



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISIS KOMBINASI ELEKTRODA PADA PENGELASAN MATERIAL BAJA
DENGAN STAINLESS STEEL DITINJAU DARI SIFAT MEKANIK**

Muhammad Wildan Ilham

NRP. 4313.100.072

DOSEN PEMBIMBING:

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D

Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



FINAL PROJECT - MO141326

**ANALYSIS OF ELECTRODES COMBINATION IN
STAINLESS STEEL AND WELDED STEEL,
VIEWED FROM MECHANIC PROPERTIES**

Muhammad Wildan Ilham

NRP. 4313.100.072

SUPERVISOR:

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D

Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

**ANALISI KOMBINASI ELEKTRODA PADA PENGELASAN MATERIAL BAJA
DENGAN STAINLESS STEEL DITINJAU DARI SIFAT MEKANIK**

TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

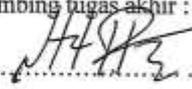
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

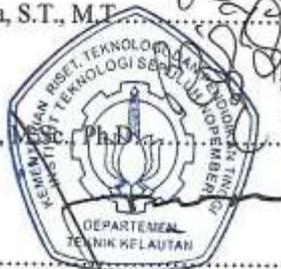
Oleh :

M. Wildan Ilham

NRP. 4313100072

Disetujui oleh pembimbing tugas akhir :

1. Herman Pratikno, S.T, M.T, Ph.D..........(Pembimbing 1)
2. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T..........(Pembimbing 2)
3. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D..........(Penguji 1)
4. Ir. J.J. Soedjono, M.Sc......(Penguji 2)
5. Dirta Marina C, S.T., M.T......(Penguji 3)



Abstrak

Nama : M. Wildan Ilham
NRP : 4313100072
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Wimala Lalitya Dhanista, S.T., M.T.

Pengelasan adalah hal yang umum di dunia industri, baik itu industri darat, laut dan udara. Pengelasan di pilih karena metode yang mudah, murah dan cepat untuk menyambung suatu logam. Metode pengelasan sudah banyak di temukan setelah abad ke-20, sampai sekarang ini sudah ditemukan hampir 40 jenis pengelasan baru. Dalam dunia perkapalakan penyambungan plat logam pertama kali menggunakan metode keling. Metode ini sudah di tinggalkan karena metode ini memakan waktu yang cukup lama. Semakin berkembangnya zaman di butuhkan inovasi baru selain metode pengelasan. Hal yang bisa dilakukan adalah metode penyambung dengan logam yang berbeda. Penyambungan logam yang berbeda ini biasa di sebut dengan *dissimilar welding*. Pada penelitian ini logam yang akan di sambung adalah baja ASTM A36 dengan Stainless Steel SUS304 dengan menggunakan variasi campuran elektroda baja (E7018 dan E7016) dan stainless steel (E309 dan E308). Baja ASTM A36 adalah plat baja yang umum digunakan di galangan kapal baik untuk konstruksi ataupun system perpipaan pada struktur kapal, dan plat Stainless Steel adalah plat baja dengan campuran krom kurang lebih 10,5%. Kandungan krom pada stainless steel ini dapat mencegah terjadinya proses korosi pada plat baja stainless steel, selain itu plat stainless steel ini plat yang kuat dengan suhu tinggi. Dari hasil penelitian ini yang menggunakan variasi elektroda baja dan stainless steel didapatkan hasil bahwa penyambungan baja ASTM A36 dan stainless steel SUS304 dapat dilakukan. Dan hasil terbaik dari pengelasan ini adalah variasi campuran E309 dan E7018.

Kata kunci : Pengelasan, Dissimilar welding, Baja ASTM A36, Stainless Steel SUS304.

Abstrack

Name : M. Wildan ilham
REG : 4313100072
Departement : Ocean Engineering
Supervisors : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Wimala Lalitya Dhanista, S.T., M.T.

Welding is a common in the industrial world, either in the land, in the sea and in the water. Welding is choosen because the method is easy, cheap and quickly for a metal. Welding method has been a lot in found after the 20th Century, until now it was discovered almost 40 kind of new welding. In the shipping world splicing metal plates in first time was using rivet method. This method has been left out because takes a long time. Time by time innovation is needed besides welding methods. The thing that can be done is a method of connecting with different metals. These different metal connections are commonly called dissimilar welding. In this study, the metal that will be connected are ASTM A36 steel with SUS304 Stainless Steel by using variations of mixed steel electrode (E7018 and E7016) and stainless steel (E309 and E308). ASTM A36 steel is a steel plate that is commonly used in the shipyard either for construction or piping system in the vessel structure, and the Stainless Steel plate is a steel plate with a mixture of chrome for about 10.5%. The chromium content in this stainless steel can prevent the occurrence of corrosion processes on the steel plat stainless steel, in addition this stainless steel plate is strong with a high temperature. From the results of this study that is using a variety of the steel electrode and stainless steel showed that the splicing of ASTM A36 steel and stainless steel SUS304 can be done. And the best results of this welding is a variation of the mixture E309 and E7018.

Keyword : Welding , Dissimilar Welding, ASTM Steel A36, Stainless Steel SUS304.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan atas rahmat dan hidayah yang diberikan Allah SWT sehingga laporan penelitian tugas akhir yang berjudul Analisa Kombinasi Elektrode Pada Pengelasan Material baja dengan Stainless Steel, Ditinjau dari Sifat mekanik dapat disusun dan diselesaikan.

Laporan Penelitian ini bertujuan untuk memenuhi mata kuliah Tugas Akhir sebagai salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Laporan penelitian ini dibuat untuk memberikan hasil Analisa dari penulis yang bertema kombinasi elektroda pada pengelasan baja dan stainless steel dengan pengujian mekanik.

Meskipun laporan telah di selesaikan oleh penulis, tapi penulis menyadari masih terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun dan memperbaiki untuk kedepannya. Semoga laporan penelitian ini dapat berguna khususnya bagi penulis dan kepada pembaca laporan ini.

Surabaya, Juli 2017

M. Wildan Ilham

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam pengerjaan dan penyelesaian laporan penelitian Tugas Akhir ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam proses penelitian dan pembuatan laporan, antara lain :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan dan izin untuk menyelesaikan laporan Penelitian Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak dan ibu yang selalu memberikan semangat serta dukungan doa, materi maupun dukungan moril kepada penulis.
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama dan sebagai koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.
4. Ibu Wimala Lalitya Dhanista, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua.
5. Bapak Ir. J.J. Soedjono M.sc , bapak Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D , dan ibu Dirta Marina C, S.T., M.T. selaku dosen penguji 1,2 dan 3.
6. Bapak Soejantoko. S.T., M.T selaku dosen wali.
7. Seluruh staf Laboratorium Konstruksi Teknik Perkapalan FTK – ITS yang telah memberikan fasilitas, ilmu dan bantuan dalam penyelesaian penelitian.
8. Seluruh staf pengajar, karyawan dan tata usaha Departemen Teknik Kelautan.
9. Bripda Khulut Arik Agustia, yang telah memberikan semangat dan inspirasi agar segera terselesaikannya penelitian ini.
10. Teman -teman satu dosen pembimbing yang saling bertukar ilmu dalam pekerjaan laporan.
11. Keluarga besar Teknik Kelautan 2013 (VALTAMERIL31), Senior – senior dan adik junior yang telah memberikan ilmu serta doa kepada penulis.

Semoga laporan Penelitian Tugas Akhir ini dapat menjadi refensi dalam pengembangan penelitian selanjutnya. Bila terdapat kesalahan dalam penulisan nama, penulis ucapkan mohon maaf

Surabaya, Juli 2017

Muhammad Wildan Ilham

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak.....	iv
Abstrack.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Pengelasan	5
2.1.1 Definisi Pengelasan	5
2.1.2 Klasifikasi Pengelasan	6
2.1.3 Parameter Pengelasan.....	6
2.2 Shield Metal Arch Welding.....	8
2.3 Cacat Pengelasan.....	9
2.4 Baja Karbon.....	11
2.4.1 Baja ASTM A36.....	11
24. 2 Stainless Steel SUS304.....	12
2.5 Elektroda.....	13
2.5.1 Elektroda E7018	14
2.5.2 Elektroda E7016	14

2.5.3 Elektroda Stainless Steel E308.....	15
2.5.4 Elektroda Stainless Steel 309	15
2.6 Non Destructive Test.....	15
2.7 Destructive Test.....	18
2.7.1 Uji Tarik (Tensile Test)	18
2.8 Uji Kekerasan	22
2.8.1 Uji Kekerasan Rockwell.....	23
2.8.2 Uji Kekerasan Brinell	24
2.8.3 Uji kekerasan Vickers	24
2.9 Uji Metalografi	25
2.9.1 Uji Makro.....	26
2.9.2 Uji Mikro.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Skema Diagram Alir.....	30
3.2 Penjelasan Diagram Alir.....	31
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Persiapan Material dan Perancangan Welding Procedur Specification.....	35
4.1.1 WPS Baja A36 dan SUS304 Elektroda E309 & E7016.....	36
4.1.2 WPS Baja A36 dan SUS304 Elektroda E309 & E7018.....	36
4.1.3 WPS Baja A36 dan SUS304 Elektroda E308 & E7016.....	38
4.1.4 WPS Baja A36 dan SUS304 Elektroda E308 & E7018.....	38
4.1.5 WPS Baja A36 dan SUS304 Elektroda E309 & E7018 dan Weld Layer.....	39
4.2 Hasil Inspeksi Radiografi	40
4.3 Pembuatan Spesimen Uji dan Pengujian Tarik Mekanik.....	43
4.3.1 Pembuatan Spesimen.....	43
4.3.2 Hasil Pengujian Tarik Mekanik.....	46
4.4 Pembuatan Spesimen Hardness dan Pengujian	50
4.4.1 Pembuatan Spesimen Hardness	50
4.4.2 Proses Pengujian Hardness Vickers	52
4.4.3 Hasil Pengujian Hardness Vickers	53
4.5 Pengujian Metalografi	55

4.5.1 Hasil dan Analisa Pengujian Makro.....	55
4.5.2 Hasil dan Analisa Pengujian Mikro	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

BAB II

Gambar 2.1 Skema Pengelasan SMAW.....	8
Gambar 2.2 Retak Pada Base Metal dan Haz Crack.....	9
Gambar 2.3 Cacat Incomplete Fusion.....	10
Gambar 2.4 Cacat Las Berupa Distorsi.....	11
Gambar 2.5 Uji Ultrasonic.....	16
Gambar 2.6 Uji Radiografi.....	16
Gambar 2.7 Pengujin dengan Arus Eddy.....	17
Gambar 2.8 Pengujian dengan Partikel magnet.....	17
Gambar 2.9 Pengujian Liquid Penetrant.....	18
Gambar 2.10 Diagram Kurva (F- $\Delta\lambda$) hasil uji Tarik.....	19
Gambar 2.11 Ilustrasi Pengujian Tarik.....	21
Gambar 2.12 Kurva Tegangan – Regangan.....	21
Gambar 2.13 Skema Uji kekerasan Vickers.....	23
Gambar 2.14 Skema Uji Kekerasan Brinell.....	24
Gambar 2.15 Uji Kekerasan Vickers.....	25
Gambar 2.16 Spesimen, Ukuran dan Obyek Pembesaran.....	25
Gambar 2.17 Pengaruh Etsa Terhadap Spesimen.....	27
Gambar 2.18 Pantulan Sinar pada Pengamatan metalografi.....	27

BAB III

Gambar 3.1 Flow Chart Pekerjaan Penelitian Tugas Akhir.....	30
Gambar 3.2 Alat Uji Untuk Radiografi.....	32
Gambar 3.3 Alat Uji Mekanik Tarik.....	33

BAB IV

Gambar 4.1 Material Baja A36 dan Stainless steel SUS304 Sebelum Pengelasan.....	35
Gambar 4.2 Hasil pengujian radiografi pengelasan SMAW baja karbon A36 dengan stainless steel SUS304 dengan electrode E309 dan E7016.....	40

Gambar 4.3 Hasil pengujian radiografi pengelasan SMAW baja karbon A36 dengan stainless steel SUS304 dengan electrode E309 dan E7018.....	41
Gambar 4.4 Hasil pengujian radiografi pengelasan SMAW baja karbon A36 dengan stainless steel SUS304 dengan electrode E308 dan E7016.....	41
Gambar 4.5 Hasil Pengujian Radiografi Pengelasan SMAW Baja Karbon A36 dengan Stainless Steel SUS304 dengan Electrode E308 dan E7018.....	42
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Radiografi Pengelasan SMAW Baja Karbon A36 dengan Stainless Steel SUS304 dengan Variasi Electrode dan Desain <i>weld layer</i> E309 dan E7018.....	42
Gambar 4.7 Pemotongan Spesimen uji tarik.....	44
Gambar 4.8 Proses Pembentukan spesimen tarik.....	44
Gambar 4.9 Hasil pembentukan spesimen.....	45
Gambar 4.10 Menghitung luasan width dan ketebalan menggunakan jangka sorong ..	45
Gambar 4.11 Pemotongan Material yang Telah Diukur.....	51
Gambar 4.12 Proses Etsa	51
Gambar 4.13 Proses Pengeringan Spesimen yang Telah di Etsa dan Bilas dengan air..	52
Gambar 4.14 Proses Pengamatan dan Penembakan Spesimen.....	53
Gambar 4.15 Titik Pengujian Kekerasan.....	53
Gambar 4.16 Foto Makro Variasi Elektroda E309 dengan E7016.....	56
Gambar 4.17 Foto Makro Variasi Elektroda E309 dengan E7018.....	56
Gambar 4.18 Foto Makro Variasi Elektroda E308 dengan E7016.....	57
Gambar 4. 19 Foto Makro Variasi Elektroda E308 dengan E7018.....	57
Gambar 4.20 Foto Makro Variasi Elektroda dan <i>Weld Layer</i> E309 dengan E7018.....	57

DAFTAR TABEL

BAB II

Tabel 2.1 Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36.....	12
Tabel 2.2 Syarat Uji Tarik Baja ASTM A36.....	12
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Stainless Steel SUS304.....	13

BAB IV

Tabel 4.1 Garaf Pengujian Uji Tarik.....	46
Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda E309 dan E7016.....	53
Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda E309 dan E7018.....	54
Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda E308 dan E7016.....	54
Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda E308 dan E7018.....	54
Tabel 4.6 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda dan Weld Layer E309 dan E7018...	54
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Struktur Mikro.....	58

DAFTAR GRAFIK

BAB IV

Grafik 4.1 Hasil Perbandingan Tiap Spesimen.....	50
Grafik 4.2 Hasil Perbandingan Kekerasan Pada Variasi Elektroda.....	55

BAB V

Grafik 5.1 Hasil Perbandingan Tensile Test.....	69
---	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengelasan mulai dikenal pada awal abad ke 20, pada waktu itu sumber panas yang di gunakan berasal dari pembakaran gas Acetylena yang kemudian dikenal sebagai las karbit. Dan kemudian berkembang menjadi las listrik namun masih langka dan tahap pengembangan. Pada perang dunia ke II, proses pengelasan dilakukan dalam skala besar. Pada waktu itu pengelasan yang di pilih adalah pengelasan menggunakan las listrik. Berkat las listrik Amerika serikat dapat membuat kapal sekelas kapal SS Liberty yang merupakan kapal pertama yang menggunakan teknik las, Karena sebelumnya untuk pembuatan sebuah kapal masih menggunakan proses keeling (Rivets), dan pada saat itu juga muncul cara pertama untuk pengetesan hasil pengelasan seperti uji *kerfslag* (uji lekukan yang tertutup lapisan)

Namun pada masa itu pengelasan masih dianggap belum sempurna karena masih banyak kekurangan dari hasil pengelasan meskipun kecepatan memproduksi suatu benda meningkat. Semakin berkembangnya jaman teknologi akan pengelasan semakin maju. Banyak metode – metode pengelasan di temukan untuk menyambungkan sebuah logam, diantara adalah GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), SMAW (Shield Metal Arc Welding), FCAW (Flux Core Arch Welding), PAW(Plasma Arc Welding) dan lain sebagainya, kurnag lebih ada sekitar 40 metode pengelasan yang sudah di temukan.

Selain pengelasan material, jenis pengelasan juga semakin berkembang, pada waktu dulu logam yang di las hanyalah besi dan baja, sekarang pengelasan tidak hanya bisa pada besi dan baja. Material logam lain yang dapat disambung dengan pengelasan adalah alumunium dan stainless steel. Material ini adalah pengembangan dari material besi dan baja. Alumunium adalah logam lunak ringan dan berwarna keperakan Karena lapisan tipis oksidasi yang terbentuk saat unsur ini terkena udara, alumunium adalah logam non magnetik. Stainless steel adalah paduan dari berbagai logam dengan komposisi tertentu yang menghasilkan sifat baru yang lebih kuat dan tahan terhadap korosif.

Pada era industri modern sekarang ini dibutuhkan inovasi terbaru mengenai pengelasan baik metode maupun material. Hal umum yang di lakukan adalah

penyambungan material sejenis namun beda seri material. Penyambungan ini sudah cukup umum di lakukan. Hal yang jarang di lakukan adalah penyambungan dengan berbeda material. Dalam tugas akhir ini akan di lakukan penelitian kombinasi elektroda pada pengelasan berbeda material baja karbon ASTM A36 dengan stainless steel SUS304, ditinjau dari sifat mekanik, menggunakan metode pengelasan *shield metal arc welding* (SMAW) yang diharapkan mampu menjadi inovasi terbaru dalam dunia industri.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam studi tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana kekuatan kombinasi elektrode pada pengelasan beda material baja dengan stainless stell ?
2. Bagaimana hasil pengelasan kombinasi elektrode baja dan stainless stell di tinjau dari tes makro dan mikro ?
3. Bagaimana kualitas kombinasi elektrode baja dan stainless pada pengelasan beda material ?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam studi tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan kombinasi elektroda terbaik dalam pengelasan beda material baja dan stainless steel untuk menghasilkan pengelasan yang kuat.
2. Menganalisa bentuk makro dan mikro pada kombinasi elektroda pada weld joint.
3. Menganalisa kualitas sambungan pada kombinasi elektroda baja dan stainless stell.

1.4. Manfaat

Manfaat yang didapat dari penelitian studi tugas akhir ini adalah untuk memberikan hasil analisa tentang kombinasi campuran elektroda terbaik pada pengelasan beda material di tinjau dari sifat mekanik menggunakan metode pengelasan *shield metal arc welding* (SMAW) .

1.5. Batasan Masalah

Pembatasan masalah diperlukan untuk menghindari pembahasan studi yang melebar dari konsep awal. dalam studi tugas akhir ini batasan masalahnya sebagai berikut :

1. Jenis material yang digunakan adalah pelat baja karbon ASTM A36 dengan ketebalan 8 mm dan stainless steel SUS304 dengan ketebalan 8 mm.
2. Proses pengelasan menggunakan metode *shielded metal arc welding* (SMAW).
3. Posisi pengelasan adalah posisi 1G.
4. Sambungan las yang digunakan adalah butt joint single V-groove dengan sudut bevel 60°.
5. Pengelasan menggunakan elektrode campuran E7018 dan E7016 dengan E309 dan E308.
6. Parameter pengujian yang digunakan pada eksperimen kali ini adalah pengamatan uji *non destructive test* (NDT), *destructive test* (DT), dan Metalografi test.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan hasil laporan tugas akhir yang sistematis dan tidak keluar dari pokok permasalahan maka di buat sistematika penulisan sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan
Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penulisan tugas akhir.
1. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori
Pada bab ini berisikan teori memberikan penjelasan mengenai teori yang di gunakan dalam pembuatan specimen pengujian.
2. Bab III Metode Penelitian.
Pada bab ini akan membahas tentang kegiatan yang di lakukan selama proses penelitian berlangsung.
3. Bab IV Analisis dan Pembahasan.
Pada bab ini berisi Analisa yang dilakukan terhadap hasil penelitian yang dilakukan.

4. Bab V Penutup

Pada bab ini berisikan berisi kesimpulan dari tugas akhir dan saran untuk pengujian selanjutnya yang akan dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Pengelasan

Pengelasan sudah di temukan sejak zaman prasejarah dengan metode penyambungan dua buah jenis logam. Pengelasan semakin berkembang setelah perang dunia ke II terjadi, dimana Amerika menerapkan pengelasan dengan menggunakan listrik. Pengelasan ini mempercepat produksi suatu benda. Semakin berkembangnya zaman mulai di temukan metode las terbaru mulai dari las busur, las resistance listrik, las gas, las termit dan lain – lain.

Dalam dunia industri penggunaan pengelasan sangat luas, mulai dari industri kesehatan, makanan, konstruksi darat, konstruksi laut dan udara. Dalam industri laut penggunaan pengelasan sangat luas, mulai dari kebutuhan untuk industri perkapalan sampai ke industri penunjang konstruksi bangunan laut.

Dalam pekerjaan pengelasan terdapat beberapa prosedur yang harus di jalani mulai dari keamanan pekerjaan sampai persyaratan pekerjaan pengelasan, hal ini di maksudkan agar pekerjaan tetap aman dan mendapatkan hasil pengelasan yang baik dan mumpuni. Untuk itu di perlukan ketrampilan dan pengetahuan dalam melakukan pengelasan agar di dapatkan pengelasan yang baik dan kekuatan sambungan yang mumpuni.

2.1.1 Definisi Pengelasan

Untuk memahami tentang pengelasan, penulis mengkaji beberapa tinjauan pustaka dan dasar teori. Di tunjukkan sebagai berikut :

- Wiryosumarto (2000), pengelasan adalah metode penyambungan beberapa logam dengan menggunakan energi panas.
- Berdasarkan DIN (Deutche Industrie Normen) las adalah sebuah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang di lakukan dalam keadaan lumer.
- Suratman (2001), mengelas yaitu salah satu cara menyambung dua bagian logam secara permanen dengan menggunakan tenaga panas.

- American Welding Society (AWS) pengelasan adalah proses penyambungan yang menghasilkan gabungan dari material dengan cara memanaskan material pada suhu pengelasan dengan atau tanpa di tambahkan dengan tekanan dan dengan atau tanpa di tambahkan logam pengisi.

2.1.2 Klasifikasi Pengelasan

Dalam klasifikasi pengelasan yang di bedakan adalah cara kerja. Proses pengelasan dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu :

1. Pengelasan Cair

Pengelasan ini dilakukan dengan cara memanaskan sambungan sampai mencair dengan sumber panas listrik atau api gas yang di bakar.

2. Pematrian

Pengelasan dengan cara penyambungan yang di satukan dengan menggunakan paduan logam lain. Logam utama yang akan di patri tidak akan ikut mencair.

3. Pengelasan Tekan

Pengelasan dengan cara logam di panaskan lalu di tekan hingga menjadi satu.

2.1.3 Parameter Pengelasan

Agar mendapatkan pengelasan yang baik terdapat beberapa parameter yang di perhatian. Parameter yang di perhatikan adalah sebagai berikut :

1. Tegangan Busur Las

Dalam pekerjaan pengelasan tinggi tegangan busur tergantung pada panjang busur yang di butuhkan. Busur listrik yang terlalu panjang tidak di sarankan, Karena stabilitasnya kurang. Sehingga hasil pengelasan tidak rata, selain itu tinggi tegangan tidak terlalu mempengaruhi kecepatan cairnya. Jadi tegangan yang terlalu tinggi akan membuang energi secara sia – sia .

Panjang busur yang baik adalah sama dengan garis tengah elektroda. Dan tegangan yang di perlukan untuk melakukan pengelasan dengan garis tengah 3 sampai 6 mm adalah 20 sampai 30 volt untuk posisi datar. Dan untuk posisi di atas kepala tegangan akan di kurangi 2 sampai 5 volt.

2. Besar Arus Pengelasan

Besar arus pada setiap pengelasan berbeda – beda, tergantung dari bahan dan ukuran material yang akan di las. Hal ini berkaitan dengan komponen struktur dari material. Pada logam paduan untuk menghindari terbakarnya unsur – unsur dalam logam maka akan di sarankan menggunakan arus yang kecil, hal ini juga mengantisipasi kejadian keretakan Karena panas berlebih.

3. Kecepatan Pengelasan

Dalam hal kecepatan bergantung pada jenis elektroda, diameter elektroda, jenis sambungan dan ketelitian sambungan. Kecepatan las tidak di pengaruhi tegangan namun di pengaruhi dengan arus. Semakin besar arus maka kecepatan pengelasan bisa lebih cepat.

4. Polaritas Listrik

Dalam pekerjaan pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus terdapat pilihan polaritas yaitu polaritas searah atau bolak balik. Untuk menentukan polaritas ini hal yang dapat di perhatikan adalah pembungkus elektroda dan kapasitas panas dari elektroda.

Polaritas searah digunakan apabila elektroda mempunyai titik cair dan kapasitas panas yang besar. Elektroda akan dihubungkan dengan kutub negatif. Dan sebaliknya polaritas bolak balik digunakan untuk elektroda dengan kapasitas panas kecil. Untuk pengelasan sambungan pendek sebaiknya di pilih polaritas arus bolak balik, Karena pada pengelasan bisa terjadi ledakan pada akhir pengelasan.

5. Penetrasi Pengelasan

Kekuatan sambungan pengelasan bergantung pada penetrasi dari pengelasan tersebut. Besarnya penetrasi bergantung pada sifat fluks, polaritas, besar arus, kecepatan las, dan tegangan yang di gunakan. Secara teori semakin besar arus las maka semakin besar juga daya tembusnya. Dan tegangan memberikan pengaruh sebaliknya semakin besar tegangan maka akan semakin panjang busur yang terjadi, panas yang terjadi semakin lebar namun penetrasi yang di hasilkan dangkal.

6. Kondisi Pengelasan

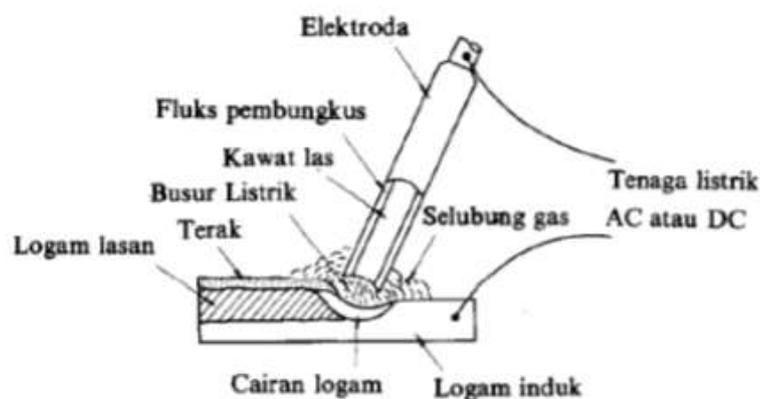
Kondisi dalam pengelasan bergantung pada syarat tertentu seperti tebal pelat, diameter elektroda, bentuk sambungan, dan lain sebagainya. Untuk setiap

kondisi ini sudah ada standart yang digunakan. Untuk setiap kondisi yang ada maka akan di lakukan standart yang berlaku.

2.2 Shield Metal Arch Welding (SMAW)

Pengelasan SMAW dikenal juga dengan jenis pengelasan listrik, proses pengelasan ini menggunakan panas untuk mencairkan elektroda dengan material dasar. Panas ini ditimbulkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antar katoda dan anoda (ujung elektroda dengan permukaan material). Jadi dapat di katan pengelasan ini memanfaatkan panas busur listrik yang timbul Karena perbedaan tegangan dari elektroda yang terbungkus dengan permukaan material yang akan di las. Panas yang dapat di timbulkan mencapai 4000°C sampai 4500°C. sumber tegangan ini berasal dari sumber arus AC (bolak – balik) atau DC (searah).

Prinsip kerja pengelasan busur elektroda terbungkus SMAW adalah pengelasan busur listrik terumpun dengan electrode terbungkus fluks sebagai pembangkit busur dan pengisi (fillet) sambungan material. Panas timbul pada elektroda mencairkan ujung elektroda ke bahan, sehingga saat pengelasan terjadi membentuk kawah las dan kemudian membeku. Bungkus electrode yang berfungsi sebagai fluks nantinya akan terbakar pada saat proses pengelasan. Gas yang timbul akan berfungsi sebagai pelindung terhadap udara luar (oksidasi). Fluks yang mencair akan terapung dan kemudian membeku pada permukaan las dan kemudia fluks ini berubah menjadi kerak (*slag*). Gambar skema pengelasan SMAW di tunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Skema pengelasan SMAW (Wiryosumarto, 2008)

2.3. Cacat Pengelasan

Dalam pekerjaan pengelasan akan terdapat kejadian pengelasan yang kurang sempurna, kurang sempurna nya pengelasannya ini akan berakibat dengan timbulnya cacat las. Cacat yang las yang biasa terjadi adalah sebagai berikut :

1. Crater Crack

Crater crack adalah jenis cacat berupa retak yang terdapat di dalam kawah las di akhir dari pengelasan. Jenis cacat ini relative kecil, namun dapat berakibat fatal karena dapat menimbulkan konsentrasi tegangan. Penyebab utama dari creater crack adalah pengendalian busur dan filler metal yang kurang baik atau penggunaan filler metal yang salah.

2. Longitudinal Crack

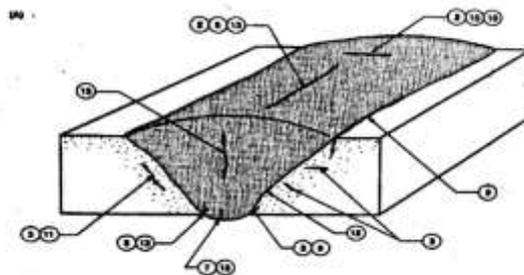
Ini adalah jenis cacat las retak yang memanjang sejajar dengan kampuh las. Cacat terjadi pada bagian kawah las atau pada base metal

3. Weld Metal Crack

Cacat las berupa retak yang terjadi pada daerah lasan, biasanya di sebabkan oleh diameter elektroda yang terlalu kecil, urutan pengelasan yang salah , terdapatnya tegangan sisa, pendinginan yang terlalu cepat, adanya gas hydrogen dan oksigen ataupun kawah yang kurang terisi.

4. Base Metal dan Haze Crack

Retak yang terjadi pada daerah logam induk dan daerah *heat affected zone*. Penyebab utama dari crack ini adalah kekerasan base metal yang tinggi kadar C, Mn dan Cr.



Gambar 2.2. Retak Pada Base Metal dan Haz Crack (Hadi : 2015)

5. Undercut

Undercut adalah cacat berupa lekuk atau alur pada base metal. Cacat ini berakibat mengurangi luasan penampang lasan dan dapat menimbulkan konsentrasi tegangan pada sambungan. Cacat ini biasanya di akibatkan oleh pengendalian busur, filler metal dan elektroda yang kurang baik, teknik pengelasan yang salah, sudut pengelasan yang kurang tepat, penggunaan panas atau arus yang terlalu besar.

6. Porosity

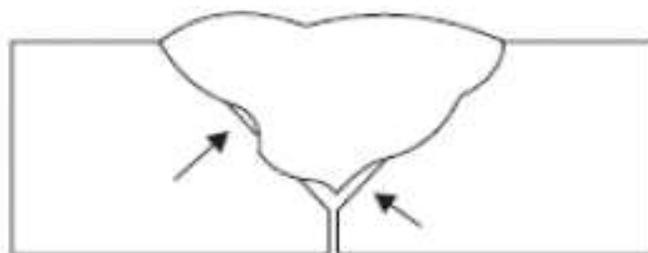
Cacat yang di akibatkan oleh kantung gas atau logam las, porosity terjadi akibat pendinginan logam cair yang terlalu cepat, panjang busur atau besar arus yang tidak tepat, maupun factor luar seperti (udara, uap air, minyak, dll) yang terjebak di dalam kawah las. Benda asing yang terperangkap akan dapat menjadi gelembung yang terjebak.

7. Incomplete Penetration

Hal ini disebabkan karena kesalahan dalam memilih ukuran elektroda, arus listrik yang terlalu kecil, dan rancangan sambungan yang kurang memadai. Kurang penetrasi sering dialami pada pengelasan posisi vertikal dan overhead.

8. Incomplete Fusion (Kurang Menyatu)

Cacat yang terjadi berupa penyambungan yang kurang sempurna, akibatnya antara benda kerja dengan fillet las kurang menyatu. Biasanya di akibatkan oleh permukaan benda kerja yang kotor, arus yang terlalu kecil, kecepatan pengelasan yang kurang tepat, pemilihan elektroda yang salah dan teknik pengelasan yang kurang tepat.

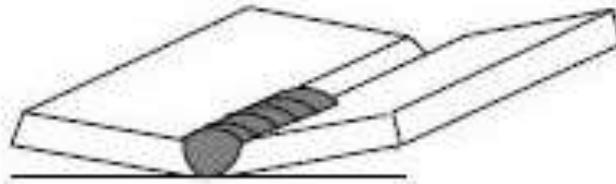


Gambar 2.3. Cacat Incomplete Fusion (<http://hima-tl.ppns.ac.id/?p=954> : diakses pada 24 Januari 2017)

9. Distorsi

Cacat terjadi akibat adanya kontraksi logam pada saat pengelasan mendorong atau menarik benda kerja. Efek dari distorsi adalah terjadinya perubahan benda

kerja atau benda kerja menekuk ke atas. Biasanya terjadi akibat *heat input* yang terlalu besar.



Gambar 2.4. Cacat Las Berupa Distorsi (<http://hima-tl.ppns.ac.id/?p=954> : diakses pada 24 Januari 2017)

2.4 Baja Karbon

Baja karbon adalah baja dengan campuran karbon interstisial utama, dengan kandungan berkisar 0,12 – 2,0%. Dalam American Iron and Steel Institute (AISI) menyatakan “ Baja di anggap karbon apabila kandungan minium untuk Kromium, kobalt, molybdenum, nikel, niobium, tungsten, vanadium, zirconium atau campuran lain tertentu ditambahkan untuk mendapatkan kandungan tertentu. Dan kandungan tembaga minimum tidak melebihi 0,40% atau kandungan maksimum elemen mangan dan silicon tidak melebihi 1,65 dan 0,60.

Baja karbon dapat juga di artikan sebagai baja tidak tahan karat, maka baja aloi bisa masuk dalam kategori. Ketika kandungan karbon suatu baja meningkat, baja akan semakin keras dan kuat dengan perlakuan panas. Namun baja akan semakin getas dan keuletannya semakin berkurang. Semakin tinggi kandungan karbon maka titik lebur akan menurun.

2.4.1 Baja ASTM A36

Material Baja A36 adalah material baja dengan kategori karbon rendah (low carbon), karakteristik dari baja ini adalah mudah untuk di bentuk atau di fabrikasi. Konstruksinya dari baja A36 juga mempunyai kekerasan yang cukup kuat. Pelat baja A36 termasuk mudah untuk di aplikasikan dalam pengelasan dan sangat bagus di jadian bahan dasar proses galvanized. Syarat komposisi dan syarat uji tarik baja A36 di tunjukkan dengan table sebagai berikut :

Tabel 2.1 Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36

[American Society for Testing and Materials, 2004]

Note 1— Where “...” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars			
		To ¼ [20] in.	Over ¼ to 1½ [20 to 40] in.	Over 1½ to 2½ [40 to 65] in.	Over 2½ to 4 [65 to 100] in.	Over 4 [100]	To ¼ [20] in.	Over ¼ to 1½ [20 to 40] in.	Over 1½ to 4 [100] in.	Over 4 [100]
Carbon, max. %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	—	—	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	—	0.80–0.90	0.80–0.90	0.80–0.90
Phosphorus, max. %	0.04	0.04	0.04	0.04	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	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	0.40 max.	0.40 max.	0.40 max.	0.40 max.
Copper, min. % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

Tabel 2.2 Syarat Uji Tarik Baja ASTM A36

[American Society for Testing and Materials, 2004]

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

^A See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

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

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

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

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

Berdasarkan dari perlakuan panas, baja ASTM A36 mempunyai titik suhu preheat 788°C. dan memiliki titik suhu :

- Normalisasi pada suhu 899°C - 954°C (1650°C - 1750°C)
- Annealing pada suhu 843°C - 871°C (1550 - 1600°C)
- Stress relieving pada suhu 677°C - 927°C (1250°C - 1700°C)
- Carburizing pada suhu 899°C - 927°C (1650°C - 1700°C)
- Hardening pada suhu 788°C - 816°C (1450°C - 1500°C)

2.4.2 Stainless Steel SUS304

Stainless steel adalah material baja yang tahan karat. Stainless steel memiliki kandungan unsur kromium kurang lebih 10,5%. Kandungan ini yang melindungi baja dari proses korosi yang terjadi. Kromium merupakan hasil dari oksidasi oksigen terhadap zat krom yang terbentuk secara spontan, zat ini menghalangi proses oksidasi dari besi.

Ada empat jenis utama dari stainless steel, yaitu :

1. Austenitik Ini memiliki kandungan nikel minimal 7%, yang membuatnya sangat fleksibel. Hal ini digunakan dalam berbagai produk peralatan rumah tangga, pipa industri dan kapal, struktur konstruksi dan fasad arsitektur.
2. Feritik stainless steel memiliki sifat yang mirip dengan baja ringan, namun ketahanan Korosi yang lebih baik. Jenis baja yang umum digunakan dalam mesin cuci, boiler dan arsitektur dalam ruangan.
3. Martensit stainless steel adalah baja, sangat keras kuat. Ini mengandung kromium sekitar 13% dan digunakan untuk membuat pisau dan pisau turbin.
4. duplex stainless steel yang merupakan gabungan dari austenit dan baja feritik. Baja ini adalah baik kuat dan fleksibel. Duplex baja yang paling umum digunakan dalam industri kertas, pulp dan pembuatan kapal. Mereka juga banyak digunakan dalam industri petrokimia.

Adapun sifat mekanik dari Stainless Steel 304, di tunjukkan sebagai berikut :

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Stainless Steel SUS304

Finish	Dia or Thickness mm	Tensile Strength MPa Min.	Yield Strength MPa min.	Elongation in 50mm % min.
Hot finish	All	515	205	40
Cold finish	≤12.7	520	310	30
Cold finish	>12.7	515	205	30

2.5 Elektrode

Elektroda adalah benda yang di gunakan untuk melakukan pekerjaan pengelasan listrik, fungsi dari elektroda ini adalah sebagai pembakar yang menimbulkan busur menyala. Pada prinsipnya, elektroda dapat di bagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

- Elektroda tanpa salutan (fluks)
Elektroda ini sudah tidak dipergunakan lagi untuk pengelasan SMAW dikarenakan elektroda jenis susah untuk di gunakan dan hasil pengelasan yang kurang baik
- Elektroda dengan salutan tipis

- Elektroda dengan salutan tebal

Elektroda salutan tebal adalah jenis umum yang di gunakan dalam lapangan. Pada saat busur las menyala, salutan ini akan berubah menjadi gas yang akan menetralkan atau mengurangi gas karbon monoksida (CO) atau hydrogen (H₂).

2.5.1 Elektroda E7018

Sifat umum dari elektroda ini adalah penetrasi las yang sedang, dapat digunakan pada arus AC dan DC, dan memiliki kandungan selaput berupa serbuk besi 25% - 40%. Elektroda ini adalah jenis elektroda hydrogen rendah.

Kawat las E7018 untuk pengelasan SMAW di tunjukkan dengan kode Exxxx (4 angka). Dimana :

- E = elektroda jenis las SMAW.
- E70xx = dua digit pertama (angka 70) menunjukkan kekuatan tarik dalam ksi (kilopound square inch).
- Angka 70 berarti kekuatan tariknya, angka 70 berarti 70 ksi. Dalam psi (pound square inch) sama dengan 70000 psi, dimana 1 ksi = 1000 psi.
- Exx1x = digit ketiga (angka 1) adalah posisi pengelasan. Dimana angka 1 adalah semua posisi pengelasan.

2.5.2 Elektroda E7016

Sifat umum dari elektroda ini adalah jenis elektroda dengan hydrogen rendah. Mengandung kalium silikat dan garam kalium pada salutannya, yang membuat elektroda ini dapat dipakai pada mesin las AC maupun DC.

Kawat las E7016 untuk pengelasan SMAW di tunjukkan dengan kode Exxxx (4 angka). Dimana :

- E = elektroda jenis las SMAW.
- E70xx = dua digit pertama (angka 70) menunjukkan kekuatan tarik dalam ksi (kilopound square inch).
- Angka 70 berarti kekuatan tariknya, angka 70 berarti 70 ksi. Dalam psi (pound square inch) sama dengan 70000 psi, dimana 1 ksi = 1000 psi.

- Exx1x = digit ketiga (angka 1) adalah posisi pengelasan. Dimana angka 1 adalah semua posisi pengelasan.

2.5.3 Elektroda Stainless Steel E308

Elektroda ini adalah salah satu jenis elektroda yang di gunakan untuk pengelasan stainless steel. Standart Internasional untuk kawat las stainless steel di atur dalam AWS A5.4 E 308-16.

Spesifikasi umum kawat las ini adalah memiliki kandungan kimia Cr 18% , Ni 8 % . Selain itu keunggulan dari kawat las ini adalah menghasilkan sedikit percikan api, kerak/slag yang mudah di bersihkan dan memiliki daya tahan yang bagus pada kondisi korosi.

2.5.4 Elektroda Stainless Steel E309

Elektroda yang di pakai juga dalam pengelasan stainless steel . Standart Internasional untuk elektroda ini sudah di atur dalam AWS A5.4 E 309- 16.

Spesifikasi umum untuk kawat las ini adalah memiliki kandungan kimia Cr 23%, Ni 12%. Elektroda ini juga memiliki daya tahan yang bagus terhadap korosi dan biasa di gunakan dalam pengelasan di industri pangan.

kawat las stainless steel sudah diatur dalam AWS A5.4. Digit pertama adalah nomor tipe AISI dari stainless steel. Kemudian di ikuti dengan garis dan 2 angka. Contohnya pada stainless steel E309- 16 yang di gunakan untuk penelitian tugas akhir ini. Dua angka terakhir (16) tersebut mempunyai arti lapisan mengandung Tio dan K₂O dan arusnya DCRP atau AC.

2.6 Non Destructive Test (Uji Tanpa Merusak)

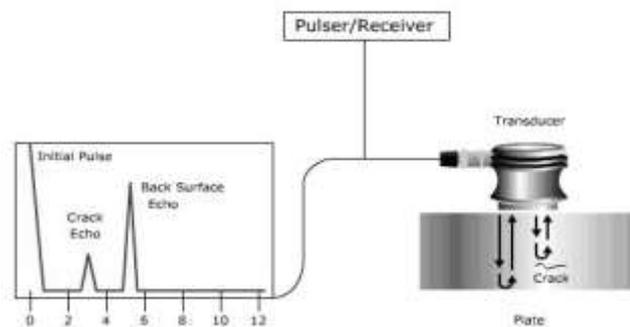
Didunia industri kegagalan adalah suatu hal yang biasa di jumpai, kegagalan tersebut bisa berupa gagal produksi, ataupun gagal karena material tidak sesuai dengan spesifikasi. Salah satu langkah untuk mengetahui apakah suatu material yang sudah diproduksi atau di buat mengalami kegagalan berupa cacat material atau cacat struktur penyusun material tersebut adalah dengan melakukan test. Test yang di lakukan untuk material ini adalah berupa test yang tidak merusak atau biasa di sebut NDT (Non Destructive Test).

Bagi para pekerja industri kegiatan NDT adalah hal yang penting untuk di lakukan karena kegiatan NDT ini dapat meyakinkan kehandalan produk, mencegah kecelakaan, dan

dapat memenuhi kebutuhan konstruksi sehingga tidak akan terjadi over budget. Kegiatan NDT sendiri terdapat beberapa macam diantaranya adalah :

1. Pengujian Ultrasonic

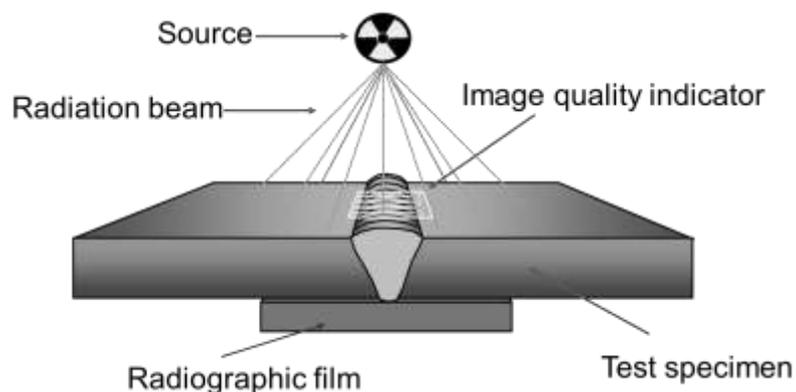
Prinsip pada pekerjaan ini adalah dengan gelombang suara. Gelombang suara akan di rambatkan pada material atau specimen uji dan nantinya sinyal akan di pantulkan lalu di tangkap kembali untuk di interpretasikan. Gelombang ultrasonic ini mampu untuk mendeteksi kerusakan pada bagian dalam material serta mampu untuk mengukur ketebalan suatu material.



Gambar 2.5. Uji Ultrasonic (<http://www.insinyoer.com> : diakses pada 2 Februari 2017)

2. Pengujian Radiografi

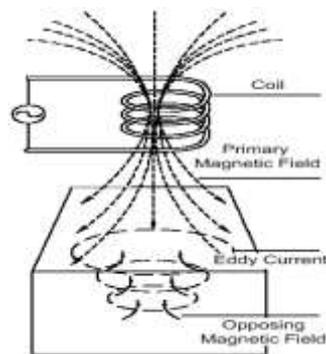
Pengujian radiografi adalah suatu cara dengan menggunakan sinar x dan sinar gamma. Prinsip kerjanya, sinar X dipancarkan menembus material, saat sinar X menembus objek sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Kemudian intensitas akhir akan direkam dengan film yang sensitif. Hasil film ini akan menunjukkan bagian material yang cacat.



Gambar 2.6. Uji Radiografi (pambudi : 2015)

3. Pengujian dengan Arus Eddy

Pengujian ini memanfaatkan prinsip elektromagnetik. Prinsip kerja yaitu, arus listrik di alirkan pada kumparan untuk membangkitkan medan magnet. Jika medan magnet di kenakan pada material yang akan di uji, maka akan terbangkit arus Eddy. Arus ini akan menginduksi adanya medan magnet. Medan magnet pada benda akan berinteraksi dengan medan magnet pada kumparan dan mengubah impedasi bila ada cacat.

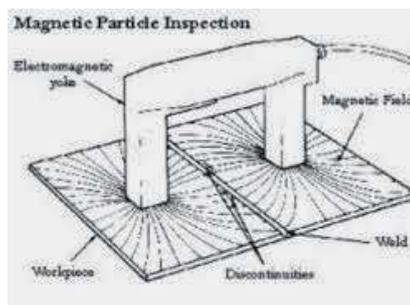


Gambar 2.7. Pengujian dengan Arus Eddy

(<http://www.alatuji.com/article/detail/36/ndt> : diakses pada 2 Februari 2017)

4. Pengujian dengan Partikel Magnet

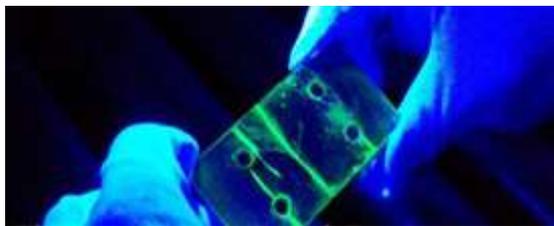
Metode ini bertujuan untuk menginspeksi cacat permukaan (surface) dan bawah permukaan (subsurface) suatu material ataupun specimen. Metode pengujian hanya bisa digunakan untuk material yang ferromagnetik. Prinsip kerjanya dengan cara memagnetisasi bahan yang akan di uji. Adanya cacat yang tegak lurus arah medan magnet akan menyebabkan kebocoran medan magnet. Kebocoran medan magnet ini mengindikasikan adanya cacat pada material.



Gambar 2.8. Pengujian dengan Partikel Magnet (Pambudi : 2015)

5. Pengujian Liquid Penetran

Metode ini adalah metode paling sederhana yang dapat dilakukan. Metode ini dilakukan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka dari komponen solid. Dengan menggunakan metode ini cacat pada material akan terlihat lebih jelas. Prinsip kerja dari test ini adalah dengan menggunakan cairan (*liquid*) penetran ke permukaan material atau spesimen. Cairan yang di semprotkan harus cairan yang mempunyai penetrasi tinggi dan viskositas yang rendah, agar cairan dapat mengisi celah – celah pada permukaan yang cacat. Setelah penetran di semprotkan maka penetran akan disingkirkan untuk melihat permukaan yang cacat. Dan setelah selesai melakukan pengujian bekas cairan penetran bisa dihilangkan dengan menggunakan developer.



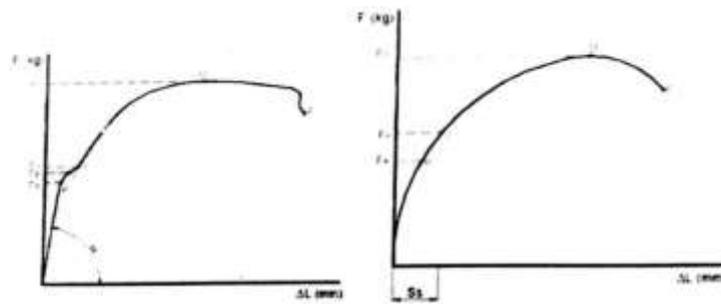
Gambar 2.9. Pengujian Liquid Penetrant (<http://www.alatuji.com/article/detail/36/ndt>: diakses pada 2 Februari 2017)

2.7 Destructive Test (Uji Rusak)

Uji rusak adalah sebuah pengujian suatu spesimen ataupun material dengan cara merusak. Pengujian rusak yang dilakukan bisa berupa pemberian beban tarik, tekan dan yang sampai kemampuan batas dari spesimen material tersebut.

2.7.1 Uji Tarik (Tensile Test)

Uji tarik adalah uji yang dilakukan pada suatu specimen dengan cara memberikan beban tarik pada specimen. Sebelum melakukan pengujian tarik mula – mula specimen akan di bentuk menjadi batang uji, selanjutnya batang uji akan di tempatkan pada mesin penguji. Specimen akan di tarik dengan beban dan kecepatan tertentu sehingga akan menghasilkan diagram seperti contoh berikut :



a. untuk baja (*ferrous*) b. untuk aluminium (*non-ferrous*)

Gambar 2.10. Diagram Kurva (F- Δλ) hasil uji Tarik (Sahri : 2015)

Bisa di katakana dari kurva untuk penambahan panjang material pada karbon rendah sebanding dengan beban yang di kenakan. Jika dilakukan penambahan beban pada material yang sama maka akan mengakibatkan deformasi elastis, yang berarti benda/ material akan kembali ke panjang semula setelah tegangan di hilangkan, dan apabila di tambah dengan beban yang lebih besar lagi maka material akan mengalami deformasi plastis. Yang berarti benda akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk secara permanen meskipun beban yang di berikan sudah di hilangkan.

Pada saat kurva menunjukkan perubahan dari garis lurus ke perubahan bentuk garis kurva dengan tanpa adanya penambahan beban yang berarti, maka posisi ini dinamakan dengan yield point atau saat luluh. Penentuan titik luluh untuk logam masih belum jelas, karena masih sangat bergantung pada alat ukur yang digunakan. Maka dari itu di buat kesepakatan untuk menyamakan interpretasi : luluh terjadi pada saat deformasi permanen mencapai titik tertentu. Adapun batas deformasi permanen/ plastis yang biasa di gunakan adalah 0,1% dan 0,2%. Dan untuk menentukan tegangan yang bersesuaian dengan deformasi permanen maka di tarik garis lurus dari titik regangan sebesar 0,1% atau 0,2%. Sejajar dengan linier dari kurva tegangan – regangan.

Beban maksimum yang dapat di terima oleh specimen tanpa patah dinamakan dengan tegangan maksimum. Tegangan maksimum dinyatakan dengan :

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Sampai dengan tegangan maksimum, deformasi terjadi secara homogen sepanjang specimen. Setelah terjadi tegangan maksimum maka akan terjadi pengecilan luas penampang (necking) pada logam yang ulet, dimana terjadi penambahan panjang di barengi dengan penurunan beban/tegangan. Dan setelah itu specimen akan patah di bawah posisi maksimum. Logam getas akan patah dan titik F menunjukkan patah pada saat beban maksimum.

Peristiwa yang di alami oleh benda uji adalah perubahan bentuk, dalam aliran memanjang yang berbanding lurus dengan pertambahan gaya. Deformasi pada tingkat ini di sebut deformasi elastis. Dilepaskan ($P = 0$ ton) maka benda uji akan kembali ke bentuk semula dengan ukuran semula seperti sebelum mengalami pembebanan yaitu L_0 . Pada daerah akan berlaku hukum Hook, yang menyatakan :

- Modulus Elastisitas : $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ (2.2)

- Tegangan Sebesar : $\sigma = \frac{P}{A_0}$ (2.3)

- Regangan Sebesar : $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L-L_0)}{L_0}$ (2.4)

Dimana :

E = Modulus Elastisitas

σ = Tegangan Tarik

ϵ = Regangan

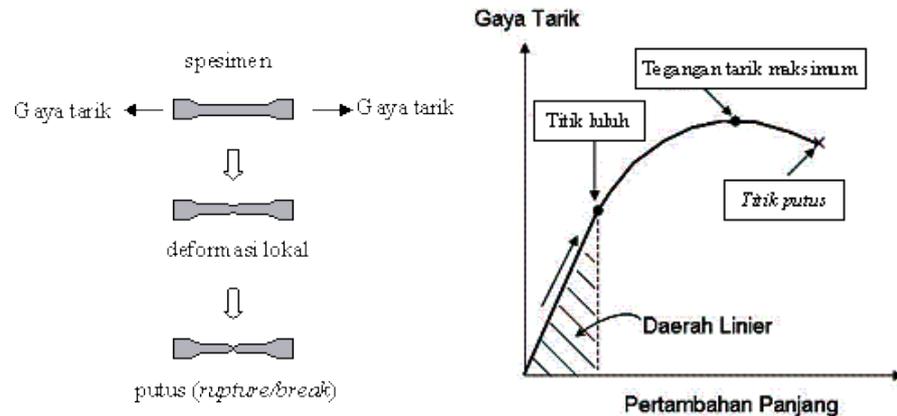
A_0 = Luas penampang awal sebelum pembebanan

P = Beban yang di berikan pada benda uji

L_0 = Panjang Mula – mula

L_i = Panjang setelah pembebanan

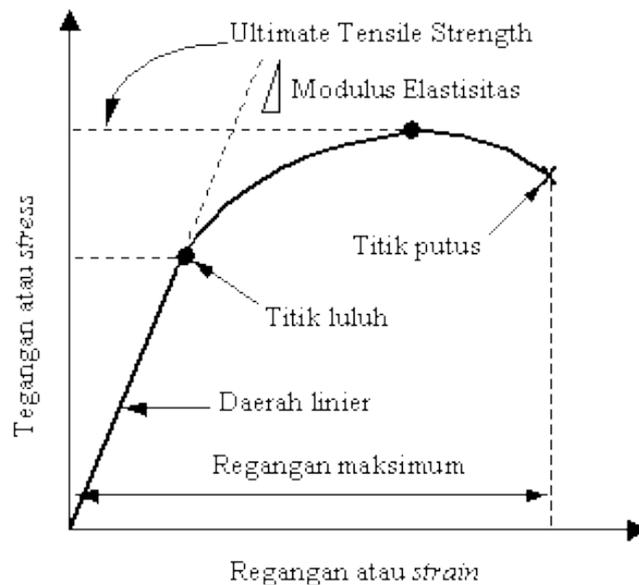
Berikut adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya tarik dengan perubahan panjang.



(a) Hasil spesimen sebelum dan sesudah uji (b) Grafik hasil pengujian

Gambar 2.11. Ilustrasi Pengujian Tarik (Sahri : 2015)

hubungan antara gaya tarikan dan pertambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*). Selanjutnya kita dapatkan kurva 2.9 yang mana merupakan kurva standar ketika dilakukan eksperimen uji tarik. E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap. E diberi nama “*Modulus Elastisitas*” atau “*Young Modulus*”. Kurva yang menyatakan hubungan strain dan stress seperti ini sering disingkat dengan kurva SS.



Gambar 2.12. Skema Kurva Tegangan – Regangan (Sahri : 2012)

Setelah material patah maka akan bisa di tentukan sifat material tersebut. Terdapat tiga sifat material yang berpengaruh juga pada bentuk patahan. Diantaranya adalah :

1. Material Ductile

Material ductile memiliki ciri sebagai berikut :

- Deformasi pada bidang patahan.
- Pada bidang patahan akan membentuk sudut kurang lebih 45° terhadap permukaan.
- bidang patahan membentuk patahan geser (shear function) atau berserat – serat.
- Bentuk bidang patahan di sebut juga *cup and cone*

2. Material Brittle

Material brittle atau getas memiliki ciri sebagai berikut :

- Tidak mengalami deformasi atau bidang patahannya sedikit.
- Sudut bidang patahan membentuk sudut kurang lebih 90° terhadap permukaan.
- Permukaan bidang patahan tampak mengkilap (granular) atau biasa di sebut dengan patahan belah (cleave fracture)
- Bentuk patahan di sebut juga *flat cleavage*.

3. Material Semi Ductile/ Semi Brittle

Material ini memiliki sifat semi *ductile* atau semi *brittle*, yang mana jika di tarik hingga patah maka akan memiliki ciri sebagai berikut :

- Bidang patahan hanya sedikit mengalami deformasi.
- Permukaan bidang patahan tampak seperti bintang (*star fracture*).
- Bentuk bidang patahan di sebut juga partial *cup and cone*.

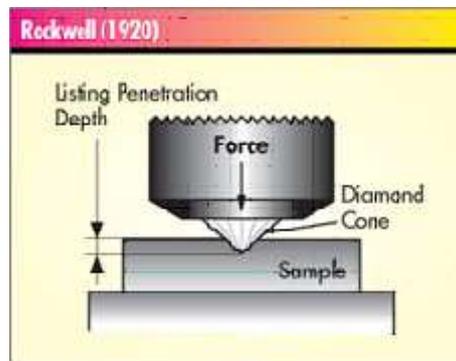
2.8 Uji Kekerasan

Kekerasan adalah suatu sifat mekanik yang di miliki suatu material. Material akan di uji ketahanan terhadap penetrasi/daya tembus yang lebih besar (penetrator). Kekerasan juga berhubungan dengan ketahanan suatu material terhadap goresan, bending ataupun pengikisan. Kekerasan ini di pengaruhi dengan unsur – unsur paduan bahan.

2.8.1 Uji Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan Rockwell adalah pengujian dengan menggunakan indenter kerucut dengan ujung diameter 0,2 mm. indenter ini akan di tekan ke spesimen dengan beban 150 Kgf. Harga kekerasan spesimen di tentukan dengan kedalam indenter ke spesimen.

Harga kekerasan dari Rockwell biasa di singkat HRC. Pada logam – logam yang keras, indenter akan meninggalkan bekas dengan ukuran diameter 0.8 mm dan kedalam 0,25 mm. pengujian ini dilakukan untuk material keras dengan nilai kekerasan berkisar 20 HRC – 70 HRC.



2.13. Skema Uji Kekerasan Rockwell (Pratama : 2013)

$$HR = E - e \dots\dots\dots (2.4)$$

F0 = beban pendahuluan dalam Kgf

F1 = beban tambahan dalam Kgf

F = beban total dalam Kgf

e = penambahan kedalaman tapak tekan setelah penambahan beban F1, di ukur dengan satuan dalam 0.002mm

E = constant depending on form of indenter: 100 units for diamond indenter, 130 units for steel ball indenter

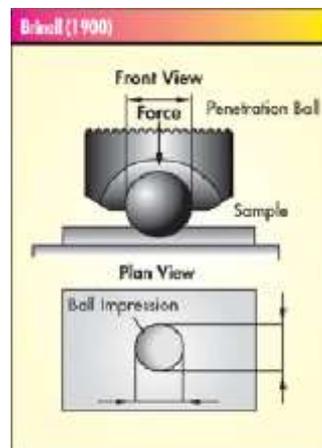
HR = Rockwell hardness

D = diameter bola baja

2.8.2 Uji Kekerasan Brinell

Uji kekerasan suatu bahan dengan cara pembentukan lekukan memakai bola baja yang memiliki diameter 10mm dan diberikan beban 500 Kgf , 1500 Kgf dan 3000kgf. Diameter yang tertinggal yang di hasilkan oleh indentor akan di ukur menggunakan mikroskop. Kekerasan brinell di hitung dengan membagi beban yang di gunakan dengan luas permukaan tapak tekan yang tertinggal

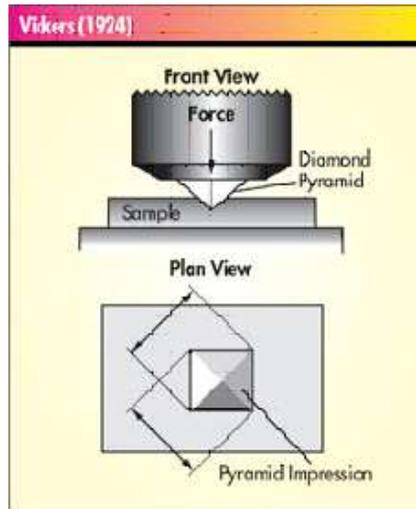
Contoh angka kekerasan brinell akan di tunjukkan sebagai berikut “85 HB 10/500/30” dimana ini menunjukkan angka kekerasan 85 yang di tentukan menggunakan bola baja berdiameter 10 mm dengan pembebanan 500 Kgf, dan dilakukan selama 30 detik.



2.14. Skema Uji Kekerasan Brinell (Pratama : 2013)

2.8.3 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan ini adalah pengujian dengan menggunakan indentor berupa intan yang berbentuk piramid dengan beralas bujur sangkar dan sudut puncak berhadapan 136° . Prinsip kerjanya dengan menekan indentor sampai 100kgf. Beban akan di tekan dengan waktu 10 sampai 15 detik. Bekas penekan dari diagonal akan diukur dengan mikroskop dan diambil rata-ratanya. Luas tapak tekan akan dapat di hitung dengan cara membagi beban yang digunakan dengan luasan tapak tekan dalam mm^2 . Angka kekerasan vicker dalam satuan HV (hardness Vickers).



Gambar 2.15. Uji kekerasan Vickers (Pratom : 2013)

Dimana :

F = beban (kgf)

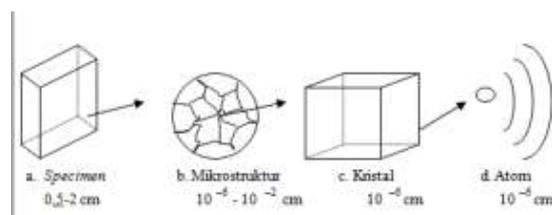
d = rata – rata diameter tapak tekan

HV = Hardness Vickers

Uji kekeran Vickers ini memiliki kelebihan diantaranya adalah nilai akurasi yang tinggi dan hanya membutuhkan ujung idendor yang sama untuk setiap jenis logam. Namun di sisi lain, uji vicker membutuhkan biaya yang tinggi untuk melakukan satu kali uji.

2.9 Uji Metalografi

Metalografi merupakan suatu metode yang di gunakan untuk melihat struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan elektron. Dan struktur yang terlihat pada mikroskop di sebut dengan mikrostruktur. Pengamatan dilakukan pada material atau spesimen yang telah mengalami proses tertentu. Berikut gambar yang menjelaskan spesimen dengan pembesaran lingkup tertentu.



Gambar 2.16. Spesimen, ukuran dan obyek pembesaran (Widharto, 2007)

2.9.1 Uji Makro

Uji makro adalah pengujian dengan mata terbuka atau bisa di katakana dengan cara visual, tujuan dari tes ini adalah untuk melihat serta memeriksa celah dan lubang pada material atau spesimen. Angka kevalidan dari pengujian berkisar antara 0,5 sampai dengan 50 kali. Uji makro biasanya dilakukan pada struktur yang tergolong besar. Misal pada logam hasil cor, dan bahan non metal.

2.9.2 Uji Mikro

Pengujian mikro dilakukan untuk mengetahui struktur material melalui pembesaran mencapai 500x dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, dapat diamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Tahap yang dilakukan untuk proses ini adalah mounting, grinding, polishing dan etching. Agar permukaan material dapat diamati secara metalografi, maka perlu dilakukan persiapan sebagai berikut :

1. Pemotongan Spesimen

Pemotongan di harapkan dalam keadaan datar agar memudahkan dalam pengamatan.

2. Mounting Spesimen

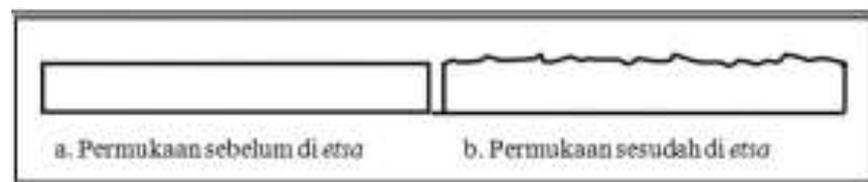
Mounting spesimen adalah pilihan yang di perlukan. Apabila material yang kan di uji adalah material dengan ketebalan tipis dan kecil maka di perlukan mounting. Apabila material tebal maka tidak perlu di lakukan.

3. Grinding dan Polishing

Tahap ini dilakukan untuk membentuk permukaan spesimen yang benar – benar rata. Grinding dilakukan dengan cara menggosok spesimen, cara ini dilakukan dengan menggunakan mesin grinding yang di berikan kertas gosok (ampelas) dengan grid 240 sampai dengan yang paling halus. Dan untuk polishing dilakukan dengan menggosok spesimen dengan mesin polishing yang menggunakan kain wool dan di berikan serbuk alumina dengan kehalusan 1 – 0,05 mikron. Serbuk ini berguna sebagai penghalus permukaan spesimen sehingga akan lebih mudah untuk melakukan metalografi.

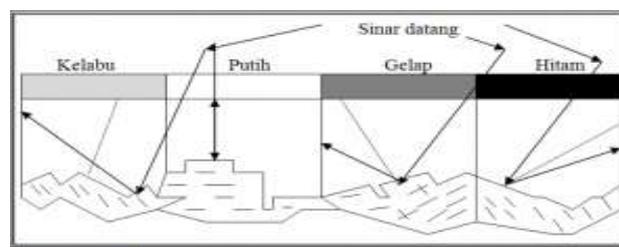
4. Etching

Proses ini adalah proses mengkorosikan permukaan spesimen yang telah rata oleh proses grinding dan polishing menjadi tidak rata lagi. Permukaan spesimen yang tidak rata ini dikarenakan perbedaan mikrostruktur yang dilarutkan dengan kecepatan berbeda. Sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda. Proses etching ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen ke cairan etsa. Pada setiap jenis logam memiliki cairan etsa (etching reagent) tersendiri. Berikut adalah contoh pengaruh proses etching permukaan spesimen yang telah dilakukan proses grinding dan polishing.



Gambar 2.17. Pengaruh Etsa terhadap spesimen (Widharto, 2007)

Setelah material sudah di etsa maka material akan siap untuk di amati di bawah mikroskop dan pengambilan foto metalografi. Pengamat ini ditujukan untuk melihat intensitas sinar pantul permukaan logam yang di masukan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda. Jadi, apabila sinar dikenakan pada permukaan bidang yang terkena sinar maka sinar akan di pantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Berikut gambar pantulan sinar pengamatan metalografi.



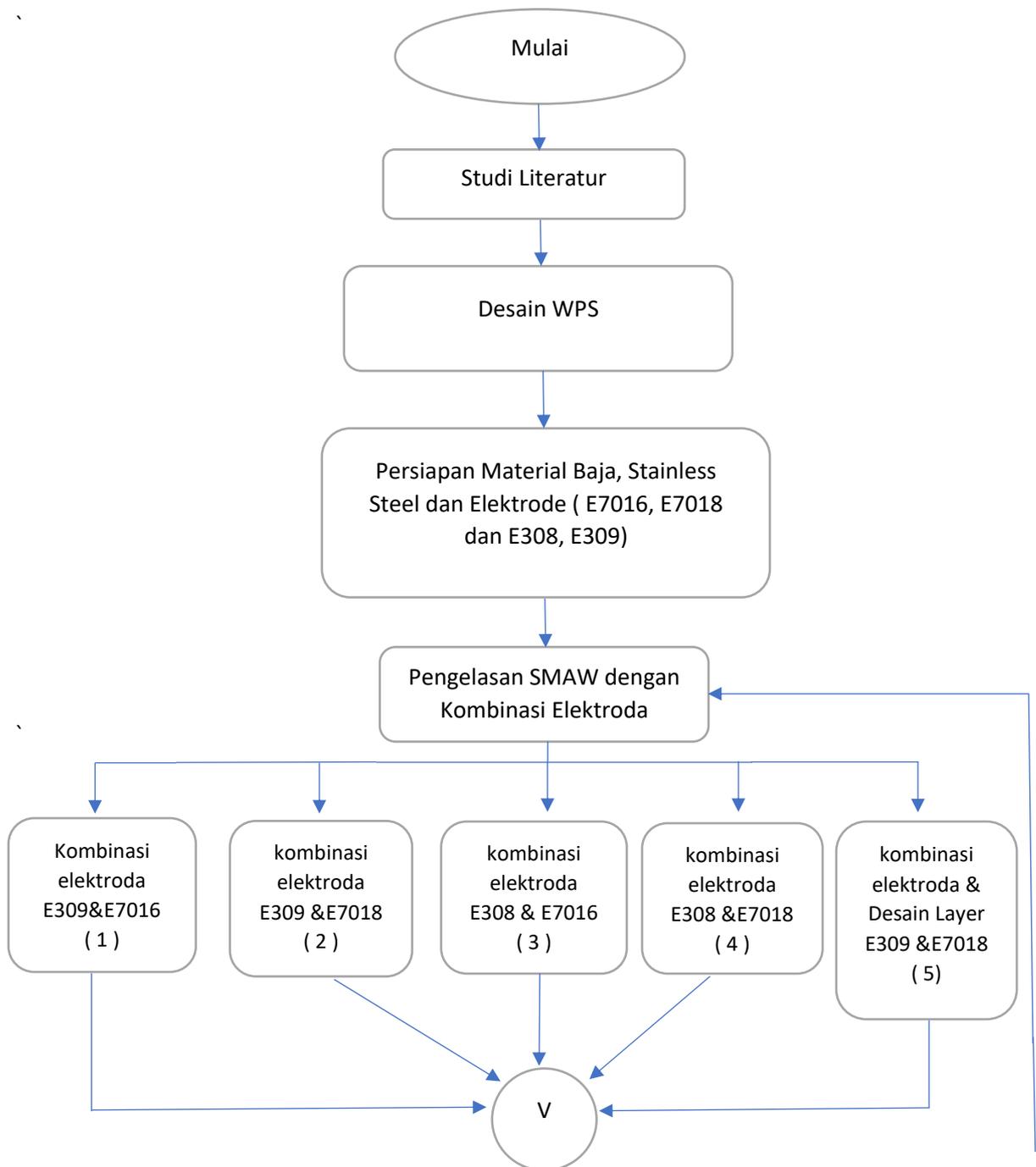
Gambar 2.19. Pantulan sinar pada pengamatan metalografi (Widharto, 2007)

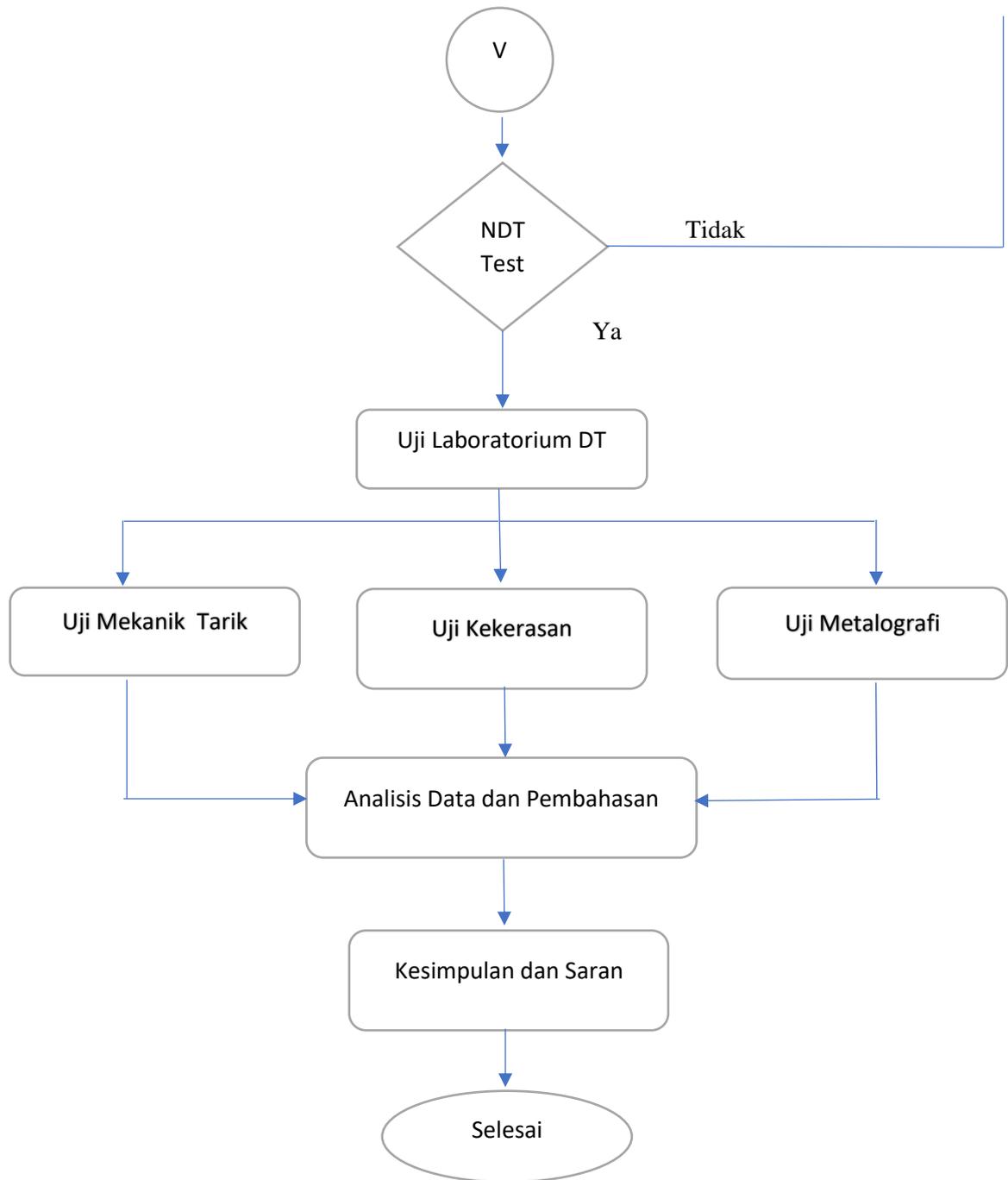
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Diagram Alir

Prosedur pelaksanaan penelitian tugas akhir dilakukan berdasarkan diagram flow chart sebagai berikut :





Gambar 3.1. Flow Chart Pekerjaan Penelitian Tugas Akhir

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Penjelasan dari diagram alir diatas akan dijelaskan pada langkah-langkah dibawah ini:

1. Studi Literatur

Studi literatur yang akan di lakukan adalah dengan mencari jurnal – jurnal, laporan serta buku referensi mengenai pengelasan dissimilar . Literatur yang dicari adalah literature yang berhubungan dengan rumusan masalah, dasar teori, dan ruang lingkup dari penelitian ini.

2. Desain WPS

Desain WPS adalah dokumen tertulis dibuat untuk mengarahkan juru las atau Welder untuk memproduksi pengelasan sesuai dengan standart yang di inginkan.

3. Persiapan Material Uji

Penelitian ini menggunakan material baja ASTM A36 dan stainless steel SUS304. Material akan di buat spesimen berupa persegi panjang.

4. Persiapan Proses Pengelasan

Pada persiapan proses pengelasan ini akan di buat 4 buah spesimen dengan kombinasi silang antar elektroda dengan pengelasan baja dan stainless steel. Proses pengelasan sendiri akan menggunakan proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arch Welding*). Dalam proses pengelasan terdapat prosedur keselamatan dan alat penunjang pengelasan. Alat penunjang dalam pengelasan adalah sebagai berikut :

- Mesin las SMAW lengkap dengan peralatannya.
- Pelindung Mata
- Sarung Tangan
- Masker
- Sikat Baja
- Palu
- Penggaris
- Jangka Sorong
- Stopwatch
- Bak Las

A. *Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

- Mempersiapkan material yang akan di las. Pada tahap ini akan di lakukan empat kali pengelasan dengan variasi campuran dan persilangan antar electrode baja dengan stainless steel . Masing – masing material di siapkan dengan ukuran 15 cm x 15 cm.
- Material sudah di bentuk *single V-groove* dan sudut *bevel* 60° pada sambungan *butt joint*.
- Proses pengelasan mulai dilakukan
- Setelah pengelasan selesai maka material akan di diamkan sampai dingin terlebih dahulu dan akan mulai dibersihkan dari kerak – kerak yang menempel menggunakan palu dan sikat baja.

5. Pengujian NDT

- Pengujian di lakukan setelah pembersihan kerak pada bagian sambungan las sudah benar – benar bersih. Dan selanjutnya akan di lakukan pengujian dengan radiografi untuk melihat apakah terdapat cacat pada weld joint.



Gambar 3.2 Alat uji untuk Radiografi

6. Uji Tarik Mekanik

- Uji Tarik specimen ini akan di lakukan di laboratorium dengan menggunakan standart ASME dan tiap hasil uji tarik akan di lakukan perbandingan.



Gambar 3.3 Alat uji mekanik tarik hal 32

7. Uji Kekerasan

- Uji kekerasan pada spesimen akan di lakukan dengan menggunakan metode Vickers. Setiap spesimen akan di test untuk di bandingkan kekerasan pada daerah weld joint. Uji kekerasan ini menggunakan spesimen dengan ukuran 60x20x8 mm sesuai dengan standart ASTM E92 *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*.

Alat – alat untuk mempersiapkan pengujian uji kekerasan adalah :

1. Mesin uji Vickers
2. Spesimen yang sudah di bentuk sesuai standart
3. Jangka sorong
4. plastisin
5. Tabel pengamatan

8. Uji Metalografi

Pengujian metalografi ini mengacu pada standar ASTM E3-01 – *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens* dengan ukuran spesimen 60x20x8 mm.

Pengamatan metalografi akan di bagi menjadi dua yaitu :

- A. Pengamatan foto makro. Pengamatan ini akan di lakukan secara menyeluruh spesimen dengan menggunakan mikroskop optic dengan pembesaran 10x . Daerah yang menjadi tinjauan adalah daerah sambungan (weld joint).
- B. Pengamatan mikro. Pengamatan ini akan menggunakan mikroskop dengan kemampuan pembesaran mencari 500x.

9. Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini akan di lakukan Analisa berdasarkan hasil dari penelitian. Semua data yang di dapatkan akan di kelompokkan dan di bandingkan dengan standart yang berlaku. Sehingga didapatkan pembahasan dari tujuan awal penelitian di lakukan.

10. Kesimpulan

Dari hasil penelitian akan di dapatkan kesimpulan dan saran. Dari kesimpulan dan saran tersebut dapat menjadi acuan untuk pengembangan penelitian yang akan di lakukan selanjutnya.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Material dan Perancangan Welding Procedure Specification

Penelitian pengelasan ini dilakukan di Laboratorium Welding Center PPNS. Pengelasan dilakukan pada material baja ASTM A36 dengan Stainless Steel SUS304, dimensi pengelasan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Panjang : 300 mm.

Lebar : 150 mm.

Tebal : 8 mm.



Gambar 4.1. Material Baja A36 dan Stainless steel SUS304 Sebelum Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan dengan melihat *Welding Procedure Specification* yang di tunjukkan sebagai berikut :

4.1.1 Welding Procedure Specification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 dengan Kombinasi Elektroda E309 & E7016

Berdasarkan Welding procedure Specification (WPS) kombinasi pengelasan baja dengan stainless steel dengan sudut single V groove di dapatkan 3 Layer pengelasan. Masing – masing layer akan di jelaskan sebagai berikut :

- Layer 1

Layer pertama adalah root weld atau pengelasan dasar pada material. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E309 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 80 Ampere dengan tegangan 20 – 24 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 73 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0,85 Kj/mm.

- Layer 2

Layer kedua adalah fill atau daerah isian elektroda. Pada pengelasan ini elektroda yang akan digunakan adalah elektroda tipe E7016 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan sebesar 100 Ampere, dengan tegangan 20 -26 Volt. Pada pengelasan layer kedua ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 68 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,04 Kj/mm.

- Layer 3

Layer ketiga adalah capping atau pengelasan daerah atas lasan. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E7016 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 100 Ampere dengan tegangan 20 – 26 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 78 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,19 Kj/mm.

Untuk *Welding Procedures Specification* (WPS) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran - A.

4.1.2 Welding Procedure Specification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 dengan Kombinasi Elektroda E309 & E7018

Berdasarkan Welding procedure Specification (WPS) kombinasi pengelasan baja dengan stainless steel dengan sudut single V groove di dapatkan 3 Layer pengelasan. Masing – masing layer akan di jelaskan sebagai berikut :

- Layer 1
Layer pertama adalah root weld atau pengelasan dasar pada material. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E309 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 80 Ampere dengan tegangan 20 – 24 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 68 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0,8 Kj/mm.
- Layer 2
Layer kedua adalah fill atau daerah isian elektroda. Pada pengelasan ini elektroda yang akan digunakan adalah elektroda tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan sebesar 100 Ampere, dengan tegangan 20 -26 Volt. Pada pengelasan layer kedua ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 70 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,07 Kj/mm.
- Layer 3
Layer ketiga adalah capping atau pengelasan daerah atas lasan. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 100 Ampere dengan tegangan 20 – 26 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 74 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,13 Kj/mm.

Untuk *Welding Procedures Specification* (WPS) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran - A.

4.1.3 Welding Procedure Spesification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 dengan Kombinasi Elektroda E308 & E7016

Berdasarkan *Welding procedure Spesification* (WPS) kombinasi pengelasan baja dengan stainless stell dengan sudut single V groove di dapatkan 3 Layer pengelasan. Masing – masing layer akan di jelaskan sebagai berikut :

- Layer 1
Layer pertama adalah root weld atau pengelasan dasar pada material. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E308 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 75 Ampere dengan tegangan 20 – 26 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan

adalah 70 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0,8 Kj/mm.

- Layer 2

Layer kedua adalah fill atau daerah isian elektroda. Pada pengelasan ini elektroda yang akan digunakan adalah elektroda tipe E7016 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan sebesar 100 Ampere, dengan tegangan 20 -26 Volt. Pada pengelasan layer kedua ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 74 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,13 Kj/mm.

- Layer 3

Layer ketiga adalah capping atau pengelasan daerah atas lasan. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E7016 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 100 Ampere dengan tegangan 20 – 26 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 72 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,10 Kj/mm.

Untuk *Welding Procedures Specification* (WPS) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran - A.

4.1.4 Welding Procedure Spesification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 dengan Kombinasi Elektroda E308 & E7018

Berdasarkan *Welding procedure Spesification* (WPS) kombinasi pengelasan baja dengan stainless stell dengan sudut single V groove di dapatkan 3 Layer pengelasan. Masing – masing layer akan di jelaskan sebagai berikut :

- Layer 1

Layer pertama adalah root weld atau pengelasan dasar pada material. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E308 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 80 Ampere dengan tegangan 20 – 24 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 75 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0,9 Kj/mm.

- Layer 2

Layer kedua adalah fill atau daerah isian elektroda. Pada pengelasan ini elektroda yang akan digunakan adalah elektroda tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan sebesar 100 Ampere, dengan tegangan 20 -26 Volt. Pada

pengelasan layer kedua ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 68 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,04 Kj/mm.

- Layer 3

Layer ketiga adalah capping atau pengelasan daerah atas lasan. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 100 Ampere dengan tegangan 20 – 26 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 71 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,09 Kj/mm.

Untuk *Welding Procedures Specification* (WPS) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran - A.

4.1.5 Welding Procedure Specification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 dengan Kombinasi Elektroda E308 & E7018 dan Desain *Weld Layer*.

Berdasarkan *Welding procedure Specification* (WPS) kombinasi pengelasan baja dengan stainless steel dengan sudut single V groove di dapatkan 4 Layer pengelasan. Masing – masing layer akan di jelaskan sebagai berikut :

- Layer 1

Layer pertama adalah root weld atau pengelasan dasar pada material. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E309 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 80 Ampere dengan tegangan 20 – 24 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 69 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0,81 Kj/mm.

- Layer 2

Layer kedua adalah fill atau daerah isian elektroda. Pada pengelasan ini elektroda yang akan digunakan adalah elektroda tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan sebesar 100 Ampere, dengan tegangan 20 -26 Volt. Pada pengelasan layer kedua ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 74 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,13 Kj/mm.

- Layer 3

Layer ketiga adalah capping atau pengelasan daerah atas lasan. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E309 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 100 Ampere dengan

tegangan 20 – 26 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 70 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,07 Kj/mm.

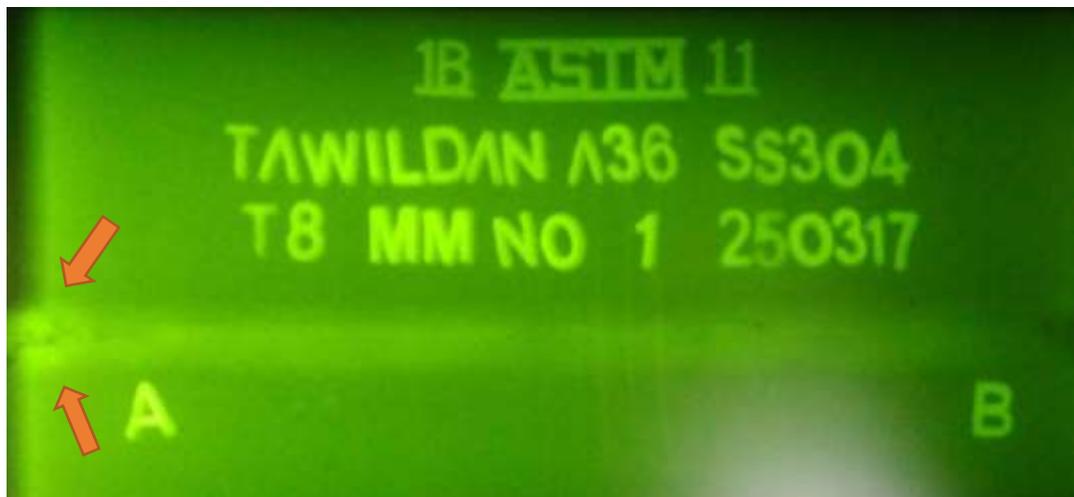
- Layer 4

Layer ke empat adalah capping atau pengelasan daerah atas lasan. Pada pengelasan ini elektroda yang akan di gunakan adalah elektroda tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang di gunakan pada layer root weld sebesar 100 Ampere dengan tegangan 20 – 26 Volt. Pada pengelasan tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 70 detik. Sehingga dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 1,18 Kj/mm.

Untuk *Welding Procedures Specification* (WPS) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran - A.

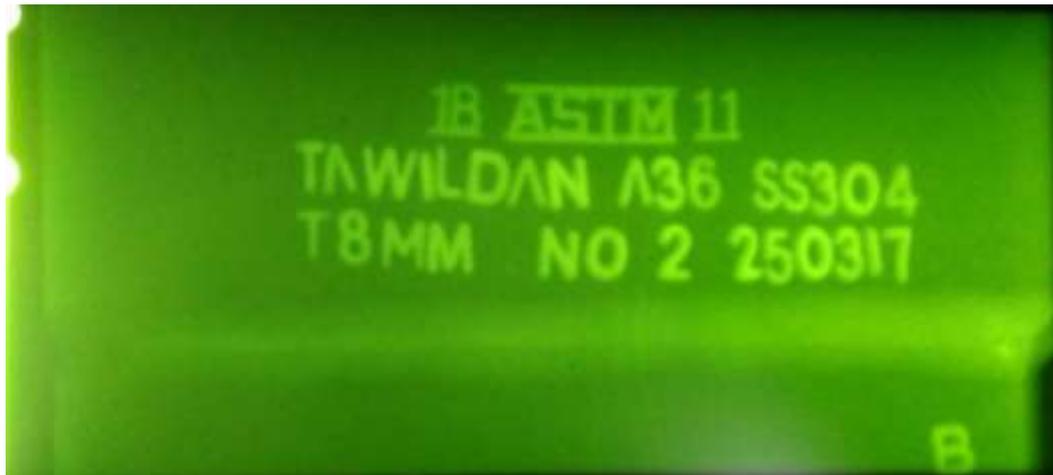
4.2 Hasil Inspeksi Radiografi

Radiografi merupakan metoda yang digunakan untk pengujian tanpa merusak. Metode ini menggunakan radiasi sinar-x yang di tembakan pada material uji untuk melihat apakah ada kerusakan pengelasan berupa cacat, crack, *incomplete penetration* dan lain sebagainya. Berikut adalah hasil inspeksi radiografi :



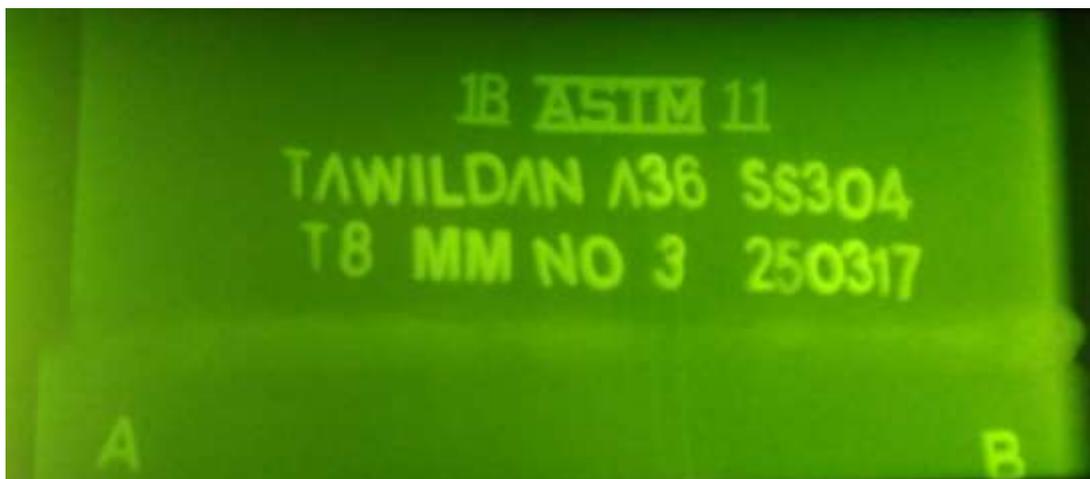
Gambar 4.2 Hasil pengujian radiografi pengelasan SMAW baja karbon A36 dengan stainless steel SUS304 dengan electrode E309 dan E7016

Dari hasil pengujian radiografi pengelasan no 1 ditemukan cacat pengelasan berupa *cluster* pada ujung atau *start* pengelasan, hal ini masih dapat di abaikan karena bagian ujung (*start* dan *stop*) akan di buang dan tidak akan di buat sebagai spesimen sesuai dengan standart pengujian ASME *Sec IX*, 2002.



Gambar 4.3 Hasil pengujian radiografi pengelasan SMAW baja karbon A36 dengan stainless steel SUS304 dengan electrode E309 dan E7018

Dari hasil pengujian radiografi pengelasan no 2 tidak di temukan cacat pengelasan sama sekali sehingga hasil pengelasan material no 2 bisa di lanjutkan untuk pengujian laboratorium.



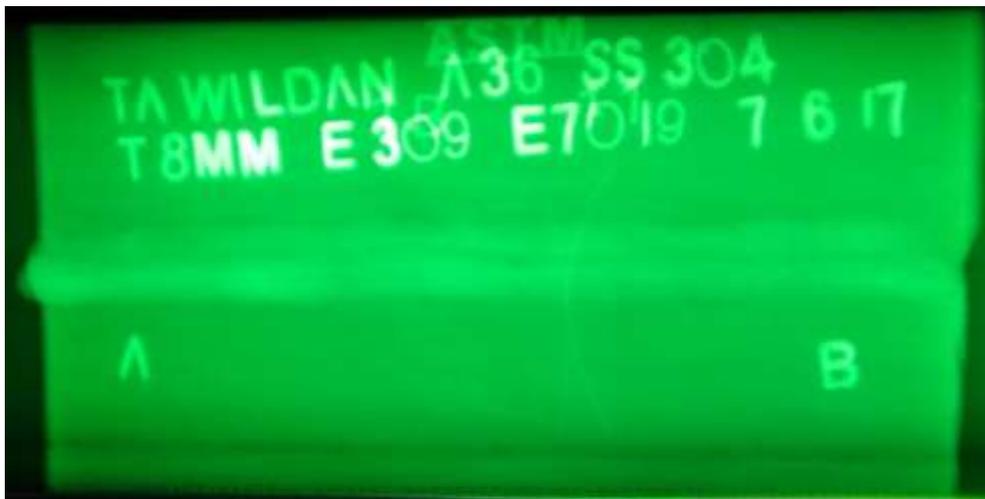
Gambar 4.4 Hasil pengujian radiografi pengelasan SMAW baja karbon A36 dengan stainless steel SUS304 dengan electrode E308 dan E7016

Dari hasil pengujian radiografi pengelasan no 3 tidak di temukan cacat pengelasan sama sekali sehingga hasil pengelasan material no 3 bisa di lanjutkan untuk pengujian laboratorium.



Gambar 4.5 Hasil Pengujian Radiografi Pengelasan SMAW Baja Karbon A36 dengan Stainless Steel SUS304 dengan Electrode E308 dan E7018

Dari hasil pengujian radiografi pengelasan no 4 tidak di temukan cacat pengelasan sama sekali sehingga hasil pengelasan material no 4 bisa di lanjutkan untuk pengujian laboratorium.



Gambar 4.6 Hasil Pengujian Radiografi Pengelasan SMAW Baja Karbon A36 dengan Stainless Steel SUS304 dengan Variasi Electrode dan Desain *weld layer* E309 dan E7018

Dari hasil pengujian radiografi pengelasan no 5 tidak di temukan cacat pengelasan sama sekali sehingga hasil pengelasan material no 5 bisa di lanjutkan untuk pengujian laboratorium.

4.3 Pembuatan Spesimen Uji Tarik dan Pengujian Tarik Mekanik

Pembuatan spesimen uji mengacu pada standart atau *code* yang di lakukan. Pada pembuatan spesimen uji tarik mengacu pada standart ASME Section IX, 2002.

4.3.1 Pembuatan Spesimen

Test tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan metal untuk menerima beban tarik. Test ini dilakukan dengan cara memberikan beban tarik sampai material atau metal putus dan akan di ketahui pada grafik beban tertinggi atau *yield strength*. Sebelum melakukan pegujian tarik, material hasil pengelasan akan di potong dan bentuk sesuai dengan spesifikasi sebagai berikut :

Untuk pembuatan spesimen uji tarik di perlukan alat – alat sebagai berikut :

1. Mesin potong hidrolik
2. Gerinda grade 80 dan 120
3. Jangka sorong
4. Penggores besi
5. Sarung tangan
6. Alat tulis

Setelah semua alat – alat siap maka dapat di lakukan pembuatan spesimen dengan langkah sebagai berikut :

1. Letakan material hasil uji NDT di mesin pemotong hidrolik. Ukur lebar lebar material yang di butuhkan. Untuk spesimen uji tarik lebar sesuai standart ASME IX adalah 32mm.



Gambar 4.7 Pemotongan Spesimen uji tarik

2. Letakkan spesimen yang telah di potong memanjang di meja penjepit.
3. Gambar pola untuk pengujian spesimen dengan menggunakan penggores besi. Bentuk pola sesuai dengan standart.
4. Bentuk spesimen dengan mesin gerinda.



Gambar 4.8 Proses Pembentukan spesimen tarik

5. Haluskan bentuk spesimen dengan gerinda grade 120



Gambar 4.9 Hasil pembentukan spesimen

6. Setelah itu ukur dan catat bagian lebar lengkungan spesimen dengan menggunakan jangka sorong digital dan hitung ketebalan spesimen juga.

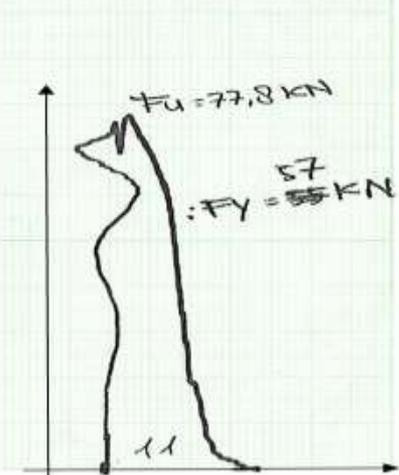
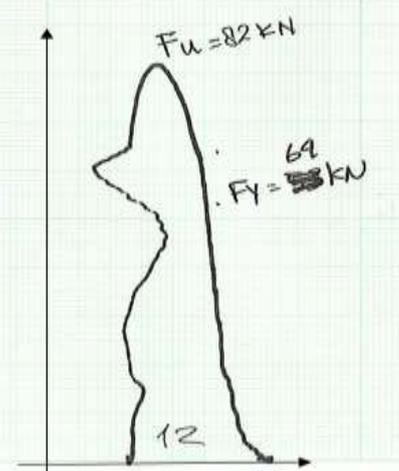


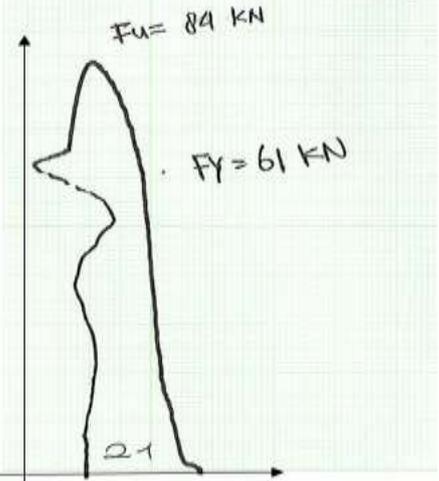
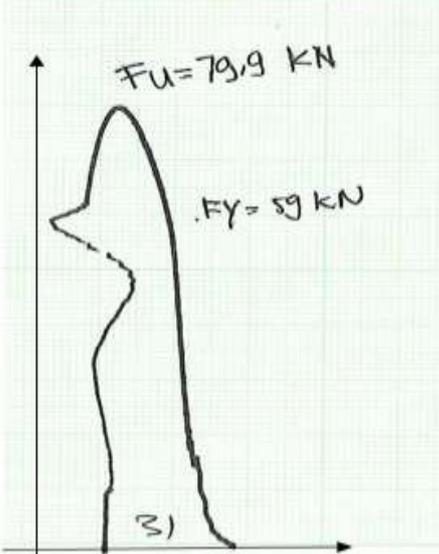
Gambar 4.10 Menghitung luasan width dan ketebalan menggunakan jangka sorong

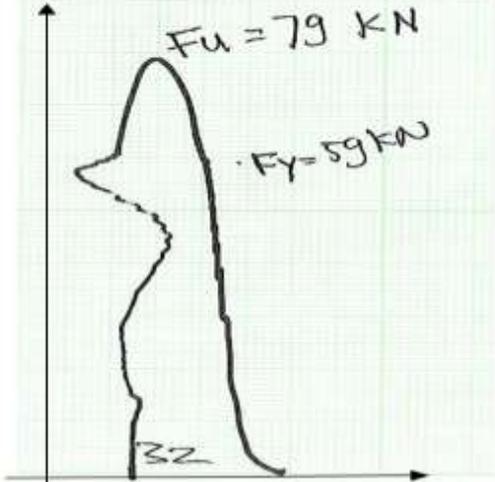
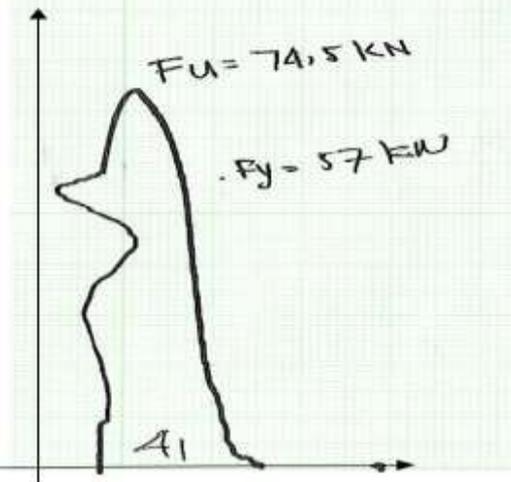
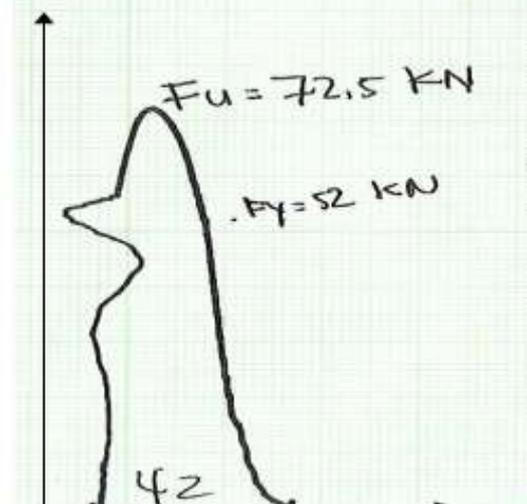
4.3.2 Hasil Pengujian Tarik Mekanik

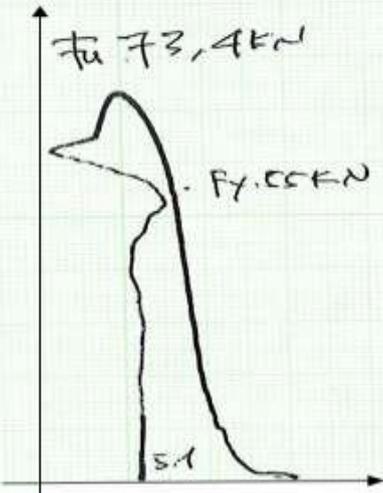
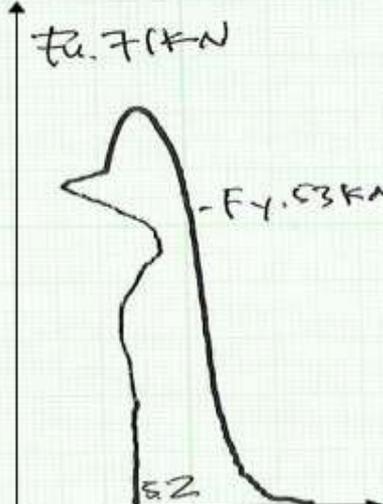
Hasil pengujian tarik mekanik pada setiap spesimen di tunjukkan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Garaf Pengujian Uji Tarik

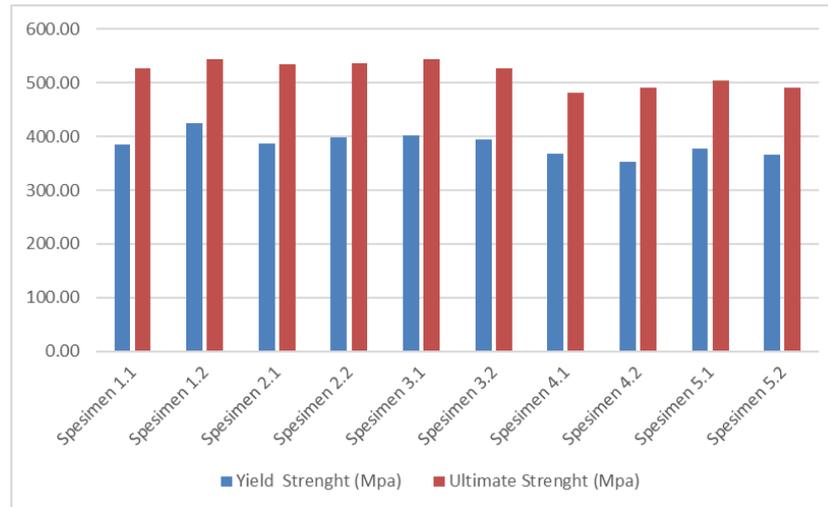
Kode Material	Grafik Uji Tarik	Deskripsi
1.1		<ul style="list-style-type: none">• Titik tarik (F_y) = 57 KN• Titik ultimate (F_u) = 77,8 KN
1.2		<ul style="list-style-type: none">• Titik tarik (F_y) = 64 KN• Titik ultimate (F_u) = 82 KN

2.1		<ul style="list-style-type: none"> • Titik tarik (F_y) = 61 KN • Titik ultimate (F_u) = 84 KN
2.2		<ul style="list-style-type: none"> • Titik tarik (F_y) = 61 KN • Titik ultimate (F_u) = 82,2 KN
3.1		<ul style="list-style-type: none"> • Titik tarik (F_y) = 59 KN • Titik ultimate (F_u) = 79,9 KN

3.2		<ul style="list-style-type: none"> • Titik tarik (F_y) = 59 KN • Titik ultimate (F_u) = 79 KN
4.1		<ul style="list-style-type: none"> • Titik tarik (F_y) = 57 KN • Titik ultimate (F_u) = 74,5 KN
4.2		<ul style="list-style-type: none"> • Titik tarik (F_y) = 52 KN • Titik ultimate (F_u) = 72,5 KN

5.1		<ul style="list-style-type: none"> • Titik tarik (F_y) = 55 KN • Titik ultimate (F_u) = 73,4 KN
5.2		<ul style="list-style-type: none"> • Titik tarik (F_y) = 53 KN • Titik ultimate (F_u) = 71 KN

Dari hasil uji dapat dilakukan perhitungan . perhitungan dilakukan untuk membandingkan masing – masing spesimen dengan variasi campuran elektroda. Untuk perhitungan data dapat di lihat selanjutnya pada lampiran – B . berikut adalah grafik perbandingan spesimen dengan data yang telah di hitung :



Grafik 4.1 Hasil Perbandingan Tiap Spesimen

Dari grafik perbandingan di atas dapat diketahui nilai *Yield Strength* terbesar adalah 424,40 MPa pada spesimen 1.2 dan *Ultimate Strength* terbesar adalah 544,57 MPa pada spesimen 3.1 .

4.4 Pembuatan Spesimen Hardness dan Pengujian

Kekerasan adalah suatu sifat mekanik suatu material. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada *base metal* , *weld metal*, dan *heat effected zone*. Standar code yang digunakan penelitian ini adalah *Vickers Hardness Test* yang mengacu pada standar ASTM E92 – *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*.

4.4.1 Pembuatan spesimen Hardness

Pembuatan spesimen hardnes mengacu pada standart code ASTM E92 – *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials* dengan ukuran spesimen 60x10x12 mm. Proses pembuatan spesimen adalah sebagai berikut :

1. Pemotongan spesimen dengan menggunakan mesin potong hidrolik. Sebelum di potong di ukur terlebih dahulu lebar spesimen yang dibutuhkan.



Gambar 4.11 Pemotongan Material yang Telah Diukur

2. Potong spesimen dengan panjang 60 mm dan haluskan spesimen menggunakan gerinda hingga datar dan rata.
3. Haluskan permukaan material yang akan di uji hardness menggunakan kertas amplas dan mesin poles sampai rata.
4. Persiapkan larutan etsa pada wadah dan gosokkan pada permukaan spesimen yang sudah di poles.



Gambar 4.12 Proses Etsa

5. Bilas dengan air dan keringkan spesimen yang telah di etsa.



Gambar 4.13 Proses Pengeringan Spesimen yang Telah di Etsa dan Bilas dengan air

6. Persiapkan spesimen untuk pengujian *hardness Vickers*.

4.4.2 Proses Pengujian Hardness Vicker

Untuk pengujian *hardness Vickers* dibutuhkan alat – alat sebagai berikut :

1. Plastisin.
2. Alat tulis.
3. Report test result.

Proses pengujian *hardness Vickers* adalah sebagai berikut :

1. Siapkan spesimen dan plastisin, tempelkan plastisin pada dasar spesimen
2. Taruh di meja uji vicker
3. Tembakan indentor ke spesimen.
4. Amati lokasi penembakan spesimen

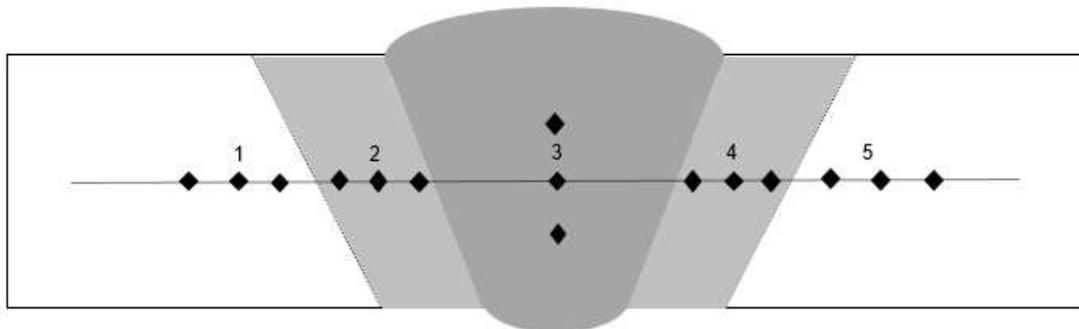


Gambar 4.14 Proses Pengamatan dan Penembakan Spesimen

5. Catat hasil penembakan.

4.4.3 Hasil Pengujian *Hardness Vickers*

Pengujian dilakukan pada 15 titik sebagai berikut :



Gambar 4.15 Titik Pengujian Kekerasan

Dari pengujian 15 titik *Hardness Vickers* di peroleh data sebagai berikut sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda E309 dan E7016

Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	1 Base Metal			2 H A Z			3 Weld Metal			4 H A Z			5 Base Metal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	186.6	172.1	175.3	191.2	213.6	196.6	382.6	398.1	205.0	127.9	175.9	165.9	150.0	154.0	155.2
Average	178.0			200.4			325.7			156.6			153.1		

Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda E309 dan E7018

Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			H A Z			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
	185.5	172.1	175.3	168.6	163.3	190.7	324.8	353.5	380.5	302.4	295.3	293.0	155.6	154.0	158.2
Average	177.6			174.2			352.9			296.9			155.9		

Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda E308 dan E7016

Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			H A Z			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
	136.9	182.7	185.6	305.0	215.9	247.9	159.6	283.1	372.5	174.6	181.6	150.0	130.4	154.5	155.8
Average	168.4			256.3			271.7			168.7			146.9		

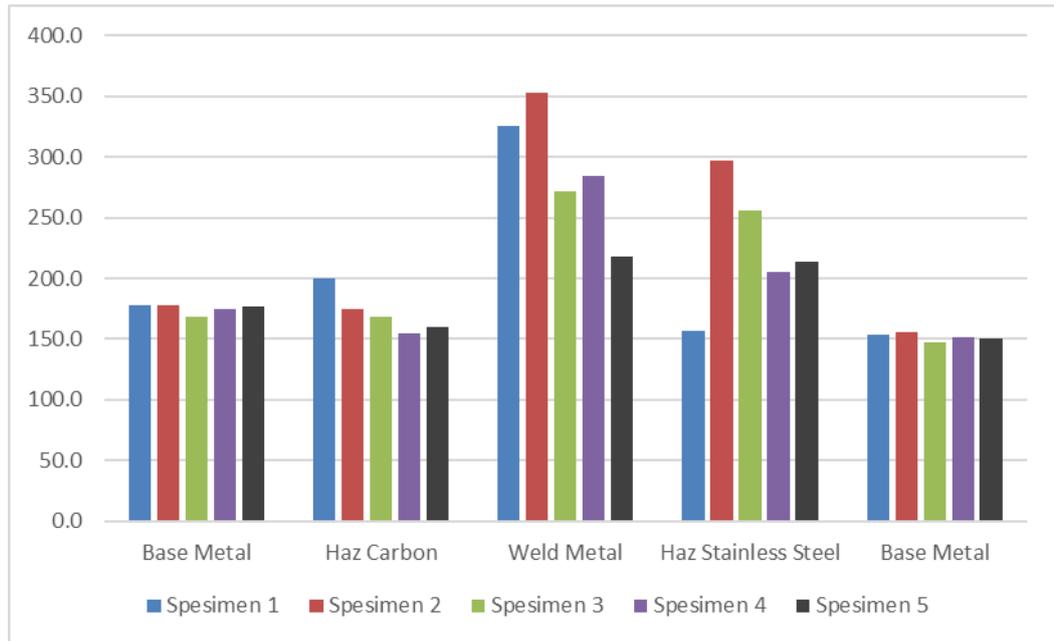
Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda E308 dan E7018

Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			H A Z			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
	179.9	169.1	175.3	168.0	143.8	151.2	250.0	304.8	299.5	215.9	190.7	208.8	149.5	151.2	155.1
Average	174.8			154.3			284.8			205.1			151.9		

Tabel 4.6 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda dan Weld Layer E309 dan E7018

Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			H A Z			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
	180.1	170.3	181.3	175.7	160.7	142.3	265.2	217.9	171.9	201.8	224.0	215.9	152.9	148.9	150.6
Average	177.2			159.6			218.3			213.9			150.8		

Dari hasil nilai kekerasan untuk pengelasan dengan variasi campuran elektroda dapat di tunjukkan grafik sebagai berikut :



Grafik 4.2 Hasil Perbandingan Kekerasan Pada Variasi Elektroda

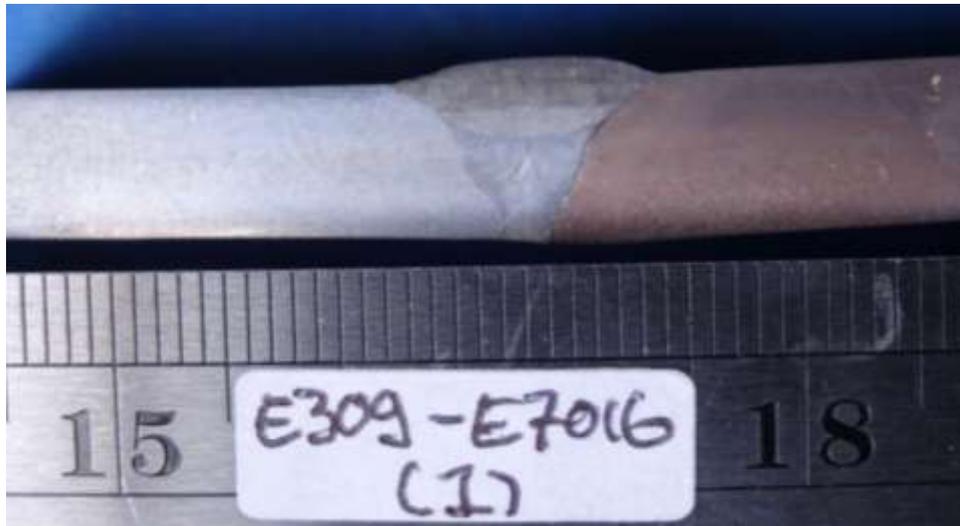
Berdasarkan grafik uji kekerasan pada gambar 4.16 Dapat di ketahui nilai kekerasan tertinggi pada *weld metal* terdapat pada spesimen no 2 dengan variasi electrode E309 dan E7018, dengan nilai 352,9 HVN. Pada daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) baja karbon sebesar 174,2 HVN dan daerah pengaruh (*Heat Affected Zone*) stainless stell sebesar 296.9 HVN.

4.5 Pengujian Metalografi

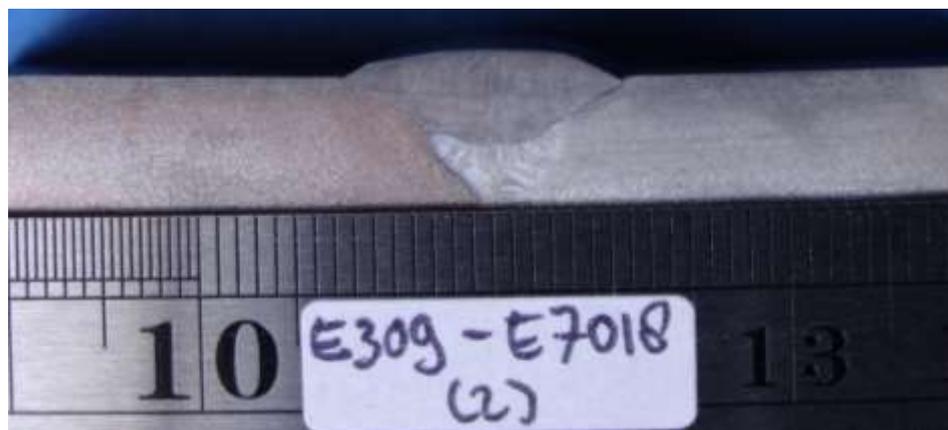
4.5.1 Hasil dan Analisa Pengujian Makro

Metalografi merupakan suatu metode yang di gunakan untuk melihat struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan elektron. Pengujian ini dilakukan dengan pengamatan pembesaran 10x dan pembesaran 500x. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daerah hasil proses pengelasan seperti HAZ (*Heat Affected Zone*), *Weld Metal*, dan *Fusion Line*. Dari hasil pengamatan dapat di ketahui perubahan fase mikro struktur logam. Proses pengamatan di awali dengan proses poles (*polishing*) dari salah satu sisi spesimen. Proses poles ini menggunakan kertas ampelas (*abrasive paper*) dimulai pada grade 80, 100, 160, 240, 360, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000. Permukaan yang telah halus dan mengkilap ini selanjutnya akan di etsa (*etching*). Proses etsa menggunakan campuran larutan dan bahan-bahan kimia CuCl_2 , HCl, alkohol dan air.

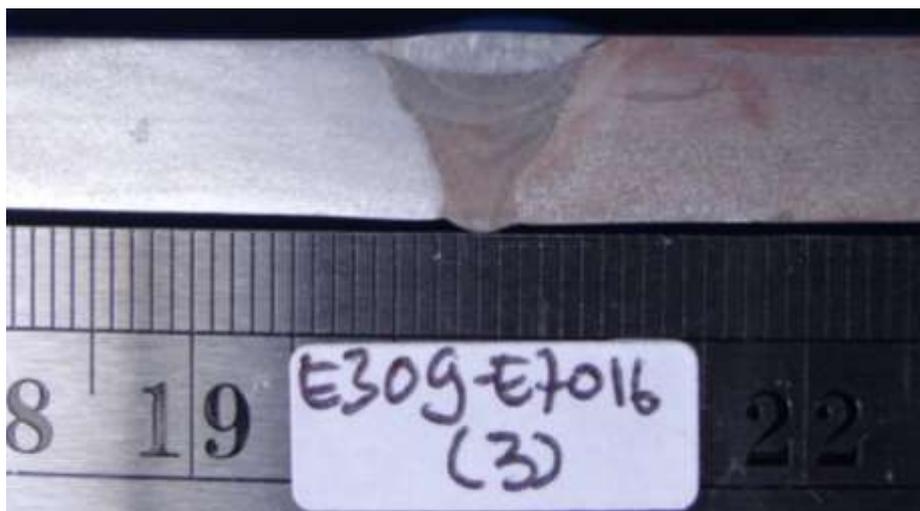
Fungsi dari etsa ini adalah untuk mengikis permukaan spesimen sehingga daerah proses pengelasan dapat terlihat. Hasil proses etsa adalah sebagai berikut :



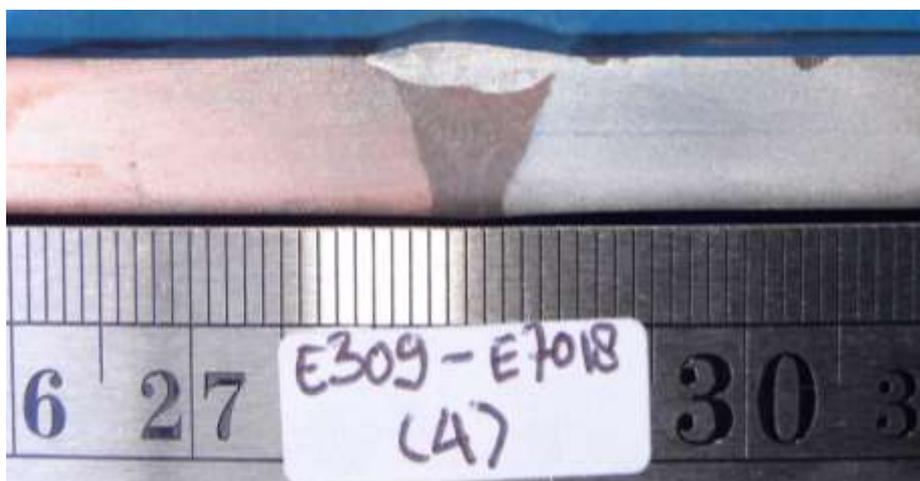
Gambar 4.16 Foto Makro Variasi Elektroda E309 dengan E7016



Gambar 4.17 Foto Makro Variasi Elektroda E309 dengan E7018



Gambar 4.18 Foto Makro Variasi Elektroda E308 dengan E7016



Gambar 4. 19 Foto Makro Variasi Elektroda E308 dengan E7018



Gambar 4.20 Foto Makro Variasi Elektroda dan *Weld Layer* E309 dengan E7018

Dari hasil foto tersebut dapat dilihat bahwa etsa dapat menampilkan hasil dari proses pengelasan. Semakin besar arus dan semakin lama waktu pengelasan maka daerah HAZ akan semakin lebar.

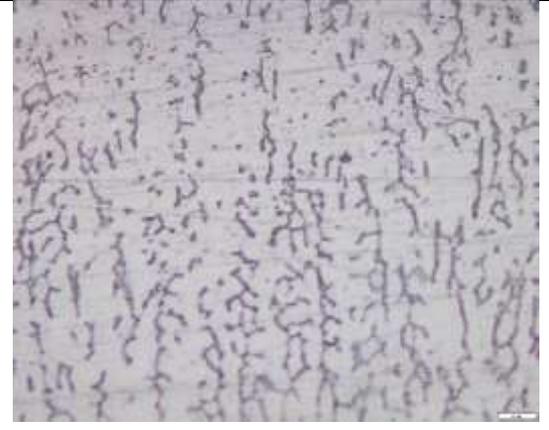
4.5.2 Hasil dan Analisa Pengujian Mikro

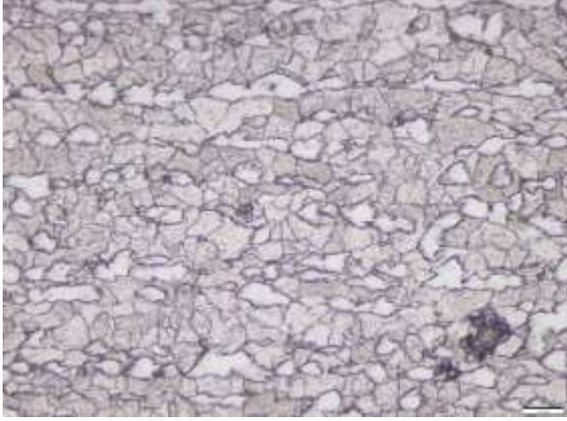
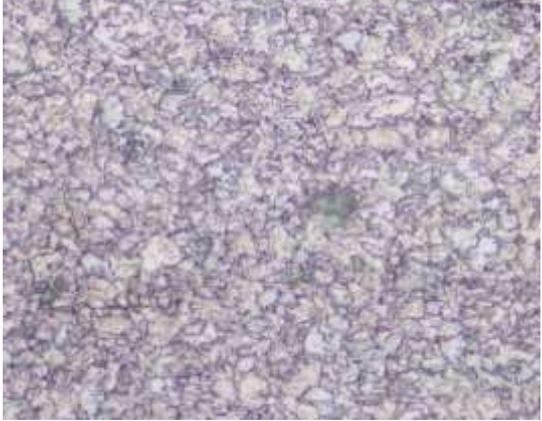
Berikut ini adalah hasil pengujian struktur mikro dengan perbesaran 500x. Daerah menjadi tinjauan adalah HAZ (*Heat Affected Zone*), *Weld Metal*, dan *Base Metal* :

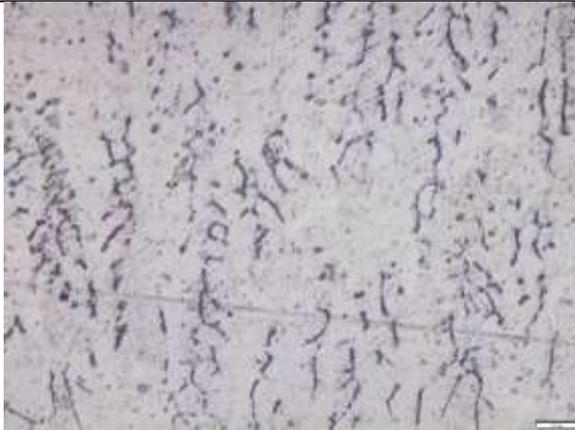
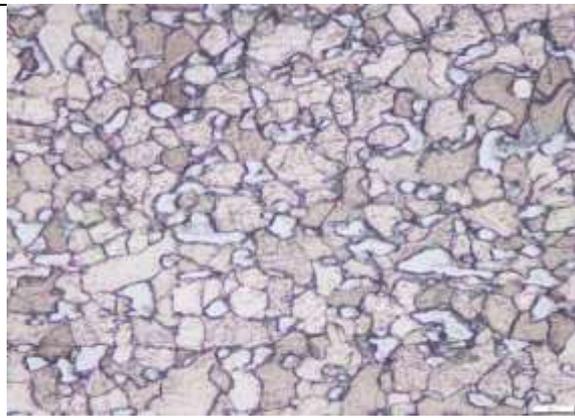
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Kode Spesimen	Struktur Mikro	Daerah
Spesimen No 1		<i>Base Metal Carbon steel</i>
		<i>HAZ Carbon Stell</i>
		<i>Weld Metal Carbon Steel</i>

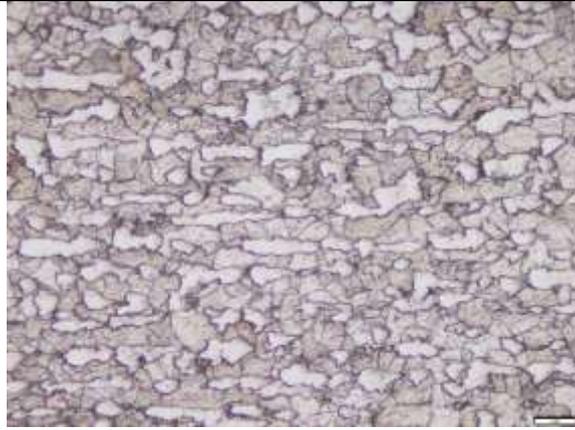
		<p><i>Weld Metal Stainless Steel</i></p>
		<p><i>HAZ Stainless Steel</i></p>
		<p><i>Base Metal Stainless Steel</i></p>
<p>Spesimen No 2</p>		<p><i>Base Metal Carbon Steel</i></p>

		<p><i>HAZ Carbon Steel</i></p>
		<p><i>Weld Metal Carbon Steel</i></p>
		<p><i>Weld metal Stainless Steel</i></p>
		<p><i>HAZ Stainless Steel</i></p>

		<p><i>Base Metal Stainless Steel</i></p>
<p>Spesimen No 3</p>		<p><i>Base Metal Carbon Steel</i></p>
		<p><i>HAZ Carbon Steel</i></p>
		<p><i>Weld Metal Carbon Steel</i></p>

		<p><i>Weld Metal Stainless Steel</i></p>
		<p><i>HAZ Stainless Steel</i></p>
		<p><i>Base Metal Stainless Steel</i></p>
<p>Spesimen No 4</p>		<p><i>Base Metal Carbon Steel</i></p>

		<p><i>HAZ Carbon Steel</i></p>
		<p><i>Weld Metal Carbon Steel</i></p>
		<p><i>Weld Metal Stainless Steel</i></p>
		<p><i>HAZ Stainless Steel</i></p>

		<p><i>Base Metal Stainless Steel</i></p>
<p>Spesimen No 5</p>		<p><i>Base Metal Carbon Steel</i></p>
		<p><i>HAZ Carbon Steel</i></p>
		<p><i>Weld Metal Carbon</i></p>

		<p><i>Weld Metal Stainless Steel</i></p>
		<p><i>HAZ Stainless Steel</i></p>
		<p><i>Base Metal Stainless Steel</i></p>

Dari tabel 4.7 dapat diketahui bentuk struktur mikro tiap spesimen. Untuk perhitungan persentase butir ferit - perlit pada *Carbon steel* , dan perhitungan ferit - austenit pada *Stainless steel* menggunakan metode *point counting*.

Pada spesimen no 1, menunjukkan pada daerah logam induk baja karbon tidak terjadi terlalu terjadi perubahan karena daerah ini tidak terlalu terkena pengaruh panas. Pada logam induk ini persentase ferit 62,8% dan perlit 37,2%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) baja

karbon mulai terlihat perubahan bentuk berupa terbentuk perlit di seluruh logam secara merata dan halus, persentase untuk ferit pada daerah pengaruh panas adalah 58,5% dan persentase perlit 41,5%. Pada daerah logam las (*weld metal*) butiran perlit mendominasi secara merata. Persentase ferit adalah 36,4% dan perlit 63,6%. Pada stainless steel di daerah logam las (*weld metal*) terdapat perubahan ke fasa austenit karena pengaruh dari unsur Cr, di daerah logam las stainless steel ini fasa austenit dominan cukup besar dengan persentase 78,8% dan ferit 21,2%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) stainless steel persentase austenit 75,7% dan ferit 24,3%. Pada logam induk (*base metal*) fase austenit masih tersebar merata karena masih terpengaruh panas dari pengelasan dengan persentase austenit 69,4% dan ferit 30,6%.

Pada spesimen no 2, menunjukkan daerah logam induk baja karbon terdapat butiran perlit yang sudah mulai terlihat, ini terjadi akibat panas dari pengelasan. Persentase ferit 61,3% dan perlit 38,7%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) butiran perlit semakin banyak dan merata dengan persentase ferit 41,4% dan perlit 58,6%. Pada daerah logam las (*weld metal*) perlit tersebar merata dan halus dengan persentase 63% dan ferit 37%. Pada stainless steel di daerah logam las (*weld metal*) terdapat perubahan ke fasa austenit karena pengaruh dari unsur Cr, di daerah logam las stainless steel ini fasa austenite menyebar merata dengan persentase 88,5% dan ferit 13,5%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) stainless steel austenit masih menyebar secara merata, persentase austenite 76,2% dan ferit 23,8%. Pada logam induk (*base metal*) fase austenit masih tersebar merata karena masih terpengaruh panas dari pengelasan dengan persentase austenite 48,7% dan ferit 51,3%.

Spesimen no 3, menunjukkan daerah logam induk baja karbon sudah terdapat butiran perlit yang sudah mulai terlihat secara merata, ini terjadi akibat panas dari pengelasan. Persentase ferit 53,5% dan perlit 46,5%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) baja karbon butiran perlit semakin terlihat banyak dan merata dengan persentase ferit 38% dan perlit 62%. Pada daerah logam las baja karbon (*weld metal*) perlit tersebar merata dan halus dengan persentase 79,4% dan ferit 20,6%. Pada stainless steel di daerah logam las (*weld metal*) terdapat perubahan ke fasa austenit karena pengaruh dari unsur Cr, di daerah logam las stainless steel ini fasa austenite menyebar merata dengan persentase 87,5% dan ferit 12,5%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) stainless steel austenit masih menyebar secara merata, persentase austenite 68,4% dan ferit 31,6%. Pada logam induk (*base metal*) fase

austenit masih tersebar merata karena masih terpengaruh panas dari pengelasan dengan persentase austenite 46% dan ferit 54%.

Spesimen no 4, menunjukkan daerah logam induk baja karbon sudah terdapat butiran perlit yang sudah mulai terlihat secara merata, ini terjadi akibat panas dari pengelasan. Persentase ferit 57,8% dan perlit 42,2%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) baja karbon butiran perlit semakin terlihat banyak dan merata dengan persentase ferit 43,5% dan perlit 56,5%. Pada daerah logam las baja karbon (*weld metal*) perlit tersebar merata dan halus dengan persentase 75,2% dan ferit 24,8%. Pada stainless steel di daerah logam las (*weld metal*) terdapat perubahan ke fasa austenit karena pengaruh dari unsur Cr, di daerah logam las stainless steel ini fasa austenite menyebar merata dengan persentase 58,5% dan ferit 41,5%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) stainless steel austenit masih menyebar secara merata, persentase austenite 69,4% dan ferit 30,6%. Pada logam induk (*base metal*) fase austenit masih tersebar merata karena masih terpengaruh panas dari pengelasan dengan persentase austenite 52,5% dan ferit 47,5%.

Spesimen no 5, menunjukkan daerah logam induk baja karbon sudah terdapat butiran perlit yang sudah mulai terlihat secara merata, ini terjadi akibat panas dari pengelasan. Persentase ferit 61,5% dan perlit 38,5%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) baja karbon butiran perlit semakin terlihat banyak dan merata dengan persentase ferit 46,5% dan perlit 53,5%. Pada daerah logam las baja karbon (*weld metal*) perlit tersebar merata dan halus dengan persentase 43,5% dan ferit 56,5%. Pada stainless steel di daerah logam las (*weld metal*) terdapat perubahan ke fasa austenit karena pengaruh dari unsur Cr, di daerah logam las stainless steel ini fasa austenite menyebar merata dengan persentase 51% dan ferit 49%. Pada daerah pengaruh panas (*HAZ*) stainless steel austenit masih menyebar secara merata, persentase austenite 72,9% dan ferit 27,1%. Pada logam induk (*base metal*) fase austenit masih tersebar merata karena masih terpengaruh panas dari pengelasan dengan persentase austenite 66,5% dan ferit 33,5%.

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

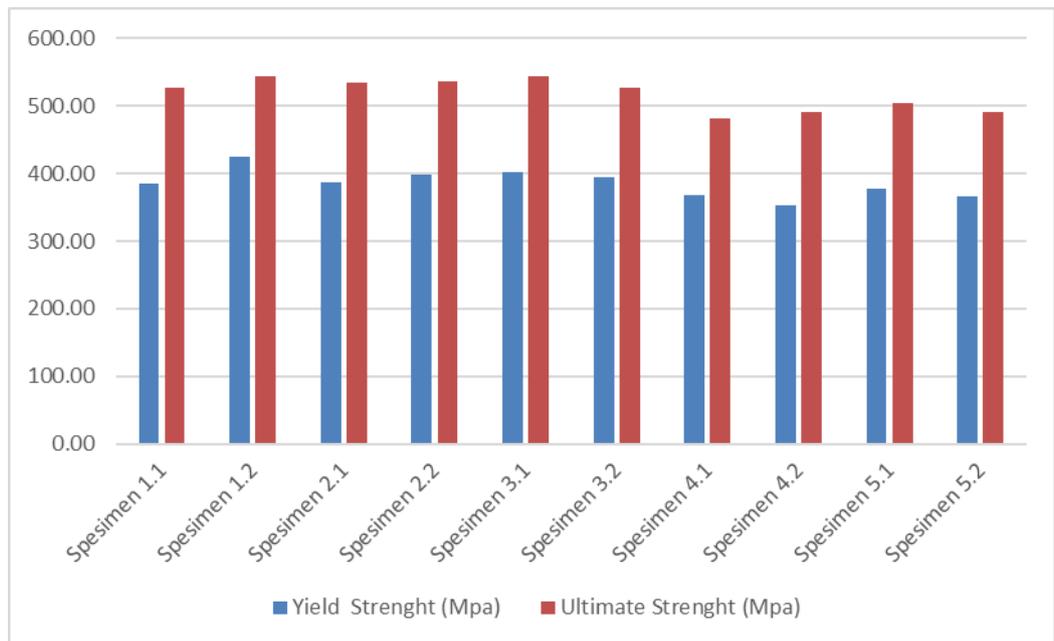
BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan variasi kombinasi elektroda baja (E7016 dan E7018) dan stainless steel (E308 dan E309) pada pengelasan beda material, yaitu baja ASTM A36 dengan stainless steel SUS304 dengan metode SMAW (*Shield Metal Arch Welding*) di dapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Dari data hasil pengujian tarik spesimen 2.1 memiliki hasil titik yield tertinggi yaitu 61 KN dan titik ultimate 82,2 KN. Namun hasil pengujian tarik tidak menunjukkan hasil yang signifikan dan cenderung memperlihatkan hasil yang relatif sama rata. Ini menunjukkan kerekatan antar elektroda dapat menempel dengan baik.
- Perbandingan pengujian uji tarik dapat di lihat pada setiap spesimen dapat dilihat pada gambar . sebagai berikut :



Grafik 5.1 Hasil Perbandingan Tensile Test

- Pengujian kekerasan di lakukan pada 15 titik, yaitu pada *base metal* baja karbon, *HAZ (heat affected zone)* baja karbon, *weld metal*, *HAZ* stainless steel, dan *base metal stainless steel*. Dari pengujian kekerasan (*hardness vicker*) nilai kekerasan weld metal tertinggi di tunjukkan spesimen no 2 dengan variasi elektroda E309

dan E7018 sebesar 353,9 HVN, dan terendah di tunjukkan spesimen no 5 sebesar 218 HVN. Pada daerah pengaruh panas karbon spesimen no 1 menunjukkan nilai kekerasan yang tinggi sebesar 200,4 HVN dan terendah spesimen no 4 sebesar 154,3 HVN. Pada daerah *base metal* baja karbon kelima variasi menunjukkan nilai hampir sama sebesar 170 HVN. Nilai pengaruh panas stainless steel terbesar di tunjukkan oleh spesimen no 3 sebesar 256,3 HVN dan terendah spesimen no 1 sebesar 156,6 HVN. Untuk *base metal* stainless kelima variasi menunjukkan hasil yang relative sama yaitu sebesar 200 HVN.

- Dari hasil pengujian *hardness vicker* nilai tertinggi untuk *weld metal* adalah spesimen no 2. Hal ini berbanding lurus dengan hasil pengujian uji tarik.
- Dari hasil foto metalografi yang menampilkan hasil dari proses pengelasan, yaitu HAZ (*Heat Affected Zone*) baja karbon, *Weld Metal*, dan HAZ (*Heat affected Zone*) Stainless steel. Dari foto makro dapat diketahui pelebaran daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) terbesar pada spesimen no 5, dengan lebar daerah HAZ baja karbon sebesar 2,546 mm dan HAZ stainless steel 4,330 mm.

5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat dijadikan yang sifatnya dapat membangun untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Dalam hal pengelasan prosedur sebelum dan saat pengelasan harus benar – benar di lakukan, seperti prosedur mengoven elektroda agar kadar air pada elektroda hilang. Hal ini sering di anggap remeh pada saat melakukan hal pengelasan, padahal hal ini berguna untuk mencegah terjadinya cacat pengelasan seperti porositas, cluster, dan lain sebagainya.
2. Karna stainless steel adalah baja penghantar panas yang cukup baik, pada saat pengelasan perlu di lakukan klem pada ujung – ujung plat agar tidak terjadi distorsi saat pengelasan.
3. Pada penelitian selanjutnya variasi sudut *groove* dan variasi arus dapat dilakukan untuk pengelasan *dissimilar metal*.
4. Dapat dilakukan pengelasan baja dengan menggunakan elektroda stainless steel dan pengelasan stainless steel dengan menggunakan elektroda baja untuk mengetahui nilai perbedaan kekuatan dibandingkan dengan pencampuran elektroda.

DAFTAR PUSTAKA

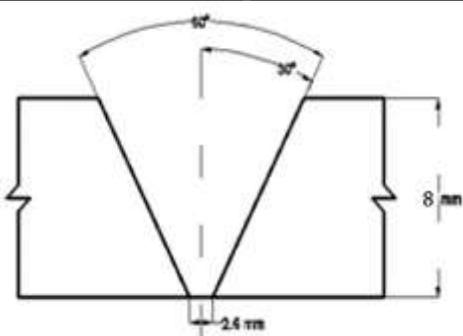
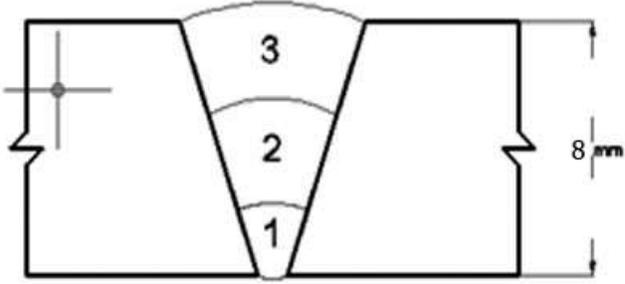
- ASTM Volume 0.3.01. 2004 “ *Metal – Mechanical Testing ; Elevated and Low – Temperature Test; Metallography*”, Philadelphia : American Society For Testing and Material (ASTM).
- ASME section II. 2004. “**Materials**”. New York: The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASME section VIII. 2013. “**Rules and Construction of Pressure Vessels**” New York: The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASME section IX. 2013 “**Qualification Standard For Welding, Brazing, And Fusing Procedures; Welders, Brazers, And Welding, Brazing, And Fusing Operators**” New York: The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASTM section A36. 2004. “**Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials**”. Washington: ASTM Publishing
- Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A. (2003), “**Materials and Processes in Manufacturing (9th ed.)**”, Wiley, ISBN 0-471-65653-4. Baja Karbon.
- Hadi, W.B. 2015 “**Analisa Pengaruh Variasi Suhu Preheat Terhadap Distorsi, Lebar Haz, dan Struktur Mikro Pada Sambungan Butt Joint Single V dengan Metode Pengelasan FCAW dan SMAW**” Teknik Perkapalan : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hamzah, M . 2009 “**Pengaruh Penggunaan Kawat Las ER5356 dan ER 5556 Terhadap Dilusi Lasan Alumunium**” Teknik Perkapalan : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sahri, S . 2015 “ **Analysis of the Effect Line Heating on Mechanical Properties and Microstructure of steel ASTM A36 with Variation Cooling**”, Teknik Perkapalan :Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Setiawan, A. 2016 “**Penelitian Stainless Steel 304 Terhadap Pengaruh Pengelasan GAS TUNGSTEN ARC WELDING (GTAW) Untuk Variasi Arus 50A, 100A dan 160A dengan Uji Komposisi Kimia, Uji Struktur Mikro, Uji kekerasan dan Uji Impact**” Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Steel Construction Manual, 8th Edition, second revised edition, American Institute of Steel Construction, 1986, ch. 1 pages 1–5. BAJA A36

- Pambudi, A. 2012. **“Analisa Pengaruh Variasi Pengelasan Dua Sisi Material AH36 Terhadap Distribusi Panas, Deformasi dan Tegangan Sisa Pada Pengelasan Fillet Joint”** Teknik Perkapalan : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Purwanto, H. 2012 . **“Analisa Pengelasan Beda Material Stainless Steel (SUS316L) Dengan Karbon (SA516 Gr70) Bertujuan Pembuatan Prosedur Pengelasan Untuk Item Hp Vent KO Drum”** Teknik Mesin , Universitas Mercu Buana.
- Prasojo, B. 2012 **“ Modul Ilmu Pengetahuan Bahan”** Surabaya : Teknik Perkapalan Politeknik Negeri Surabaya.
- Pratama , K. 2013 . **“ Teknologi Material Teknik”** Malang : Sekolah Tinggi Teknologi Industri.
- Wiryo Sumarto, H dan Toshie Okumura. 1996. **“Teknologi Pengelasan Logam”**, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- www.pengelasan.com (diakses pada 24 januari 2017)
- www.hima-tl.ppns.ac.id/?p=121 (diakses pada 24 Januari 2017)
- www.hima-tl.ppns.ac.id/?p=175 (diakses pada 24 Januari 2017)
- www.insinyoer.com/prinsip-kerja-non-destructive-test-ndt/ (diakses pada 2 Februari 2017)
- <http://www.alatuji.com/article/detail/36/ndt-> (diakses pada 2 Februari 2017)
- www.bengkelbangun.com/2011/12/elektroda-las-listrik.html (diakses pada 6 Februari 2017)
- www.gordonengland.co.uk/hardness/vickers.htm (diakses pada 6 Februari 2017)

LAMPIRAN

A

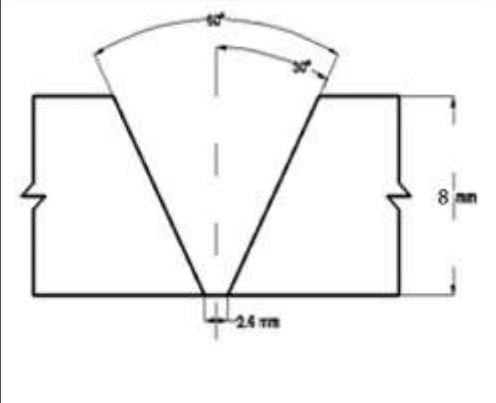
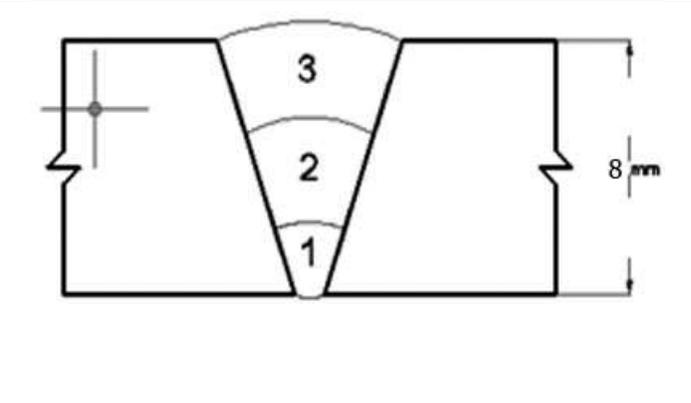
- Welding Procedure Specification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 Kombinasi Elektroda E309 & E7016

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION								
Material	: ASTM A36 to SS SUS304		Lenght	: 300 mm				
Position	: 1G		Widht	: 150 mm				
Groove	: Single V (60°)		Thickness	: 10 mm				
Welding Procees	: SMAW		Filler Metal	: E309 & E7016				
Wel Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (Second)	Travel speed (mm/s)
		Class	Diameter	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E309	3,2	DCRP	80	20 - 24	73 Detik	2,05
2	SMAW	E7016	3,2	DCRP	100	20 - 26	68 Detik	2,20
3	SMAW	E7016	3,2	DCRP	100	20 - 26	78 Detik	1,92
Weld Preparation				Pass Location				
								

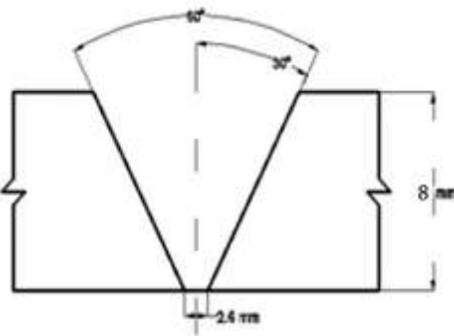
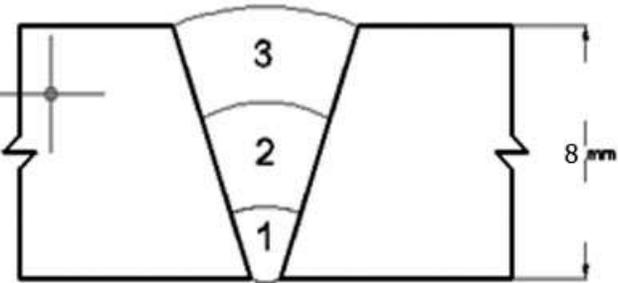
- Welding Procedure Specification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 Kombinasi Elektroda E309 & E7018

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION								
Material	: ASTM A36 to SS SUS304			Lenght	: 300 mm			
Position	: 1G			Widht	: 150 mm			
Groove	: Single V (60°)			Thickness	: 10 mm			
Welding Procees	: SMAW			Filler Metal	: E309 & E7018			

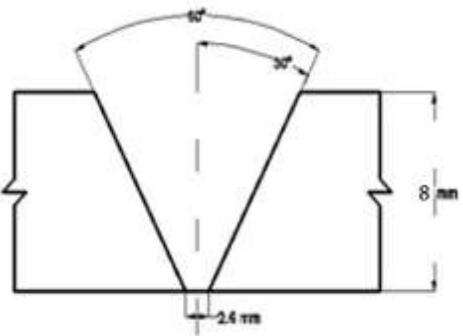
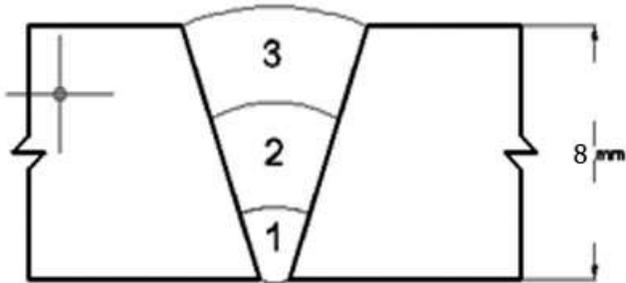
Wel Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (Second)	Travel Speed (mm/s)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E309	3,2	DCRP	80	20 - 24	68 Detik	2,20
2	SMAW	E7018	3,2	DCRP	100	20 - 26	70 Detik	2,14
3	SMAW	E7018	3,2	DCRP	100	20 - 26	74 Detik	2,02

Weld Preparation	Pass Location
	

- Welding Procedure Specification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 Kombinasi Elektroda E308 & E7016

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION								
Material	: ASTM A36 to SS SUS304		Lenght	: 300 mm				
Position	: 1G		Widht	: 150 mm				
Groove	: Single V (60°)		Thickness	: 10 mm				
Welding Proses	: SMAW		Filler Metal	: E308 & E7016				
Wel Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (Second)	Travel Speed (mm/s)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E308	3,2	DCRP	75	20 – 26	70 Detik	2,14
2	SMAW	E7016	3,2	DCRP	100	20 - 26	74 Detik	2,02
3	SMAW	E7016	3,2	DCRP	100	20 - 26	72 Detik	2,08
Weld Preparation				Pass Location				
								

- Welding Procedure Specification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 Kombinasi Elektroda E308 & E7018

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION								
Material	: ASTM A36 to SS SUS304	Lenght	: 300 mm					
Position	: 1G	Widht	: 150 mm					
Groove	: Single V (60°)	Thickness	: 10 mm					
Welding Procees	: SMAW	Filler Metal	: E308 & E7018					
Wel Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (Second)	Travel speed (mm/s)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E308	3,2	DCRP	80	20 – 24	75 Detik	2,0
2	SMAW	E7018	3,2	DCRP	100	20 - 26	68 Detik	2,20
3	SMAW	E7018	3,2	DCRP	100	20 - 26	71 Detik	2,11
Weld Preparation				Pass Location				
								

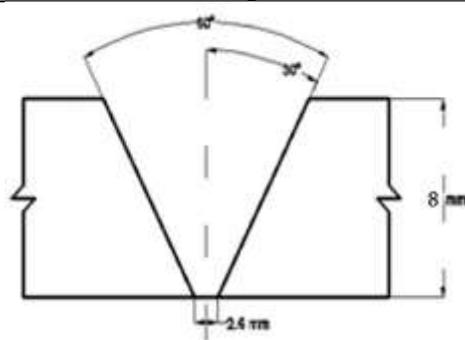
- Welding Procedure Specification (WPS) pada Baja A36 dan SUS304 Kombinasi Elektroda E308 & E7018 dan Desain *Weld Layer*.

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

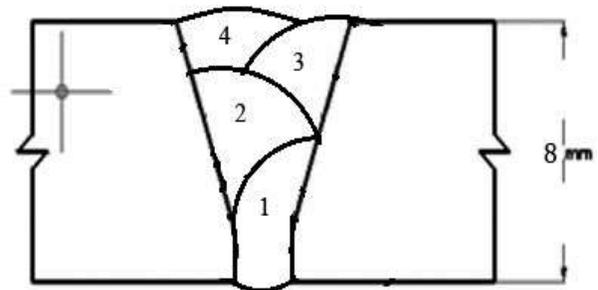
Material	: ASTM A36 to SS SUS304	Lenght	: 300 mm
Position	: 1G	Widht	: 150 mm
Groove	: Single V (60°)	Thickness	: 10 mm
Welding Proses	: SMAW	Filler Metal	: E308 & E7018

Wel Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (Second)	Travel speed (mm/s)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E309	3,2	DCRP	80	20 – 24	69 Detik	2,17
2	SMAW	E7018	3,2	DCRP	100	20 - 26	74 Detik	2,02
3	SMAW	E309	3,2	DCRP	100	20 - 26	70 Detik	2,14
4	SMAW	E7018	3,2	DCRP	100	20 - 26	77 Detik	1,94

Weld Preparation



Pass Location



LAMPIRAN

B

Perhitungan Hasil Uji Tarik :

- Spesimen 1

Pada uji tarik mekanik spesimen 1.1 di dapatkan hasil sebagai berikut

Diketahui :

- Tegangan tarik (F_y) : 57 KN
- Tegangan ultimate (F_u) : 77,8 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 1.1 adalah :

- A_0 (Luas Area)

$$\begin{aligned} A_0 &= \text{Width} \times T \\ &= 18,63 \times 7,94 \\ &= 147,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- σ_y (*Yield Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{yield}} &= \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{57 \times 1000}{147,92} \\ &= 385,34 \text{ N/mm}^2 = 385,34 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ult}} &= \frac{F_{\text{ult}}}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{77,8 \times 1000}{147,92} \end{aligned}$$

$$= 525,95 \text{ N/mm}^2 = 525,95 \text{ MPa}$$

Pada perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 1.2 adalah :

Diketahui :

- a. Tegangan tarik (F_y) : 64 KN
- b. Tegangan ultimate (F_u) : 82 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 1.2 adalah :

- a. A_0 (Luas Area)

$$\begin{aligned} A_0 &= \text{Width} \times T \\ &= 18,85 \times 8,00 \\ &= 150,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- b. σ_y (*Yield Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{yield}} &= \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{64 \times 1000}{150,8} \\ &= 424,40 \text{ N/mm}^2 = 424,40 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- c. σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ult}} &= \frac{F_{\text{ult}}}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{82 \times 1000}{150,8} \\ &= 543,76 \text{ N/mm}^2 = 543,76 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Spesimen 2

Pada uji tarik mekanik spesimen 2.1 di dapatkan hasil sebagai berikut :

Diketahui :

- a. Tegangan tarik (Fy) : 61 KN
- b. Tegangan ultimate (Fu) : 84 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 2.1 adalah :

- a. A₀ (Luas Area)

$$\begin{aligned}
 A_0 &= \text{Width} \times T \\
 &= 19,52 \times 8,06 \\
 &= 157,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- b. σ_y (*Yield Strength*)

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{yield}} &= \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\
 &= \frac{61 \times 1000}{157,33} \\
 &= 387,72 \text{ N/mm}^2 = 387,72 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- c. σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{ult}} &= \frac{F_{\text{ult}}}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\
 &= \frac{84 \times 1000}{157,33} \\
 &= 533,90 \text{ N/mm}^2 = 533,90 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 2.2 adalah :

Diketahui :

- a. Tegangan tarik (Fy) : 61 KN
- b. Tegangan ultimate (Fu) : 82,2 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 2.2 adalah :

- a. A₀ (Luas Area)

$$A_0 = \text{Width} \times T$$

$$= 19,29 \times 7,94$$

$$= 153,16 \text{ mm}^2$$

b. σ_y (*Yield Strength*)

$$\sigma_{\text{yield}} = \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$= \frac{61 \times 1000}{153,16}$$

$$= 398,27 \text{ N/mm}^2 = 398,27 \text{ MPa}$$

c. σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\sigma_{\text{ult}} = \frac{F_{\text{ult}}}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$= \frac{82,2 \times 1000}{153,16}$$

$$= 536,69 \text{ N/mm}^2 = 536,69 \text{ MPa}$$

- Spesimen 3

Pada perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 3.1 adalah :

Diketahui :

- a. Tegangan tarik (F_y) : 59 KN
- b. Tegangan ultimate (F_u) : 79,9 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 3.1 adalah :

a. A_0 (Luas Area)

$$A_0 = \text{Width} \times T$$

$$= 18,34 \times 8,00$$

$$= 146,72 \text{ mm}^2$$

b. σ_y (*Yield Strength*)

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{yield}} &= \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{59 \times 1000}{146,72} \\ &= 402,13 \text{ N/mm}^2 = 402,13 \text{ MPa}\end{aligned}$$

c. σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{ult}} &= \frac{F_{\text{ult}}}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{79,9 \times 1000}{146,72} \\ &= 544,57 \text{ N/mm}^2 = 544,57 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Pada perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 3.2 adalah :

Diketahui :

- a. Tegangan tarik (F_y) : 59 KN
- b. Tegangan ultimate (F_u) : 79 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 3.2 adalah :

a. A_0 (Luas Area)

$$\begin{aligned}A_0 &= \text{Width} \times T \\ &= 18,84 \times 7,94 \\ &= 149,77 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

b. σ_y (*Yield Strength*)

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{yield}} &= \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{59 \times 1000}{146,77}\end{aligned}$$

$$= 393,92 \text{ N/mm}^2 = 393,92 \text{ MPa}$$

c. σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= \frac{F_{ult}}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{79 \times 1000}{146,77} \\ &= 527,47 \text{ N/mm}^2 = 527,47 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Spesimen 4

Pada perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 4.1 adalah :

Diketahui :

- a. Tegangan tarik (F_y) : 57 KN
- b. Tegangan ultimate (F_u) : 74,5 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 4.1 adalah :

a. A_0 (Luas Area)

$$\begin{aligned} A_0 &= \text{Width} \times T \\ &= 19,48 \times 7,96 \\ &= 155,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. σ_y (*Yield Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{yield} &= \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{57 \times 1000}{155,06} \\ &= 367,60 \text{ N/mm}^2 = 367,60 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\begin{aligned}\sigma_{ult} &= \frac{F_{ult}}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{74,5 \times 1000}{155,06} \\ &= 480,45 \text{ N/mm}^2 = 480,45 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Pada perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 4.2 adalah :

Diketahui :

- a. Tegangan tarik (F_y) : 52 KN
- b. Tegangan ultimate (F_u) : 72,5 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 4.2 adalah :

- a. A_0 (Luas Area)

$$\begin{aligned}A_0 &= \text{Width} \times T \\ &= 19,00 \times 7,77 \\ &= 147,63 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- b. σ_y (*Yield Strength*)

$$\begin{aligned}\sigma_{yield} &= \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{52 \times 1000}{147,63} \\ &= 352,23 \text{ N/mm}^2 = 352,23 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- c. σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\begin{aligned}\sigma_{ult} &= \frac{F_{ult}}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{72,5 \times 1000}{147,63}\end{aligned}$$

$$= 491,09 \text{ N/mm}^2 = 491,09 \text{ MPa}$$

- Spesimen 5

Pada perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 5.1 adalah :

Diketahui :

- a. Tegangan tarik (F_y) : 55 KN
- b. Tegangan ultimate (F_u) : 73,4 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 5.1 adalah :

- a. A_0 (Luas Area)

$$\begin{aligned} A_0 &= \text{Width} \times T \\ &= 19,29 \times 7,54 \\ &= 145,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- b. σ_y (*Yield Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{yield}} &= \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{55 \times 1000}{145,45} \\ &= 378,13 \text{ N/mm}^2 = 378,13 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- c. σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ult}} &= \frac{F_{\text{ult}}}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{73,4 \times 1000}{145,45} \\ &= 504,64 \text{ N/mm}^2 = 504,64 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pada perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 5.2 adalah :

Diketahui :

- a. Tegangan tarik (F_y) : 53 KN
- b. Tegangan ultimate (F_u) : 71 KN

Maka perhitungan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* 5.1 adalah :

- a. A_0 (Luas Area)

$$\begin{aligned} A_0 &= \text{Width} \times T \\ &= 19,14 \times 7,57 \\ &= 144,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- b. σ_y (*Yield Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{yield}} &= \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{53 \times 1000}{144,89} \\ &= 365,79 \text{ N/mm}^2 = 365,79 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- c. σ_{ult} (*Ultimate Strength*)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ult}} &= \frac{F_{\text{ult}}}{A_0} \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{71 \times 1000}{144,89} \\ &= 490,02 \text{ N/mm}^2 = 490,02 \text{ MPa} \end{aligned}$$

LAMPIRAN

C

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 2

DATE : 29-05-2017
 ORDER FROM : M. Wildan Ilham
 TEST STANDARD : ASME IX, 2002
 PQRNO. :
 JOINT DESIGN : Single V Joint
 MATERIAL SPEC. : Plate to Plate
 THICKNESS : 8 mm to 8 mm
 WELDING PROCESS :
 TEST POSITION :
 WELDER NAME :

1. TENSILE TEST

TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK. (mm)	C.S.A (mm ²)	Fy (KN)	Fu (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
1.1	Good	18.63	7.94	147.92	57.00	77.80	385.34	525.95	Base Metal Carbon Steel
1.2	Good	18.85	8.00	150.80	64.00	82.00	424.40	543.76	Base Metal Carbon Steel

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

2. BEND TEST

ANGLE OF BEND : 180°

DIA. OF FORMER : 40 mm

NO.	TEST PIECE CODE	WIDTH (mm)	THICK. (mm)	TEST RESULTS
				OPEN DEFECT (mm)
1				
2				
3				

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction

 Dikdik Tjatur Inianto
 NIP. 19620115 198103 1 001

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 2

DATE : 29-05-2017
 ORDER FROM : M. Wildan Ilham
 TEST STANDARD : ASME IX,2002
 PORNO. :
 JOINT DESIGN : Single V Joint
 MATERIAL SPEC. : Plate to Plate
 THICKNESS : 8 mm to 8 mm
 WELDING PROCESS :
 TEST POSITION :
 WELDER NAME :

1. TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK (mm)	C.S.A (mm ²)	F _y (kN)	F _u (kN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
2.1	Good	19.52	8.06	157.33	61.00	84.00	387.72	533.90	Base Metal Carbon Steel
2.2	Good	19.29	7.94	153.16	61.00	82.20	398.27	536.69	Base Metal Carbon Steel

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

2. BEND TEST		ANGLE OF BEND : 180°		DIA. OF FORMER : 40 mm	
NO.	TEST PIECE CODE	WIDTH (mm)	THICK. (mm)	TEST RESULTS	
				OPEN DEFECT (mm)	
1					
2					
3					

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,



 Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction
 Didik Triandrianto
 NIP. 19620115 198103 1 001

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 2

DATE : 29-05-2017
 ORDER FROM : M. Wildan Itham
 TEST STANDARD : ASME IX,2002
 PQRNO. :
 JOINT DESIGN : Single V Joint
 MATERIAL SPEC. : Plate to Plate
 THICKNESS : 8 mm to 8 mm
 WELDING PROCESS :
 TEST POSITION :
 WELDER NAME :

1. TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK (mm)	C.S.A (mm ²)	Fy (KN)	Fu (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
3.1	Good	18.34	8.00	146.72	59.00	79.90	402.13	544.57	Base Metal Carbon Steel
3.2	Good	18.84	7.95	149.78	59.00	79.00	393.92	527.47	Base Metal Carbon Steel

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systems, UPD-20", 200 kN capacity.

2. BEND TEST		ANGLE OF BEND : 180°		DIA. OF FORMER : 40 mm	
NO.	TEST PIECE CODE	WIDTH (mm)	THICK (mm)	TEST RESULTS	
				OPEN DEFECT (mm)	
1					
2					
3					

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systems, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,


 Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction
 Diolah Tester Iranto
 NIP. 19620115 198103 1 001

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 2

DATE : 29-05-2017
 ORDER FROM : M. Wildan Ilham
 TEST STANDARD : ASME IX, 2002
 QRNO. :
 JOINT DESIGN : Single V Joint
 MATERIAL SPEC. : Plate to Plate
 THICKNESS : 8 mm to 8 mm
 WELDING PROCESS :
 TEST POSITION :
 WELDER NAME :

1. TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK. (mm)	C.S.A. (mm ²)	F _y (KN)	F _u (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
4.1	Good	19.48	7.98	155.06	57.00	74.5	367.80	480.45	Base Metal Carbon Steel
4.2	Good	19.00	7.77	147.83	52.00	72.5	352.23	491.09	Base Metal Carbon Steel

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

2. BEND TEST				ANGLE OF BEND : 180°		DIA. OF FORMER : 40 mm	
NO.	TEST PIECE CODE	WIDTH (mm)	THICK. (mm)	TEST RESULTS			
				OPEN DEFECT (mm)			
1							
2							
3							

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction

 Dwik Tjatur Irianto
 NIP. 19620115 198103 1 001

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 2

DATE : 12-06-2017
 ORDER FROM : M. Wildan Ilham
 TEST STANDARD : ASME IX,2002
 PORNO :
 JOINT DESIGN : Single V Joint
 MATERIAL SPEC. : Plate to Plate
 THICKNESS : 8 mm to 8 mm
 WELDING PROCESS :
 TEST POSITION :
 WELDER NAME :

1. TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION				TENSILE TEST RESULTS			
		WIDTH (mm)	THICK. (mm)	C.S.A (mm ²)	F _y (KN)	F _u (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
5.1	Good	19.29	7.54	145.45	55.00	73.4	378.15	504.64	Base Metal Carbon Steel
5.2	Good	19.14	7.57	144.89	53.00	71.00	365.80	490.02	Base Metal Carbon Steel

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

2. BEND TEST		ANGLE OF BEND : 180°		DIA. OF FORMER : 40 mm	
NO.	TEST PIECE CODE	WIDTH (mm)	THICK. (mm)	TEST RESULTS	
				OPEN DEFECT (mm)	
1					
2					
3					

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,



 Teslar Laboratory
 Ships Strength and Construction
 Didik Tjatut Irianto
 NIP. 1962045 198103 1 001

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 1

DATE : 11-06-2017
 ORDER FROM : M. Wildan Ilham
 TEST STANDARD : ASTM E92
 WPS NUMBER :
 PQR NUMBER :
 JOINT DESIGN : Single V
 MATERIAL SPEC. : Carbon Steel A36 to SUS 304
 DIAMETER :
 THICKNESS : 8mm to 8mm
 WELDING PROCESS : SMAW
 FILLER METAL : E309+E7016
 WELDING POSITION : 1G
 WELDER NAME : Rahmat
 PROJECT NAME :

3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			H A Z			Weld Metal		H A Z		Base Metal				
	1			2			3		4		5				
	186.6	172.1	175.3	191.2	213.6	196.6	382.6	388.1	205.0	127.9	175.9	165.9	150.0	154.0	155.2
Average	178.0			206.4			325.7		156.6		153.1				

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"
 NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,


 Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction
 Didik Tjatur Manto
 NIP. 19620115 198103 1 001

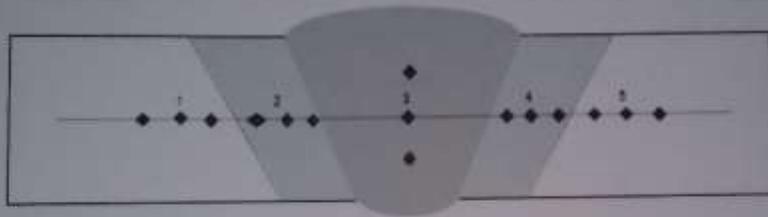
REPORT ON TEST RESULT NO. :

JT2.4.1.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 1

DATE : 11-06-2017
 ORDER FROM : M. Wiidan Itham
 TEST STANDARD : ASTM E92
 WPS NUMBER :
 PQR NUMBER :
 JOINT DESIGN : Single V
 MATERIAL SPEC. : Carbon Steel A36 to SUS 304
 DIAMETER :
 THICKNESS : 8mm to 8mm
 WELDING PROCESS : SMAW
 FILLER METAL : E309+E7018
 WELDING POSITION : 1G
 WELDER NAME : Rahmat
 PROJECT NAME :

3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			H A Z			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
	185.5	172.1	175.3	168.6	163.3	190.7	324.8	353.5	380.5	302.4	295.3	283.0	155.6	154.0	158.2
Average	177.6			174.2			352.9			296.9			155.9		

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time: TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by.

Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction

 Didik Tjiptje Irianto
 NIP. 19620115 198103 1 001

REPORT ON TEST RESULT NO. :

IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 1

DATE : 11-06-2017
 ORDER FROM : M. Wildan Ilham
 TEST STANDARD : ASTM E92
 WPS NUMBER :
 PQR NUMBER :
 JOINT DESIGN : Single V
 MATERIAL SPEC. : Carbon Steel A36 to SUS 304
 DIAMETER :
 THICKNESS : 8mm to 8mm
 WELDING PROCESS : SMAW
 FILLER METAL : E308+E7016
 WELDING POSITION : 1G
 WELDER NAME : Rahmat
 PROJECT NAME :

3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			H A Z			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
	136.9	182.7	185.6	305.0	215.9	247.9	159.6	283.1	372.5	174.6	181.6	150.0	130.4	154.5	155.8
Average	188.4			256.3			271.7			168.7			146.9		

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction
 Didik Tjutho Arianto
 NIP: 19620115 198103 1 001

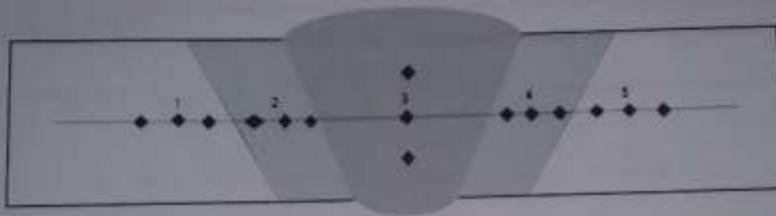
REPORT ON TEST RESULT NO. :

IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 1

DATE : 11-06-2017
 ORDER FROM : M. Widad Iham
 TEST STANDARD : ASTM E92
 WPS NUMBER :
 PQR NUMBER :
 JOINT DESIGN : Single V
 MATERIAL SPEC. : Carbon Steel A36 to SUS 304
 DIAMETER :
 THICKNESS : 8mm to 8mm
 WELDING PROCESS : SMAW
 FILLER METAL : E308+E7018
 WELDING POSITION : 1G
 WELDER NAME : Rahmat
 PROJECT NAME :

3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV, 1)														
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			H A Z			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
	179.9	169.1	175.3	168.0	143.8	151.2	250.0	304.8	298.5	215.9	190.7	208.8	149.5	151.2	155.1
Average	174.8			154.3			284.8			205.1			151.9		

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction
 Didik Tjatur Inento
 NIP. 19920115 198103 1 001

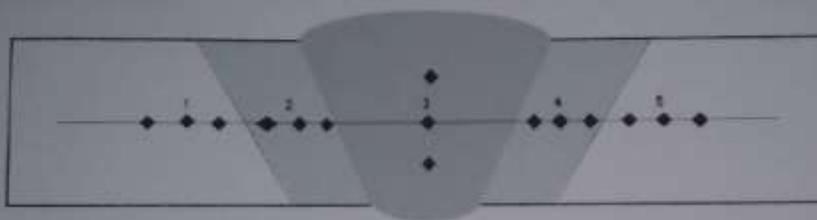
REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/2017

Page 1 of 1

DATE : 11-06-2017
 ORDER FROM : M. Widian Iham
 TEST STANDARD : ASTM E92
 WPS NUMBER :
 PQR NUMBER :
 JOINT DESIGN : Single V
 MATERIAL SPEC. : Carbon Steel A36 to SUS 304
 DIAMETER :
 THICKNESS : 8mm to 8mm
 WELDING PROCESS : SMAW
 FILLER METAL : E309+E7018
 WELDING POSITION : 1G
 WELDER NAME : Rahmat
 PROJECT NAME :

3. HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			H A Z			Weld Metal			H A Z			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
	180.1	170.3	181.3	175.7	160.7	142.3	265.2	217.9	171.9	201.8	224.0	215.9	152.9	148.9	150.6
Average	177.2			159.6			218.3			213.9			150.8		

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Tiro TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction

 Didik Tjaya Irianto
 NIP. 19620115 198103 1 001

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Muhammad Wildan ilham lahir di jombang pada tanggal 31 Agustus 1994. Anak ke tiga dari tiga bersaudara. Pendidikan SD di tempuh di SDN 1 Mojotrisno, selanjutnya penulis melanjutkan Pendidikan SMP di SMPN 2 Mojoagung. Dan melanjutkan Pendidikan SMA di SMAN Mojoagung. penulis melanjutkan jenjang pendidikan perguruan tingginya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama masa perkuliahan penulis aktif di bidang pengembangan diri minat dan bakat. Penulis pernah menjadi anggota ROV club pada tahun 2013 – 2014 dan pernah menjabat sebagai kepala divisi Teknik di ROV club pada tahun 2015 - 2016. Penulis sering mengikuti kegiatan lomba baik nasional dan regional yang berhubungan dengan minat dan bakat Pada tahun 2016 penulis pernah melaksanakan sertifikasi *SCUBA diver one star* yang di selenggarakan oleh POSSI dan CMAS Perancis. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. PAL Indonesia selama dua bulan pada tahun 2016. Selanjutnya penulis mulai melakukan Tugas Akhir syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S-1) dengan mengambil bidang keahlian Perancangan dan Produksi Bangunan Laut dengan judul “ **Analisis Kombinasi Elektroda Pada Pengelasan Meterial Baja dengan Stainless Steel Ditinjau Dari Sifat Mekanik**”

Kontak Penulis

Email : Wildan.ilham14@gmail.com