TUGAS AKHIR – TM 145502

PENGARUH BEVEL GROOVE DAN V GROOVE PADA *LOW CARBON STEEL* SA36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7016 TERHADAP KEKUATAN TARIK, MAKRO ETSA, DAN KEKERASAN

MOCH FAROBI ALIVIYAN
NRP. 102115 00000 033

Dosen Pembimbing
Ir. Subowo, M.Sc.
NIP. 19581004 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR – TM 145502

PENGARUH BEVEL GROOVE DAN V GROOVE PADA *LOW CARBON STEEL* SA36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7016 TERHADAP KEKUATAN TARIK, MAKRO ETSA, DAN KEKERASAN

MOCH FAROBI ALIVIYAN
NRP. 102115 00000 033

Dosen Pembimbing
Ir. Subowo, M.Sc.
NIP. 19581004 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR – TM 145502

THE EFFECT BEVEL GROOVE AND V GROOVE AT LOW CARBON STEEL SA 36 USING WELDING OF SMAW WITH ELECTRODE E7016 TOWARD TENSIL STRENGTH, MACRO ETCHING, AND HARDNESS

MOCH FAROBI ALIVIYAN
NRP. 102115 00000 033

Lecture Concellor
Ir. Subowo, M.Sc.
NIP. 19581004 198701 1 001

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH BEVEL GROOVE DAN V GROOVE PADA *LOW CARBON STEEL* SA36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7016 TERHADAP KEKUATAN TARIK, MAKRO ETSA, DAN KEKERASAN

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

MOCH. FAROBI ALIVIYAN

NRP. 10211500000033

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing 1

Ir. Subowo, MSc

19581004 198701 1 001

SURABAYA,
JULI 2018

PENGARUH BEVEL GROOVE DAN V GROOVE PADA *LOW CARBON STEEL* SA36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7016 TERHADAP KEKUATAN TARIK, MAKRO ETSA, DAN KEKERASAN

Nama Mahasiswa	**: Moch. Farobi Aliviyan**
NRP	**: 10211500000033**
Jurusan	**: Departemen Teknik Mesin Industri**
Dosen Pembimbing	**: Ir. Subowo, M.Sc.**

Abstrak

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) tepatnya pada teknologi pengelasan dewasa ini telah banyak dipergunakan secara luas pada penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Sehingga pengetahuan mengenai teknologi pengelasan sangat diperlukan untuk mencapai kesesuaian antara hasil yang diinginkan dengan proses pengelasan yang mungkin dilakukan agar diperoleh hasil yang optimal.

Dalam tugas akhir ini pengelasan yang digunakan las SMAW. Salah atu jenis sambungan las yang perlu dikaji lebih lanjut adalah sambungan las dengan groove v dan bevel. Pemilihan jenis groove tersebut didasarkan pada adanya kecenderungan pemakaiannya yang lebih umum. Selanjutnya untuk mengetahui kekuatan sambungan dari kedua bentuk groove dengan mengamati sifat mekanik dan struktur makro.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pengelasan SMAW pada baja SA 36 dengan bentuk bevel groove lebih kuat dibandingkan v groove dikarenakan nilai kekuatan tarik yang diperoleh pada bentuk bevel groove lebih tinggi. Berdasarkan hasil pengujian tarik didapatkan hasil tegangan tarik pada bevel groove mencapai 464.483 N/mm^2. Pada hasil penelitian berdasarkan hasil uji struktur makro terlihat HAZ pada las dengan bevel groove lebih kecil dibandingkan dengan v groove. Sehingga pada pengujian ini bevel groove didapatkan sebagai hasil pengelasan yang lebih baik daripada v groove. Berdasarkan pengujian kekerasan yang dilakukan pada baja SA36 dengan bentuk groove berbeda memunculkan hasil kekerasan yang berbeda pula dimana hasil dari v groove lebih rendah akan kekerasannya dibandingkan bevel groove.

Kata Kunci : IPTEK, Pengelasan, SMAW, Bevel Groove, V Groove, Sifat Mekanik

THE EFFECT BEVEL GROOVE AND V GROOVE AT LOW CARBON STEEL SA 36 USING WELDING OF SMAW WITH ELECTRODE E7016 TOWARD TENSIL STRENGTH, HARDNESS, AND MACRO ETCHING

Name ***: Moch. Farobi Aliviyan***
NRP ***: 10211500000033***
Department ***: Industrial Mechanical Engineer ITS***
Advisor ***: Ir. Subowo, M.Sc.***

Abstract

Development of science and technology (science and technology) precisely in today's welding technology has been widely used widely in connecting rods in steel building construction and construction machinery. So that knowledge of welding technology is required to achieve compatibility between the desired result with the welding process may be done in order to obtain optimal results.

In this thesis the use of welding SMAW welding. One type of welded joints that need to be explored further is the connection with a groove weld v and bevel. Groove type selection is based on the tendency of the more common usage. Furthermore, to know the strength of the connection of these two forms of groove to observe the macrostructure and mechanical properties.

From the test results that have been done on the SMAW welding steel SA 36 with bevel groove shape is stronger than v groove due to the tensile strength values obtained in the form of higher bevel groove. Based on the results of tensile test results obatained on the bevel groove tensile stress reaches 464.483 *N/mm*^{2}*. Based on test results shows that the macrostructure test looks HAZ on welding with bevel groove is smaller than the v groove. So at this testing bevel groove weld is obtained as a result better than the v groove. Based on hardness testing performerd on SA36 steel with grooves of different forms of violence that led to different results in wich the results of the v groove would lowe hardness than the bevel groove.*

Keywords : Science and Technology, Welding, SMAW, Bevel Groove, V Groove, Mechanical Properties

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Panyayang, penulis panjatkan puja dan puji syukur atas kehadirat-Nya, serta tak lupa sholawat dan salam saya ucapkan kepada Rasullullah Muhammad SAW. Berkat rahmat dan karunia Allah SWT sehingga, penulis dapat menyelesaikan seluruh pengerjaan tugas akhir dengan judul: "**PENGARUH BEVEL GROOVE DAN V GROOVE PADA *LOW CARBON STEEL* SA 36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7016 TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN MAKRO ETSA".**

Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan kerja sama yang baik dari semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat di dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Madelal dan Ibu Desi Yanti serta adik tercinta atas kasih sayang, doa, dan dukungannya baik berupa moril maupun materiil yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis.
2. Bapak Ir. Subowo, M.Sc. Selaku Dosen pembimbing dan juga dosen wali yang sabar membimbing penulis sejak menjadi mahasiswa baru sampai berakhirnya masa studi penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
4. Bapak Ir. Suhariyanto MT. Selaku koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
5. Bapak/Ibu dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan dan pengembangan Tugas Akhir ini., yang telah memberikan ilmunya dan membantu selama duduk dibangku kuliah.

6. Kevin, Alfi, Dharma, dan Alda selaku kelompok praktikum pompa penulis, yang telah memberikan bantuan dan masukan agar terselesaikannya Tugas Akhir ini.
7. Partner tugas akhir Dio, Arga, Fafa, dan Bayu.
8. Ganggit, Amka, Keceng, dan teman-teman 119 yang mendukung terselesaikannya Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman D3MITS khususnya angkatan 2015 terimakasih atas bantuan yang sudah diberikan.
10. Azizah Intan Maharani teman dekat penulis yang selalu membeikan motivasi kepada penulis mulai dari awal hingga selesai tugas akhir ini
11. Serta semua pihak yang belum tertulis yang telah berperan dalam pengerjaan laporan ini.

Semoga semua doa, semangat dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT.

Saya sebagai makhluk Allah SWT, manusia biasa. Saya menyadari bahwasannya penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat beberapa kesalahan, keterbatasan serta kekurangan. Oleh karena itu , saya mengharapkan kritik dan saran sebagai masukan untuk penulis dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL (Versi Bahasa Indonesia)
JUDUL (Versi Bahasa Inggris)
LEMBAR PENGESAHAN.....iii
ABSTRAK.....iv
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL.....xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....xiv

BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah.....2
1.4 Tujuan.....3
1.5 Manfaat Penelitian.....3
1.6 Metodologi Penelitian 4
1.7 Sistematika Penulisan.....4

BAB II DASAR TEORI
2.1 Logam Induk 7
2.1.1 Kandungan Karbon.....9
2.1.2 Material SA 36 11
2.2 Definisi Pengelasan 12
2.2.1 SMAW 14
2.2.2 Kawat Las.....17
2.2.3 Bahan Fluks.....21
2.2.4 Posisi Pengelasan 24
2.3 Metalurgi Las 26
2.3.1 Sifat Mekanik material 26
2.3.2 Masukan Panas.....28
2.3.3 Makro Etsa 29

2.3.4 Kekerasan 32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Diagram Alir Penelitian.....35
3.2 Studi Literatur 36
3.3 Persiapan Alat dan Bahan.....36
3.3.1 Material Baja Karbon Rendah SA36 36
3.3.2 Mesin Pengelasan SMAW.....36
3.3.3 Elektroda 88
3.3.4 Alat Pemotong.....38
3.3.5 Kertas Gosok 39
3.4 Pembuatan Benda Kerja Pengelasan 39
3.5 Pembuatan Benda Kerja untuk Pengujian 40
3.5.1 Benda Uji Tarik.....41
3.5.2 Benda Uji Makro Etsa 42
3.5.3 Benda Uji Kekerasan.....43
3.6 Pengujian.....45
3.6.1 Pengujian Tarik 45
3.6.2 Pengujian Makro Etsa 46
3.6.3 Pengujian Kekerasan 47

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN
4.1 Parameter Pengelasan.....49
4.2 Data Hasil Penelitian.....50
4.2.1 Pengujian Tarik 50
4.2.2 Pengujian Makro Etsa 53
4.2.3 Pengujian Kekerasan 55
4.3 Pembahasan Hasil Pengujian.....59
4.3.1 Pembahasan Hasil Pengujian Tarik 59
4.3.2 Pembahasan Hasil Pengujian Makro Etsa 59
4.3.3 Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan.....60

BAB V PENUTUP
5.1 Kesimpulan.....61
5.2 Saran.....62

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis 9
Gambar 2.2 Pengelasan SMAW 14
Gambar 2.3 Polaritas pada Las SMAW 17
Gambar 2.4 Posisi Pengelasan 1G 24
Gambar 2.5 Posisi Pengelasan 2G 24
Gambar 2.6 Posisi Pengelasan 3G 25
Gambar 2.7 Posisi Pengelasan 4G 25
Gambar 2.8 Daerah Hasil Pengelasan.....29
Gambar 2.9 HAZ 31
Gambar 2.10 Rumus HAZ 31
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 35
Gambar 3.2 Mesin Las SMAW 36
Gambar 3.3 Palu Terak 37
Gambar 3.4 Sarung Tangan, Helm Welder, Sikat 37
Gambar 3.5 Tang Ampere 38
Gambar 3.6 Alat Pemotong 38
Gambar 3.7 Kertas Gosok.....39
Gambar 3.8 Material Pengelasan 39
Gambar 3.9 Material Pengelasan dengan Model Bevel Groove 40
Gambar 3.10 Material Pengelasan dengan Model V Groove 40
Gambar 3.11 *ASME Standart for Tensile* 41
Gambar 3.12a Material Uji Tarik Bevel Groove 41
Gambar 3.12b Material Uji Tarik V Groove 42
Gambar 3.13a Benda Kerja Makro Etsa Bevel Groove....42
Gambar 3.13b Benda Kerja Makro Etsa V Groove 42
Gambar 3.14a Material Uji Kekerasan Bevel Groove.....43
Gambar 3.14b Material Uji Kekerasan V Groove 43
Gambar 3.15a Penitikan pada Bevel Groove.....44
Gambar 3.15b Penitikan pada V Groove 44
Gambar 3.16 Alat Uji Kekerasan Rockwell 47

Gambar 4.1 *Grafik Ultimate Tensile Strength* 51
Gambar 4.2 Pengujian Tarik pada Bevel Groove 52
Gambar 4.3 Pengujian Tarik pada V Groove.....52
Gambar 4.4 Pengujian Tarik pada V Groove.....52
Gambar 4.5a Lebar HAZ Bevel Groove.....53
Gambar 4.5a Lebar HAZ V Groove 53
Gambar 4.6a Daerah Indentasi Untuk Bevel Groove 55
Gambar 4.6b Daerah Indentasi Untuk V Groove 55
Gambar 4.7 Grafik Hasil Rata-Rata Pengujian Kekerasan 58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon.....8
Tabel 2.2 Karakteristik dari Lima Elemen pada Baja.....10
Tabel 2.3 Nilai *Chemical Composition dalam Persen* 12
Tabel 2.4 Sifat Mekanik SA 36 12
Tabel 2.5 Posisi Pengelasan pada Kodefikasi 'A' 19
Tabel 2.6 Karakteristik Digit Keempat (huruf B)
Tipe flux dan Arus Listrik 19
Tabel 2.7 Syarat Penyimpanan Elektroda
Sesuai AWS.....21
Tabel 2.8 Beban Indentor dan Skala pada
Metode Uji Kekerasan Rockwell.....33
Tabel 2.9 Keterangan Skala.....33
Tabel 4.1 Parameter Pengelasan.....49
Tabel 4.1 Masukan Panas 49
Tabel 4.3 Data Pengujian Tarik.....50
Tabel 4.4 Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro
pada Benda Kerja Bevel Groove 54
Tabel 4.5 Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro
pada Benda Kerja V Groove 54
Tabel 4.6 Lebar Weld Metal.....54
Tabel 4.7 Data Pengujian Kekerasan pada V Groove 56
Tabel 4.8 Data Pengujian Kekerasan pada
Bevel Groove.....57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Mill Certificate* ..... a
Lampiran 2 Tabel ASME Sec II Material SA 36..... b
Lampiran 3 Tabel Macam-Macam Groove..... c
Lampiran 4 Tabel Simbol Groove pada Pengelasan ..... d
Lampiran 5 Grafik Uji Tarik Benda Kerja
1 V Groove..... e
Lampiran 6 Grafik Uji Tarik Benda Kerja
2 V Groove..... f
Lampiran 7 Grafik Uji Tarik Benda Kerja
3 V Groove..... g
Lampiran 8 Grafik Uji Tarik Benda Kerja
1 Bevel Groove..... h
Lampiran 9 Grafik Uji Tarik Benda Kerja
2 Bevel Groove..... i
Lampiran 10 Grafik Uji Tarik Benda Kerja
3 Bevel Groove..... j
Lampiran 11 Data Sekunder Struktur Mikro ..... k

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) di era sekarang sangatlah maju. Perkembangan teknologi yang pesat inilah harus diimbangi oleh sumber daya manusia yang ada. Teknologi pengelasan merupakan suatu jenis teknologi yang sering digunakan dalam proses manufaktur. Teknologi pengelasan memberikan pengaruh besar dalam kemajuang ilmu pengetahuan. Seiring dengan perkembangan suatu teknologi, berbagai metode pengelasan juga berkembang dan memberikan andil dalam menghasilkan produk yang berkualitas. Sehingga pengetahuan mengenai tekonologi pengelasan sangat diperlukan untuk mencapai kesesuaian antara hasil yang diinginkan dengan proses pengelasan yang mungkin dilakukan agar diperoleh hasil yang optimal dan berkualitas tinggi.

Pada area industrialisasi dewasa ini teknik pengelasan telah banyak dipergunakan secara luas pada penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan teknik penyambungan menjadi ringan dan lebih sederhana dalam proses pembuatannya. Pengelasan merupakan bagian tak terpisahkan dari pertumbuhan peningkatan industri karena memegang peran utama dalam rekayasa dan reparasi produk logam. Prosedur pengelasan sendiri menurut Harsono W dan Toshie O (1985) kelihatannya sederhana, tetapi sebenarnya didalamnya banyak masalah yang harus diatasi. Karena itu dalam pengelasan, pengetahuan harus berperan serta dalam praktek.

Dalam memilih proses pengelasan harus dititik beratkan pada proses yang paling sesuai dengan tiap-tiap sambungan yang diinginkan. Dalam hal ini dasarnya adalah efisiensi tinggi, biaya yang murah, penghematan tenaga, dan penghematan energi sejauh mungkin. Mutu dari hasil pengelasan disamping tergantung dari

pengerjaan lasnya sendiri dan juga sangat tergantung dari persiapan sebelum pelaksanaan pengelasan. Salah satu faktor adalah jenis sambungan las. Sambungan las sendiri mempengaruhi kekuatan hasil pengelasan, sehingga pemilihannya perlu diperhatikan sesuai dengan syarat dan kriteria yang ada.

Pada penelitian ini pengelasan yang digunakan las Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Salah satu sambungan yang perlu dikaji adalah sambungan dengan model bevel groove dan V groove. Pemilihan jenis groove didasarkan pada kecenderungan pemakaiannya yang lebih umum.

Maka dari itu untuk mengusahakan hasil pengelasan yang baik dan berkualitas maka perlu memperhatikan sifat-sifat bahan yang akan dilas. Untuk itu penelitian tentang pengelasan sangat mendukung dalam rangka memperoleh hasil pengelasan yang baik.

Untuk dapat mengetahui pengaruh hasil pengelasan las SMAW pada plat baja terhadap uji tarik, makro etsa, dan uji kekerasan dari pengelasan maka perlu dilakukan pengujian terhadap benda uji hasil pengelasan.

1.2 Rumusan Masalah

Bertolak dari latar belakang maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu :

- Bagaimanakah perubahan sifat mekanik yang terjadi pada plat baja SA 36 pada jenis groove berbeda antara V groove dan bevel groove dengan mengamati hasil pengujian tarik, makro etsa, dan kekerasan.

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini lebih mengarah ke tujuan penelitian dengan membatasi pokok permasalahan sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan adalah plat baja SA 36 dengan tebal 6 mm.

2. Pengelasan yang dilakukan adalah las SMAW dengan elektroda tipe E7016 berdiamter 2.6 mm.
3. Arus yang digunakan 60-90A
4. Voltase yang digunakan 20-30V
5. Jumlah layer yang digunakan adalah dua layer
6. Polaritas yang digunakan DCRP
7. Sudut pengelasan 70°
8. Posisi pengelasan 3G
9. Model groove menggunakan bentuk bevel dan V groove, dengan sudut sesuai standart ASME 30° dan 60°.
10. Pengujian sifat mekanik :
    a. Uji tarik
    b. Uji makro etsa
    c. Uji kekerasan

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik serta mengamati nilai kekerasan dan struktur makro pada proses penyambungan plat SA 36 menggunakan las SMAW dengan variasi bentuk grove yang berbeda

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui sifat mekanik dari pengelasan menggunakan las SMAW dengan bentuk groove yang berbeda antara V groove dan bevel groove yang didapatkan dari pengujian tarik, kekerasan, dan makro etsa yang terjadi pada plat baja SA 36.
2. Dari data-data yang ada dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya dan bagi perusahaan yang bekerjasama dengan penulis.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan Penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

   Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian berupa uji tarik, kekerasan, dan mikro etsa.
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing

   Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau diskusi dengan dosen pembimbing.
3. Observasi Data

   Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.
4. Analisa Data

   Menganalisa hasil pengujian tarik, kekerasan, dan struktur mikro yang terjadi pada bagian logam hasil las, *HAZ*, dan *Base Metal* setelah dilakukan pengelasan.
5. Membuat Kesimpulan

   Setelah menyelesaikan laporan Penelitian dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran jelas tugas akhir, diantaranya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi alat dan bahan, serta langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan data yang diperoleh dari percobaan atau pengujian yang dilakukan, serta analisa tentang hasil-hasil yang telah diperoleh selama percobaan dilakukan, pembahasan mengenai hubungan antara hasil percobaan dengan teori yang telah ada, dan berbagai macam analisa penunjang lain yang diperlukan.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DASAR TEORI

2.1 Logam Induk

Pada proses pengelasan tidak terlepas dari benda yang akan disambung atau yang biasanya dikenal dengan *base metal* atau *parent material.* Pada proses pengelasan *base metal* berupa baja baik karbon rendah sampai campuran. Logam baja sendiri dihasilkan dari pengolahan lanjut besi kasar pada dapur converter, Siemens Martin / dapur listrik, dimana hasil pengolahan dari dapur-dapur tersebut menghasilkan baja karbon yang mempunyai kandungan karbon maksimum 1,7%. Baja karbon sangat banyak jenisnya, dimana komposisi kimia, sifat mekanis, ukuran, bentuk, dan lain-lain dispesifikasikan untuk masing-masing penggunaan pada Standart Industri Jepang (JIS). Adapun pembagian jenis-jenis baja karbon :

1. Baja karbon rendah *(Low Carbon Steel)*
   Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3 %C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling murah diproduksi diantara semua karbon, mudah di *machining* dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Sehingga pada penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar dan lain-lain.

2. Baja karbon menengah *(Medium Carbon Steel)*
   Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,3% - 0,6%C. Baja karbon menengah memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi daripada baja karbon rendah, kekuatan tarik dan batas renggang yang tinggi, tidak mudah

dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan untuk pengelasan, dan dapat dikeraskan *(quenching)* dengan baik. Baja karbon rendah dapat digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

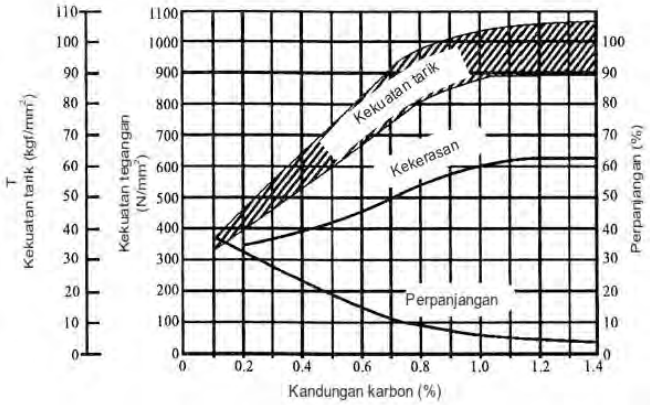
3. Baja Karbon Tinggi *(High Carbon Steel)*
   Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kandungan karbon 0,6% - 2,0%C dan memiliki tahan panas yang tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik yang paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools.* Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji dan lain-lain

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kandungan karbon	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0,08% sampai 0,3%	Baja roll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan.
Baja karbon sedang	0,31% sampai 0,6%	Baja untuk struktur mesin, poros, roda gigi, baut, mur.
Baja karbon tinggi atau baja keras	0,6% sampai 2,0%	Baja rel kereta api, baja perkakas, baja pegas, baja alat ukur

2.1.1 Kandungan karbon

Sifat baja berubah sesuai dengan kondisi pembuatan baja dan metode perlakuan panas. Sifat mekanis dari baja besar perbedaannya sesuai dengan kandungan karbon. Umumnya dengan kandungan karbon yang lebih tinggi menaikkan tegangan tarik, titik mulur dan kekerasan tetapi menurunkan *machineability* dan sifat mampu las serta cenderung retak. Maka baja bila akan dilas harus mempunyai kandungan karbon rendah.



Gambar 2.1 Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis

Selain karbon, terdapat beberapa kandungan kimia pada baja. Kandungan-kandungan yang ada pada baja tersebut memiliki fungsi atau manfaat yang berbeda. Hal tersebut dapat mempengaruhi kemampuan baja untuk dilas. Berikut kandungan-kandungannya.

Tabel 2.2 Karakteristik dari Lima Elemen pada Baja

Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silikon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3% silikon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silikon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%.
Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja	Karena penambahan fosfor

		rapuh, menyebabkan retak dingin.	mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%.
Belerang	S	Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak panas.	Karena penambahan belerang mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%. Kandungan belerang yang lebih tinggi juga menyebabkan pembentukan ikatan belerang yang menyebabkan baja retak.

2.1.2 Material SA 36

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material plat SA 36. Material SA 36 sendiri merupakan baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon 0.12% sesuai dengan *mill certificate* bahan dan memiliki kekuatan luluh minimal 36 ksi atau

setara dengan 249 MPa. Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada data dibawah ini:

Tabel 2.3 Nilai *Chemical Composition dalam Persen*

C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni
$x10^{-2}$			$x10^{-3}$			$x10^{-3}$		
12	23	74	13	8	1	2	0	2

Tabel 2.4 Sifat Mekanik SA 36

Standard	Grade	Mechanical properties					
		Tensile test (transverse)			Impact test		
		Yield strength MPa	Tensile strength MPa	Elongation %	Temp. °C	Average energy J vert.	Average energy J trans.
GB/T 700	Q235B	≥235	370-500	≥26	+20	≥27	-
JIS G3101	SS400	≥235	400-510	≥21	-	-	-
ASTM A36	A36	≥250	400-550	≥23	-	-	-
ASTM A283	Gr.C	≥205	380-515	≥22	-	-	-
EN10025	S235JR	≥235	350-510	≥26	+20	≥27	-

2.2 Definisi Pengelasan

Menurut Deustche Industry Normen (DIN), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang terjadi dalam keadaan lumer atau cair, dengan kata lain pengelasan adalah penyambungan setempat dari dua logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan (Welding) merupakan salah satu teknik penyambungan logam dengan cara sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa

tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang terus menerus. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan.

Dalam beberapa jenis pengelasan terdapat logam pelindung (flux) pada elektrodanya. Logam pelindung adalah suatu jenis pelindung sebuah elektroda yang berupa slag maupun gas. Perlu atau tidaknya logam pengisi tergantung pada jenis pengelasan yang dipakai. Penggunaannya pun harus disesuaikan dengan material yang akan dilas, baik sifat mekanik maupun kandungan yang ada didalamnya.

Pengelasan dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu :

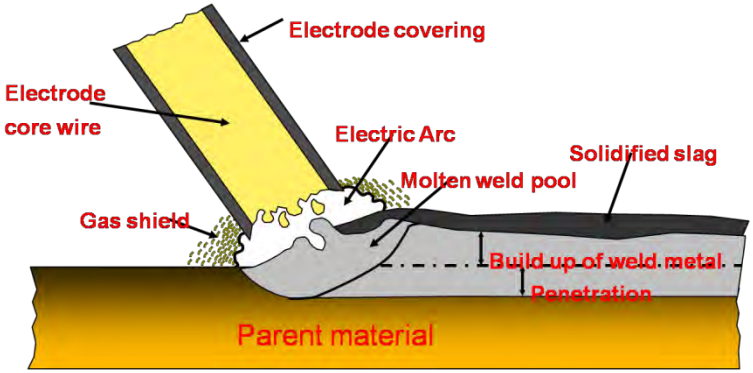
- Pengelasan mencair (fussion welding)
- Pengelasan tidak mencair (solid-state welding)
- Soldering dan brazing

Secara umum, macam-macam proses las dikelompokkan beberapa bagian, diantaranya adalah :

1. SMAW (Shielded Metal Arch Welding)
2. SAW (Submerged Arch Welding)
3. GMAW (Gas Metal Arch Welding)
4. FCAW (Flux Cored Arch Welding)
5. GTAW (Gas Tungsten Arch Welding)
6. PAW (Plasma Arch Welding)
7. OAW (Oxigen Acetylene Welding)
8. ESW (Electro Slag Welding)
9. EGW (Electrogas Welding)
10. RW (Resistance Welding)
11. FW (Flash Welding)
12. EBW (Electron Beam Welding)
13. LBW (Laser Beam Welding)
14. EXW (Explosion Welding)
15. TB (Torch Brazing)

16. FB (Furnace Brazing)
17. RB (Resistance Brazing)
18. IB (Infrared Brazing)
19. DFB (Diffusion Brazing)
20. Soldering

2.2.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)



Gambar 2.2 Pengelasan SMAW

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) juga sering disebut sebagai *stick welding*. Hal ini dikarenakan elektrodanya yang berbentuk *stick*. Las SMAW merupakan suatu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk.

Electric arc adalah arus electron yang kontinu mengalir melalui media yang pendek antara dua elektroda (+ dan -) yang diketahui dengan terjadinya energy panas dan radiasi udara atau gas antara electrode akan diionisi oleh elektron yang dipancarkan oleh katoda. Untuk menimbulkan *arc*, kedua elektroda dihubungkan singkat dengan cara digoreskan (*arc starting*) dan pada bagian yang bersentuhan ini akan terjadi pemanasan dan hal tersebut mendorong terjadinya busur listrik. Pancaran electron sendiri dipengaruhi oleh temperature dan kekuatan medan listrik. Beberapa keutungan las SMAW sebagai berikut :

1. Peralatan yang digunakan tidak rumit, tidak mahal, dan mudah dipindahkan
2. Elektrodanya telah mempunyai flux
3. Sensitivitasnya terhadap gangguan pengelasan berupa angina cukup baik
4. Dapat dipakai untuk berbagai posisi pengelasan

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir logam cair yang jatuh ke permukaan benda kerja. Transfer logam cair disebabkan oleh gaya gravitasi, ekspansi gas, listrik, dan kekuatan elektromagnetik, dan juga tegangan permukaan. Proses pengelasan dengan process SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas DCSP *(straight polarity* atau polaritas langsung) dan DCRP *(reverse polarity* atau polaritas terbalik). Perbedaan antara SMAW dengan arus AC dan DC adalah sebagai berikut :

1. Pada arus AC *(Alternating Current*), pada *voltage drop* panjang kabel tidak banyak pengaruhnya, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda

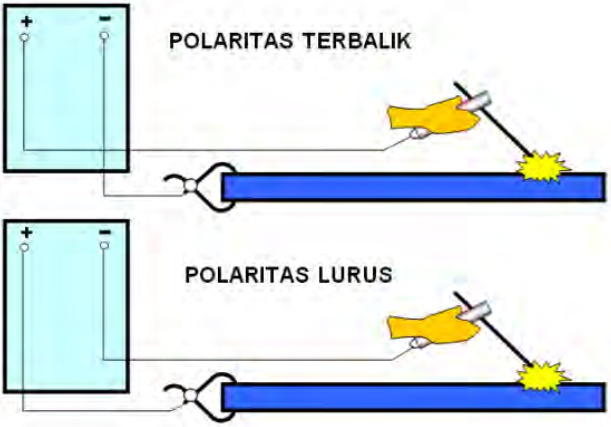
dapat dipakai, Secara teknik *arc starting* lebih sulit terutama untuk diameter elektrode kecil.

2. Pada arus DC *(Direct Current*), *voltage drop* sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil, semua jenis elektrode dapat dipakai, *arc starting* lebih mudah terutama untuk arus kecil, mayoritas industri fabrikasi menggunakan *polarity* DC khususnya untuk pengelasan *carbon steel.* namun pada prinsipnya *DC polarity* dibagi kedalam dua bagian yaitu DCSP dan DCRP.

DCSP *(Straight Polarity)* pada dasarnya material dasar (*base metal*) atau material yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) dari travo, dan elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif (-) pada travo las DC. Dengan cara ini busur listrik bergerak dari elektrode ke material dasar, yang berakibat 2/3 panas berada di material dasar dan 1/3 panas berada di elektroda. Cara ini akan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodenya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam. Sedangkan DCRP *(Reversed Polarity)* Material dasar disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodenya dihubugkan dengan kutup positif (+) dari mesin las DC, sehingga busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal.

Pada penelitian ini polritas yang digunakan adalah polaritas terbalik atau DCRP. Pemilihan jenis polaritas ini didasarkan pada material dasar yang memang memiliki

ketebalan yang dapat dikatan tipis dan elektroda yang digunakan juga mendukung alasan pemilihan polarits terbalik. Proses pemilihannya juga didasarkan pada standart pengelsan yang digunakan.



Gambar 2.3 Polaritas pada Las SMAW

2.2.2 Kawat Las (Elektroda)

Bagian terpenting dari proses pengelasan adalah kawat las. Jenis kawat las yang digunakan menentukan hasil pengelasan sehingga sangat penting untuk mengetahui jenis-jenis elektroda dan mengetahui sifatnya sebagai acuan dalam pemilihan elektroda las. Berdasarkan selaput pelindungnya elektroda dibagi menjadi dua bagian yaitu elektroda terbungkus dan elektroda tidak terbungkus.

1. Elektroda Berselaput (Terbungkus)

   Elektoda jenis ini biasanya banyak digunakan pada aplikasi las busur nyala. Dimana pembungkus kawat terbuat dari beberapa bahan seperti soda silikat, besi mangan, alumunium silikat, titan

dioksida, serbuk besi dan sebagainya. Tebal selaput ini berkisar 50-70% dari diameter kawat elektroda, tergantung pada jenis selaput elektroda tersebut. Kegunaan pembungkus ini adalah untuk melindungi cairan las, busur listrik, dan benda kerja dari pengaruh udara luar karena sewaktu terjadi nyala api, pembungkus ini terbakar dan menjadi gas pelindung yang menghasilkan CO_2.

2. Elektroda Tidak Berselaput (Tidak Terbungkus)
   Jenis elektroda ini jarang digunakan karena aplikasinya yang sulit menjaga kestabilan busur. Biasanya elektroda jenis ini digunakan pada pengelasan otomatis karena groove las memiliki bahan pengisi sendiri dan juga elektroda jenis ini menggunakan mesin las tangan yang memiliki arus searah.

Pada pengelasan SMAW, elektroda yang digunakan memiliki panjang yang berbeda-beda tergantung diameter elektroda tersebut. Semakin besar diameter elektroda, semakin panjang pula elektroda tersebut. Elektroda pada SMAW memiliki inti yang berupa logam solid dan pembungkus (fluks) yang berupa lapisan campuran bahan kimia. Elektroda dengan fluks ini memiliki perbedaan dari satu dan jenis yang lainnya. Perbedaan itu terletak pada komposisi kimia pembungkus dan kekuatan logam solid.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem *AWS* (*American Welding Society)* dan *ASTM (American Society Testing Material).*

Adapun kodefikasi dari elektroda sebagai berikut:
Contoh: E XX A B

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

XX : (dua angka) menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.

A : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

B : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan

.

Tabel 2.5 Posisi Pengelasan pada Kodefikasi 'A'

kode angka 1	untuk semua posisi
kode angka 2	untuk posisi flat dan horizontal
kode angka 3	hanya untuk posisi flat

Tabel 2.6 Karakteristik Digit Keempat (huruf B) Tipe *Flux* dan Arus Listrik

ANGKA	SUMBER ARUS		POLARITAS ELEKTRODA		TIPE SALUTAN	DAYA TEMBUS	KADAR SERBUK BESI
1	AC	DC	+		Cellulose potasium	Kuat	
2	AC	DC		-	Rutile Sodium	Medium	0-10%
3	AC	DC	+	-	Rutile Potasium	Lunak	0-10%
4	AC	DC	+	-	Rutile Iron Powder	Lunak	30-50%
5		DC	+		Low	Mediu	

					Hydrogen Sodium	m	
6	AC	DC	+	-	Low Hydrogen Potassium	Mediu m	
7	AC	DC	+	-	Iron Oxyde, Iron Powder	Lunak	50%
8	AC	DC	+		Low Hydrogen , Iron Powder	Mediu m	30-50%
9	AC	DC					
0	Ada pengecualian pada angka terakhir 0, seperti dibawah ini						
E601**0**		DC	+		Cellulose Sodium	Kuat	0-10%
E602**0**	AC	DC		-	Iron Oxyde Sodium	Mediu m	0-10%
E603**0**	AC	DC		-	Iron Oxyde	Lunak	

Elektroda SMAW perlu disimpan pada suhu yang sesuai dengan ketentuan yang ada. Hal itu dilakukan agar kualitas elektroda terjaga. Khususnya *low hydrogen*, apabila ternyata penyimpanan kurang baik sehingga meningkatkan kelembapan elektroda maka hal tersebut akan berpengaruh pada nyala busur dan kualitas gas dalam melindungi cairan las berkurang. Untuk itu, AWS memiliki standar penyimpanan dan pemanasan agar kondisi elektroda tetap baik hal itu seperti yang tertera pada table 2.7 berikut ini :

Tabel 2.7 Syarat Penyimpanan Elektroda Sesuai AWS

Syarat Penyimpanan Dan Pengeringan Elektroda			
Klasifikasi AWS	Udara luar	Oven Penyimpanan	Pengeringan
E6010, E6011,	Suhu udara luar	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
E6012, E6013, E6020, E6022, E6027, E7014, E7024.	80 ± 20°F (30 ± 10°C) dengan kelembaban relatip maksimum 50%.	20°F (10°C) hingga 40°F (20°C) di atas suhu udara luar.	275 ± 25°F (135 ± 15°C) selama 1 jam waktu rendam.
E7015, E7016, E7018, E7028, E7048.	80 ± 20°F (30 ± 10°C) dengan kelembaban relatip maksimum 50%.	50°F (30°C) hingga 250°F (140°C) di atas suhu udara luar.	475 ± 25°F (245 ± 15°C) selama 2 jam waktu rendam.

2.2.3 Bahan Fluks

Pada pengelasan SMAW, kawat las terbungkus oleh elektroda yang mana pembungkus (fluks) itu memiliki peranan penting karena fluks dapat bertindak sebagai :

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam
2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara disekitarnya.
3. Pengatur penggunaan
4. Sumber unsur-unsur paduan

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan tertentu pula. Bahan-bahan yang digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan

pengikat. Bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikiat, fluoride, zat organic, baja paduan, dan serbuk besi.

Elektroda yang berada dalam pasaran jumlahnya cukup banyak dengan berbagai variasi bahan fluksnya sesuai dengan fungsi masing-masing. Meskipun jumlahnya sangat banyak, tetapi secara garis besar digolongkan dalam kelas kelas sebagai berikut.

a) Jenis Oksida Titan
   Jenis ini juga disebut rutil atau titania dan berisi banyak Ti O_2 didalamnya. Busurnya dihasilkan oleh elektroda yang terbungkus denga fluks. Jenis ini tidak terlalu kuat, penetrasi atau penembusan cairan logamnya dangkal dan menghasilkan manik yang halus. Karena itu jenis ini tepat untuk pengelasan pelat-pelat tipis atau untuk pengelasan terakhir pada pengelasan pelat tebal.

b) Jenis Titania Kapur
   Jenis ini mengandung rutil dan kapur. Disamping punya sifat seperti jenis oksida titan, akan tetapi jenis ini menghasilkan manik yang halus walaupun penetrasinya dangkal. Hasil pengelasannya mempunyai sifat mekanis yang baik. Pengelasan ini dapat dilakukan pada semua posisi, terutama tegak dan posisi diatas kepala.

c) Jenis Ilmenit
   Jenis ini terletak diantara jenis elektroda diatasnya, bahan fluks utamanya adalah Ilmenit (Fe Ti O_2). Busur-busur yang dihasilkan sangat kuat sehingga penetrasinya dalam. Derajat dari terak cukup tinggi sehingga dapat menghasilkan sambungan dengan sifat mekanis yang tinggi. Karena sifat-sifatnya yang

mencakup penggunaan yang luas, maka elektroda ini dianggap sebagai elektroda serba guna.

d) Jenis Hidrogen Rendah
Nama lain dari jenis ini adalah jenis kapur, Karena bahan utamanya adalah kapur dan fluorat. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar nitrogen rendah sehingga ketangguhannya baik. Digunkan untuk konstruksi yang memerluakan tingkat pengamanan tinggi, seperti untuk konstruksi pelat-pelat tebal dan bejana tekan.

e) Jenis Selulosa
Bahan ini berisi 30 % bahan organik yang dapat menghasilkan gas dengan volume yang besar. Busurnya kuat dan penetrasinya dalam, terak yang terbentuk hanya sedikit akan tetapi manik yang dihasilkan kurang halus.

f) Jenis Oksida Besi
Bahan utama adalah oksidasi besi. Busur yang dihasilkan terpusatkan dan penetrasinya dalam, karena itu baik untuk pengelasan sudut horizontal.

g) Jenis Serbuk Oksidasi
Bahan utamanya meliputi 15 - 50 % silicon dan serbuk besi. Pemindahan butir-butir cairan berupa semburan halus dan tidak banyak percikan, kecepatan pengisian sangat tinggi, banyak digunakan untuk pengelasan sudut horizontal dan pengelasan gaya berat.

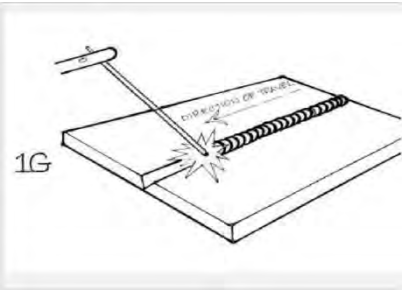
h) Jenis Serbuk Besi Titania
Bahan jenis ini adalah serbuk besi dan titania. Busur yang sedang menghasilkan manik yang halus. Efisiensi

pengelasan tinggi dan sangat baik untuk pengelasan sudut horizontal satu lapis.

2.2.4 Posisi Pengelasan

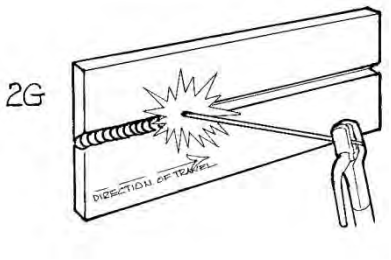
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam, yaitu:

- Posisi (1G)



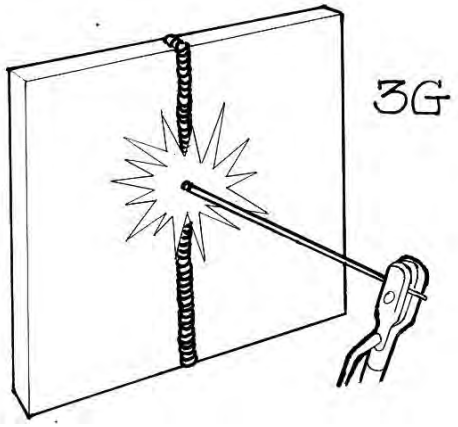
Gambar 2.4 Posisi pengelasan 1G

- Posisi (2G)



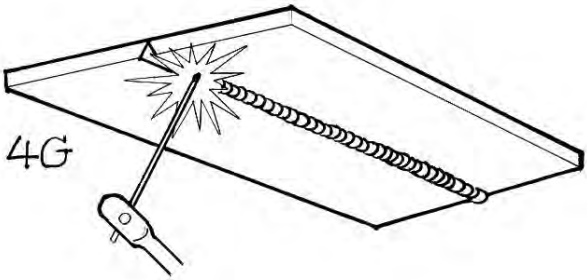
Gambar 2.5 Posisi pengalasan 2G

- Posisi (3G)



Gambar 2.6 Posisi pengelasan 3G

- Posisi (4G)



Gambar 2.7 Posisi pengelasan 4G

2.3 Metalurgi Las

Proses pengelasan sendiri banyak melibatkan fenomena metalurgi. Hal tersebut karena memang pada pengelasan menghasilkan energi panas sehingga terjadi siklus termal pada *base metal.* Panas yang diterima baja atau logam pengelasan berbeda dengan yang terjadi pada proses *heat treatment* baja.

Karena proses ini maka logam disekitar pengelasan mengalami pemanasan dan pendinginan yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi, deformasi, dan tegangan-tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan resiko cacat yang ada pada logam las maupun *base metal.*

2.3.1 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material adalah sifat yang menyatakan kemampuan suatu material atau komponen untuk menerima beban, gaya dan energi tanpa menimbulkan kerusakan pada material atau komponen tersebut. Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain :

a) Kekuatan *(Strenght)*

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

b) Kekakuan *(stiffness)*

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk.

c) Kekenyalan *(elasticity)*

Merupakan kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan

bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan atau dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami perubahan bentuk (deformasi).

d) Plastisitas *(plasticity)*

Merupakan kemampuan material untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi plastis*)* tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet *(ductile)*, sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas *(brittle).*

e) Keuletan *(ductility)*

Merupakan kemampuan sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material yang ulet *(ductile)* ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangan.

f) Ketangguhan *(toughness)*

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

g) Kegetasan *(brittleness)*

Merupakan kemampuan sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kegetasan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanen.

h) Kelelahan *(fatigue)*

Merupakan kemampuan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak-

balik *(dynamic load)* yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastisnya.

i) Melar *(creep)*

Merupakan kemampuan kecenderungan suatu logam untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi plastis) bila pembebanan yang besarnya relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

j) Kekerasan *(hardness)*

Merupakan kemampuan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan *wear resistance* yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

2.3.2 Masukan Panas

Masukan panas adalah nilai dari energy yang ditransfer per unit panjang dari suatu pengelasan. Masukan panas atau Hnet merupakan parameter penting karena seperti halnya pemanasan awal dan temperature interpass, masukan panas juga mempengaruhi laju pendinginan yang akan berpengaruh pada sifat mekanik dan struktur mikro dari HAZ. Adapun rumus yang digunakan untuk menentukan besarnya masukan panas seperti dibawah ini :

$$Hnet\left(\frac{J}{mm}\right) = \frac{I\ x\ V}{v}\ x\ \eta$$

Dimana :

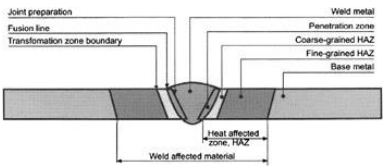
	Hnet	= Masukan Panas $\left(\frac{J}{mm}\right)$
	I	= Arus (A)
	V	= Tegangan (V)
	v	= Travel Speed (mm/s)
	η	= Koefisien Mesin Las

Pada pengelasan sendiri juga memiliki pembeda yaitu koefisien mesin las. Pada mesin las SMAW koefisien las berkisar 0.8-1.0. Perbedaan koefisien inilah yang menyebabkan masukan panas pada tiap jenis las berbeda. Apabila masukan panas dari suatu pengelasan terlalu tinggi maka daerah HAZ akan menjadi lebar sehingga mudah terjadi penurunan nilai kekerasan yang diakibatkan cacat seperti *undercut.* Akan tetapi apabila masukan panas terlalu kecil maka juga akan menimbulkan cacat las seperti *inclusion.*

Efek dari masukan panas terhadap laju pendinginan hampir sama dengan temperatur pemanasan awal. Masukan panas akan mempengaruhi sifat mekanik dari bahan pada pengelasan. Pada pengelasan akan meningkatkan ketangguhan karena panas yang dihasilkan menjadikan efek dari proses *preheat*.

2.3.3 Makro Etsa

Masukan panas yang diberikan akan menyebabkan perbedaan temperatur pada material. Perbedaan temperatur menyebabkan terjadinya perpindahan panas baik secara konveksi maupun konduksi. Adanya perpindahan panas ini akan menyebabkan daerah sekitar las mengalami siklus pemanasan dan pendinginan yang berbeda-beda karena perbedaan jarak dengan lokasi pengelasan, sehingga terbentuklah zona-zona yang mengalami perubahan struktur. Energi panas akan berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

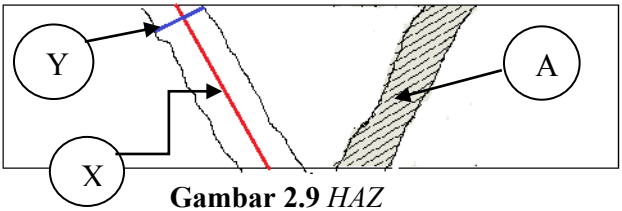


Gambar 2.8 Daerah Hasil Pengelasan

Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari austenite sampai temperatur kamar. Adanya perubahan struktur inilah yang mempengaruhi sifat-sifat mekanik yang dimiliki *base metal*. Berdasarkan perubahan mikrostruktur pada daerah sambungan karena pengaruh panas, maka daerah pengelasan dapat dibagi menjadi beberapa zona seperti pada gambar 2.8. berikut penjelasannya:

- *Fusion Zone (FZ)*
  Daerah penggabungan logam antara logam las dengan *base metal* dimana logam tersebut berada pada keadaan cair.
- *Heat Affected Zone (HAZ)*
  Daerah logam induk yang tidak mencair tetapi mengalama perubahan mikrostruktur akibat rambatan energi panas.
- *Weld Metal*
  Daerah logam dari elektroda yang dari fase cair menjadi solid.
- *Base Metal*
  Daerah logam induk yang tidak terkena efek dari rambatan panas.

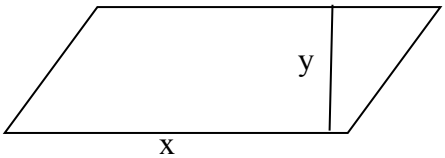
Untuk mengetahui sebaran panas yang ada, dilakukan pengujian makro etsa. Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu. Untuk mengetahui lebar dari masing-masing *HAZ* dilakukan permisalan yang akan dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 2.9 *HAZ*

Keterangan :
A = Luas *HAZ* (daerah yang diarsir)
X = Panjang acuan *HAZ* (garis warna merah)
Y = Lebar rata-rata *HAZ* (garis biru)

Untuk mengetahui lebar dari *HAZ*, Luasan dari *HAZ* harus dicari terlebih dahulu lalu dimasukan rumus jajar genjang sebagai acuan untuk menghitung dari lebar *HAZ*.



Gambar 2.10 Rumus *HAZ*

Luas = Panjang x Tinggi
x = Panjang
y = Tinggi

Maka ketika luas dari *HAZ* sudah diketahui, acuan dari panjang bidang harus diketahui untuk mencari lebar dari keselurahan *HAZ* dalam satu bidang

Maka : $y = \frac{Luas}{x}$

2.3.4 Kekerasan

Kekerasan dapat diidentifikasi sebagai ketahanan logam terhadap beban penekanan kedalam yang disebabkan oleh benda tekan yang berbentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu, semakin kecil penekanan (tidak dalam) menunjukkan kekerasan yang semakin besar.

Ada beberapa macam alat penguji kekerasan yang dipergunakan sesuai dengan bahan, kekerasan ukuran, dan lain-lain suatu produk. Pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan *Rockwell*. Identor yang berfungsi sebagai penekan memiliki berbagai macam bentuk dan bahan pembuatannya. Cara kerja alat ini adalah dengan menekankan identor kepermukaan yang diukur. Hasil dari penekanan tersebut terdapat pada indikator ukuran yang ada. Untuk bahan-bahan yang memiliki daerah nilai kekerasan yang luas biasanya digunakan penumbuk berupa kerucut intan 120° dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan penumbuk *Brale,* serta bola baja berdiameter $\frac{1}{16}$ in dan $\frac{1}{8}$ in, dengan beban yang digunakan sebesar 60, 100, 150 kg. Skala B (bola baja 1,588 mm 1.16”) merupakan skala *Rockwell* yang paling banyak digunakan untuk baja karbon rendah.

Tabel 2.8 Beban Indentor dan Skala pada Metode Uji Kekerasan Rockwell

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

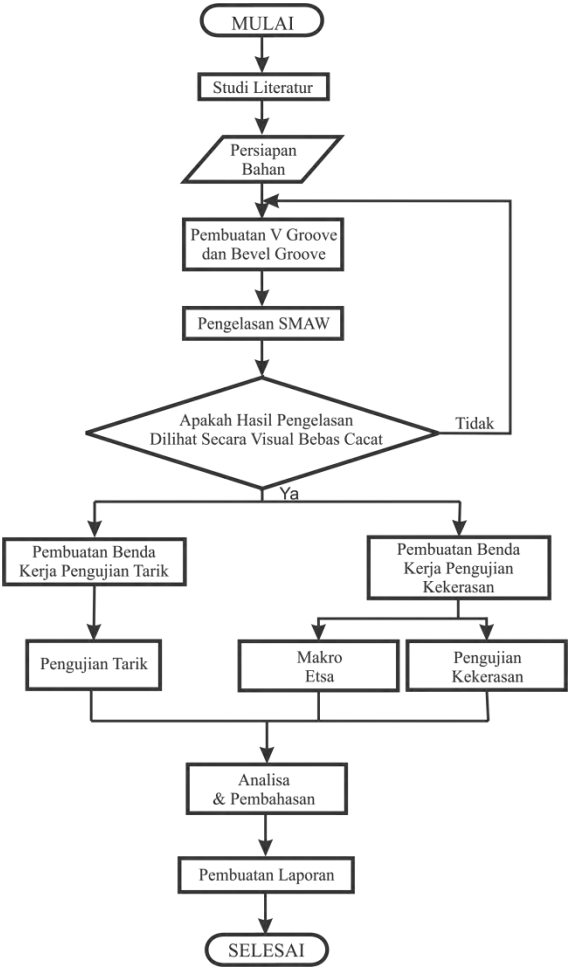
Tabel 2.9 Keterangan Skala

Skala	Pemakaiannya
A	Untuk *carbide cementite*, baja tipis, dan baja dengan lapisan keras yang tipis
B	Untuk paduan tembaga, baja lunak, paduan alumunium, dan besi tempa
C	Untuk baja, besi tuang keras, besi tempa peritik, titanium, baja dengan lapisan keras yang dalam, dan bahan-bahan lain yang lebih keras daripada skala B-100
D	Untuk baja tipis, baja dengan lapisan keras yang sedang, dan besi tempa peritik
E	Untuk besi tuang, paduan alumunum, magnesium, dan logam-logam bantalan
F	Untuk paduan tembaga yang dilunakkan dan pelat lunak yang tipis
G	Untuk besi tempa, paduan tembaga, nikel-seng, dan tembaga-nikel
H	Untuk alumunium, seng, dan timbal
K	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
L	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
M	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
P	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
R	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
S	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
V	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam menunjang penelitian yang diinginkan, peralatan dan bahan-bahan yang diperlukan harus dipersiapkan. Alat dan bahan tersebut antara lain :

3.3.1 Material Baja Karbon Rendah SA 36

Didalam penelitian ini bahan uji yang digunakan adalah pelat baja SA 36 dengan ukuran 150 x 150 x 6 mm dengan jumlah 4 material.

3.3.2 Mesin Pengelasan SMAW

Pada penelitian ini menggunakan proses las dengan SMAW.

Gambar 3.2 Mesin Las SMAW

Berikut ini beberapa peralatan bantu pada pengelasan SMAW :

Gambar 3.3 Palu Terak

Gambar 3.4 Sarung Tangan, Helm Welder, Sikat

Gambar 3.5 Tang Ampere

3.3.3 Elektroda

Elektroda yang digunakan adalah elektroda E7016 yang mana memiliki kandungan hidrogen rendah dan dapat digunakan pada polaritas terbalik maupun polaritas lurus.

3.3.4 Alat Pemotong

Alat Pemotong yang digunakan adalah gerinda dan beberapa alat bantu seperti kikir dan ragum sebagai pencekam benda kerja.

Gambar 3.6 Alat Pemotong

3.3.5 Kertas Gosok

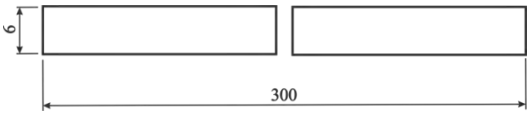
Dalam penelitian ini telah dilakukan penggosokan dengan berbagai macam ukuran kertas gosok dari ukuran 280, 800, 1000, 1500, dan 2000 guna mendapat permukaan yang halus dan bersih agar memudahkan dalam melihat struktur mikro yang ada.

Gambar 3.7 Kertas Gosok

3.4 Pembuatan Benda Kerja Pengelasan

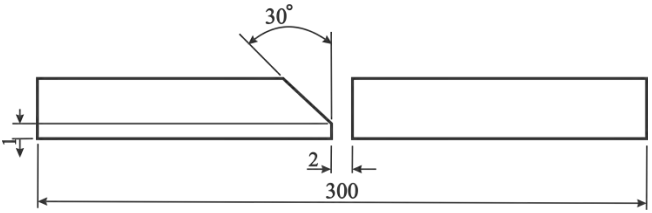
Bahan dalam penilitian pengelasan ini adalah pelat baja SA 36 yang memiliki dimensi 150 x 150 x 6 mm sebanyak 4 pelat baja. Kemudian nantinya masing-masing di*joint* sehingga benda kerja yang didapat setelah pengelasan ada dua dengan perbedaan pada bevel groove dengan v groove.

1. Siapkan benda kerja sebanyak 4 pelat baja SA 36. Kemudian pilih pasangan baja pelat SA 36. Sehingga nantinya diperoleh dua benda kerja dengan dimensi 300 x 150 x 6 mm.

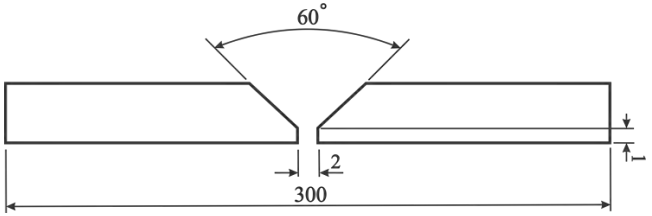


Gambar 3.8 Material Pengelasan

2. Setiap benda kerja dibentuk model groovenya dan juga untuk ukuran rootnya sesuai dengan penelitian yaitu : Bevel dan V Groove.



Gambar 3.9 Material Pengelasan dengan Model Bevel Groove



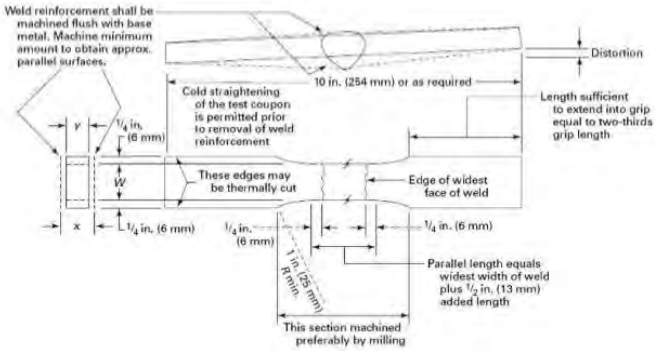
Gambar 3.10 Material Pengelasan dengan Model V Groove

3. Benda kerja siap untuk dilas

3.5 Pembuatan Benda Kerja untuk Pengujian

Setelah dilakukan pengelasan dan hasilnya secara visual tidak terjadi cacat las seperti *undercut* dan pada bagian *root* tidak tembus, benda kerja dipotong menjadi beberapa bagian untuk pengujian tarik, kekerasan, dan makro etsa.

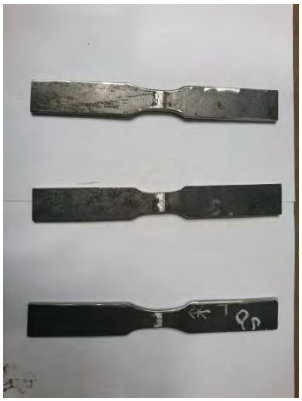
3.5.1 Benda Uji Tarik



Gambar 3.11 *ASME standart for Tensile*

Benda pengujian tarik dibentuk sesuai dengan standar ASME. Daerah lasannya digerinda sampai rata dengan logam induk. Benda kerja untuk uji tarik permukaan yang akan dicekam nantinya harus rata dan halus.

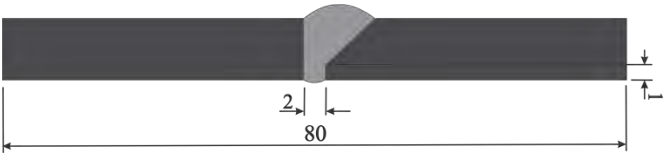
Gambar 3.12a Material Uji Tarik Bevel Groove



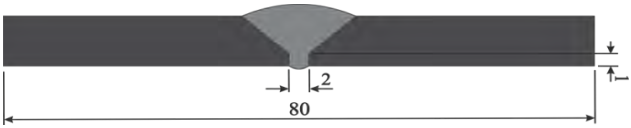
Gambar 3.12b Material Uji Tarik V Groove

3.5.2 Benda Uji Makro Etsa

Benda kerja untuk pengujian struktur makro etsa memiliki ukuran yang sama dan pada benda kerja yang sama juga dengan benda kerja pengujian kekerasan. Hal itu dikarenakan agar nilai kekerasan yang didapat sesuai dengan daerah yang penting dalam menentukan kekerasan yang dimiliki benda kerja.



Gambar 3.13a Benda Uji Makro Etsa Bevel Groove

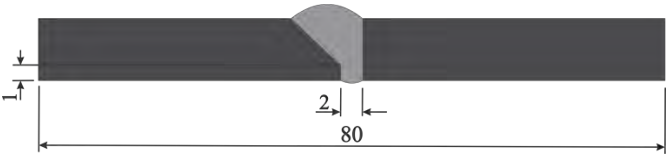


Gambar 3.13b Benda Kerja Uji Makro Etsa V Groove

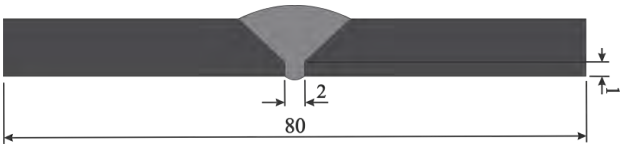
3.5.2 Benda Uji Kekerasan

Benda kerja untuk pengujian kekerasan dipersiapkan telebih dahulu dengan cara pemotongan yang simetris dan tidak bergelombang agar mendapat kerataan yang sama sehingga ketika dilakukan uji kekerasan tidak terjadi kemiringan.

1. Benda kerja dipersiapkan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Pemotongan menggunakan mesin gerinda tangan. Sehingga diperoleh benda kerja seperti gambar 3.13a dan 3.13b.



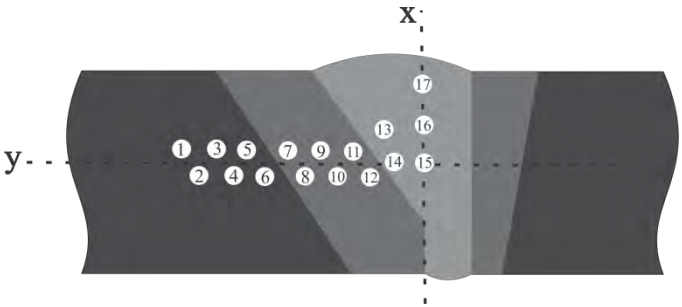
Gambar 3.14a Material Uji Kekerasan Bevel Groove



Gambar 3.14b Material Uji Kekerasan V Groove

Setelah benda kerja dipotong kemudian dilakukan proses finishing permukaan dengan menggunakan kertas gosok. Langkah selanjutnya adalah pengetsaan pada permukaan benda kerja untuk mengetahui batas antara *weld metal*, HAZ, dan *base metal*.

2. Menentukan daerah atau titik yang akan diuji kekerasan. Penentuan titik dilakukan dengan menarik sumbu x dan y dan penitikan ditempatkan pada satu sisi untuk daerah HAZ dan *base metal* seperti gambar 3.15a dan 3.15b



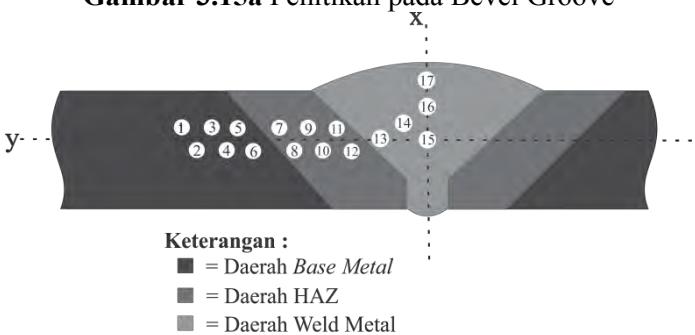
Keterangan :

■ = Daerah *Base Metal*

■ = Daerah HAZ

■ = Daerah Weld Metal

Gambar 3.15a Penitikan pada Bevel Groove



Gambar 3.15b Penitikan pada V Groove

3. Benda kerja siap untuk diuji.

3.6 Pengujian

3.6.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari logam induk setelah mengalami proses pengelasan. Pengujian tarik dilakukan dengan jalan memberikan beban tarik pada batang uji secara perlahan-lahan sampai benda uji terputus atau patah. Peralatan yang digunakan utuk pengujian tarik adalah alat uji tarik dan jangka sorong. Mesin yang digunakan dalam pengujian ini adalah mesin uji tarik merk. Berikut langkah-langkah pengujian tarik :

1. Menandai bahan kerja las SMAW dalam hal ini untuk mengetahui dimensi yang akan di inputkan ke mesin
2. Dilakukan pengetsaan agar batas daerah las terlihat sehingga memudahkan untuk pengambilan data
3. Menentukan beban yang digunakan yaitu 10000 N, kemudian menentukan panjang total dan lebar benda
4. Nyalakan saklar power utama sehingga lampu indicator menyala
5. Pastikan handle load kontrol pada posisi stop
6. Letakkan alat bantu pada permukaan alat uji dan pelat penahan
7. Pastikan pencekam pada lower crosshead dan naikkan lower crosshead dengan menekan tombol up crosshead sehingga dapat mencekam benda uji tarik dengan baik
8. Atur kecepatan pembebanan

9. Jarum indikator beban akan bergerak terus hingga mencapai titik max load dari benda uji yang diuji kemudian mengalami penurunan dan putusnya benda kerja
10. Cacat pembebanan dan pertambahan panjang
11. Kemudian lepaskan benda uji dari tempat pencekam

3.6.2 Pengujian Makro Etsa

Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu. Adanya proses pengetsaaan daerah las lebih jelas terlihat. Berikut langkah-langkah makro etsa :

1. Menggosok benda uji dengan menggunakan amplas hingga benda uji benar-benar halus dan rata
2. Mempersiapkan peralatan untuk makro etsa
3. Pengetsaan benda kerja dengan melarutkan larutan alcohol dengan HNO_3 yang mana perbandingannya adalah 98 ml untuk alkohol dan 2 ml untuk HNO_3
4. Aduk hingga tercampur dengan rata
5. Kemudian bersihkan benda kerj dengan cara merendam benda kerja dengan alkohol 96% selama 2 menit
6. Setelah itu, benda kerja dimasukkan kedalam larutan etsa selama 3-5 menit
7. Ketika sudah terlihat daerah hasil lasan, angkat dan celupkan kedalam alkohol sebentar lalu keringkan dengan *hair dryer*
8. Setelah itu amati hasil pengujian.

3.6.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui kekerasan pada benda uji masing-masing daerah yaitu daerah lasan, HAZ, dan logam induk. Pengujian kekerasan ini diuji dengan menggunakan alat uji kekerasan Rockwell seperti gambar 3.16.

Gambar 3.16 Alat Uji Kekerasan *Rockwell*

Merk	: AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
Loading	: Maximum 100 KP
	Minimum 10 KP
Hrb Load	: 100 KP
Identor	: Bola Baja 1/16.

Berikut langkah-langkah pengujian kekerasan :

1. Hasil dari proses makro etsa, tarik garis sumbu (x,y) pada benda kerja pada salah satu layer.

2. Memasang identor pada penjepit Rockwell hardness tester.
3. Beban penekanan pada mulanya sebesar 150 kgf memakai skala C yang bertujuan melindungi identor agar tidak rusak.
4. Beban penekanan yang dipakai adalah 100 memakai skala B (HRB) karena menggunakan identor skala C tidak menunjukkan nilai kekerasan yang ada.
5. Kemudian menghidupkan power dengan menekan tuas ON
6. Menempatkan benda kerja diatas anvril dan tegak lurus dengan identornya.
7. Menaikkan anvril dengan memutar handle searah jarum jam sampai menyentuh identor, kemudian dinaikkan terus identor, kemudian dinaikkan terus sampai jarum kecil pada dial indikator menyentuh titik merah dan tekan tombol pengujian, tunggu hingga beberapa saat (5 detik) sampai jarum panjang akan menunjuk pada angka kekerasan
8. Mencatat hasil pengujian (angka kekerasan)
9. Menurunkan anvril dengan jalan memutar handle berlawanan dengan arah jarum jam
10. Pengujian ini dilakukan sebanyak titik yang sudah ditentukan sebelumnya.

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Pengelasan

Pada penelitian ini, hasil pengelasan dipengaruhi oleh beberapa parameter pengelasan. Penentuan parameter ini sesuai dengan standar yang ada. Berikut parameter pengelasan pada penelitian ini :

Tabel 4.1 Parameter Pengelasan

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SA 36
Tebal	6 mm
AWS Classification	E 7016
Filler Metal Diameter	2,6 mm
Posisi Pengelasan	3G
Sudut Pengelasan	70°
Polaritas	DCEP/DCRP
Ampere	70 A
Jumlah Layer	Dua

Tabel 4.2 Masukan panas

Type Groove	Arus (I)	Voltase (E)	Travel speed (V)	Koefisien Las SMAW	Hnet
V Groove	70 Ampere	23 Volt	0.48 mm/s	1.0	3354.1 J/mm
Bevel Groove	70 Ampere	23 Volt	0.61 mm/s		2639.3 J/mm

4.2 Data Hasil Penelitian

4.2.1 Pengujian Tarik

Data ini didapatkan dari hasil uji tarik, dimana pengujian dilakukan dengan standart ASME.

Setelah melakukan pengujian dan mengetahui hasil pengujian tarik, maka dapat ditentukan kekuatan tarik (σ) dihasilkan dengan rumus :

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{Max\ Load}{Lebar\ gauge\ x\ tebal\ plat}$$

Dimana :

σ = Kekuatan Tarik (kgf/mm^2)

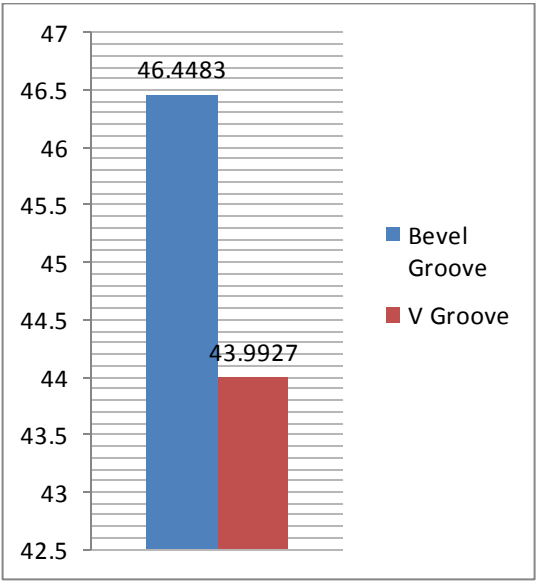
F = Pembebanan (kgf)

A = Luas Penampang (mm^2)

Tabel 4.3 Data Pengujian Tarik

Groove	NO	A_0 (mm^2)	Max Load (kgf)	Yield Strength ($\frac{kgf}{mm^2}$)	Yield Point (kgf)	Elastic Modulus ($\frac{kgf}{mm^2}$)	Ultimate Tensile Strength ($\frac{kgf}{mm^2}$)
V Groove	1	93.5	4329.258	3.662	4328.977	64.682	46.3025
	2	94	4041.685	3.426	4041.515	59.886	43.2265
	3	93.5	3969.010	3.366	3968.835	68.372	42.4493
Rata rata		93.67	4113.317	3.484	4113.109	64.313	43.9927
Bevel Groove	1	93.5	4309.675	4.216	4309.389	135.484	46.0927
	2	94	4165.913	3.942	4165.667	107.642	44.5552
	3	93.5	4552.775	4.527	4552.728	112.855	48.6927
Rata rata		93.67	4342.787	4.228	4342.594	118.660	46.4483

Dalam perhitungan kekuatan tarik diambil nilai rata-rata dari hasil benda uji tarik. Sehingga dapat disimpulkan menggunakan grafik berikut :



Gambar 4.1 *Grafik Ultimate Tensile Strength*

Dengan melihat grafik diatas dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik dari pengelasan SMAW dengan tipe bevel groove lebih besar dibandingkan dengan tipe V groove. Nilai uji tarik ini diperoleh dari perhitungan dengan rumus diatas.

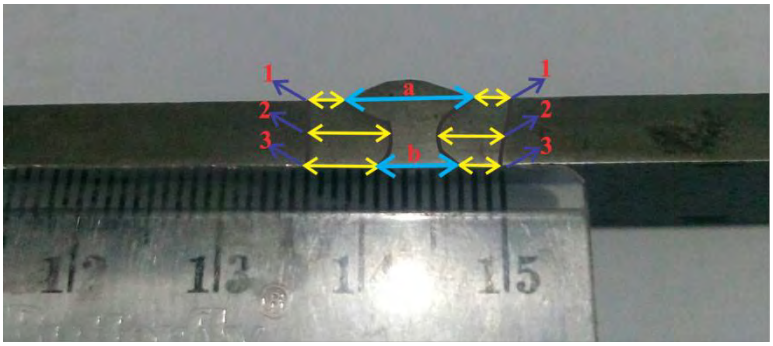
Gambar 4.2 Pengujian Tarik pada Bevel Groove

Gambar 4.3 Pengujian Tarik pada V Groove

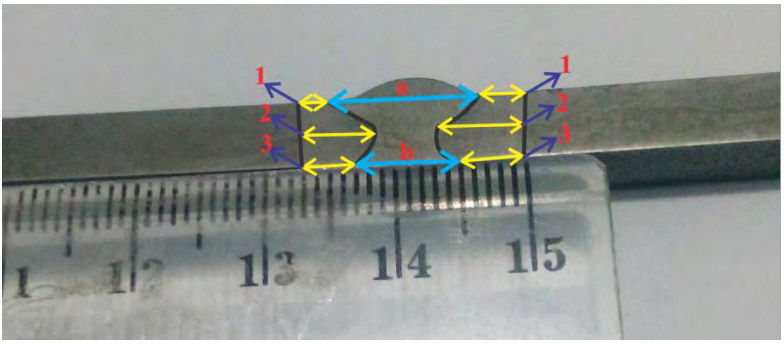
Gambar 4.4 Benda Kerja Hasil Uji Tarik

4.2.2 Makro Etsa

Pengujian makro dilakukan dengan cara mengetsa benda terlebih dahulu dan setelah daerah las terlihat diukur dengan alat ukur jangka sorong dengan keteitian 0.05mm. berikut hasil dari pengujian makro.



Gambar 4.5a Lebar HAZ Bevel Groove



Gambar 4.5b Lebar HAZ V Groove

Tabel 4.4 Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro pada Benda Kerja Bevel Groove

No	Lebar HAZ (mm)	Posisi
1	2.15	Kiri
2	5.25	
3	5	
1	2.25	Kanan
2	4.45	
3	3	

Tabel 4.5 Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro pada Benda Kerja V Groove

No	Lebar HAZ (mm)	Posisi
1	2	Kiri
2	5.2	
3	4	
1	3.2	Kanan
2	6.15	
3	5	

Tabel 4.6 Lebar Weld Metal

No.	Lebar Bevel Groove (mm)	Lebar V Groove (mm)
a	9.6	11.8
b	6	8

4.3.3 Pengujian Kekerasan

Hasil uji kekerasan diambil tiga dari daerah pengelasan yaitu daerah las, daerah HAZ, dan daerah logam induk. Uji kekerasan menggunakan Rockwell dengan indentor bola baja 1,588 mm (1/16").

Gambar 4.6a Daerah Indentasi Untuk Bevel Groove

Gambar 4.6b Daerah Indentasi Untuk V Groove

Sebelum dilakukan pengujian dilakukan pengetsaan terlebih dahulu agar batas daerah las terlihat sehingga dapat mengambil data sesuai dengan yang diinginkan. Pada penelitian ini dilakukan indentasi sebanyak 17 titik dan mencakup tiga daerah las. Agar mendapat data yang valid,

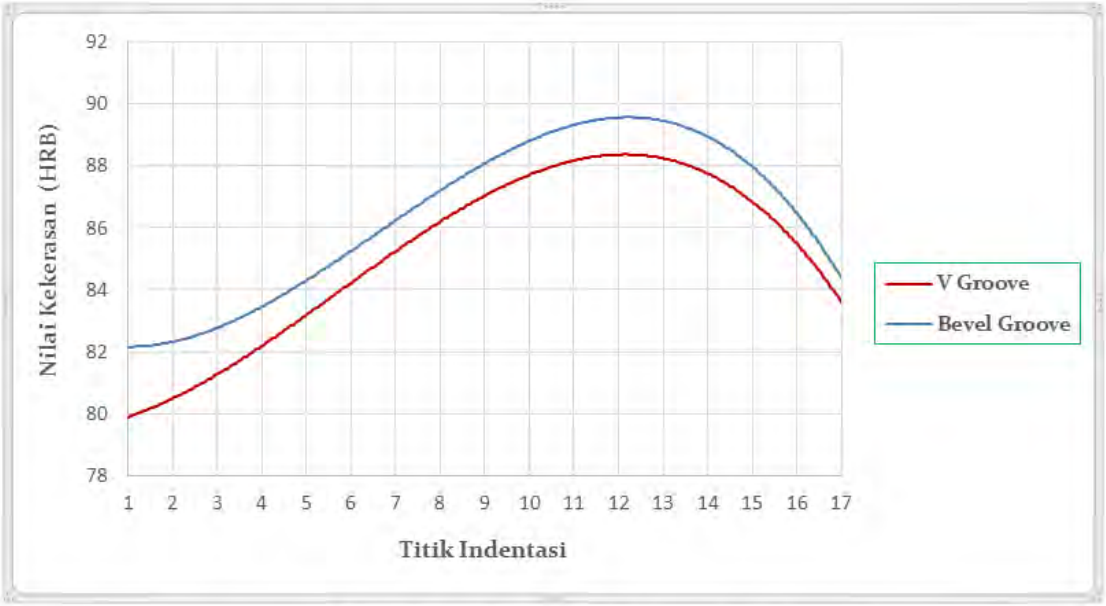
pengambilan titik dilakukan dengan cara menarik garis sumbu kemudian penitikan dilakukan secara zig-zag agar range tidak terlalu jauh sesuai dengan standar ASTM D785 ISO 2039 atau sama dengan JIZ Z 2245.

Tabel 4.7 Data Pengujian Kekerasan pada V Groove

Titik Indentasi		**Bidang**			**Rata - Rata**
		1	**2**	**3**	
BM	**1**	81	81	81.1	81.03
	2	80.6	81	80.5	80.7
	3	81.3	81.4	81.2	81.3
	4	80.9	81	81	80.9
	5	80	80.5	80.7	80.4
	6	81	81	81	81
HAZ	**7**	90.5	90.1	91	90.53
	8	87	87	87	87
	9	86	87	87.3	86.7
	10	91	90	89	90
	11	87.6	87.5	87.8	87.6
	12	91.3	91.4	91.2	91.3
WM	**13**	85	85	85	85
	14	85.4	85.4	86	85.6
	15	86	85.9	85.7	85.8
	16	86	85.8	86.3	86.03
	17	85	84.5	85.5	85

Tabel 4.8 Data Pengujian Kekerasan pada Bevel Groove

Titik Indentasi		Bidang			Rata-rata
		1	2	3	
BM	1	83	83.5	83.2	83.2
	2	83	83	83	83
	3	82.9	82.6	83	82.8
	4	80.3	81.5	81.2	81
	5	82.5	82	83	82.5
	6	83	84	84	83.6
HAZ	7	88	89	89.4	88.8
	8	88.3	87	87.9	87.7
	9	88	87	86	87
	10	91.9	92	92	91.96
	11	92.9	92.8	93.3	93
	12	91	90	89	90
WM	13	86	86.5	86.6	86.3
	14	86	87	87	86.6
	15	86	86.3	86.1	86.13
	16	86	87	86	86.3
	17	86.8	86.6	87	86.8



Gambar 4.6 Grafik Hasil Rata-Rata Pengujian Kekerasan

4.3 Pembahasan Hasil Pengujian

4.3.1 Pembahasan Hasil Pengujian Tarik

Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat bahan yang dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik bahan sewaktu mengalami pembebanan. Semakin besar kekuatan tariknya, bahan tersebut juga semakin kuat. Nilai kekuatan tarik suatu bahan dipengaruhi oleh perlakuannya, seperti pada pengelasan yang mana kekuatan tarik juga ditentukan oleh jenis elektroda, bentuk groove, dan juga masukan panas.

Berdasarkan data pengujian, kekuatan tarik bevel groove lebih besar dibandingkan kekuatan tarik V groove. Dapat kita asumsikan perlakuan bahan pada pengelasan ini adalah sama sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwasanya bevel groove memiliki nilai kekuatan tarik yang besar diakibatkan masukan panas yang masuk lebih rendah. Masukan panas yang rendah dipengaruhi oleh kecepatan las, dimana kecepatan las antara bevel groove dan v groove lebih besar pada hasil lasan menggunakan v groove. Selain itu, penetrasi panas yang masuk pada bevel groove lebih rapat dan bevel groove dapat meminimalisir masukan udara dari luar yang dapat menyebabkan cacat las. Pengaruh masukan panas juga dapat menyebabkan cacat *undercut* jika terlalu besar.

Pada penelitian ini, patahan terjadi pada daerah HAZ. Hal tersebut dikarenakan rambatan panas sehingga memperbaiki struktur mikro baja dari yang tadinya memiliki nilai kekerasan lebih rendah menjadi tinggi.

4.3.2 Pembahasan Hasil Pengujian Makro Etsa

Adanya masukan panas yang memiliki perbedaan penetrasi untuk pengisian groove dalam pengelasan menyebabkan terjadi perubahan struktur makro.

Struktur makro pada bevel groove menunjukkan bahwa HAZ yang dimiliki benda dengan bentuk bevel groove lebih kecil dibandingkan benda kerja dengan bentuk v groove. Hal tersebut diakibatkan oleh luasan bevel groove yang lebih kecil sehingga masukan panas yang diterima oleh benda kerja lebih kecil. Sedangkan pada luasan benda kerja dengan bentuk groove v, memiliki lebar HAZ yan lebih besar karena masukan panas lebih besar.

4.3.3 Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan

Melihat data yang ada, kekerasan pada bevel groove lebih besar dibandingkan kekerasan pada v groove. Dilihat dari luasannya, v groove memiliki volume yang lebih besar. Hal tersebut mengakibatkan pada proses pengisian groove lebih lama dibandingkan dengan bevel. Sehingga mempengaruhi travel speed. Melihat data dari masukan panas menunjukkan bahwasanya semakin besar masukan panas maka nilai kekerasan akan semakin turun.

Besar kecilnya nilai kekerasan ini didasarkan pada struktur yang ada pada logam itu sendiri. Pada bevel groove, masukan panas lebih kecil sehingga proses pendinginan pada benda kerja bevel lebih cepat sehingga struktur austenit akan lebih cenderung berubah menjadi pearlit. Sedangkan benda kerja v groove memiliki masukan panas yang lebih tinggi menjadikan struktur austenit lebih cenderung berubah lebih banyak memiliki kandungan ferrit. Nilai kekerasan sendiri berbanding lurus dengan nilai kekuatan tarik. Kekuatan akan naik dengan naiknya kekerasan tetapi keuletannya menurun.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian riset dan percobaan perbedaan variasi bentuk groove pada pengelasan SMAW dengan dilakukannya beberapa pengujian, diantaranya tarik, kekerasan, dan struktur mikro, maka dapat disimpulkan antara lain :

1. Pengelasan SMAW pada baja SA 36 dengan benetuk bevel groove lebih kuat dibandingkan v groove dikarenakan nilai kekuatan tarik yang diperoleh dari bentuk bevel groove lebih tinggi. Berdasarkan hasil pengujian, kekuatan tarik pada bevel groove mencapai 46.4483 kgf/mm^2 atau setara dengan 464.483 N/mm^2

2. Pada hasil penelitian makro etsa terlihat bahwa lebar HAZ pada v groove lebih besar dibandingkan bevel groove dikarenakan heat input v groove lebih tinggi dibandingkan bevel groove.

3. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, nilai kekerasan pada baja SA 36 dengan bentuk groove bevel lebih besar dibanding dengan v groove dengan nilai kekerasan yang dicapai adalah 93 HRB.

5.2 Saran

Sebaiknya untuk penelitian kedepannya dilakukan dengan merubah bentuk groove yang memiliki luasan lebih kecil sehingga dapat memperbaiki sifat mekanik yang ada.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR PUSTAKA

Wiryosumarto, Harsono, Prof., Dr., Ir., dan Toshie Okomura, Prof., Dr., (1985), *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta, PT. Pradnya Paramita.

American Society of Mechanical Engineers Section IX, *Boiler And Pressure Vessel Code An International Code, Materials*, Edition July 2015.

Anonim. 2014. *Elektroda (filler atau bahan isi)*. *http://las-listrik.blogspot.co.id*. Diakses pada tanggal 22 Juni 2018.

Sonawan, Hery. 2003. *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam.* Alfabeta, cv.

Suratman, M, 2007. *Teknik Mengelas Asetelin, Brazing, dan Las Busur Listrik*. Bandung: CV Pustaka Grafika.

Lampiran 1
Mill Certificate

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk.

Surabaya - Indonesia

Head Office :
Jl. Margomulyo No. 29 A
Tambak Sarioso - Asemrowo - Surabaya 60184
Phone : (62-31) 7490598 (Hunting)
Fax : (62-31) 7490581
E-mail : quality@gunawansteel.com
http//www.gunawansteel.com

Certified Quality Management
ISO 9001 : 2008
Cert. No. JKI 094511

MILL TEST CERTIFICATE

ACC. TO EN10204 2004 3.1

Certificate No. : GDS-QC-2017-0524
Date : February 23, 2017
Despatch Advice No. : LDO-1702-00344

PT. BENTENG ANUGERAH SEJAHTERA
Jl. Tanjungsari No. 44-B RT.001 RW.016 Simomulyo, Sukomanunggal Surabaya Jawa Timur 60181
D - 043 - 2017 PO NO : PR1701-0148
HOT ROLLED STEEL PLATE
ASTM A36 - 14
ASTM A6 - 14

Plate Number	Quantity	Dimensions (mm) T	W	L	Weight (MT)	Ladle Analysis (%) C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	N	Test No.	Tensile Test Y.S N/mm²	T.S N/mm²	El % 200mm	Bend Test	Impact Value in Joule (°C) I	II	III	Av	Refe
						x 10⁻²			x 10⁻³			x 10⁻²			x 10⁻³														
- 43-45	3	6	1500	6080	1.290	12	23	74	13	8	1	2	0	2	9	3	48	1	6	M3	345	453	26						
- 61-65	5	"	"	"	2.150																								
M 41	1	"	"	"	0.430																								
M 61-65	5	"	"	"	2.150																								
N 41-45	5	"	"	"	2.150																								
N 61-65	5	"	"	"	2.150																								
F 41-45	5	"	"	"	2.150	12	22	71	12	4	1	1	1	3	6	4	37	1	5	F6	333	433	33						
O 61-65	5	"	"	"	2.150	12	20	69	12	5	1	1	1	2	8	2	38	1	6	O6	333	446	30						
L 41-45	5	"	"	"	2.150	13	21	72	11	6	1	2	0	2	9	2	45	1	6	H6	319	431	26						
L 62-65	4	"	"	"	1.720																								
M 61-65	5	"	"	"	2.150	12	21	65	14	10	1	1	0	2	11	3	44	1	5	G6	338	446	27						
I 41-45	5	"	"	"	2.150	13	26	71	16	4	1	2	0	3	8	3	43	1	6	M4	356	454	23						
I 62-64	3	"	"	"	1.290	13	26	71	16	4	1	2	0	3	8	3	43	1	6	M4	356	454	23						
H 41-45	5	"	"	"	2.150	13	23	77	10	5	1	2	1	2	10	2	44	1	5	M4	353	453	28						
J 41-45	5	"	"	"	2.150																								
L 41-44	4	"	"	"	1.720	14	18	72	12	7	1	1	0	2	11	2	48	1	6	G5	345	463	30						
L 61-64	4	"	"	"	1.720																								
M 41-45	5	"	"	"	2.150	12	25	72	12	3	1	1	1	2	10	2	37	1	6	G6	337	439	26						
M 63-65	3	"	"	"	1.290																								
L 61-65	5	"	"	"	2.150	13	22	74	13	3	1	1	0	2	7	3	42	1	6	L5	337	439	27						
H 41-45	5	"	"	"	2.150	12	21	67	13	3	1	1	0	3	10	4	48	1	6	G2	308	427	32						
H 61-65	5	"	"	"	2.150																								
I 51-54	4	"	"	"	1.720																								

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE ABOVE SPECIFICATION AND ALSO WITH THE REQUIREMENT CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER

GUNAWAN DIANJAYA STEEL

Ir. Bonar H. Panjaitan
PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk. Manager

a

Lampiran 2
Tabel ASME Sec II Material SA 36

TABLE 3 Tensile Requirements[A]

Plates, Shapes,[B] and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250][C]
Plates and Bars[D,E]:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21[B]

[A] See Specimen Orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

[B] For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 %, applies.

[C] Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

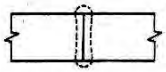
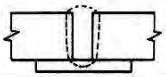
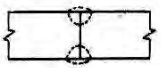
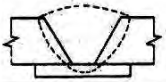
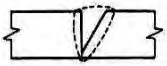
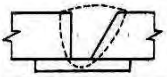
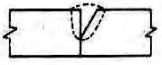
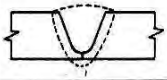
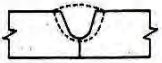
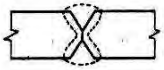
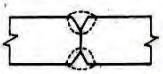
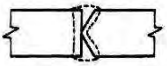
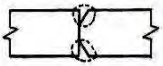
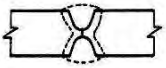
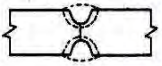
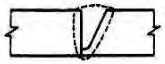
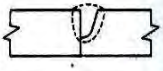
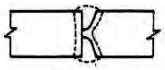
[D] Elongation not required to be determined for floor plate.

[E] For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

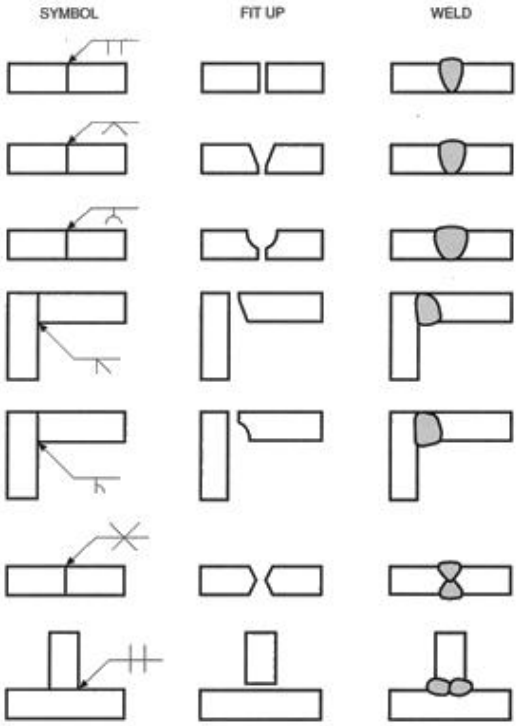
Product	Shapes[A]	Plates[B]				
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	—	—	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Lampiran 3

Tabel Macam-Macam Groove

Jenis lasan / Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

Lampiran 4
Tabel Simbol Groove pada Pengelasan



Lampiran 5
Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 V Groove

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

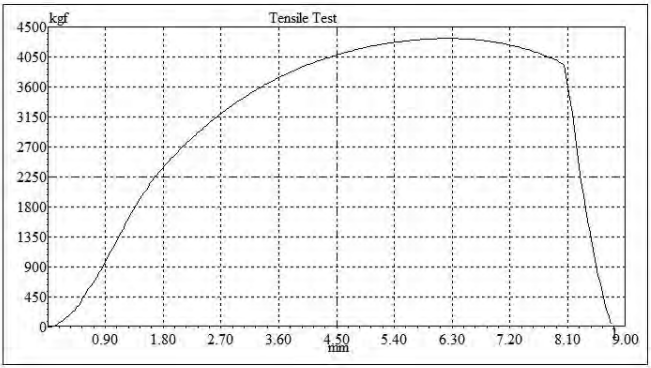
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

Tensile Test
Gotech Testing Machine

ReportNo	Max. Load	Yield streng	Yield poi	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm²	kgf	kgf/mm²
	4329.258	3.662	4328.977	64.682
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 6
Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 V Groove

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

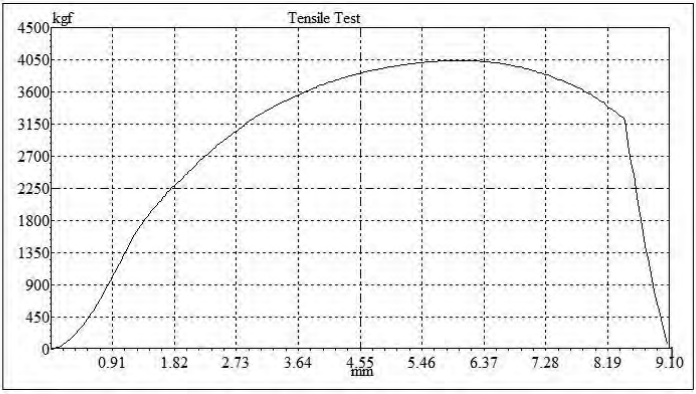
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

Tensile Test
Gotech Testing Machine

ReportNo	Max. Loa	Yield streng	Yield poi	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm^2	kgf	kgf/mm^2
	4041.685	3.426	4041.515	59.886
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



f

Lampiran 7
Grafik Uji Tarik Benda Kerja 3 V Groove

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

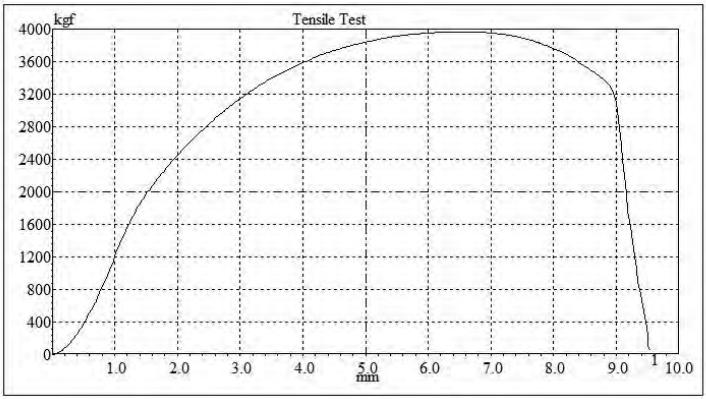
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

Tensile Test
Gotech Testing Machine

ReportNo	Max. Load	Yield strengt	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm²	kgf	kgf/mm²
	3969.010	3.366	3968.835	68.372
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 8
Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 Bevel Groove

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

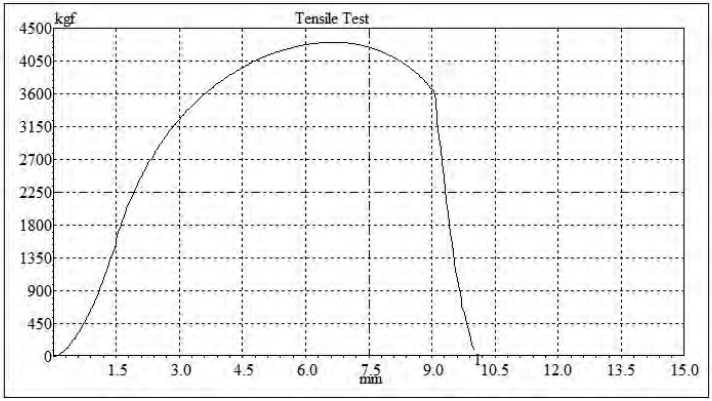
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

Tensile Test
Gotech Testing Machine

ReportNo	Max. Load	Yield streng	Yield poi	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm²	kgf	kgf/mm²
	4309.675	4.216	4309.389	135.484
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 9

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 Bevel Groove

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

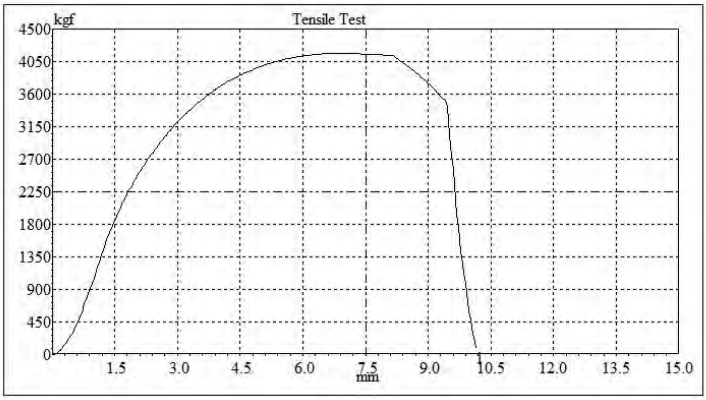
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

Tensile Test
Gotech Testing Machine

ReportNo	Max. Loa	Yield streng	Yield poi	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm²	kgf	kgf/mm²
	4165.913	3.942	4165.667	107.642
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 10
Grafik Uji Tarik Benda Kerja 3 Bevel Groove

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

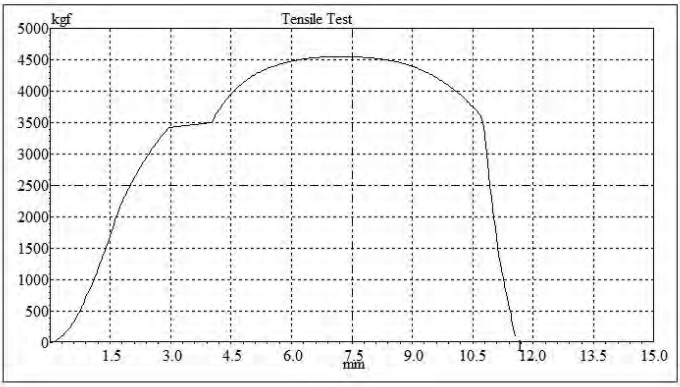
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

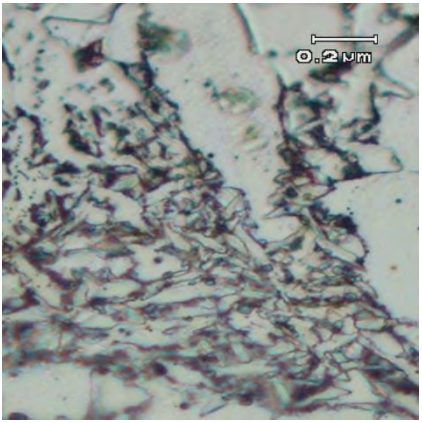
SURABAYA

Tensile Test
Gotech Testing Machine

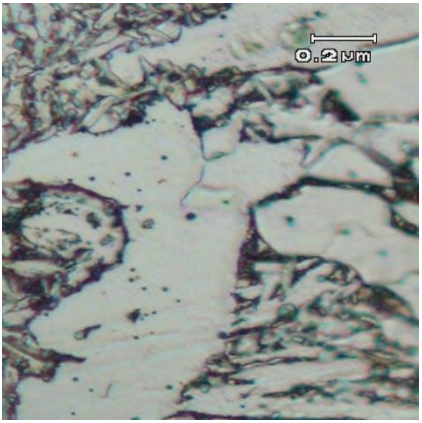
ReportNo	Max. Load	Yield streng	Yield poi	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm^2	kgf	kgf/mm^2
	4552.775	4.527	4552.728	112.855
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



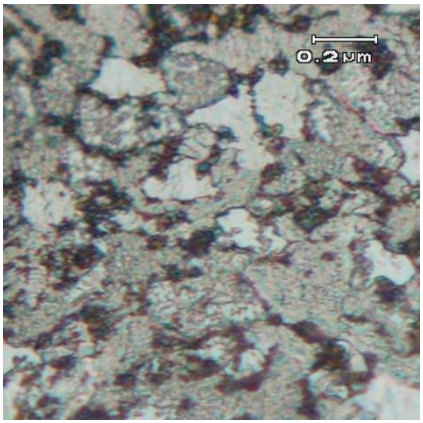
Lampiran 11
Data Sekunder Pengujian Struktur Mikro



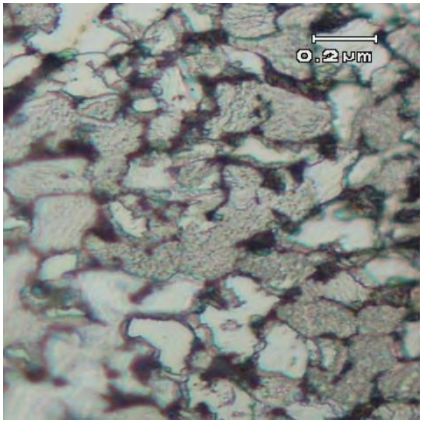
Gambar 1 Struktur Mikro Daerah Base Metal
Bevel Groove pada Koordinat (13,-1)



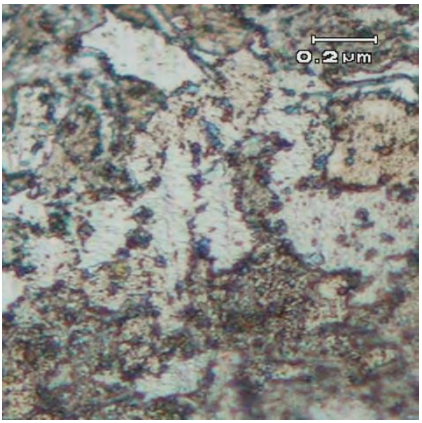
Gambar 2 Struktur Mikro Daerah Base Metal V
Groove pada Koordinat (13,-1)



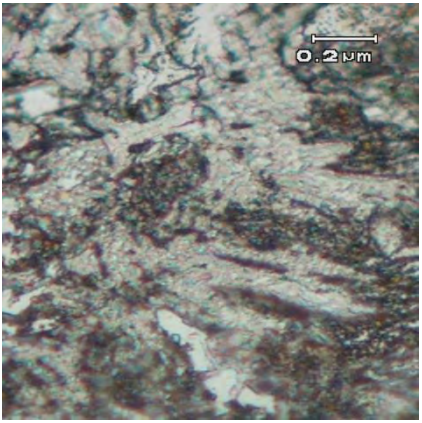
Gambar 3 Struktur Mikro Daerah HAZ Bevel Groove pada Koordinat (5,1)



Gambar 3 Struktur Mikro Daerah HAZ V Groove pada Koordinat (5,1)



Gambar 3 Struktur Mikro Daerah Weld Metal Bevel Groove pada Koordinat (0,0)



Gambar 3 Struktur Mikro Daerah Weld Metal V Groove pada Koordinat (0,0)

m

BIODATA PENULIS

Penulis yang memiliki nama lengkap Moch. Farobi Aliviyan dilahirkan di Kota Sidoarjo, 13 September 1996, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, MINU Durungbedug Sidoarjo, SMP Negeri 1 Candi, dan SMA Negeri 4 Sidoarjo. Pada tahun 2015 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin Industri FV-ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 10211500000033. Manufaktur merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan dan bergabung dalam organisasi. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : Menjadi Kadep PSDM HMDM FV-ITS Periode 2016-2017, *Screening Comitte* HMDM FV-ITS Periode 2016-2017 dan menjadi bagian dari Departemen Internal Vokasi ITS periode 2017-2018. PT. UPJP Indonesia Power Pasuruan, Jawa Timur merupakan tempat kerja praktek penulis selama satu bulan pada tanggal 3 Juli s/d 3 Agustus 2017 di bidang perawatan "Piston Damper HRSG".

Pelatihan yang pernah diikuti penulis : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah HMDM FTI-ITS (2015), Pelatihan Motor Bakar HMDM FTI-ITS (2015), Pelatihan LKMM Pra-Tingkat Dasar (Pra-TD) FTI-ITS (2015) , Pelatihan LKMM Tingkat Dasar (TD) IX HMDM FTI-ITS (2016), Pelatihan LKMM Tingkat Menengah (TM) I FV-ITS (2017).

Email : aliviyanm@gmail.com