TUGAS AKHIR – VM 180629

PENGARUH VARIASI SUDUT GROOVE PENGELASAN PADA *LOW CARBON STEEL ASTM* A36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E6013 TERHADAP DISTORSI DAN LEBAR HAZ.

Muhamad Taufiqi Kusen
NRP. 102115 00000 109

Dosen Pembimbing
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.
NIP. 19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2019

TUGAS AKHIR – VM 180629

PENGARUH VARIASI SUDUT GROOVE PENGELASAN PADA *LOW CARBON STEEL ASTM* A36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E6013 TERHADAP DISTORSI DAN LEBAR HAZ.

Muhamad Taufiqi Kusen
NRP. 102115 00000 109

Dosen Pembimbing
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.
NIP. 19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

TUGAS AKHIR – VM 180629

INFLUENCE OF GROOVE ANGLE WELDING VARIATIONS ON LOW CARBON STEEL ASTM A36 USING SMAW WELDING WITH E6013 ELECTRODE AT DISTORTION AND WIDE HAZ.

Muhamad Taufiqi Kusen
NRP. 102115 00000 109

Lecture Concellor
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.
NIP. 19600623 198803 1 002

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vokasi
Institut Teknologi of Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI SUDUT GROOVE PENGELASAN PADA *LOW CARBON STEEL ASTM* A36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E6013 TERHADAP DISTORSI DAN LEBAR HAZ

TUGAS AKHIR

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

Oleh:
MUHAMAD TAUFIQI KUSEN
NRP. 10211500000109

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing

Ir. Hari Subiyanto M.Sc
NIP. 19600623 198803 1 002

SURABAYA
Januari 2019

PENGARUH VARIASI SUDUT GROOVE PENGELASAN PADA *LOW CARBON STEEL ASTM* A36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E6013 TERHADAP DISTORSI DAN LEBAR HAZ.

Nama Mahasiswa : Muhamad Taufiqi Kusen
NRP : 10211500000109
Jurusan : Departemen Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.

Abstrak

Teknologi pengelasan merupakan suatu teknologi yang sering digunakan dalam proses manufaktur, baik secara onshore, offshore, dan bidang konstruksi. Salah satu pengelasan yang sering digunakan adalah SMAW. teknik pengelasan menimbulkan efek merugikan, yaitu distorsi, Sehingga pengetahuan mengenai teknologi pengelasan sangat diperlukan untuk mencapai kesesuaian proses pengelasan agar diperoleh hasil yang optimal.

Dalam penelitian ini, pengelasan yang digunakan adalah las SMAW. Salah Satu yang perlu dikaji adalah distorsi pada pengelasan karena pengaruh dari variasi sudut groove 60°, 65°,dan 70° menggunakan elektrode E6013 material *ASTM A 36* tebal 11 mm. Selanjutnya untuk mengetahui hasil sambungan dari ketiga variasi groove dengan mengamati sudut deformasi dan struktur makro.

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada pengelasan SMAW baja *ASTM A 36* dengan besar sudut groove 60°,65°,70° menghasilkan nilai distorsi arah transversal 1.082°, 1.846°, 2.331°. arah longitudinal 0,001134 mm, 0,00427 mm, 0.00639 mm. Pada hasil penelitian uji makro etsa rata-rata umum lebar HAZ pada las dengan sudut Groove 60° yaitu 2,55 mm lebih kecil dari sudut 65° yaitu 2,77 mm, dan sudut 70° yaitu 2,83 mm. Sehingga pada pengujian ini didapatkan semakin kecil sudut groove semakin sempit lebar HAZ.

Kata Kunci : IPTEK, Pengelasan, SMAW, Groove, Distorsi dan HAZ.

INFLUENCE OF GROOVE ANGLE WELDING VARIATIONS ON *LOW CARBON STEEL ASTM* A36 USING SMAW WELDING WITH E6013 ELECTRODE AT DISTORTION AND WIDE HAZ.

Name : Muhamad Taufiqi Kusen
NRP : 10211500000033
Department : Industrial Mechanical Engineering
Advisor : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.

Abstract

Welding technology is a technology that is often used in manufacturing processes, both onshore, offshore, and construction. One of the welding that is often used is SMAW. welding techniques cause adverse effects, namely distortion, so that knowledge of welding technology is needed to achieve the suitability of the welding process in order to obtain optimal results.

In this research report the welding used is SMAW welding. One of the things that needs to be studied is the distortion in welding due to the influence of variations in groove angles of 60°, 65°, and 70° using E6013 electrode ASTM A 36 11 mm thick material. Next to find out the results of the connection of the three groove variations by observing the deformation angle and macro structure.

From the results of testing carried out on the welding of SMAW ASTM A 36 steel with a large groove angle of 60 °, 65 °, 70 °, the value of the transverse direction distortion is 1,082 °, 1,846 °, 2,331 °. longitudinal direction 0.001134 mm, 0.00427 mm, 0.00639 mm. The results of the macro test etch the general average width of HAZ in the weld with Groove angle of 60 ° which is 2.55 mm smaller than the angle of 65 ° which is 2.77 mm, and the angle of 70 ° is 2.83 mm. So that in this test, the smaller the groove angle the wider the HAZ is obtained

Keywords: Science and Technology, Welding, SMAW, Groove, and HAZ.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Penulis memanjatkan puji syukur kehadirat-Nya, serta tak lupa sholawat dan salam saya tujukan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Berkat rahmat dan karunia Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh laporan hasil penelitian dengan judul : **"PENGARUH VARIASI SUDUT GROOVE PADA *LOW CARBON STEEL ASTM* A36 MENGGUNAKAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODE E6013 TERHADAP DISTORSI DAN LEBAR HAZ".**

Tersusunnya Laporan Penelitian ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan, dan kerjasama dari semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam pembuatan laporan penelitian ini. Oleh karena itu pada kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Moh. Mubin dan Ibu Sumini serta adik tercinta atas kasih sayang, doa, dan dukungannya baik berupa moril maupun materiil yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis.
2. Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc. Selaku Dosen pembimbing 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 Hendro Nurhadi Dipl-Ing, Selaku Dosen Wali yang membimbing penulis semenjak menjadi mahasiswa baru sampai sekarang ini.
6. 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.

7. Dio, Dendy, Willy Yoga, Irsyad, Cino, Mas Yasir teman sekaligus yang kakak yang telah memberikan masukan dan bantuan agar terselesaikannya Laporan Penelitian ini.
8. Partner tugas akhir Febi Adi, Faris, Obie, Gabriel.
9. Tambi, Kencrut, Bapak, Mandor, Pex, Sentot dan teman-teman 119 yang mendukung terselesaikannya Laporan Penelitian ini.
10. Teman-teman D3MITS khususnya angkatan 2015 terimakasih atas bantuan yang sudah diberikan.
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.

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

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL (Versi Bahasa English)
JUDUL (Versi Bahasa Indonesia)
LEMBAR PENGESAHAN.....iii
ABSTRAK.....iv
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL.....xii

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

BAB II DASAR TEORI
2.1 Tinjauan pustaka.....7
2.2 Baja Karbon.....7
2.2.1 Baja ASTM A36.....10
2.3 Definisi Pengelasan 10
2.3.1 Shielded Metal Arc Welding 12
2.3.2 Kawat Las.....14
2.3.3 Bahan Fluks.....18
2.3.4 Posisi Pengelasan 19
2.3.5 Sambungan Pengelasan 20
2.3.6 Sudut Kampuh 20
2.4 Metalurgi Pengelasan 21
2.4.1 Siklus Termal 22
2.4.2 Heat Input.....23
2.5 Tegangan Sisa 24
2.5.1 Faktor yang Mempengaruhi Tegangan Sisa 25

2.5.2 Distribusi Tegangan Sisa 26
2.6 Distorsi 28
2.6.1 Jenis-jenis Distorsi 28
2.6.2 Faktor-faktor penyebab Distorsi.....30
2.6.3 Pengendalian Distorsi.....31
2.7 Makro Etsa 34

BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Rancangan Percobaan.....35
3.2 Diagram Alir (Flow Chart).....35
3.3 Waktu Penelitian 38
3.4 Tempat.....38
3.5 Persiapan Bahan dan Peralatan.....38
3.5.1 Persiapan Bahan 38
3.5.2 Persiapan Spesimen.....39
3.6 Parameter Pengelasan.....42
3.7 Proses Pengelasan.....42
3.8 Pengambilan Data.....44
3.8.1 Pengukuran Nilai Distorsi 45
3.8.2 Pemotongan Material 47
3.8.3 Pengujian Makro Etsa 47
3.8.4 Pengukuran Lebar HAZ 51

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN
4.1 Parameter Pengelasan.....53
4.2 Pengujian Nilai Distorsi 55
4.2.1 Pengukuran Nilai Distorsi 55
4.2.2 Analisa Hasil Pengukuran Distorsi 55
4.2.3 Pembahasan Hasil Pengukuran Nilai Distorsi....60
4.3 Pengujian Makro Etsa 61
4.3.1 Perhitungan Hasil Pengujian Makro Etsa.....61
4.3.2 Pembahasan Hasil Pengujian Makro Etsa 66
BAB V PENUTUP
5.1 Kesimpulan.....67
5.2 Saran.....67

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) di era sekarang sangatlah maju. Teknologi pengelasan merupakan suatu jenis teknologi yang sering digunakan dalam proses manufaktur, untuk saat ini proses pengelasan dipergunakan secara luas dalam bidang kerja *offshore, onshore* dan konstruksi ringan maupun berat dan juga kemajuan ilmu pengetahuan [1]. Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan dua logam menjadi satu akibat proses panas dengan menambah logam pengisi dan tekanan atau tanpa tekanan. Salah satu jenis pengelasan yang sering digunakan yaitu proses dengan proses pengelasan SMAW *(Shielding Metal Arc Welding*. Komposisi dari logam cair terdiri atas logam dasar dan logam pengisi yg terbentuk tepat diujung elektroda. Logam pengisi ditambahkan selama operasi untuk menambah volume dan kekuatan sambungan las-an [2]. Mutu dari hasil pengelasan disamping tergantung dari pengerjaan lasnya sendiri dan juga sangat tergantung dari persiapan sebelum pelaksanaan pengelasan.

Faktor Pengelasan meliputi jadwal pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan, jenis proses las, jenis sambungan, pemilihan elektroda, dan jenis kampuh [3]. Sambungan las sendiri mempengaruhi kekuatan hasil pengelasan. Pada penelitian ini pengelasan yang digunakan adalah las Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan variasi dimensi *included angle* (sudut Groove) yang mempengaruhi cacat las yaitu Distorsi.

Distorsi merupakan cacat las yang terjadi akibat kontraksi logam las selama pengelasan yang mendorong atau menarik benda kerja untuk bergerak [4]. Perbedaan temperature yang besar di daerah logam cair menimbulkan distribusi *temperature* yang tidak *uniform*, menyebabkan terjadinya pencairan, pembekuan pengembangan dan penyusutan termal didaerah sambungan dan sekitar sambungan. Distorsi akan menyebabkan dimensi sambungan las tidak sesuai dan melebihi batas

penerimaan standar yang telah ditentukan, maka sambungan las harus diperbaiki.

Maka dari itu untuk mengusahakan hasil pengelasan yang baik dan berkualitas maka perlu diperhatikan faktor tersebut. Untuk itu penelitian tentang pengelasan sangat mendukung dalam rangka memperoleh hasil pengelasan yang baik.

Berkaitan dengan semua latar belakang tersebut maka pada penelitian ini akan dilakukan analisa pada material ASTM A36 untuk mengetahui pengaruh dimensi *included angle* (sudut Groove) terhadap hasil pengelasan las *SMAW*, dengan uji makro etsa untuk lebar HAZ dan uji distorsi pada tiap variasi pengelasan.

1.2 Rumusan Masalah

Bertolak dari latar belakang maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu :

1. Bagaimanakah pengaruh variasi besar sudut groove terhadap nilai distorsi pada material ASTM A36 dengan proses pengelasan SMAW?
2. Bagaimana pengaruh variasi besar sudut Groove terhadap lebar HAZ pada material ASTM A36 pada proses pengelasan SMAW?

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam penyusunan hasil penelitian lebih jelas mengenai masalah yang dikaji, maka perlu diberikan bataan masalah sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan adalah plat baja ASTM A36 dengan tebal 11 mm.
2. Pengelasan yang dilakukan adalah las SMAW dengan elektroda tipe E6013 berdiamter 3.2 mm dan 4 mm. Arus yang digunakan 110A dan 150A
3. Polaritas yang digunakan DCEN
4. Sudut pengelasan

   (Model groove menggunakan bentuk V groove, dengan sudut sesuai standart ASTM 60°, 65 dan 70°).
5. Posisi pengelasan 1G

6. Pengujian yang dilakukan :
    - Uji nilai distorsi untuk mengetahui besar nilai sudut kemiringan.
    - Uji makro etsa untuk mengetahui lebar HAZ.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui hasil nilai ditorsi yang terjadi terhadap variasi sudut groove pengelasan sambungan butt joint pada baja ASTM A36
2. Mengetahui lebar HAZ terhadap variasi besar sudut groove pengelasan sambungan butt joint pada baja ASTM A36

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variasi besar sudut groove terhadap besarnya nilai distorsi dan lebar HAZ dari pengelasan menggunakan las SMAW pada plat baja ASTM A 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 makro etsa dan pengukuran dial indikator.
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 makro etsa dan nilai pengukuran dial indicator 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 sengaja dikosongkan

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada kajian pustaka penelitian ini dibahas penelitian sebelumnya. Dimana kajian pustaka tersebut memiliki beberapa kesamaan dengan penelitian sebelumnya.

Kajian pustaka yang pertama yang ditulis oleh Heri Aditia Siregar, (2016). "*Analisa Pengaruh Variasi Arus Dan Bentuk Kampuh Pada Posisi Pengelasan 3G Pengelasan SMAW Terhadap Distorsi*. Disimpulkan bahwa semakin besar sudut kampuh maka akan semakin besar distorsi yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena perbedaan masukan dari bahan tambah atau *consumable*. deposit bahan tambah makin besar ketika sudut kampuh makin besar menimbulkan gaya tarik yang besar sehingga menghasilkan nilai distorsi yang besar pula begitu juga sebaliknya. Distorsi yang didapat berbeda seiring perubahan bentuk sudut.

Kajian pustaka yang kedua yang ditulis oleh Irsyad (2017). Pengaruh Sudut *Groove* terhadap Distorsi. Disimpulkan bahwa semakin besar sudut groove maka nilai distrosi akan semakin besar dikarenakan sudut *groove* yang semakin besar akan membuat logam pengisi semakin banyak sehingga *heat input* akan semakin besar.

Dari kajian diatas dapat diketahui bahwa *heat input* pada proses pengelasan sangat penting, sehingga pada kesempatan ini akan mengangkat penelitian tentang pengaruh heat input dengan variasi arus terhadap nilai distorsi dan lebar HAZ pada baja ASTM A36 dengan pengelasan SMAW

2.2 Baja Karbon

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.

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit beberapa paduan kimia lainnya. Sifat baja karbon sangat

tergantung pada kadar karbon, jika kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu, baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Wiryosumarto, 2000) merujuk pada (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (kg/mm^2)	Kek. Tarik (kg/mm^2)	Kek. Brinel	Penggunaan
Baja Karbon rendah:					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat Tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang, Kawat
Baja Lunak	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-45	112-145	Umum
Baja Karbon Sedang	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-Alat Mesin
Baja Karbon Tinggi:					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Rel, Pegas, Kawat Piano

Selain karbon, terdapat beberapa kandungan kimia pada baja. Kandungan-kandungan yang ada pada baja tersebut memiliki fungsi atau manfaat yang berbeda (Tabel 2.2). Hal tersebut dapat mempengaruhi kemampuan baja untuk dilas. Berikut kandungan-kandungannya.

Tabel 2.2 Karakteristik dari Lima Elemen pada Baja

Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya terhadap sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan tapi mengurangi mulurnya	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.

Silikon	Si	Baja dengan kandungansilikon 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	Karena penambahan fosfor 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.

2.2.1 Material Baja ASTM A 36

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material plat ASTM A 36. Material ini sendiri merupakan baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon 0.25% - 0.30% (Tabel 2.3) sesuai dengan mill certificate bahan dan memiliki kekuatan luluh minimal 36 ksi atau setara dengan 249 MPa (Tabel 2.4). Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada data dibawah ini:

Tabel 2.3 Komposisi Kimia dalam Persen

Element	Content
Carbon, C	0.25 - 0.290 %
Copper, Cu	0.20 %
Iron, Fe	98.0 %
Manganese, Mn	1.03 %
Phosphorous, P	0.040 %
Silicon, Si	0.280 %
Sulfur, S	0.050 %

Tabel 2.4 Sifat Mekanik ASTM A36

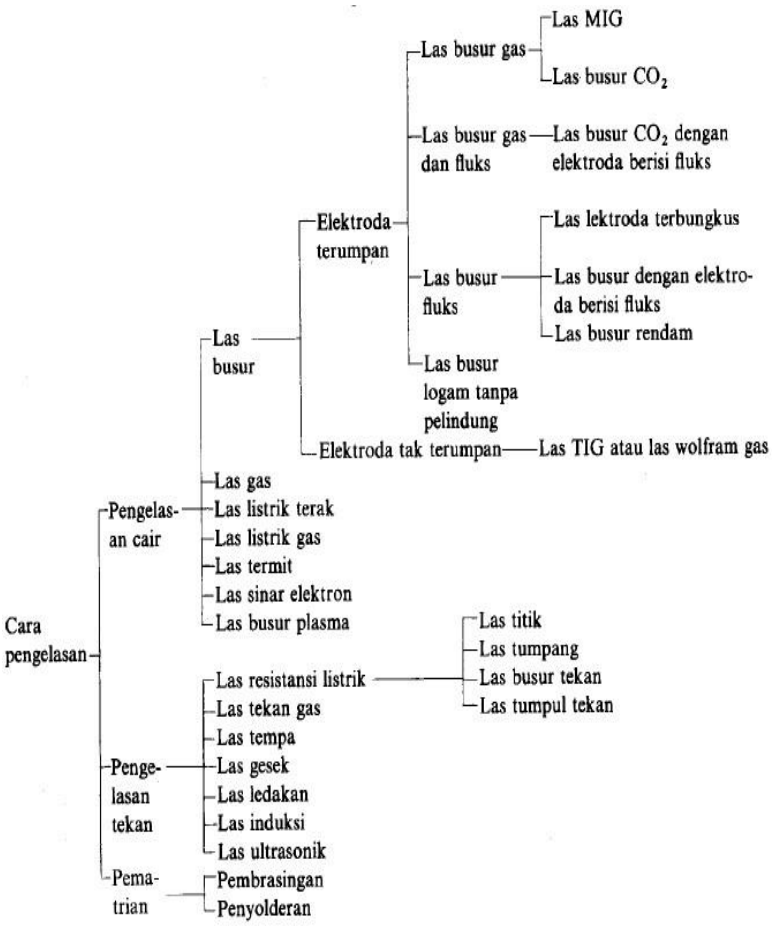
Mechanical Properties	Metric	Imperial
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi
Elongation at Break (in 200 mm)	20.0 %	20.0 %
Elongation at Break (in 50 mm)	23.0 %	23.0 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Bulk Modulus (typical for steel)	140 GPa	20300 ksi
Poissons Ratio	0.260	0.260
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi

2.3 Definisi Pengelasan

Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. [Wiryosumarto, 1996]. Teknik pengelasan secara sederhana telah diketemukan dalam rentang waktu antara 4000 sampai 3000 SM. Setelah energi listrik dipergunakan dengan mudah, teknologi

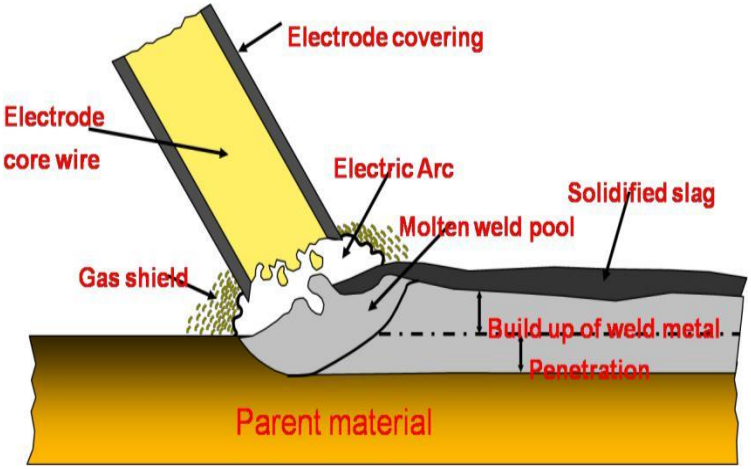
pengelasan maju dengan pesatnya sehingga menjadi sesuatu teknik penyambungan yang mutakhir.

Ditinjau berdasarkan cara kerjanya (Gambar 2.1) klasifikasi pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu : pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian



Gambar 2.1 Klasifikasi Pengelasan

2.3.1 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 (Gambar 2.2). 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

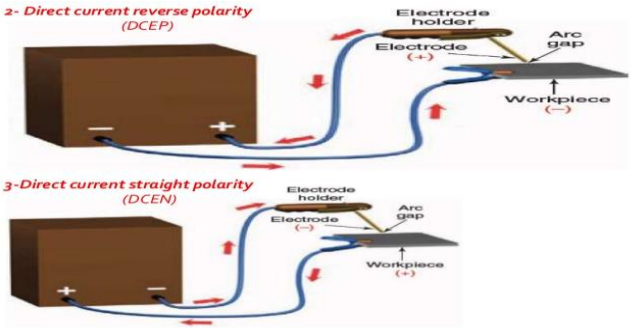
terjadi pemanasan dan hal tersebut mendorong terjadinya busur listrik. Pancaran electron sendiri dipengaruhi oleh temperature dan kekuatan medan listrik.

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 DCEN (*Direct Current Elektrode Negative)* dan DCEP (*Direct Current Elektrode Positive*).

Pada arus DCEP 2/3 panas terjadi pada elektroda dan 1/3 sisanya terjadi pada benda kerja, sedangkan pada arus DCEN terjadi sebaliknya yaitu 1/3 panas untuk elektroda dan 2/3 panas sisanya terjadi pada benda kerja (Gambar 2.3). Konsekuensi distribusi panas yang berbeda ini akan berpengaruh pada kedalaman penetrasi yang berbeda. Pada AC kedalaman penetrasi sedang dengan lebar kawah sedang. Pada DCEP, lebar kawah lebih besar dengan kedalaman penetrasi lebih dangkal bila dibanding AC. Pada DCEN, Lebar kawah lebih sempit dan kedalaman penetrasi lebih dalam bila dibandingkan AC.



Gambar 2.3 Polaritas pada Las SMAW

2.3.2 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 (Tabel 2.4).

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 x1000 psi.

A : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan (Tabel 2.5) .

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 ELEKTODA		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 Hydrogen Sodium	Medium	
6	AC	DC	+	-	Low Hydrogen Potassium	Medium	
7	AC	DC	+	-	Iron Oxyde, Iron Powder	Lunak	30-50%
8	AC	DC	+		Low Hydrogen Iron Powder	Lunak	50%

9	AC	DC					
0	Ada pengecualian pada angka terakhir 0, seperti dibawah ini						
E6013		DC	+		Cellulose Sodium	Kuat	0-10%
E6020	AC	DC		-	Iron Oxyde Sodium	Mediu m	0-10%
E6030	AC	DC		-	Iron Oxyde	Lunak	

Elektroda SMAW perlu disimpan pada suhu yang sesuai dengan ketentuan yang ada (Tabel 2.7). 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 berikut ini :

Tabel 2.7 Syarat Penyimpanan Elektroda Sesuai AWS

Syarat Penyimpanan Dan Pengeringan Elektroda

Klasifikasi AWS	Udara luar	Oven Penyim-panan	Pengeringan
E6010, E6011,	Suhu udara luar	Tidak disyarat-kan	Tidak disyarat-kan
E6012, E6013, E6020, E6022, E6027, E7014, E7024.	80 ± 20°F (30 ± 10°C) de-ngan kelem-baban 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) de-ngan kelem-baban 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.

2.3.3 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 (Tabel 2.8).

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

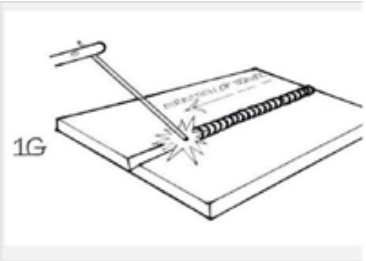
Tabel 2.8 Fungsi Bahan Fluks

Bahan Fluks	Fungsi Utama	Fungsi Tambahan
Selulosa	Penghasil gas	Deoksidasi, Penguat lapisan
Tanah liat	Pembentuk terak	Penyetabil busur
Talek (Magesium Silikat)	Pembentuk terak	
Titanium oksida	Penyetabil busur, pembentuk terak	
Ilmenit	Pembentuk terak	Penyetabil busur
Feroksida	Pembentuk terak, Oksidasi	Penyetabil busur
Kalsium karbonat	Penghasil gas	Oksidasi, Penyetabil busur, pembentuk terak
Manggan besi	Deoksidasi, Pencampur	Pembentuk terak
Manggan dioksida	Oksidasi	Pembentuk terak
Pasir silika	Pembentuk terak	
Potasium silikat	Pengikat lapisan, Penyetabil busur, Pembentuk terak	
Natrium silikat	Pengikat lapisan, Penyetabil busur, Pembentuk terak	

2.3.4 Posisi Pengelasan

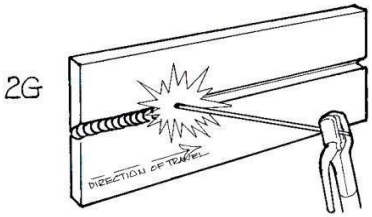
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam merujuk pada (Gambar 2.4, Gambar 2.5, Gambar 2.6, Gambar 2.7), yaitu:

A. Posisi 1G



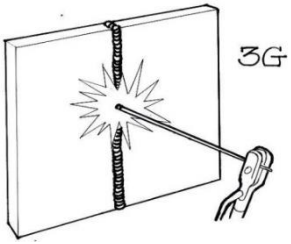
Gambar 2.4 Posisi pengelasan 1G

B. Posisi 2G



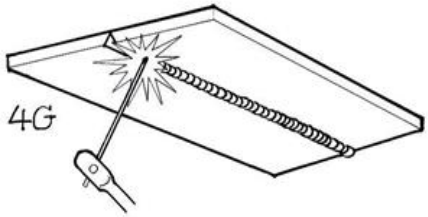
Gambar 2.5 Posisi Pengelasan 2G

C. Posisi 3G



Gambar 2.6 Posisi Pengelasan 3G

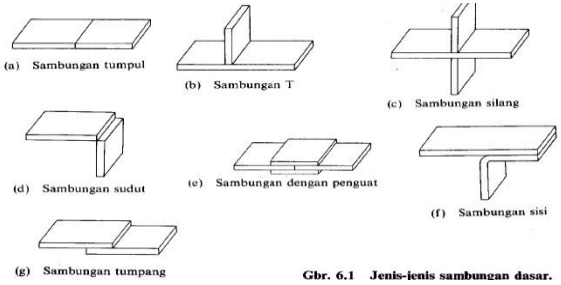
D. Posisi 4G



Gambar 2.7 Posisi Pengelasan 4G

2.3.5 Sambungan Pengelasan

Sambungan las dalam kontruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpeng (Gambar 2.8). Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.

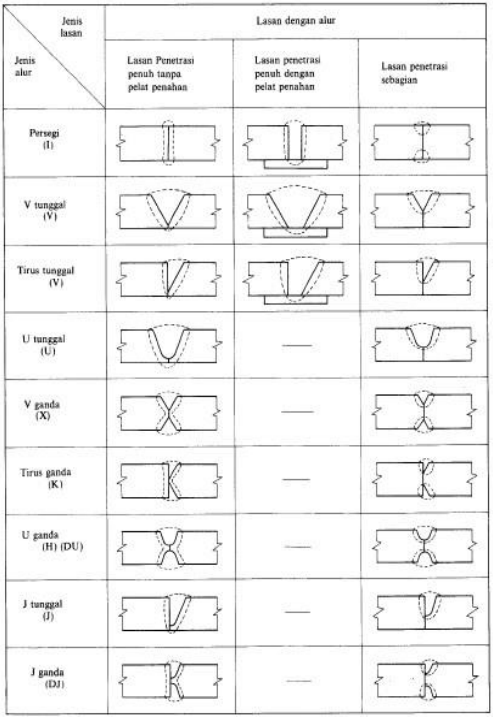


Gambar 2.8 Jenis-jenis sambungan dasar

2.3.5.1 Sudut Kampuh

Sambungan butt joint adalah jenis sambungan tumpul, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau groove yaitu V groove (kampuh V), single bevel, J groove, U Groove, Square Groove

Bentuk alur sudut kampuh pada sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan (Gambar 2.9), efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting. Bentuk dan ukuran alur sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, DIN, dan lain-lain.



Gambar 2.9 Sudut kampuh sambungan las tumpul (Butt joint)

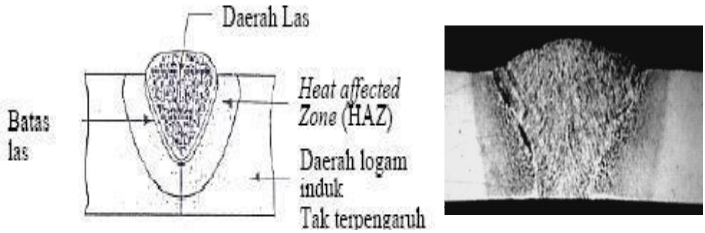
2.4 Metalurgi Pengelasan

Proses pengelasan sendiri banyak melibatkan fenomena metalurgi. Hal tersebut karena memang pada pengelasan menghasilkan energi panas sehingga terjadi siklus termal pada base metal. Pada proses pengelasan, terjadi beberapa reaksi

seperti reaksi peleburan dan reaksi pembekuan logam pada daerah kampuh las dan sebagian logam induk yang disebabkan oleh panas dari proses pengelasan itu sendiri. Reaksi-reaksi yang terjadi tersebut mempengaruhi pembentukan fasa pada deposit las dan daerah terpengaruh panas yang pada akhirnya akan mempengaruhi sifat fisik dan sifat mekanis dari lasan.

2.4.1 Siklus Termal

Siklus termal dalam pengelasan adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah logam las dan daerah yang dipengaruhi panas atau HAZ (*Heat Affected Zone*). Karena dengan mengetahui, memungkinkan meramalkan sifat-sifat dari logam las (Gambar 2.10). Aspek-aspek yang timbul selama dan sesudah pengelasan harus benar-benar diperhitungkan sebelumnya, karena perencanaan yang kurang tepat dapat mengakibatkan kualitas hasil las yang kurang baik. Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah seperti ditunjukkan pada gambar 2.10



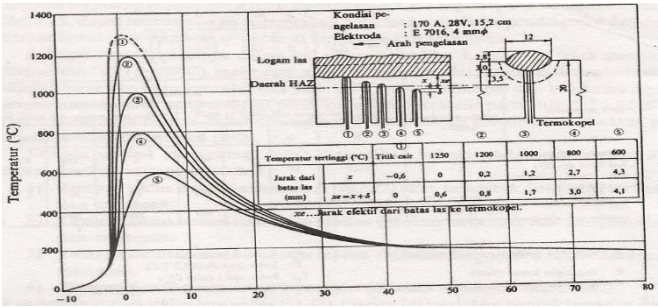
Gambar 2.10 Daerah lasan

A. Logam induk (*base metal*), merupakan bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.
B. Daerah las / logam las, merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.
C. Daerah pengaruh panas atau *heat effected zone* (HAZ), merupakan logam dasar yang bersebelahan

logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat .

D. Selain ketiga daerah tersebut, masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dengan daerah pengaruh panas yang disebut batas las atau daerah fusi (*fusion line*).

Siklus termal las sebagai contoh dapat dilihat pada (Gambar 2.11), menunjukan siklus termal daerah lasan dilihat dari beberapa tempat dalam daerah HAZ (Heat Affected Zone) dengan kondisi pengelasan tetap. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan.



Gambar 2.11 Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ (Heat Affected Zone) .

Sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800^0C sampai 500^0C, sedangkan retak dingin dimana hidrogen memegang peranan penting terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800^0C sampai 300^0C atau 100^0C.

2.4.2 Heat Input

Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari

listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan, tegangan (voltage) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Masukan panas : $$\mathbf{HI} = \frac{V \times I \times \eta}{s} \quad \text{.....} \quad \mathbf{(2.1)}$$

Dimana: *HI= Masukan panas atau energi (J/mm)*
I= Arus (Ampere)
V=Voltase (Volt)
η= Efisiensi perpindahan panas (Tabel 2.9)
s=Kecepatan pengelasan (mm/s)

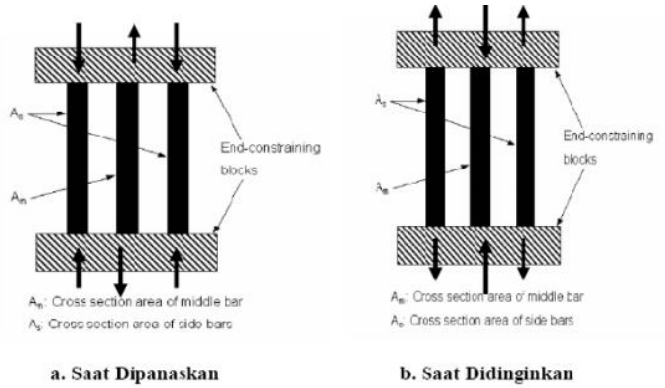
Nilai η besarnya antara 0 ÷ 1 yang tergantung proses pengelasannya.

Tabel 2.9 Efisiensi perpindahan panas

Welding process	Arc efficiency factor η
SA welding (steel)	0.90 ÷ 0.99
SMA welding (steel)	0.66 ÷ 0.85
GMA welding (steel)	0.75 ÷ 0.93
GMA welding (Co_2 – steel)	0.66 ÷ 0.70
GTA weldng (Ar– steel)	0.25 ÷ 0.75
GTA welding (He– Al)	0.55 ÷ 0.80
GTA welding (Ar– Al)	0.22 ÷ 0.46

2.5 Tegangan Sisa

Pada proses pengelasan terjadi pemanasan yang terpusat serta distribusi temperaturnya tidak seragam. Oleh karenanya timbul apa yang dinamakan *Residual Stress* (Tegangan Sisa). *Residual stress* yang timbul menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan mekanis konstruksi las. Oleh karena itu sebisa mungkin masalah *residual stress* ini harus dihindari. Mekanisme terjadinya *residual stress* pada material dapat diilustrasikan seperti terlihat dalam Gambar 2.13



a. Saat Dipanaskan **b. Saat Didinginkan**

Gambar 2.12. Ilustrasi mekanisme terjadinya tegangan sisa (Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

Dari Gambar 2.12. tersebut terlihat bahwa batang ***Am*** atau yang terletak di bagian tengah dipanaskan pada suhu tertentu, sedangkan batang ***As*** tidak mengalami pengaruh panas. Pada saat dipanaskan, batang ***Am*** mengalami pemuaian , namun di tahan oleh batang ***As*** , sehingga dapat dikatakan bahwa batang ***Am*** menghasilkan tegangan tekan, sedangkan batang ***As*** mengalami tegangan tarik. Saat didinginkan kembali sampai temperature kamar, batang ***Am*** mengalami penyusutan namun ditahan oleh batang ***As.*** Pada saat ini batang ***Am*** berubah mengalami tegangan tarik, sementara batang ***As*** mengalami tegangan tekan. Pada temperature kamar dapat dikatakan bahwa Batang ***Am*** mempunyai tegangan dalam tarik, sementara batang ***As*** mempunyai tegangan dalam tekan Walaupun begitu, tegangan sisa dalam proses pengelasan agak sedikit berbeda dan lebih rumit untuk menjelaskannya bila dibandingkan dengan ilustrasi pada gambar 2.4 tersebut. Hal ini disebabkan karena distribusi temperatur pada daerah las itu tidak seragam.

2.5.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan sisa

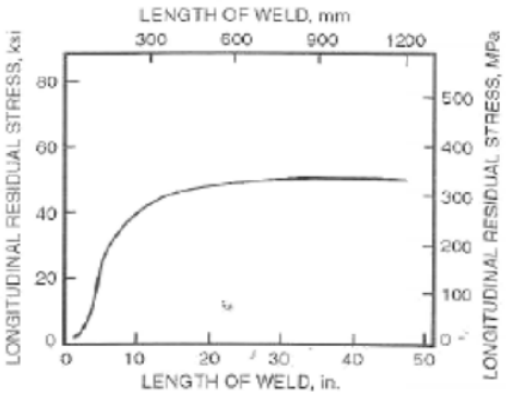
Beberapa faktor yang mempengaruhi besar tegangan sisa dalam sambungan las adalah :

a. Ukuran material yang dilas

b. Urutan pengelasan (*Welding Sequence*)

c. Bentuk sambungan (*Joint design*)

Untuk ukuran material yang paling berpengaruh adalah panjang las dan ketebalan material yang di las. Hubungan antara panjang pengelasan dengan besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dilihat pada (Gambar. 2.13) dibawah ini.

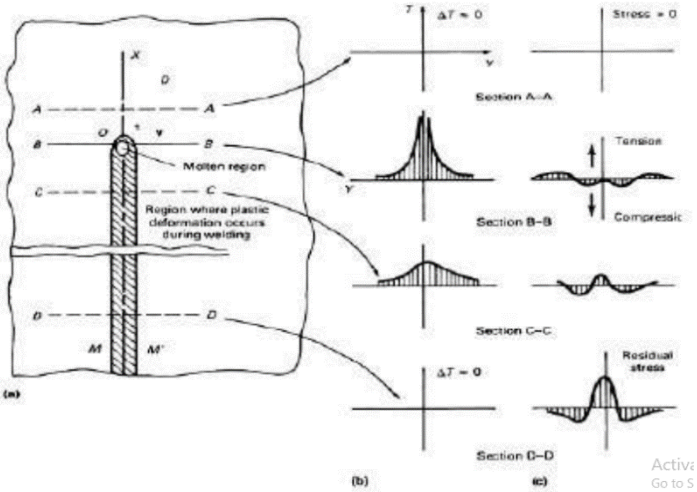


Gambar 2.13 Hubungan antara panjang las dengan tegangan sisa
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

Selain dimensi material yang di las, urutan pengelasan juga merupakan faktor penting dalam menentukan besar kecilnya nilai tegangan sisa sambungan . Pengatur an urutan las yang b aik akan menurunkan nilai akhir tegangan sisa sambungan.. Faktor terakhir yang dapat mempengaruhi nilai akhir tegangan sisa sambungan las adalah bentuk sambungan. Semakin rumit bentuk sambungan maka tegangan sisa yang terbentuk juga akan sulit untuk diperhitungkan.

2.5.2 Distribusi Tegangan Sisa pada proses pengelasan

Pada proses pengelasan , logam induk mengalami peman asan yang berbeda-beda terg antung pada posisinya . Semakin jauh dari daerah lasan maka pemanasan yang timbul juga akan semakin kecil.



Gambar 2.14 Distribusi tegangan termal
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

Gambar 2.14.a. memperlihatkan jalannya proses pengelasan yang dilakukan sepanjang garis X-X kemudian berhenti pada titik O. Sementara pada Gambar 2.15.b. memperlihatkan perubahan temperatur yang terjadi selama proses pengelasan. Sedangkan pada Gambar 2.15.c memperlihatan perubahan tegangan yang terjadi sepanjang proses pengelasan. Area M-M' adalah daerah terjadinya deformasi plastis. Area A-A adalah daerah di atas dari sumber panas dan belum terpengaruh panas secara signifikan. Perubahan temperatur pada daerah ini karena pengelasan, ΔT, adalah nol. Area B-B adalah daerah persimpangan dari pusat panas, distribusi temperatur pada daerah ini agak berbeda jauh dan tidak terarur. Sedangkan disepanjang daerah C-C yang merupakan daerah agak dibelakang dari pusat panas, distribusi temperatur tidak terlalu tinggi bila dibandingkan dengan daerah B-B dan distribusi temperatur akan semakin seragam dengan semakin jauh daerah dari pusat panas seperti yang ditunjukkan daerah D-D

Panas yang dihasilkan selama proses pengelasan menghasilkan tegangan di sepanjang arah longitudinal.

Distribusi perubahan tegangan selama proses pengelasan pada titik A-A karena tidak ada perubahan temperature maka tidak telihat adanya perubahan tegangan. Pada titik B-B distribusi tegangan sedikit terlihat karena adanya perubahan temperatur, tegangan tekan pada daerah sekitar logam las terjadi karena adanya pemuaian logam pada daerah HAZ . Pada titik C-C logam las yang tadinya mencair mulai membeku dan menyusut menyebabkan pada daerah tersebut mengalami tegangan tarik cukup besar dan titik yang lebih jauh mengalami tegangan tekan. Pada titik D-D yang sudah dingin perubahan tegangan semakin terlihat dimana daerah logam las mengalami tegangan tarik dan daerah yang sedikit jauh darinya mengalami tegangan tekan.

2.6 Distorsi

Salah satu dampak dari tegangan sisa yang terjadi dalam proses pengelasan adalah terjadinya perubahan bentuk yang biasa disebut distorsi. Mekanisme terjadinya distorsi pada proses pengelasan adalah dimulai saat terjadinya proses pendinginan logam las. Sifat dasar dari logam cair adalah akan menyusut saat didinginkan atau saat pembekuan . Akibat adanya proses penyusutan ini maka terjadi tegangan yang sangat besar pada daerah disekitarnya dan jika nilainya melebihi nilai yield point logam induknya maka akan terjadi apa yang dinamakan distorsi.

2.6.1 Jenis – jenis distorsi

Ada beberapa jenis distrosi yang biasa terjadi dalam proses pengelasan. Masing-masing jenis dibedakan berdasarkan perubahan bentuk yang terjadi dan penyebabnya (Gambar 2.15) yaitu[7] :

1. *Transverse Shrinkage*

   Distorsi ini disebabkan arah penyusutan logam las tegak lurus dengan arah pengelasan. Akibat penyusutan logam las ini plat disekitar logam las tertarik ke tengah.

2. *Longitudinal Shrinkage*

   Distorsi ini disebabkan arah penyusutan searah dengan arah pengelasan. Besar *longitudinal shrinkage* adalah sekitar 1/1000 panjang las.

3. *Angular Distortion*

   Distorsi angular dapat terjadi pada sambungan tumpul (*butt joint*) dan sambungan T (*fillet joint*). Pada sambungan tumpul (*butt joint*) distorsi angular terjadi jika transverse shrinkage tidak seragam kearah tebal plat. Sedangkan pada sambungan T (*fillet*), perubahan bentuk yang terjadi tergantung berapa banyak dan kuat penahan yang ada.

4. *Longitudinal Bending/ Bowing*

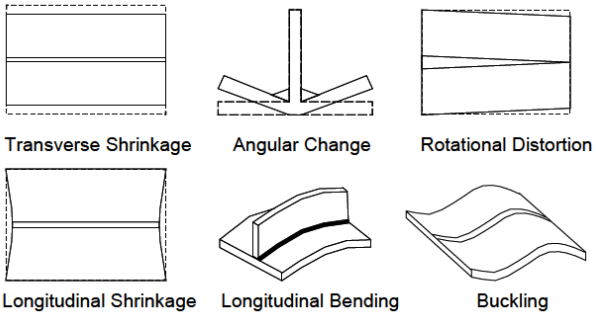
   merupakan distorsi yang disebabkan oleh longitudinal shrinkage. Hal ini terjadi akibat penyusutan yang tidak merata pada arah longitudinal yang menyebabkan struktur melengkung.

5. *Rotational Distortion*

   Distorsi ini terjadi akibat perbedaan penyusutan yang terjadi di daerah sepanjang pengelasan. Distorsi ini dipengaruhi oleh masukan panas dan kecepatan pengelasan.

6. *Buckling*

   buckling adalah merupakan distorsi yang terjadi karena ukuran material yang dilas tipis. Umumnya terjadi pada pelat dengan ketebalan kurang dari 10 mm. Hal ini disebabkan tegangan tekan longitudinal yang terjadi pada daerah lasan nilainya jauh lebih besar dari CBL (*critical buckling load)* struktur.



Gambar 2.15 Jenis-jenis distorsi

2.6.2 Faktor – faktor penyebab Distorsi

Faktor utama yang mempengaruhi jenis dan besar distorsi dapat dikelompokkan kedalam beberapa kelompok seperti[5] :Sifat fisik logam induk (*Physiscal properties of parent metal*)

1. Sifat fisik logam induk yang mempengaruhi besar kecilnya distorsi adalah;
   a. Koeffisien muai panas, semakin tinggi nilai koeffisien maka distorsi yang terjadi makin besar.
   b. Panas jenis**,** semakin tinggi maka distorsi semakin besar.
   c. Koeffisien daya hantar panas, semakin tinggi maka semakin besar distorsi yang timbul.
   d. *Yield point* pada temperatur tinggi. Untuk material yang memiliki nilai *yield point* tinggi maka distorsi akan lebih kecil dibandingkan dengan material yang memiliki *yield point* rendah. Namun tegangan sisa yang terjadi setelah pengelasan lebih tinggi dibanding dengan material yang memiliki *yield point* rendah.
   e. Titik cair *(melting point*)**.** Untuk material yang memiliki titik cair tinggi maka distorsi yang terjadi besar.

2. Jumlah penguat/penahan

   Untuk sambungan las yang memiliki penguat atau penahan yang cukup besar akan menyebabkan distorsi lebih kecil dibandingkan dengan sambungan yang penahannya kecil. Namun memiliki tegangan sisa yang lebih besar.

3. Bentuk sambungan

   Bentuk dan desain sambungan las sangat berpengaruh sekali terhadap besar kecilnya distorsi. Semakin besar besar volume dari sambungan las tersebut maka distorsi yang terjadi semakin besar karena penyusutan logam cair saat membeku berbanding lurus dengan volumenya.

4. Pemasangan komponen

   Cara pemasangan komponen yang baik seperti jarak satu komponen dengan komponen diatur sedekat mungkin akan menghasilkan distorsi yang kecil. Biasanya dalam prakteknya jarak yang diinginkan adalah sekitar 2 – 3 mm.

5. Proses pengelasan

   Pada proses pengelasan, pengaturan parameter seperti besar arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan sangat penting karena akan mempengaruhi besar kecilnya panas yang masuk (*Heat input*). Semakin besar nilai *heat input* maka semakin besar juga distorsi yang timbul. Besar heat input dapat di hitung berdasarkan rumus dibawah :

Selain pengaturan parameter , urutan pengelasan (*welding sequence*) juga perlu diperhatikan. Urutan pengelasan yang tidak seimbang akan menyebabkan distorsi yang tinggi juga. Yang terakhir perlu diperhatikan adalah temperature pemanasan awal. Temperatur pemanasan awal yang kurang tinggi akan menyebabkan distorsi yang besar.

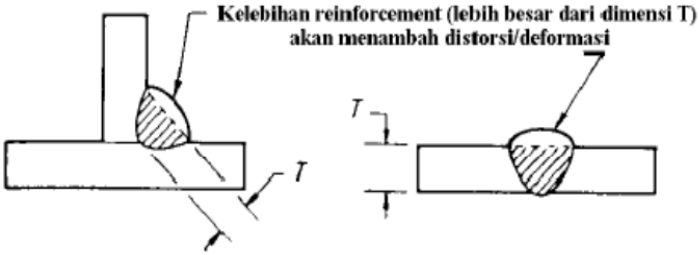
2.6.3 Pengendalian Distorsi

Untuk mengendalikan distorsi dapat digunakan beberapa metode termasuk desain dan selama pengelasan yang menghasilkan siklus pemanasan dan pendinginan. Penyusutan tidak dapat dicegah tetapi dapat dikendalikan. Beberapa cara yang digunakan untuk meminimalisir distorsi adalah :

1. Tidak membuat ukuran yang berlebihan.

   Reinforcement yang berlebihan (lebih besar dari T akan menambah terjadinya distorsi /deformasi. Dalam hal ini semakin banyak logam yang ditambahkan pada sambungan maka akan semakin besar gaya penyusutannya yang terjadi.

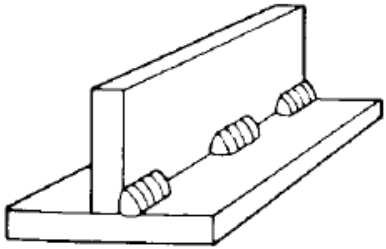
   Adapun ilustrasi dari *reinforcement* yang berlebihan dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 *Reincofonent*
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

2. Menggunakan pengelasan melompat

   Metode ini kalau mungkin harus digunakan, akan dapat mengurangi logam las sebanyak 75% dan dapat mengurangi terjadinya distorsi/deformasi. Ilustrasi *intermittenet welding* dapat dilihat pada (Gambar 2.17).

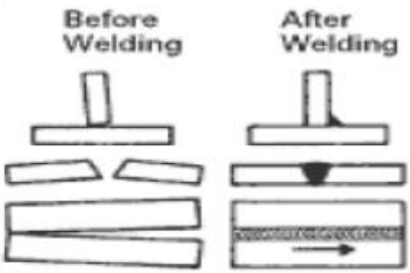


Gambar 2.17 *Intermittenet welding*
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

3. Melakukan *Presetting*

   Dengan memanfaatkan posisi material yang dilas sebelum distorsi terjadi. Teknik ini merupakan teknik yang ditentukan dengan melakukan beberapa percobaan untuk mengetahui arah distorsi. Menggunakan gaya mekanik yang berlawanan dengan arah distorsi pada saat dilakukan pengelasan sehingga hasil akhir sesuai dengan posisi yang diinginkan.

   Contoh ilustrasi dari penggunaan *presetting* dapat dilihat pada (Gambar 2.18).

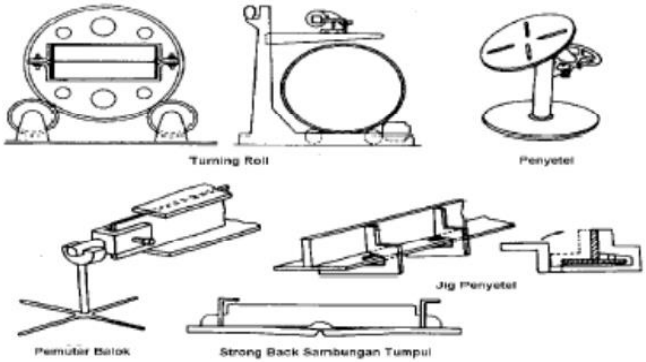


Gambar 2.18 *Presetting*
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

4. Menggunakan Jig

   Berfungsi sebagai penahan arah distorsi pada saat pengelasan. Dengan penahan diharapkan distorsi yang dihasilkan dapat dikendalikan sehingga produk akhir hasil pengelasan masih sesuai denan yang diinginkan.

   Ilustrasi macam-macam alat bantu dapat dilihat pada (Gambar 2.19)



Gambar 2.19 Macam macam jig pengelasan
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

2.7 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.

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.

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.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Percobaan

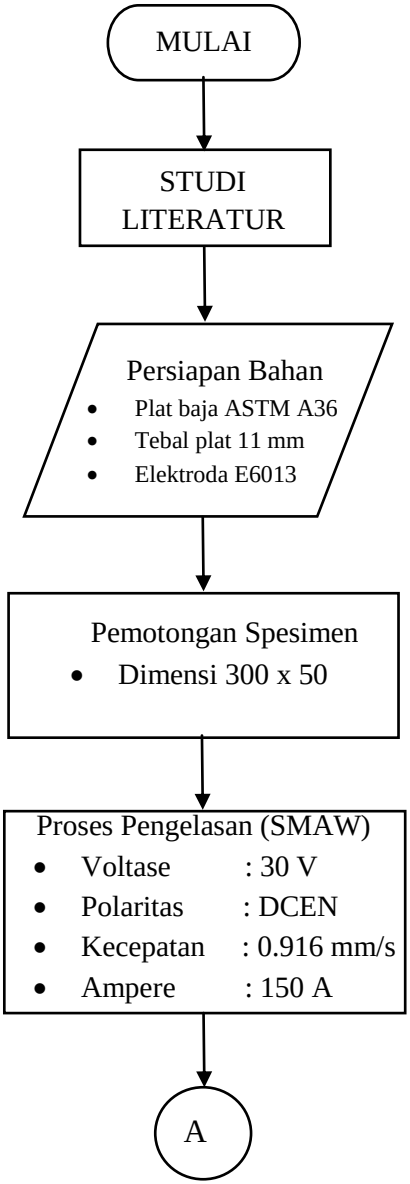
Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi dimensi *included angle* (sudut Groove) terhadap distorsi pada material *ASTM* A36 menggunakan Elektrode E6013 dengan proses pengelasan *SMAW*. Penelitian dilakukan di Workshop Departemen Teknik Mesin Industri FV – ITS Surabaya dan PT. DOK dan Perkapalan Surabaya.

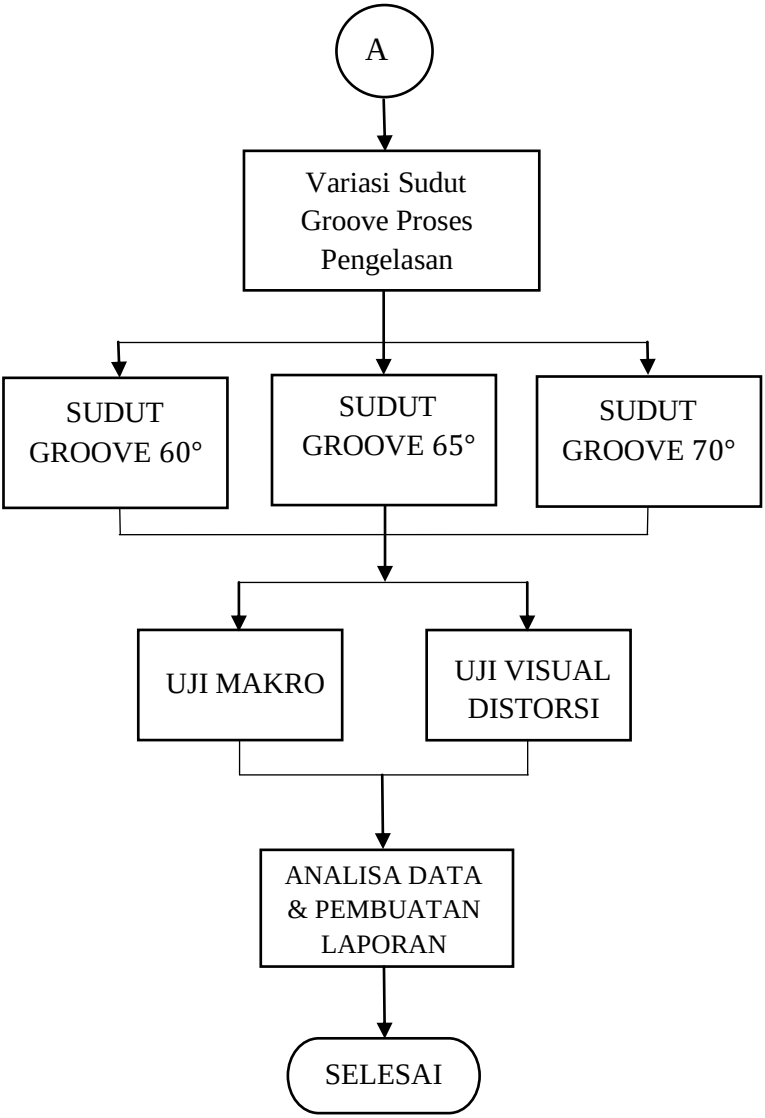
Hasil yang akan diamati dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Distorsi ; menganalisa hasil distorsi longitudinal dan transversal yang terjadi setelah proses pegelasan dengan menggunakan pengujian *dial indicator*.
2. Makro Etsa ; menganalisa lebar HAZ pada hasil pengelasan dengan menggunakan pengujian makro etsa.

3.2 Diagram Alir (Flow Chart)

Untuk membantu pelaksanaan penelitian ini maka perlu dibuat suatu urutan metode yang menjadi kerangka acuan dalam pelaksanaannya (Gambar 3.1). Kerangka ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dari pengerjaan penelitian. Dimulai dari identifikasi masalah sampai nantinya mendapatkan kesimpulan atas penelitian ini. Dibawah ini adalah kerangka acuan untuk menggerjakan penelitian.


MULAI
STUDI LITERATUR
Persiapan Bahan
Plat baja ASTM A36
Tebal plat 11 mm
Elektroda E6013
Pemotongan Spesimen
Dimensi 300 x 50
Proses Pengelasan (SMAW)
Voltase : 30 V
Polaritas : DCEN
Kecepatan : 0.916 mm/s
Ampere : 150 A
A



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dilaksanakan pada semester ganjil tahun ajaran 2018/2019 bulan September sampai dengan bulan Desember 2018

3.4 Tempat

Penelitian ini dilakukan di Lab. Metalurgi Departemen Teknik Mesin FV-ITS dan PT. Dok dan Perkapalan Surabaya

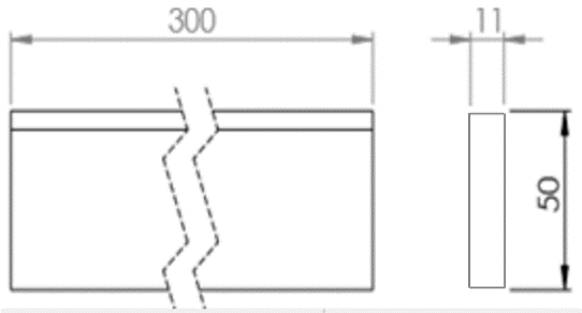
3.5 Persiapan Bahan dan Peralatan

3.5.1 Persiapan Bahan

Bahan yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Material plat baja ASTM A36 dengan tebal 11 mm 3 joint specimen (Gambar 3.2 dan Gambar 3.3).
- Elektroda E6013 digunakan sebagai logam pengisi lasan dengan diameter 3.2 mm dan 4 mm (Gambar 3.4).

Dimensi ukuran benda kerja sebagai berikut :



Gambar 3.2 Dimensi Material

Gambar 3.3 Material Sebelum di Bevel

Gambar 3.4 Elektrode Kobe Steel AWS E 6013

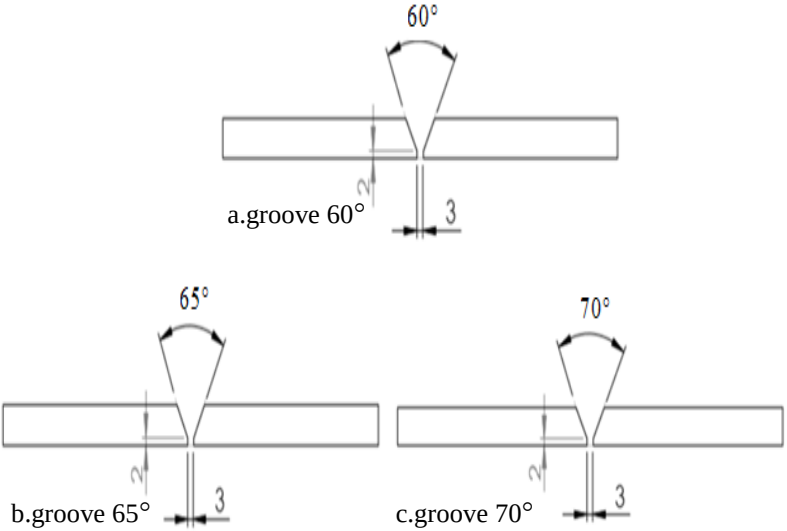
3.5.2 Persiapan Spesimen

Pada tahap ini akan dibuat spesimen yang nantinya akan di las menggunakan mesin las SMAW. Dengan persipan pengelasan sebagai berikut :

- Plat baja karbon ASTM A36 dengan dimensi 300 mm x 50 mm x 11 mm sebanyak 6 lembar.
- Bagian plat yang akan di las diratakan dan dibentuk sudut *groove angle* sebesar 60°,65°,70°, *root face* 2 mm dan *root opening* 3

mm (Gambar 3.5) dengan mesin milling atau gerinda tangan (Gambar 3.6)..

- Pembersihan terhadap kotoran di permukaan material yang akan di las.
- Spesimen siap disambung (Gambar 3.7 a,b,c).



Gambar 3.5 Dimensi Persiapan Pengelasan

Gambar 3.6 Gerinda Tangan

a.

b.

c.

Gambar 3.7 Material Setelah di Bevel

3.6 Parameter Pengelasan

Dalam penelitian ini parameter yang digunakan pada saat pengelasan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Parameter Pengelasan

SUDUT GROOVE	ELEKTRODE	No.Pass	AMPERE	VOLT	TRAVEL SPEED	POLARITY	PROSES
60°	Dia. 3.2	1	110 A	28 V	1,24 mm/s	DCEN	Root Pass
	Dia. 4	2	150 A				Fill Pass
	Dia. 4	3					Back Weld
	Dia. 4	4					Cap Pass
65°	Dia. 3.2	1	110 A	28 V	1.19 mm/s	DCEN	Root Pass
	Dia. 4	2	150 A				Fill Pass
	Dia. 4	3					Back Weld
	Dia. 4	4					Cap Pass
70°	Dia. 3.2	1	110 A	28 V	1.15 mm/s	DCEN	Root Pass
	Dia. 4	2	150 A				Fill Pass
	Dia. 4	3					Back Weld
	Dia. 4	4					Cap Pass

3.7 Proses Pengelasan

Setelah spesimen telah dipotong sesuai dimensi pengelasan maka langkah selanjutnya adalah proses pengelasan dengan metode SMAW dengan sambungan *butt joint single v groove 60°, 65°, dan 70°* elektroda E 6013 (Gambar 3.10) yang dilakukan di PT Dok dan Perkapalan Surabaya. Sebelum dilakukan proses pengelasan material menggunakan metode SMAW material harus dibersihkan terlebih dahulu agar tidak ada kotoran pada area yang akan di las. Selanjutnya mempersiapkan mesin las SMAW (Gambar 3.8) dan mengatur polaritas dan arus sesuai dengan variasi parameter yang akan digunakan. Pada saat proses pengelasan menggunakan posisi 1G, layer pertama digunakan untuk mengelas root dengan menggunakan arus yang kecil dengan

diameter 3.2 mm dan pada layer kedua menggunakan elektroda diameter 4mm untuk mengisi logam las kemudian layer ketiga digunakan untuk pengelasan pada backweld sebelum pengelasan backweld alur las di gougging terlebih dahulu (Gambar 3.11) sampai lebar 4mm, kemudian layer keempat digunakan untuk mengisi dan menutup logam hasil lasan.

Gambar 3.8 Mesin Las SMAW

Gambar 3.9 Tang Ampe

Gambar 3.10 Proses Pengelasan

Gambar 3.11 Proses Gouging

3.8 Pengambilan Data

Setelah proses pengelasan dengan:

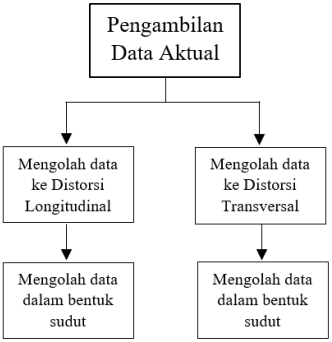
- Parameter 1 besar sudut angle 60°
- Parameter 2 besar sudut angle 65°
- Parameter 3 besar sudut angle 70°

Selesai, maka spesimen akan dilakukan pengambilan data sebagai berikut :

3.8.1 Pengukuran Nilai Distorsi

Setelah proses pengelasan selesai selanjutnya dilakukan pengukuran nilai distorsi pada setiap hasil pengelasan. Pengukuran dilakukan dengan metode fixed point (Gambar 3.13). dengan bantuan alat yang disebut dial indicator (Gambar 3.14) dan beberapa peralatan lainnya. Dibawah ini adalah cara menentukan titik-titik distorsi.

Tahap untuk pemgambilan nilai distorsi longitudinal dan transversal yaitu sebagai berikut :

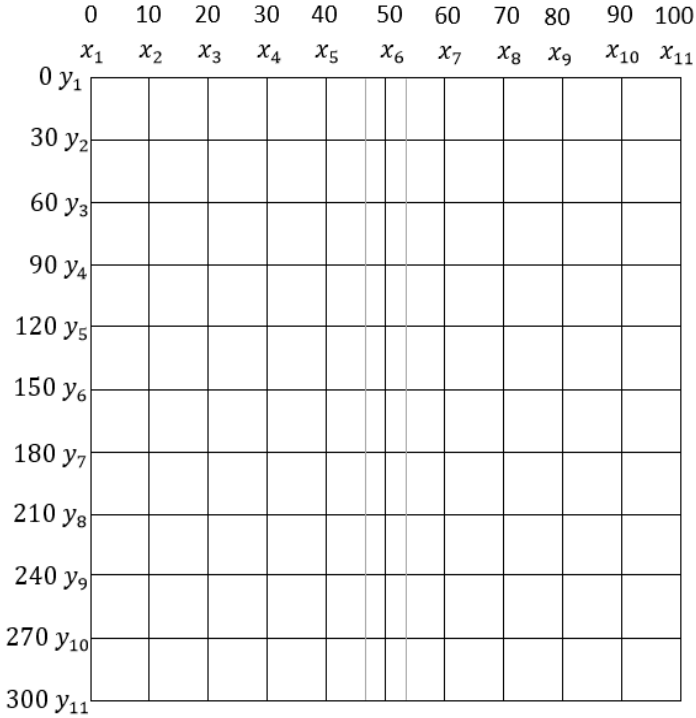


Gambar 3.12 Tahap Pengambilan Nilai Distorsi

Gambar Tahap Pengambilan Nilai Distorsi

1. Pengambilan Data Aktual
   - Pengambilan data dimulai dari titik refrensi (0) atau pada garis X1
2. Mengolah data aktual menjadi data distorsi longitudinal dan transversal
   - Distorsi Transversal : titik refrensi (0) diubah ke garis X6
   - Distorsi Longitudinal: titik refrensi (0) diubah ke garis Y6
3. Mengubah data distorsi menjadi sudut dengan rumus trigonometri sederhana kemudian dihitung rata-rata distorsi sudutnya

$$\theta = tan^{-1}\frac{Tinggi\ Distorsi}{Panjang\ Pelat}$$

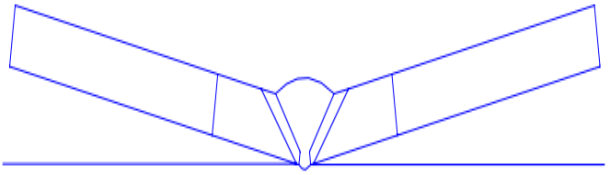


Gambar 3.13 Pengukuran Distorsi

Gambar 3.14 *Dial Indicator*

3.8.2 Pemotongan Material

Pada tahap ini material dipotong menjadi lebih pendek yang berpusat pada *weld metal* merujuk pada (Gambar 3.15). Hal ini dlakukan untuk mempermudah proses penghalusan yang selanjutnya akan digunakan proses makro etsa. Pemotongan yang diperlukan yaitu 80 mm – 100 mm sebanyak 2 sampel secukupnya agar semua bagian las – lasan terlihat.



Gambar 3.15 Pemotongan Pengukuran Makro Etsa

3.8.3 Pengujian Makro Etsa

Bertujuan untuk melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu proses mereaksikan spesimen dengan larutan kimia (cairan HNO_3+Alkohol), agar didapat hasil yaitu pada spesimen hasil pengelasan bagian *Weld Metal*, *HAZ*, dan *Base Metal* akan terlihat.

Berikut langkah-langkah pengujian makro etsa :

1. Menggosok benda uji dengan menggunakan amplas secara bertahap mulai dari 220,400,800,1000,1300 hingga spesimen uji benar- benar rata (gambar 3.16)
2. Setelah spesimen sudah rata kemudian diberi autosol agar spesimen lebih halus. (gambar 3.17)

3. Setelah rata dan halus spesimen siap untuk di uji makro etsa (gambar 3.18)
4. Siapkan tempat untuk melarutkan cairan etsa (gambar 3.19)
5. Mulai pengetsaan spesimen dengan melarutkan larutan alkohol dengan HNO3 yang mana perbandingannya adalah 98 ml untuk alkohol dan 2 ml untuk HNO3. (gambar 3.20, gambar 3.21)
6. Kemudian bersihkan benda kerja dengan cara merendam benda kerja dengan alcohol 96% selama 2 menit.
7. Setelah itu benda kerja dimasukkan kedalam larutan etsa selama 3-5 menit. (gambar 3.22)
8. Ketika sudah terlihat daerah hasil lasan, angkat dan celupkan kedalam alkohol sebentar lalu keringkan dengan hair dryer. (gambar 3.23)
9. Setelah itu amati hasil pengujian. (gambar 3.24)

Gambar 3.16 Kertas Gosok 220,400,800,1000,1200

Gambar 3.17 Autosol

Gambar 3.18 Spesimen Uji

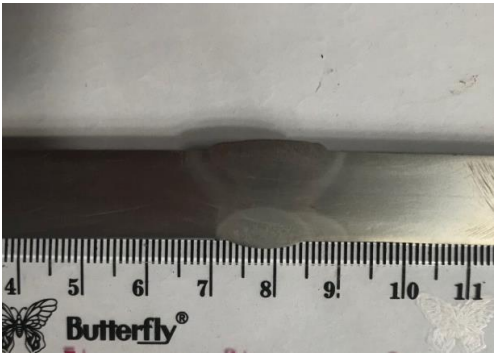
Gambar 3.19 Cawan

Gambar 3.20 Alkohol

Gambar 3.21 HNO3

Gambar 3.22 Proses Pengetsaan

Gambar 3.23 Pengeringan Hair Dryer



Gambar 3.24 Material Hasil Etsa

3.8.4 Pengukuran Lebar HAZ

Pada proses pengukuran lebar HAZ, hasil pengujian makro etsa dapat dilihat dan dihitung. Pada (Gambar 3.25) berikut adalah metode untuk mengukur lebar HAZ:

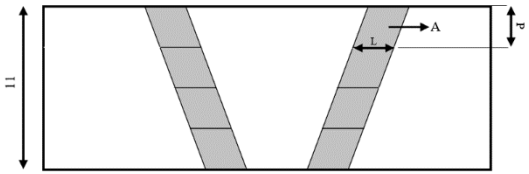
langkah-langkah menghitung HAZ dengan software Solidwok sebagai berikut :

1. Insert spesimen ke software solidworks
2. Input ukuran dimensi spesimen agar sesuai dengan gambar di solidworks

3. Sket luasan HAZ yang akan diukur setelah selesai kemudian extrude luasan tersebut
4. Kemudian measure sket luasan yang sudah di extrude sehingga mendapatkan luasan HAZ yang diinginkan.

   (Gambar pada Software Solidwork Dilampirkan)

Setelah luasan telah diketahui, kemudian dihitung dengan rumus seperti berikut



Gambar 3.25 Metode Pengukuran HAZ

Dimana : P = Panjang
L= Lebar
A= Luas

Sehingga didapat : L= $\boldsymbol{\frac{A}{P}}$

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan di workshop Departemen Teknik Mesin Industri dan PT. DOK dan Perkapalan Surabaya. Pada masing-masing material ASTM A36 Tebal 11mm, untuk material 1 difit up dengan sudut groove 60^0 dan jarak gap 3 mm. Material 2 difit up dengan sudut groove 65^0 dan jarak gap 3 mm, sedangkan material 3 difit up dengan sudut groove 70^0 dan jarak gap 3 mm merujuk pada (Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3). Menggunakan pengelasan SMAW dengan elektrode E6013 diameter 3,2 mm dan 4 mm.

Tabel 4.1 Record Parameter Pengelasan sudut groove 60°

Nama	Keterangan
Material	*ASTM* A36
Tebal	11 mm
Panjang	300 mm
AWS Classification	E 6013
Diameter filler	3,2 mm dan 4 mm
Posisi Pengelasan	1 G
Polaritas	DCEN
Layer Number	4

Proses Pengelasan	SMAW
Ampere	110 A dan 150 A
Voltage	28 V
Travel Speed	1.23 mm/s
Koefisien Las SMAW	0.8
Heat Input	2528.279 J/mm

Tabel 4.2 Record Parameter Pengelasan sudut groove 65°

Nama	Keterangan
Material	*ASTM* A36
Tebal	11 mm
Panjang	300 mm
AWS Classification	E 6013
Diameter filler	3,2 mm dan 4 mm
Posisi Pengelasan	1 G
Polaritas	DCEN
Layer Number	4

Proses Pengelasan	SMAW
Ampere	110 A dan150 A
Voltage	28 V
Travel Speed	1.19 mm/s
Koefisien Las SMAW	0.8
Heat Input	2612.387 J/mm

Tabel 4.3 Record Parameter Pengelasan sudut groove 70°

Nama	Keterangan
Material	*ASTM* A36
Tebal	11 mm
Panjang	300 mm
AWS Classification	E 6013
Diameter filler	3,2 mm dan 4 mm
Posisi Pengelasan	1 G
Polaritas	DCEN
Layer Number	4

Proses Pengelasan	SMAW
Ampere	110 A dan 150 A
Voltage	28 V
Travel Speed	1.15 mm/s
Koefisien Las SMAW	0.8
Heat Input	2697.548 J/mm

4.2 Pengujian Nilai Distorsi

4.2.1 Pengukuran Nilai Distorsi

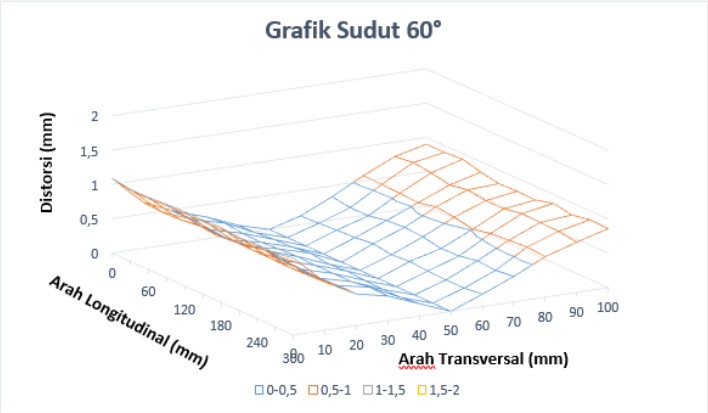
(*Dilampirkan)*

4.2.2 Analisa Hasil Pengukuran Distorsi

Dengan melihat hasil data asli pengukuran nilai distrosi diatas maka data dapat diolah dan disimpulkan seperti berikut:

Hasil Pengukuran Distorsi Transversal dan Longitudinal

- Grafik Nilai Distorsi Sudut Groove 60°



Gambar 4.1 Grafik pengukuran distorsi sudut groove 60°

Tabel 4.4 data pengukuran distorsi transversal ($\tan^{-1}\theta$)

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 70	X9 80	X10 (90)	X11 (100)
Y (0)	1.248	0.959	0.897	0.916	0.744	0	0.744	0.973	1.107	1.131	1.031
Y(30)	1.203	0.930	0.897	1.002	0.802	0	0.802	0.859	1.088	1.174	1.031
Y (60)	1.203	0.945	0.840	0.916	0.916	0	0.916	0.859	1.069	1.131	1.054
Y (90)	1.225	1.002	0.782	0.888	0.973	0	0.973	1.002	1.031	1.045	0.973
Y (120)	1.237	0.959	0.840	0.945	1.145	0	1.145	1.059	1.145	1.117	0.916
Y (150)	1.237	1.002	0.954	0.973	0.916	0	0.916	1.002	1.088	1.059	0.928
Y (180)	1.248	0.988	0.897	0.945	1.031	0	1.031	0.859	0.973	1.059	0.916
Y(210)	1.214	0.988	0.879	0.945	0.916	0	0.916	0.888	1.088	1.131	0.996
Y (240)	1.237	0.973	0.869	0.945	0.859	0	0.859	1.031	1.126	1.117	0.939
Y (270)	1.225	0.988	0.879	1.052	0.859	0	0.859	0.973	1.164	1.102	0.996
Y (300)	1.283	1.002	0.879	1.031	1.031	0	1.031	1.059	1.126	1.045	0.983

$$\textbf{Rata-rata} = \frac{\textit{jumlah nilai semua sudut}}{\textit{banyak titik}}$$

$$= \frac{119{,}02}{110}$$

$$= 1{,}082°$$

Tabel 4.5 data pengukuran sudut distorsi longitudinal ($\tan^{-1}\theta$)

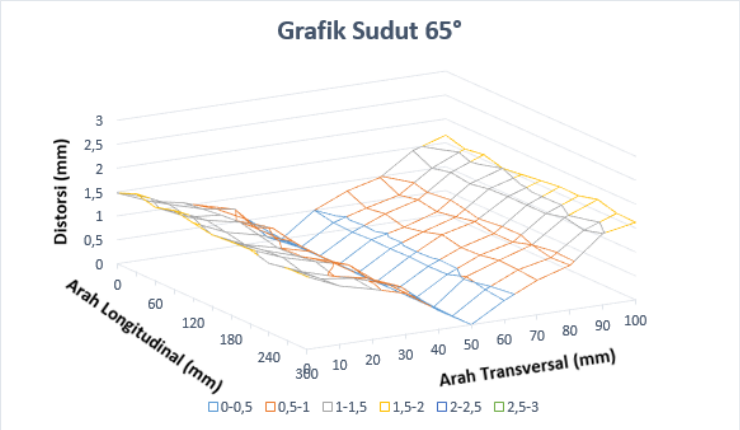
	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_4 (30)	X_5 (40)	X_6 (50)	X_7 (60)	X_8 70	X_9 80	X_{10} (90)	X_{11} (100)
Y (0)	-0,00381	0,0114	0,0114	0,00763	0,0381	0	0,0381	0,00381	-0,00381	-0,019	-0,0343
Y(30)	-0,0143	0,0143	0,0143	0,00477	0,00954	0	0,00954	0,0238	0	0,0381	-0,042
Y (60)	-0,019	0,0254	0,0381	0	0	0	0	0,0318	0,00636	-0,0318	-0,07
Y (90)	-0,00954	0	0,0381	-0,00954	0,00954	0	0,00954	0	-0,00954	0,00954	-0,0381
Y (120)	0	0,0572	0,114	0,0763	0,0763	0	0,0763	0,0381	-0,0573	-0,0763	0,00763
Y (150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y (180)	0,019	-0,019	-0,0573	0,0381	0,038	0	0,038	-0,0954	-0,0144	0	-0,019
Y (210)	-0,019	0,00954	-0,0381	0	0	0	0	-0,0381	0	0,0477	0,0572
Y (240)	0	-0,0127	-0,0318	-0,00636	0,00636	0	0,00636	0,00636	0,019	0,0254	0,00636
Y (270)	-0,00477	0,00477	-0,019	0,0143	0,00477	0	0,00477	-0,00477	0,019	0,0143	0,0286
Y (300)	0,0152	0	-0,0152	0,00763	0,00763	0	0,00763	0,00763	0,0014	-0,00381	0,019

$$\textbf{Rata-rata} = \frac{\textit{jumlah nilai semua sudut}}{\textbf{100 } \textit{titik}}$$

$$= \frac{0{,}1134}{100}$$

$$= 0{,}001134$$

- Grafik Nilai Distrosi sudut groove 65°



Gambar 4.2 Grafik pengukuran distorsi sudut groove 65°

Tabel 4.6 data pengukuran sudut distorsi transversal ($\tan^{-1}\theta$)

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_4 (30)	X_5 (40)	X_6 (50)	X_7 (60)	X_8 70	X_9 80	X_{10} (90)	X_{11} (100)
Y (0)	1.248	0.959	0.897	0.916	0.744	0	0.744	0.973	1.107	1.131	1.031
Y(30)	1.203	0.930	0.897	1.002	0.802	0	0.802	0.859	1.088	1.174	1.031
Y (60)	1.203	0.945	0.840	0.916	0.916	0	0.916	0.859	1.069	1.131	1.054
Y (90)	1.225	1.002	0.782	0.888	0.973	0	0.973	1.002	1.031	1.045	0.973
Y (120)	1.237	0.959	0.840	0.945	1.145	0	1.145	1.059	1.145	1.117	0.916
Y (150)	1.237	1.002	0.954	0.973	0.916	0	0.916	1.002	1.088	1.059	0.928
Y (180)	1.248	0.988	0.897	0.945	1.031	0	1.031	0.859	0.973	1.059	0.916
Y(210)	1.214	0.988	0.879	0.945	0.916	0	0.916	0.888	1.088	1.131	0.996
Y (240)	1.237	0.973	0.869	0.945	0.859	0	0.859	1.031	1.126	1.117	0.939
Y (270)	1.225	0.988	0.879	1.052	0.859	0	0.859	0.973	1.164	1.102	0.996
Y (300)	1.283	1.002	0.879	1.031	1.031	0	1.031	1.059	1.126	1.045	0.983

$$\textbf{Rata-rata} = \frac{\textit{jumlah nilai semua sudut}}{\textit{banyak titik}}$$

$$= \frac{203{,}14}{110}$$

$$= 1{,}846°$$

Tabel 4.7 data pengukuran sudut distorsi longitudinal ($\tan^{-1}\theta$)

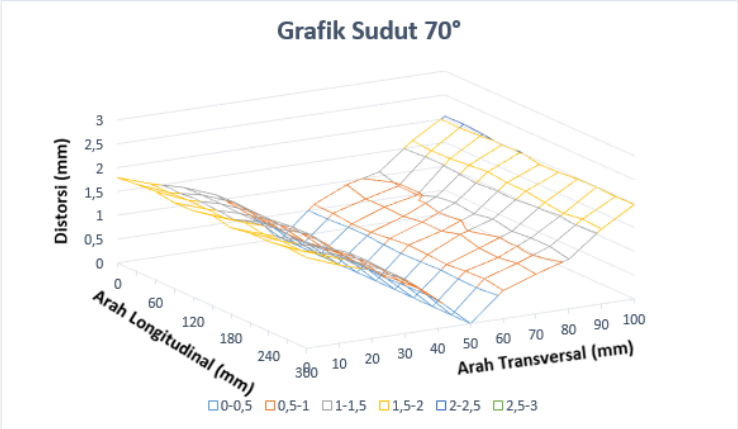
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
Y (0)	0,00763	0,00381	-0,019	0	-0,03	0	-0,03	-0,00763	-0,0114	-0,0267	0,0229
Y(30)	-0,066	-0,0062	-0,0477	0,0811	-0,0477	0	0	0,0763	0,0763	0,0572	0,0238
Y (60)	0,0254	0,0254	-0,0954	0,019	0,0127	0	0,0127	0,0636	0,0509	0,019	-0,00636
Y (90)	-0,143	-0,143	-0,171	-0,124	0	0	0	0,19	0,143	0,0859	0,0954
Y (120)	-0,0381	-0,152	-0,171	-0,0763	0,019	0	0,019	0,229	0,152	0,0381	0,0954
Y (150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y (180)	0,0572	0,114	0,019	-0,0381	-0,0381	0	-0,0381	-0,171	-0,133	0	0,0954
Y(210)	0,0477	0,0859	0,0068	-0,0763	-0,00954	0	-0,00954	-0,0068	0,0068	0	0,0381
Y (240)	-0,0381	-0,019	0,0381	-0,0127	0,0763	0	0,0763	0	0,0318	0,0636	0,0763
Y (270)	0,00477	0	0,0381	0,019	0,0143	0	0,0143	-0,00954	-0,019	0,00477	0,0143
Y (300)	0,00763	0,0114	0,0114	0,00763	-0,00763	0	-0,00763	-0,0229	-0,00763	0,0458	0,0458

$$\textbf{Rata-rata} = \frac{\textit{jumlah nilai semua sudut}}{\textbf{100 titik}}$$

$$= \frac{0.42706}{100}$$

$$= 0.00427$$

- Grafik Nilai Distorsi sudut groove 70°



Gambar 4.3 Grafik pengukuran distorsi sudut groove 70°

Tabel 4.8 data pengukuran sudut distorsi transversal ($\tan^{-1}\theta$)

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_4 (30)	X_5 (40)	X_6 (50)	X_7 (60)	X_8 70	X_9 80	X_{10} (90)	X_{11} (100)
Y (0)	1.248	0.959	0.897	0.916	0.744	0	0.744	0.973	1.107	1.131	1.031
Y(30)	1.203	0.930	0.897	1.002	0.802	0	0.802	0.859	1.088	1.174	1.031
Y (60)	1.203	0.945	0.840	0.916	0.916	0	0.916	0.859	1.069	1.131	1.054
Y (90)	1.225	1.002	0.782	0.888	0.973	0	0.973	1.002	1.031	1.045	0.973
Y (120)	1.237	0.959	0.840	0.945	1.145	0	1.145	1.059	1.145	1.117	0.916
Y (150)	1.237	1.002	0.954	0.973	0.916	0	0.916	1.002	1.088	1.059	0.928
Y (180)	1.248	0.988	0.897	0.945	1.031	0	1.031	0.859	0.973	1.059	0.916
Y(210)	1.214	0.988	0.879	0.945	0.916	0	0.916	0.888	1.088	1.131	0.996
Y (240)	1.237	0.973	0.869	0.945	0.859	0	0.859	1.031	1.126	1.117	0.939
Y (270)	1.225	0.988	0.879	1.052	0.859	0	0.859	0.973	1.164	1.102	0.996
Y (300)	1.283	1.002	0.879	1.031	1.031	0	1.031	1.059	1.126	1.045	0.983

$$\textbf{Rata-rata} = \frac{\textit{jumlah nilai semua sudut}}{\textit{banyak titik}}$$

$$= \frac{256{,}40}{110}$$

$$= 2{,}33$$

Tabel 4.9 data pengukuran sudut distorsi longitudinal($\tan^{-1}\theta$)

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_4 (30)	X_5 (40)	X_6 (50)	X_7 (60)	X_8 (70)	X_9 (80)	X_{10} (90)	X_{11} (100)
Y (0)	0,042	0,0305	0,0114	0,0229	0,0152	0	0,052	0,0305	0,00381	0,00381	0,0534
Y(30)	0,033	0,0429	0,00477	0,019	0,0238	0	0,0238	0,019	0,0716	0,019	0,062
Y (60)	0,0254	0,0445	0,0127	0,0381	0,0572	0	0,0572	0,019	0,0891	0,019	-0,0636
Y (90)	0,0954	0,0763	0,0381	0,0572	0,0859	0	0,0859	0,0477	0	0,00954	-0,0477
Y (120)	0,171	0,19	0,0763	0,029	0,0763	0	0,0763	-0,019	-0,0954	-0,0954	-0,152
Y (150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y (180)	-0,152	-0,133	-0,114	-210	-0,057	0	-0,0381	-0,21	-0,133	0	0,019
Y(210)	0	-0,0381	-0,019	-0,019	-0,0477	0	-0,0477	0	-0,00954	-0,057	-0,0477
Y (240)	-0,0127	-0,0381	0	-0,00954	-0,00954	0	-0,00954	-0,0127	0,019	-0,07	0,0381
Y (270)	-0,014	0,0196	0,0143	-0,019	0,00477	0	0,00477	0,019	0,0143	-0,0238	-0,019
Y (300)	0	0	0,0763	-0,0152	-0,019	0	-0,0229	-0,00381	-0,0229	-0,0305	-0,019

$$\textbf{Rata-rata} = \frac{\textit{jumlah nilai semua sudut}}{\textbf{100 } \textit{titik}}$$

$$= \frac{0.6394}{100}$$

$$= 0.00639$$

4.2.3 Pembahasan Hasil Pengukuran Nilai Distorsi

Distorsi yang diamati pada 3 plat hasil pengelasan dengan variasi sudut groove (60^0,65^0,70^0) bahwa perbedaan sudut groove menyebabkan terjadinya perubahan distorsi. Dari hasil pengukuran (Tabel 4.8). menunjukan nilai distorsi rata-rata arah transversal pada material sudut groove 70^0 yaitu 2.331°. (Tabel 4.6) material dengan sudut groove 65^0 yaitu 1.846°, sedangkan dari (Tabel 4.4). material dengan sudut 60^0 nilai rata-ratanya yaitu 1.082°.

Demikian juga nilai distorsi arah longitudinal pada (Tabel 4.5), material sudut groove 60^0 rata-ratanya yaitu 0,001134 mm. Material dengan sudut groove 65^0 (Tabel 4.7) nilai rata-rata yaitu 0.00427 mm, sedangkan dari (Tabel 4.9). material dengan sudut 70^0 nili rata-ratanya yaitu 0.00639 mm.

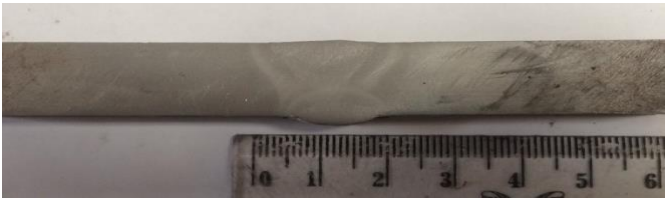
Dari keterangan diatas dapat menjadi acuan bahwa semakin besar nilai sudut groove akan memperbesar terjadinya distorsi arah longitudinal maupun arah transversal. Distorsi pengelasan tersebut juga berkaitan dengan distribusi temperature yang terjadi pada daerah las. Temperature maksimal pada material dengan sudut groove 70^0 cenderung lebih tinggi dari material sudut groove 65° dan material sudut groove 60^0. Hal ini berbanding lurus dengan semakin besar sudut groove maka semakin besar pula heat input yang dihasilkan

4.3 Pengujian Makro Etsa

Pada pengujian makro etsa ini yang akan dilihat daerah *HAZ.* Hasil pengujian makro dapat dilihat pada gambar dibawah

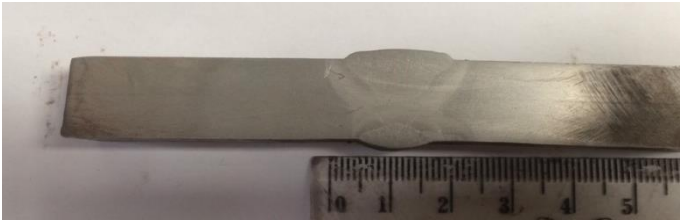
4.3.1 Perhitungan Hasil Pengujian Makro Etsa

(Dilampirkan)



Gambar 4.4 Lebar HAZ Sudut Groove 60°

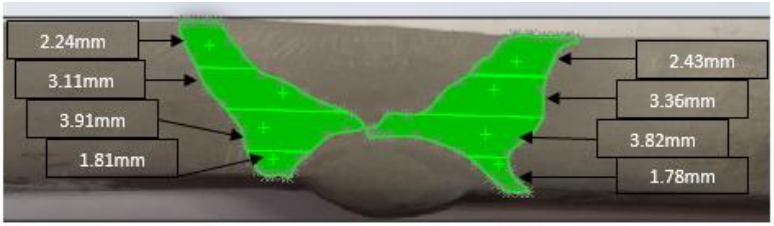
Gambar 4.5 Lebar HAZ Sudut Groove 60° (solidwork)



Gambar 4.6 Lebar HAZ Sudut Groove 65°

Gambar 4.7 Lebar HAZ Sudut Groove 65° (solidwork)

Gambar 4.8 Lebar HAZ Sudut Groove70°



Gambar 4.9 Lebar HAZ Sudut Groove 70° (solidwork)

Tabel 4.10 Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro Groove 60°

NO	LEBAR HAZ	
	KIRI	KANAN
1	2,12	2,03
2	2,46	2,59
3	2,82	2,81
4	2,11	2,52
Rata-rata	2,37	2,74

Tabel 4.11 Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro Groove 65°

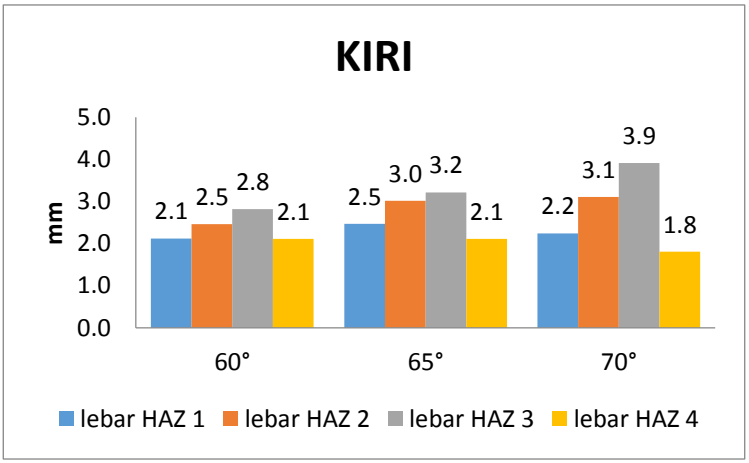
NO	LEBAR HAZ	
	KIRI	KANAN
1	2,24	2,43
2	3,11	3,36
3	3,91	3,82
4	1,81	1,78
Rata-rata	2,70	2,84

Tabel 4.12 Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro Groove 70°

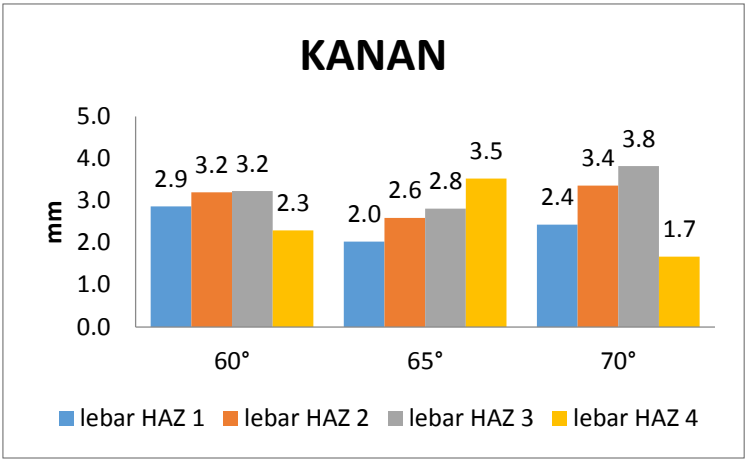
NO	LEBAR HAZ	
	KIRI	KANAN
1	2,46	2,86
2	3,01	3,19
3	3,21	3,23
4	2,11	2,29
Rata-rata	2,76	2,89

Tabel 4.13 Lebar HAZ Rata-rata Umum

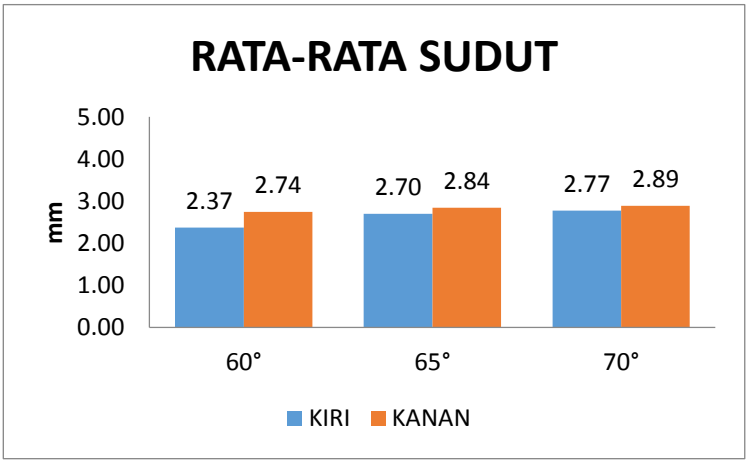
SUDUT	RATA-RATA UMUM
60°	2,55
65°	2,77
70°	2,82



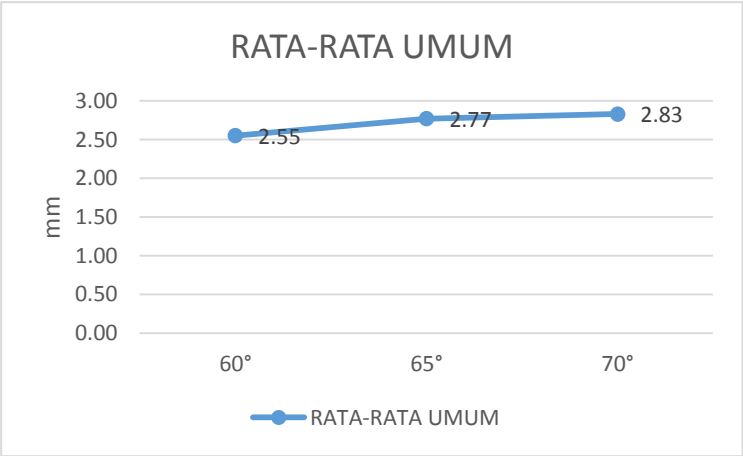
Gambar 4.10 Grafik Lebar HAZ kiri



Gambar 4.11 Grafik Lebar HAZ kanan



Gambar 4.12 Grafik Rata-rata Lebar HAZ tiap sudut



Gambar 4.13 Grafik Rata-rata Umum Lebar HAZ

4.3.2 Pembahasan Hasil Pengujian Makro Etsa

Pengaruh variasi sudut groove akan mempengaruhi distribusi temperatur pada saat proses pengelasan sehingga menyebabkan terjadi perubahan struktur makro.

Struktur makro menunjukkan bahwa HAZ rata-rata umum (Tabel 4.14) yang dimiliki benda dengan sudut groove 60° adalah 2,55 mm, sudut groove 65° yaitu 2,77 mm dan sudut groove 70° memiliki lebar HAZ 2,83 mm

Sudut groove 70° memiliki HAZ lebih besar dibandingkan benda kerja dengan sudut 65° dan 60°. Hal tersebut diakibatkan oleh distribusi temperatur yang diterima oleh benda kerja lebih besar.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh variasi sudut groove pengelasan terhadap distorsi dan makro etsa pada pengelasan material *ASTM A 36* tebal 11 mm dengan menggunakan metode SMAW, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada pengujian nilai distorsi, sudut groove 60°,65°,70° menghasilkan nilai distorsi arah transversal 1.082°, 1.846°, 2.331° dan arah longitudinal 0,00113 mm, 0.00427 mm, 0,00639 mm
2. Dari penelitian uji makro etsa didapatkan rata-rata umum perhitungan lebar HAZ pada variasi sudut groove 70° lebih besar dibandingkan dengan sudut groove 65° dan 60°.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut :

1. Pada penelitian kali ini didapatkan banyak kesalahan dalam pemotongan test piece benda kerja dikarenakan terbatasnya alat potong yang memadai.

Halaman sengaja dikosongkan

Daftar Pustaka

*Einstein, Abdillah. 2010. ‘’Pengaruh Ketebalan Pelat Terhadap Tegangan sisa dan distorsi angular pada naja ss400 menggunakan FCAW Semi-otomatis’’*Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.

AWS Committee on Methods of Inspection. (2008). *Welding Inspection Handbook. Miami:* The American Welding Society.

Kou, S., 1987*,”welding metallurgy”*, John Wiley & Sons, Singapore.

Sun, Junhao, dkk. (2016). *Effect of included angle on microstructure and mechanical property of Al/steel butt joint using laser welding-brazing method.* Elsevier - Materials and Design 90, 468–477.

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

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

Irsyadul. Moh, Anam. 2016, ‘’Pengaruh Variasi Sudut Groove pada pengelasan terhadap distorsi dan tegangan sis material baja ss400.

ASTM Steel Grade A36, *Mild/lLow Carbon Steel, Amrican Society for Testing and Materials*.

LAMPIRAN I Perhitungan Heat Input

SUDUT GROOVE	ELEKTRODE	No.Pass	AMPERE	VOLT	TRAVEL SPEED	POLARITY	PROSES
60°	Dia. 3.2	1	110 A	28 V	4 MENIT 19 DETIK	DCEN	Root Pass
	Dia. 4	2	150 A		4 MENIT 08 DETIK		Fill Pass
	Dia. 4	3			3 MENIT 47 DETIK		Back Weld
	Dia. 4	4			3 MENIT 58 DETIK		Cap Pass
65°	Dia. 3.2	1	110 A	28 V	4 MENIT 31 DETIK	DCEN	Root Pass
	Dia. 4	2	150 A		4 MENIT 13 DETIK		Fill Pass
	Dia. 4	3			3 MENIT 53 DETIK		Back Weld
	Dia. 4	4			4 MENIT 10 DETIK		Cap Pass
70°	Dia. 3.2	1	110 A	28 V	4 MENIT 47 DETIK	DCEN	Root Pass
	Dia. 4	2	150 A		4 MENIT 28 DETIK		Fill Pass
	Dia. 4	3			3 MENIT 58 DETIK		Back Weld
	Dia. 4	4			4 MENIT 07 DETIK		Cap Pass

$$\mathbf{HI} = \frac{V \times I \times \eta}{s}$$

SUDUT 60° (Kcepatan Pengelasan)

Root Pass 259 detik

Fill Pass 248 detik

Back Weld 227 detik

Cap Pass 238 detik

$$\frac{300\ \text{mm}}{259\ \text{s}} = 1.16\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}\ ;\ \mathbf{HI} = \frac{V \times I \times \eta}{s} = \frac{28\ V \times 110\ A \times 0.8}{1.16\ s}$$

$$= 2124.137\ \text{J/mm}$$

$$\frac{300\ \text{mm}}{248\ \text{s}} = 1.21\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}\ ;\ \mathbf{HI} = \frac{V \times I \times \eta}{s} = \frac{28\ V \times 150\ A \times 0.8}{1.21\ s}$$

$$= 2776.859\ \text{J/mm}$$

$$\frac{300\ \text{mm}}{227\ \text{s}} = 1.32\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}\ ;\ \mathbf{HI} = \frac{V \times I \times \eta}{s} = \frac{28\ V \times 150\ A \times 0.8}{1.32\ s}$$

$$= 2545.454\ \text{J/mm}$$

$\frac{300\ \text{mm}}{238\ \text{s}} = 1.26\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}$; **HI =** $\frac{\text{Vx I x } \eta}{\text{s}} = \frac{28\ \text{Vx } 150\ \text{A x } 0.8}{1.26\ \text{s}}$

= 2666.667 J/mm

HI rata-rata = $\frac{jumlah\ HI}{4}$

$= \frac{10113{,}279}{4}$

= 2528.279 J/mm

SUDUT 65° (Kecepatan Pengelasan)

Root Pass	271 detik
Fill Pass	253 detik
Back Weld	233 detik
Cap Pass	250 detik

$\frac{300\ \text{mm}}{271\ \text{s}} = 1.11\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}$; **HI =** $\frac{\text{Vx I x } \eta}{\text{s}} = \frac{28\ \text{Vx } 110\ \text{A x } 0.8}{1.11\ \text{s}}$

= 2219.819 J/mm

$\frac{300\ \text{mm}}{253\ \text{s}} = 1.19\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}$; **HI =** $\frac{\text{Vx I x } \eta}{\text{s}} = \frac{28\ \text{Vx } 150\ \text{A x } 0.8}{1.19\ \text{s}}$

= 2823.529 J/mm

$\frac{300\ \text{mm}}{233\ \text{s}} = 1.29\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}$; **HI =** $\frac{\text{Vx I x } \eta}{\text{s}} = \frac{28\ \text{Vx } 150\ \text{A x } 0.8}{1.29\ \text{s}}$

= 2606.201 J/mm

$\frac{300\ \text{mm}}{250\ \text{s}} = 1.20\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}$; **HI =** $\frac{\text{Vx I x } \eta}{\text{s}} = \frac{28\ \text{Vx } 150\ \text{A x } 0.8}{1.20\ \text{s}}$

= 2800 J/mm

HI rata-rata = $\frac{jumlah\ HI}{4}$

$= \frac{10449{,}549}{4}$

= 2612.387 J/mm

SUDUT 70° (Kecepatan Pengelasan)

Root Pass	287 detik
Fill Pass	268 detik
Back Weld	238 detik
Cap Pass	247 detik

$\frac{300\ \text{mm}}{287\ \text{s}} = 1.05\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}$; **HI =** $\frac{\text{Vx I x } \eta}{\text{s}} = \frac{28\ \text{Vx } 110\ \text{A x } 0.8}{1.05\ \text{s}}$

= 2346.667 J/mm

$\frac{300\ \text{mm}}{268\ \text{s}} = 1.12\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}$; **HI =** $\frac{\text{Vx I x } \eta}{\text{s}} = \frac{28\ \text{Vx } 150\ \text{A x } 0.6}{1.12\ \text{s}}$

= 3000 J/mm

$\frac{300\ \text{mm}}{238\ \text{s}} = 1.26\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}$; **HI =** $\frac{\text{Vx I x } \eta}{\text{s}} = \frac{28\ \text{Vx } 150\ \text{A x } 0.6}{1.26\ \text{s}}$

= 2666.667 J/mm

$\frac{300\ \text{mm}}{247\ \text{s}} = 1.21\ {}^{\text{mm}}/_{\text{s}}$; **HI =** $\frac{\text{Vx I x } \eta}{\text{s}} = \frac{28\ \text{Vx } 150\ \text{A x } 0.6}{1.21\ \text{s}}$

= 2776.859 J/mm

HI rata-rata = $\frac{jumlah\ HI}{4}$

$= \frac{10790.193}{4}$

= 2697.548 J/mm

LAMPIRAN II Perhitungan HAZ

Sudut 60º

1. $\frac{5,83}{2,75} = 2,12\ mm$ $\frac{5,58}{2,75} = 2,03\ mm$

2. $\frac{6.79}{2,75} = 2,46\ mm$ $\frac{7,13}{2,75} = 2,59\ mm$

3. $\frac{7,75}{2,75} = 2,82\ mm$ $\frac{7,73}{2,75} = 2,81\ mm$

4. $\frac{5,81}{2,75} = 2,11\ mm$ $\frac{9,62}{2,75} = 3,52\ mm$

Sudut 65º

1. $\frac{6,78}{2,75} = 2,46\ mm$ $\frac{7,86}{2,75} = 2,86\ mm$

2. $\frac{8,29}{2,75} = 3,01\ mm$ $\frac{8,78}{2,75} = 3,19\ mm$

3. $\frac{8.84}{2,75} = 3,21\ mm$ $\frac{8,88}{2,75} = 3,23\ mm$

4. $\frac{5,81}{2,75} = 2,11\ mm$ $\frac{6,31}{2,75} = 2.29\ mm$

Sudut 70º

1. $\frac{6,16}{2,75} = 2,24\ mm$ $\frac{2,68}{2,75} = 2,43\ mm$

2. $\frac{8,55}{2,75} = 3,11\ mm$ $\frac{9,24}{2,75} = 3,36\ mm$

3. $\frac{10,75}{2,75} = 3,91\ mm$ $\frac{10,50}{2,75} = 3,82\ mm$

$$\frac{4,97}{2,75} = 1,81\ mm \qquad \frac{4,89}{2,75} = 1,78\ mm$$

Perhitungan Rata-rata tiap sudut

Rata-rata sudut 60° (kiri) = $\frac{jumlah\ nilai\ semua\ HAZ}{4}$

= $\frac{9,516}{4}$

= 2,379 mm

Rata-rata sudut 60° (kanan) = $\frac{jumlah\ nilai\ semua\ HAZ}{4}$

= $\frac{10,063}{4}$

= 2,740 mm

Rata-rata sudut 65° (kiri) = $\frac{jumlah\ nilai\ semua\ HAZ}{4}$

= $\frac{10,816}{4}$

= 2,704 mm

Rata-rata sudut 65° (kanan) = $\frac{jumlah\ nilai\ semua\ HAZ}{4}$

= $\frac{11,39}{4}$

= 2,847 mm

Rata-rata sudut 70° (kiri) = $\frac{jumlah\ nilai\ semua\ HAZ}{4}$

= $\frac{11,07}{4}$

= 2,767 mm

Rata-rata sudut 70° (kanan) = $\frac{jumlah\ nilai\ semua\ HAZ}{4}$

= $\frac{11,589}{4}$

= 2,89 mm

Perhitungan Rata-rata Umum

Rata-rata sudut 60° = $\frac{jumlah\ nilai\ HAZ\ (kiri,kanan)}{2}$

= $\frac{5,11}{2}$

= 2,55

Rata-rata sudut 65° = $\frac{jumlah\ nilai\ HAZ\ (kiri,kanan)}{2}$

= $\frac{5,5}{2}$

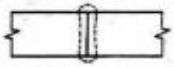
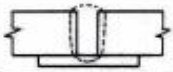
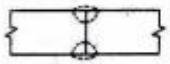
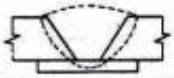
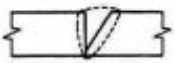
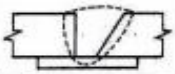
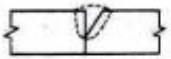
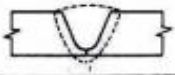
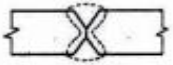
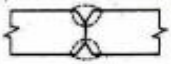
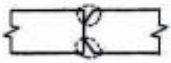
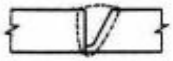
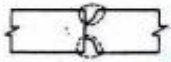
= 2,77

Rata-rata sudut 70° = $\frac{jumlah\ nilai\ HAZ\ (kiri,kanan)}{2}$

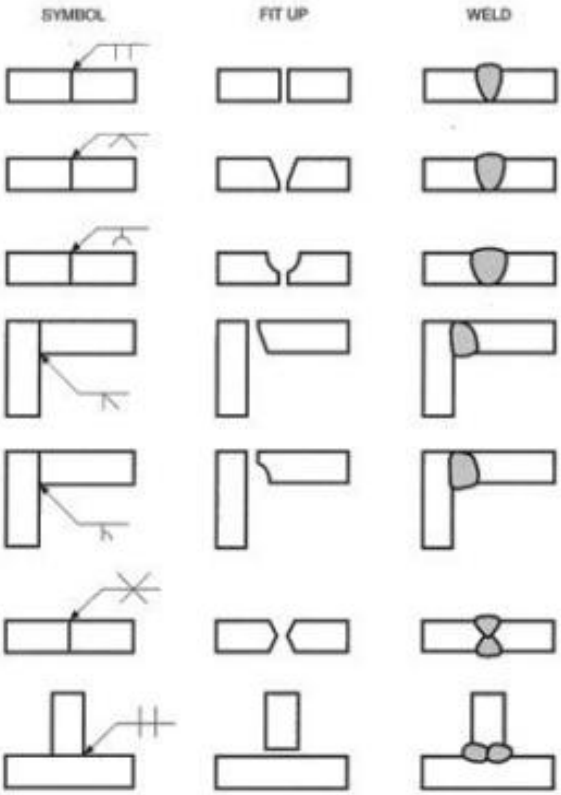
= $\frac{5,66}{2}$

= 2,83

LAMPIRAN III 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 IV Macam-macam simbol Groove



LAMPIRAN V foto proses pengelasan

LAMPIRAN VI spesifikasi baja *ASTM A36*

ASTM A36 Steel, plate

Categories: Metal; Ferrous Metal; ASTM Steel; Carbon Steel; Low Carbon Steel

Material Notes: Steel for general structural purposes including bridges and buildings.

Minimum Cu content when copper steel is specified.

Tests performed in transverse direction for plates wider than 590 mm.

Key Words: UNS K02600

Vendors: No vendors are listed for this material. Please click here if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in³	Typical of ASTM Steel

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi	
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi	
Elongation at Break	20 %	20 %	in 200 mm
	23 %	23 %	In 50 mm.
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.26	0.26	
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi	

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.25 - 0.29 %	0.25 - 0.29 %	
Copper, Cu	0.20 %	0.20 %	
Iron, Fe	98 %	98 %	
Manganese, Mn	1.03 %	1.03 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	0.28 %	0.28 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

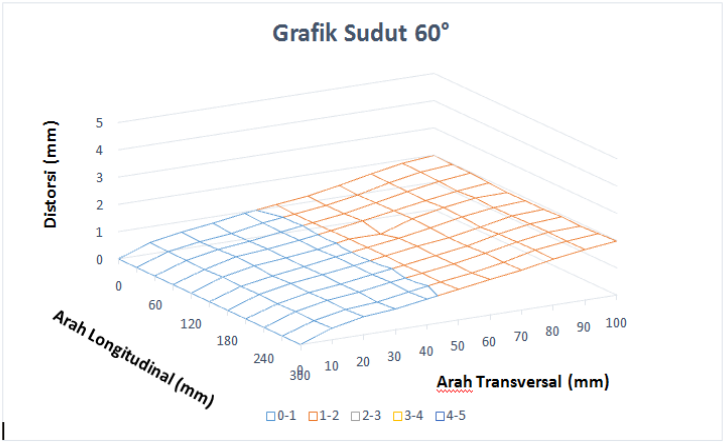
LAMPIRAN VII Data Aktual Pengukuran nilai Distorsi

Tabel data pengukuran distrosi parameter sudut 60°

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_3 (30)	X_4 (40)	X_5 (50)	X_6 (60)	X_7 (70)	X_8 (80)	X_9 (90)	X_{10} (100)
Y (0)	0	0,42	0,62	0,77	0,95	1,09	1,22	1,43	1,67	1,88	1,99
Y(30)	0	0,4	0,58	0,7	0,91	1,05	1,19	1,39	1,66	1,87	1,97
Y(60)	0	0,39	0,61	0,73	0,89	1,05	1,2	1,42	1,65	1,84	1,97
Y(90)	0	0,37	0,66	0,76	0,9	1,07	1,25	1,44	1,63	1,8	1,92
Y(120)	0	0,41	0,64	0,75	0,88	1,08	1,08	1,46	1,69	1,86	1,88
Y(150)	0	0,38	0,58	0,74	0,92	1,08	1,24	1,44	1,66	1,82	1,89
Y(180)	0	0,4	0,62	0,76	0,91	1,09	1,26	1,39	1,6	1,83	1,89
Y(210)	0	0,37	0,6	0,73	0,9	1,06	1,23	1,4	1,66	1,85	1,93
Y(240)	0	0,4	0,63	0,75	0,93	1,08	1,24	1,45	1,68	1,86	1,9
Y(270)	0	0,38	0,61	0,7	0,89	1,07	1,22	1,43	1,7	1,84	1,94
Y(300)	0	0,42	0,66	0,76	0,94	1,12	1,3	1,46	1,68	1,85	1,98

□ Titik tertinggi (mm)

- Grafik Nilai Distorsi Parameter Sudut 60°



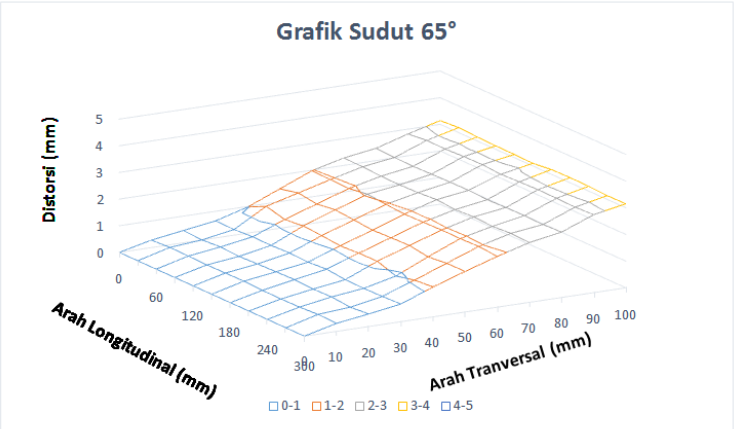
Gambar Grafik pengukuran distorsi parameter sudut 60°

Tabel data pengukuran distrosi parameter sudut 65°

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_3 (30)	X_4 (40)	X_5 (50)	X_6 (60)	X_7 (70)	X_8 (80)	X_9 (90)	X_{10} (100)
Y (0)	0	0,28	0,46	0,64	0,98	1,48	1,98	2,28	2,46	2,82	3,14
Y(30)	0	0,32	0,42	0,63	1,32	1,64	1,96	2,26	2,43	2,89	3,19
Y(60)	0	0,31	0,47	0,67	1,14	1,54	1,94	2,22	2,41	2,88	3,15
Y(90)	0	0,29	0,43	0,66	1,21	1,63	2,04	2,21	2,43	2,91	3,13
Y(120)	0	0,3	0,46	0,69	1,16	1,57	1,97	2,23	2,44	2,92	3,12
Y(150)	0	0,31	0,48	0,66	1,09	1,5	1,92	2,28	2,45	2,87	3,1
Y(180)	0	0,28	0,5	0,71	1,13	1,53	1,93	2,22	2,41	2,9	3,18
Y(210)	0	0,27	0,46	0,63	1,14	1,55	1,95	2,26	2,43	2,92	3,19
Y(240)	0	0,28	0,48	0,62	0,9	1,44	1,94	2,22	2,44	2,91	3,18
Y(270)	0	0,32	0,41	0,63	1,06	1,51	1,96	2,27	2,42	2,89	3,14
Y(300)	0	0,3	0,47	0,66	1,12	1,52	1,9	2,24	2,45	2,92	3,15

- Titik tertinggi (mm)

- Grafik Nilai Distrosi Parameter sudut 65°



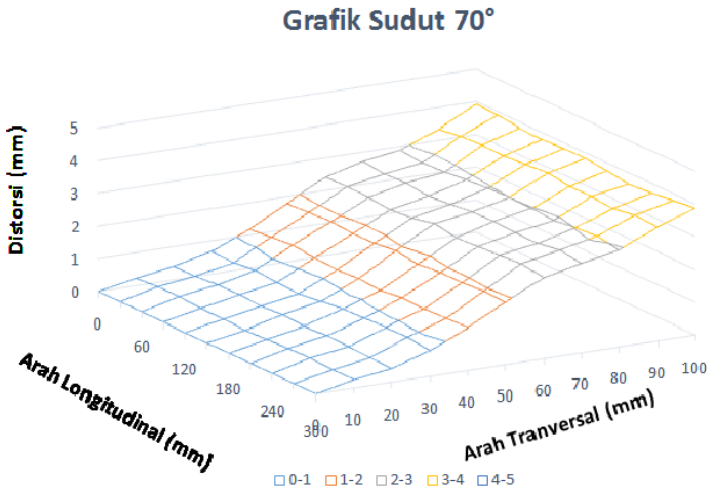
Gambar Grafik pengukuran distorsi parameter sudut 65°

Tabel data pengukuran distrosi parameter sudut 70°

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_3 (30)	X_4 (40)	X_5 (50)	X_6 (60)	X_7 (70)	X_8 (80)	X_9 (90)	X_{10} (100)
Y (0)	0	0,23	0,41	0,67	1,18	1,79	2,4	2,71	2,88	3,34	3,92
Y(30)	0	0,28	0,43	0,65	1,24	1,83	2,43	2,63	2,8	3,44	3,89
Y(60)	0	0,29	0,47	0,74	1,31	1,86	2,42	2,67	2,82	3,48	3,82
Y(90)	0	0,24	0,48	0,68	1,24	1,8	2,36	2,59	2,9	3,46	3,78
Y(120)	0	0,22	0,44	0,64	1,2	1,81	2,42	2,66	2,96	3,51	3,82
Y(150)	0	0,21	0,49	0,72	1,25	1,9	2,56	2,74	3	3,55	3,83
Y(180)	0	0,24	0,46	0,8	1,19	1,81	2,43	2,76	2,98	3,46	3,75
Y(210)	0	0,28	0,49	0,83	1,28	1,88	2,47	2,72	2,92	3,47	3,66
Y(240)	0	0,3	0,47	0,87	1,25	1,88	2,52	2,7	3,01	3,42	3,7
Y(270)	0	0,25	0,44	0,89	1,27	1,93	2,59	2,81	3,06	3,53	3,8
Y(300)	0	0,26	0,42	0,79	1,31	1,9	2,48	2,73	2,94	3,47	3,88

□ Titik tertinggi (mm)

- Grafik Nilai Distorsi Parameter sudut 70°



Gambar Grafik pengukuran distorsi parameter sudut 70°

Hasil Pengukuran Distorsi Transversal dan Longitudinal

Tabel Data pengukuran distorsi transversal sudut 60°

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_3 (30)	X_4 (40)	X_5 (50)	X_6 (60)	X_7 (70)	X_8 (80)	X_9 (90)	X_{10} (100)
Y (0)	1,09	,67	0,47	0,32	0,13	0	0,13	0,34	0,58	0,79	0,9
Y(30)	1,05	0,65	0,47	0,35	0,14	0	0,14	0,3	0,57	0,82	0,9
Y(60)	1,05	0,66	0,44	0,32	0,16	0	0,16	0,3	0,56	0,79	0,92
Y(90)	1,07	0,7	0,41	0,31	0,17	0	0,17	0,35	0,54	0,73	0,85
Y(120)	1,08	0,67	0,44	0,33	0,2	0	0,2	0,37	0,6	0,78	0,8
Y(150)	1,08	0,7	0,5	0,34	0,16	0	0,16	0,35	0,57	0,74	0,81
Y(180)	1,09	0,69	0,47	0,33	0,18	0	0,18	0,3	0,51	0,74	0,8
Y(210)	1,06	0,69	0,46	0,33	0,16	0	0,16	0,31	0,57	0,79	0,87
Y(240)	1,08	0,68	0,45	0,33	0,15	0	0,15	0,36	0,59	0,78	0,82
Y(270)	1,07	0,69	0,46	0,37	0,15	0	0,15	0,34	0,61	0,77	0,87
Y(300)	1,12	0,7	0,46	0,36	0,18	0	0,18	0,37	0,59	0,73	0,86

☐ Titik tertinggi (mm)

Tabel data pengukuran distorsi longitudinal sudut 60°

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_3 (30)	X_4 (40)	X_5 (50)	X_6 (60)	X_7 (70)	X_8 (80)	X_9 (90)	X_{10} (100)
Y (0)	-0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0	0,03	0,01	-0,01	-0,05	-0,09
Y(30)	-0,03	0,03	0,03	-0,01	0,02	0	0,02	0,05	0	-0,08	-0,09
Y(60)	-0,03	0,04	0,06	0,02	0	0	0	0,05	0,01	-0,05	-0,11
Y(90)	0,01	0	0,04	0,03	-0,01	0	-0,01	0	0,03	-0,01	-0,04
Y(120)	0	0,03	0,06	0,01	0,04	0	0,04	-0,02	-0,03	-0,04	0,01
Y(150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y(180)	0,01	-0,01	-0,03	-0,01	0,02	0	0,02	-0,05	-0,06	0	-0,01
Y(210)	-0,02	-0,01	-0,04	-0,01	0	0	0	-0,04	0	0,05	0,06
Y(240)	0	-0,02	-0,05	-0,01	-0,01	0	-0,01	0,01	0,03	0,04	0,01
Y(270)	-0,01	-0,01	-0,04	0,03	-0,01	0	-0,01	-0,01	0,04	0,03	0,06
Y(300)	0,04	0	-0,04	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0,03	-0,01	0,05

☐ Titik tertinggi (mm)

Tabel data pengukuran distorsi transversal sudut 65°

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_3 (30)	X_4 (40)	X_5 (50)	X_6 (60)	X_7 (70)	X_8 (80)	X_9 (90)	X_{10} (100)
Y (0)	1,48	1,2	1,07	0,84	0,5	0	0,5	0,8	0,98	1,44	1,66
Y(30)	1,64	1,32	1,12	1,01	0,32	0	0,42	0,62	0,79	1,25	1,55
Y(60)	1,54	1,23	1,17	0,81	0,4	0	0,4	0,68	0,87	1,34	1,61
Y(90)	1,65	1,34	1,2	0,97	0,42	0	0,42	0,58	0,8	1,28	1,5
Y(120)	1,57	1,27	1,11	0,88	0,41	0	0,41	0,66	0,87	1,35	1,55
Y(150)	1,5	1,19	1,02	0,84	0,42	0	0,42	0,78	0,95	1,37	1,6
Y(180)	1,53	1,25	1,03	0,82	0,4	0	0,4	0,69	0,88	1,37	1,65
Y(210)	1,55	1,28	1,09	0,92	0,41	0	0,41	0,71	0,88	1,37	1,64
Y(240)	1,44	1,16	0,96	0,82	0,54	0	0,54	0,78	1	1,47	1,74
Y(270)	1,51	1,19	1,1	0,88	0,45	0	0,45	0,76	0,91	1,38	1,63
Y(300)	1,52	1,22	1,05	0,86	0,4	0	0,4	0,72	0,93	1,49	1,62

□ Titik tertinggi (mm)

Tabel data pengukuran distorsi longitudinal sudut 65°

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_3 (30)	X_4 (40)	X_5 (50)	X_6 (60)	X_7 (70)	X_8 (80)	X_9 (90)	X_{10} (100)
Y (0)	0,02	-0,01	-0,05	0	-0,08	0	-0,08	-0,02	-0,03	-0,07	0,06
Y(30)	-0,14	-0,13	-0,1	0,17	0,1	0	0	0,16	0,16	0,12	0,05
Y(60)	0,04	0,04	-0,15	0,03	0,02	0	0,02	0,1	0,08	0,03	-0,01
Y(90)	-0,15	-0,15	-0,18	-0,13	0	0	0	0,2	0,15	0,09	0,1
Y(120)	-0,02	-0,08	-0,09	-0,04	0,01	0	0,01	0,12	0,08	0,02	0,05
Y(150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y(180)	0,03	0,06	0,01	-0,02	-0,02	0	-0,02	-0,09	-0,07	0	0,05
Y(210)	0,05	0,09	0,07	-0,08	-0,01	0	-0,01	-0,07	0,07	0	0,04
Y(240)	-0,06	-0,03	0,06	-0,02	0,12	0	0,12	0	0,05	0,1	0,12
Y(270)	0,01	0	0,08	0,04	0,03	0	0,03	-0,02	-0,04	0,01	0,03
Y(300)	0,02	0,03	0,03	0,02	-0,02	0	-0,02	-0,06	-0,02	0,12	0,12

□ Titik tertinggi (mm)

Tabel data pengukuran distorsi transversal sudut 70°

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_3 (30)	X_4 (40)	X_5 (50)	X_6 (60)	X_7 (70)	X_8 (80)	X_9 (90)	X_{10} (100)
Y (0)	1,79	1,56	1,38	1,12	0,61	0	0,61	0,92	1,09	1,64	2,05
Y(30)	1,83	1,55	1,4	1,14	0,6	0	0,6	0,8	0,97	1,61	2,06
Y(60)	1,86	1,57	1,39	1,12	0,56	0	0,56	0,81	0,96	1,62	2,03
Y(90)	1,8	1,56	1,37	1,12	0,56	0	0,56	0,79	1,1	1,66	1,98
Y(120)	1,81	1,54	1,37	1,17	0,61	0	0,61	0,85	1,15	1,7	2,01
Y(150)	1,9	1,64	1,41	1,18	0,65	0	0,65	0,84	1,1	1,65	1,93
Y(180)	1,81	1,57	1,35	1,07	0,62	0	0,63	0,95	1,17	1,65	1,94
Y(210)	1,88	1,6	1,39	1,16	0,6	0	0,6	0,84	1,09	1,59	1,98
Y(240)	1,88	1,58	1,41	1,17	0,64	0	0,64	0,82	1,13	1,54	1,99
Y(270)	1,93	1,68	1,44	1,14	0,66	0	0,66	0,88	1,13	1,6	1,97
Y(300)	1,9	1,64	1,43	1,14	0,6	0	0,59	0,83	1,04	1,57	1,98

- Titik tertinggi (mm)

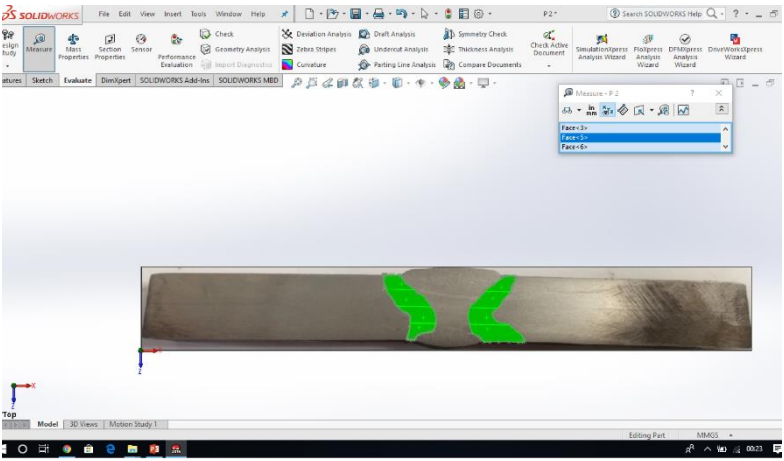
Tabel data pengukuran distorsi longitudinal sudut 70°

	X_1 (0)	X_2 (10)	X_3 (20)	X_3 (30)	X_4 (40)	X_5 (50)	X_6 (60)	X_7 (70)	X_8 (80)	X_9 (90)	X_{10} (100)
Y (0)	0.11	0.08	0.03	0.06	0.04	0	0.04	0.08	0.01	0.01	0.14
Y(30)	0.07	0.09	0.01	0.04	0.05	0	0.05	0.04	0.15	0.04	0.13
Y(60)	0.04	0.07	0.02	0.06	0.09	0	0.09	0.03	0.14	0.03	-0.1
Y(90)	0.1	0.08	0.04	0.06	0.09	0	0.09	0.05	0	-0.01	-0.05
Y(120)	0.09	0.1	0.04	0.01	0.04	0	0.04	-0.01	-0.05	-0.05	-0.08
Y(150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y(180)	-0.08	-0.07	-0.06	-0.11	-0.03	0	-0.02	0.11	0.07	0	0.01
Y(210)	0	-0.04	-0.02	-0.02	-0.05	0	-0.05	0	-0.01	-0.06	0.05
Y(240)	-0.02	-0.06	0	-0.01	-0.01	0	-0.01	-0.02	0.03	-0.11	0.06
Y(270)	0.03	0.04	0.03	-0.04	0.01	0	0.01	0.04	0.03	-0.05	0.04
Y(300)	0	0	0.02	-0.04	-0.05	0	-0.06	-0.01	-0.06	-0.08	0.05

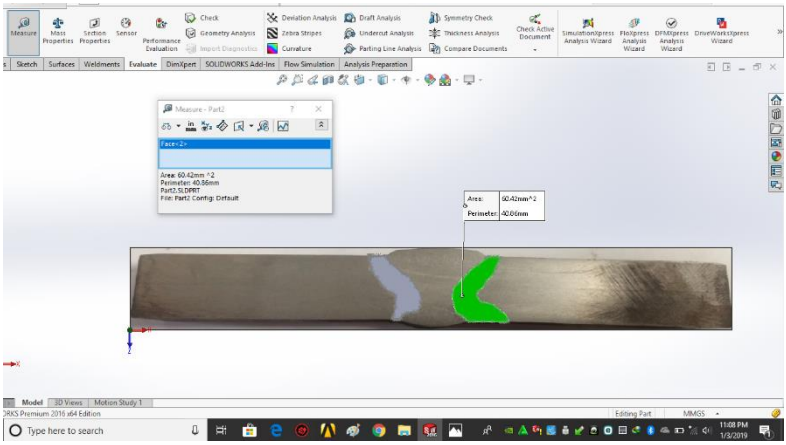
- Titik tertinggi (mm)

LAMPIRAN VIII Pengukuran Lebar HAZ software (Solidwork)

Gambar Proses Extrude Luasan HAZ



Gambar Proses Meisure Luasan HAZ



LAMPIRAN IX Welding Prosedur Standart

SURABAYA

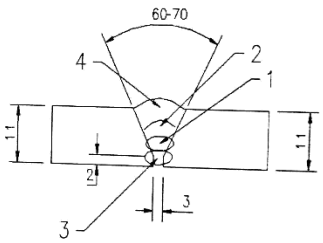
I. PROCEDURE SPECIFICATION

Material specification	: CLASS GRADE A
Welding process	: S.M.A.W
Manual or machine	: MANUAL
Position of welding	: DOWN HAND & OVERHEAD
Filler metal specification	: SFA 5.1
Filler metal classification	: AWS. E 6013
Flux	: -
Shielding gas	: - Flow rate -
Single or multiple pass	: MULTIPLE PASS
Single or multiple arc	: SINGLE ARC
Welding current	: SEE BELOW
Polarity	: DC
Welding progression	: SEE BELOW
Root treatment	: GOUGE ROOT BEFORE WELDING THE BACK SIDE
Pre-heat & interpass temperature	: NONE
Post-heat treatment	: NONE

II. WELDING PROCEDURE

Pass No.	Electrode Size	Welding Current		Speed of travel (mm/minutes)
		Amperes	Volts	
1	DIA. 3,2	90 - 130	25 - 35	40 - 70
2	DIA. 4	130 - 180	25 - 35	40 - 70
3	DIA. 4	130 - 180	25 - 35	40 - 70
4	DIA. 4	130 - 180	25 - 35	40 - 70
5	DIA. 4	130 - 180	25 - 35	40 - 70
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Joint detail



This procedure may very due to fabrication sequence, fit up, pass size etc., within the limination variables.

Procedure No.	Manufacturer or Contractor
W.P.S. 1.A.1 (17)	PT. DOK DAN PERKAPALAN SURABAYA
	Date : 30 - 01 - 2007
Witness by	Authorized by
BV Class	SUDJA'I

ORIGINAL

Reviewed
Lloyd's Register Asia
Gunar Wibowo
Surabaya Office

BIODATA PENULIS

Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan di Nganjuk, 23 Desember 1997 Provinsi Jawa Timur. Pendidikan Formal yang pernah ditempuh yaitu tahun 2003 – 2009 bersekolah di SDN Banjaranyar 3, kemudian tahun 2009 – 2012 melanjutkan ke SMP Negeri 1 Tanjunganom dan pada tahun 2012 – 2015 melanjutkan ke SMA Negeri 1 Tanjunganom. Setelah itu pada tahun 2015 penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi Diploma, Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS dan mengambil bidang studi Manufaktur. Penulis pernah menjabat sebagai Staff ahli Devisi Teknis BSO Bengkel di Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin Industri periode 2016 – 2017, dan melakukan kerja praktek di PT. DOK dan Perkapalan Surabaya (Persero) selama satu bulan tigapuluh hari. Dalam melakukan kerja praktek penulis melakukan studi dengan judul "Proses Fabrikasi Hull Contruction dan Sistem Perawatan lambung kapal di PT. DOK dan Perkapalan Surabaya (Persero). Bagi pembaca yang berdiskusi dan menanyakan informasi mengenai tugas akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis via E-mail.

Email: Blondokusen@gmail.com