



TUGAS AKHIR - TM145502

**PENGARUH VARIASI JUMLAH LAYER PADA
SAMBUNGAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA
E7016, MATERIAL SA 36 TERHADAP KEKUATAN
TARIK, KEKERASAN DAN MAKRO ETSA**

**AUDIO DUANA PUTRA
NRP. 102115 0000 003**

**Dosen Pembimbing
Ir. Subowo, MSc.
NIP. 19581004 198701 1 001**

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



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGARUH VARIASI JUMLAH LAYER PADA
SAMBUNGAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA
E7016, MATERIAL SA 36 TERHADAP
KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN MAKRO
ETSA**

**AUDIO DUANA PUTRA
NRP. 102115 0000 003**

**Dosen Pembimbing
Ir. Subowo, MSc.
NIP. 19581004 198701 1 001**

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



FINAL PROJECT - TM 145502

**THE EFFECT OF NUMBER LAYER VARIATION
ON SMAW WELDING CONNECTION WITH
ELECTRODE E7016, MATERIAL SA 36 TO
TENSILE STRENGTH, HARDNESS AND MACRO
ETCHING**

AUDIO DUANA PUTRA
NRP. 102115 00000 003

Counsellor Lecturer
Ir. Subowo, MSc
NIP. 19581004 198701 1 001

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

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI JUMLAH LAYER PADA SAMBUNGAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7016, MATERIAL SA 36 TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN MAKRO ETSA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya

pada

Bidang Studi Manufaktur

Program Studi Diploma III

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AUDIO DUANA PUTRA

NRP. 102115 00000 003

Mengetahui dan Menyetujui



Dosen Pembimbing

Subowo
Ir. Subowo, MSc

NIP. 19581004 198701 1 001

SURABAYA, 1 AGUSTUS 2018

**PENGARUH VARIASI JUMLAH LAYER PADA
SAMBUNGAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA
E7016, MATERIAL SA 36 TERHADAP KEKUATAN
TARIK, KEKERASAN DAN MAKRO E TSA**

Nama : Audio Duana Putra
NRP : 102115 00000 003
Jurusan : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Subowo, MSc

Abstrak

Pada era zaman sekarang penggunaan baja pada bidang konstruksi mulai dilirik karena relative ringan dan memiliki kekuatan serta ketahanan yang tinggi. Pada penyambungan baja tentu diperlukan suatu proses dan salah satunya pengelasan. Pengelasan sendiri merupakan salah satu proses yang cukup berperan dalam industri manufaktur dengan tujuan untuk proses *maintenance* maupun proses produksi.

Dalam tugas akhir ini pengelasan yang digunakan las *SMAW*. Salah satu jenis sambungan las yang perlu dikaji lebih lanjut adalah sambungan las *multi layer* dengan perbedaan jumlah layer yaitu 3 layer dan 2 layer. Karena pada pengelasan *multi layer*, layer kedua memberikan efek *postheat* pada layer sebelumnya dan *preheat* bagi layer sesudahnya. Selanjutnya untuk mengetahui perbedaan sifat mekanik berupa kekerasan dan keuletan pada material, sehingga dapat mengetahui nilai uji tarik, uji kekerasan dan makro etsa.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pengelasan *SMAW* pada baja SA 36 dengan variasi jumlah layer dapat disimpulkan untuk hasil pengujian tarik, letak patahan berada pada *HAZ*. Untuk spesimen 3 layer memiliki nilai tegangan tarik lebih besar yaitu 47.2 kgf/mm² daripada spesimen 2 layer yang sebesar 41.548 kgf/mm². Untuk hasil pengujian kekerasan, spesimen 3 layer memiliki nilai kekerasan lebih rendah dari spesimen 2 layer yaitu sebesar 84.96 HRB dengan 85.11 HRB. Untuk hasil makro etsa *HAZ* specimen 3 layer lebih besar dibandingkan 2 layer.

Kata Kunci : *Pengelasan, SMAW, Multi Layer, 3 Layer, 2 Layer, Uji Tarik, Uji Kekerasan, Makro Etsa.*

THE EFFECT OF NUMBER LAYER VARIATION ON SMAW WELDING CONNECTION WITH ELECTRODE E7016, MATERIAL SA 36 TO TENSILE STRENGTH, HARDNESS AND MACRO ETCHING

Name : Audio Duana Putra
NRP : 102115 00000 003
Department : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS
Advisor : Ir. Subowo, MSc

Abstract

In this era use of steel in construction began a revival due to the relative lightness and strength as well as endurance. On the joining of steel certainly needed a process and one welding. Own welding process is one which is quite influential in the manufacturing industry with the purpose of maintenance process as well as the production process.

In this final task of welding used welding SMAW. One of the connection types need welding examined further is a multi layer with welding connection the difference number of layer 3 and 2 layer. Because welding multi layer second layer, the effect on the layer before and postheat preheat for the layer afterwards. Next to knowing the difference in the form of mechanical properties hardness and tenacity on the material, so it can know the value of testing tensile test, hardness, and macro etching.

From the results of testing that has been done welding SMAW at baja SA 36 with the variation of the total number of layers can be inferred for the tensile test results, the position of the Ridge are on HAZ. For layer 3 specimens have greater pull voltage values is 47.2 kgf/mm² than layer 2 specimens of 41.548 kgf/mm². For test results of violence, specimen 3 layer hardness value is lower than the specimen 2 layer is 84.96 HRB with 85.11 HRB. For the results of macro etching, HAZ specimens 3 layer larger than specimens 2 layer.

Keywords : Welding, SMAW, Multi Layer, 3 Layer, 2 Layer, Tensile Test, Hardness, Macro Etching.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan penelitian yang berjudul : “ **PENGARUH VARIASI JUMLAH LAYER PADA SAMBUNGAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7016, MATERIAL SA 36 TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN MAKRO ETSA** ” dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bias dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua tercinta Ayah dan Mama yang selalu memberikan semangat, doa, serta dukungan dalam bentuk apapun, dan Abangku tercinta yang selalu memberikan motivasi dan arahan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Ir. Subowo, MSc selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan penelitian ini.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS juga selaku Dosen Wali selama di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

4. Bapak Ir. Suhariyanto, MSc selaku Koordinator Penelitian Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
6. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan penelitian ini.
7. Grader Lab Metallurgi atas kerjasamanya selama proses pengerjaan penelitian ini.
8. Teman-teman D3MITS khususnya angkatan 2015 atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
9. Mas Alfa (Teknik Pengelasan PPNS angkatan 2014) yang telah membantu penulis untuk melakukan praktikum pengelasan.
10. Rekan TA saya Farobi, Fafa, Arga yang telah membantu penulis selama pengerjaan penelitian.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan penelitian ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS dan Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, 1 Agustus 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1 Definisi Pengelasan	7
2.2 SMAW	8
2.2.1 SMAW AC.....	9
2.2.2 SMAW DC.....	9
2.3 Posisi Pengelasan	10
2.4 Heat Input	12
2.5 Kodefikasi Elektroda.....	13
2.6 Material SA 36	15
2.6.1 Kandungan Karbon	17
2.7 Sifat Mekanik Material.....	19

2.8 Pengujian Material	21
2.9 <i>Hardness Test</i>	21
2.9.1 Pengujian Kekerasan Rockwell	22
2.10 <i>Tensile Test</i>	24
2.11 <i>Macro Etching</i>	26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 29

3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian	29
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian	30
3.3 Tempat Penelitian	30
3.4 Langkah kerja.....	30
3.4.1 Studi literatur	30
3.4.2 Persiapan Material.....	30
3.4.3 Pengelasan dan Variasi Jumlah Layer	33
3.4.4 Persiapan Benda Uji.....	35
3.4.5 Pengambilan Test Piece	35

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN 43

4.1 Parameter Pengelasan	43
4.2 <i>Tensile Test</i> (Uji Tarik).....	44
4.3 <i>Hardness Test</i> (Uji Kekerasan)	47
4.4 <i>Macro Etching</i> (Makro Etsa)	50
4.5 Pembahasan Hasil Pengujian	54

BAB V PENUTUP..... 55

5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran.....	55

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW	9
Gambar 2.2 Posisi Pengelasan 1G.....	10
Gambar 2.3 Posisi Pengelasan 2G.....	11
Gambar 2.4 Posisi Pengelasan 3G.....	11
Gambar 2.5 Posisi Pengelasan 4G.....	11
Gambar 2.6 Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis.....	18
Gambar 2.7 Prinsip Kerja Rockwell	22
Gambar 2.8 Uji Tarik dan Kurvanya.....	24
Gambar 2.9 Bentuk Patahan.....	26
Gambar 2.10 Daerah HAZ.....	26
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Diagram	29
Gambar 3.2 Dimensi Material	31
Gambar 3.3 Sudut Groove 30 ⁰ dan Tinggi Root Face.....	31
Gambar 3.4 Material dengan Kampuh 30 ⁰	31
Gambar 3.5 Pengelasan dengan 3 Layer	33
Gambar 3.6 Pengelasan dengan 2 Layer	33
Gambar 3.7 Proses Pengelasan.....	34
Gambar 3.8 Mesin Las SMAW.....	34
Gambar 3.9 Tank Ampere	34
Gambar 3.10 Dimensi Spesimen Tarik	35
Gambar 3.11 Spesimen Uji Tarik 3 Layer	36
Gambar 3.12 Spesimen Uji Tarik 2 Layer	37
Gambar 3.13 Alat Uji Kekerasan Rockwell.....	37
Gambar 3.14 Spesimen Uji Kekerasan	38
Gambar 3.15 Spesimen Sebelum di Etsa	40
Gambar 3.16 Alat dan Bahan Untuk Proses Etsa.....	40
Gambar 3.17 Larutan Etsa.....	40
Gambar 3.18 Kertas Gosok	41
Gambar 4.1 Grafik Nilai Tegangan Tarik	45

Gambar 4.2 Pengujian Tarik Spesimen 3 Layer	45
Gambar 4.3 Pengujian Tarik Spesimen 2 Layer	45
Gambar 4.4 Daerah Putus Spesimen 3 Layer	46
Gambar 4.5 Daerah Putus Spesimen 2 Layer	46
Gambar 4.6 Letak Identasi Kekerasan 3 Layer.....	47
Gambar 4.7 Letak Identasi Kekerasan 2 Layer.....	47
Gambar 4.8 Grafik Nilai Kekerasan	50
Gambar 4.9 Foto Makro Spesimen 3 Layer.....	51
Gambar 4.10 Foto Lebar <i>HAZ</i> Spesimen 3 Layer.....	51
Gambar 4.11 Foto Makro Spesimen 2 Layer.....	52
Gambar 4.12 Foto Lebar <i>HAZ</i> Spesimen 2 Layer.....	52
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan <i>HAZ</i> Sebelah Kiri....	53
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan <i>HAZ</i> Sebelah Kanan	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Dagit Keempat Tipe Selaput dan Arus Listrik.....	13
Tabel 2.2 Nilai <i>Chemical Composition</i>	15
Tabel 2.3 Sifat Mekanik SA 36.....	15
Tabel 2.4 Karakteristik 5 Elemen pada Baja.....	16
Tabel 2.5 Klasifikasi Baja Karbon	18
Tabel 2.6 Skala Uji Kekerasan Rockwell.....	23
Tabel 3.1 Material dan Elektroda.....	32
Tabel 3.2 Parameter Pengelasan.....	32
Tabel 4.1 Material dan Elektroda.....	43
Tabel 4.2 Parameter Pengelasan.....	43
Tabel 4.3 Heat Input.....	44
Tabel 4.4 Nilai Uji Tarik	44
Tabel 4.5 Nilai Kekerasan	48
Tabel 4.6 Lebar <i>HAZ</i> Spesimen 3 Layer	51
Tabel 4.7 Lebar <i>HAZ</i> Spesimen 2 Layer	52

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 (3 Layer) ...	a
Lampiran 2 Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 (3 Layer) ...	b
Lampiran 3 Grafik Uji Tarik Benda Kerja 3 (3 Layer) ...	c
Lampiran 4 Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 (2 Layer) ...	d
Lampiran 5 Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 (2 Layer) ...	e
Lampiran 6 Grafik Uji Tarik Benda Kerja 3 (2 Layer) ...	f
Lampiran 7 Tabel Hasil Uji Tarik	g
Lampiran 8 Mill Certificate.....	h
Lampiran 9 Tabel ASME Sec II Material SA 36	i
Lampiran 10 Struktur Mikro Daerah Base Metal.....	j
Lampiran 11 Struktur Mikro Daerah HAZ.....	k
Lampiran 12 Struktur Mikro Daerah Weld Metal.....	l

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era zaman sekarang penggunaan baja pada bidang konstruksi mulai dilirik karena relatif ringan dan memiliki kekuatan serta ketahanan yang tinggi. Pada penyambungan baja tentu diperlukan suatu proses dan salah satunya adalah pengelasan. Pengelasan sendiri merupakan salah satu proses yang cukup berperan dalam industri manufaktur dengan tujuan untuk proses *maintenance* maupun proses produksi. Salah satu metode pengelasan yang sering dipergunakan adalah *SMAW*, *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)* atau biasa dikenal dengan las listrik pada umumnya digunakan untuk proses penyambungan konstruksi logam dari material baja karbon dan baja berkekuatan tarik tinggi. Pengelasan *SMAW* memiliki banyak pilihan prosedur dalam pengerjaannya sesuai dengan spesifikasi material logam yang akan dikerjakan. Pengelasan pada material logam berbentuk pelat sering menggunakan *single layer* dan *multi layer*. Dan pengelasan *multi layer* sering digunakan untuk konstruksi dengan keuletan yang tinggi. Namun apabila diteliti lebih jauh, maka didalamnya terdapat banyak permasalahan yang harus segera diatasi.

Salah satu permasalahan dalam pengelasan *multi layer* suatu material logam itu ialah ingin mengetahui pengaruh dari perbedaan jumlah layer dalam suatu pengelasan. Hal yang harus diperhatikan untuk mengatasi hal tersebut ialah dengan cara mengetahui tebal material yang digunakan dan untuk apa material tersebut digunakan karena pada pengelasan *multi layer*, *layer* kedua akan memberikan efek *postheat* pada *layer* sebelumnya dan *preheat* bagi *layer* sesudahnya. Pengelasan *multi layer* juga akan memberikan efek *tempering* pada daerah *HAZ*, akibat panas dari *layer* berikutnya. Efek *preheat* dan *tempering* dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las.

Oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa pada material SA 36, yang pada umumnya digunakan

dalam pembuatan sebuah konstruksi bangunan berbahan material logam, menggunakan metode pengelasan SMAW dengan membedakan variasi jumlah *layer* yaitu 3 *layer* dan 2 *layer* menggunakan *filler metal* E7016. Tujuan dari dilakukannya variasi jumlah *layer* tersebut yaitu untuk mengetahui perbedaan sifat mekanik berupa kekerasan dan keuletan pada material, sehingga dapat mengetahui nilai uji kekerasan pada daerah *Base Metal*, *Weld Metal*, dan *HAZ*, serta uji tarik dan makro etsa dari material yang telah dilakukan pengelasan dengan variasi jumlah *layer*.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang yang mendorong tugas akhir ini, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan, diantara rumusan tersebut adalah:

1. Bagaimana nilai uji tarik dari pengaruh variasi jumlah *layer* yaitu 3 *layer* dan 2 *layer* pada material SA 36 hasil pengelasan SMAW.
2. Bagaimana nilai kekerasan dari pengaruh variasi jumlah *layer* yaitu 3 *layer* dan 2 *layer* pada material SA 36 hasil pengelasan SMAW.
3. Bagaimana lebar *HAZ* hasil makro etsa dari pengaruh variasi jumlah *layer* yaitu 3 *layer* dan 2 *layer* pada material SA 36 hasil pengelasan SMAW.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji dalam penulisan tugas akhir ini, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Material awal yang digunakan homogen.
2. Menggunakan proses SMAW (*Shield Metal Arc Weld*) dengan posisi 3G.
3. *Ampere* yang digunakan adalah 70 *Ampere* dan kampuh yang digunakan adalah *single V groove* 30°.

4. Material yang digunakan adalah SA 36 dengan tebal 6 mm.
5. Elektroda yang digunakan adalah E7016 dengan diameter 2.6 mm.
6. Jumlah layer yang digunakan adalah 3 layer dan 2 layer.
7. Pengujian yang dilakukan adalah *Hardness Rockwell*, *Tensile Test* dan *Macro Etching*

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Mengetahui nilai uji tarik dari pengaruh variasi jumlah *layer* yaitu 3 *layer* dan 2 *layer*.
2. Mengetahui nilai kekerasan dari pengaruh variasi jumlah *layer* yaitu 3 *layer* dan 2 *layer*.
3. Mengetahui lebar *HAZ* dari pengaruh variasi jumlah *layer* yaitu 3 *layer* dan 2 *layer*.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh variasi jumlah *layer* terhadap nilai kekerasan dan ketangguhan dari material SA 36 hasil pengelasan *SMAW*.

1.6 Metodologi Penelitian

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

1. Studi Literatur
Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian berupa uji tarik, kekerasan, dan mikro etsa.
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing
Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.

3. Observasi Data
Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.
4. Analisa Data
Menganalisa hasil pengujian tarik, kekerasan, dan makro etsa yang terjadi pada bagian logam hasil las, *HAZ*, dan *Base Metal* setelah dilakukan pengelasan dengan diberikan variasi jumlah *layer* menggunakan buku-buku pedoman.
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 penjelas mengenai bagian-bagian tugas akhir, diantaranya :

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODOLOGI

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

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan makro etsa.

BAB V PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah penyambungan dua atau lebih bahan dengan cara memanaskan permukaan sampai mencair dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*) dan dengan atau tanpa tekanan. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaannya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara *Brazing* dan *Soldering* adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses *Brazing* berkisar 450⁰C – 900⁰C, sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari 450⁰C.

Pada pengelasan terdapat dua macam pengisian logam pengisi yaitu *singlelayer* dan *multilayer*.

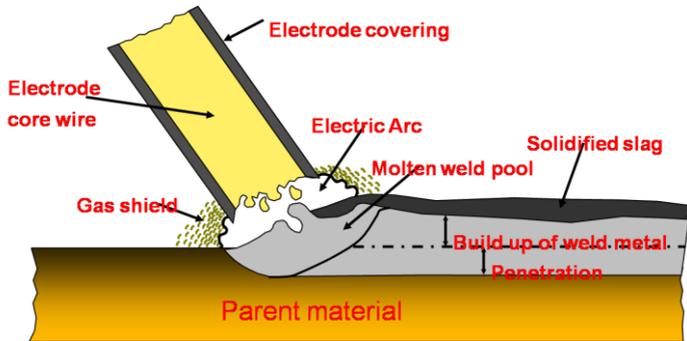
- ***Singelayer*** merupakan pengisian logam pengisi dilakukan hanya satu kali. *Singelayer* sering digunakan untuk pelat tipis

- ***Multilayer*** merupakan pengisian logam pengisi berulang yang dilakukan pada suatu material yang memiliki ketebalan tertentu sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengelasan satu *layer*. Pengelasan *multi layer* sering digunakan untuk konstruksi dengan keuletan sambungan yang tinggi. Pada pengelasan *multilayer*, *layer* kedua akan memberikan efek *postheat* pada *layer* sebelumnya dan *preheat* bagi *layer* sesudahnya. Pengelasan *multi layer* juga akan memberikan

efek *tempering* pada daerah *HAZ*, akibat panas dari *layer* berikutnya. Efek *preheat* dan *tempering* dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las. Adanya *preheat* untuk mencegah terbentuknya *martensite* yang bersifat getas pada daerah *HAZ* dan memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam dasar sehingga menghasilkan struktur logam lebih ulet yang memiliki ketahanan terhadap retak yang lebih besar, sedangkan adanya *postheat* untuk memperbaiki struktur *HAZ* karena martensit terbentuk di *HAZ* sehingga untuk mencegah terbentuknya martensit diperlukan *postheat*. Dengan kata lain pada *multilayer* tidak terbentuk *martensite*.

2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

SMAW adalah suatu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. Proses pengelasan dengan process SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas *DCEN* (*straight polarity* atau polaritas langsung) dan *DCEP* (*reverse polarity* atau polaritas terbalik). *Filler* atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda, elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda.



Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW

2.2.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) AC

Untuk arus AC (*Alternating Current*), pada *voltage drop* panjang kabel tidak banyak pengaruhnya, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda dapat dipakai, Secara teknik *arc starting* lebih sulit terutama untuk diameter elektrode kecil.

2.2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) DC

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

1. DCSP (*Straight Polarity*)

Prinsip dasarnya material dasar atau material yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) dari travo, dan elektrodenya dihubungkan dengan kutub negatif (-) pada travo las DC. Dengan cara ini busur

listrik bergerak dari elektrode ke material dasar, yang berakibat 2/3 panas berada di material dasar dan 1/3 panas berada di elektroda. Cara ini akan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodanya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam.

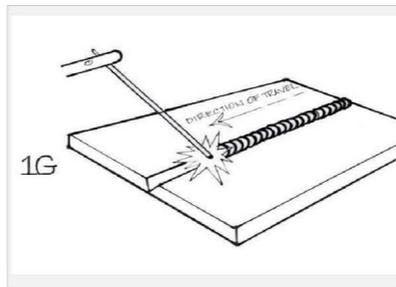
2. DCRP (*Reversed Polarity*)

Material dasar disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif (+) dari mesin las DC, sehingga busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal.

2.3 Posisi Pengelasan

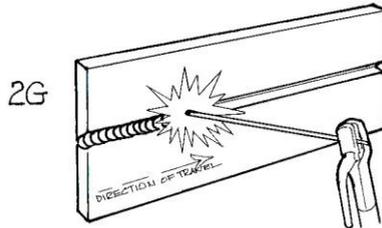
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam, yaitu:

- Posisi (1G)



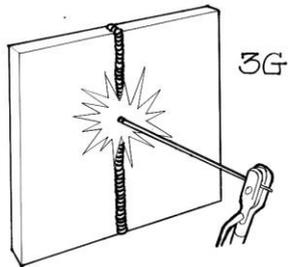
Gambar 2.2 Posisi pengelasan 1G

- Posisi (2G)



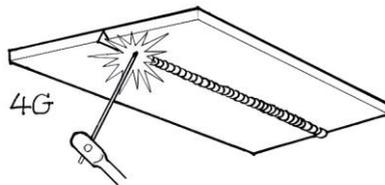
Gambar 2.3 Posisi pengelasan 2G

- Posisi (3G)



Gambar 2.4 Posisi pengelasan 3G

- Posisi (4G)



Gambar 2.5 Posisi pengelasan 4G

2.4 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 (voltase) 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.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\text{Masukan panas : HI} = \frac{V \times I \times 60}{s} \dots\dots\dots (2.1)$$

- Dimana: *HI* = Masukan panas atau energi (J/mm)
I = Arus (Ampere)
V = Voltase (Volt)
S = Kecepatan pengelasan (mm/s)

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

2.5 Kodifikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*flux*) dan tidak bersalut yang merupakan bagian untuk menjepitkan tang las. Fungsi *flux* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

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 kodifikasi dari elektroda sebagai berikut:

Contoh : E 70 1 6

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

70 : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.

1 : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

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

Tabel 2.1 Karakteristik Digit Keempat Tipe Selaput dan Arus Listrik

ANG KA	SUMBER ARUS		POLARIT AS ELEKTRO DA		TIPE SALUTA N	DAYA TEMBU S	KADAR SERBUK BESI
1	AC	DC	+		Cellulose potasium	Kuat	

2	AC	DC		-	Rutile Sodium	Medium	0-10%
3	AC	DC	+	-	Rutile Potassium	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	50%
8	AC	DC	+		Low Hydrogen Iron Powder	Medium	30-50%
E6010		DC	+		Cellulose Sodium	Kuat	0-10%
E6020	AC	DC		-	Iron Oxyde Sodium	Medium	0-10%
E6030	AC	DC		-	Iron Oxyde	Lunak	

2.6 Material SA 36

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SA 36. Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada data dibawah ini:

Tabel 2.2 Nilai *Chemical Composition*

Product	Shapes ^a	Plates ^b				
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2 ½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. (mm)	All					
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabel 2.3 Sifat Mekanik SA 36

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

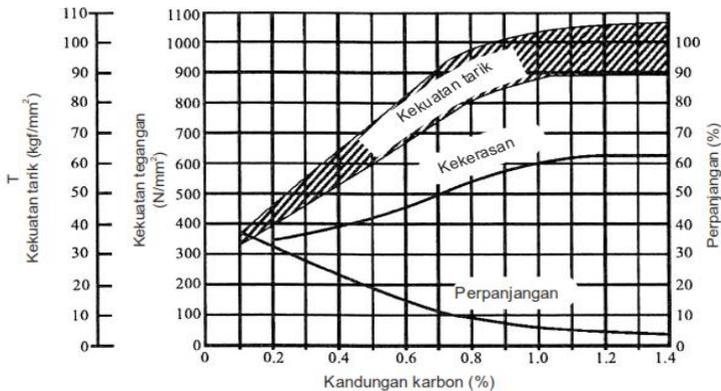
Tabel 2.4 Karakteristik dari 5 elemen pada baja

Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan Tarik dan kekerasan tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll, sehingga kandungan silicon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3% silicon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silicon 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 rapuh, menyebabkan retak dingin.	Karena penambahan fosfor mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,4%.
Belerang	S	Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh dan 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.

2.6.1 Kandungan karbon

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



Gambar 2.6 Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis

Sehubungan dengan kandungan karbon, baja karbon diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Baja karbon juga dapat diklasifikasikan menjadi baja lunak yang dapat dikeraskan dan baja keras yang tidak dapat dikeraskan.

Tabel 2.5 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kandungan karbon	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0,08% sampai 0,3%	Baja roll biasa atau plat baja profil, pipa gulungan.
Baja karbon sedang	0,31% sampai 0,59%	Baja untuk struktur mesin, poros, roda gigi, baut, mur.

Baja karbon tinggi atau baja keras	0,6% sampai 2,0%	Baja untuk rel kereta api, baja perkakas, baja pegas, baja alat ukur.
------------------------------------	------------------	---

2.7 Sifat Mekanik Material

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

A. Kekuatan (*strenght*)

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

B. Kekakuan (*stiffness*)

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

C. Kekenyalan (*elasticity*)

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

D. Kekerasan (*hardness*)

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

E. Plastisitas (*plasticity*)

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

F. Keuletan (*ductility*)

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

G. Ketangguhan (*toughness*)

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

H. Kegetasan (*brittleness*)

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

I. Kelelahan (*fatigue*)

Merupakan kemampuan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban

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

J. Melar (*creep*)

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

2.8 Pengujian Material

Proses pengujian material adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur mikro dan makro. Adapun proses pengujiannya dikelompokkan ke dalam tiga kelompok metode pengujian, yaitu :

1. DT (*Destructive Test*), yaitu adalah proses pengujian logam yang dapat menimbulkan kerusakan pada logam yang diuji.
2. NDT (*Non Destructive Test*), yaitu proses pengujian logam yang tidak menimbulkan kerusakan pada logam atau benda yang diuji.
3. Makro Etsa, yaitu yaitu proses pengujian logam yang bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan dan untuk mengetahui lebar HAZ dari masing-masing logam yang diuji..

Penjelasan mengenai pengujian logam akan dijelaskan lebih lanjut. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai ketiga metode pengujian logam.

2.9 Hardness Test

Hardness Test adalah pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan suatu bahan, dalam hal ini kekerasan pada daerah *base*

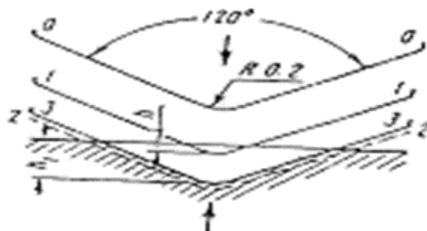
metal, weld metal dan HAZ. Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strength (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

1. Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*
2. Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*
3. Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Dari ketiga metode tersebut yang sering digunakan hanya dua saja, *Brinell* dan *Vickers*, namun pada penelitian kali ini akan menggunakan metode *Rockwell*.

2.9.1 Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan *rockwell*, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada spesimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode *rockwell* dapat digunakan dua bentuk indenter, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indenter, seperti tercantum pada tabel 2.1. Pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaannya lebih cepat, dimana angka kekerasan spesimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



Gambar 2.7 Prinsip Kerja Rockwell

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal P1

2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh (P1+P)

3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas P1

Angka kekerasan *Rockwell* tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.6 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala *Rockwell* terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan *Rockwell* B dan *Rockwell* C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h1) dapat ditulis sebagai berikut.

$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalamanindentasi(mm)}}{0,002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalamanindentasi(mm)}}{0,002}$$

Tabel 2.6 Skala Uji Kekerasan *Rockwell*

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

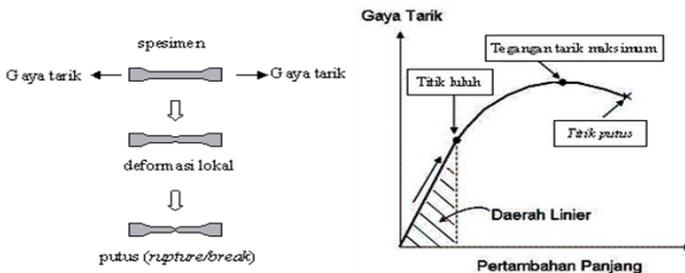
2.10 Tensile Test

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Benda yang di uji tarik diberi pembebanan pada kedua arah sumbunya. Pemberian beban pada kedua arah sumbunya diberi beban yang sama besarnya. Beban yang diberikan pada bahan yang di uji ditransmisikan pada pegangan bahan yang di uji. Dimensi dan ukuran pada beban uji disesuaikan dengan standar baku pengujian.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu material, khususnya logam diantara sifat-sifat mekanis yang dapat diketahui dari hasil pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Kekuatan Tarik
2. Kuat luluh dari material
3. Keuletan dari material
4. Modulus elastic dari material
5. Ketangguhan

Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva. Kurva ini dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Uji Tarik dan Kurvanya

Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut. Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut “*Ultimate Tensile Strength*” disingkat dengan UTS, dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum. Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang berlawanan dengan beban mengikuti aturan *Hooke* yaitu *rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan*.

Stress adalah beban dibagi dengan luas penampang dari bahan dan *strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan. Untuk hasil dari *elongation* dapat dilihat dari rumus dibawah.

- Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana :

σ = Tegangan (N/mm²)
 F = Gaya
 A = Luas

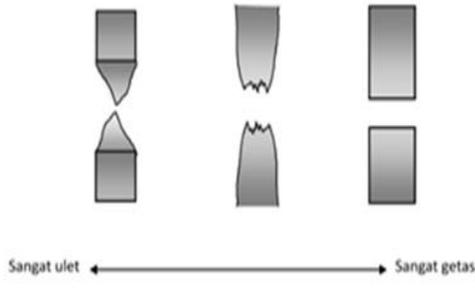
- Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \%$$

Dimana

ε = Regangan (%)
 ΔL = Perpanjangan (mm)
 L₀ = Panjang awal (mm)

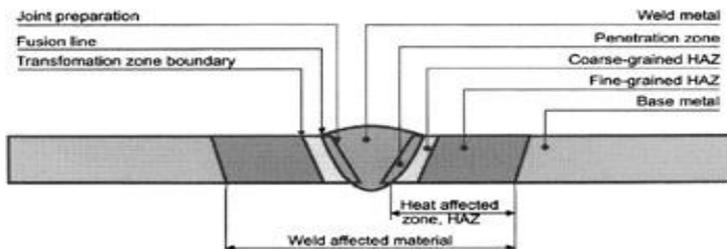
Dilihat dari spesimen yang putus saat pengujian tarik bentuk patahan dari spesimen dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2.9 Bentuk Patahan

2.11 Macro Etching

Masukan panas yang diberikan akan menyebabkan perbedaan temperature 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 temperature rendah.



Gambar 2.10 Daerah HAZ

Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari austenite sampai temperatur kamar. Adanya perubahan struktur inilah yang mempengaruhi sifat-sifat mekanik yang dimiliki *base metal*. Berdasarkan perubahan mikrostruktur pada daerah sambungan karena pengaruh panas, maka daerah pengelasan dapat dibagi menjadi beberapa zona seperti pada gambar 2.10 berikut penjelasannya:

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

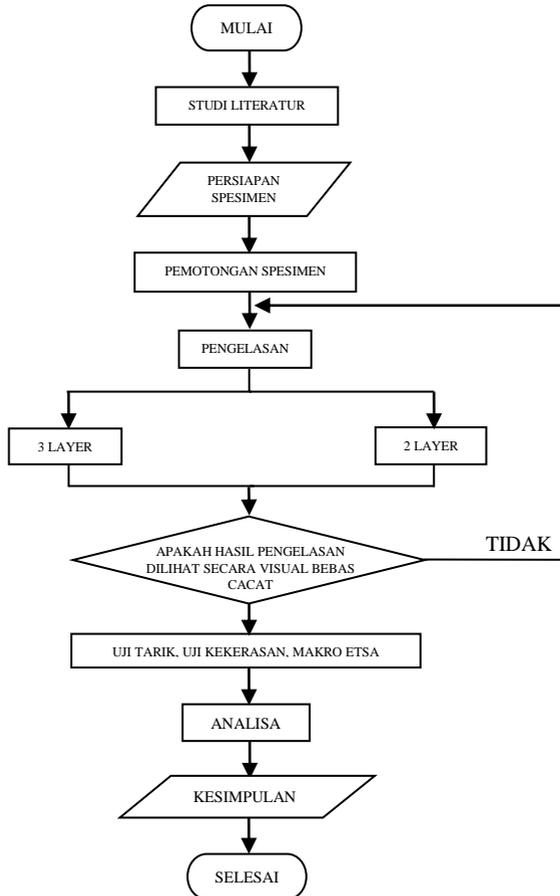
Untuk mengetahui sebaran panas yang ada, dilakukan pengujian makro etsa. Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 diagram dibawah ini.



Gambar 3.1 Flow Chart Diagram

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2017/2018 yaitu bulan Februari sampai Juni 2018.

3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab Metalurgi D3 Teknik Mesin Industri FV-ITS

3.4 Langkah Kerja

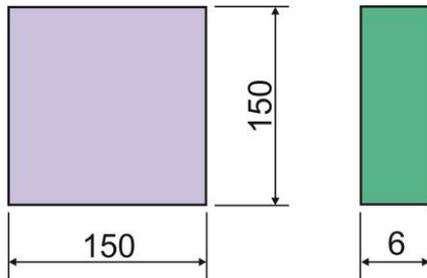
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literature di sebuah perusahaan kontruksi tentang pembuatan tanki bahan bakar yaitu penyambungan plat dengan membedakan variasi jumlah layer, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan-tahapan yang akan dilakukan.

3.4.1 Studi Literatur

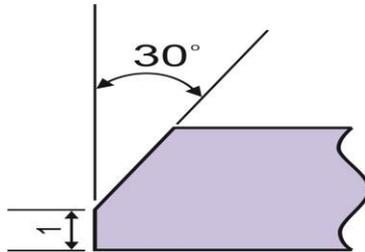
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui perusahaan, buku dan internet.

3.4.2 Persiapan Material

Material yang digunakan adalah SA 36 dengan tebal 6 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh V menggunakan sudut single V *groove* 30⁰ seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Dimensi Material



Gambar 3.3 Sudut groove 30° dan tinggi root face



Gambar 3.4 Material dengan kampuh 30°

Tabel 3.1 Material dan Elektroda

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SA 36
P-No	1 group 2
Tebal	6 mm
Spesification (SFA)	5.1
AWS Classification	E 7016
Filler metal diameter (mm)	2,6
Posisi Pengelasan	3G

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

Paramater	Material 3 layer		Material 2 layer	
	Layer			
Number/pass	1 (root)	2 (fill & caping)	1 (root)	1 (fill & caping)
Proses	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW
Ampere	70	70	70	70
Polaritas AC/DC	DC (EP)	DC (EP)	DC (EP)	DC (EP)
Voltage	23	23	23	23
Electrode diameter (mm)	2,6	2,6	2,6	2,6

3.4.3 Pengelasan dan Variasi Jumlah Layer

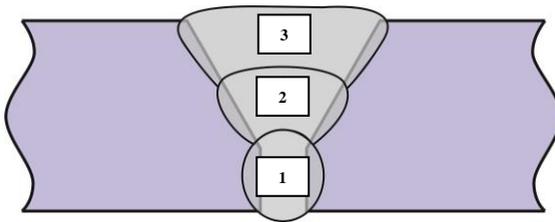
Pengelasan dilakukan menggunakan SMAW (DC (EP)) posisi 3G dalam penelitian kali ini terdapat perbedaan variasi jumlah layer yaitu :

1. Variasi 3 layer

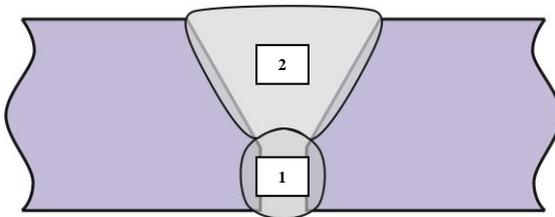
Pada proses pengelasan, material diisi dengan elektroda E 7016 diameter 2,6 dengan jumlah layer sebanyak 3 layer.

2. Variasi 2 layer

Pada proses pengelasan, material diisi dengan elektroda E 7016 diameter 2,6 dengan jumlah layer sebanyak 2 layer.



Gambar 3.5 Pengelasan dengan 3 layer



Gambar 3.6 Pengelasan dengan 2 layer



Gambar 3.7 Proses Pengelasan



Gambar 3.8 Mesin Las SMAW



Gambar 3.9 Tank Ampere

3.4.4 Persiapan Benda Uji

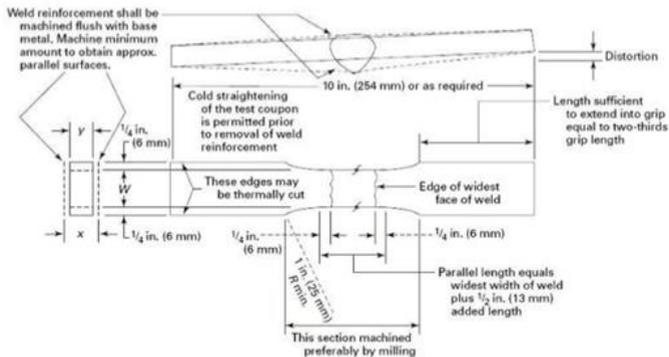
Spesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji. Dalam melakukan tes untuk menentukan benda uji itu penting dan perlu diperhatikan ketebalannya, itu sehubungan dengan arah langkah kerja dari pengujian dan permukaannya, sehingga sesuai dengan aplikasinya.

3.4.5 Pengambilan Test Piece

Untuk pengambilan spesimen, dilakukan dengan memperhitungkan jumlah pengujian yang akan digunakan. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah Uji Tarik (*Tensile*), Kekerasan (*Hardness*), dan Makro Etsa (*Macro Etching*).

A. Pengujian Tarik

Untuk pengujian Tarik dilakukan pengambilan specimen total 6 spesimen yang akan diuji masing-masing variasi berjumlah 3 spesimen yaitu spesimen dengan jumlah 3 layer dan specimen dengan jumlah 2 layer. Untuk dimensi specimen disesuaikan dengan *ASME Section 9* untuk *tensile test*.

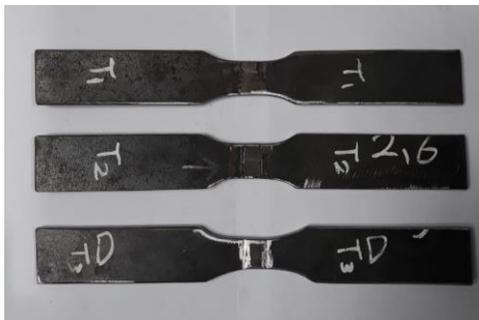


Gambar 3.10 Dimensi spesimen tarik

Langkah-langkah pengujian tarik :

- 1) Menyiapkan spesimen
 - Ambil spesimen dan jepit pada ragum
 - Bersihkan bekas-bekas *machining* dengan kikir
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen
- 2) Pengukuran dimensi
 - Ambil spesimen dan ukur dimensinya
 - Catat dan beri kode untuk masing -masing spesimen.
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen
- 3) Pengujian pada spesimen.
 - Mencatat data benda kerja pada mesin.
 - Ambil specimen dan letakkan pada tempatnya.
 - Amati datanya dan catat.
 - Ulangi langkah diatas untuk seluruh specimen.

Berikut specimen bahan pengujian tarik :



Gambar 3.11 Spesimen Uji Tarik 3 Layer



Gambar 3.12 Spesimen Uji Tarik 2 Layer

B. Pengujian Kekerasan

Dalam pengujian kekerasan, jumlah titik yang diambil ialah 20 titik yaitu pada daerah *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal*.



Gambar 3.13 Alat Uji Kekerasan Rockwell

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



Gambar 3.14 Spesimen Uji Kekerasan

Berikut langkah-langkah pengujian kekerasan :

1. Menggosok benda uji dengan menggunakan amplas hingga benda uji benar-benar halus dan rata.
2. Memasang indentor pada penjepit Rockwell Hardness Tester.
3. Beban penekanan pada mulanya sebesar 150 kgf memakai skala C yang bertujuan melindungi indentor agar tidak rusak.
4. Beban penekanan yang dipakai adalah 100 memakai skala B (HRB) karena menggunakan indentor skala C tidak menunjukkan nilai kekerasan yang ada.
5. Kemudian menghidupkan power dengan menekan tuas ON.
6. Menempatkan benda kerja diatas anvil dan tegak lurus dengan indentor.
7. Menaikkan anvil dengan memutar handle searah jarum jam sampai menyentuh indentor, kemudian dinaikkan terus sampai jarum kecil pada dial indicator menyentuh titik merah dan tekan tombol pengujian, tunggu hingga beberapa saat (5 detik)

sampai jarum panjang akan menunjuk pada angka kekerasan.

8. Mencatat hasil pengujian (angka kekerasan).
9. Menurunkan anvril dengan jalan memutar handle berlawanan dengan arah jarum jam.
10. Pengujian ini dilakukan sebanyak titik yang sudah ditentukan sebelumnya.

C. Pengujian Makro Etsa

Pengujian Makro Etsa bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak dan untuk mengetahui lebar *HAZ* dari masing-masing spesimen, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu. Berikut langkah-langkah makro etsa :

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

Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan benda uji (*test piece*) :



Gambar 3.15 Spesimen sebelum di etsa



Gambar 3.16 Alat dan Bahan untuk Proses Etsa



Gambar 3.17 Larutan Etsa



Gambar 3.18 Kertas Gosok

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana perbedaan pengaruh jumlah layer yaitu 3 layer dan 2 layer pada sambungan las baja SA 36 yang dilakukan pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), melalui 3 pengujian, yaitu *Tensile Test*, *Hardness Test*, *Macro Etching*..

4.1 Parameter Pengelasan

Tabel 4.1 Material dan Elektroda

NAMA	KETERANGAN
Material spesification	SA 36
Tebal	6 mm
AWS slassification	E 7016
Filler metal diameter	2,6 mm
Posisi pengelasan	3G

Tabel 4.2 Parameter Pengelasan

Proses	SMAW	
Jumlah layer	3	2
Travel speed (mm/s)	0,38	0,48
Amperage	70	70
Electrode diameter (mm)	2,6	2,6

Tabel 4.3 Heat Input

Type Electroda	Arus (I) Range	Voltase (E) Range	Travel Speed (V)	Heat Input (HI)
3 Layer	70 Ampere	23 Volt	0,38 mm/s	4218,38 J/mm
2 Layer	70 Ampere	23 Volt	0,48 mm/s	3323,01 J/mm

4.2 Tensile Test (Uji Tarik)

Pada pengujian tarik ini digunakan 6 spesimen berdasarkan variasi jumlah layer, yaitu 3 spesimen untuk 3 layer dan 3 spesimen untuk 2 layer didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.4 Nilai Uji Tarik

Jumlah Layer	NO.	A ₀ (mm ²)	Max. Load (kgf)	Yield Streng (kgf/mm ²)	Yield Point (kgf)	Elastic Modulus (kgf/mm ²)	UTS (kgf/mm ²)
3 Layer	1	99	5118.249	4.108	5117.677	61.434	51.699
	2	99	4302.705	3.466	4302.212	62.289	43.461
	3	99	4597.596	4.470	4597.082	76.849	46.440
Rata-rata			4672.85	4.014	4672.323	66.857	47.2
2 Layer	1	99	4329.258	3.662	4328.977	64.682	43.729
	2	99	4041.685	3.426	4041.515	59.886	40.825
	3	99	3969.010	3.366	3968.835	68.372	40.091
Rata-rata			4113.317	3.484	4113.109	64.313	41.548

Dari tabel diatas dapat dibedakan menjadi grafik Uji Tarik untuk material 3 layer dan 2 layer.



Gambar 4.1 Grafik Nilai Tegangan Tarik



Gambar 4.2 Pengujian Tarik Pada Spesimen 3 Layer dengan letak patahan pada daerah HAZ



Gambar 4.3 Pengujian Tarik Pada Spesimen 2 Layer dengan letak patahan pada daerah HAZ

Dari gambar diatas, dilihat dari bentuk patahnya dapat dikatakan bahwa material variasi 3 layer dan 2 layer bersifat ulet (*ductile*).



Gambar 4.4 Daerah Putus Pada Spesimen SA 36 Dengan 3 Layer Terletak Pada *HAZ*



Gambar 4.5 Daerah Putus Pada Spesimen SA 36 Dengan 2 Layer Terletak Pada *HAZ*

Dari daerah patahnya pula, material SA 36 dengan variasi jumlah layer yaitu 3 layer dan 2 layer daerah patahnya terletak pada daerah *HAZ*, karena hasil dari pengelasan tidak mengalami cacat las pada sambungan di logam induk.

4.3 *Hardness Test* (Uji Kekerasan)

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen di garis yang sama dengan menggunakan 3 bidang spesimen yang berguna untuk mencari kepastian titik pasti batas daerah antara *Base Metal* dengan *Heat Affected Zone* dan juga antara daerah *Heat Affected Zone* dengan daerah *Weld Metal*.



Gambar 4.6 Letak Indentasi pada Uji Kekerasan pengelasan 3 layer



Gambar 4.7 Letak Indentasi pada Uji Kekerasan pengelasan 2 layer

Tabel 4.5 Nilai Kekerasan untuk Pengaruh Pengelasan variasi jumlah layer

3 Layer :

Titik Indentasi		Bidang			Rata - Rata
		1	2	3	
BM	1	82	81.5	82	81.83
	2	82.5	82	83	82.5
	3	81	80	80.5	80.5
	4	81.5	81	81	81.16
	5	83	82.5	82	82.5
	6	82	82	81	81.66
HAZ	1	86.5	86	86	86.16
	2	88	87	88	87.66
	3	89	88.5	88	88.5
	4	91	90	90.5	90.5
	5	90.8	90	91	90.6
	6	88	88.5	87.5	88
WM	1	84	84	83.5	83.83
	2	86	85.5	85	85.5
	3	85.5	85	85	85.16
	4	85	86	86	85.66

	5	83.8	83	84	83.6
	6	84	85	84.5	84.5
	7	84.5	84.5	85	84.66

2 Layer :

Titik Indentasi		Bidang			Rata - Rata
		1	2	3	
BM	1	81.5	82	82	81.83
	2	81.6	81	82	81.53
	3	80	80.5	81	80.5
	4	82	81.5	82	81.83
	5	83	83	82.5	82.83
	6	82.5	83	83	82.83
HAZ	1	88	87	88	87.66
	2	88.5	88	89	88.5
	3	86	85	85.5	85.5
	4	88	88	87	87.66
	5	91.5	92	91.5	91.66
	6	90.5	90	91	90.5
	1	87	87	86.5	86.83
	2	83	82	82	82.33

WM	3	85	84.5	84.5	84.66
	4	85	85.5	85	85.16
	5	84.8	84	85	84.6
	6	85	84.5	85.5	85
	7	85.5	86	85.5	85.66

Berdasarkan data dari table diatas, maka dapat diperoleh grafik sebagai berikut.



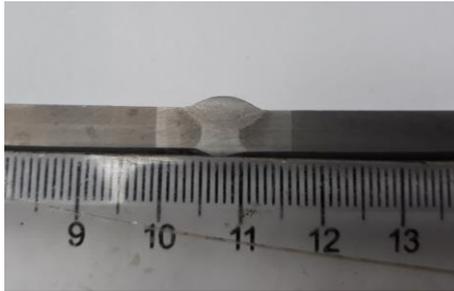
Gambar 4.8 Grafik Nilai Kekerasan

Dari tabel, gambar, dan grafik rata-rata uji kekerasan yang ditampilkan, diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi untuk pengaruh jumlah layer yang dilakukan terhadap material SA 36 hasil pengelasan SMAW terdapat pada daerah *HAZ*, dan nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah terdapat pada daerah *Base Metal*, dapat diketahui bahwa nilai kekerasan yang paling tinggi tiap daerahnya terdapat pada benda uji 2 layer.

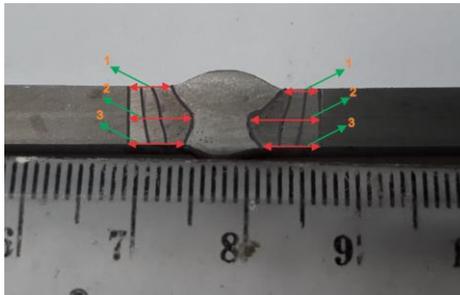
4.4 Macro Etching (Makro Etsa)

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

- Hasil uji makro pada spesimen 3 layer.



Gambar 4.9 Foto makro pada spesimen 3 layer

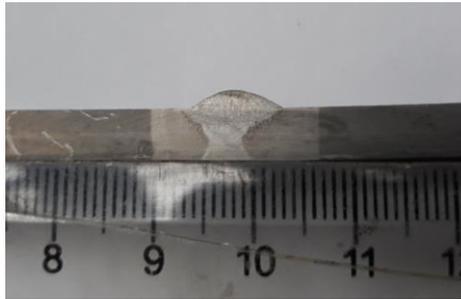


Gambar 4.10 Foto lebar *HAZ* pada spesimen 3 layer

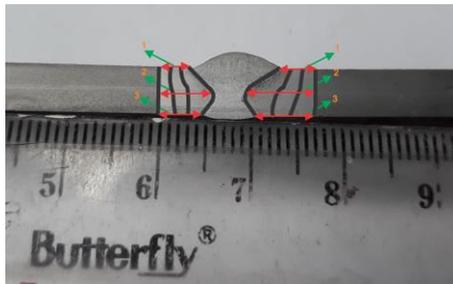
Tabel 4.6 Lebar *HAZ* spesimen 3 layer diukur menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05

Jumlah Layer	Garis Ke-	Lebar HAZ	
		Kiri (mm)	Kanan (mm)
3 Layer	1	4,2	3,45
	2	6	6,45
	3	5,1	6

- Hasil uji makro pada spesimen 2 layer.



Gambar 4.11 Foto makro pada spesimen 2 layer

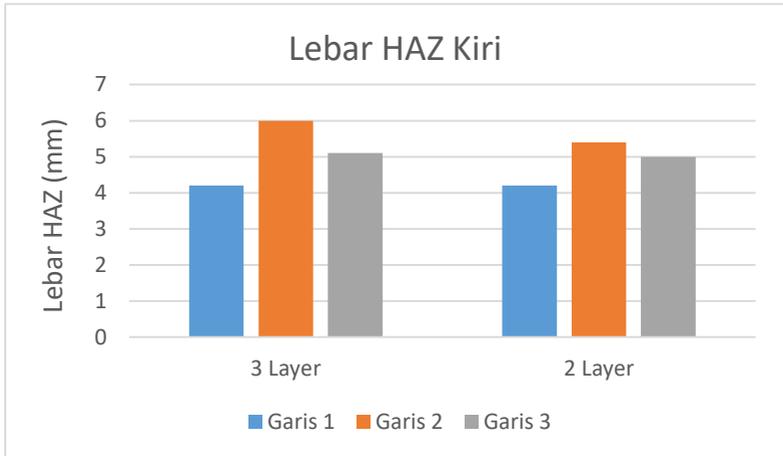


Gambar 4.12 Foto lebar HAZ pada spesimen 2 layer

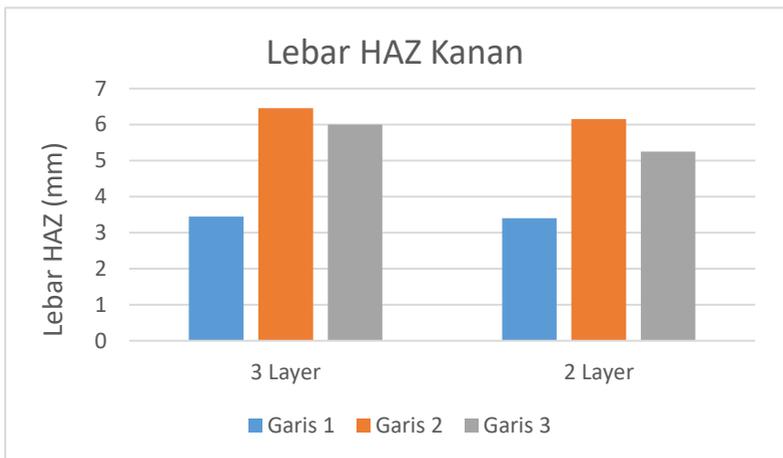
Tabel 4.7 Lebar HAZ spesimen 2 layer diukur menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05

Jumlah Layer	Garis Ke-	Lebar HAZ	
		Kiri (mm)	Kanan (mm)
2 Layer	1	4,2	3,4
	2	5,4	6,15
	3	5	5,25

Berikut adalah grafik perbandingan antara lebar HAZ, dimana spesimen terbagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian kanan dan kiri. Pada bagian kanan dan kiri masing-masing diambil 3 nilai lebar HAZ.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan HAZ sebelah kiri



Gambar 4.14 Grafik perbandingan HAZ sebelah kanan

Lebar dari *HAZ* tergantung dari beberapa faktor salah satunya adalah *Heat Input* dan arus yang digunakan pada saat proses pengelasan, dari pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini terdapat pengaruh dari jumlah layer. Hasil las dengan menggunakan 3 layer memiliki *HAZ* lebih besar dari pada hasil lasan dengan menggunakan 2 layer.

4.5 Pembahasan Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian tarik, kekerasan dan makro etsa yang hasilnya adalah hasil uji tarik spesimen 2 layer menurun dibandingkan nilai hasil uji tarik spesimen 3 layer. Sedangkan nilai kekerasannya lebih keras spesimen 2 layer dibandingkan spesimen 3 layer. Hal ini disebabkan karena efek *postheat* pada layer sebelumnya dan *preheat* bagi layer sesudahnya. Untuk hasil makro etsa, lebar *HAZ* lebih lebar spesimen 3 layer dibandingkan spesimen 2 layer. Hal ini diakibatkan karena penerimaan *heat input* yang berbeda sehingga *heat input* yang diterima lebih besar maka lebar *HAZ*nya lebih besar dibandingkan *heat input* yang diterima lebih kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh variasi jumlah layer 3 layer dan 2 layer terhadap perubahan kekerasan dan keuletan pada pengelasan material SA 36 dengan menggunakan metode *SMAW*, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada pengujian tarik, letak patahan berada pada *HAZ*. Spesimen dengan 3 layer memiliki nilai tegangan tarik lebih besar yaitu 47.2 kgf/mm² daripada spesimen 2 layer yang sebesar 41.548 kgf/mm².
2. Pada pengujian kekerasan, didapatkan hasil bahwa spesimen dengan 3 layer memiliki nilai kekerasan lebih rendah dari spesimen dengan 2 layer. Untuk nilai kekerasan pada spesimen 3 layer sebesar 84.96 HRB sedangkan pada spesimen 2 layer sebesar 85.11 HRB.
3. Pada pengujian makro etsa didapatkan hasil perhitungan lebar *HAZ* pada pengelasan dengan variasi jumlah layer 3 layer dan 2 layer yaitu lebar *HAZ* lebih besar 3 layer dibandingkan 2 layer.

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 ini sengaja dikosongkan.”

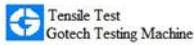
DAFTAR PUSTAKA

1. American Society of Mechanical Engineers Section II, 2010, *Ferrous Material Specifications*.
2. Idashabu. 2014. “**Tabel Kawat Las**”.
<http://idashabu.blogspot.co.id>. Diakses pada tanggal 7 Mei 2016.
3. American Society of Mechanical Engineers Section IX, 2015.
4. Widi Supriyanto. :2016. “*Pengaruh Post Heat 700⁰C dan 900⁰C Selama 5 Jam Pada Sambungan Las SMAW, Elektroda E7016, Material SA 36 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Metalografi*”.
5. Sonawan, Hery. 2003. “**Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam**. Alfabeta, cv.”

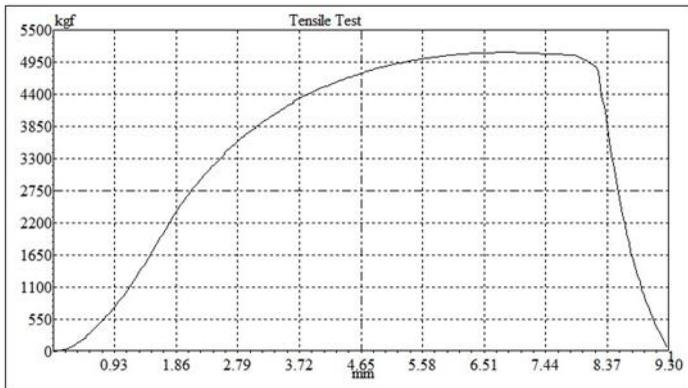
Lampiran 1

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 (3 Layer)

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA



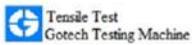
ReportNo	Max. Load	yield streng	Yield point	elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
	5118.249	4.108	5117.677	61.434
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



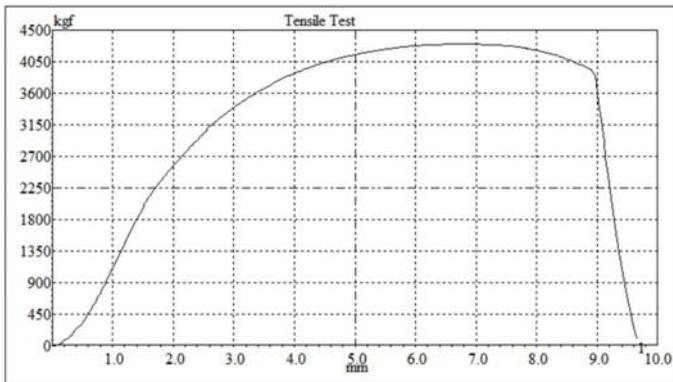
Lampiran 2

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 (3 Layer)

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA



Report No.	Max. Load	Field strength	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
	4302.705	3.466	4302.212	62.289
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



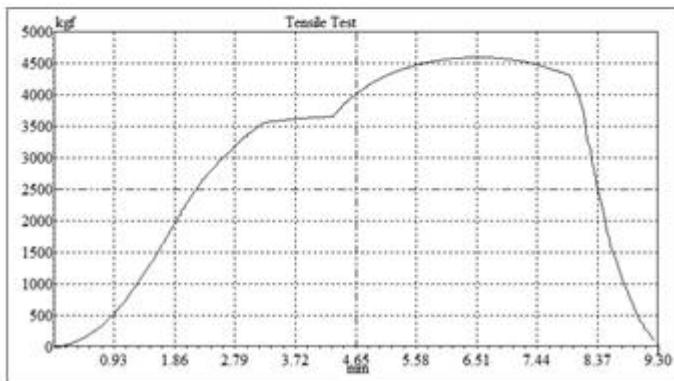
Lampiran 3

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 3 (3 Layer)

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA



ReportNo	Max. Load	Yield strength	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
	4597.596	4.470	4597.082	76.849
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



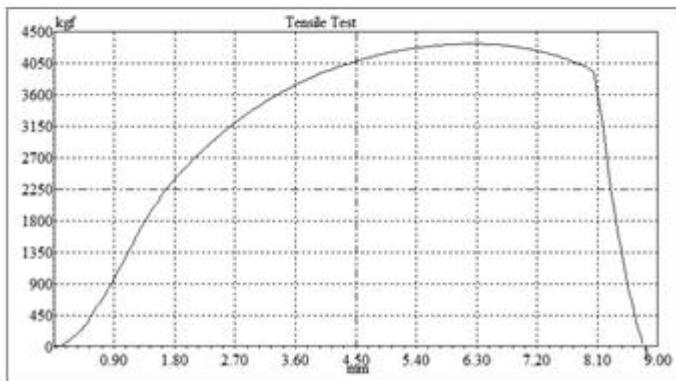
Lampiran 4

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 (2 Layer)

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

 Tensile Test
Gotech Testing Machine

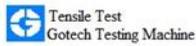
ReportNo	Max. Load	Yield strength	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
4329	258	3.662	4328	977
64	682			
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



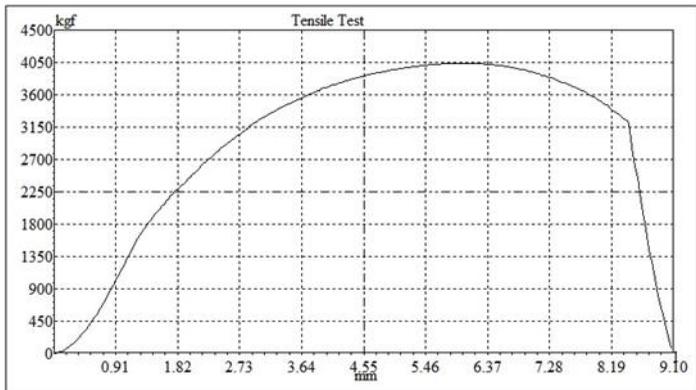
Lampiran 5

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 (2 Layer)

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA



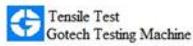
ReportNo	Max. Load	yield streng	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
	4041.685	3.426	4041.515	59.886
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



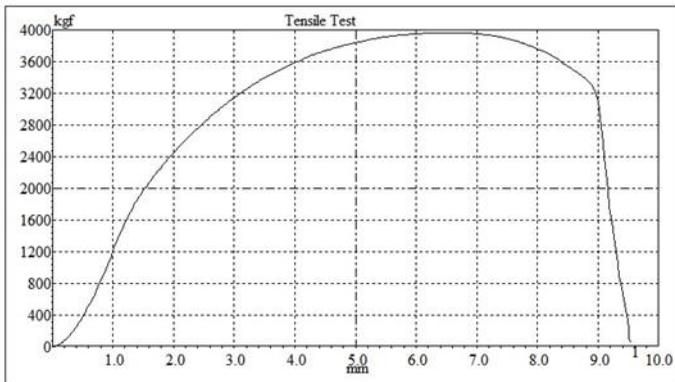
Lampiran 6

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 3 (2 Layer)

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA



ReportNo	Max. Load	Yield strength	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
3969.010	3.366	3968.835	68.372	
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 7

Tabel Hasil Uji Tarik

Jumlah Layer	NO.	A ₀ (mm ²)	Max. Load (kgf)	Yield Streng (kgf/mm ²)	Yield Point (kgf)	Elastic Modulus (kgf/mm ²)	UTS (kgf/mm ²)
3 Layer	1	99	5118.249	4.108	5117.677	61.434	51.699
	2	99	4302.705	3.466	4302.212	62.289	43.461
	3	99	4597.596	4.470	4597.082	76.849	46.440
Rata-rata			4672.85	4.014	4672.323	66.857	47.2
2 Layer	1	99	4329.258	3.662	4328.977	64.682	43.729
	2	99	4041.685	3.426	4041.515	59.886	40.825
	3	99	3969.010	3.366	3968.835	68.372	40.091
Rata-rata			4113.317	3.484	4113.109	64.313	41.548

Lampiran 8 Mill Certificate

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk.
Surabaya - Indonesia



Page : 1 of 2

Head Office :
Jl. Margono No. 29 A
Tembak Bayu, Surabaya 60194
Phone : (62-31) 746058 (Marketing)
Fax : (62-31) 7460581
Email : sales@gunawansteel.com
http://www.gunawansteel.com

MILL TEST CERTIFICATE
ACC. TO EN10028 : 2004.3.1

PT. BENTENG ANUGERAH SEJAHTERA

Jl. Tanjungan No. 44-B RT.001 RW.016 Sramojo, Sukomanunggal Surabaya Jawa Timur 60181
D - 043 - 2017 PO NO - PR1701-0748
HOT ROLLED STEEL PLATE
ASTM A58 - 14
ASTM A57 - 14

Certificate No. : GSC-CC-0017-0524
Drawing No. : February 23, 2017
Despatch Advice No. : LDO-1702-30344

Plate Number	Qty	Dimensions (mm)		Weight (MT)	Ladle Analysis (%)												Tensile Test			Impact Value in Joule (°C)				Ref													
		T	W		L	C	SI	Mn	P	S	Ni	Al	Ca	Mo	V	Al	Ti	N	Test No.	Y.S N/mm ²	T.S N/mm ²	EI % Elongation	Bond Test		I	II	III	AV									
- 61-66	5	6	1600	6580	1,290	2	23	74	13	8	1	2	0	2	0	2	9	3	48	1	6	M3	345	463	26												
- 61-66	5				2,160																																
# 41	1				0,430																																
# 61-66	5				2,190																																
# 41-46	5				2,190																																
# 61-66	5				2,160																																
F 41-46	5				2,160																																
L 41-46	5				2,160																																
L 66-66	4				1,720																																
M 61-66	5				2,160																																
N 41-46	5				2,190																																
N 66-66	3				2,160																																
H 41-46	5				2,160																																
H 41-46	3				1,720																																
L 41-46	4				1,720																																
L 41-46	5				2,160																																
M 61-66	5				1,290																																
H 41-46	5				2,160																																
H 61-66	5				2,160																																
I 51-54	4				1,720																																



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

Gunawan Dianjaya Steel
PT. Gunawan Dianjaya Steel Manager

Lampiran 9

Tabel ASME Sec II Material SA 36

TABLE 3 Tensile Requirements^A

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

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

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

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

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

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

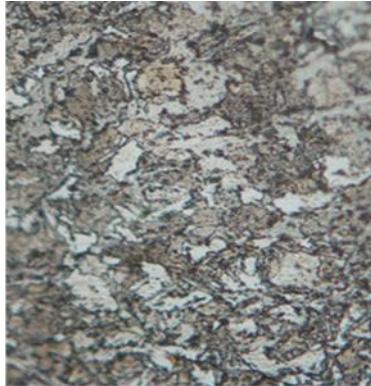
Product	Shapes ^A	Plates ^B				
		To ¼ [20], incl	Over ¼ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2 ½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All					
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	—	—	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Copper, min, % when cop- per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Lampiran 10

Data Sekunder Pengujian Struktur Mikro Daerah *Base Metal*



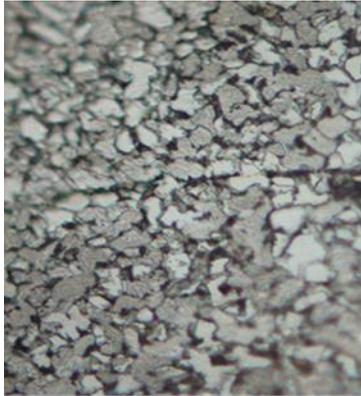
Struktur Mikro Daerah *Base Metal* 3 Layer
Pada Koordinat (-10,-0.5)



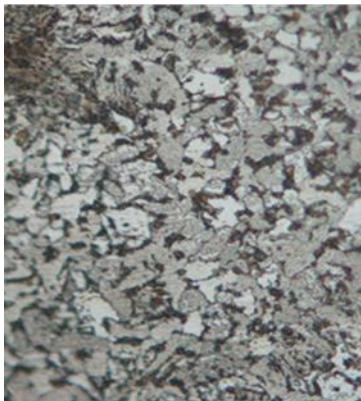
Struktur Mikro Daerah *Base Metal* 2 Layer
Pada Koordinat (-10,-0.5)

Lampiran 11

Data Sekunder Pengujian Struktur Mikro Daerah *HAZ*



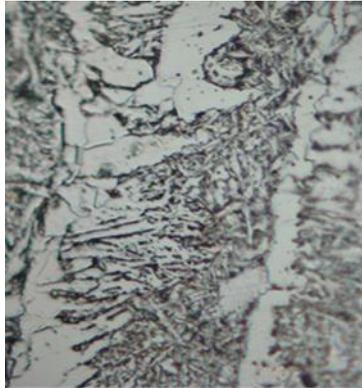
Struktur Mikro Daerah *HAZ* 3 Layer
Pada Koordinat (-5,-0.5)



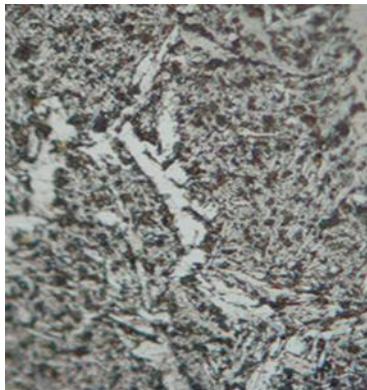
Struktur Mikro Daerah *HAZ* 2 Layer
Pada Koordinat (-5,-0.5)

Lampiran 12

Data Sekunder Pengujian Struktur Mikro Daerah *Weld Metal*



Struktur Mikro Daerah *Weld Metal* 3 Layer



Struktur Mikro Daerah *Weld Metal* 2 Layer

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 1 Agustus 1997, dari pasangan Bapak Sudarto dan Ibu Siti Nuryani. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharmawanita, SDN 1 Tanjungsari, SMPN 1 Taman dan SMAN 1 Taman. Setelah lulus dari SMAN 1 Taman pada tahun 2015, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS dalam bidang studi manufaktur.

Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. ASAHIMAS FLAT GLASS Tbk. yang merupakan pabrik pengolahan kaca di Sidoarjo, di dalam *division maintenance* selama 1 bulan.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin ITS, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Serta mengikuti organisasi di himpunan sebagai Staff Ahli BSO BENGKEL.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis membutuhkan waktu pengerjaan kurang lebih 5 bulan pada semester 6 pendidikan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi mahasiswa Departemen Teknik Mesin FTI-ITS dan Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, serta bermanfaat untuk orang banyak kedepannya. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi, dapat menghubungi email : dioduana.ad@gmail.com