



TUGAS AKHIR - VM 180629

**Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap
Munculnya Cacat Las dan Kekuatan Tarik
Pada Pengelasan GTAW Dengan Arus 150A
Menggunakan Material A36 dan Elektroda
ER70S-6**

**MUHAMMAD FARIS
NRP.10211500000024**

**Dosen Pembimbing
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**



FINAL PROJECT - VM 180629

**Effect of Wind Speed on the Emergence of
weld defects and Tensile Strength of GTAW
Welding with Current 150A Using A36
Material and ER70S-6 Electrodes**

**MUHAMMAD FARIS
NRP.1021150000024**

**Counsellor Lecturer
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**DIPLOME III MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING INDUSTRY
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Porositas dan Kekuatan Tarik Pada Pengelasan GTAW Dengan Arus 150 A Menggunakan Material A36 dan Elektroda ER 70S-6

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Ahli Madya

pada

Bidang Studi Manufaktur

Program Studi Diploma III

Jurusan Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD FARIS
NRP. 102115 00000 024

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



SURABAYA, JANUARI 2019

Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Timbulnya Cacat Las dan Kekuatan Tarik Pada Pengelasan GTAW Dengan Arus 150A Menggunakan Material A36 dan Elektroda ER 70S-6.

Nama : Muhammad Faris
NRP : 1021150000024
Jurusan : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

Abstrak

Salah satu permasalahan dalam pengelasan itu ialah pengaruh kecepatan angin terhadap hasil las. Apabila pengelasan dilakukan didaerah terbuka yang memiliki kecepatan angin yang mampu mempengaruhi arah *gas pelindung* pada las GTAW. *Welder* akan mengalami berbagai kesulitan karena kecepatan angin dapat mengakibatkan cacat pada hasil lasan.

Pada penelitian ini dilakukan hasil las GTAW dengan arus 150 Ampere pada material A36 dengan kampuh 60° , dilakukan dengan elektroda ER70S-6 dan dialirkan angin dengan kecepatan 1,35 m/s, 1,70 m/s, 2,1m/s dan kecepatan angin dalam ruang. Hasil las akan dilakukan pengujian radiografi untuk mengetahui cacat porositas yang terjadi didalam hasil pengelasan dan dilakuakan uji Tarik untuk melihat perbandingan nilai tegangan tarik.

Hasil Radiografi menunjukkan cacat meningkat seiring meningkatnya kecepatan angin saat proses las dan pada hasil uji tarik diperoleh nilai tegangan tarik menurun dari hasil kecepatan angin didalam ruangan ($51,12 \frac{kgf}{mm^2}$) hingga kecepatan angina 2,1 m/s ($30,26 \frac{kgf}{mm^2}$).

Kata kunci : Kecepatan Angin, GTAW, Tegangan tarik dan A36.

Effect of Wind Speed on appearance of weld defects and Tensile Strength of GTAW Welding with Current 150A Using A36 Materials and Electrode ER 70S-6.

Name : Muhammad Faris
NRP : 1021150000024
Department : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS
Advisor : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

Abstract

One of the problems in welding is the effect of wind speed on weld results. If welding is carried out in an open area that has a wind speed that can affect the direction of the protective gas in GTAW welding. Welder will experience various difficulties because wind speeds can cause defects in weld results.

In this study GTAW welding with 150 Ampere in A36 material with 60 ° seam was carried out with ER70S-6 electrode and wind flowed at 1.35 m / s, 1.70 m / s, 2.1 m / s and wind speed in space. The results of the weld will be carried out radiographically to determine the porosity defects that occur in the welding results and do the tensile test to see the comparison of the tensile stress values.

Radiographic results show defects increase with increasing wind speed during the welding process and in the results of the tensile test the value of tensile stress decreases from the results of indoor wind speed ($51,12 \frac{kgf}{mm^2}$) to wind speed 2.1 m / s ($30,26 \frac{kgf}{mm^2}$).

Keywords: Wind Speed, GTAW, Tensile and A36.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Penelitian yang berjudul :

“PENGARUH KECEPATAN ANGIN TERHADAP MUNCULNYA CACAT LAS DAN KEKUATAN TARIK PADA PENGELASAN GTAW DENGAN ARUS 150A MENGGUNAKAN MATERIAL A 36 DAN ELEKTRODA ER70S-6”

dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bisa 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. Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku koordinator Penelitian Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

4. Bapak Ir. Hari Subiyanto MT selaku Dosen Wali selama di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan 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. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu yang selalu memberikan semangat, doa, serta dukungan dalam bentuk apapun.
8. Teman-teman seperjuangan yang juga mengambil Tugas akhir Pengelasan.
9. Teman – teman angkatan 2014, 2015 dan 2016 atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
10. Mas Rif'an yang mau membagi ilmunya dalam pengelasan.
11. Bapak Maslihan yang mau membantu dalam pengujian radiografi.
12. PT. Algas dan PT. Spektra Megah Semesta yang mau membantu dalam pengujian bahan.

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

Surabaya, 22 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Baja Karbon.....	5
2.2.1 Material A36.....	6
2.3 Pengelasan.....	9
2.3.1 Pengelasan GTAW.....	11
2.3.1.1 Prinsip Kerja Las GTAW.....	12
2.3.1.2 Variabel Proses Las GTAW	13
2.3.2 Siklus Termal	15
2.3.3 Heat Input.....	17
2.3.4 Kodefikasi Elektroda Terumpan	18
2.3.5 Sambungan Las	19
2.3.5.1 Sambungan Tumpul	19

3.4.3 Proses Pengelasan	47
3.4.4 Persiapan Benda Uji	49
3.5 Pengujian Benda Kerja.....	50
3.5.1 Pengujian Radiografi.....	50
3.5.2 Pengujian Tarik	54
3.5.2.1 Pembuatan Benda Kerja Uji Tarik.....	56

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Pengelasan.....	57
4.2 Uji Radiografi (<i>Radiografi Test</i>).....	59
4.3 Uji Tarik	65

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan antara kandungan karbon dan sifat mekanis	9
Gambar 2.2	Pengelasan GTAW.....	11
Gambar 2.3	Skema pengelasan GTAW.....	12
Gambar 2.4	Pengaruh kecepatan pengelasan terhadap penetrasi dan lebar lajur las	14
Gambar 2.5	Daerah lasan	15
Gambar 2.6	Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ.....	16
Gambar 2.7	Siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda.....	17
Gambar 2.9	Jenis-jenis sambungan dasar	19
Gambar 2.10	Alur sambungan las tumpul.....	20
Gambar 2.11	Cacat porosity.....	21
Gambar 2.12	Jenis-jenis cacat porosity.....	21
Gambar 2.13	Cacat tungsten inclusion.....	22
Gambar 2.14	Cacat incomplete fusion.....	22
Gambar 2.15	Cacat undercut.....	22
Gambar 2.16	Cacat incomplete penetration.....	23
Gambar 2.17	Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik	24
Gambar 2.18	Diagram Tegangan Regangan	25
Gambar 2.19	Mesin gamma-ray.....	27
Gambar 2.20	Sumber radioaktif isotop material	27
Gambar 2.21	Skema pengujian radiografi	28
Gambar 2.22	<i>Internal source image internal film technique</i> ..	29
Gambar 2.23	<i>Internal film technique</i>	29
Gambar 2.24	<i>Panaromic technique</i>	30
Gambar 2.25	<i>Contact tehinique</i>	30
Gambar 2.26	<i>Non contact technique</i>	31
Gambar 2.27	<i>Ellips technique</i>	32
Gambar 2.28	<i>Superimposed technique</i>	33
Gambar 2.29	Penyinaran menggunakan film radiografi	35
Gambar 2.30	Penampang film radiografi dan jenis bagiannya	35
Gambar 2.31	<i>Wire image quality incicator</i> t.....	36

Gambar 2.31	Densitometer	37
Gambar 2.32	Viewer	37
Gambar 2.33	Struktur butir film lambat dan film cepat.....	39
Gambar 2.34	Skema diagram pemrosesan film radiografi.....	41
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	43
Gambar 3.2	Dimensi material	45
Gambar 3.3	Sudut <i>bevel</i> 30° dengan tebal plat 8 mm.....	45
Gambar 3.4	Material dengan sudut <i>bevel</i> 30°.....	45
Gambar 3.5	Elektroda yang digunakan	48
Gambar 3.6	Sumber Angin.....	48
Gambar 3.7	Anemometer	48
Gambar 3.8	Mesin las TIG	49
Gambar 3.9	Proses pengelasan	49
Gambar 3.10	Tang ampere	49
Gambar 3.11	Alat uji radiografi Ir-192	50
Gambar 3.12	Pemberian identitas pada spesimen	52
Gambar 3.13	Spesimen uji radiografi.....	53
Gambar 3.14	Proses uji radiografi.....	53
Gambar 3.15	Proses pencucian film setelah proses radiografi	53
Gambar 3.13	Cairan <i>Developer, stop bath, Fixer</i>	54
Gambar 3.14	<i>Viewer</i>	54
Gambar 3.18	ASME Standart for tensile.....	56
Gambar 3.19	Material Uji Tarik.....	56
Gambar 4.1	Skema Radiografi Plat.....	59
Gambar 4.2	Film hasil uji radiografi kecepatan angin di dalam Ruang	61
Gambar 4.6	Sketsa cacat pada hasil las dengan kecepatan angin di dalam ruang.....	61
Gambar 4.7	Film hasil uji radiografi kecepatan angin 1,35 m/s	62
Gambar 4.6	Sketsa cacat pada hasil las dengan kecepatan angin 1,35.....	62
Gambar 4.8	Film hasil uji radiografi kecepatan angin 1,70 m/s	63
Gambar 4.9	Sketsa cacat pada hasil las dengan kecepatan angin 1,70.....	63

Gambar 4.8	Film hasil uji radiografi kecepatan angin 2,1 m/s	64
Gambar 4.9	Sketsa cacat pada hasil las dengan kecepatan angin 2,1	64
Gambar 4.10	Pengujian Tarik pada kecepatan angin dalam ruang	65
Gambar 4.11	Patahan benda uji tarik pada kecepatan angin 1,35 m/s	66
Gambar 4.12	Patahan benda uji tarik pada kecepatan angin 1,70 m/s	66
Gambar 4.13	Patahan benda uji tarik pada kecepatan angin 2,1 m/s	66
Gambar 4.14	Grafik Uji Tarik	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai <i>Chemical Composition dalam Persen</i>	6
Tabel 2.2	Sifat Mekanik SA 36.....	6
Tabel 2.3	Karakteristik dari 5 elemen baja	6
Tabel 2.4	Klasifikasi Baja Karbon.....	9
Tabel 2.5	Efisiensi perpindahan panas.....	18
Tabel 2.6	Komposisi Kimia ER 70S-6	19
Tabel 2.7	Pemilihan image quality indicator.	33
Tabel 2.8	Wire IQI designation, wire diameter and wire identity.	34
Tabel 2.9	Film AGFA GEVAERT	38
Tabel 3.1	Logam induk.	45
Tabel 3.2	Logam Pengisi.	46
Tabel 3.3	Parameter pengelasan.	46
Tabel 3.4	Variasi Kecepatan Angin.....	46
Tabel 3.5	Pemilihan image quality indicator.	51
Tabel 3.6	Wire IQI designation, wire diameter and wire identity.	51
Tabel 4.1	Logam Induk.....	57
Tabel 4.2	Elektroda.....	57
Tabel 4.3	Data Primer Pengelasan.....	58
Tabel 4.4	Parameter pengelasan.....	59
Tabel 4.5	Parameter pengujian radiografi.....	60
Tabel 4.6	Klasifikasi Kehitaman (density) dan sensitivitas <i>film</i>	60
Tabel 4.7	Klasifikasi cacat pada material 0.....	61
Tabel 4.8	Klasifikasi cacat pada material 1.....	62
Tabel 4.9	Klasifikasi cacat pada material 2.....	63
Tabel 4.10	Klasifikasi cacat pada material 3.....	64
Tabel 4.11	Data Pengujian Tarik.....	67
Tabel 4.12	Rangkuman Hasil Uji.....	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dicapai saat ini umumnya merupakan pengembangan dari ilmu pengetahuan dan teknologi pada masa sebelumnya, demikian halnya dengan teknologi pengelasan dimana pada mulanya hanya merupakan teknik penyambungan yang mutakhir dan kualitas produk yang dihasilkan dapat diandalkan.

Salah satu permasalahan dalam pengelasan suatu material logam itu ialah apabila melakukan pengelasan diluar ruangan maka akan ada kecepatan angin yang tidak menentu dan dapat mempengaruhi hasil pengelasan. Hal yang harus diperhatikan untuk mengatasi hal tersebut ialah dengan cara mengetahui pengaruh kecepatan angin tersebut terhadap hasil pengelasan.

Alwi (2018) dalam kajiannya dilakukan pengelasan SMAW dengan arus 115 Ampere pada material ST 42 dengan kampuh 60°, dilakukan dengan elektroda E7016 dan dialirkan angin dengan kecepatan 1,20 m/s, 1,45 m/s, 1,70 m/s dan kecepatan angin dalam ruang. Hasil las akan dilakukan pengujian radiografi untuk mengetahui cacat porositas yang terjadi didalam hasil pengelasan, dilakukan uji metalografi (makro etsa) untuk menentukan lebar HAZ dan dilakukan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah Base metal, HAZ dan Weld metal.

Oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dilakukan proses pengelasan GTAW dengan membedakan variasi kecepatan angin yaitu sebesar 2.1 meter per detik, 1.70 meter per detik, 1.35 meter per detik dan kecepatan normal (didalam ruangan).

Berdasarkan pertimbangan diatas, diadakan penelitian dengan judul : **“Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Munculnya Cacat Las dan Kekuatan Tarik Pada Pengelasan GTAW Dengan Arus 150A Menggunakan Bahan A36 dan Elektroda ER 70S-6”**.

Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui besar cacat porositas yang terjadi pada *weld metal* ketika dilakukan proses pengelasan *GTAW* dengan pengaruh kecepatan angin yang berbeda beda. Karena kecepatan angin dapat menyebabkan cacat porositas pada weld metal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian judul diatas, maka permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah adalah :

1. Bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap munculnya cacat las pada bahan A36 dengan pengelasan *GTAW* ?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap hasil uji tarik pada bahan A36 dengan pengelasan *GTAW* ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin pada lingkungan tempat pengelasan terhadap munculnya cacat las pada hasil lasan dengan metode radiografi.
2. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin pada lingkungan tempat pengelasan terhadap nilai kekuatan tarik pada hasil lasan dengan metode uji tarik.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Material awal yang digunakan homogen.
2. Menggunakan proses *GTAW* (*Gas Tungsten Arc Welding*).
3. Arus yang digunakan adalah 150 *Ampere* dan kampuh yang digunakan adalah *single V groove* 60°.

4. Material yang digunakan adalah A36 dengan tebal 10 mm.
5. Elektroda yang digunakan adalah ER 70S-6 dengan diameter 2.4 mm.
6. Pengelasan dilakukan dengan posisi 1G.
7. Pengujian yang dilakukan adalah uji radiografi dan uji tarik
8. Menggunakan kecepatan angin didalam ruangan, 1,35 m/s, 1,70 m/s, 2.1 m/s.
9. Menggunakan *gamma-ray* Ir-192.
10. Menggunakan metode *source side*.
11. Menggunakan *wire* IQI ASTM SET 1B.
12. Menggunakan teknik SWSV.
13. *Film* pendek tipe sedang AGFA *structurix D7*.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini, diharapkan mampu bermanfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh kecepatan angin yang terdapat pada lingkungan terhadap cacat porositas saat dilakukan proses pengelasan *GTAW* pada material A36.

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 kekerasan dan radiografi.
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 dari uji radiografi dan uji tarik terhadap hasil las

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 penjelasa 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 radiografi dan uji kekuatan tarik

BAB V PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada Kajian Pustaka penelitian ini dibahas penelitian sebelumnya dimana penelitian ini menggunakan beberapa kajian pustaka berbeda. Kajian pustaka yang saya ambil memiliki beberapa kesamaan dengan penelitian yang dilakukan.

Kajian pustaka yang pertama adalah penelitian yang ditulis oleh Mukhammad Shodiq Alwi pada tahun 2018 dengan judul pengaruh kecepatan angin terhadap porositas, lebar HAZ, dan kekerasan pada penelitian ini digunakan proses pengelasan SMAW dengan variasi kecepatan angin yang berbeda-beda. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa kecepatan angin yang diberikan mempengaruhi kekuatan hasil lasan dan menyebabkan porositas.

Kajian kedua adalah penelitian yang ditulis oleh M.P Nascimento pada tahun 2011 dengan judul *Effects of several TIG weld repairs on the axial fatigue strength of AISI 4130 aeronautical steel-welded joints*. pada penelitian ini digunakan proses pengelasan GTAW dan poses las dilakukan saat jam operasional pesawat. Dari penelitian ini diketahui bahwa adanya pengaruh kondisi lingkungan yang membuat hasil lasan kurang maksimal.

Kajian ketiga adalah penelitian yang ditulis oleh Clay J Naito, Jazon Zimpfer, Richard Sause dan Eric Kauffman pada tahun 2015 dengan judul *Effect of environmental conditions on field welding of precast concrete connections*. Penelitian ini dilakukan pada kondisi lingkungan yang berbeda – beda, yaitu temperature, kelembapan dan kondisi angin. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa variasi yang diberikan mampu mempengaruhi kualitas hasil lasan dan menyebabkan berbagai cacat.

Dari ketiga kajian diatas dapat diketahui bahwa kondisi lingkungan sangat mempengaruhi kualitas hasil pengelasan yang dilakukan, baik pengaruh temperature, kecepatan angin, kelembapan dan lain sebagainya.

2.2 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. 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 (Wirjosumarto, 2000).

2.2.1 Material SA 36

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SA 36 dimana material ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik yaitu, ditunjukkan pada tabel 2.1 dan tabel 2.2

Tabel 2.1 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 2.2 Sifat Mekanik SA 36

ASTM A36	
Tensile Strengt	
YS (MPa)	TS (MPa)
250	400-550

Tabel 2. 3 Karakteristik dari 5 Elemen pada baja

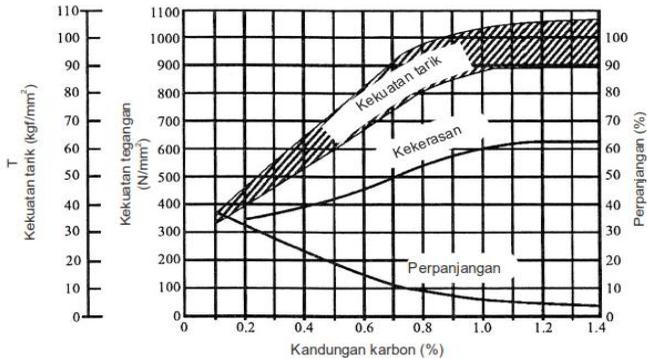
Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada	Umumnya kandungan

		sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan dan kemampuan baja unjut mengeras, tetapi mengurangi kemuluran.	karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silikon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3% silikon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silikon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%.
Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja 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.
----------	---	--	--

2.2.2 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 perpanjangan, sifat mampu pengerjaan dan sifat mampu las serta cenderung retak. Maka baja bila akan dilas harus mempunyai kandungan karbon rendah. Gambar 2.1 memperlihatkan hubungan antara kandungan karbon dengan sifat mekanis baja.



Gambar 2.1 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, seperti diberikan pada tabel 2.4. Baja karbon juga dapat diklasifikasikan baja keras yang dapat dikeraskan dan baja lunak yang tidak dapat dikeraskan.

Tabel 2.4 Klasifikasi Baja Karbon

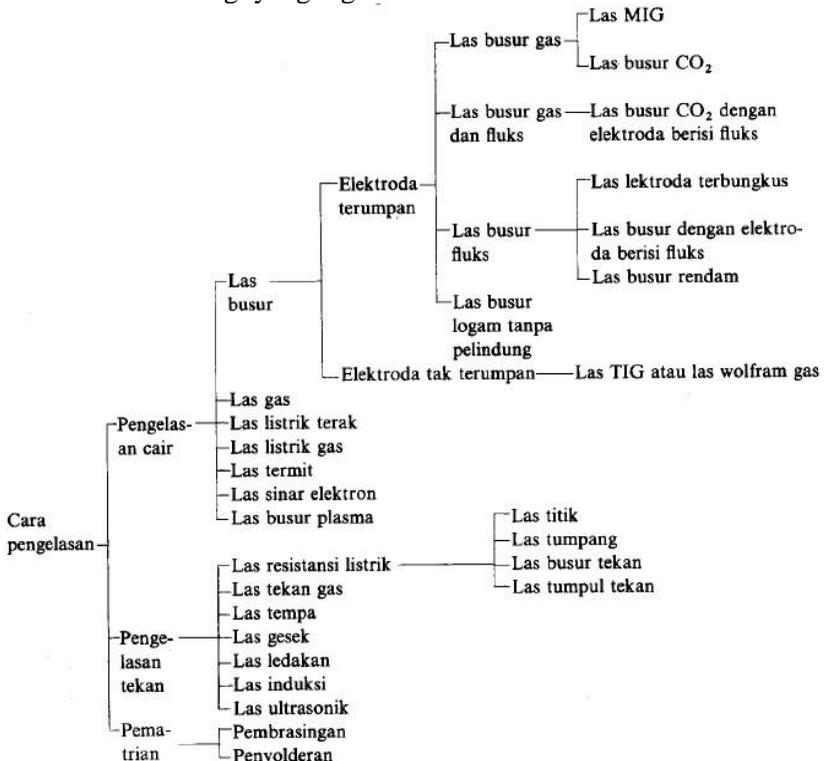
Jenis	Kandungan karbon	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0,08% - 0,3%	Baja roll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan.
Baja karbon sedang	0,31% - 0,59%	Baja untuk struktur mesin, poros, roda gigi, baut, mur.
Baja karbon tinggi atau baja keras	0,6% - 2,0%	Baja untuk rel kereta api, baja perkakas, baja pegas, baja alat ukur.

2.3 Pengelasan

Pengelasan (Welding) adalah proses penyambungan dua logam atau lebih dengan menggunakan proses pemanasan setempat, sehingga terjadi ikatan metalurgi antara logam - logam yang disambung. Proses penyambungan logam ini banyak

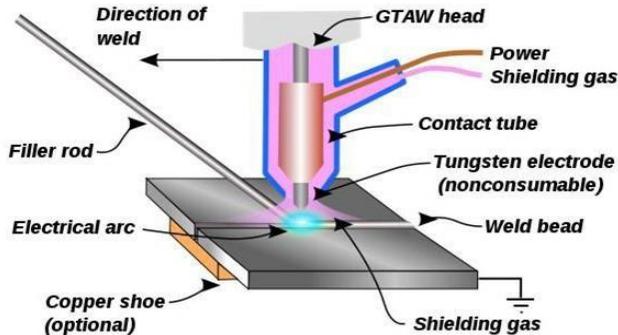
dipakai di industri untuk pekerjaan konstruksi, pembuatan mesin, peralatan pabrik, konstruksi perpipaan serta pekerjaan lain yang memerlukan sambungan. Dalam setiap proses pengerjaan pengelasan harus memenuhi standar tertentu yaitu: ASME (American Society of Mechanical Engineers), API (American Petroleum Institute) dan lain sebagainya. Dalam hal ini proses las, pemilihan logam pengisi (filler metal), perencanaan prosedur las, kualifikasi prosedur pengelasan, perencanaan dan prosedur pabrikasi, serta sistem pengendalian mutu harus dilakukan mengikuti peraturan yang berlaku dalam standar.

Sampai saat ini cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasian tersebut dapat dibagi dalam dua golongan yaitu: klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan.



2.3.1 Pengelasan GTAW

Pengelasan *gas tungsten arc welding* (GTAW) adalah jenis pengelasan dengan memakai busur nyala api yang menghasilkan elektroda tetap yang terbuat dari tungsten (*wolfram*), sedangkan bahan penambah terbuat dari bahan yang sama atau sejenis dengan bahan yang dilas dan terpisah dari *torch*. Untuk mencegah oksidasi, maka dipakai gas pelindung yang keluar dari *torch* biasanya berupa gas argon dengan kemurnian mencapai 99,99%. Pada proses pengelasan ini peleburan logam terjadi karena panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dan logam induk. Proses pengelasan *gas tungsten arc welding* (GTAW) dapat dilihat seperti pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Pengelasan GTAW

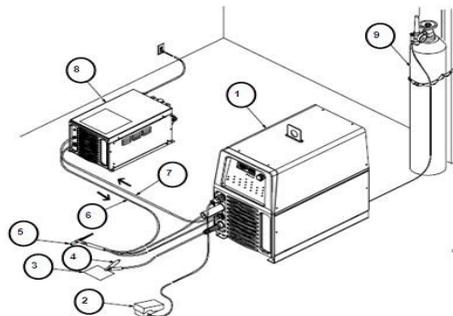
Tungsten Inert Gas (TIG) adalah suatu proses pengelasan busur listrik elektroda tidak terumpan, dengan menggunakan gas mulia sebagai pelindung terhadap pengaruh udara luar. Pada proses pengelasan TIG peleburan logam terjadi karena panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan logam induk. Pada jenis pengelasan ini logam pengisi dimasukkan ke dalam daerah arus busur sehingga mencair dan terbawa ke logam induk. Las TIG dapat dilaksanakan secara manual atau secara otomatis dengan mengotomatiskan cara pengumpanan logam pengisi .

2.3.1.1 Prinsip Kerja Las GTAW

Pada gambar 2.3 menunjukkan skema atau pelaksanaan pengelasan GTAW. Prosesnya menggunakan gas pelindung untuk mencegah terjadinya oksidasi pada bahan las yang panas. Untuk menghasilkan busur nyala, digunakan elektroda yang tidak terkonsumsi terbuat dari logam tungsten atau paduannya yang mempunyai titik lebur sangat tinggi.

Busur nyala dihasilkan dari arus listrik melalui konduktor dan mengionisasi gas pelindung. Busur terjadi antara ujung elektroda tungsten dengan logam induk. Panas yang dihasilkan busur langsung mencairkan logam induk dan juga logam las berupa kawat las (*rod*). Penggunaan kawat las tidak selalu dilaksanakan (hanya jika dirasa perlu sebagai logam penambah). Pencairan kawat las dilaksanakan di ujung kolom las yang sambil proses pengelasan berjalan. Komponen dasar atau komponen utama dari las GTAW, yaitu (Sriwidharto, 2006):

1. Mesin las/sumber tenaga
2. Pedal las.
3. Logam induk.
4. Klem masa.
5. Torch.
6. Selang masuk air.
7. Selang keluar air.
8. Sistem sirkulasi air.
9. Gas pelindung.



Gambar 2.3 Skema pengelasan GTAW.

2.3.1.2 Variabel Proses Las GTAW

Variabel utama pada pengelasan TIG adalah tegangan busur (*arc length*), arus pengelasan, kecepatan gerak pengelasan (*travel speed*), dan gas lindung. Jumlah energi yang dihasilkan oleh busur sebanding dengan arus dan tegangan, sedangkan jumlah bahan las yang dideposisikan per satuan panjang berbanding terbalik dengan kecepatan gerak pengelasan. Busur yang dihasilkan dengan gas pelindung helium lebih dalam dari pada dengan gas argon .

a) Arus Busur

Secara umum dapat dikatakan bahwa arus pengelasan menentukan penetrasi las karena berbanding langsung, atau paling tidak secara eksponensial. Arus busur juga mempengaruhi tegangan. Jika voltasenya tetap maka arus bertambah. Karenanya untuk mempertahankan panjang busur pada kepanjangan tertentu, perlu untuk mengubah penyetelan tegangan manakala arus disetel.

GTAW/TIG dapat menggunakan arus searah maupun arus bolak-balik. Pemilihan arus tergantung pada jenis bahan yang akan dilas. Arus searah dengan elektroda pada bagian negatif dapat menghasilkan penetrasi yang cukup dalam dan kecepatan las yang lebih tinggi, terutama apabila gas lindungnya adalah helium. Namun dalam aplikasinya, pada pengelasan TIG gas pelindung yang banyak digunakan adalah gas argon. Gas argon merupakan pilihan yang terbaik untuk pengelasan TIG secara manual baik dengan menggunakan arus searah maupun arus bolak-balik. Ada kemungkinan pemilihan arus yang lain, yakni arus searah dengan elektroda pada bagian positifnya. Proses ini hanya digunakan dalam kondisi khusus saja, karena polaritas seperti ini akan menyebabkan *over heating* pada elektroda.

b) Tegangan Busur

Tegangan yang diukur antara elektroda tungsten dengan bahan induk biasanya disebut tegangan busur. Tegangan busur ini sangat tergantung pada hal-hal sebagai berikut (Sriwidharto, 2006):

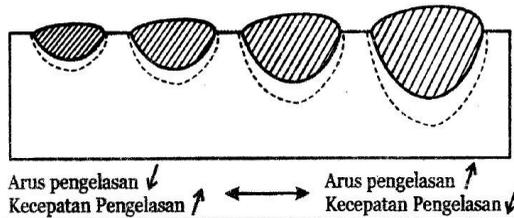
1. Arus busur

2. Bentuk ujung elektroda tungsten
3. Jarak antara elektroda tungsten dengan bahan induk
4. Jenis gas lindung

Tegangan arus dipengaruhi oleh variabel lainnya, dan digunakan untuk menjelaskan prosedur las karena mudah diukur. Karena variabel lainnya seperti gas lindung, elektroda dan jenis arus telah ditentukan sebelumnya, maka tinggal tegangan busur saja yang digunakan untuk mengendalikan panjang busur meskipun tegangan busur merupakan variabel yang sulit dipantau.

c) Kecepatan pengelasan (*Travel speed*)

Kecepatan pengelasan mempengaruhi lebar lajur las dan kedalaman penetrasi TIG dan juga berpengaruh terhadap biaya. Pada beberapa aplikasi, kecepatan pengelasan dipandang sebagai obyektif bersama dengan variabel lainnya dipilih untuk mendapatkan konfigurasi las yang dikehendaki pada kecepatan tertentu. Pengaruh kecepatan pengelasan dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pengaruh Kecepatan Pengelasan Terhadap Penetrasi dan Lebar Lajur Las

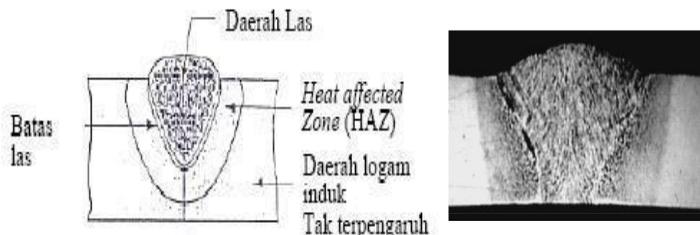
d) Pengumpanan kawat las (*wire feed*)

Cara pengumpanan kawat las ke dalam kolam las menentukan jumlah lajur yang terproduksi dan tampak luarnya. Pada mesin las GTAW/TIG yang otomatis, kecepatan pengumpanan kawat las menentukan bahan tambahan las yang terdeposisi persatuan panjang sambungan las. Mengurangi kecepatan pengumpanan akan memperdalam penetrasi dan meratakan bentuk

permukaan (*contour*) lajur las. Pengumpanan kawat las yang terlalu lambat cenderung akan menghasilkan *undercut* (luruhnya sisi kampuh), retak sumbu lajur dan kekurangan pengisian (*lack of joint fill*). Pengumpanan yang cepat akan mendangkalkan penetrasi dan menyebabkan bentuk lajur cembung (*convex*).

2.3.2 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. 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 2.5.

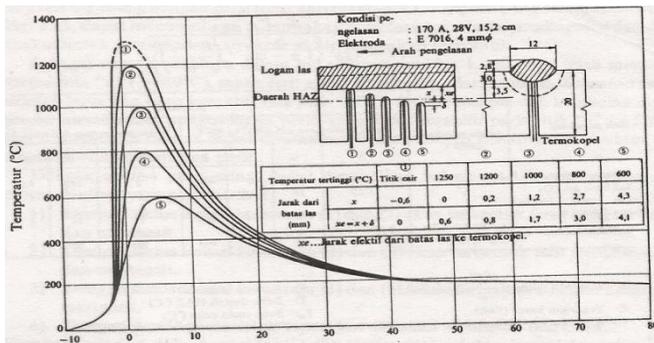


Gambar 2.5 Daerah lasan

- (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 .

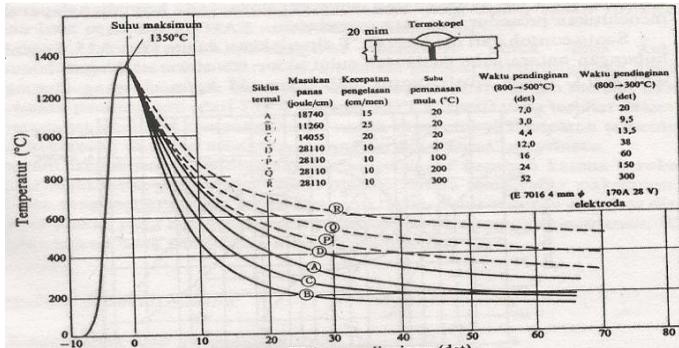
- (d) Selain ketiga daerah tersebut, masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dengan daerah pengaruh panas yang disebut batas las atau daerah fusi (*fusion line*).

Siklus termal las sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2.6 dan gambar 2.7, menunjukkan siklus termal daerah lasan pada gambar 2.6 dapat dilihat siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ (Heat Affected Zone) dengan kondisi pengelasan tetap, sedangkan pada gambar 2.7 menunjukkan siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan. Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 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°C sampai 500°C, sedangkan retak dingin dimana hidrogen memegang peranan penting terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C. Sedangkan untuk Siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda

2.3.3 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.

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

Dimana: *HI* = Masukan panas atau energi (J/mm)

I = Arus (Ampere)

V = Voltase (Volt)

η = Efisiensi perpindahan panas

s = Kecepatan pengelasan (mm/s)

Nilai *η* besarnya antara 0 ÷ 1 yang tergantung proses pengelasannya. Dilihat pada table 2.5.

Tabel 2.5 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

2.3.4 Kodifikasi Elektroda Terumpun

Elektroda terumpun merupakan logam pengisi kumpuh las pada proses las GTAW. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan mengingat filler rod harus memiliki komposisi lebih unggul dibanding logam dasar atau diharuskan sama dengan kekuatan material logam dasar. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*).

Adapun kodifikasi dari elektroda sebagai berikut:

Contoh: ER XX S- A

ER : Elektroda Rod.

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

S : (angka ketiga) menyatakan kontruksi elektroda Solid.

A : (angka keempat) menyatakan komposisi kimia elektroda.

Adapun elektroda yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

ER 70S-6

ER : Elektroda Rod.

70 : Kekuatan Tarik 70.000 psi.

S : Solid (tanpa flux).

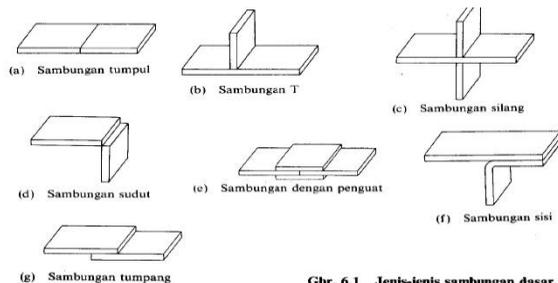
6 : Komposisi kimia elektroda sebagai berikut.

Tabel 2.6 Komposisi kimia ER 70S-6

Komposisi	Kandungan (%)
Carbon	0,06-1,5%
Silikon	0,08-1,15%
Nickel	0,15% max
Molybdenum	0,15% max
Copper	0,50%
Sulfur	0,035%
Chromium	0,15%
Iron	Balance
Manganese	1,40-1,85 %
Phosphorus	0,025 % max
Vanadium	0,03 % max
Other Total	0,50 % max

2.3.5 Sambungan Las

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.



Gbr. 6.1 Jenis-jenis sambungan dasar.

Gambar 2.8 Jenis-jenis sambungan dasar

2.3.5.1 Sambungan Tumpul (Butt joint)

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian seperti pada gambar 2.11. Sambungan penetrasi penuh dibagi lebih lanjut menjadi sambungan tanpa pelat pembantu dan

sambungan dengan pelat pembantu. Bentuk alur pada sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, 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.

Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Perapi (R)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (TV)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (GV)		—	
Tirus ganda (TVG)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

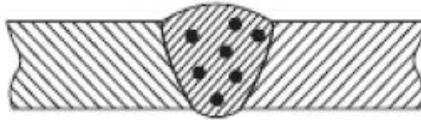
Gambar 2.9 Alur sambungan las tumpul (Butt joint)

2.4 Cacat Pengelasan

Cacat las dapat diartikan sebagai suatu cacat pada pengelasan akibat tidak adanya kesinambungan (*discontinuitas*) pada sambungan las tersebut. Ketidaksinambungan (*discontinuitas*) las pada sambungan las tersebut dapat disebabkan karena adanya suatu sebab dari proses pengelasan, seperti kurang homogennya sifat – sifat mekanis, metalurgi dan fisik dari material.

2.4.1 Porosity

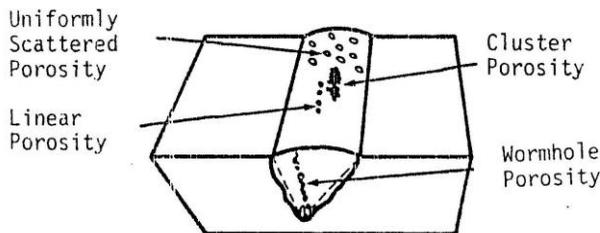
Porosity merupakan cacat pengelasan yang disebabkan adanya gelembung gas yang terperangkap didalam logam. Cacat ini didefinisikan sebagai yang diakibatkan adanya gas terperangkap saat proses pendinginan logam lasan.



Gambar 2.10 Cacat porosity

Porosity dapat dibagi menjadi 2 jenis antara lain yaitu surface porosity / visual inspection dan internal porosity. Untuk karakteristik porosity terbagi sebagai berikut :

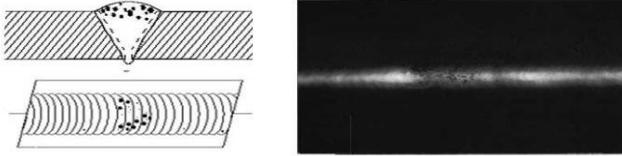
- a. Uniformly Scattered: pori-pori tersebar secara merata diseluruh logam lasan.
- b. Cluster Porosity: porositas dengan pori-pori terkumpul berkelompok-kelompok dan tiap kelompok terdiri dari pori-pori (lubang kecil yang keropos) terpisah terhadap kelompok lain.
- c. Linear Porosity: porosity dimana pori-pori tersebar menurut garis lurus dan umumnya terdapat pada root pass dan ada hubungannya dengan incomplete penetration.
- d. Elongated atau Wormhole: Bila lubang menerus panjang seperti pipa (Worm Hole). Yang membedakan antara Elongated porosity adalah lubang yang terjadi yaitu jika sejajar dengan akar las, namun jika tidak sejajar maka akan disebut worm hole.



Gambar 2.11 Jenis-jenis Cacat Porosity

2.4.2 Tungsten Inclusion

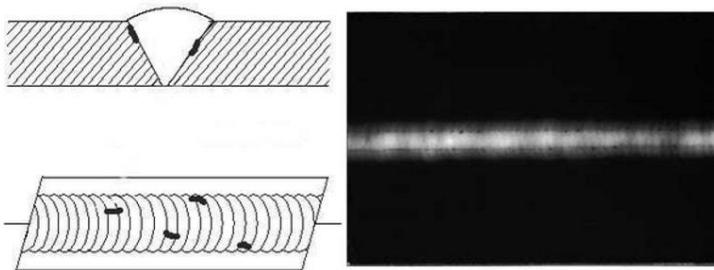
Inklusi tungsten adalah cacat yang terjadi akibat elektroda tidak terumpan (tungsten) terperangkap dalam logam lasan atau antara logam las dan logam dasar.



Gambar 2.14 Cacat Tungsten Inclusion

2.4.3 Incomplete Fusion/ Lack of Fusion

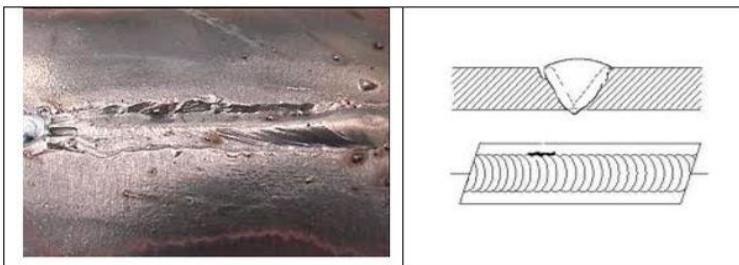
Incomplete fusion adalah suatu daerah lasan yang tidak ikut mencair dan mengakibatkan tidak bersatunya logam induk dengan logam pengisi.



Gambar 2.12 Cacat Incomplete Fusion

2.4.4 Undercut

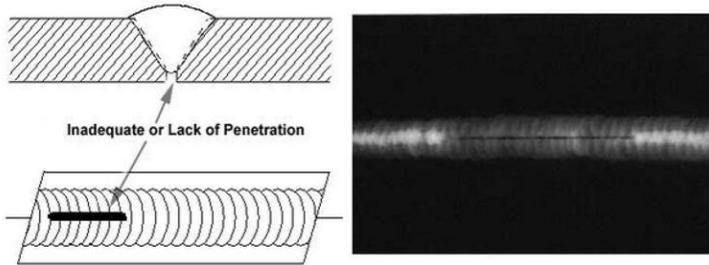
Undercut adalah cacat yang terjadi akibat ikat melelehnya sebagian logam induk pada perbatasan dengan lasan dan tidak terisi lasan secara cukup.



Gambar 2.13 Cacat Undercut

2.4.5 Incomplete Penetration

Incomplete penetration adalah cacat yang terjadi akibat tidak tembusnya logam lasan ke dalam root/akar.



Gambar 2.14 Cacat Incomplete Penetration

2.5 Pengujian Hasil Pengelasan

Pengujian untuk mengetahui kekuatan tarik dan cacat yang terjadi pada sambungan hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik yaitu pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan tarik sambungan logam hasil pengelasan dan untuk pengujian cacat pada sambungan logam hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian radiografi.

2.5.1 Tensile Test (Uji Tarik)

Uji tarik merupakan kemampuan maksimum material dalam menahan beban. Pembuatan spesimen uji pada pengujian ini harus sesuai dengan standar. Titik luluh (*yield point*) yakni dimana logam mengalami pertambahan panjang tanpa pertambahan beban. Dapat diartikan bahwa titik luluh merupakan keadaan dimana spesimen terdeformasi dengan beban minimum.

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari material. Alat eksperimen untuk uji tarik harus mempunyai cangkraman yang kuat dan kekakuan yang tinggi. Bahan yang akan diuji tarik mula-mula dibuat menjadi material uji (batang) dengan bentuk yang sesuai standar. Pada bagian tengah dari

spesimen uji merupakan bagian yang menerima tegangan dan pada bagian ini diukurkan “panjang uji” (*gauge length*), yaitu bagian yang dianggap menerima pengaruh dari pembebanan, serta bagian ini yang selalu diukur panjangnya selama proses pengujian berlangsung.

Dari pengujian tarik ini, hasil yang dapat diketahui adalah sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik
2. Kuat luluh dari material
3. Keuletan dari material

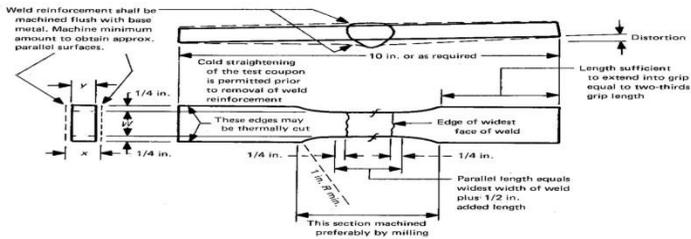
Tegangan, dalam persamaannya adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.2)$$

Keterangan :

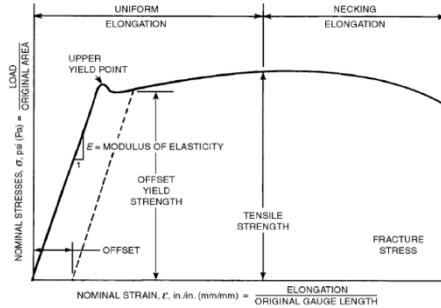
F = Beban (kg)

A₀ = Luas penampang (*mm*²)



Gambar 2.15 Standar Dimensi Benda Uji Tarik

Hasil dari pengujian tarik digambarkan pada sebuah diagram tegangan regangan seperti pada Gambar 2.16. Diagram ini menunjukkan deformasi yang terjadi pada material yaitu deformasi plastis dan elastis. Dikatakan deformasi elastis, jika material diberi beban (ditarik) lalu beban dihilangkan dan material akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan dikatakan deformasi plastis, jika setelah beban dihilangkan dan material tidak kembali ke bentuk semula.



Gambar 2.16. Diagram Tegangan-Regangan (AWS *Welding Handbook volume 1- 9th Edition, 2001*)

Pada perencanaan konstruksi, nilai tegangan luluh ini sangat penting, karena nilai ini menjadi acuan untuk desain sebuah konstruksi, sehingga beban yang diterima konstruksi tersebut berada di bawah kisaran nilai tegangan luluh dari material. Apabila material tersebut menerima beban yang melebihi tegangan luluh, maka akan terjadi deformasi plastis hingga pada akhirnya material tersebut mengalami kepecahan. Sifat mekanik setelah proses pengujian tarik dapat diketahui dengan cara melakukan perhitungan sesuai rumus berikut :

$$\sigma_{Ultimate} = \frac{P_{Ultimate}}{A} \text{ N/m}^2 \quad (2.3)$$

$$\sigma_{yield} = \frac{P_{Yield}}{A} \text{ N/m}^2 \quad (2.4)$$

$$\epsilon_{elongation} = \frac{(L_i - L_o)}{L} (\%) \quad (2.5)$$

Keterangan :

- A = Initial cross sectional area (mm²)
- L_o = Gauge length awal (mm)
- L_i = Gauge length setelah pengujian (mm)
- P_{Ultimate} = Maximum load (N)
- P_{Yield} = Yield Load (N)

2.5.2 Uji Radiografi

Radiografi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian tanpa merusak atau Non Destructive Test (NDT). Yang dimaksud dengan pengujian tanpa merusak adalah pengujian bahan tanpa merusak bahan yang diuji, baik sifat fisik maupun kimia dari bahan tersebut, selama dan setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Uji radiografi bertujuan untuk melihat cacat di dalam weld metal yang tidak dapat dilihat langsung dengan mata telanjang. Pengujian radiografi pada dasarnya adalah penyinaran benda uji dengan sinar bertenaga tinggi seperti X-ray dan gamma ray. Metode pengujian radiografi yaitu memancarkan sinar-sinar elektromagnetik (sinar- χ dan sinar- γ) ditembuskan kepada bahan lalu direkam dalam film khusus. Dari hasil rekaman film akan dapat diamati diskontinuiti bahan juga dapat diperoleh hasil rekaman yang permanen.

2.5.2.1 Sinar- χ

Sinar- χ dihasilkan oleh electron dengan kecepatan sinar tinggi. Energy ini kemudian diubah ke panas dan menghasilkan sinar- χ . Electron ini diarahkan ke cermin (target) dalam ruang hampa dan sinar tersebut memantul lagi melalui lubang tabung dan diteruskan menuju komponen yang diperiksa. Cara pemeriksaan yaitu bahan ditempatkan diantara tabung sinar- χ dan film. Jika bahan tersebut berat dan jenisnya sama seluruhnya, film akan menerima pecahannya yang merata. Akan tetapi kalau ada cacat, seperti lubang didalam hasil penuangan atau dalam pengelasan, maka jika film tersebut dicuci akan terlihat noda hitam.

2.5.2.2 Sinar- γ (Gamma)

Metode ini secara fundamental mirip dengan metode sinar- χ , tetapi perbedaannya adalah sumber cahayanya. Sumber cahaya gamma dihasilkan dari sumber radiasi yang dihasilkan dari isotop radioaktif dari sebuah reactor nuklir. Tidak seperti sinar- χ yang mempunyai cahaya lurus, sinar gamma ini dapat mengarah ke segala arah. Cara pemeriksaanya adalah film ditempatkan di bagian belakang

benda. Apabila bahan tersebut cacat di bagian dalam maka bila filmnya dicuci akan tampak cacat hitam.

2.5.2.3 Pesawat Gamma Ray

Mesin ini digunakan untuk menyimpan, mengirim dan menyinari suatu objek yang dimana mesin tersebut berisikan sinar radioaktif. Fungsi untuk mengurangi paparan radiasi selama penggunaannya, seperti Gambar 2.17 dibawah berikut.



Gambar 2.17 Mesin Gamma-ray

2.5.2.4 Sumber Radioaktif Gamma Ray

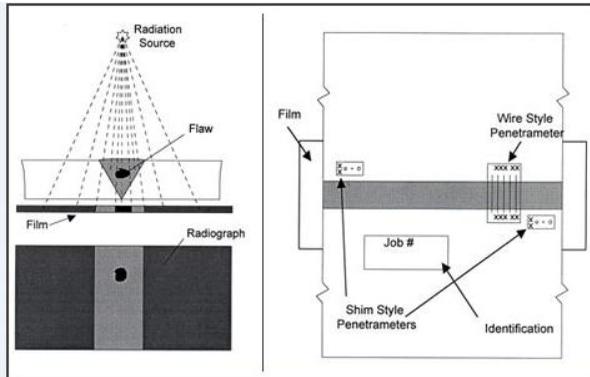
Tidak seperti yang sumbernya dihasilkan oleh mesin yang dialiri listrik, Gamma ray menggunakan radioisotope yang digunakan untuk menyimpan sumber. Radioisotope yang digunakan dimasukkan kedalam kapsul untuk mencegah kebocoran radiasi. Setelah radioisotope dimasukkan kedalam kapsul barulah kapsul diberi muatan atau sumber yang berfungsi sebagai pemancar saat digunakan untuk pengujian radiografi. Kapsul tersebut digunakan sebagai kabel untuk membentuk “Pigtail“, Pigtail mempunyai konektor khusus pada ujungnya yang menyambungkan ke kabel yang digunakan untuk mengeluarkan sumber dari kamera gamma ray.



Gambar 2.18 Sumber Radioaktif Isotop Material

2.5.2.5 Prinsip Kerja Radiografi

Material yang akan dilakukan pengujian diletakkan dibawah sumber radiasi. Ketika sumber sinar- γ / gamma ray dipancarkan ke material maka, radiasi akan menembus material, bagian terdalam material yang terdapat cacat maka akan terekam film yang berwarna lebih gelap, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.19 Skema pengujian radiografi

2.5.2.6 Metode Pengujian Radiografi

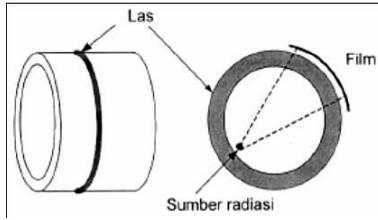
Dalam pengujian radiografi ini memiliki berbagai ragam metode bentuk pengujian sesuai kebutuhan dan kondisi suatu konstruksi ataupun produk untuk mempermudah dalam melakukan pengujian radiografi tersebut yaitu :

1. Single Wall Single Viewing (SWSV)

Teknik penyinaran dengan melewati radiasi pada suatu dinding las benda uji dan pada film tergambar satu bagian dinding las untuk di interpretasi. Teknik single wall single viewing meliputi:

- Internal Source Technique

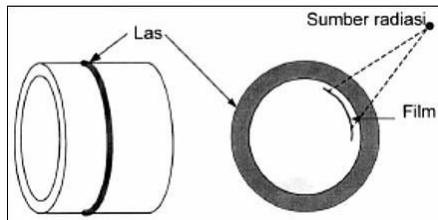
Teknik ini dapat dilakukan dengan meletakkan sumber radiasi di dalam benda uji dan film di luar benda uji seperti ditunjukkan pada Gambar 2.24 dibawah berikut.



Gambar 2.20 *Internal source image internal film technique.*

- Internal film technique

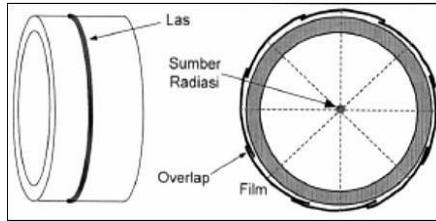
Film di dalam benda uji dan sumber radiasi di luar benda uji. Biasanya teknik ini dilakukan ketika benda uji cukup besar dimana diameter dalam benda uji minimal sama dengan source film distance minimal dan ada akses masuk ke dalam pipa, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.21 dibawah berikut.



Gambar 2.21 *Internal film technique*

- Panaromic Technique

Teknik ini dilakukan dengan menempatkan sumber di sumbu benda uji untuk mendapatkan film hasil radiografi sekeliling benda uji dengan sekali penyinaran, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.22 dibawah berikut.



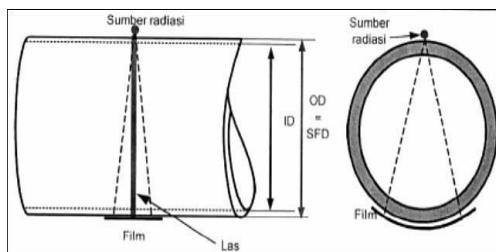
Gambar 2.22 *Panaromic technique*

2. *Double Wall Single Viewing (DWSV)*

Metode *double wall single viewing* ini diterapkan pada benda uji berupa pipa dengan diameter lebih dari 100 mm. Posisi sumber sedemikian rupa sehingga radiasi melalui dua dinding las sedangkan pada *film* hanya tergambar satu dinding las yang dekat dengan *film* untuk diinterpretasi. Teknik *double wall single viewing* meliputi:

- *Contact technique*

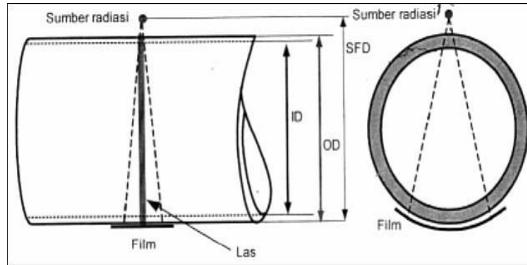
Teknik ini dilakukan dengan melekatkan sumber ke permukaan lasan benda uji. Diameter luar benda uji besarnya minimal sama atau lebih besar dari *source film distance* minimal untuk bisa dilakukan tehnik ini. seperti yang ditukkan pada Gambar 2.23 dibawah berikut:



Gambar 2.23 *Contact technique*

- *Non contact technique*

Teknik ini dilakukan jika diameter benda uji besarnya lebih kecil dari *source film distance* minimal maka penempatan sumber dapat diletakkan agak jauh dari permukaan tetapi diatur sedemikian rupa hingga dinding atas las tidak tergambar pada *film*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.24 dibawah berikut:



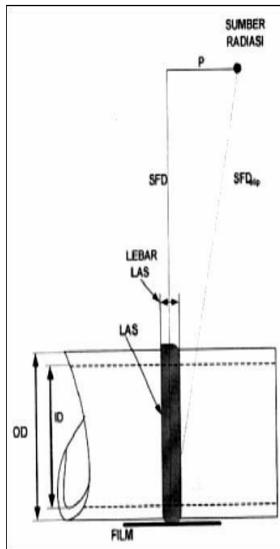
Gambar 2.24 *Non contact technique*

3. *Double Wall Double Viewing (DWDV)*

Benda uji dengan diameter luar yang kecil tidak mungkin diterapkan teknik *single wall single viewing* maupun *double wall single viewing*. Beberapa standar merekomendasikan teknik *double wall double viewing* diterapkan pada benda uji berupa Pipa dengan diameter kurang dari 100 mm. Teknik *double wall double viewing* merupakan teknik penyinaran dengan posisi sumber radiasi sedemikian rupa sehingga radiasi menembus kedua dinding benda uji dan pada *film* tergambar kedua dinding las tersebut untuk diinterpretasi. Teknik *double wall double viewing* meliputi:

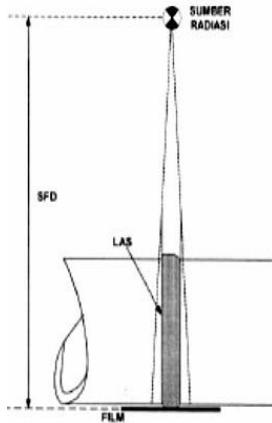
- *Ellips technique*

Teknik ini dilakukan dengan posisi sumber radiasi membentuk sudut tertentu terhadap bidang normal las sehingga gambar kedua bagian dinding benda uji berbentuk *ellips*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.25 dibawah berikut:



Gambar 2.25 *Ellips technique*

- *Superimposed technique*
 Sebagai alternatif bila teknik elips tidak dapat diterapkan maka teknik *double wall double viewing* dilakukan dengan meletakkan sumber tegak lurus terhadap benda uji sehingga gambar kedua dinding benda uji bertumpuk, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.27 dibawah berikut:



Gambar 2.27 *Superimposed technique*

2.5.2.7 Pemilihan Image Quality indicator (IQI)

Pemilihan image quality indicator (IQI) yang tepat merupakan hal yang penting dalam peembakan produk pengelasan karena hal tersebut terkait dengan sensitifitas suatu film radiografi. Sensitifitas merupakan ukuran kualitas dari suatu film terkait dengan detail dan cacat terkecil yang bisa diamati. IQI yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan wire type dan penempatan marker memilih metoda film side. Berdasarkan Table 2.7 diketahui produk las dengan ketebalan tertentu selanjutnya akan didapatkan nilai wire-type essential wire.

Tabel 2.7 Pemilihan Image Quality Indicator

Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm)	IQI					
	Source Side			Film Side		
	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl. (6.4)	12	2T	5	10	2T	4
Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1)	30	2T	10	25	2T	9
Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8)	35	2T	11	30	2T	10
Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5)	40	2T	12	35	2T	11
Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6)	50	2T	13	40	2T	12
Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4)	60	2T	14	50	2T	13
Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2)	80	2T	16	60	2T	14
Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0)	100	2T	17	80	2T	16
Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8)	120	2T	18	100	2T	17
Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4)	160	2T	20	120	2T	18
Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0)	200	2T	21	160	2T	20

Setelah didapatkan nilai wire type wire essential atau wire identity maka selanjutnya menuju Table 2.8 dibawah berikut mengacu pada table 2.7.

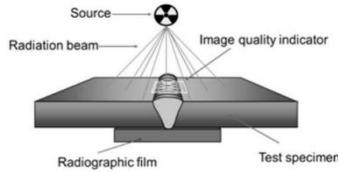
Tabel 2.8 Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity

Set A			Set B		
Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity
0.0032	(0.08)	1	0.010	(0.25)	6
0.004	(0.10)	2	0.013	(0.33)	7
0.005	(0.13)	3	0.016	(0.41)	8
0.0063	(0.16)	4	0.020	(0.51)	9
0.008	(0.20)	5	0.025	(0.64)	10
0.010	(0.25)	6	0.032	(0.81)	11
Set C			Set D		
Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity
0.032	(0.81)	11	0.100	(2.54)	16
0.040	(1.02)	12	0.126	(3.20)	17
0.050	(1.27)	13	0.160	(4.06)	18
0.063	(1.60)	14	0.200	(5.08)	19
0.080	(2.03)	15	0.250	(6.35)	20
0.100	(2.54)	16	0.320	(8.13)	21

Kemudian didapatkan data wire diameter berdasarkan data yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Wire diameter menunjukkan ukuran cacat atau diskontinuitas terkecil yang dapat terlihat pada film radiografi tersebut. Wire identity menunjukkan nomor wire minimal yang muncul pada film.

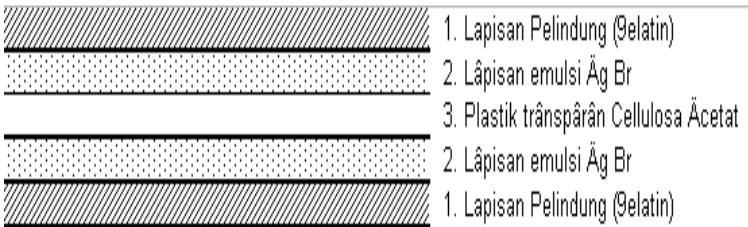
2.5.2.8 Film Radiografi

Salah satu alat yang digunakan dalam pengujian radiografi adalah film. Film berfungsi untuk merekam gambar benda uji yang diperiksa. Bahan dasar film terbuat dari bahan sejenis plastik transparan yaitu selulosa acetat, yang mempunyai sifat fleksibel, ringan, tidak mudah pecah, dan tembus cahaya. Kedua permukaannya dilapisi suatu emulsi yang mengandung persenyawaan AgBr (perak bromida), untuk melindungi lapisan emulsi agar tidak cepat rusak maka di atasnya dilapisi lagi dengan gelatin, seperti pada Gambar 2.28 menunjukkan penyinaran menggunakan film.



Gambar 2.28 Penyinaran menggunakan Film Radiografi

Secara detail nama-nama bagian film radiografi dapat dilihat pada Gambar 2.29 berikut:



Gambar 2.29 Penampang film radiografi dan jenis bagiannya

2.5.2.9 Sensitivitas Film Radiografi

Sebelum film radiografi dipakai sebagai alat uji tanpa merusak, kita harus mengetahui seberapa akurat alat tersebut. Sensitivitas film radiografi adalah fungsi dari contrast dan definition dari film radiografi tersebut. Sensitivitas radiografi berhubungan dengan ukuran detail diskontinuitas terkecil yang dapat dilihat pada film hasil radiografi atau kemudahan gambar detail diskontinuitas terkecil untuk dapat dideteksi. Sensitivitas radiografi memiliki kualitas citra yang baik maka dapat mendeteksi diskontinuitas yang baik. Dalam setiap pengujian radiografi digunakan alat uji standart yang disebut penetrometer atau yang sering disebut image quality indicator (IQI). Pemilihan parameter dan penempatannya harus sesuai dengan standart yang digunakan.

IQI ada 2 macam yaitu wire dan hole, akan tetapi semakin seringnya penggunaan radiografi dalam pengujian sering sekali menggunakan type wire dikarenakan lebih praktis dan tentunya cepat tidak seperti halnya IQI hole karena harus terlebih dahulu mengukur tebal yang akan diuji dengan

radiografi sehingga apabila ada perbedaan ketebalan maka diberi pemasangan ganjal IQI atau yang sering disebut “shims”, maka pengujian ini memilihlah IQI yang bermodelkan wire atau yang sering disebut kawat standart IQI ASTM/ASME yang terdiri atas 21 kawat, yang disusun menjadi 4 set dimana setiap set berisi 6 kawat.



Gambar 2.30 *Wire image quality indicator*

Sensitivitas indikator kualitas bayangan tipe kawat adalah persentase perbandingan diameter kawat terkecil yang tergambar pada film hasil uji radiografi terhadap ketebalan material. Fungsi IQI antara lain:

1. Digunakan sebagai media pengukur tingkat kualitas radiografi.
2. Menentukan kualitas gambar radiografi.

2.5.2.10 Densitas (Kehitaman) Film Radiografi

Densitas film radiografi ialah tingkat kegelapan pada film radiografi yang telah selesai diproses dan densitas radiografi dilakukan pada daerah pemeriksaan atau yang biasa disebut area of interest pada densitas minimal dan maksimal namun bukan pada tempat yang ditafsirkan sebagai sebuah diskontinuitas. Film radiografi dinyatakan memenuhi kualitas bila densitas yang diukur pada tempat-tempat diatas memiliki rentang tertentu, yang nilainya tergantung pada prosedur atau spesifikasi ataupun standart yang digunakan. Pada ASME Sec.V 2015 untuk gamma-ray mempunyai rentang nilai densitas 2 sampai 4. Selain itu ASME Sec.V 2015 juga

menetapkan batasan variasi densitas tidak mengijinkan -15% dan +30%.

Densitometer adalah sebuah peralatan ilmiah yang dirancang untuk mengukur tingkat kehitaman suatu film radiografi dengan output menunjukkan suatu angka tingkat kehitaman. Gambar alat densitometer bisa dilihat pada gambar 2.31.



Gambar 2.31 Densitometer

2.5.2.11 Interpretasi Hasil Film Radiografi

Setelah dilakukan penembakan lalu dilakukan interpretasi terhadap film radiografi menggunakan alat viewer dan alat mengukur tingkat kegelapan yaitu densitometer. Interpretasi bertujuan untuk melihat dan menentukan suatu cacat pada produk pengelasan, densitas, variasi densitas, dan sensitivitas film radiografi. Yang kemudian hasil dari interpretasi akan dinilai dan dibandingkan dengan film-film dari hasil berbeda kondisi dan berbagai source film distance penembakan radiografi. Penilaian akan dilihat pada densitas, variasi densitas dan sensitivitas apa sudah memenuhi syarat keberterimaan sesuai ASME Sec.V 2010.



Gambar 2.32 Viewer

2.5.2.12 Klasifikasi Jenis Film Radiografi

Film radiografi yang dapat diklasifikasikan dengan cara mengkombinasikan faktor – faktor dan karakteristik film.

Setiap perusahaan film memproduksi berbagai macam jenis film yang dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Film screen fluorescent yaitu film yang dalam penggunaannya memerlukan screen pengintensif fluorescent dan dapat menghasilkan film dengan penyinaran yang minimum.
2. Film langsung yaitu film yang dalam penggunaannya tidak memerlukan screen atau untuk penyinaran menggunakan screen timbal.

Tabel 2.9 Film AGFA GEVAERT

Jenis Film	Faktor Paparan Relatif					Kelas ISO	Kelas DIN	Kelas ASTM
	100 kV	200 kV	Ir-192	Co-60	LINAC/ 8 MeV			
D2	10,6	8,7	9	10	10	GI	G1	Spesial
D3	10,6	8,7	-	-	-	GI	G1	I
D3	4,1	4,2	5	5,1	5,1	GI	G1	I
D4	3,1	2,6	3	3,1	3,1	GI	G2	I
D5	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5	GII	G2	I
D7	1	1	1	1	1	GIII	G3	II
D8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	GIII	G4	II
D6R	2	1,7	1,7	1,7	1,3	GIII	-	II

2.5.2.13 Pemilihan Film Radiografi

Pemilihan film untuk radiografi tergantung pada beberapa faktor yang berbeda. Faktor tersebut harus dipertimbangkan saat memilih film dan mengembangkan teknik radiografi. Faktor – faktor tersebut dijelaskan sebagai berikut:

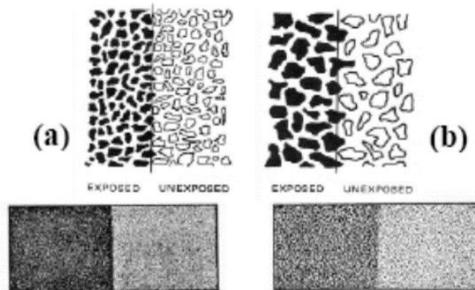
1. Komposisi, bentuk, dan ukuran dari bagian yang akan diperiksa. Pada beberapa kasus dipertimbangkan pula berat dan lokasinya.
2. Tipe dari radiasi yang digunakan seperti sinar- γ dari sumber radioaktif atau sinar-x dari sistem pembangkit sinar-x.
3. Intensitas dari sumber radiasi sinar- γ atau tegangan

yang tersedia dari pesawat sinar-x.

4. Tingkat detail dari gambar hasil radiografi dan segi ekonomi.

Pemilihan film untuk radiografi pada benda uji terutama tergantung dari ketebakan dan jenis material yang diuji serta rentang intensitas sumber (C_i) yang tersedia pada sumber gamma-ray. Pemilihan film juga tergantung kepada kualitas radiografi yang diinginkan dan waktu penyinaran. Jika kualitas radiografi yang diinginkan berkualitas tinggi maka digunakan film lambat (film dengan butiran lebih halus) harus digunakan. Jika menginginkan waktu penyinaran yang pendek maka digunakan film cepat.

Untuk detail butiran film dapat dilihat pada Gambar 2.33 dibawah ini. Butiran film mempengaruhi definition film radiografi. Film berbutir besar (film cepat) seringkali dipakai untuk mengurangi waktu eksposur sedangkan film berbutir kecil (film lambat) menghasilkan definition terbaik.



Gambar 2.33 Struktur butir film lambat (a) dan film cepat (b)
2.5.2.14 Pemrosesan Film Radiografi

Saat eksposur selesai dilakukan, selanjutnya film diproses sehingga citra laten yang dihasilkan oleh radiasi akan nampak. Pada dasarnya terdapat tiga larutan pemroses yang dipakai untuk mengubah suatu film yang telah terekspos menjadi film radiografi. Langkah – langkah pemrosesn film berdasarkan urutan larutan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Developer

Developer adalah suatu larutan kombinasi zat kimia

yang masing-masing memiliki fungsi penting. Salah satu zat kimianya adalah reducer yang terbuat dari metol atau hydroquinone. Fungsinya adalah untuk mereduksi butiran perak bromida yang terekspos menjadi logam perak berwarna hitam. Seluruh bagian film tidak berubah menjadi hitam karena reducer dapat membedakan antara butiran yang terekspos dengan yang tidak terekspos. Densitas (tingkat kegelapan) ditentukan oleh jumlah butiran perak bromida yang direduksi oleh developer.

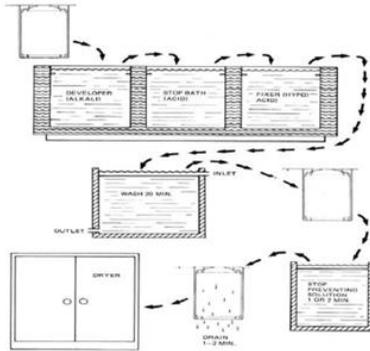
2. Stop Bath

Apabila sebuah film dikeluarkan dari dalam larutan developer maka sejumlah kecil larutan basa akan tertinggal di film tersebut. Zat kimia yang digunakan di dalam stop bath biasanya adalah asam asetat glacial. Stop bath memiliki dua fungsi yaitu:

- Menghentikan aksi developing dengan cara menetralkan zat basa developer (basa dan asam saling menetralkan).
- Menetralkan zat basa developer sebelum film dimasukkan ke dalam cairan fixer sehingga memperpanjang usia fixer.

3. Fixer

Fixer secara permanen mengefixkan citra pada film. Di dalam developer, butiran perak bromida direduksi menjadi logam perak. Fixer menghilangkan semua butiran perak yang tidak terekspos dari dalam film. Di dalam proses fixing terdapat dua tahap yang terpisah. Setelah pemrosesan dengan zat kimia, film dicuci dan dikeringkan. Film tersebut kadang kala dicelupkan dalam suatu larutan untuk mencegah timbulnya bintik-bintik air. Larutan ini membuat air mudah membasahi film dan menghasilkan pengeringan merata. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 2.34 dibawah ini.



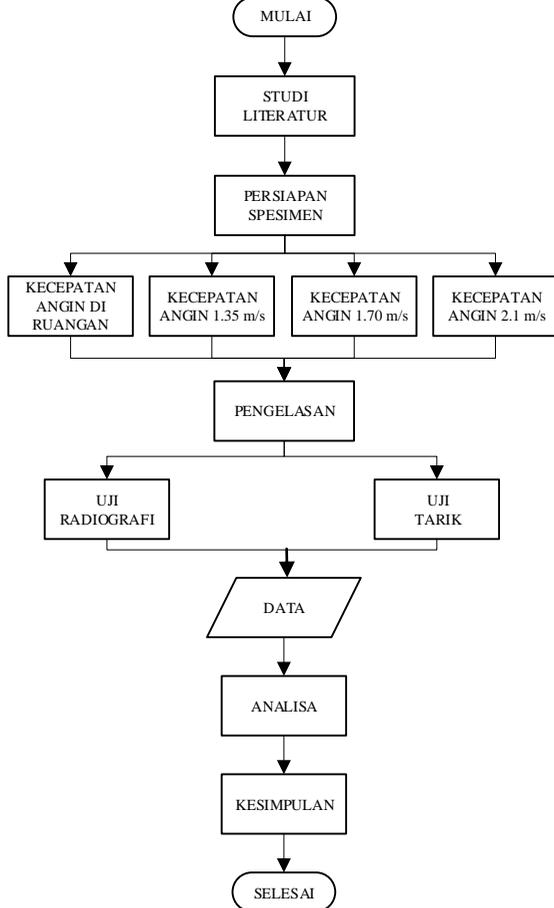
Gambar 2.34 Skema diagram pemrosesan film radiografi

(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 di bawah ini.



Gambar 3.1 *Flow Chart Penelitian*

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2017/2018 yaitu pada bulan Agustus sampai dengan Januari 2018

3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab. Metalurgi Departemen Teknik Mesin FV-ITS, Workshop PT. Algas Mitra Sejati Surabaya dan Lab. Uji Spektra Megah Semesta Surabaya.

3.4 Langkah Kerja

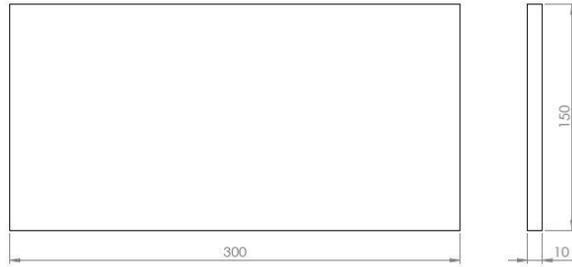
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, langkah pertama yang harus dilakukan adalah studi literatur tentang proses pengelasan SMAW dan langkah-langkah kerja dan pembacaan film hasil uji radiografi, uji makro dan uji kekerasan, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, 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 buku dan internet.

3.4.2 Persiapan Material

Material yang digunakan adalah A36 dengan tebal 10 mm. Material tersebut diberikan kampuh V menggunakan sudut single V *groove* 60^0 seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Dimensi Material



Gambar 3.3 Sudut *groove* 30⁰ dengan tebal 10 mm



Gambar 3.4 Material dengan sudut bevel 30⁰

Tabel 3.1 Logam Induk

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	A 36
Tebal	10 mm

Tabel 3.2 Elektroda

Nama	Keterangan
AWS Classification	ER 70S-6
Filler metal diameter	2,4 mm
Ampere	125 – 175 A
Argon	30 cfh / 15 lpm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 3.3 Parameter Pengelasan

Parameter	Layer			
	1 (<i>root</i>)	2 (<i>fill</i>)	3 (<i>fill</i>)	4 (<i>caping</i>)
Proses	GTAW	GTAW	GTAW	GTAW
Travel speed, mm/dtk	1,018	1,018	1,018	1,018
Amperage (A)	150	150	150	150
Polaritas AC/DC	DC(-)	DC(-)	DC(-)	DC(-)
Voltage	20	20	20	20
Heat Input J/mm	1473,47	1473,47	1473,47	1473,47

Tabel 3.4 Variasi Kecepatan Angin

Variasi Kecepatan	Kecepatan
Tanpa Kecepatan	0 meter per detik
Kecepatan 1	1,35 meter per detik
Kecepatan 2	1,70 meter per detik
Kecepatan 3	2,1 meter per detik

3.4.3 Proses Pengelasan

Pengelasan dilakukan menggunakan *GTAW (DC-) posisi 1G* dalam penelitian kali ini terdapat perbedaan variasi kecepatan angin pada lingkungan sekitar las, yaitu:

1. Variasi pengelasan dengan kecepatan angin 0 meter per detik.

Material dilakukan pengelasan didalam ruangan atau dapat dikatakan kecepatan angin 0 meter per detik.

2. Variasi pengelasan dengan kecepatan angin 1,35 meter per detik

Material dilakukan pengelasan dengan kecepatan angin 1,35 meter per detik yang dihasilkan dari kipas angin dengan kecepatan pada tombol 1.

3. Variasi pengelasan dengan kecepatan angin 1,70 meter per detik.

Material dilakukan pengelasan dengan kecepatan angin 1,70 meter per detik yang dihasilkan dari kipas angin dengan kecepatan pada tombol 2.

4. Variasi pengelasan dengan kecepatan angin 2,1 meter per detik.

Material dilakukan pengelasan dengan kecepatan angin 2,1 meter per detik yang dihasilkan dari kipas angin dengan kecepatan pada tombol 3.

Proses pengelasan dilakukan setelah dilakukannya pembuatan groove pada masing-masing plat dan persiapan perlengkapan pengelasan beserta sumber angin (kipas angin) sudah tersedia. Berikut ini proses pengelasan yang dilakukan:



Gambar 3.5 Elektroda yang digunakan



Gambar 3.6 Sumber angin



Gambar 3.7 Anemometer



Gambar 3.8 Mesin las



Gambar 3.9 Proses Pengelasan



Gambar 3.10 Tang Ampere

3.4.4 Persiapan benda uji

Spesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji. Dalam melakukan tes perlu diperhatikan ketebalannya, itu

sehubungan dengan arah langkah kerja dari pengujian yang akan dilakukan, sehingga sesuai dengan aplikasinya. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah Uji Radiografi dan Uji Tarik

3.5 Pengujian Benda Kerja

3.5.1 Pengujian Radiografi

Untuk pengujian radiografi dilakukan pengambilan spesimen total 4 spesimen yang akan diuji masing-masing variasi berjumlah 4 spesimen yaitu spesimen yang pengelasannya menggunakan kecepatan angin 0 meter per detik atau pengelasan didalam ruangan (digunakan sebagai pembanding) dan spesimen yang pengelasannya menggunakan kecepatan angin 2,1 meter per detik, 1,70 meter per detik, 1,35 meter per detik.



Gambar 3.11 Alat uji radiografi Ir – 192

Langkah-langkah pengujian radiografi :

- 1) Menyiapkan spesimen
 - Ambil spesimen dan bersihkan dari kotoran
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen
- 2) Pemberian identitas pada spesimen dan film
 - Ambil spesimen dan ukur dimensinya

- Menempelkan blok huruf-huruf lalu di plester di bagian belakang spesimen sebagai identitas yang akan tampak pada hasil radiografi
- Tempelkan film AGFA D7 pada spesimen yang akan di uji radiografi
- Pemilihan Image Quality Indicator dan menempelkan kawat peny di atas benda kerja
- Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen. Pemilihan *Wire IQI (Image Quality Indicator)*

Tabel 3.5 Pemilihan *image quality indicator*

TABLE T-276
IQI SELECTION

Nominal Single-Wall Material Thickness Range		IQI			
		Source Side		Film Side	
		Hole-Type Designation	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl.	Up to 6.4, incl.	12	5	10	4
Over 0.25 through 0.375	Over 6.4 through 9.5	15	6	12	5
Over 0.375 through 0.50	Over 9.5 through 12.7	17	7	15	6
Over 0.50 through 0.75	Over 12.7 through 19.0	20	8	17	7
Over 0.75 through 1.00	Over 19.0 through 25.4	25	9	20	8

Table 3.6 *Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity*

Set A			Set B		
Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity	Wire Diameter, in.	(mm)	Wire Identity
0.0032	(0.08)	1	0.010	(0.25)	6
0.004	(0.10)	2	0.013	(0.33)	7
0.005	(0.13)	3	0.016	(0.41)	8
0.0063	(0.16)	4	0.020	(0.51)	9
0.008	(0.20)	5	0.025	(0.64)	10
0.010	(0.25)	6	0.032	(0.81)	11

Ukuran - ukuran kawat yang harus terlihat di *film*

3) Pengujian pada spesimen.

- Mencatat data mesin pada benda kerja.
- Penempatan spesimen pada ujung penyinaran dari alat uji radiografi
- Atur ketinggian dari ujung penyinaran uji radiografi terhadap benda kerja yang akan diuji
- Penyinaran yang dilakukan yakni SWSV (*Single Wall Single Viewing*)

- Menjauh dari benda kerja yang akan di uji sampai zona aman radiasi
 - Lakukan penyinaran pada benda kerja.
- 4) Pencucian *film* setelah proses radiografi
- Setelah aman lalu ambil benda kerja dan lepaskan film untuk dilakukan pencucian
 - Cuci film dengan menggunakan cairan *developer*, *stopbath*, *fixer*
 - Lama pencucian film:

<i>Developer</i>	: 240 detik
<i>Stopbath</i>	: 120 detik
<i>Fixer</i>	: 160 detik
- 5) Evaluasi *film* hasil uji radiografi
- Ukur tingkat kehitaman *film* dengan densitometer dan bandingkan nilai yang dihasilkan dengan yang diijinkan pada pengujian radiografi (nilai yang diijinkan yakni 2-4)
 - Lihat hasil uji radiografi berupa film pada viewer
 - Ulangi langkah diatas unruk seluruh spesimen.

Berikut urutan proses pengujian radiografi :



Gambar 3.12 Pemberian identitas pada spesimen



Gambar 3.13 Spesimen Uji Radiografi



Gambar 3.14 Proses Uji Radiografi



Gambar 3.15 Proses pencucian *film*



Gambar 3.16 Cairan *Developer*, *Stop bath*, *Fixer*



Gambar 3.17 *Viewer*

3.5.1 Pengujian Tarik

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

1. Menandai bahan kerja las GTAW dalam hal ini untuk mengetahui dimensi yang akan di inputkan ke mesin

2. Dilakukan pengetsaan agar batas daerah las terlihat sehingga memudahkan untuk pengambilan data
3. Menentukan beban yang digunakan yaitu 10000 N, kemudian menentukan panjang total dan lebar benda
4. Nyalakan saklar power utama sehingga lampu indicator menyala
5. Pastikan handle load kontrol pada posisi stop
6. Letakkan alat bantu pada permukaan alat uji dan pelat penahan
7. Pastikan pencekam pada lower crosshead dan naikan lower crosshead dengan menekan tombol up crosshead sehingga dapat mencekam benda uji tarik dengan baik
8. Atur kecepatan pembebanan
9. Jarum indikator beban akan bergerak terus hingga mencapai titik max load dari benda uji yang diuji kemudian mengalami penurunan dan putusnya benda kerja
10. Cacat pembebanan dan pertambahan panjang. Kemudian lepaskan benda uji dari tempat pencekam

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana pengaruh perbedaan kecepatan angin yang terjadi pada saat proses pengelasan terhadap hasil pengelasan dengan dengan kecepatan angin didalam ruangan, 1.35 meter per detik, 1.70 meter per detik dan 2.1 meter per detik dengan arus 150 ampere pada hasil lasan baja A36 dengan metode pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) dan melalui pengujian radiografi dan uji tarik.

4.1 Parameter Pengelasan

Berikut adalah data parameter saat proses pengelasan dilakukan :

Tabel 4.1 Logam Induk

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	A36
Tebal	10 mm

Tabel 4.2 Elektroda

AWS Classification	ER70S-6
Filler metal diameter	2,4 mm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 4.3 Heat Input

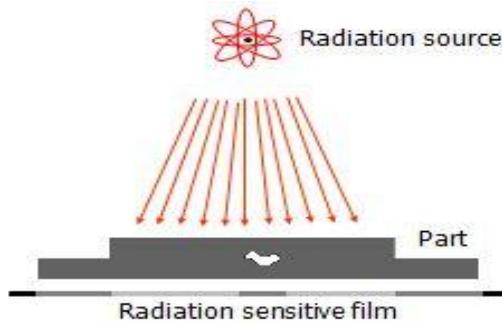
Type Electroda	Arus (I)	Voltage (V)	Travel speed (s)	Heat input (J/mm)
ER70S-6 diameter 2,4 mm	150 Ampere	20 Volt	1,018 mm/s	1473,47

Tabel 4.4 Data Primer Pengelasan

Panjang Pengelasan Plat = 300 mm			
Variasi Kecepatan Angin	No. Layer	Waktu (detik)	Kecepatan pengelasan (mm/s)
Dalam Ruang	1	266,5	0.888
	2	324,9	1.083
	3	418	1.393
	4	219,20	0.730
Rata-rata			1,023
1.35 m/s	1	214,81	0.716
	2	324,45	1.081
	3	322	1.398
	4	263,1	0.877
Rata-rata			1,018
1.70 m/s	1	301,51	1.005
	2	376,36	1.254
	3	278,29	0.927
	4	251,1	0.837
Rata-rata			1,005
2.1 m/s	1	311.84	1.038
	2	383.54	1.285
	3	300.38	1.001
	4	235.24	0.784
Rata – rata			1,027

4.2 Radiografi Test (Uji Radiografi)

Pada pengujian radiografi ini digunakan Teknik Single Wall Single Viewing seperti dibawah ini.



Gambar 4.1 Skema Radiografi Plat

Tabel 4.5 Parameter Pengujian Radiografi

Radioisotop Ir-192

Technique	: Single Wall Single Viewing
Image Quality Indicator	: Wire ASTM Set 1B
Exposure time	: 330 detik
Source Film Distance (SFD)	: 381 mm
Placement	: Source Side
Kehitaman Film (Density)	: min. 2 – max. 4 (STANDART ASME SECT. V)
Activity	: 9 Ci
Screen	: 0,125 mm
Sensitivity	: approx 2%

Tabel 4.5 Kehitaman (Density) dan Sensitivitas *Film*

Kecepatan Angin	IQI	DENSITY	
		MIN	MAX
Didalam ruang	7	2,9	3,3
1,35 m/s	7	3,2	3,4
1,70 m/s	7	3,5	3,8
2,1 m/s	7	3,5	3,6

Rumus Sensitivity : $S = \frac{\emptyset}{x} \times 100\%$

Keterangan :

S : Sensitivitas

\emptyset : Diameter Kawat No. 7 (mm)

x : Tebal Material + *Weld Metal* (mm)

$$S = \frac{0,33}{14} \times 100\% = 2,35 \%$$

Maka, nilai sensitivitas IQI sebesar 2,35 %

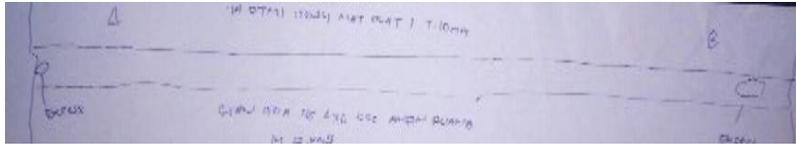
Dari Tabel 4.4 menunjukkan bahwa klasifikasi film yang terjadi menunjukkan IQI yang keluar pada *film*, semua berjumlah 7 jadi masuk syarat standar keterimaan ASME Sec. V tetapi hasil perhitungan sensitivitas menunjukkan nilai 2,35% dimana nilai tersebut tidak memenuhi syarat keterimaan ASME Sec. V yang bernilai 2% dan densitas atau kehitaman pada *film*, semua diantara 2,9 – 3,8 yang mana dapat diterima karena sesuai standart ASME Sect. V yaitu densitas antara 2 - 4.

Pada pengujian radiografi ini digunakan 4 spesimen berdasarkan variasi kecepatan angin, yaitu 4 spesimen dengan kecepatan dalam ruang, 1.35 meter per detik, 1.70 meter per detik dan 2.1 meter per detik ,didapat hasil sebagai berikut :

- Hasil uji radiografi pada plat A36 pengelasan GTAW dengan kecepatan angin didalam ruang



Gambar 4.2 *Film* hasil uji radiografi lasan kecepatan angin didalam ruang



Gambar 4.3 Sketsa cacat pada hasil las dengan kecepatan angin didalam ruang

Tabel 4.6 Klasifikasi cacat pada material 0

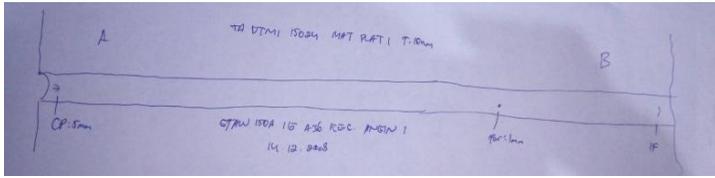
KECEPATAN ANGIN	JENIS CACAT	DIMENSI CACAT	JUMLAH CACAT
Didalam ruang	Cacat permukaan las	2 mm	2

Dari gambar diatas, dilihat dari *film* hasil pengujian radiografi, dapat dikatakan bahwa pada material hasil lasan dengan kecepatan angin didalam ruangan hanya terdapat cacat visual *pada permukaan las* dengan dimensi sebesar 2 mm sebanyak 2 dikarenakan arus awal yang terlalu besar.

- Hasil uji radiografi pada plat A 36 pengelasan GTAW dengan kecepatan angin 1.35 m/s.



Gambar 4.4 *Film* hasil uji radiografi lasan kecepatan angin 1.35 m/s



Gambar 4.5 Sketsa cacat pada hasil las dengan kecepatan angin 1.35 m/s

Tabel 4.7 Klasifikasi cacat pada material 1

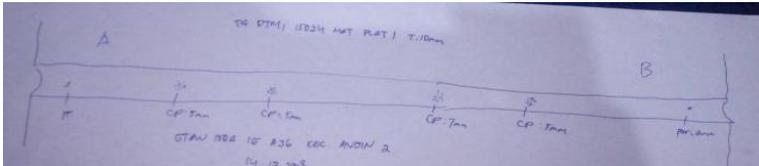
KECEPATAN ANGIN	JENIS CACAT	DIMENSI CACAT	JUMLAH CACAT
1.35 m/s	Porosity	1 mm	3
	Cluster Porosity	5 mm	
	Incomplete Fusion	4 mm	

Dari gambar diatas, dapat dilihat dari film hasil pengujian radiografi pada material hasil lasan dengan kecepatan angin 1.35 m/s memiliki cacat *porosity* sepanjang 1 mm dan *cluster porosity* 5 mm dikarenakan kecepatan angin yang mengganggu gas pelindung dan *incomplete fusion* sepanjang 4 mm disebabkan rendahnya heat input dengan kecepatan pengelasan yang terlalu cepat

- Hasil uji radiografi pada plat A36 pengelasan GTAW dengan kecepatan angin 1.70 m/s



Gambar 4.6 Film hasil uji radiografi lasan kecepatan angin 1.70 m/s



Gambar 4.7 Sketsa cacat pada hasil las dengan kecepatan angin 1.70 m/s

Tabel 4.8 Klasifikasi cacat pada material 2

KECEPATAN ANGIN	JENIS CACAT	DIMENSI CACAT	JUMLAH CACAT
1.70 m/s	Porosity	2 mm	6
	Cluster Porosity	5-7 mm	
	Incomplete Fusion	3 mm	

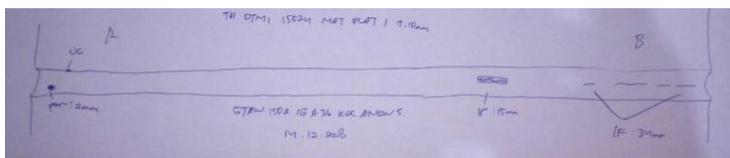
Dari gambar diatas, dapat dilihat dari film hasil pengujian radiografi pada material hasil lasan dengan kecepatan angin 1.70m/s memiliki cacat *porosity* sepanjang 2 mm dan cluster *porosity* 5-7 mm dikarenakan kecepatan angin yang mengganggu gas pelindung dan *incomplete fusion* sepanjang 3 mm disebabkan

rendahnya heat input dengan kecepatan pengelasan yang terlalu cepat

- Hasil uji radiografi pada plat A36 pengelasan GTAW dengan kecepatan angin 2.1 m/s.



Gambar 4.8 Film hasil uji radiografi lasan kecepatan angin 2.1 m/s



Gambar 4.9 Sketsa cacat pada hasil las dengan kecepatan angin 2.1 m/s

Tabel 4.9 Klasifikasi cacat pada material 3

KECEPATAN ANGIN	JENIS CACAT	DIMENSI CACAT	JUMLAH CACAT
2.1 m/s	Porosity	2 mm	3
	Incomplete Penetration	15 mm	
	Incomplete Fusion	34 mm	

Dari gambar diatas, dapat dilihat dari film hasil pengujian radiografi pada material hasil lasan dengan kecepatan angin 2,1 m/s memiliki cacat *porosity* sepanjang 1 mm dikarenakan kecepatan angin yang mengganggu gas pelindung, *incomplete penetration* sepanjang 15mm dan *incomplete fusion* sepanjang 4

mm disebabkan rendahnya heat input dengan kecepatan pengelasan yang terlalu cepat.

Tabel 4.10 Klasifikasi hasil uji Radiografi

Material	Cacat	Dimensi cacat	Jumlah	Klasifikasi
Didalam ruang	Cacat permukaan las	2 mm	2	Pass
1.35 m/s	Porosity Cluster Porosity Incomplete Fusion	1 mm 5 mm 4 mm	3	Pass
1.70 m/s	Porosity Cluster Porosity Incomplete Fusion	2 mm 5-7 mm 3 mm	6	Pass
2.1 m/s	Porosity Incomplete Peetration Incomplete Fusion	2 mm 15 mm 34 mm	3	Fail

4.3 Tensile Test (Uji Tarik)

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

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

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

Dimana :

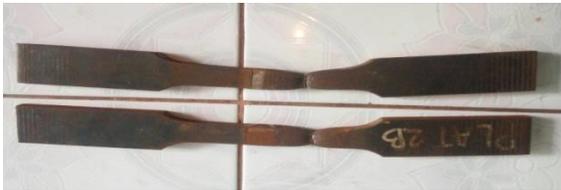
σ = Kekuatan Tarik (kgf/mm²)

F = Pembebanan (kgf)

A = Luas Penampang (mm²)



Gambar 4.10 Patahan benda uji tarik pada kecepatan angin dalam ruang



Gambar 4.11 Patahan benda uji tarik pada pada kecepatan angin 1,35 m/s



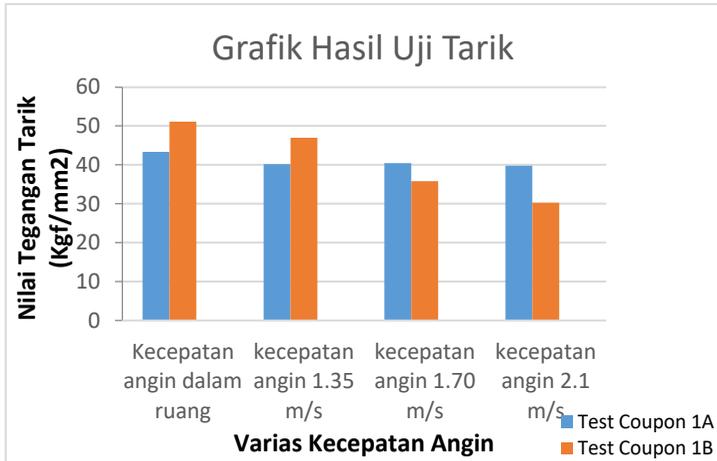
Gambar 4.12 Patahan benda uji tarik pada kecepatan angin 1,70 m/s



Gambar 4.13 Patahan benda uji tarik pada kecepatan angin 2,1 m/s

Tabel 4.11 Data Pengujian Tarik

Variasi Kecepatan angin	n o	Tebal (mm)	Lebar (mm)	A ₀ (mm ²)	Max Load (kgf)	Ultimate Tensile Strength ($\frac{kgf}{mm^2}$)	Letak Patahan
Didalam ruangan	1	10,5	18,8	197,4	8550	43,31	BM
	2	9,1	18,7	170,17	8700	51,12	BM
1.35 m/s	1	9,8	18,6	182,28	7332,86	40,22	HAZ
	2	9,5	18,8	178,6	8394,30	47,00	BM
1.70 m/s	1	9,8	18,7	183,26	7413,83	40,45	HAZ
	2	9,5	18,5	175,75	6294,62	35,81	HAZ
2.1 m/s	1	9,2	18,7	172,04	6844,91	39,78	HAZ
	2	9,1	18,7	170,17	5149,88	30,26	HAZ



Gambar 4.1 Grafik *Ultimate Tensile Strength*

Perubahan sifat mekanik pada proses pengelasan terjadi pada daerah *weld metal* dan HAZ (*Heat Affected Zone*). Pada penelitian ini terdapat pengaruh kecepatan angin terhadap laju pendinginan didaerah HAZ dan *weld metal* pada saat proses pengelasan yang menyebabkan terjadinya perubahan sifat mekanik dan nilai kekuatan tarik yang menurun.

Dari hasil uji tarik pada tabel 4.11 didapat *test coupon* dengan kecepatan angin dalam ruang terjadi patahan pada *base metal* dan untuk kecepatan angin 1,35 m/s , 1,70 m/s , dan 2,1 m/s terjadi patahan pada daerah HAZ. Hal tersebut disebabkan karena adanya perubahan sifat mekanis pada daerah HAZ saat pendinginan akibat pengaruh kecepatan angin yang menyebabkan menurunnya nilai kekuatan tarik.

4.5 Pembahasan

Tabel 4.12 Rangkuman Hasil Uji

Pengujian	Variasi	Hasil	Ket.
Radiografi	Didalam ruang	Cacat las permukaan	2 tempat
	1.35 m/s	Porosity Cluster porosity Incomplete Fusion	3 tempat
	1.70 m/s	Porosity Cluster porosity Incomplete Fusion	6 tempat
	2.1 m/s	Porosity Incomplete Penetration Incomplete Fusion	3 tempat
Tarik	Didalam ruang	Nilai Tegangan Tarik • Test Coupon 1A=43,31 $\frac{kgf}{mm^2}$ • Test Coupon 1B=51,12 $\frac{kgf}{mm^2}$	
	1.35 m/s	Nilai Tegangan Tarik • Test Coupon 2A=40,22 $\frac{kgf}{mm^2}$ • Test Coupon 2B=47,00 $\frac{kgf}{mm^2}$	
	1.70 m/s	Nilai Tegangan Tarik • Test Coupon 3A=40,45 $\frac{kgf}{mm^2}$ • Test Coupon 3B=35,81 $\frac{kgf}{mm^2}$	
	2.1 m/s	Nilai Tegangan Tarik • Test Coupon 4A=39,78 $\frac{kgf}{mm^2}$ • Test Coupon 4B=30,26 $\frac{kgf}{mm^2}$	

Tabel 4.12 Menyajikan rangkuman dari hasil pengujian yang telah dilakukan, yaitu pengujian radiografi dan Tarik.

- Pada pengujian radiografi hasil las dengan cacat jenis porositas paling sedikit terjadi pada kecepatan didalam ruangan dan yang paling banyak adalah pada kecepatan 2,1 m/s.
- Pada pengujian Tarik, nilai kekuatam tarik cenderung menurun dari hasil dengan kecepatan angin didalam ruangan hingga kecepatan angin 1,70 m/s.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh variasi kecepatan angin pengelasan GTAW pada material baja ASTM A36 menggunakan elektroda ER70S-6 terhadap munculnya cacat las dan nilai kekuatan tarik, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada pengujian radiografi dengan variasi kecepatan angin 1,35 m/s , 1,70 m/s , 2,1 m/s dan kecepatan angin dalam ruang didapatkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin maka semakin banyak cacat las yang ditimbulkan
2. Pada uji tarik didapatkan bahwa nilai kekuatan tarik semakin menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan angin.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak hal yang perlu dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya. Oleh karena itu diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan uji coba dengan kecepatan angin yang lebih tinggi agar lebih terlihat pengaruh yang ditimbulkan pada hasil lasan.
2. Dalam pengelasan GTAW penggunaan parameter las harus diperhatikan yaitu mengenai kecepatan las, besar arus, jenis arus dan parameter lainnya untuk mendapatkan hasil lasan yang maksimal serta untuk mengurangi kesalahan atau cacat las pada logam las .

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

1. Wadji, Farid., dan Wiguna, Darna. 2015. “Pengukuran Dan Intervensi Pengendalian Kualitas Pengelasan *Blast Furnace Shell* Dengan Metode *Plant, Do, Check Action*”
2. Naito, Clay J., Zimpfer, Jason., Sause, Richard., dan Kauffman, Eric. 2012. “*Effect of Environmental Condition on Field Welding of Precast Concrete Connection*”
3. Nascimento, M.P.2011. “*Effect of several TIG weld repairs on the axial fatigue strength of AISI 4130 aeronautical steel welded joints*”
4. Wiryosumarto, Harsono Prof. Dr. Ir dan Okumura Toshie Prof. Dr. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT pradnya Paramita.
5. Tim Penyusun, Fakultas Teknik UNY. 2004. *Mengelas Dengan proses Las Gas Tungsten*. Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
6. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional. 2008. *Teknik Radiografi level 1*.Batan.
7. Widharto, S. 2007. *Inspeksi Teknik Jilid 6*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
8. American Society of Mechanical Engineers Section IX, *Boiler And Pressure Vessel Code An International Code, Materials*, Edition July 2015.

Lampiran 1 Mill Certificate

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk.
Surabaya - Indonesia

MILL TEST CERTIFICATE
ACC TO EN10204 - S004.3.1

PT. BENTENG ANUGERAH SEJAHTERA
Jl. Tanjungrii No. 44-B RT.001 RW.016 Sironmayo, Sukomanggal Surabaya Jawa Timur 60181
D - 043 - 2017 PONO - PR1701-048
HOT ROLLED STEEL PLATE
ASTM A58 - 14
ASTM A6 - 14

Head Office :
Jl. Mangrove No. 29 A,
Kusabaya, Surabaya 60184
Phone : (62-31) 746058 (Pusat)
Fax : (62-31) 7460581
Email : info@gunawansteel.com
<http://www.gunawansteel.com>



ISO 9001:2008
Cert. No. JI 194317

Certificate No. : GDS-CC-0017-0024
Date : February 23, 2017
Despatch Invoice No. : LDU-1702-30344

Page : 1 of 2

Plate Number	Qty	Dimensions (mm)			Weight (MT)	Laminar Analysis (%)										Tensile Test				Impact Value in Joule (°C)				Relfe											
		T	W	L		C	Si	Mn	P	S	Ni	Al	Ca	NI	Mo	V	Al	TR	N	Test No.	Y.S N/mm ²	T.S N/mm ²	EI % Bore mm		Bond Test	I	II	III	AV						
- 61-65	3	6	1600	6000	1,290	12	23	74	13	8	1	2	0	2	9	3	48	1	6	M3	345	453	26												
- 61-65	5	"	"	"	2,160	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	F6	333	433	33												
- 61-65	1	"	"	"	0,430	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	G6	353	446	30												
- 61-65	5	"	"	"	2,150	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	H6	319	431	26												
- 61-65	5	"	"	"	2,160	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	G5	338	446	27												
- 61-65	5	"	"	"	2,160	12	22	71	12	4	1	1	1	3	6	4	37	1	6	G6	353	446	30												
- 61-65	5	"	"	"	2,160	12	20	68	12	5	1	1	2	8	2	38	1	6	G6	353	446	30													
- 61-65	5	"	"	"	2,160	13	21	72	11	6	1	2	0	2	9	2	45	1	6	H6	319	431	26												
- 61-65	4	"	"	"	1,720	12	21	65	14	10	1	0	2	11	3	44	1	5	G5	338	446	27													
- 61-65	5	"	"	"	2,160	13	18	71	16	4	1	2	0	3	8	3	43	1	6	M4	355	454	23												
- 61-65	3	"	"	"	1,290	13	23	71	16	4	1	2	0	3	8	3	43	1	6	M4	355	454	23												
- 61-65	5	"	"	"	2,160	13	23	77	10	5	1	2	1	2	10	2	44	1	5	M4	353	453	28												
- 61-65	4	"	"	"	2,160	14	18	72	12	7	1	0	2	11	2	48	1	6	G5	345	453	30													
- 61-65	4	"	"	"	1,720	14	18	72	12	7	1	0	2	11	2	48	1	6	G5	345	453	30													
- 61-65	4	"	"	"	2,160	12	25	72	12	3	1	1	2	10	2	37	1	6	G6	337	439	26													
- 61-65	3	"	"	"	1,290	13	22	74	13	3	1	1	0	2	7	3	42	1	6	L5	337	439	27												
- 61-65	5	"	"	"	2,160	12	21	67	13	3	1	1	0	3	10	4	48	1	6	G2	308	427	32												
- 61-65	5	"	"	"	2,160	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"												
- 61-65	4	"	"	"	1,720	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"												

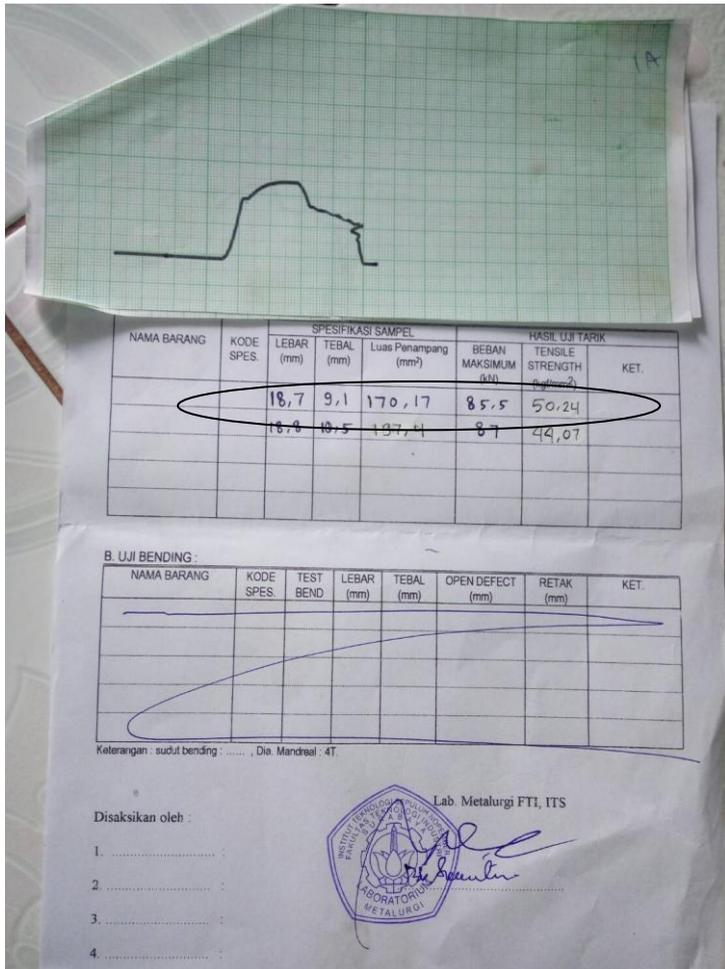
WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE ABOVE SPECIFICATION AND ALSO WITH THE REQUIREMENT CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER



PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL
Surabaya - Indonesia
PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Manager

Lampiran 3

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 kecepatan ruang



Lampiran 4

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 kecepatan ruang



NAMA BARANG	KODE SPES.	SPESIFIKASI SAMPEL			HASIL UJI TARIK		KET.
		LEBAR (mm)	TEBAL (mm)	Luas Penampang (mm ²)	BEBAN MAKSIMUM (kN)	TENSILE STRENGTH (kgf/mm ²)	
		18,7	9,1	170,17	85,5	50,24	
		18,8	10,5	197,4	87	44,07	

B. UJI BENDING :

NAMA BARANG	KODE SPES.	TEST BEND	LEBAR (mm)	TEBAL (mm)	OPEN DEFECT (mm)	RETAK (mm)	KET.

Keterangan : sudut bending , Dia. Mandrel : 4T.

Disaksikan oleh :

1.
2.
3.
4.



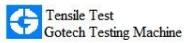
Lab. Metalurgi FTI, ITS

HASIL PENGUJIAN BERDASARKAN CONTOH YANG DIBERIKAN.

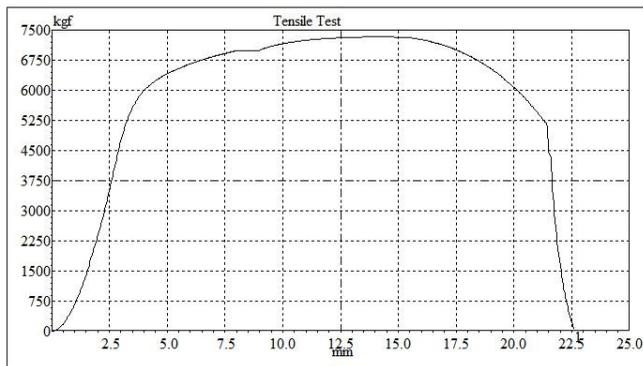
Lampiran 5

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 kecepatan angin 1.35 m/s

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA



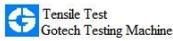
Report No.	Max. Load	Yield strength	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf/mm ²
7332.868	22.009	7332.858	1185.200
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---



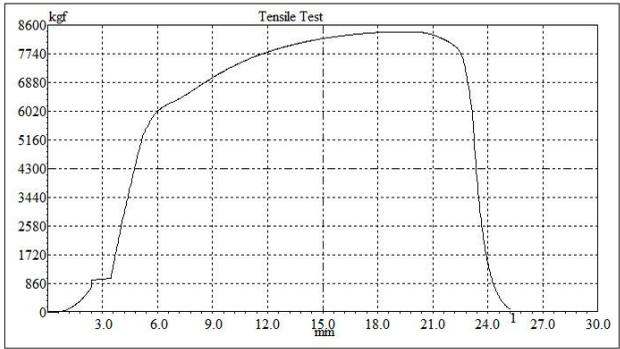
Lampiran 6

Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 kecepatan angin 1.35m/s

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
	8394.386	23.729	8394.307	1205.617
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 7

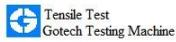
Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 kecepatan angin 1.70

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

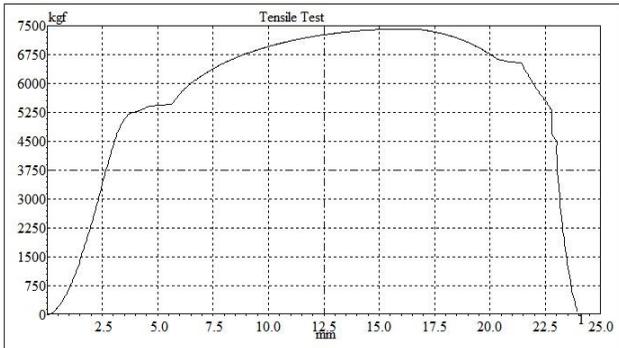
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA



Report No.	Max. Load	Yield strength	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
---	7413.839	21.019	-	1009.464
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 8

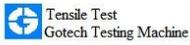
Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 kecepatan angin 1.70m/s

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

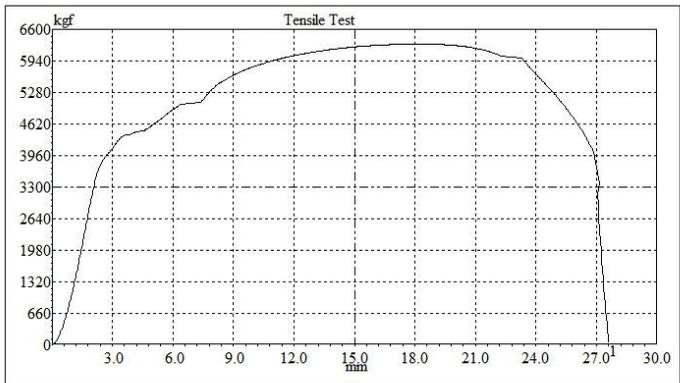
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA



ReportNo	Max. Load	Yield strength	Elastic modulus	
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
6294.640	17.302	6294.626	1067.836	
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 9

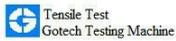
Grafik Uji Tarik Benda Kerja 1 kecepatan angin 2.1 m/s

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

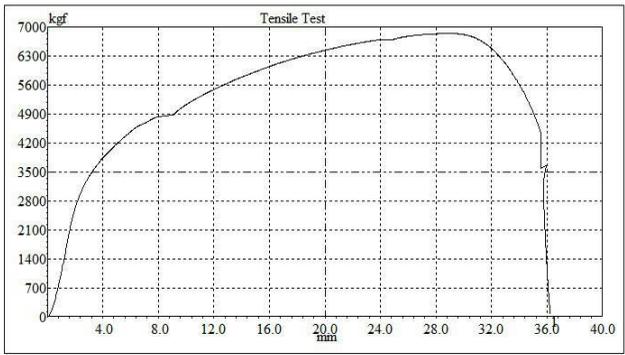
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA



Report No.	Max. Load	Yield strength	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
6844.911	18.457	6844.885	400.522	
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 10

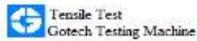
Grafik Uji Tarik Benda Kerja 2 kecepatan angin 2.1 m/s

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

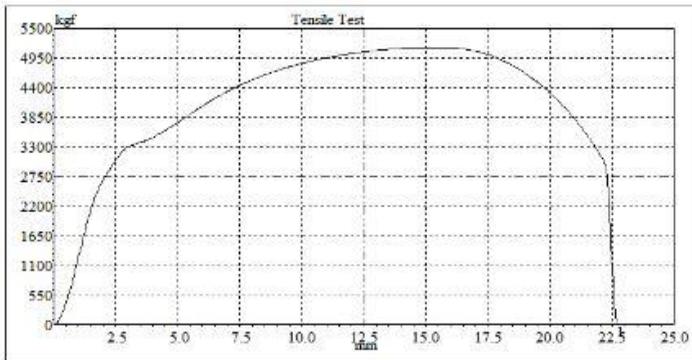
FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

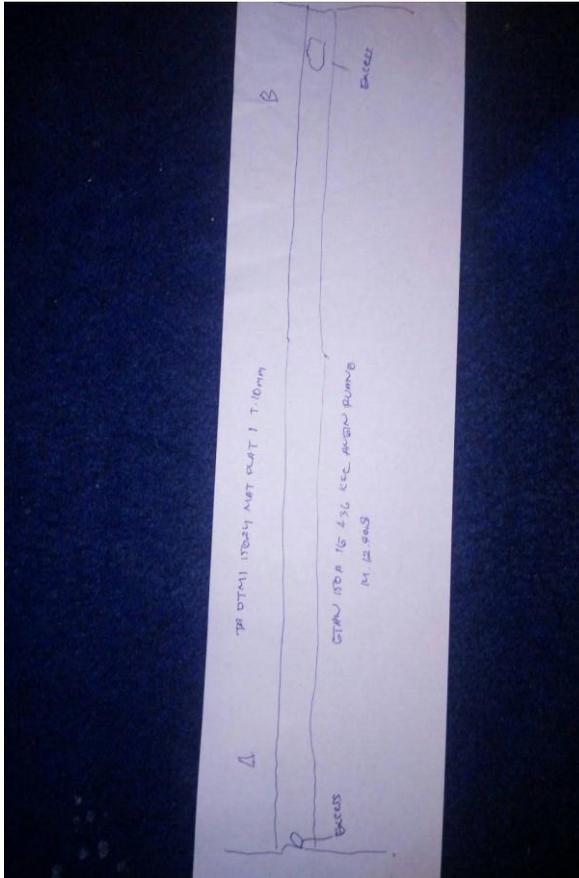


Report No	Max. Load	Yield strength	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
5149.388	14.260	5149.139	706.684	
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



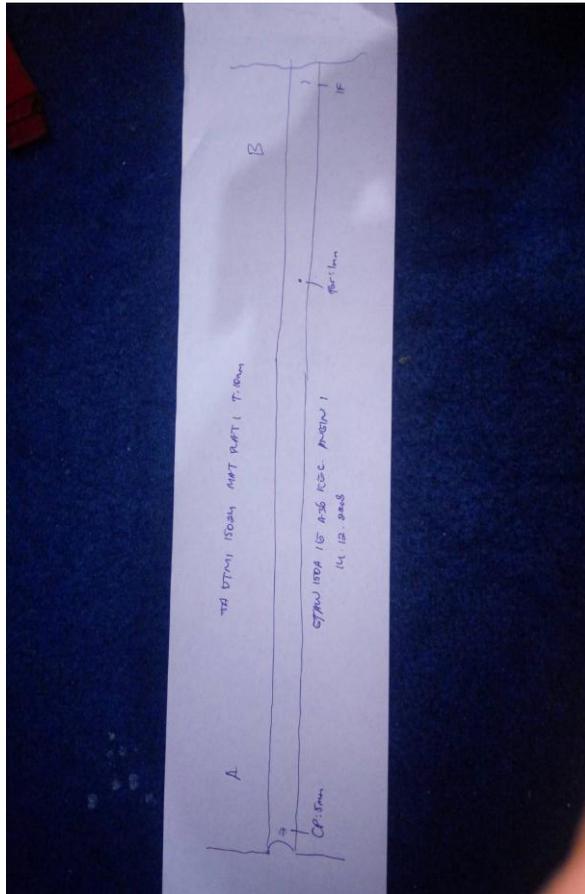
Lampiran 12

Sketsa Hasil Uji Radiografi Lasan Dengan Variasi Dalam Ruang



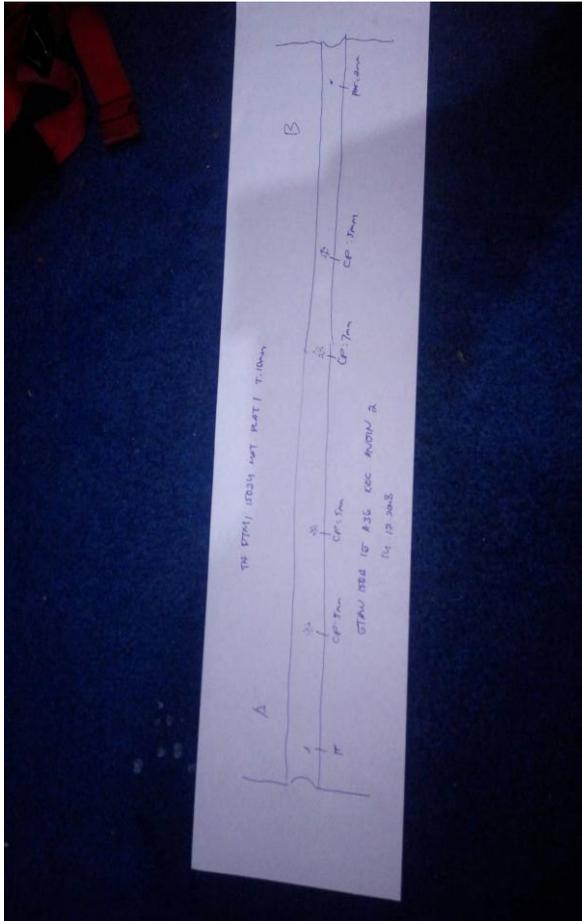
Lampiran 13

Sketsa Hasil Uji Radiografi Lasan Dengan Variasi 1.35m/s



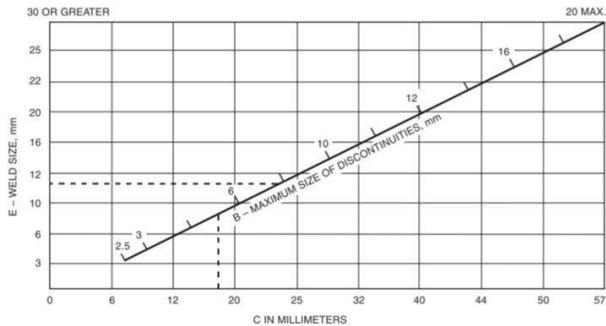
Lampiran 14

Sketsa Hasil Uji Radiografi Lasan Dengan Variasi 1.70 m/s



Lampiran 16

Grafik penerimaan hasil radiografi



Notes:

1. To determine the maximum size of discontinuity allowed in any joint or weld size, project E horizontally to B.
2. To determine the minimum clearance allowed between edges of discontinuities of any size greater than or equal to 3/32 in [2.5 mm], project B vertically to C.
3. See Legend on page 217 for definitions.

Keterangan :

1. Untuk menentukan ukuran cacat yang diijinkan dapat dilihat pada E (tebal las) ditarik garis menuju garis B
2. Untuk menentukan jarak minimal antar cacat yang diijinkan dapat dilihat pada C (Tebal material) ditarik garis vertikal menuju garis B

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Muhammad Faris dilahirkan di Kota Gresik, 09 Maret 1997, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, MINU Salafiyah, SMP Negeri 3 Gresik, dan SMA Negeri 1 Gresik. Pada tahun 2015 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin Industri FV-ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 10211500000024.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan dan bergabung dalam organisasi. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : Menjadi Direktur Jundullah HMDM FV-ITS Periode 2016-2017. PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur merupakan tempat kerja praktek penulis selama satu bulan pada tanggal 31 mei /d 30 juni 2017 di tempatkan di bagian perencanaan dan pengendalian Har III

Pelatihan yang pernah diikuti penulis : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah HMDM FTI-ITS (2015), , Pelatihan LKMM Pra-Tingkat Dasar (Pra-TD) FTI-ITS (2015) , Pelatihan LKMM Tingkat Dasar (TD) IX HMDM FTI-ITS (2016).

Email : muhammadfaris3997@gmail.com