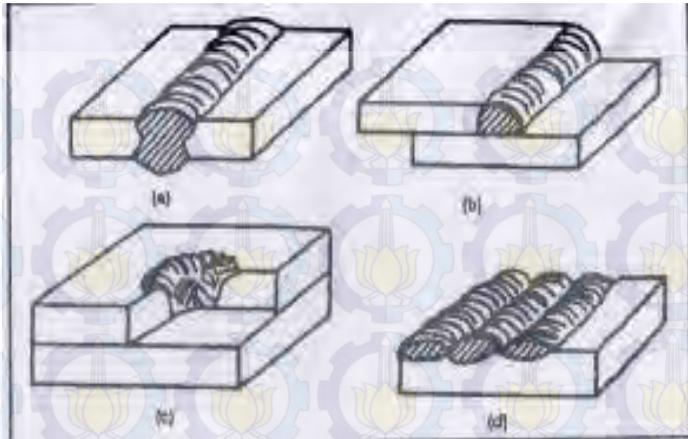
2.11. Ujin tarik (tensile test)

Salah satu sifat mekanik yang sangat penting dan dominan dalam suatu perancangan konstruksi dan proses manufaktur adalah kekuatan tarik. Kekuatan tarik suatu bahan di dapat dari hasil uji tarik (*tensile test*) yang dilaksanakan berdasarkan standar pengujian yang telah baku seperti ASTM (Assotiation Society Test and Material) JIS(Japan Industrial Standart), DIN (Deutches Institut for Nurmunge).dan yang lainnya.

2.12. KONFIGURASI SAMBUNGAN LAS

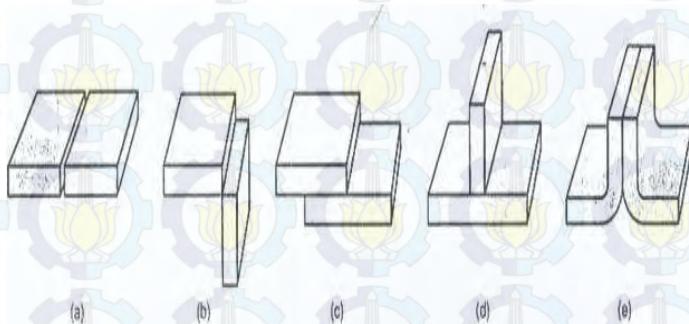
Salah satu faktor yang mempengaruhi pendistribusian panas dalam pengelasan adalah ukuran dan bentuk lasan, khususnya pada desain sambungan las.Pada umumnya geometri dan tipe sambungan las disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi dan kondisi pembebanan.Selain itu peletakan dan pemilihan lokasi sambungan juga berpengaruh pada struktur konstruksi dari sambungan pada bahan juga ketahanan melawan distorsi yang timbul akibat pengelasan.

Bentuk dasar lasan terdiri dari :*groove welds*, *fillet welds*, *plug welds*, dan *surfacing welds* seperti pada gambar 2.17.Bentuk dasar tersebut umumnya dipakai pada pengelasan konstruksi. Pada *surfacing welds*, bentuk tersebut bukan merupakan bentuk untuk proses penyambungan, melainkan digunakan untuk melapisi permukaan suatu material agar tahan aus atau tahan korosi, terkadang untuk mengembalikan dimensi suatu komponen yang berubah akibat aus atau korosi menjadi seperti semula.



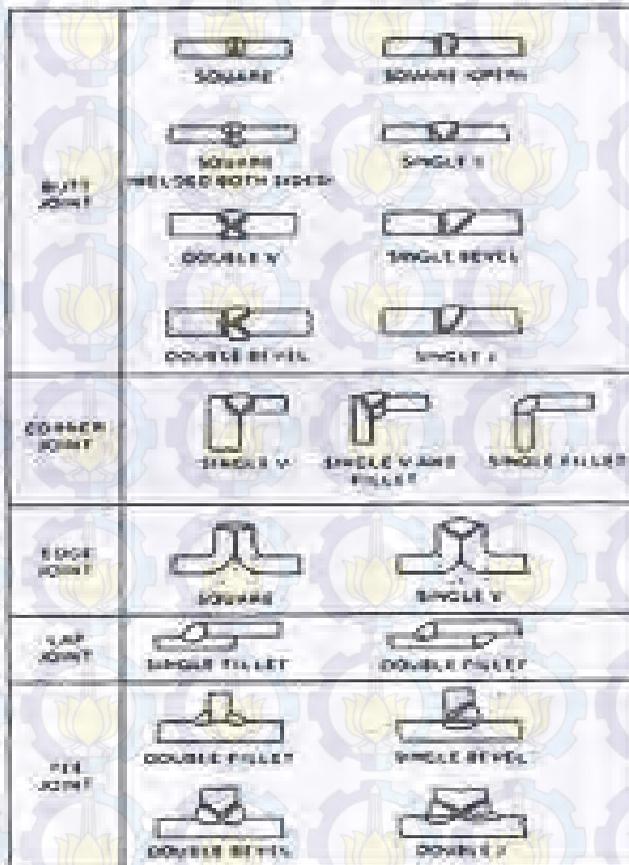
Gambar 2.14 Bentuk dasar lasan, (a)groove welds, (b)fillet welds, (c)plug welds, (d)surfacing welds

Bentuk-bentuk sambungan sederhana terdiri dari :*butt joints, corner joints, lap joints, tee joints, dan edge joints.* Seperti ditunjukkan pada gambar 2.18.



Gambar 2.15 (a)butt joints, (b)corner joints, (c)lap joints, (d)tee joints, (e)edge joints

Bentuk sederhana tersebut dapat dikombinasikan dengan berbagai macam profil (V-groove, bevel groove, J groove, dan U groove) menjadi bermacam-macam bentuk variasi sambungan las pada *gambar 2.19*. Sambungan pada jenis las ditentukan pada dan untuk apa sambungan tersebut digunakan sesuai dengan permintaan dan standar ketentuan.



Gambar 2.16 Variasi sambungan pada las



BAB III METODOLOGI

3.1 Rancangan Percobaan

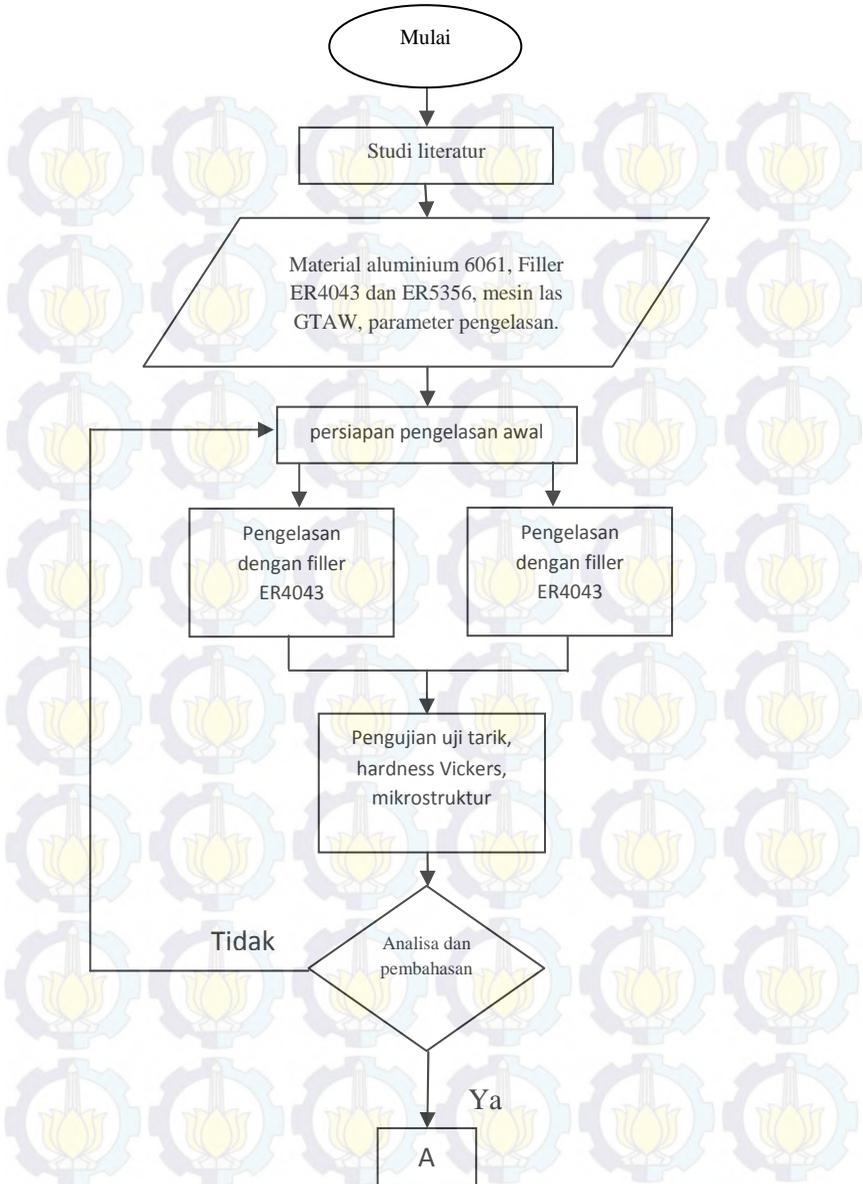
Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan eksperimen untuk mencari pengaruh perbedaan filler terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. Eksperimen dan pengujian akan dilakukan di Workshop jurusan D3 Teknik Mesin FTI – ITS Surabaya.

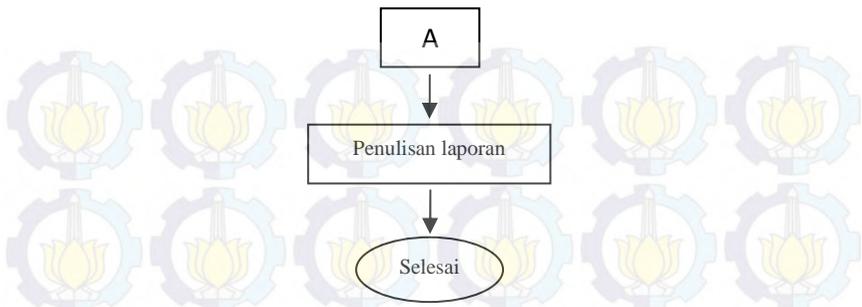
Parameter yang akan di amati dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik material; menganalisa sifat – sifat mekanik material yang terdiri dari kekuatan tarik maksimum, kekuatan tarik luluh, reduction of area, elongation dan modulus elastisitas.
2. Kekerasan; kekerasan pada logam las, HAZ, dan logam induk, diuji kekerasan mikro – Vickers.
3. Mikrostruktur; mikrostruktur yang diamati terutama di sekitar bagian logam las, HAZ, dan logam induk.

3.2 Diagram Alir (Flow Chart)

Dalam memperoleh hasil yang diharapkan, dalam penelitian memerlukan langkah-langkah yang sistematis sehingga perlu disusun diagram alir penelitian. Diagram alir tersebut akan memudahkan juga bagi orang lain memahami langkah-langkah yang dilakukan peneliti. Diagram alir dapat dilihat sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Material benda uji

Pada penelitian ini, benda kerja yang digunakan adalah *Aluminium. 6061 MgSi*.

3.3.1 Sifat mekanis aluminium 6061

Tabel 3.1. Sifat Mekanis Aluminium 6061 MgSi

Sifat fisik dan mekanik	Keterangan
Massa jenis (g/cm^3)	2700
Temperatur melting ($^{\circ}\text{C}$)	660,2
Kekuatan tarik (N/mm^2)	310
Perpanjangan (%)	25
Modulus elastis ($\text{kgf/mm}^2 \times 10^2$)	70-80
Kekuatan tekan (kgf/mm^2)	48
Kekuatan geser (kgf/mm^2)	83

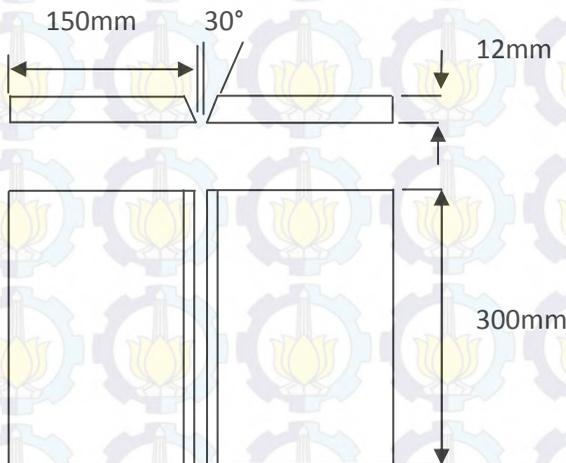
Tabel 3.2. Kandungan Kimia Aluminium 6061 MgSi

Unsur	Kadar (%)
Silicon	0,58
Magnesium	0,918
ferro	0,46
Tembaga	0,19
Mangan	0,1
Zinc	0,12
Nikel	0,001
Crom	0,03
Timbal	0,02
Tin	0,01

3.3.2 PERSIAPAN ALAT

Bahan yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Material pelat Aluminium 6061 Al – MgSi sebagai bahan spesimen.
- Filler ER4043 dan ER5356 digunakan sebagai logam pengisi pengelasan.
- Dimensi ukuran benda kerja sebagai berikut :



Gambar 3.2 Persiapan bentuk spesimen

Alat yang perlu dipersiapkan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Infrared Thermograf

Infrared thermograf merupakan alat bantu yang berfungsi untuk dapat mengukur temperatur suatu benda kerja tanpa harus bersentuhan langsung dengan benda yang ingin diukur suhunya. Alat ini biasanya digunakan dalam industri pengecoran logam untuk mengukur sesuatu bertemperatur tinggi.

Keunggulan alat ini adalah mampu digunakan untuk mengukur temperatur tanpa harus bersentuhan langsung dengan benda kerja yang akan diukur suhunya dengan cara menekan tombol yang terdapat pada alat tersebut. Gambar dan bagian dari alat ukur ini dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.3 Infrared Thermograf

2. *Mobile stopwatch*

Pada pegujian Tugas Akhir ini alat ini digunakan untuk mengetahui berapa lama waktu saat proses pengelasan berjalan.

3. Mesin Poles

Spesifikasi Mesin Poles :

Merk	: Polisher DPG Grinder
Model	: DPC 20 A
Speed	: 300-600 rpm
Power	: AC 380 V
Diameter Polisher	: 203 m/m Ø



Gambar 3.4 Mesin Poles

4. Mesin Gergaji

Mesin gergaji ini berfungsi sebagai alat bantu pemotongan benda uji yang akan digunakan sebagai tool.

5. Mesin CNC milling

Mesin CNC milling digunakan sebagai membentuk benda uji tarik.

6. Mesin las GTAW

Mesin las GTAW digunakan dalam penyambungan benda uji (specimen).

3.3.3. PERSIAPAN SPESIMEN AWAL

- Pelat Aluminium 6061 Al-MgSi sehingga dimensinya menjadi 300mm x 150mm x 12mm sebanyak 4 lembar.
- Bagian plat yang akan di las diratakan sehingga membentuk kemiringan 30° seperti gambar 3.2 dengan mesin freis atau mesin gerinda tangan.
- Pembersihan oksidasi serta kotoran – kotoran lain dari permukaan material yang akan dilas dengan gerinda tangan serta alkohol.
- Spesimen siap disambung

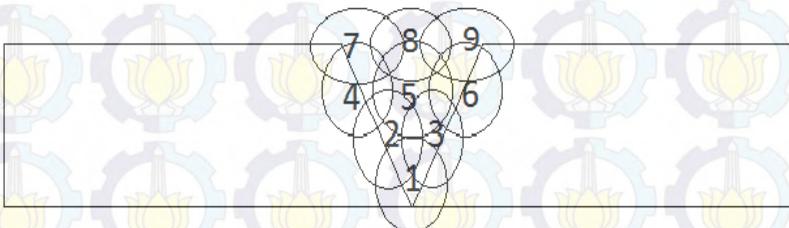
3.3.4. PENGELASAN AWAL

Empat lembar pelat disambung sehingga menjadi 2 sambungan pengelasan awal. Dua lembar disambungkan dengan meletakkan pelat saling sejajar. Sisi dari pelat yang sejajar dibersihkan dan di beri renggang 1mm – 2mm. pengelasan awal dengan parameter pengelasan sebagai berikut :

- Proses : GTAW
- Desain sambungan : single “V” groove
- Filler : ER4043 dan ER5356
- Polaritas : AC
- Voltage (range) : 12,4 – 29 Volt

Tabel 3.3 data proses pengelasan

Filler	Layer	Travel speed mm/sec	Arus (ampere)
ER4043	1	1,875	160-165
	2	1,765	160-165
	3	1,765	160-165
	4	2	155-160
	5	2	155-160
	6	2	155-160
	7	2,143	155-160
	8	2,143	155-160
	9	2,143	155-160
ER5356	1	1,667	160-165
	2	1,875	160-165
	3	1,875	160-165
	4	1,765	155-160
	5	1,765	155-160
	6	1,765	155-160
	7	2,143	155-160
	8	2,143	155-160
	9	2,143	155-160



Gambar 3.5 layer pada pengelasan

3.4. PENGAMBILAN DATA

Seluruh spesimen hasil dari pengelasan filler ER4043 dan ER5356 dibuat spesimen-spesimen untuk pengujian mekanik, uji tarik, kekerasan serta mikrostruktur. pembagian spesimen, setelah sebelumnya pada bagian-bagian ujung terlabih dahulu dibuang.

3.4.1. PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS

Pada dasarnya metode pengujian kekerasan Vickers hampir sama dengan Brinells hanya identornya saja yang berbeda. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada metode pengujian kekerasan Vickers adalah sebagai berikut :

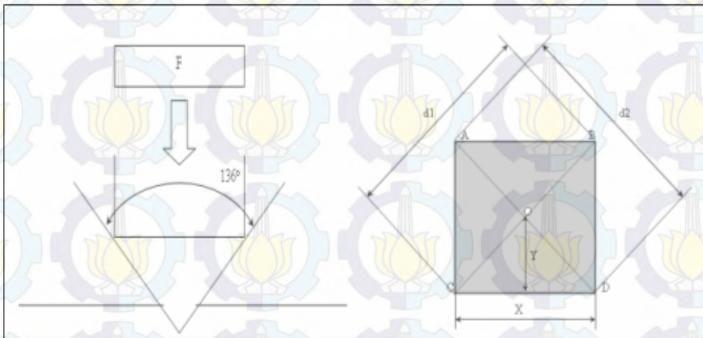
1. Spesimen harus memenuhi persyaratan:
 - Permukaan harus rata dan Halus
 - Dapat ditumpu dengan baik dan permukaan horisontal
2. Identor yang digunakan adalah pyramid intan yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136° .
3. Pada dasarnya semua beban bisa digunakan, kecuali untuk pelat yang tipis harus digunakan beban yang ringan.
4. Pada pelaksanaannya, pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menekan identor pada permukaan specimen selama 10 – 30 detik.
5. Nilai kekerasan pengujian ini dinyatakan dalam satuan DPH (Vickers Diamond Pyramid Hardness) yang dihitung berdasarkan diagonal identasi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{DPH} &= \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2 \\ &= 1,854 P/d^2 \end{aligned}$$

Untuk : $\alpha = 136^\circ$

Dimana : $P =$ Gaya tekan (kgf)
 $d =$ diagonal identasi (mm)

Persamaan ini didapatkan dari :



Gambar 3.6 Hasil Tapak Tekan Pengujian Vickers

$$d = \frac{d1+d2}{2}$$

$$X = d \cos 45^\circ$$

$$= \frac{1}{2} d \sqrt{2}$$

$$Y = \frac{1}{2} X / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{2} d \sqrt{2} \right) / \cos 22^\circ$$

$$L \Delta AOB = \frac{1}{2} X \cdot Y$$

$$= \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2} \right) / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{8} d^2 \right) / \cos 22^\circ$$

$$A = 4 L \Delta AOB$$

$$= 4 \left(\frac{1}{8} d^2 \right) / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{2} d^2 \right) / \cos 22^\circ$$

$$HVN = P/A$$

$$= 1,854 P/d^2$$

6. Penulisan nilai kekerasan seperti contoh berikut :

150 DPH 150/10

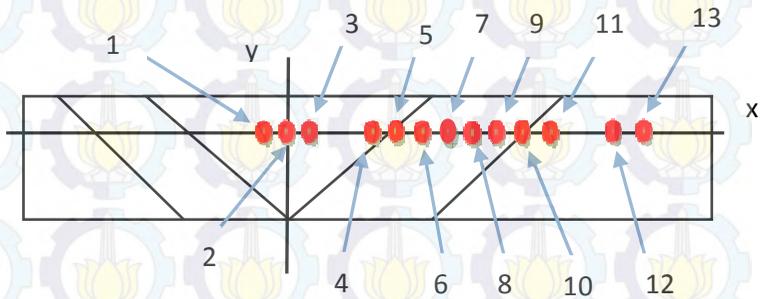
Dimana : 150 = Nilai Kekerasan

DPH = Metode Pengujian Vickers

150 = Gaya Pembebanan

10 = Waktu Pembebanan

Sama dengan pengujian kekerasan dengan Brinells, karena pengukuran dilakukan secara manual maka terdapat kemungkinan terjadinya kesalahan ukur. Kesalahan itu mungkin terjadi pada saat pemfokusan objek pada layar, peletakan alat ukur pada objek dan pembacaan pengukurannya.



Gambar 3.7 titik identasi Uji Kekerasan

3.4.2. PENGAMATAN MIKRO STRUKTUR

Pengamatan mikro struktur mengacu pada standar ASTM E 340 – 00^{e1} dilakukan dengan mengetahui titik pasti daerah hasil pengujian kekerasan. Setelah daerah yang ditentukan, maka pada titik yang sama tersebut di etsa menggunakan campuran cairan. Cairan yang digunakan antara lain ialah :

- HCl (hydrochloric acid) = 75 mL
- HNO₃ (nitric acid) = 25 mL
- HF (hydrofluoric acid) = 5 mL

Prosedur pengujian metallography adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan specimen uji

Benda kerja dibelah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian metallographi dilakukan pada permukaan dalam specimen (bagian yang dibelah).

2. Grinding

Penggosokan dilakukan pada permukaan specimen uji secara bertahap, penggosokan menggunakan mesin grinding dengan tingkat kekasaran kertas gosok mulai dari 200, 500, 1000, 1200 dengan disertai aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melarutkan geram dan permukaan specimen tidak panas sehingga mengubah struktur mikronya.

3. Polishing

Penggosokan diatas piringan kain wool yang berputar, disertai taburan bubuk polishing, sampai goresan – goresan akibat proses grinding hilang sehingga permukaan spesimant uji mengkilat.

4. Etching

Etching (proses etsa) dilakukan dengan menggunakan larutan etsa (etsa reagent) nital dengan HNO_3 20 ml. Dengan waktu pencelupan 1 menit, setelah itu benda dibilas dengan alcohol 98% dan dikeringkan.

5. Pemotretan

Kemudian dilakukan pemotretan dibawah mikroskop dengan menggunakan lensa obyektif 10x, sedangkan lensa okuler 10x, 20x, 50x dan 100x sehingga dapat menghasilkan pembesaran 100x, 200x, 500x dan 1000x.

2. Mesin yang dipakai menggunakan mesin uji tarik tipe UPD-20
3. Metode pengujian menggunakan standar pengujian ASME IX
4. Menandai gauge length dengan panjang standart Lo ASME IX pada setiap spesimen.
5. Hidupkan dan pasang spesimen pada penjepit.
6. Selama penarikan perhatikan perubahan yang terjadi pada spesimen dan grafik yang tertulis.
7. Setelah patah, spesimen dilepas dari penjepit.
8. Kemudian kedua bagian yang patah digabung dan diukur panjangnya, lalu catat pertambahan panjangnya.

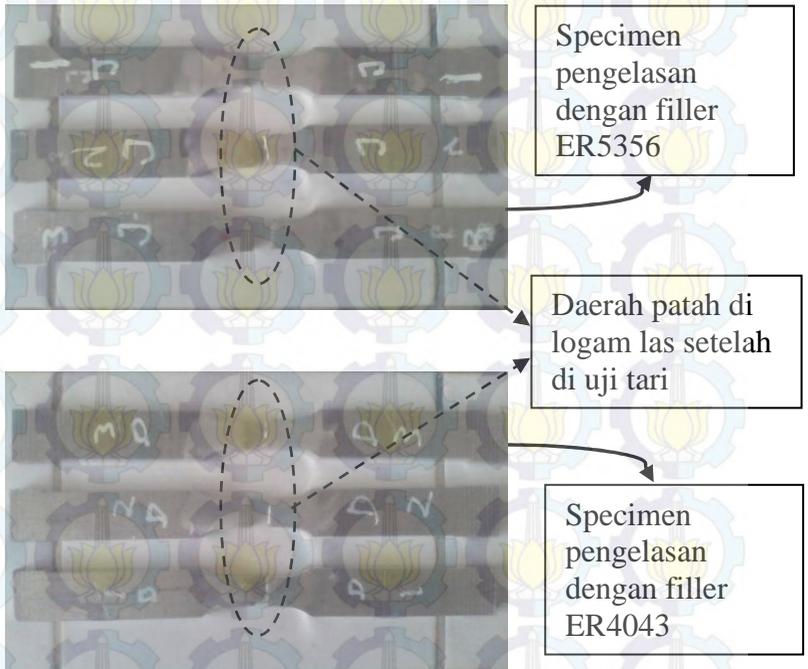
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil pengelasan

Di bawah ini merupakan data hasil pengelasan dengan filler ER4043 dan ER5356, menggunakan mesin las GTAW.

4.1.1. Data hasil pengujian tarik

Dari proses uji tarik didapatkan beberapa data yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.1 spesimen setelah di uji tarik

Dari gambar diatas hasil uji tarik yang dilakukan menunjukkan pengelasan dengan filler ER4043 dan ER5356, patahan pada logam las. Tapi hasil uji tarik menunjukkan nilai yang berbeda dapat dilihat di tabel bawah ini :

Tabel 4.1. Hasil uji tarik

filler	Y.P (N)	Y.S (kgf)	Peak (kgf)	UTS N/mm ²	UTS Rata-rata N/mm ²
ER4043	31168,68	3178,34	5685,42	244,62	232,26
	31334,10	3195,20	5448,62	234,43	
	31426,05	3204,58	5060,06	217,72	
ER5356	36010,35	3672,05	5501,35	236,70	200,41
	38577,65	3933,85	4314,56	185,64	
	38208,51	3896,20	4157,16	178,88	

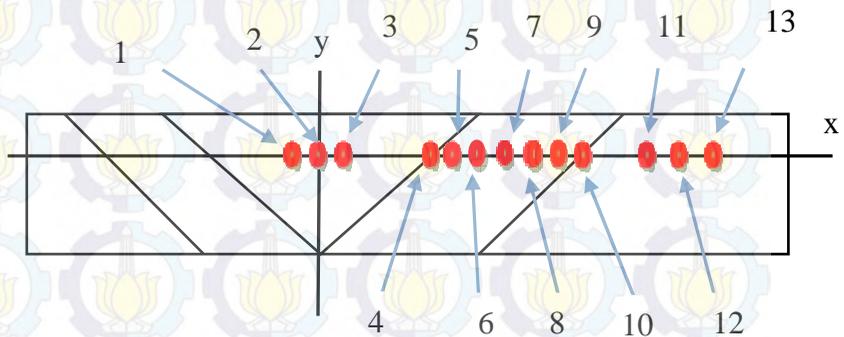
Dari table diatas hasil uji tarik yang dilakukan menunjukkan nilai UTS 232,26 N/mm² pada penyambungan dengan filler ER4043. Sedangkan penyambungan dengan filler ER5356 nilai UTS 200,41 N/mm², lebih rendah dari pada penyambungan dengan filler ER4043.

4.1.2. Hasil pengujian *microhardness* *Vickers*

Parameter dalam *microhardness* Vickers test yaitu perbedaan filler, dimana filler yang digunakan ER4043 dan ER5356. Standart pengujian kekerasan *microhardness* Vickers aluminium menggunakan ASTM E384 dengan gaya pembebanan 3kp. Pada pengujian ini diambil 2 specimen dari hasil pengelasan GTAW yang masing-masing dari specimen tersebut memiliki perbedaan filler. Sebelum diuji, spesimen harus dalam keadaan datar agar tidak terjadi perubahan posisi pada

saat ditekan dengan indenter yang terdapat pada alat uji hardness.

Dalam pengujian kekerasan microhardness vickers ini Dilakukan 13 kali titik indentasi, yang mana titik 1,2,3 logam las, titi 4,5,6,7 batas logam las dan HAZ, titik 8 logam HAZ, titik 9,10,11 batas logam HAZ dan logam induk, dan titik 12,13 logam induk.

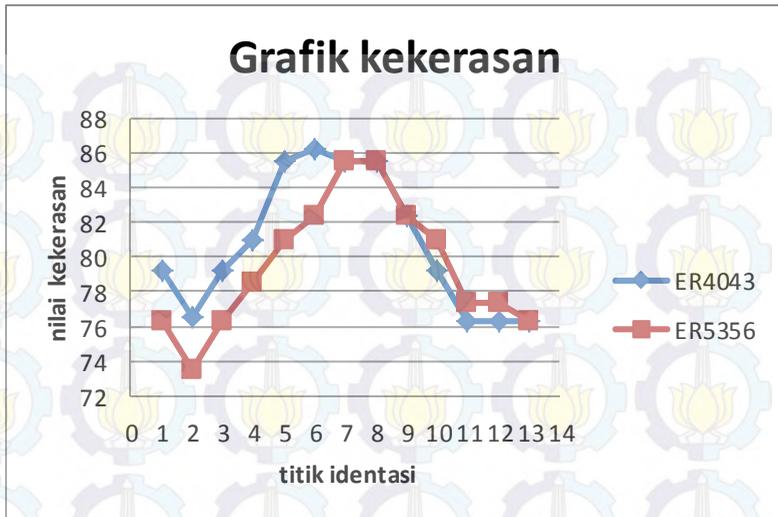


Gambar 4.2 Letak titik indentasi

Dari keterangan letak titik indentasi tersebut maka kemudian dilakukan pengujian kekerasan microhardness vickers, sehingga diperoleh nilai kekerasan pada setiap titik. Jarak antar titik ditentukan sesuai lebarnya hasil pengelasan. Berikut data hasil pengujian.

Tabel 4.2 Data hasil uji kekerasan vickers

pengelasan	daerah	titik	Nilai kekerasan (HV)
ER4043	Logam las	1	79,2
		2	76,5
		3	79,2
	HAZ	4	81,0
		5	85,5
		6	86,2
		7	85,5
		8	85,5
		9	82,3
		10	79,2
	Logam induk	11	76,3
		12	76,3
		13	76,3
ER5356	Logam las	1	76,3
		2	73,5
		3	76,3
	HAZ	4	78,5
		5	81,0
		6	82,3
		7	85,5
		8	85,5
		9	82,3
		10	81
	Logam induk	11	77,4
		12	77,4
		13	76,3

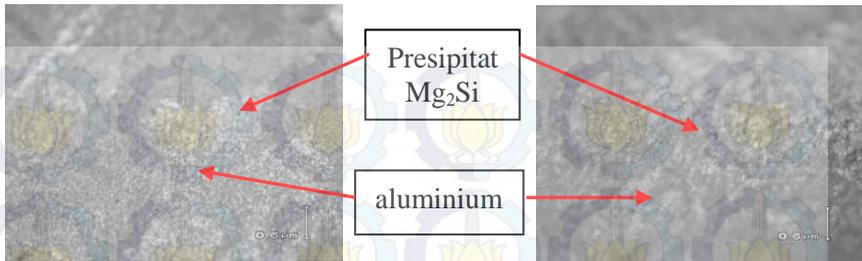


Gambar 4.3 grafik kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan, tabel dan grafik diatas dapat dianalisis pengelasan dengan filler ER4043 dan ER5356 nilai kekerasannya tidak berbeda jauh. Nilai kekerasan pengelasan dengan filler ER4043 pada daerah logam las dan HAZ lebih besar dibandingkan pada pengelasan dengan filler ER5356.

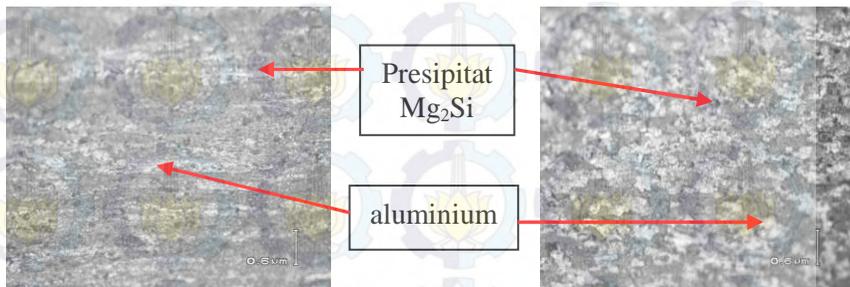
4.1.3. Hasil pengamatan mikrostruktur

Dari hasil pengujian kekerasan tersebut didapat hasil titik untuk perbesaran mikro diharapkan dapat mengetahui daerah yang diinginkan. Adapun hasil pengamatan foto mikro struktur sebagai berikut:



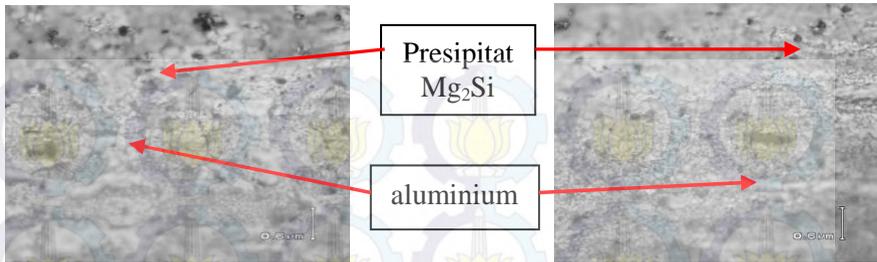
Gambar 4.4 foto mikro struktur daerah logam las dengan filler ER4043

Dari hasil foto mikro struktur diatas gambar kiri pembesaran 500X dan kanan pembesaran 1000X. dapat dilihat butir-butir hitam (presipitat) pada logam las kecil-kecil dan rapat.



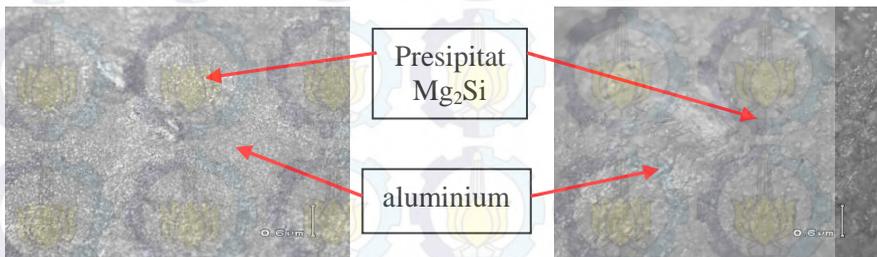
Gambar 4.5 foto mikro struktur daerah logam HAZ dengan filler ER4043

Dari hasil foto mikro struktur diatas gambar kiri pembesaran 500X dan kanan pembesaran 1000X. dapat dilihat butir-butir hitam (presipitat) pada logam HAZ lebih besar dari pada di daerah logam las.



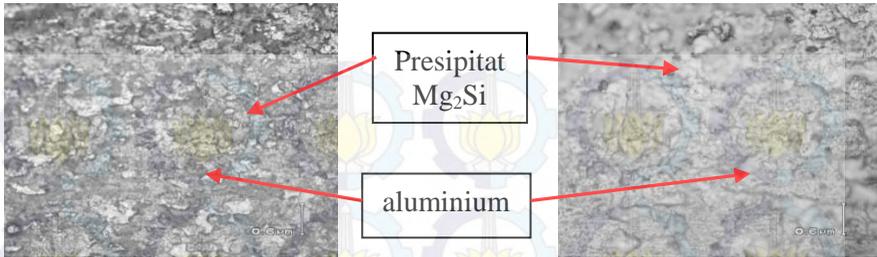
Gambar 4.6 foto mikro struktur daerah logam induk dengan filler ER4043

Dari hasil foto mikro struktur diatas gambar kiri pembesaran 500X dan kanan pembesaran 1000X. dapat dilihat butir-butir hitam (presipitat) pada logam induk lebih besar dari pada di daerah logam HAZ dan lebih sedikit.



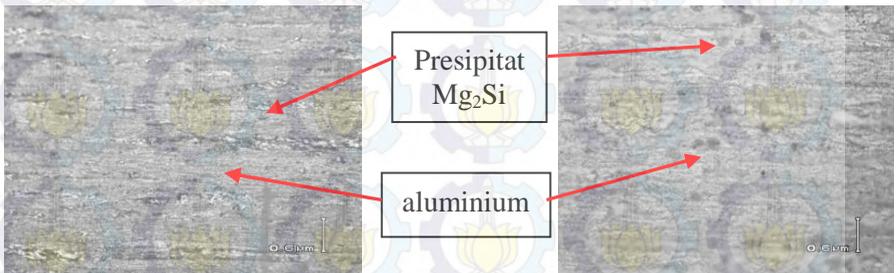
Gambar 4.7 foto mikro struktur daerah logam las dengan filler ER5356

Dari hasil foto mikro struktur diatas gambar kiri pembesaran 500X dan kanan pembesaran 1000X. dapat dilihat butir-butir hitam (presipitat) pada logam las kecil-kecil dan rapat.



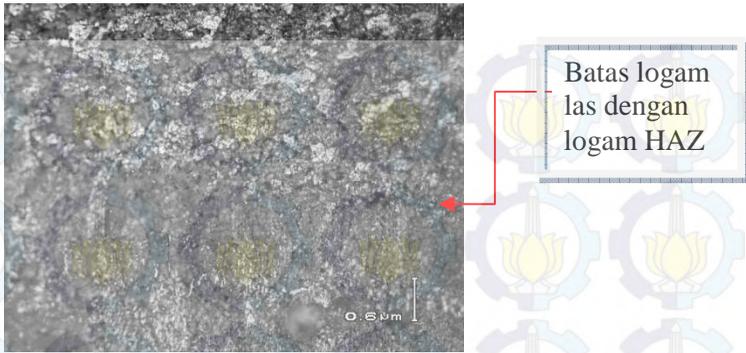
Gambar 4.8 foto mikro struktur daerah logam HAZ dengan filler ER5356

Dari hasil foto mikro struktur diatas gambar kiri pembesaran 500X dan kanan pembesaran 1000X. dapat dilihat butir-butir hitam (presipitat) pada logam HAZ lebih besar dari pada di daerah logam las.

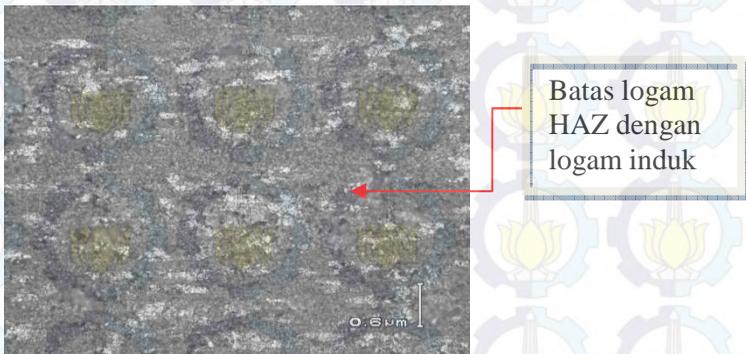


Gambar 4.9 foto mikro struktur daerah logam induk dengan filler ER5356

Dari hasil foto mikro struktur diatas gambar kiri pembesaran 500X dan kanan pembesaran 1000X. dapat dilihat butir-butir hitam (presipitat) pada logam induk lebih besar dari pada di daerah logam HAZ dan lebih sedikit.



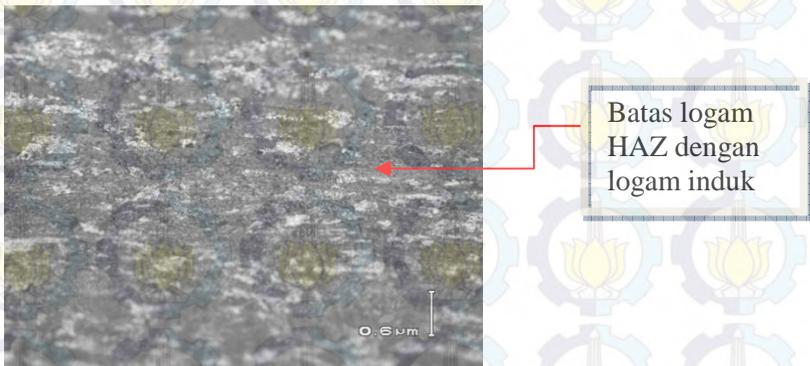
Gambar 4.10 Foto mikro struktur spesimen pengelasan dengan filler ER4043 perbesaran 500X



Gambar 4.11 Foto mikro struktur spesimen pengelasan dengan filler ER4043 perbesaran 500X



Gambar 4.12 Foto mikro struktur spesimen pengelasan dengan filler ER5356 perbesaran 500X



Gambar 4.13 Foto mikro struktur spesimen pengelasan dengan filler ER5356 perbesaran 500X

Dari hasil pengamatan foto mikro struktur terdapat struktur bagian dari HAZ yang mengalami perubahan. Pada bagian logam las masih ada struktur tersisa yang belum sempurna mencair. Pada gambar 4.6 dan 4.8 adalah batas logam las dengan

HAZ, sedangkan pada gambar 4.7 dan 4.9 menyatakan batas logam HAZ dan logam induk.

4.2. PEMBAHASAN HASIL PENGUJIAN

Dari hasil pengukuran, pengujian mekanik dan pengamatan metalografi telah mendapatkan hasil yang dapat diolah agar dapat diteliti bagaimana hasil dari pengelasan menggunakan las GTAW V-groove dengan perbedaan filler ER4043 dan ER5356 pada material aluminium 6061 MgSi.

Dari pengujian tarik didapatkan hasil yang dapat dianalisa dengan melihat angka hasil uji tarik. Hasil uji tarik tertinggi didapat pada pengelasan yang menggunakan filler ER4043 yang memiliki kekuatan tarik 52945.50 N/mm^2 , sedangkan pengelasan yang menggunakan filler ER5356 memiliki kekuatan tarik 45683.99 N/mm^2 .

Dari pengujian kekerasan vickers didapatkan hasil yang dapat dianalisa dengan melihat angka hasil kekerasan vickers. Dapat dilihat dari grafik kekerasan perbedaan kekerasan hanya di daerah logam las pengelasan dengan filler ER4043 hasilnya 79,2 HV sedangkan pengelasan dengan filler ER5356 hasilnya 78,3 HV dapat dinyatakan bahwa hasil dari pengelasan dengan filler ER4043 nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan pengelasan dengan filler ER5356.

Dari pemeriksaan mikrostruktur dan bila dikaitkan dengan perubahan kekerasannya dapat diketahui bahwa pada logam induk, logam HAZ dan logam las masing-masing mempunyai bentuk butircell, columnar dan equiaxial. Pada logam las terlihat hasil dari mikrostruktur permukaan logam las lebih halus dibandingkan logam HAZ dan logam induk.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari proses penyambungan pada Aluminium 6061 MgSi yang di las dengan teknik GTAW dengan filler ER4043 dan ER5356 dapat disimpulkan bahwa, nilai UTS pada penyambungan dengan ER4043 lebih tinggi dibandingkan dengan filler ER5356. Hasil uji kekerasan menunjukkan kekerasan logam berkurang dari logam las ke arah HAZ dan logam induk. Hasil mikrostruktur menunjukkan dari logam induk ke daerah logam las terlihat masing-masing mempunyai bentuk butir cill, columnar dan equiaxial. Sedangkan pengelasan dengan filler ER5356 hasil kekerasan menunjukkan lebih rendah dibandingkan dengan pengelasan dengan filler ER4043. Dari hasil mikrostruktur pada pengelasan dengan filler ER5356 dapat dilihat di daerah logam las permukaan logam las lebih kasar dibandingkan dengan pengelasan dengan filler ER4043.

5.2 Saran

1. Kedepannya menyertakan pengujian komposisi kimia.
2. Agar data lebih akurat, melakukan penelitian yang lebih teliti dan teruntut.
3. Agar variasi atau pembandingan lebih valid maka melakukan lebih dari 1 variasi.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

1. ASME II :*Part B Nonferrous Material Specifications*. 2nd. The American Society Of Mechanical Engineers, New York. 2010.
2. ASME II :*Part C Specifications for Welding Rods, Electrode, and Filler Metals*. 2nd. The American Society Of Mechanical Engineers, New York. 2010.
3. ASME IX :*Welding And Brazing Qualifications*. The American Society Of Mechanical Engineers, New York. 2010.
4. ASTM E 340–2000 :*Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys*. American Society fo Testing & Materials, United States. 2002.
5. Benedyk, Joseph C. *International Temper Designation System for Wrought Aluminum Alloys : Part 1 – Strain Hardenable (H Temper) Aluminum Alloys*. 2009.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 28 Nopember 1990 dengan nama Mochammad Sholichuddin. Penulis merupakan anak kedua dari tiga saudara. Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu TK Iskandar Sa'id Surabaya, SD Islam Iskandar Sa'id Surabaya, SMP Negeri 17 Surabaya, SMK Negeri 3 Surabaya. Setelah lulus SMK di tahun 2009, penulis kemudian melanjutkan studinya di Progam Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya dengan NRP

2109 030 088, dan mengambil bidang studi Manufaktur. Dalam mengikuti proses pembelajaran, penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Semen Gresik (Persero).

Penulis juga aktif dalam bidang organisasi mahasiswa diantara pernah menjabat sebagai staff Lembaga Minat Bakat Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin ITS periode 2010/2011 dan kemudian menjabat di bidang yang sama pada periode berikutnya. Penulis juga turut serta dalam mengikuti kegiatan non akademik baik di luar jurusan maupun di dalam jurusan seperti mengikuti pelatihan LKMM (Pra-TD,TD), Pelatihan Motor Bakar, mengikuti seminar-seminar dan lain-lain.

Lampiran 1

**TABLE 2
MECHANICAL PROPERTY LIMITS FOR NONHEAT-TREATABLE ALLOY (A, B) (CONT'D)**

Temper	Specified Thickness, in.	Tensile Strength, ksi		Yield Strength (0.2% offset), ksi		Elongation in 2 in. or 4× Diameter, min, %	Bond Diameter Factor, <i>N</i>
		min	max	min	max		
Alloy 5083							
O	0.051-1.500	40.0	51.0	18.0	29.0	16	...
	1.501-3.000	39.0	50.0	17.0	29.0	16	...
	3.001-4.000	38.0	...	16.0	...	16	...
	4.001-5.000	38.0	...	16.0	...	14	...
	5.001-7.000	37.0	...	15.0	...	14	...
	7.001-8.000	36.0	...	14.0	...	12	...
H32	0.125-0.187	44.0	56.0	31.0	43.0	10	...
	0.188-1.500	44.0	56.0	31.0	43.0	12	...
	1.501-3.000	41.0	56.0	29.0	43.0	12	...
H112	0.250-1.500	40.0	...	18.0	...	12	...
	1.501-3.000	39.0	...	17.0	...	12	...
F (D)	0.250-8.000	...	...	...	...	...	...

**TABLE A2
GUIDE TO THE CHOICE OF FILLER METAL FOR GENERAL PURPOSE WELDING**

Base Metal	201.0	319.0, 339.0, 306.0, 224.0	356.0, A356.0, 357.0, A357.0, 412.0, 442.0, 444.0	S11.0, S12.0, S13.0, S14.0, 712.0	7004, 7005, 7009, 710.0	6009, 6010, 6070	6005, 6061, 6063, 6101, 6151, 6261	5456	5454
1090, 1100, 1100, 1190	ER209	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
2014, 2024, AlC 3002	ER209	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
2214	ER209	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3004, AlC 3004	ER3004	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3003, 5006	ER3003	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3002, 5002	ER3002	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3002	ER3002	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3003	ER3003	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3004	ER3004	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3005	ER3005	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3006	ER3006	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3007	ER3007	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3008	ER3008	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3009	ER3009	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3010	ER3010	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3011	ER3011	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3012	ER3012	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3013	ER3013	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3014	ER3014	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3015	ER3015	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3016	ER3016	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3017	ER3017	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3018	ER3018	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3019	ER3019	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3020	ER3020	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3021	ER3021	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3022	ER3022	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3023	ER3023	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3024	ER3024	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3025	ER3025	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3026	ER3026	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3027	ER3027	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3028	ER3028	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3029	ER3029	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3030	ER3030	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3031	ER3031	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3032	ER3032	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3033	ER3033	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3034	ER3034	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3035	ER3035	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3036	ER3036	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3037	ER3037	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3038	ER3038	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3039	ER3039	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3040	ER3040	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3041	ER3041	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3042	ER3042	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3043	ER3043	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3044	ER3044	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3045	ER3045	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3046	ER3046	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3047	ER3047	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3048	ER3048	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3049	ER3049	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3050	ER3050	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3051	ER3051	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3052	ER3052	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3053	ER3053	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3054	ER3054	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3055	ER3055	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3056	ER3056	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3057	ER3057	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3058	ER3058	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3059	ER3059	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3060	ER3060	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3061	ER3061	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3062	ER3062	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3063	ER3063	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3064	ER3064	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3065	ER3065	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3066	ER3066	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3067	ER3067	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3068	ER3068	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3069	ER3069	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3070	ER3070	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3071	ER3071	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3072	ER3072	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3073	ER3073	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3074	ER3074	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3075	ER3075	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3076	ER3076	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3077	ER3077	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3078	ER3078	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3079	ER3079	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3080	ER3080	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3081	ER3081	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3082	ER3082	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3083	ER3083	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3084	ER3084	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454
3085	ER3085	ER319	ER356 ¹	ER110	ER7004	ER6009	ER6005	ER5456	ER5454

Lampiran 2

TABLE 2
CHEMICAL COMPOSITION LIM ITS AS¹

A type	Silicon ²	Iron	Copper	Magnesium	Manganese	Chromium	Zinc	Bismuth	Lead	Tin	Other Element ³	
											Each	Total
1006	0.24	0.25	0.05	0.03	0.03	..	0.04	..	0.03	0.02	0.02	0.02
1100	0.10-0.31	0.17	0.00-0.20	0.03	..	..	0.01	..	0.03	0.03	0.02	0.10
2101	0.40	0.30-0.52	0.05-0.20	0.03	..	..	0.30	0.20-0.50	0.03	0.03	0.02	0.10
2106	0.30-1.2	0.17	0.0-0.12	0.01-0.17	0.20-0.18	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10
2107	0.20-0.6	0.17	0.0-0.12	0.00-0.12	0.40-0.10	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10
2104	0.30	0.50	0.00-0.10	0.00-0.10	0.20-0.10	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10
2204	0.20	0.30	0.0-0.10	0.00-0.10	0.20-0.10	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10
1002	0.30	0.17	0.00-0.20	0.00-0.10	0.20-0.10	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10
1007	0.20	0.40	0.10	0.10	0.20-0.10	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10
1006	0.30	0.40	0.10	0.10	0.20-0.10	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10
1004	0.20	0.40	0.10	0.10	0.20-0.10	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10
1005	0.30-0.3	0.17	0.00-0.10	0.00-0.10	0.20-0.10	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10
1001	0.40	0.20	0.00-0.10	0.00-0.10	0.20-0.10	0.10	0.20	..	0.10	0.10	0.05	0.10

1. Limits of iron, lead, bismuth, tin, and zinc are shown in this table.

2. Allowable limits for maximum iron and lead are shown in this table. For purposes of determining lead content, the limit is an average value of a calculated value obtained from analysis of the test right hand piece of pipe that is representative of the lot, in accordance with the sampling-off method of Paragraph 3.3.

3. Copper is only listed because of its use in specific limits, as shown in certain alloy grades. Other elements, should not be added to the composition of the alloy unless they are necessary for the production of the product in the form of an alloy.

4. The limits of lead, bismuth, tin, and zinc are shown in this table. These elements are not to be added to the composition of the alloy unless they are necessary for the production of the product in the form of an alloy.

5. The limits of lead, bismuth, tin, and zinc are shown in this table. These elements are not to be added to the composition of the alloy unless they are necessary for the production of the product in the form of an alloy.

6. The limits of lead, bismuth, tin, and zinc are shown in this table. These elements are not to be added to the composition of the alloy unless they are necessary for the production of the product in the form of an alloy.

7. The limits of lead, bismuth, tin, and zinc are shown in this table. These elements are not to be added to the composition of the alloy unless they are necessary for the production of the product in the form of an alloy.

8. The limits of lead, bismuth, tin, and zinc are shown in this table. These elements are not to be added to the composition of the alloy unless they are necessary for the production of the product in the form of an alloy.

Lampiran 3

TABLE 1
CHEMICAL COMPOSITION LIMITS (A, B, C)

Alloy	Silicon	Iron	Copper	Manganese	Magnesium	Chromium	Zinc	Titanium	Other Elements (D)		Aluminum
									Each	Total (E)	
1060	0.25	0.35	0.02	0.02	0.02	—	0.02	0.02	0.05 (F)	—	99.00 min (L)
1100	0.15 Si + Fe	0.02-0.20	0.02	—	—	0.10	—	0.02	0.10	—	99.00 min (L)
1250 (H)	0.70 Si + Fe	0.10	0.02	0.02	—	0.10	—	0.02	0.05 (F)	—	99.20 min (L)
2014	0.05-1.2	0.1	3.9-9.0	0.40-1.2	0.20-0.6	0.10	0.25	0.15	0.05	0.15	remainder
Alkal 2014	—	—	—	—	—	—	2014 clad with 5005	—	—	—	—
2024	0.30	0.50	3.8-6.9	0.20-0.9	0.2-1.8	0.10	0.25	0.15	0.05	0.15	remainder
Alkal 2024	—	—	—	—	—	—	2024 clad with 1236	—	—	—	—
2124	0.20	0.30	3.8-6.9	0.30-0.9	1.2-1.8	0.10	0.25	0.15	0.05	0.15	remainder
2219	0.20	0.30	5.8-6.2	0.20-0.40	0.02	—	0.10	0.02-0.10	0.05 (H)	0.15 (H)	remainder
Alkal 2219	—	—	—	—	—	—	2219 clad with 7072	—	—	—	—
3003	0.4	0.7	0.02-0.20	1.0-1.5	—	—	0.10	—	0.05	0.15	remainder
Alkal 3003	—	—	—	—	—	—	3003 clad with 7072	—	—	—	—
3004	0.30	0.7	0.25	1.0-1.5	0.8-1.5	—	0.25	—	0.05	0.15	remainder
Alkal 3004	—	—	—	—	—	—	3004 clad with 7072	—	—	—	—
3005	0.4	0.7	0.30	1.0-1.5	0.20-0.6	0.10	0.25	0.10	0.05	0.15	remainder
3105	0.4	0.7	0.30	0.30-0.8	0.20-0.8	0.20	0.40	0.10	0.05	0.15	remainder
3009	0.30	0.7	0.20	0.20	0.30-1.1	0.10	0.25	—	0.05	0.15	remainder
3010	0.40	0.7	0.25	0.10-0.20	0.20-0.6	0.10	0.30	0.10	0.05	0.15	remainder
3030	0.40	0.7	0.20	0.10	0.1-1.8	0.10	0.25	—	0.05	0.15	remainder
3037	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2-2.8	0.15-0.35	0.10	—	0.05	0.15	remainder
3039	0.45	0.50	0.25	0.6-1.2	5.0-6.0	0.25	0.40-0.9	0.20	0.05 (J)	0.15	remainder
3083	0.40	0.40	0.10	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	remainder
3086	0.40	0.50	0.10	0.26-0.7	3.5-4.5	0.05-0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	remainder
3136	0.25	0.40	0.10	0.10	3.1-3.9	0.15-0.35	0.20	0.20	0.05	0.15	remainder
3257	0.04	0.10	0.10	0.10	2.2-2.8	—	0.05	—	0.05 (F)	0.10 (F)	remainder
3294	0.40 Si + Fe	0.02	0.02	0.01	0.1-0.9	0.15-0.35	0.20	0.05	0.02	0.15	remainder
3456	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20	0.25	0.20	0.05	0.15	remainder
3456	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20	0.25	0.20	0.05	0.15	remainder
3473	0.06	0.10	0.20	0.15-0.45	0.0-1.7	—	0.05	—	0.05 (F)	0.10 (F)	remainder
3602	0.80 Si + Fe	0.04	0.01	2.2-2.8	0.15-0.35	0.10	—	—	0.05	0.15	remainder
3607	0.06	0.10	0.10	0.03	0.6-1.0	—	0.05	—	0.02 (K)	0.02 (K)	remainder
5754	0.40	0.40	0.10	0.50 (L)	2.6-3.6	0.30 (L)	0.20	0.15	0.05	0.15	remainder
6003 (H)	0.25-1.0	0.6	0.10	0.8	0.8-1.5	0.35	0.20	0.10	0.05	0.15	remainder
6033	0.6-1.0	0.50	0.6-1.1	0.20-0.8	0.8-1.7	0.10	0.25	0.10	0.05	0.15	remainder
6061	0.02-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	0.25	0.15	0.05	0.15	remainder

TABLE 1
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR ALUMINUM ELECTRODES AND RODS

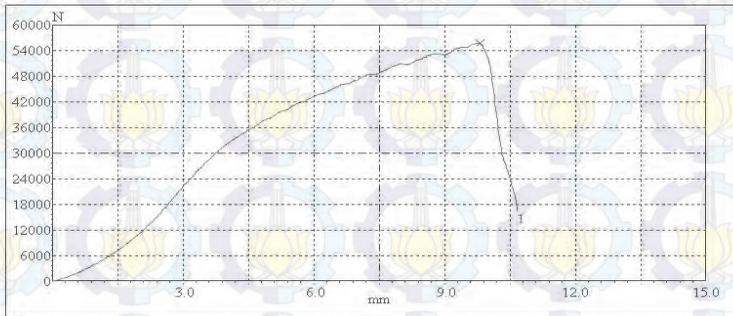
AWS Classification	UNS Number ^a	Weight Percent ^b											Other Elements			
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Each	Total	Al			
E11100	A91100	d	d	0.05-0.20	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	99.0 min ^d
R1100	A91100	d	d	0.05-0.20	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	99.0 min ^d
E1188 ^h	A91188	0.06	0.06	0.005	0.01	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01 ^f	99.88 min ^d
R1188 ^h	A91188	0.06	0.06	0.005	0.01	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01 ^f	99.88 min ^d
E2319 ^h	A92319	0.20	0.30	5.8-6.8	0.20-0.40	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R2319 ^h	A92319	0.20	0.30	5.8-6.8	0.20-0.40	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E4009	A94009	4.5-5.5	0.20	1.0-1.5	0.10	0.45-0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R4009	A94009	4.5-5.5	0.20	1.0-1.5	0.10	0.45-0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E4010	A94010	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.30-0.45	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R4010	A94010	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.30-0.45	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E4011 ^h	A94011	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.45-0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R4011 ^h	A94011	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.45-0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E4031	A94031	4.5-6.0	0.8	0.30	0.05	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R4031	A94031	4.5-6.0	0.8	0.30	0.05	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E4047	A94047	11.0-13.0	0.8	0.30	0.15	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R4047	A94047	11.0-13.0	0.8	0.30	0.15	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E4145	A94145	9.3-10.7	0.8	3.3-4.7	0.15	0.15	0.15	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R4145	A94145	9.3-10.7	0.8	3.3-4.7	0.15	0.15	0.15	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E4643	A94643	3.6-4.6	0.8	0.10	0.05	0.10-0.30	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R4643	A94643	3.6-4.6	0.8	0.10	0.05	0.10-0.30	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E5183	A95183	0.40	0.40	0.10	0.50-1.0	4.3-5.2	0.05-0.25	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R5183	A95183	0.40	0.40	0.10	0.50-1.0	4.3-5.2	0.05-0.25	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E5356	A95356	0.25	0.40	0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R5356	A95356	0.25	0.40	0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E5554	A95554	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R5554	A95554	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
E5556	A95556	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder
R5556	A95556	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20	—	—	—	—	—	—	—	0.05 ^c	Remainder

Lampiran 6

Hasil uji tarik pada pengelasan dengan filler ER4043, spesimen 1.

UJI TARIK

Test No.	Sample	Y.P	Y.S	Peak	100%	200%	300%
		N	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf
1		31168.68	3178.34	5685.42	-	-	-
----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----
Average	----	31168.68	3178.34	5685.42	0.000	0.000	0.000

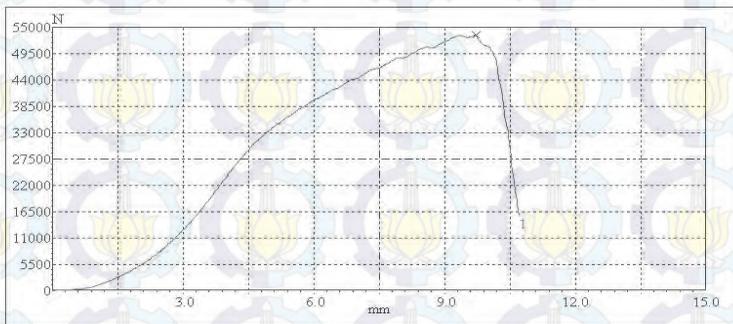


Lampiran 7

Hasil uji tarik pada pengelasan dengan filler ER4043, spesimen 2

UJI TARIK

Test No.	Sample	Y.P	Y.S	Peak	100%	200%	300%
	N	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf
1	31334.10	3195.20	3195.20	5448.62	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
Average	---	3195.10	3195.20	5448.62	0.000	0.000	0.000

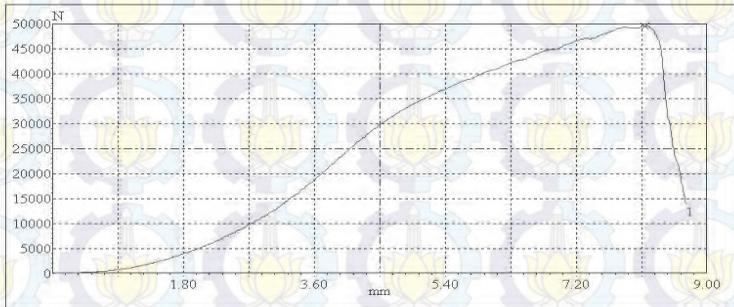


Lampiran 8

Hasil uji tarik pada pengelasan dengan filler ER4043, spesimen 3

UJI TARIK

Test No.	Sample	Y.P.	Y.S.	Peak	100%	200%	300%
		N	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf
1		31426.05	3204.58	5060.06	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
Average	---	31426.05	3204.58	5060.06	0.000	0.000	0.000

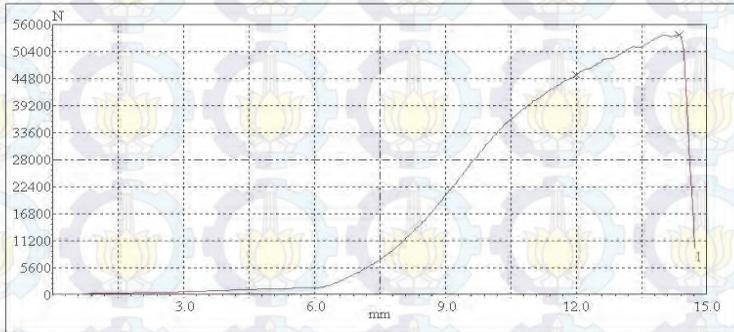


Lampiran 9

Hasil uji tarik pada pengelasan dengan filler ER5356, spesimen 1

UJI TARIK

Test No.	Sample	Y.P. N	Y.S kgf	Peak kgf	100% kgf	200% kgf	300% kgf
1		36010.35	3672.05	5501.35	4654.307	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
Average	---	36010.35	3672.05	5501.35	4654.307	0.000	0.000

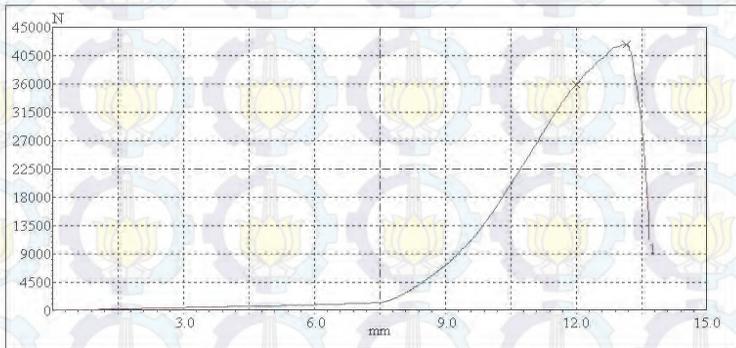


Lampiran 10

Hasil uji tarik pada pengelasan dengan filler ER5356, spesimen 2

UJI TARIK

Test No.	Sample	Y.P N	Y.S kgf	Peak kgf	100% kgf	200% kgf	300% kgf
1		38577.65	3933.85	4314.56	3660.164	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
Average	---	38577.65	3933.85	4314.56	3660.164	0.000	0.000



Lampiran 11

Hasil uji tarik pada pengelasan dengan filler ER5356, spesimen 3

UJI TARIK

Test No.	Sample	Y.P N	Y.S kgf	Peak kgf	100% kgf	200% kgf	300% kgf
1		38208.51	3896.20	4157.16	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
Average	---	38208.51	3896.20	4157.16	0.000	0.000	0.000

