TUGAS AKHIR – VM 180629

PENGARUH JUMLAH VARIASI LAYER PADA SAMBUNGAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA NSN 308, MATERIAL SUS 304 TERHADAP NILAI KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN MIKRO ETSAd

ARDIAN BAGAS ALKINDIY
NRP. 10211600000116

Dosen Pembimbing :
Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

TUGAS AKHIR - VM 180629

PENGARUH JUMLAH VARIASI LAYER PADA SAMBUNGAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA NSN 308, MATERIAL SUS 304 TERHADAP NILAI KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN MIKRO ETSA

ARDIAN BAGAS ALKIDIY
NRP. 10211600000116

Dosen Pembimbing :
Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

FINAL PROJECT - VM 180629

THE EFFECT OF NUMBER LAYER VARIATION ON SMAW WELDING CONNECTION WITH ELECTRODE NSN 308, MATERIAL SUS 304 TO TENSILE STRENGTH , HARDNESS AND MICRO ETCHING.

ARDIAN BAGAS ALKINDIY
NRP. 10211600000116

Supervisor:
Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Vocation Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Ardian Bagas Alkindiy
NRP	: 10211600000116
Program Studi	: Diploma III Teknik Mesin
Departemen	: Teknik Mesin Industri
Fakultas	: Vokasi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir (TA) yang saya tulis ini benar-benar tulisan saya, dan bukan merupakan hasil plagiasi. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan TA ini hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan ketenntuan yang berlaku di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi – ITS.

Surabaya, Juni 2020
Yang membuat pernyataan,

Ardian Bagas Alkindiy
10211600000116

Scanned with CamScanner

PENGARUH VARIASI JUMLAH LAYER PADA SAMBUNGAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA NSN 308, MATERIAL SUS 304 TERHADAP NILAI KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN MIKRO ETSA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Program Studi Diploma III
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Oleh :

Ardian Bagas Alkindiy
NRP. 10211600000116

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN
TEKNIK MESIN INDUSTRI

Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002

SURABAYA, JUNI 2020

Scanned with CamScanner

Abstrak

Pada saat ini teknik pengelasan telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan pada baja kontruksi misalnya untuk maintenance atau produksi. Pengelasan pada material logam berbentuk pelat sering menggunakan single layer dan multi layer. Dan pengelasan multi layer sering digunakan untuk kontruksi dengan keuletan yang tinggi. Namun apabila diteliti lebih jauh, maka didalamnya terdapat banyak permasalahan yang harus segera diatasi.

Dalam tugas akhir ini yang perlu dikaji lebih lanjut adalah pengaruh variasi sambungan las 5 layer dan 4 layer dengan model groove menggunakan bentuk V groove pada pengelasan SMAW menggunakan elektroda NSN 308 pada material plat SUS 304 terhadap uji tarik, uji kekerasan dan uji mikro etsa.

Pada hasil pengujian tarik semua spesimen patah di weld metal. Untuk specimen 5 layer memiliki nilai kekuatan tarik lebih besar yaitu 616 MPa sedangkan sepsimen 4 layer memiliki nilai kekuatan tarik lebih rendah yaitu 585 MPa. Pada hasil pengujian kekerasan dapat disimpulkan bahwa specimen 5 layer memiliki nilai rata-rata kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 94,63 HRB dan spesimen 4 layer mempunyai nilai rata-rata kekerasan sebesar 93.33 HRB. Karena nilai heat input specimen 5 layer lebih kecil dari 4 layer. Pada hasil pengujian mikro etsa pada pengelasan 5 layer terlihat struktur mikro austenite dan ferrit membentuk pola berlapis-lapis lebih rapat dibandingkan dengan pengelasan steinless steel menggunakan 4 layer.

Kata Kunci : Pengelasan SMAW, Multi Layer, Groove, SUS 304, Multi layer.

Abstract

At present welding techniques have been widely used in joining steel construction for example for maintenance or production. Welding on metal plate-shaped material often uses single layer and multi layer. And multi-layer welding is often used for construction with high tenacity. However, if examined further, then there are many problems that must be overcome immediately.

In this final project, what needs to be studied further is the effect of the variation of the 5 layer and 4 layer welded joints with the groove model using the V groove shape on SMAW welding using NSN 308 electrodes on SUS 304 plate material on tensile test, hardness test and micro etching test.

On the test results pull all broken specimens in weld metal. The 5 layer specimen has a greater tensile strength value of 616 MPa while the 4 layer specimen has a lower tensile strength value of 585 MPa. From the hardness test results it can be concluded that the 5 layer specimen has the highest average hardness value of 94.63 HRB and the 4 layer specimen has an average hardness value of 93.33 HRB. Because the 5 input specimen heat input value is smaller than the 4 layer. In the micro etching test results on the 5 layer welding the autenite and ferrite microstructure appear to form a denser layered pattern compared to welding steinless steel using 4 layers.

Keywords: SMAW Welding, Multi Layer, Groove, SUS 304, Multi layer

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis memanjatkan puji syukur kehadiratNya, serta tak lupa sholawat serta salam saya tujukan kepada Nabi Muhammad SAW. Berkat rahmat dan karunia Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan pengerjaan laporan penelitian tugas akhir dengan judul : **"PENGARUH VARIASI JUMLAH LAYER PADA SAMBUNGAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA NSN 308, MATERIAL SUS 304 TERHADAP NILAI KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN MIKRO ETSA"**

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

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Suhardi dan Ibu Yuliani tercinta atas kasih sayang, doa serta dukungan finansial yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis.
2. Bapak Ir. Hari Subiyanto, MSc selaku dosen pembimbing tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Bapak Ir. Suhariyanto, MT. selaku koordinator tugas akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
5. Ibu Atria Pradityana, ST., MT. selaku dosen wali selama kuliah di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

6. Seluruh Dosen dan Karyawan yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
7. Hadi Cahyo Laksono, Doni, Reza, Fikri serta teman-teman grader Lab. Material Teknik dan Metalurgi lainnya yang telah membantu dalam pengambilan data.
8. Seluruh teman-teman Warga Angkatan 2016 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
9. Partner tugas akhir yaitu Andi, Danny, Reza, Hamzah, Hangga, Tomas,Guntara dan Gigih.
10. Teman-teman Rego Kost yang telah memberi akomodasi, dukungan dan motivasinya.
11. Serta semua pihak yang belum tertulis yang telah berperan dalam pengerjaan laporan ini..

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

Surabaya, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIASI..... iii
LEMBAR PENGESAHAN.....v
ABSTRAK.....vii
KATA PENGANTAR.....ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR.....xv
DAFTAR TABEL xvii

BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah.....3
1.4 Tujuan Penelitian.....3
1.5 Manfaat Penelitian.....4
1.6 Metodologi Penelitian.....4
1.7 Sistematika Penulisan 5

BAB II DASAR TEORI
2.2 Pengelasan.....7
2.2 Shield Metal Arc Welding (SMAW).....7
2.2.1 Shield Metal Arc Welding (SMAW) DC 8
2.3 Kawat Las (Elektroda).....9
2.4 Posisi Pengelasan 11
2.5 Sambungan Pengelasan 12
2.5.1 Sudut Kampuh.....13
2.6 Preheat dan Postheat 14
2.7 Masukan panas (Heat Input).....16
2.8 Austenitic Stainless Steel 17

2.9 Material SUS 304 17

2.10 Sensitisasi 19
2.11 Persipitasi 20
2.12 Karbida Krom 23
2.13 Uji Kekerasan (Hardness Test) 23
2.13.1 Pengujian Kekerasan Rockwell 23
2.14 Mikro Etsa 25
2.15 Uji Tarik (Tensile Test) 27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Rancangan Percobaan 31
3.2 Diagram Alir Penelitian 31
3.3 Waktu Pelaksanaan Penelitian 33
3.4 Tempat Penelitian 33
3.5 Studi Literatur 33
3.6 Persiapan Bahan Pengelasan 33
3.7 Persiapan Alat Pengelasan 35
3.8 Persiapan Benda Kerja Pengelasan 37
3.9 Proses Pengelasan 39
3.10 Pengujian Benda Kerja 39
3.10.1 Uji Tarik (Tensile Test) 39
3.10.2 Pengujian Kekerasan 41
3.10.3 Pengujian Mikro Etsa 44

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN
4.1 Parameter Pengelasan 49
4.2 Analisa Data Hasil Pengujian 50
4.2.1 Pengujian Kekuatan Tarik 50
4.2.2 Pengujian Kekerasan 54
4.2.3 Pengujian Mikro Etsa 59
4.3 Pembahasan Hasil Pengujian 62
4.3.1 Pembahasan Pengujian Tarik 62

4.3.1.1 Pembahasan Pengujian Tarik
Ketika Ada IP 62

4.3.1.1 Pembahasan Pengujian Tarik Ketika
Tidak Ada IP 63
4.3.2 Pembahasan Pengujian Kekerasan 63
4.3.3 Pembahasan Hasil Pengujian Mikro Etsa 64

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan.....67
5.2 Saran.....67

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengelasan SMAW.....8
Gambar 2.2 Polaritas Pengelasan DCEP / DCRP 9
Gambar 2.3 Posisi Pengelasan 1G.....11
Gambar 2.4 Posisi Pengelasan 2G.....11
Gambar 2.5 Posisi Pengelasan 3G.....12
Gambar 2.6 Posisi Pengelasan 4G.....12
Gambar 2.7 Jenis-Jenis Sambungan Las.....13
Gambar 2.8 Jenis-Jenis Sudut Kampuh 14
Gambar 2.9 Cross Section Diagram Untuk Baja Yang Mengandung 18% Kromium 19
Gambar 2.10 Skema Korosi Antar Butir Pada Baja Tahan Karat 20
Gambar 2.11 Diagram Time-Temperature-Sensitization For 304 Stainless Steel.....21
Gambar 2.12 Thermal Cycle 304 Stainless Steel 22
Gambar 2.13 Prinsip Kerja Rockwell.....24
Gambar 2.14 Alat Uji Mikrostruktur.....27
Gambar 2.15 Uji Tarik dan Kurvanya.....28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....33
Gambar 3.2 Dimensi Benda Kerja 34
Gambar 3.3 Mesin Las SMAW.....35
Gambar 3.4 Mesin Gerinda Tangan 35
Gambar 3.5 Ragum.....36
Gambar 3.6 Tang Ampere 36
Gambar 3.7 Helm Welder.....36
Gambar 3.8 Sarung Tangan Las.....37
Gambar 3.9 Palu.....37
Gambar 3.10 Elektroda NSN 308.....38
Gambar 3.11 V Groove 38
Gambar 3.12 Benda Kerja V Groove 38
Gambar 3.13 Dimensi Spesimen Uji Tarik.....40

Gambar 3.14 Mesin Uji Tarik 40
Gambar 3.15 Mesin Uji Kekerasan Rockwell 42
Gambar 3.16 Sket Spesimen 5 Layer Uji Kekerasan 42
Gambar 3.17 Sket Spesimen 4 Layer Uji Kekerasan 43
Gambar 3.18 Proses Perendaman Dengan Alkohol 45
Gambar 3.19 Proses Perendaman Dengan Aqua Regia 46
Gambar 3.20 Proses Pengeringan Dengan Hair Dryer 46
Gambar 3.21 Olympus 47
Gambar 3.22 Mikroskop 47
Gambar 4.1 Spesimen 5 Layer Setelah di Uji Tarik 51
Gambar 4.2 Spesimen 4 Layer Setelah di Uji Tarik 51
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata Kekuatan Tarik Ketika Ada IP 52
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata Kekuatan Tarik Ketika Tidak Ada IP 53
Gambar 4.5 Spesimen Uji Kekerasan 4 Layer 54
Gambar 4.6 Spesimen Uji Kekerasan 5 Layer 55
Gambar 4.7 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 4 Layer 56
Gambar 4.8 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan Spesimen 4 Layer 56
Gambar 4.9 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 5 Layer 57
Gambar 4.10 Grafik Rata-rata Nilai Kekerasan Spesimen 5 Layer 58
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Rata-rata Nilai Kekerasan Spesimen 5 Layer dan 4 Layer 58
Gambar 4.12 Struktur Mikro *Base Metal* 5 layer 59
Gambar 4.13 Struktur Mikro *HAZ* 5 layer 60
Gambar 4.14 Struktur Mikro *Weld Metal* 5 layer 60
Gambar 4.15 Struktur Mikro *Base Metal* 4 layer 61
Gambar 4.16 Struktur Mikro *HAZ* 4 layer 61
Gambar 4.17 Struktur Mikro *Weld Metal* 4 layer 62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai *Chemical Composition* 18
Tabel 2.2 Sifat Mekanik SUS 304.....18
Tabel 2.3 Skala Uji Kekerasan Rockwell.....25
Tabel 3.1 Komposisi Kimia SUS 304 35
Tabel 4.1 Parameter Pengelasan 49
Tabel 4.2 Heat Input.....50
Tabel 4.3 Data Pengujian Tarik Ketika Ada IP.....52
Tabel 4.3 Data Pengujian Tarik Ketika Tidak Ada IP.....53
Tabel 4.4 Data Pengujian Kekerasan Spesimen 4 Layer.....55
Tabel 4.5 Data Pengujian Kekerasan Spesimen 5 Layer.....57

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini teknik pengelasan telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan pada baja kontruksi misalnya untuk maintenance atau produksi. Teknologi pengelasan merupakan suatu jenis teknologi yang sering digunakan dalam proses manufaktur. Pengelasan adalah penyambungan dua logam dengan cara masing-masing dua permukaan yang akan disambung dipanaskan sampai temperatur melting, bisa dengan atau tanpa logam pengisi dan bisa dengan atau tanpa tekanan. Berbagai metode pengelasan juga berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan memberikan andil dalam menghasilkan produk pengelasan yang berkualitas. Salah satu jenis pengelasan yang sering digunakan yaitu proses pengelasan SMAW (Shielding Metal Arc Welding). Pengelasan SMAW memiliki banyak pilihan prosedur dalam pengerjaannya sesuai dengan spesifikasi material logam yang akan dikerjakan. Pengelasan pada material logam berbentuk pelat sering menggunakan single layer dan multi layer. Dan pengelasan multi layer sering digunakan untuk kontruksi dengan keuletan yang tinggi. Namun apabila diteliti lebih jauh, maka didalamnya terdapat banyak permasalahan yang harus segera diatasi.

Salah satu permasalahan dalam pengelasan multi layer suatu material logam itu ialah ingin mengetahui pengaruh dari perbedaan jumlah layer dalam suatu pengelasan. Hal yang harus diperhatikan untuk mengatasi hal tersebut ialah dengan cara mengetahui tebal material yang digunakan dan untuk apa material tersebut digunakan karena pada pengelasan multi layer, layer kedua akan memberikan efek postheat pada layer

sebelumnya dan preheat bagi layer sesudahnya. Pengelasan multi layer juga akan memberikan efek tempering pada daerah HAZ, akibat panas dari layer berikutnya. Efek preheat dan tempering dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las.

Oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa pada material *Stainless Steel SUS 304*, yang pada umumnya digunakan dalam pembuatan sebuah konstruksi bangunan berbahan material logam, menggunakan metode pengelasan SMAW dengan membedakan variasi jumlah layer yaitu 5 layer dan 4 layer menggunakan elektroda NSN 308. Tujuan dari dilakukannya variasi jumlah layer tersebut yaitu untuk mengetahui perbedaan sifat mekanik berupa kekerasan dan keuletan pada material, sehingga dapat mengetahui nilai uji kekerasan pada daerah Base Metal, Weld Metal, dan HAZ, serta uji makro dan mikro etsa dari material yang telah dilakukan pengelasan dengan variasi jumlah layer.

1.2 Rumusan Masalah

Bertolak dari latar belakang maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah *layer* yaitu 5 *layer* dan 4 *layer* pada material *Stainless Steel SUS 304* dengan pengelasan SMAW terhadap nilai kekuatan tarik?
2. Bagaimana pengaruh variasi jumlah *layer* yaitu 5 *layer* dan 4 *layer* pada material *Stainless Steel SUS 304* dengan pengelasan SMAW terhadap nilai kekerasan?
3. Bagaimana pengaruh variasi jumlah *layer* yaitu 5 *layer* dan 4 *layer* pada material *Stainless Steel SUS 304* dengan pengelasan SMAW terhadap struktur mikro?

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam penyusunan laporan tugas akhir ini lebih mengarah ke tujuan penelitian dengan membatasi pokok permasalahan sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan adalah plat *Stainless Steel SUS 304* dengan ketebalan 12 mm Pengelasan yang dilakukan adalah las SMAW dengan elektroda tipe NSN 308 berdiamter 3,2 mm.
2. Arus yang digunakan 140A
3. Voltase yang digunakan 24V
4. Jumlah layer yang digunakan adalah lima layer dan empat layer
5. Polaritas yang digunakan DCRP
6. Sudut pengelasan 70°
7. Posisi pengelasan 1G
8. Model groove menggunakan bentuk V groove, dengan sudut sesuai standart ASME 60°.
9. Pengujian yang dilakukan :
   a. Uji Kekerasan
   b. Uji Tarik
   c. Uji Mikro Etsa

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Megetahui variasi jumah layer yaitu 5 layer dan 4 layer terhadap nilai kekuata tarik.
b. Megetahui variasi jumah layer yaitu 5 layer dan 4 layer terhadap nilai kekerasan.

c. Megetahui perbedaan struktur mikro dari pengaruh variasi jumah layer yaitu 5 layer dan 4 layer

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh variasi jumlah layer terhadap nilai kekerasan dan setruktur mikro yang dilakukan stelah proses pengelasan SMAW pada material *Stainless Steel SUS 304*.

1.6 Metodologi Penelitian

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

1. Studi literatur untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian berupa uji tarik, kekerasan, dan mikro etsa.
2. Konsultasi dengan dosen pembimbing dalam penulisan penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau diskusi dengan dosen pembimbing.
3. Observasi data melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.
4. Analisa data menganalisa hasil pengujian tarik, kekerasan, dan struktur mikro yang terjadi pada bagian logam hasil las, HAZ, dan Base Metal setelah dilakukan pengelasan.
5. Membuat kesimpulan setelah menyelesaikan laporan penelitian dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II DASAR TEORI

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

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

BAB V PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB II
DASAR TEORI

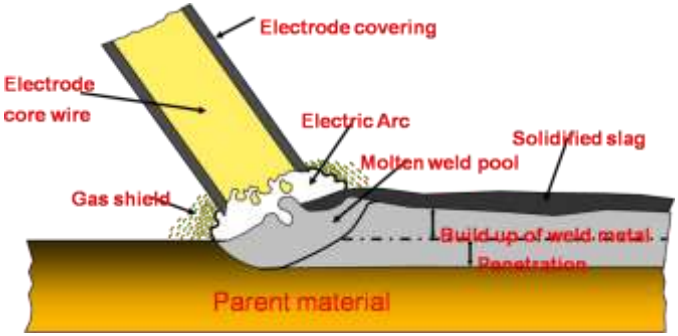
2.1 Pengelasan

Pengelasan (*welding*) adalah penyambungan dua atau lebih bahan dengan cara memanaskan permukaan sampai mencair dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*) dan dengan atau tanpa tekanan. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan. Proses penyambungan logam ini banyak dipakai di industri untuk pekerjaan konstruksi, pembuatan mesin, peralatan pabrik, konstruksi perpipaan serta pekerjaan lain yang memerlukan sambungan.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara Brazing dan Soldering. Perbedaanya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara Brazing dan Soldering adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses Brazing berkisar 450°C – 900°C, sedangkan untuk Soldering, titik cair logam pengisinya kurang dari 450°C.

2.2 Shield Metal Arc Welding (SMAW)

SMAW adalah suatu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam flux atau slag yang terbentuk.



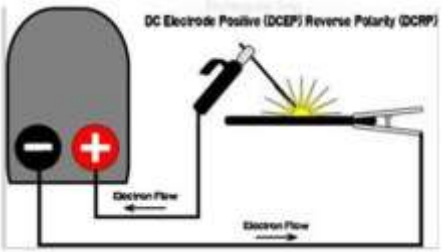
Gambar 2.1 Pengelasan SMAW

Proses pengelasan dengan process SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas DCEN (straight polarity atau polaritas langsung) dan DCEP (reverse polarity atau polaritas terbalik). Filler atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda, elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda.

2.2.1 Shield Metal Arc Welding (SMAW) DC

Pada arus DC (Direct Current), voltage drop sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil, semua jenis elektrode dapat dipakai, arc starting lebih mudah terutama untuk arus kecil, mayoritas industri fabrikasi menggunakan polarity DC khususnya untuk pengelaan carbon steel, DCRP (Reversed Polarity) material dasar disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodenya dihubugkan dengan kutup positif (+) dari mesin las DC, sehingga busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini akan

menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal.



Gambar 2.2 Polaritas Pengelasan DCEP / DCRP

2.3 Kawat Las (Elektroda)

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

1. Elektroda Berselaput (Terbungkus)

Elektoda jenis ini biasanya banyak digunakan pada aplikasi las busur nyala. Dimana pembungkus kawat terbuat dari beberapa bahan seperti soda silikat, besi mangan, alumunium silikat, titan dioksida, serbuk besi dan sebagainya. Tebal selaput ini berkisar 50-70% dari diameter kawat elektroda, tergantung pada jenis selaput elektroda tersebut. Kegunaan pembungkus ini adalah untuk melindungi cairan las, busur listrik, dan benda kerja dari pengaruh udara luar karena sewaktu terjadi nyala api, pembungkus ini terbakar dan menjadi gas pelindung yang menghasilkan CO_2.

2. Elektroda Tidak Berselaput (Tidak Terbungkus)

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

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

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

Adapun kodefikasi dari elektroda sebagai berikut: Contoh: E XXX - YY

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

XXX : (tiga angka) nomor tipe AISI dari stainless steel kemudian diikuti dengan garis.

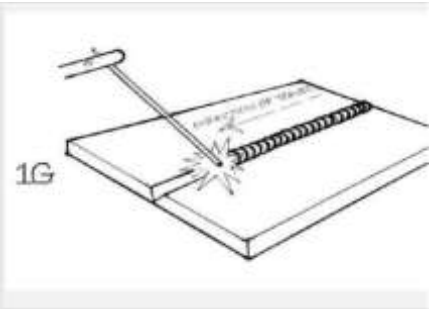
YY (dua angka) :

- Angka 15 = lapisannya mengandung CaO,TiO2& arusnya DCRP.
- Angka 16 = lapisannya mengandung TiO& K2O & arusnya DCRP atau AC.
- Angka 17 = lapisannya mengandung CaO,TiO2 K2O SiO O SiO2& arusnya DCRP atau AC.

2.4 Posisi Pengelasan

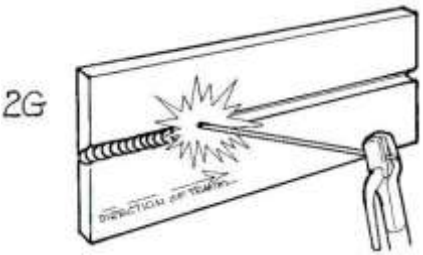
Pada proses pengelasan plat baja terdapat berbagai macam posisi. Adapun macam-macam posisi pengelasan pada plat antara lain :

a. Posisi Pengelasan 1 G



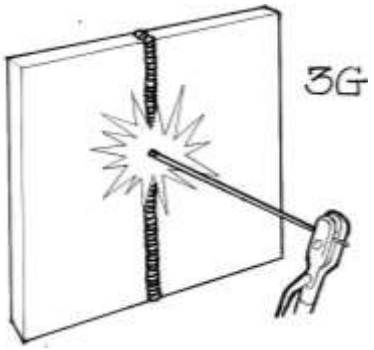
Gambar 2.3 Posisi Pengelasan 1G

b. Posisi pengelasan 2G



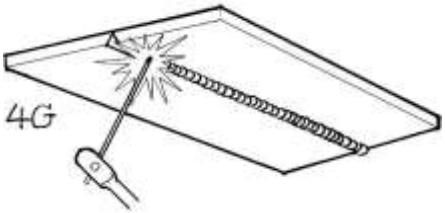
Gambar 2.4 Posisi Pengelasan 2G

c. Posisi pengelasan 3G



Gambar 2.5 Posisi Pengelasan 3G

d. Posisi pengelasan 4G

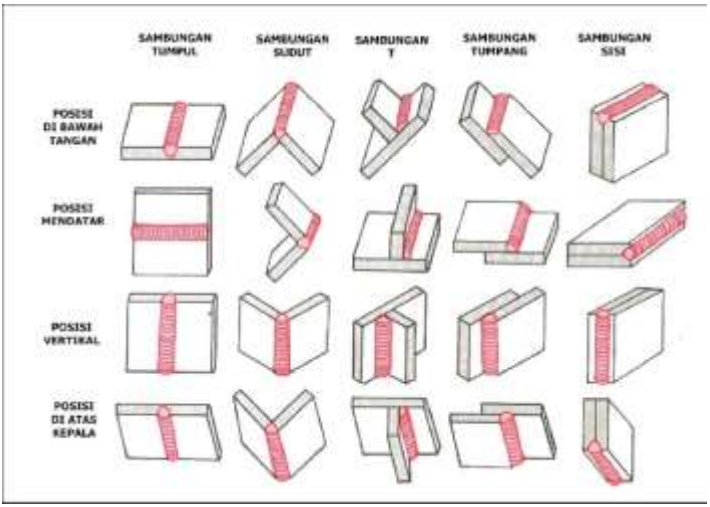


Gambar 2.6 Posisi Pengelasan 4G

2.5 Sambungan Pengelasan

Jenis Sambungan Pengelasan adalah tipe sambungan material atau plat yang digunakan untuk proses pengelasan. Jenis sambungan pada pengelasan sangat banyak macamnya, mulai dari sambungan Butt Joint atau sambungan tumpul, sambungan T Joint atau sambungan Fillet, sambungan sudut

atau Corner Joint atau juga sambungan tumpang atau Lap Joint. Jenis-jenis sambungan las tersebut mempunyai tujuan tertentu.

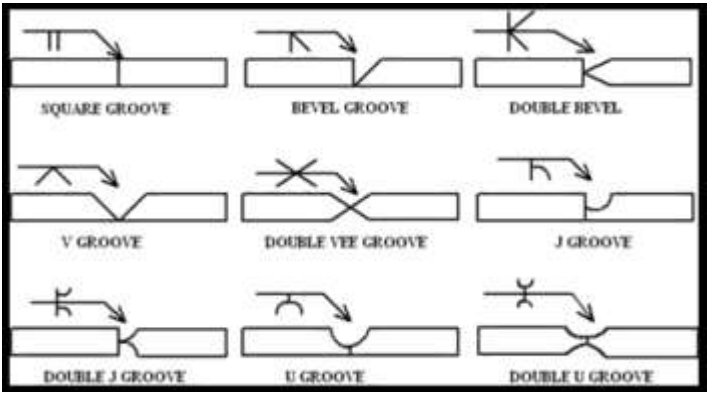


Gambar 2.7 Jenis-Jenis Sambungan Las

2.5.1 Sudut Kampuh

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

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



Gambar 2.8 Jenis-jenis Sudut Kampuh

2.6 Pre Heat dan Post Heat

Definisi preheat menurut AWS (American Welding Society) adalah panas yang diberikan kepada logam yang akan dilas untuk mendapatkan dan memelihara preheat temperature. Sedangkan preheat temperature sendiri definisinya adalah suhu dari logam induk (base metal) disekitar area yang akan dilas, sebelum pengelasan itu dimulai. Pada multipass weld definisi preheat temperature adalah suhu sesaat sebelum pengelasan pada pass (celah) selanjutnya dimulai. Pada multipass weld disebut juga sebagai interpass temperature (suhu antar pass (celah).

Pre Heat berfungsi untuk menurunkan gradient temperatur. Semua pengelasan busur menggunakan sumber panas temperatur tinggi. Pada material yang dilas akan terjadi perbedaan temperatur antara sumber panas lokal dan material induk yang lebih dingin ketika pengelasan berlangsung. Perbedaan temperatur tersebut menyebabkan perbedaan pemuaian panas dan kontraksi serta tegangan yang tinggi disekitar area yang dilas. Preheating akan mengurangi perbedaan temperatur dari material induk sehingga akan

meminimalkan masalah yang terjadi seperti distrosi dan tegangan sisa yang berlebih. Apabila tidak dilakaukan preheating maka maka bisa terjadi perbedaan temperatur yang besar antara area las-lasan dengan logam induk. Hal ini dapat mengakibatkan pendinginan yang terlalu cepat sehingga menyebabkan terbentuknya martensit dan pada beberapa material dengan hardenability yang tinggi mungkin terjadi cracking.

Post weld heat treatment adalah bagian dari process heat treatment yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa yang terbentuk setelah proses weldingan selesai. Material terutama carbon steel akan mengalami perubahan struktur dan grain karena effect dari pemanasan dan pendinginan. Struktur yang tidak homogen ini menyimpan banyak tegangan sisa yang membuat material tersebut memiliki sifat yang lebih keras namun ketangguhannya lebih rendah.

Postweld heat treatment biasanya digunakan untuk stress relief (pelepasan tegangan sisa). Tujuan dari stress relieving adalah untuk mengurangi semua tegangan sisa atau tegangan internal yang mungkin terbentuk saat proses pengelasan. Stress relief setelah pengelasan mungkin saja diperlukan untuk mengurangi resiko patah getas (bruttle fracture), untuk menghndari distorsi saat machining, atau untuk mengurangi resiko terjadinya stress corrosion cracking.

Untuk beberapa alloy steel, tempering mungkin diperlukan untuk mendapatkan struktur metalurgi yang cocok. Treatment ini umumnya dilakukan setelah las-lasan mendingin, tetapi apabila kondisinya kurang meyakinkan bisa saja dilakukan sebelum lasan mendingin untuk mencegah cracking.

Struktur lasan yang sangat kasar pada baja, akibat dari electro-slag (terak) selama proses pengelasan, mungkin membutuhkan normalizing stelah proses pengelasan. Treatment ini akan memperbaiki struktur butir yang kasar, mengurangi

tegangan sisa setelah pengelasan, dan mengurangi daerah keras (hrad zone) di HAZ.

2.7 Masukan panas (Heat Input)

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

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

Dimana : Hnet = Masukan Panas ($\frac{J}{mm}$)

I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

v = Travel Speed (mm/s)

Pada pengelasan sendiri juga memiliki pembeda yaitu koefisien mesin las. Pada mesin las SMAW koefisien las berkisar 0,8-1,0. Perbedaan koefisien inilah yang menyebabkan masukan panas pada tiap jenis las berbeda. Apabila masukan panas dari suatu pengelasan terlalu tinggi maka daerah HAZ akan menjadi lebar sehingga mudah terjadi penurunan nilai kekerasan yang diakibatkan cacat seperti undercut. Akan tetapi apabila masukan panas terlalu kecil maka juga akan menimbulkan cacat las seperti inclusion.

Efek dari masukan panas terhadap laju pendinginan hampir sama dengan temperatur pemanasan awal. Masukan panas akan mempengaruhi sifat mekanik dari bahan pada

pengelasan. Pada pengelasan akan meningkatkan ketangguhan karena panas yang dihasilkan menjadikan efek dari proses preheat.

2.8 Austenitic Stainless Steel

Kelompok material ini mengandung paling sedikit 18% chromium dan 8% *nickel*. Pada dasarnya penambahan elemen paduan lainnya bisa dilakukan terhadap *stainless steel* ini seperti *molybdenum, titanium* atau *copper* untuk memodifikasi atau meningkatkan sifat-sifatnya membuat *stainless steel* ini sangat cocok untuk pengaplikasian kondisi-kondisi kritis yang melibatkan temperatur tinggi dengan peforma ketahanan koroso tidak berkurang.

Kelompok ini juga sangat cocok untuk aplikasi material cryogenic (material yang beroperasi pada temperatur rendah). *Stainless steel austenitic* sebenarnya sifat-sifat struktur Kristal FCC di dominasi oleh pengaruh unsur nickel. Sehingga unsur nickel mencegah kerapuhan pada temperatur rendah membuat stainless steel austenitic memiliki karakteristik untuk menjadi material cryogenic. Berikut ini merupakan klasifikasi dari austenic *stainless steel*.

2.9 Material SUS 304

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SUS 304 dimana material ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik yaitu, ditunjukan pada tabel 2.1 dan tabel 2.2

Tabel 2.1 Nilai *Chemical Composition*

Chemical Composition%								
Grade	C≤	Si≤	Mn	P≤	S≤	Ni	Cr	Cu
304	0.08	0.6	1.0-2.0	0.05	0.008	8.0--11.0	17.0-19.0	0.35-0.5

(Sumber:https://www.daido.co.jp/en/products/stainless/sus_jis.pdf)

Tabel 2.2 Sifat Mekanik SUS 304

Grade	Tensile Strength (MPa) min	Yield Strength 0.2% Proof (MPa) min	Elongation (% in 50mm) min	Hardness	
				Rockwell B (HR B) max	Brinell (HB) max
304	515	205	40	92	201

(Sumber:https://www.daido.co.jp/en/products/stainless/sus_jis.pdf)

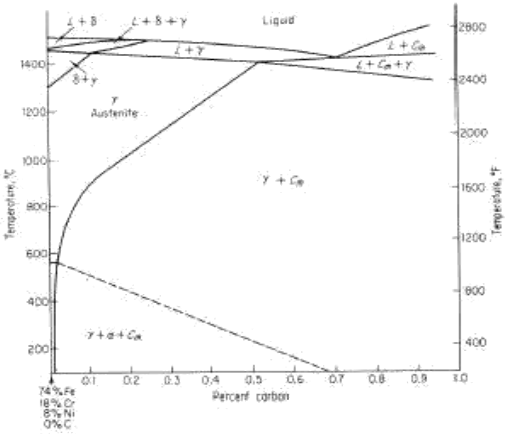


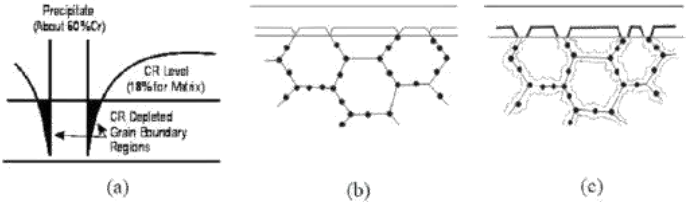
Fig. 9-10 Tentative cross-section diagram showing trend of reactions in steels alloyed with 18 percent chromium and 8 percent nickel. (From E. E. Thum, "Book of Stainless Steels," 2d ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1935.)

Gambar 2.9 Cross Section Diagram Untuk Baja Yang Mengandung 18% Kromium
(Sumber : Introduction To Physical Metalurgy, 1974)

2.10 Sensitisasi

Sensitisasi atau sensitation ialah pengendapan karbida selama perlakuan panas baja stainless yang mereduksi sejumlah krom yang diperlukan untuk ketahanan korosi. Kecenderungan suatu bahan untuk terkorosi sangat ditentukan oleh jenis maupun sifat-sifat bahan maupun lingkungannya. Sifat-sifat bahan sangat ditentukan oleh beberapa faktor di antaranya adalah jenis unsur paduan, cara perlakuan pemanasan maupun cacat-cacat yang menyertai saat pengerjaan. Peristiwa sentisisasi dapat mengakibatkan terjadinya korosi antar butir. Hal ini disebabkan ketidaksempurnaan struktur mikro baja tahan karat ketika berada pada temperatur sensitisasi (450-850)ºC dan dibiarkan mendingin secara perlahan maka atom karbon akan menarik atom-atom krom untuk membentuk

partikel kromium karbida di daerah batas butir (grain boundary) seperti ditunjukkan gambar



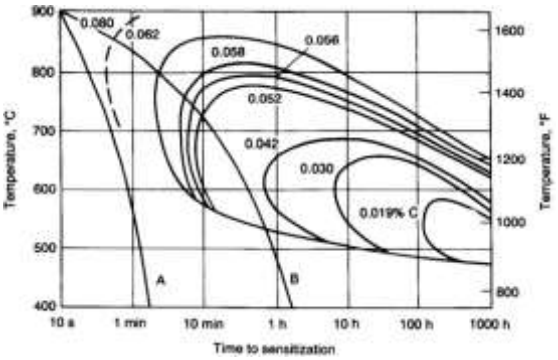
Gambar 2.10 Skema Korosi Antar Butir Pada Baja Tahan Karat

(Sumber : Pengamatan Struktur Mikro Pada Korosi Antar Butir, 2009)

2.11 Presipitasi

Presipitasi ialah pemisahan fasa baru dari padatan atau larutan lewat jenuh, biasanya terjadi karena perubahan kondisi temperatur, tekanan, atau keduanya. Presipitasi karbida terjadi sebagai akibat adanya unsur paduan yang membentuk senyawa karena adanya energi yang mengaktifasi unsur-unsur tersebut. Energi tersebut dapat terjadi sebagai akibat proses fabrikasi, seperti yang terjadi pada proses pengelasan. Dengan demikian bisa dikatakan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya presipitasi karbida adalah jenis dan jumlah unsur paduan dalam baja serta perlakuan panas yang dialami baja tersebut. Pada tahun 1950 Mahla dan Nielson melihat dengan lebih teliti, bentuk, ukuran serta letak dari presipitasi karbida yang diyakinkan sebagai penyebab korosi batas butir. Kasus yang paling sering ditemui adalah korosi batas butir pada baja tahan karat austenitik (austenitic stainless steels). Korosi ini terjadi akibat terbentuknya presipitasi karbida (M23C7) pada batas butir, yang menyebabkan daerah sekitar batas butir akan mengalami pemiskinan kromium (chromium depletion) sampai

jauh dibawah kadar 12 % yang merupakan kadar ambang batas syarat ketahanan baja terhadap korosi (Fontana, 1983). Presipitasi karbida terjadi sebagai akibat adanya unsur paduan yang membentuk senyawa karena adanya energi yang mengaktifasi unsur-unsur tersebut. Energi tersebut dapat terjadi sebagai akibat proses fabrikasi, seperti yang terjadi pada proses pengelasan. Dengan demikian bisa dikatakan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya presipitasi karbida adalah jenis dan jumlah unsur paduan dalam baja serta perlakuan panas yang dialami baja tersebut.

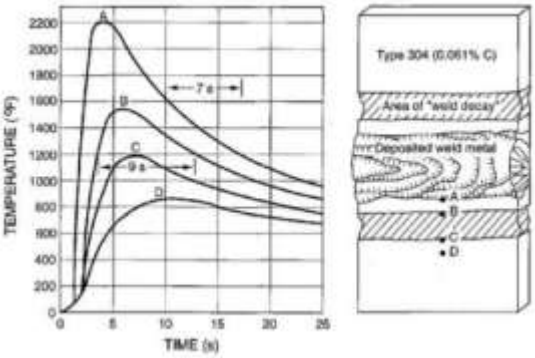


Gambar 2.11 Diagram time-temperature-sensitization for 304 Stainless Steel

(Sumber : https://www.australwright.com.au/sensitisation-of-austenitic-stainless-steels/)

Grafik menunjukkan Time-Temperature-Sensitization diagram (TTS) untuk 304 stainless steel austenitic dengan berbagai kandungan karbon. Berkurangnya kandungan karbon secara signifikan menunda pembentukan kromium karbida dan timbulnya korosi intergranular. Dalam kadar karbon rendah, didefinisikan sebagai kadar karbon di bawah 0,030%, paparan sekitar delapan jam diperlukan sebelum terjadi sensitisasi.

Austenitik rendah karbon bersifat menengah dalam kecenderungan untuk mengendapkan kromium karbida ke tingkat yang stabil dan tidak distabilkan. Kandungan karbon yang lebih rendah dalam stainless steel austenitik akan memperlambat kinetika presipitasi karbida, yang memungkinkan waktu lebih lama pada suhu sebelum timbulnya kepekaan, seperti yang ditunjukkan dalam grafik. Kandungan karbon 0,03% dan lebih rendah memungkinkan kunjungan singkat selama beberapa jam ke dalam kisaran suhu peka tanpa kehilangan ketahanan terhadap korosi. Karbon dalam austenit dapat disimpan dalam kondisi jenuh untuk waktu yang lama. Inilah sebabnya mengapa nilai L austenitik tidak peka walaupun mereka sedikit jenuh. Sensitisasi terjadi pada tingkat karbon yang lebih tinggi dengan pemanasan yang lama pada 600 hingga 850° C.



Gambar 2.12 Thermal Cycle 304 Stainless Steel

(Sumber : Induction Infrared Thermography for Non-Destructive Evaluation of Alloy Sensitization, 2019)

2.12 Karbida Krom

Presipitasi karbida pada batas butir baja tahan karat austenitik menurunkan kadar kromium disekitarnya sehingga menyebabkan baja rentan terhadap serangan korosi batas butir. Chromium Carbide atau disebut Kromium Karbida, sebagian besar terbentuk pada batas butir dan tidak terbentuk di dalam butiran itu sendiri. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan laju difusi (diffusion rate) atom-atom chromium (Cr) melewati volume butir dan sepanjang batas butir yang jenuh dengan ketidaksempurnaan dari kisi-kisi Kristal.

2.13 Uji Kekerasan (Hardness Test)

Hardness Test adalah pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan suatu bahan, dalam hal ini kekerasan pada daerah base metal, weld metal dan HAZ. Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strenght (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

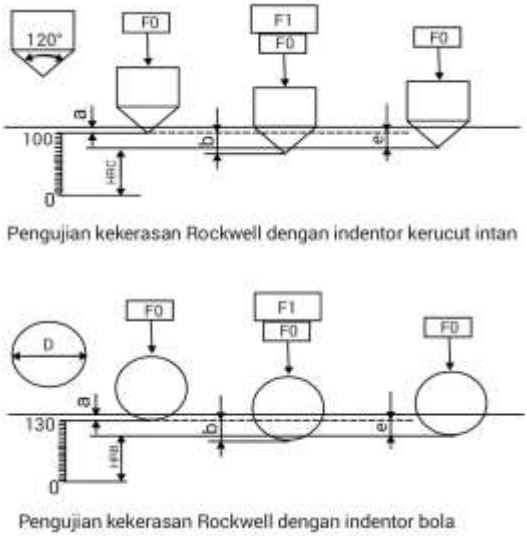
a. Metode Pengujian Kekerasan Brinell
b. Metode Pengujian Kekerasan Vickers
c. Metode Pengujian Kekerasan Rockwell

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

2.13.1 Pengujian kekerasan Rockwell

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada spesimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indentor,

yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (diamond cone). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indentor, seperti tercantum pada tabel 2.1. Pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaanya lebih cepat, dimana angka kekerasan spesimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



Gambar 2.13 Prinsip Kerja Rockwell

Keterangan :

a = Penetrasi pada saat beban awal F0

b = Penetrasi pada pada saat beban penuh (F1+F0)

c = Penetrsai setelah beban utama dilepas F1

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.6 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan.

Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h1) dapat ditulis sebagai berikut.

Tabel 2.3 Skala Uji Kekerasan Rockwell

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

2.14 Mikro Etsa

Perlakuan panas yang terjadi pada logam akan mempengaruhi mikrostrukturnya. Perubahan mikrostruktur dapat berupa perubahan fase yang terbentuk dan distribusinya serta ukuran butir. Adanya perubahan mikrostruktur pada umumnya menimbulkan konsekuesi berubahnya sifat mekanik.

Dari pengamatan mikrostrukturnya secara umum sifat mekanik dari suatu logam dapat diprediksi. Hasil dari pengamatan struktur mikro ini akan diperlihatkan berbagai fase untuk diidentifikasi. Penyebaran dan bentuk fase dapat dipelajari dan jika sifat- sifatnya diketahui dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi tentang sifat-sifat specimen. Namun pada saat ini akan dilakukan pengamatan struktur mikro pada suatu specimen. Pada pengamatan struktur mikro umumnya yang diamati adalah ukuran butiran, bentuk butiran, dan larutan padat yang terbentuk, semakin halus dan kecil bentuk butiran, kekuatan mekanis akan bertambah baik. Larutan padat yang tersebar merata, maka kekuatan tariknya akan bertambah baik pula.

Langkah-langkah pengujian struktur mikro yaitu:

a. Sebelum specimen yang akan dilakukan pengujian dihaluskan dan diratakan permukaannya terlebih dahulu agar dapat dilihat struktur mikronya.
b. Setelah itu permukaan yang telah selesai dihaluskan dan diratakan kemudian dietsa menggunakan HF (hydrofluoric acid), HCI (hydrogenchloride) dan HNO3 (nitric acid) benda di celupkan selama kurang lebih sepuluh detik kemudian dibilas menggunakan air dan keringkan.
c. Benda uji yang telah dietsa diletakkan diatas landasan (anvil) tegak lurus dengan lensa mikroskop.
d. Pembesaran yang dipakai 500X dan 1000X.
e. Menaikkan landasan anvil atau digeser sampai benda kerja uji terfokus ke lensa dan mendapatkan hasil gambar yang bagus, setelah focus kemudian dilakukan pemotretan.
f. Pengambilan gambar dilakukan pada tiga lokasi yang berbeda pada satu permukaan saja yaitu daerah logam induk, HAZ, dan daerah lasan.
g. Setelah selesai pemotretan benda dilepas dari landasan.

Gambar 2.14 Alat Uji Mikrostruktur

2.15 Uji Tarik (Tensile Test)

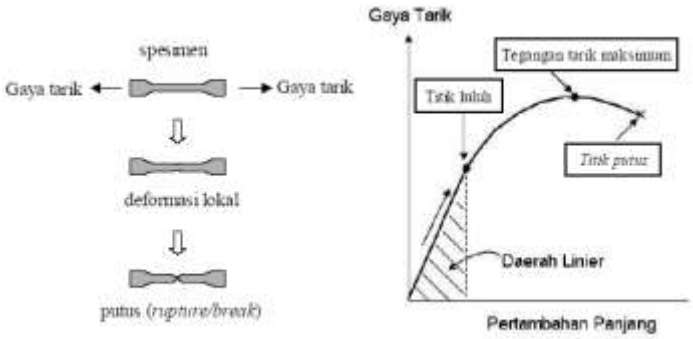
Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material.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

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu material, khususnya logam diantara sifat-sifat mekanis

yang dapat diketahui dari hasil pengujian tarik adalah sebagai berikut :

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

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



Gbr.1 Gambaran singkat uji tarik dan datanya

Gambar 2.15 Uji Tarik dan Kurvanya

Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut. Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut "Ultimate Tensile Strength" disingkat dengan UTS, dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum. Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik,

hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau linear zone. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang berlawanan dengan beban mengikuti aturan Hooke yaitu rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan. Stress adalah beban dibagi dengan luas penampang dari bahan dan strain adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan. Untuk hasil dari elongation dapat dilihat dari rumus dibawah.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Percobaan

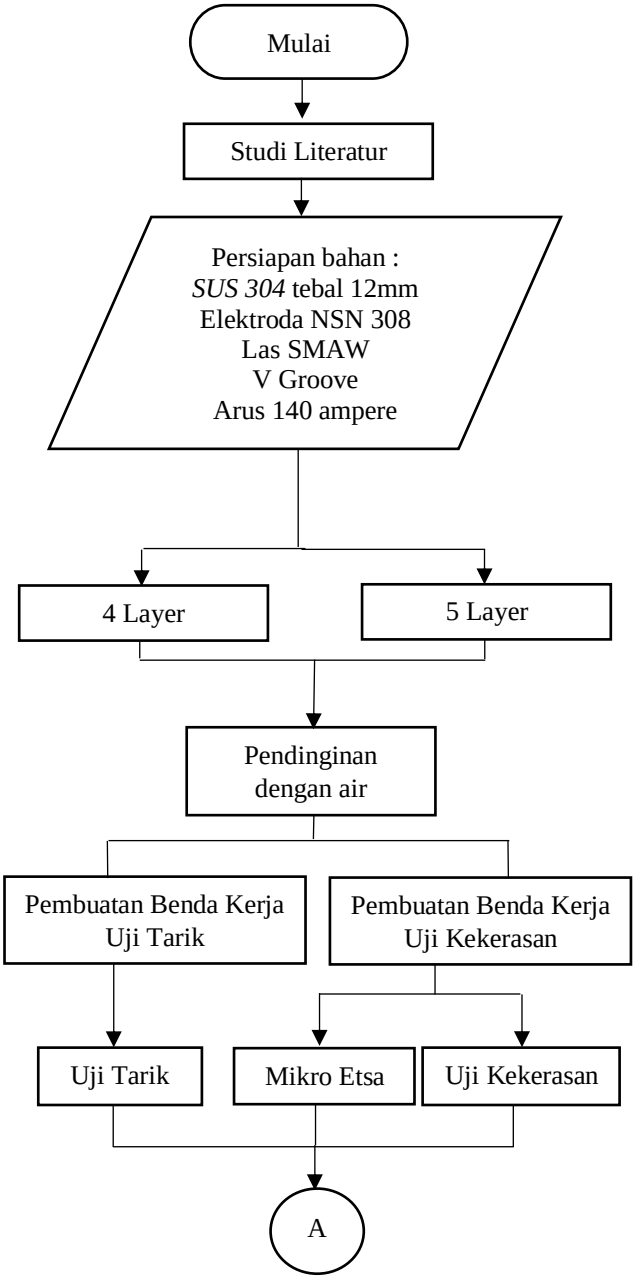
Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan eksperimen untuk mencari pengaruh variasi jumlah layer pada sambungan las smaw dengan elektroda NSN 308, material SUS 304. Eksperimen dan pengujian dilakukan di Workshop Departemen Teknik Mesin Industri FV – ITS.

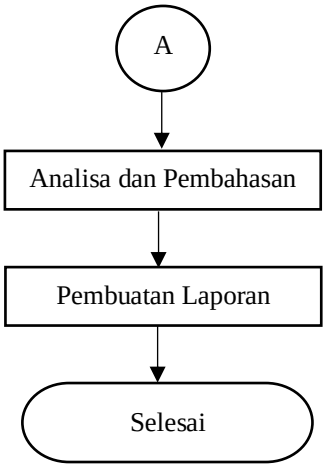
Parameter yang akan diamati dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kekerasan : menganalisa kekerasan pada logam las , HAZ dan logam induk dengan melakukan pengujian kekerasan rockwell.
2. Kekuatan tarik : menganalisa kekuatan tarik pada benda kerja 5 layer dan 4 layer.
3. Struktur Mikro : menganalisa struktur mikro pada logam las , HAZ dan logam induk dengan melakukan pengujian mikro etsa.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Dalam memperoleh hasil yang diharapkan, dalam penelitian memerlukan langkah-langkah yang sistematis sehingga perlu disusun diagram alir penelitian. Diagram alir tersebut akan memudahkan juga bagi orang lain memahami langkah-langkah yang dilakukan peneliti. Diagram alir penelitian yang dilakukan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :


Mulai
Studi Literatur
Persiapan bahan :
SUS 304 tebal 12mm
Elektroda NSN 308
Las SMAW
V Groove
Arus 140 ampere
4 Layer
5 Layer
Pendinginan
dengan air
Pembuatan Benda Kerja
Uji Tarik
Pembuatan Benda Kerja
Uji Kekerasan
Uji Tarik
Mikro Etsa
Uji Kekerasan
A



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester gasal tahun ajaran 2019/2020 yaitu pada bulan Desember 2019 sampai Januari 2020.

3.4 Tempat Penelitian

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

3.5 Studi Literatur

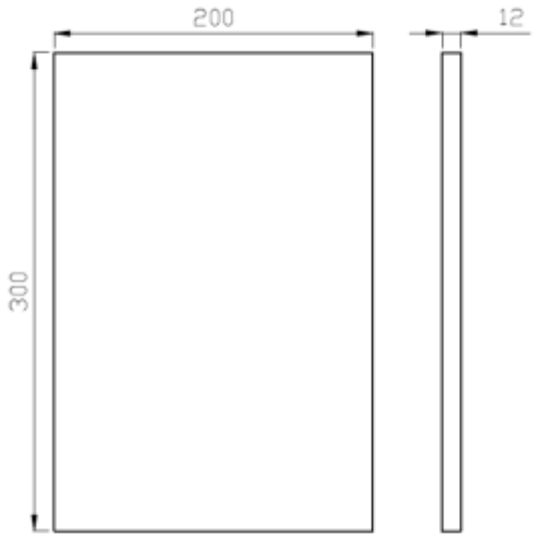
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.6 Persiapan Bahan Pengelasan

Bahan yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Material plat *stainless steel SUS 304* sebagai bahan spesimen dengan dimensi 300mm x 200mm x 12mm sejumlah 4 material plat.
- Elektroda NSN 308 digunakan sebagai logam pengisi lasan dengan diameter 3,2 mm.

Dimensi ukuran benda kerja sebagai berikut :



Gambar 3.2 Dimensi Benda Kerja

Tabel 3.1 Komposisi Kimia SUS 304

Cr	18%
Ni	8%
Mn	2%
N	0,10%

S	0,03%
C	0,08%
Si	0,75%
P	0,045%

3.7 Persiapan Alat Pengelasan

Alat bantu yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a) Las SMAW

Gambar 3.3 Mesin Las SMAW

b) Mesin Gerinda Tangan

Gambar 3.4 Mesin Gerinda Tangan

c) Ragum

Gambar 3.5 Ragum

d) Tang Ampere

Gambar 3.6 Tang Ampere

e) Helm Welder

Gambar 3.7 Helm Welder

f) Sarung Tangan

Gambar 3.8 Sarung Tangan Las

g) Palu

Gambar 3.9 Palu

h) Stopwatch / HP

3.8 Persiapan Benda Kerja Pengelasan

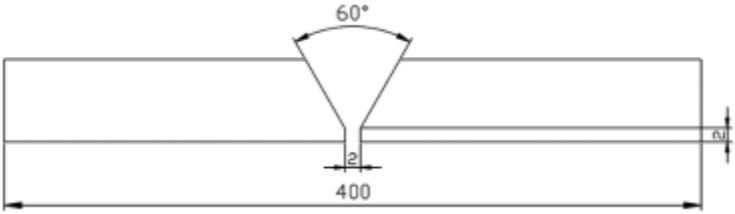
Persiapan benda kerja yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a) Siapkan Material plat *stainless steel SUS 304* dengan dimensi 300mm x 200mm x 12mm dengan jumlah empat material plat.

b) Siapkan elektroda NSN 308

Gambar 3.10 Elektroda NSN 308

c) Buat groove dengan menggunakan mesin milling atau gerinda dengan dimensi seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3.11 V Groove

d) Benda kerja siap di las.

Gambar 3.12 Benda Kerja V Groove

3.9 Proses Pengelasan

Dalam penelitian pengelasan ini menggunakan las SMAW (Shield Metal Arc Welding) DC/EP dengan posisi pengelasan 1G dengan variasi sebagai berikut :

a) Variasi 5 layer

   Pada proses pengelasan ini menggunakan elektroda NSN 308 dengan diameter 3,2mm dengan menggunakan V groove dengan sudut 60° dengan jumlah 5 layer.

b) Variasi 4 layer

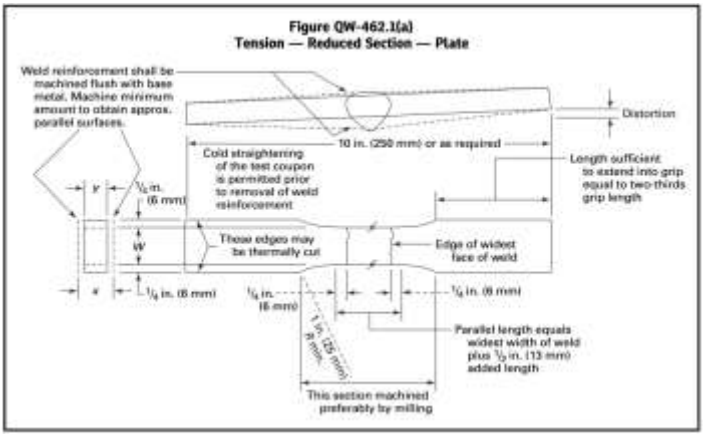
   Pada proses pengelasan ini menggunakan elektroda NSN 308 dengan diameter 3,2mm dengan menggunakan V groove dengan sudut 60° dengan jumlah 4 layer.

3.10 Pengujian Benda Kerja

Setelah proses pengelasan selesai dan hasilnya secara fisik tidak terlihat terjadinya cacat las, maka selanjutnya dilakukan pembuatan benda kerja dan dipotong sesuai dengan kebutuhan dimensi setiap pengujian.

3.10.1 Uji Tarik (Tensile Test)

Pembuatan benda kerja uji tarik pada penelitian ini menggunakan standar ASME. Pemotongan benda kerja dilakukan menggunakan gerinda tangan. Kemudian untuk pembuatan filletnya menggunakan mesin milling.



Gambar 3.13 Dimensi Spesimen Uji Tarik

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

Gambar 3.14 Mesin Uji Tarik

Berikut langkah-langkah pengujian tarik :

a) Ukur benda kerja uji tarik menggunakan jangka sorong apakah sudah sesuai standar dimensi pengujian.
b) Lakukan pengetsaan agar batas daerah las terlihat sehingga memudahkan untuk pengambilan data.
c) Pasanglah benda uji dengan hati-hati pada grip mesin uji tarik.
d) Nyalakan mesin uji tarik dan lakukan dan amati pembebanan tarik sampai benda kerja uji tarik putus.
e) Jarum indikator beban akan bergerak terus hingga mencapai titik max load dari benda uji yang diuji kemudian mengalami penurunan dan putusnya benda kerja.
f) Lepaskan benda kerja dari grip mesin uji tarik.

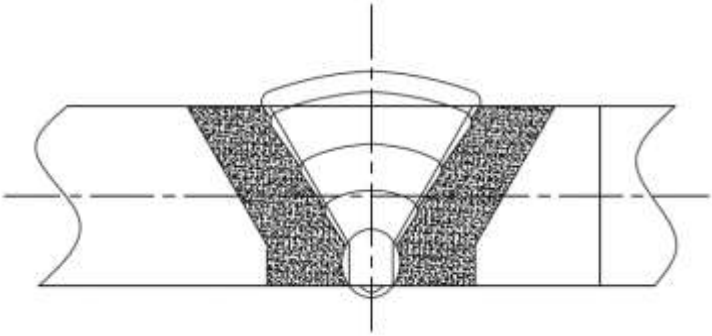
Satukan kembali patahan benda uji dan ukurlah panjang akhir (L) antara dua titik (gauge marks). Ukurlah pula diameter akhir dari bagian benda uji yang mengalami necking.

3.10.2 Pengujian Kekerasan

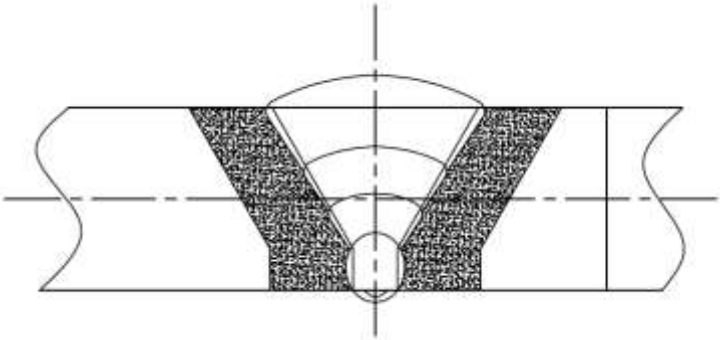
Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui perbedaan tingkat kekerasan pada daerah base metal, daerah HAZ dan daerah logam las. Pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji kekerasan Rockwell.

Gambar 3.15 Mesin Uji Kekerasan Rockwell

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



Gambar 3.16 Sket Spesimen 5 Layer Uji Kekerasan



Gambar 3.17 Sket Spesimen 4 Layer Uji Kekerasan

Adapun langkah- langkah dari pengujian kekerasan Rockwell adalah sebagai berikut :

a) Pastikan permukaan (atas dan bawah) benda kerja harus datar, halus, serta bebas dari kotoran, minyak, benda asing maupun cacat.
b) Lakukan proses pengetsaan untuk melihat daerah *weld metal*, HAZ dan *base metal*.
c) Hasil dari proses makro etsa, tarik garis sumbu (x,y) pada benda kerja pada salah satu layer.
d) Memasang identor pada housing identor.
e) Atur beban penekanan sebesar 150 kgf memakai skala C yang bertujuan melindungi identor agar tidak rusak.
f) Kemudian beban penekanan yang dipakai adalah 100 memakai skala B (HRB) karena menggunakan identor skala C tidak menunjukkan nilai kekerasan yang ada.
g) Menempatkan benda kerja diatas anvril dan tegak lurus dengan identornya.
h) Menaikkan anvril dengan memutar handle searah jarum jam sampai menyentuh identor, kemudian dinaikkan terus identor, kemudian dinaikkan terus sampai jarum kecil pada dial indikator menyentuh

titik merah dan tekan tombol pengujian, tunggu hingga beberapa saat (5 detik) sampai jarum panjang akan menunjuk pada angka kekerasan .

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

3.10.3 Pengujian Mikro Etsa

Mikro test bertujuan untuk mengatahui sifat mekanik material dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan melalui mikroskop. Sehingga dari permukaan bahan akan terlihat bentuk kristal molekul-molekulnya. Prosedur pembuatan benda uji dan pengujian adalah sebagai berikut:

A. Material
   1. Pastikan permukaan benda kerja rata
   2. Lakukan pengamplasan kering hal ini dilakukan untuk menghilangkan goresan hasil pengerindaan / pengergajian sebelumnya sampai didapatkan alur goresan segaris
   3. Lakukan pengamplasan basah (dengan menggunakan air) sampai benda kerja mengkilat
   4. Polishing benda kerja menggunakan Autosol dengan kain jeans/bludru hingga goresan pada permukaan benda kerja menghilang, pada proses Polishing sebaiknya benda kerja diputar-putar untuk menghindari Shadow Effect. Lakukan Polishing hingga permukaan benda kerja rata dan mengkilat tidak ada bekas amplas
   5. Bersihkan permukaan benda kerja dengan air mengalir kemudian dengan menggunakan alkohol, lalu keringkan permukaan benda kerja.

B. Etching

Pengetsaan adalah proses mereaksikan benda kerja dengan larutan kimia.

1. Cuci benda kerja menggunakan sabun untuk memastikan bekas Autosol telah hilang, lalu keringkan menggunakan tisu.
2. Rendam benda kerja di dalam cairan alkohol selama 5 menit
3. Rendam benda kerja kedalam cairan etsa Aqua Regia dengan komposisi HNO3 20 ml dan HCL60 ml yang berada dalam cawan keramik, rendam selama 3 menit.
4. Angkat benda kerja menggunakan tang penjepit, lalu rendam benda kerja ke dalam cairan alkohol baru.
5. Keringkan benda kerja menggunakan udara panas (dari Hair Dryer), Pastikan benda kerja benar-benar Kering

Gambar 3.18 Proses Perendaman Dengan Alkohol

Gambar 3.19 Proses Perendaman Dengan Aqua Regia

Gambar 3.20 Proses Pengeringan Dengan Hair Dryer

C. Mikroskop

Mikroskop digunakan untuk melihat struktur mikro, adapun langkah-langkah yang dalam mengoprasikan mikroskop adalah :

1. Nyalakan komputer terlebih dahulu.
2. Pastikan kabel konektor (USB) yang menghubungkan mikroskop dan komputer terpasang dengan baik

Gambar 3.21 Olympus

3. Nyalakan Control Box (Olympus Video) terlebih dahulu sebelum menyalakan mikroskop dengan menekan tombol power.

Gambar 3.22 Mikroskop

4. Kemudian nyalakan mikroskop dengan menekan tombol power pada mikroskop tersebut.
5. Setelah Control Box dan mikroskop dalam kondisi menyala, periksalah koneksi sekali lagi antara

komputer dan mikroskop. Apabila belum terkoneksi, periksalah kembali sambungkan kabel konektor tersebut.

6. Terkadang koneksi tidak terdeteksi secara otomatis pada komputer, oleh karena itu anda perlu mengaktifkan Add Hardware pada Control Panel komputer anda. Setelah itu pastikan terdeteksi padakomputer (ditandai dengan bunyi ”ding-ding” pada komputer). Hal ini hanya dilakukan bila koneksi tidak terjadi secara otomatis!
7. Setelah semua sambungan terkoneksi dengan baik, ambilah gambar struktur mikro yang terlihat pada Olympus Video atau pada mikroskop dengan menekan tombol Expose (berwarna hijau) pada Olympus Video. Biarkan beberapa saat sampai proses selesai.
8. Untuk pengambilan gambar, pastikan tanda strip putih pada pojok kiri bawah layar Control Box (Olympus Video) mendekati garis merah
9. Lakukan pengambilan gambar sesuai yang dibutuhkan.
10. Untuk mentransfer gambar pada komputer tekanlah icon OLYMP 12 pada Desktop. lalu klik dobel pada folder My Camera, setelah itu klik pada folder DCIM diteruskan dengan mengeklik folder 100 OLYMP. Tunggu beberapa saat, biarkan sampai semua gambar tertera pada Software tersebut.
11. Untuk menyimpan gambar, silakan drag gambar struktur mikro pada folder dimana anda ingin menyimpannya
12. Setelah semua proses selesai, matikan terlebih dahulu power mikroskop lalu Olympus Video

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana perbedaan pengaruh variasi multilayer 4 layer dan 5 layer dengan V groove pada pengelasan SMAW menggunakan elektroda NSN 308 pada material SUS 304 terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan mikro etsa.

4.1 Parameter Pengelasan

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

Tabel 4.1 Parameter Pengelasan

NAMA	KETERANGAN
Material spesifikasi	SUS 304
Tebal	12mm
AWS classification	NSN 308
Elektroda diameter	3,2mm
Proses pengelasan	SMAW
Ampere	140Ampere
Posisi pengelasan	1G
Polaritas	DCRP
Groove	V Groove

Tabel 4.2 Heat Input

Type Groove	Arus	Voltase	Travel Speed	Koefisien Las SMAW	H net
4 Layer	140 Ampere	24 V	1.7 mm/s	0,8	1581 J/mm
5 Layer	140 Ampere	24 V	2.1 mm/s		1280 J/mm

4.2 Analisa Data Hasil Pengujian

4.2.1 Pengujian Kekuatan Tarik

Data ini didapatkan dari hasil uji tarik, dimana pengujian dilakukan dengan standart ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). Setelah melakukan pengujian dan mengetahui hasil pengujian tarik, maka dapat ditentukan kekuatan tarik (σ) dihasilkan dengan rumus :

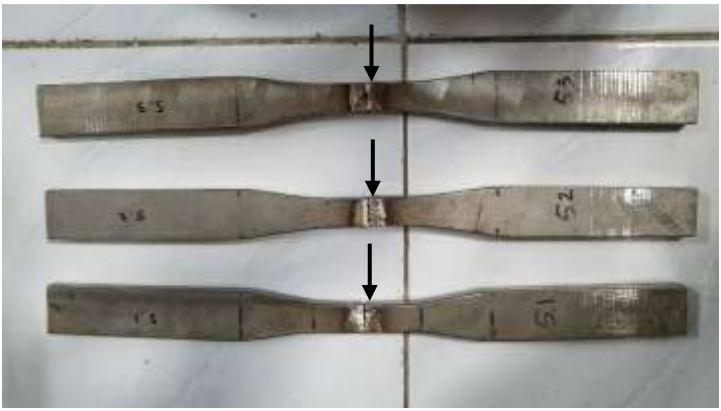
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{Max\ Load}{Lebar\ gauge\ x\ tebal\ plat}$$

Dimana :

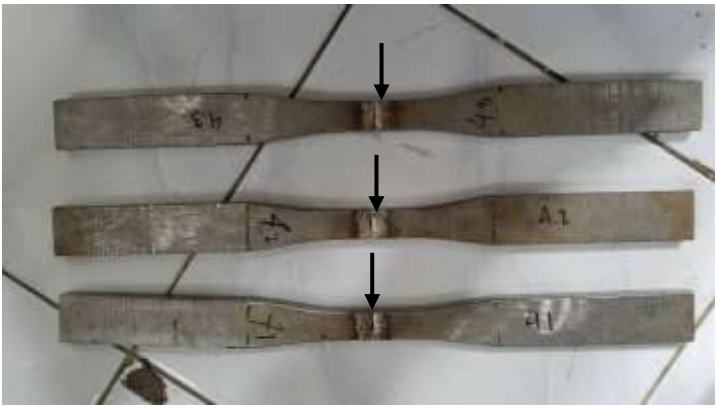
σ = Kekuatan Tarik (kgf/mm2)

F = Pembebanan (kgf)

A = Luas Penampang (mm2)



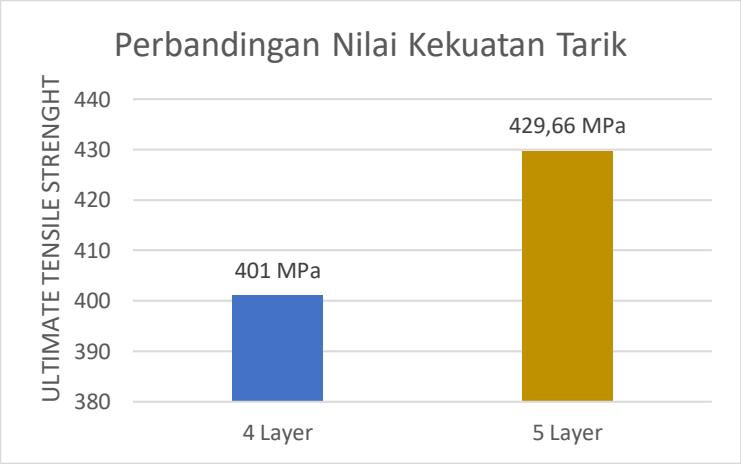
Gambar 4.1 Spesimen 5 Layer Setelah di Uji Tarik
(Patah pada *weld metal*)



Gambar 4.2 Spesimen 4 Layer Setelah di Uji Tarik
(Patah pada *weld metal*)

Tabel 4.3 Data Pengujian Tarik Ketika Ada IP

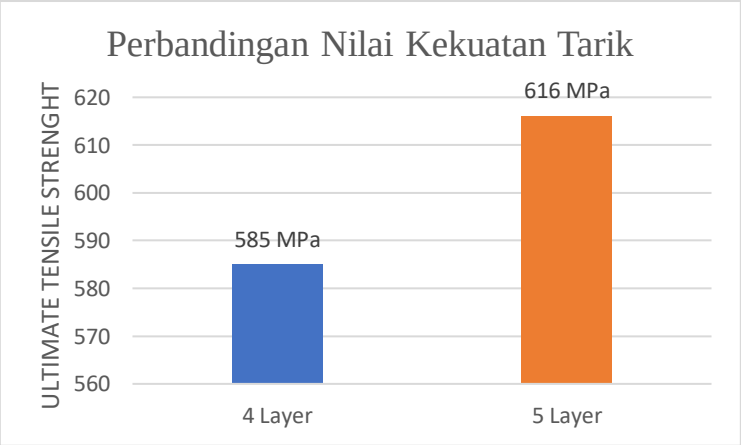
Layer	No.	Ao (mm^2)	Yield Point (kN)	Yield Strenght (MPa)	Max Load (kN)	UTS (MPa)	Lokasi Patah
4 Layer	1	228	76,36	335	92,21	404	WM
	2	228	75,52	331	89,86	394	WM
	3	228	77,05	338	92,43	405	WM
5 Layer	1	228	75,63	332	94,70	415	WM
	2	228	78,65	345	101,73	446	WM
	3	228	76,26	334	97,57	428	WM



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata Kekuatan Tarik Ketika Ada IP

Tabel 4.4 Data Pengujian Tarik Ketika Tidak Ada IP

Layer	No.	Ao (mm^2)	Yield Point (kN)	Yield Strenght (MPa)	Max Load (kN)	UTS (MPa)	Lokasi Patah
4 Layer	1	159,6	76,36	480	92,21	578	WM
	2	152	75,52	497	89,86	591	WM
	3	157,7	77,05	488	92,43	586	WM
5 Layer	1	134,9	75,63	561	94,70	702	WM
	2	174,8	78,65	450	101,73	582	WM
	3	172,9	76,26	441	97,57	564	WM



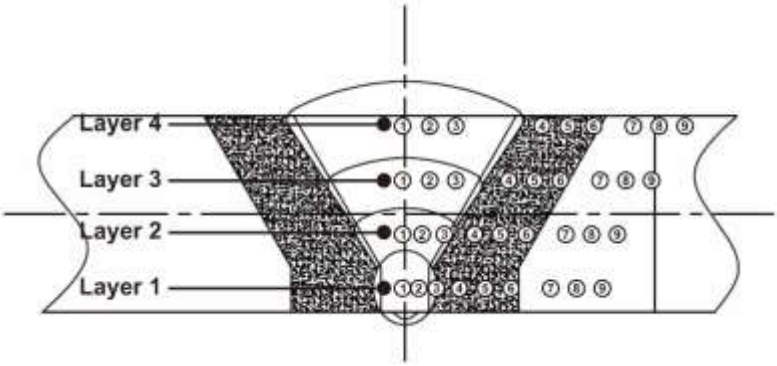
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata Kekuatan Tarik Ketika Tidak Ada IP

Dari data hasil uji tarik diatas dapat disimpulkan bahwa dari kedua spesimen 4 layer maupun 5 layer semuanya patah pada daerah *weld metal*.

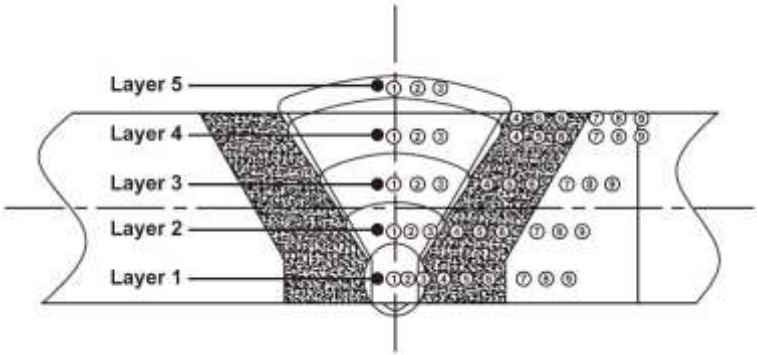
4.2.2 Pengujian Kekerasan

Hasil uji kekerasan diambil dari tiga daerah pengelasan yaitu daerah *weld metal*, daerah HAZ, dan daerah *base metal*. Pengujian kekerasan menggunakan Rockwell dengan indentor bola baja 1,588 mm (1/16") dengan pembebanan 100kgf untuk rockwell B.

Sebelum dilakukan pengujian dilakukan pengetsaan terlebih dahulu agar terlihat perbedaan batas daerah *weld metal*, daerah HAZ dan daerah *base metal* sehingga dapat mengambil data sesuai dengan yang diinginkan. Pada penelitian ini dilakukan indentasi sebanyak 36 dan 45 titik tiap spesimen yang mencakup tiga daerah las. Agar mendapat data yang valid pengambilan titik dilakukan dengan cara menarik garis sumbu kemudian penitikan dilakukan dengan menyesuaikan garis tersebut agar range tidak terlalu jauh.



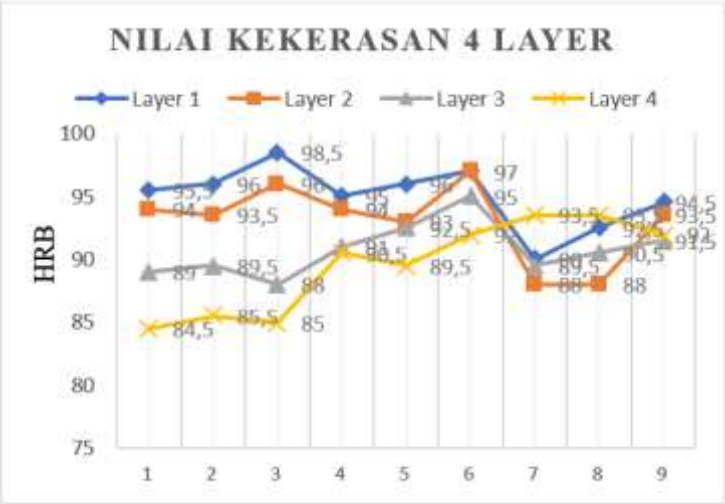
Gambar 4.5 Spesimen Uji Kekerasan 4 Layer



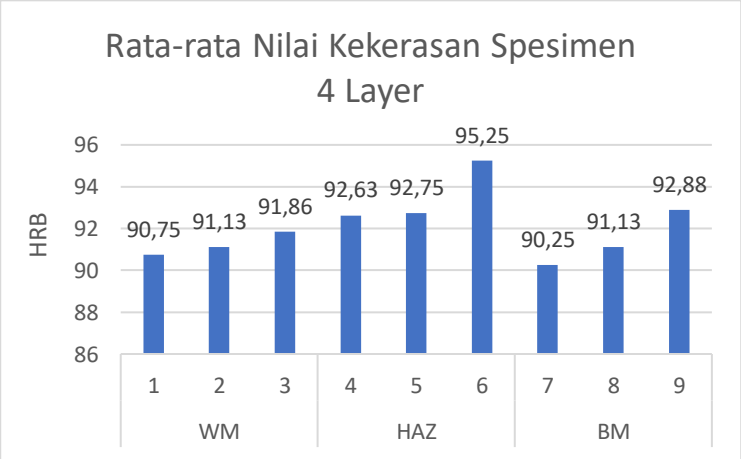
Gambar 4.6 Spesimen Uji Kekerasan 5 Layer

Tabel 4.5 Data Pengujian Kekerasan Spesimen 4 Layer

Titik Indentasi		Layer (HRB)				Rata-rata (HRB)
		1	2	3	4	
Weld Metal	1	95,5	94	89	84,5	90,75
	2	96	93,5	89,5	85,5	91,13
	3	98,5	96	88	85	91,86
HAZ	4	95	94	91	90,5	92,63
	5	96	93	92,5	89,5	92,75
	6	97	97	95	92	95,25
Base Metal	7	90	88	89,5	93,5	90,25
	8	92,5	88	90,5	93,5	91,13
	9	94,5	93,5	91,5	92	92,88



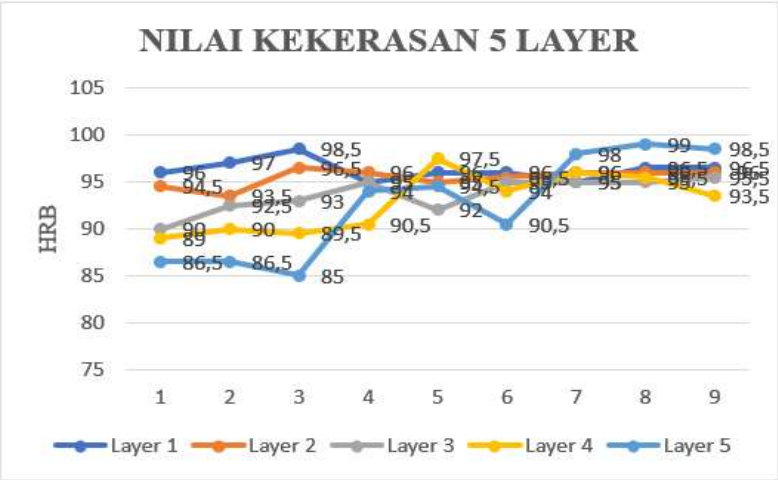
Gambar 4.7 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 4 Layer



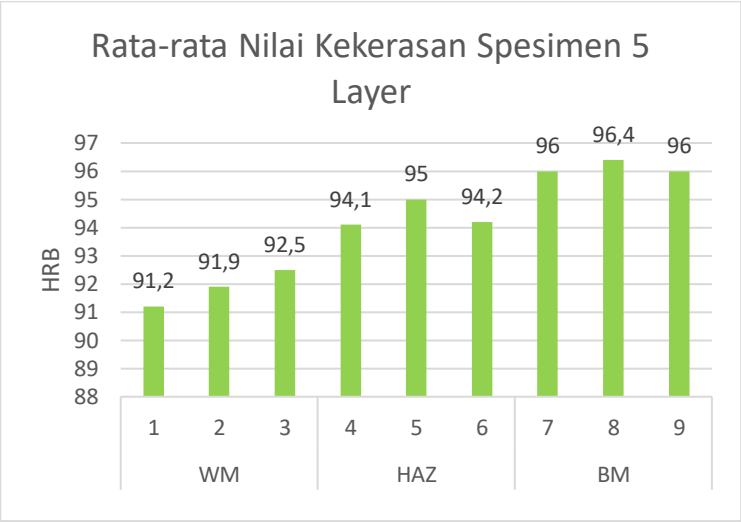
Gambar 4.8 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan Spesimen 4 Layer

Tabel 4.6 Data Pengujian Kekerasan Spesimen 5 Layer

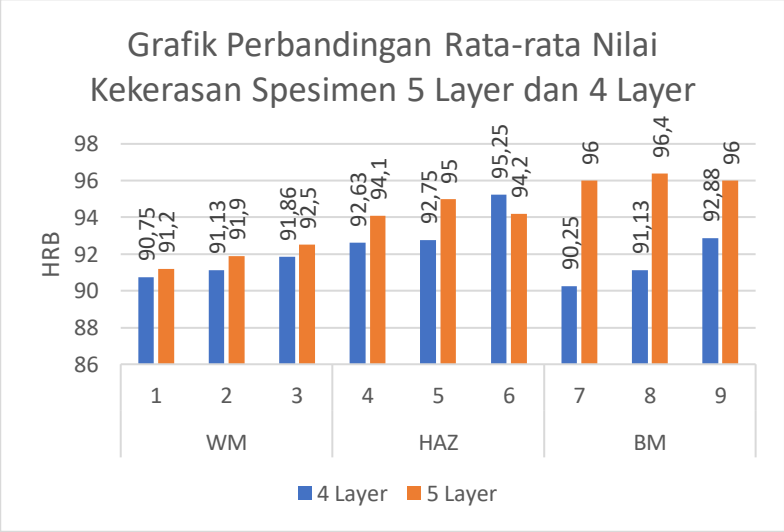
Titik Indentasi		Layer					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
Weld Metal	1	96	94,5	90	89	86,5	91,2
	2	97	93,5	92,5	90	86,5	91,9
	3	98,5	96,5	93	89,5	85	92,5
HAZ	4	95	96	95	90,5	94	94,1
	5	96	95	92	97,5	94,5	95
	6	96	95,5	95	94	90,5	94,2
Base Metal	7	95	96	95	96	98	96
	8	96,5	96	95	95,5	99	96,4
	9	96,5	96	95,5	93,5	98,5	96



Gambar 4.9 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 5 Layer



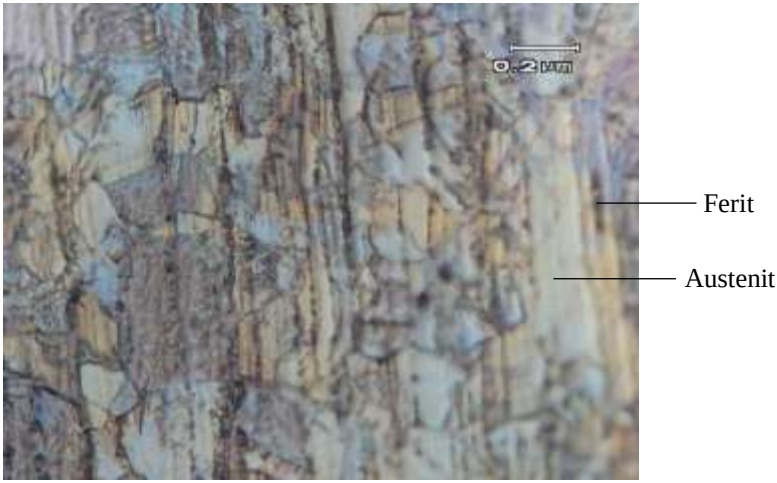
Gambar 4.10 Grafik Rata-rata Nilai Kekerasan Spesimen 5 Layer



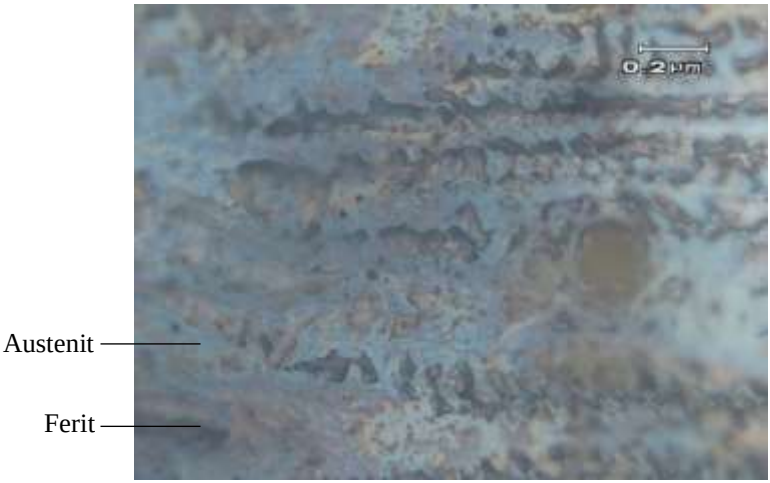
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Rata-rata Nilai Kekerasan Spesimen 5 Layer dan 4 Layer

Dari data hasil pengujian kekerasan di atas dapat disimpulkan bahwa pada spesimen 5 layer lebih keras dibandingkan specimen 4 layer.

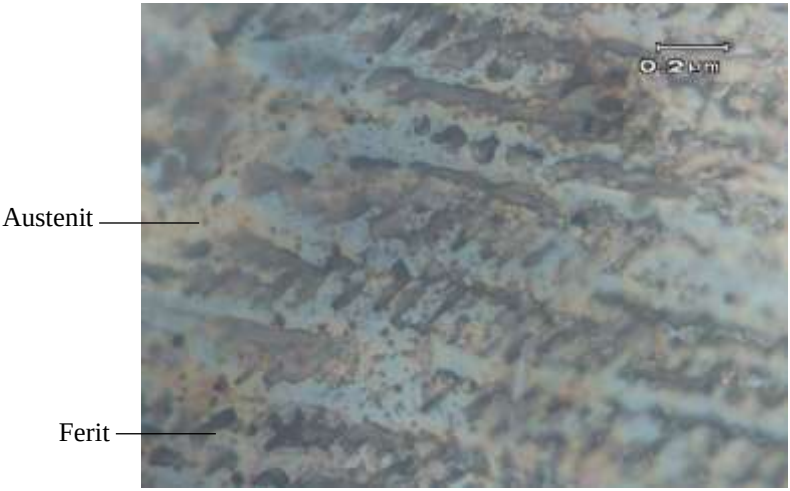
4.2.3 Pengujian Mikro Etsa



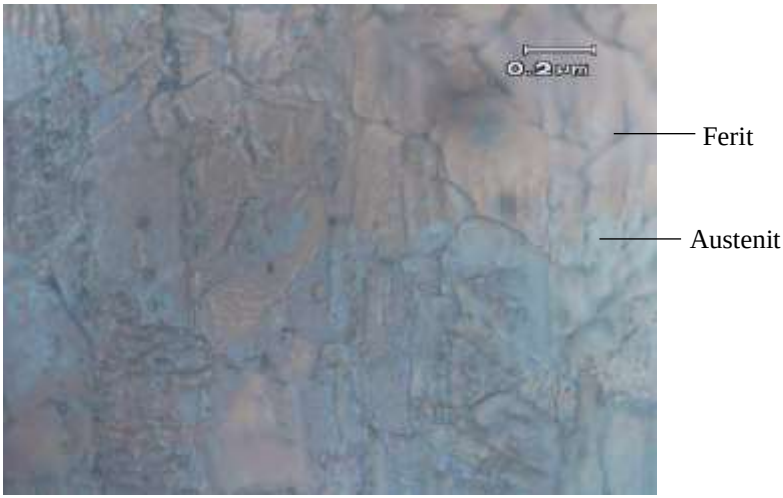
Gambar 4.12 Struktur Mikro *Base Metal* 5 layer



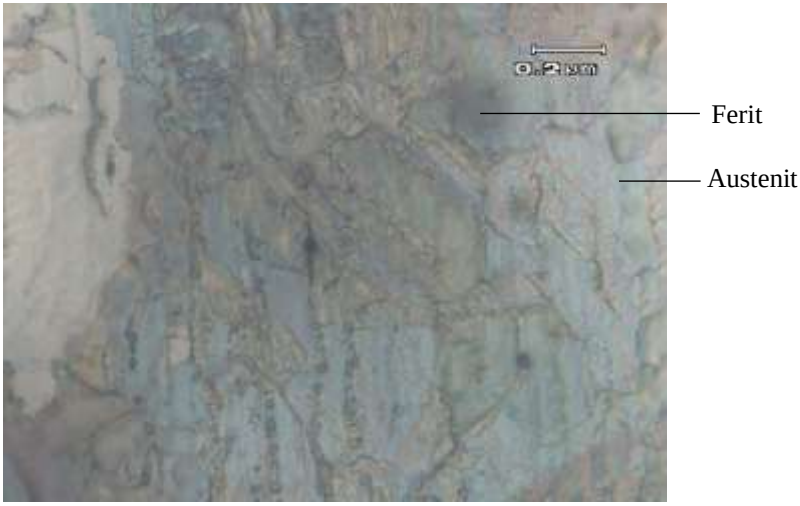
Gambar 4.13 Struktur Mikro *HAZ* 5 layer



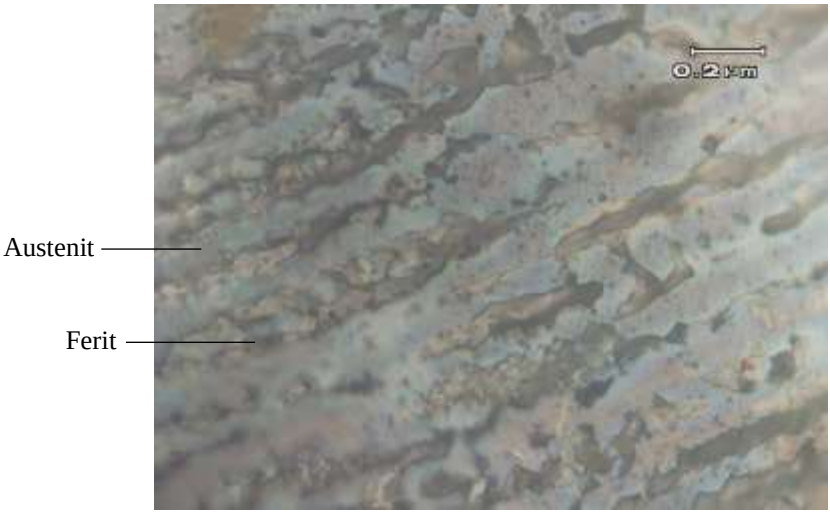
Gambar 4.14 Struktur Mikro *Weld Metal* 5 layer



Gambar 4.15 Struktur Mikro *Base Metal* 4 layer



Gambar 4.16 Struktur Mikro *HAZ* 4 layer



Gambar 4.17 Struktur Mikro *Weld Metal* 4 layer

4.3 Pembahasan Hasil Pengujian

4.3.1 Pembahasan Pengujian Tarik

4.3.1.1 Pembahasan Pengujian Tarik Ketika Ada IP

Berdasarkan data hasil pengujian tarik pada grafik perbandingan nilai uji tarik pada gambar 4.3 maka dapat disimpulkan bahwa semua spesimen uji tarik baik 5 layer maupun 4 layer patah di daerah weld metal. Sehingga dari data hasil pengujian tarik ini tidak dapat dijadikan acuan untuk menyimpulkan bahwa lebih kuat mana antara 5 layer atau 4 layer karena patah di daerah weld metal.

Dari grafik hasil pengujian Tarik diatas di dapat data bahwa hasil pengelasan dengan variasi 5 layer mempunyai nilai rata-rata kekuatan tarik yang paling tinggi yaitu sebesar 429,66 MPa. Pada hasil pengelasan dengan variasi 4 layer mempunyai nilai rata-rata kekuatan tarik 401 MPa.

Untuk daerah Weld Metal sendiri memiliki kekuatan tarik lebih kecil daripada Base Metal karena parameter

pengelasan yang salah pada saat preparasi yang menyebabkan terjadinya incomplete penetration sehingga dari WPS (Welding Prosedure System) belum terpenuhi dan hasil dari pengelasan mengalami cacat las pada sambungan di logam induk karena tidak ada root space pada sambungan las.

4.3.1.2 Pembahasan Pengujian Tarik Ketika Tidak Ada IP

Berdasarkan data hasil pengujian tarik pada grafik perbandingan nilai uji tarik pada gambar 4.4 maka dapat disimpulkan bahwa semua spesimen uji tarik baik 5 layer maupun 4 layer seharusnya patah di daerah HAZ.

Dari grafik hasil pengujian Tarik diatas di dapat data bahwa hasil pengelasan dengan variasi 5 layer mempunyai nilai rata-rata kekuatan tarik yang paling tinggi yaitu sebesar 616 MPa. Pada hasil pengelasan dengan variasi 4 layer mempunyai nilai rata-rata kekuatan tarik 585 MPa.

Untuk daerah Weld Metal sendiri memiliki kekuatan tarik lebih kecil daripada Base Metal karena parameter pengelasan yang salah pada saat preparasi yang menyebabkan terjadinya incomplete penetration sehingga dari WPS (Welding Prosedure System) belum terpenuhi dan hasil dari pengelasan mengalami cacat las pada sambungan di logam induk karena tidak ada root space pada sambungan las.

4.3.2 Pembahasan Pengujian Kekerasan

Berdasarkan data yang ada pada grafik rata-rata nilai kekerasan benda kerja 5 layer dan 4 layer pada gambar 4.9 dapat disimpulkan bahwa kekerasan pada beda kerja 5 layer lebih besar dibandingkan kekerasan pada beda kerja 4 layer. Hal tersebut disebabkan karena pada logam *Austenite Stainless Steel* nilai kekerasannya sangat dipengaruhi oleh pembentukan karbida pada mikrostruktur baja tersebut. Karbida ($Cr_{23}C_6$) tersebut merupakan senyawa antara logam dengan unsur

karbon. Semakin banyak karbida yang terbentuk maka nilai kekerasan baja akan semakin keras. Dalam hal ini, laju pendinginan (*cooling rate*) dan masukan panas (*heat input*) juga sangat memegang peranan dalam pembentukan karbida dan perubahan pada struktur mikro *weld metal*, daerah yang terkena dampak panas (*HAZ*) dan *base metal.*

Dari grafik hasil pengujian kekerasan diatas di dapat data bahwa hasil pengelasan dengan variasi 5 layer mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 96,4 HRB pada posisi *base metal*, 95 HRB pada posisi HAZ dan 92,5 HRB pada posisi *weld metal*. Pada hasil pengelasan dengan variasi 4 layer mempunyai nilai kekerasan paling tinggi sebesar 92,88 HRB pada posisi *base metal*, 95,25 HRB pada posisi HAZ dan 91,86 HRB pada posisi *weld metal*.

Dari hasil tersebut menandakan bahwa semakin banyak jumlah layer maka akan semakin tinggi nilai kekerasan nya. Dan dari pengujian diatas didapatkan kekerasan paling tinggi terdapat pada daerah *base metal*.

4.3.3 Pembahasan Hasil Pengujian Mikro Etsa

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen didapatkan fasa yaitu : austenit, ferit dan karbida khrom. Untuk spesimen pengelasan steinless steel pada 4 layer daerah base metal dominan fasa austenite dengan beberapa karbida krom. Sementara daerah HAZ memiliki fase austenite dan ferrit yang relatif berimbang. Kemudian pada daerah weld metal terdapat struktur ferrite yang lebih dominan dibandingkan dengan austenite.

Sementara untuk spesimen pengelasan steinless steel pada 4 layer daerah base metal dominan fasa austenite dan terdapat karbida krom. Sementara daerah HAZ memiliki fase austenite dan ferrit yang relatif berimbang dan memiliki karbida

krom. Kemudian pada daerah weld metal terdapat struktur ferrite yang lebih banyak dibandingkan dengan austenite

Dari data hasil pengujian metalografi dapat diketahui perbedaan dari pengelasan steinless steel 4 layer dan 5 layer adalah kerapatan pada daerah austenite dan ferrit yang terbentuk dimana pada pengelasan 5 layer terlihat struktur mikro autenite dan ferrit membentuk pola berlapis-lapis lebih rapat dibandingkan dengan pengelasan steinless steel menggunakan 4 layer. Hal tersebut disababkan oleh nilai *Heat Input* yang berbeda, nilai *Heat input* variasi 4 layer lebih besar dibandingkan dengan variasi 5 layer. Selain itu perbedaan lainnya adalah jumlah karbida krom yang tampak pada struktur mikro di daerah base metal dan HAZ lebih banyak terjadi pada pengelasan menggunakan 5 layer dibandingkan dengan 4 layer.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data perbedaan variasi 5 layer dan 4 layer dengan V groove pada pengelasan SMAW menggunakan elektroda NSN 308 pada material SUS 304 terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro maka dapat disimpulkan antara lain :

1. Hasil pengujian tarik, specimen 5 Layer memiliki kekuatan tarik lebih besar yaitu 616 MPa, sedangkan specimen 4 Layer memiliki kekuatan tarik lebih rendah yaitu 585 MPa.
2. Pada hasil pengujian kekerasan antara 5 layer dengan 4 layer dapat disimpulkan bahwa 5 layer memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibanding 4 layer, di dapat data bahwa hasil pengelasan dengan variasi 5 layer mempunyai nilai rata-rata kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 94,63 HRB. Pada variasi 4 layer mempunyai nilai rata-rata kekerasan sebesar 93.33 HRB.
3. Pada hasil pengujian mikro etsa perbedaan dari pengelasan steinless steel 4 layer dan 5 layer adalah kerapatan pada daerah austenite dan ferrit yang terbentuk dimana pada pengelasan 5 layer terlihat struktur mikro autenite dan ferrit membentuk pola berlapis-lapis lebih rapat dibandingkan dengan pengelasan steinless steel menggunakan 4 layer.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak hal yang harus dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada

penelitian selanjutnya. Oleh karena itu diberikan saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya untuk penelitian kedepannya dilakukan dengan melakukan pengujian DT (Destructive Test) atau NDT (Non Destructive Test) yang lain supaya data pengujian pengelasan lebih akurat dan dapat mengetahui ada atau tidaknya cacat las pada penelitian.
2. Dalam pengelasan SMAW penggunaan parameter las yaitu harus diperhatikan yaitu mengenai kecepatan las, besar arus, jenis arus dan parameter lainnya untuk mendapatkan hasil lasan yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

American Society of Mechanical Engineers, "*Boiler And Pressure Vessel Code An International Code"*., Section IX Welding brazing and Fusing Qualifications. United States of America July 2015.

Kotecki, D and Armao, F., 2003, Stainless Steels Properties – How to Weld Them Where to Use Them. Diunduh di https: //www.lincolnelectric.com/ assets/US/ EN/ literature/c64000.pdf

Kou, Sindo. 2003. "*Welding Metallurgy"*., Second Edition. A Jhon Willey and Sons. United States of America.

The Japan Welding Engineering Society, "*Advance Welding And Joining Technologies"*., Chapter 2 Material And Their Behaviour During Welding. Japan October 2008.

Christoph Doerr, 2016, *Evaluation of Sensitization in Stainless Steel 304 and 304L Using Nonlinear Rayleigh Waves*. School of Civil and Enviromental Engineering, Georgia Institute of Technology

Lampiran 1

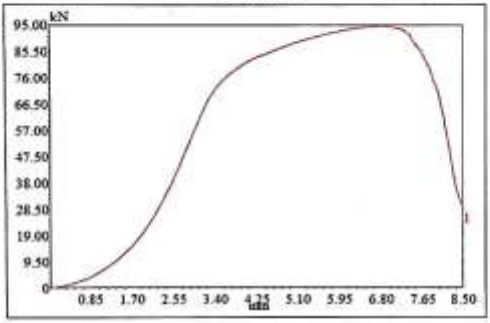
Grafik Uji Tarik Spesimen 5 Layer - 1

Laboratorium Metalurgi

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 13-01-2020

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm^2	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
5.1	19.00	12.00	228.00	75.63	332	94.70	415	HAZ
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Scanned with CamScanner

Lampiran 2

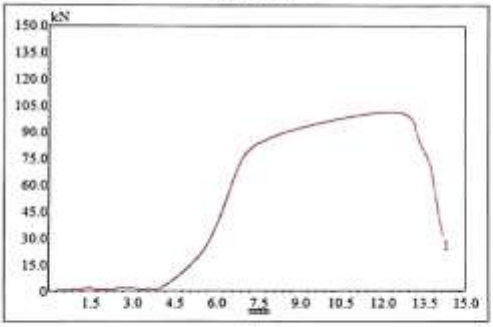
Grafik Uji Tarik Spesimen 5 Layer - 2

Laboratorium Metalurgi

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 13-01-2020

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm^2	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
5.2	19.00	12.00	228.00	78.65	345	101.73	446	HAZ
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Scanned with CamScanner

Lampiran 3

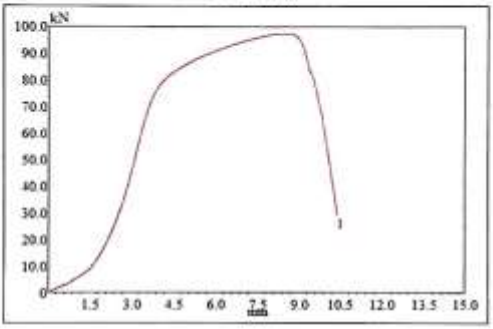
Grafik Uji Tarik Spesimen 5 Layer - 3

Laboratorium Metalurgi

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 13-01-2020

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm^2	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
5.3	19.00	12.00	228.00	76.26	334	97.57	428	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Scanned with CamScanner

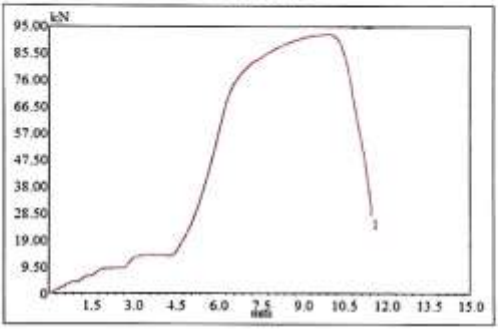
Lampiran 4

Grafik Uji Tarik Spesimen 4 Layer - 1

Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 13-01-2020

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm²	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
4.3	19.00	12.00	228.00	77.05	338	92.43	405	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Scanned with CamScanner

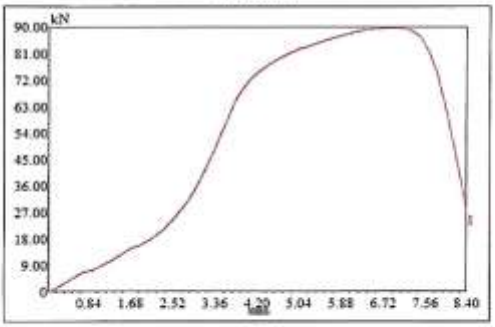
Lampiran 5

Grafik Uji Tarik Spesimen 4 Layer - 2

Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 13-01-2020

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm^2	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
4.2	19.00	12.00	228.00	75.52	331	89.86	394	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Scanned with CamScanner

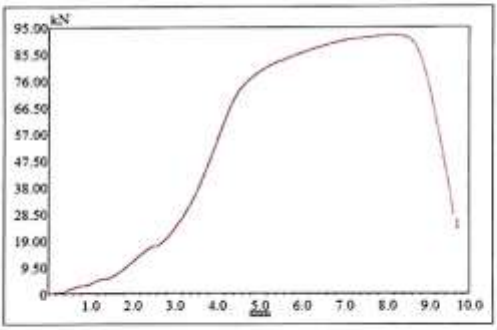
Lampiran 6

Grafik Uji Tarik Spesimen 4 Layer - 3

Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 13-01-2020

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm^2	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
4.1	19.00	12.00	228.00	76.36	335	92.21	404	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Scanned with CamScanner

Lampiran 7

Perhitungan Heat Input

Pada spesimen 4 layer

Diketahui :

Arus Listrik = 140A

Tegangan = 24V

η = 0,8

Travel speed (s) = 1,7 mm/s

Jawab :

$$HI = \frac{V\ x\ I\ x\ \eta}{s}$$

$$= \frac{24\ x\ 115\ x\ 0.8}{1,7}$$

= 1581 J/mm

Pada spesimen 5 layer

Diketahui :

Arus Listrik = 140A

Tegangan = 24V

η = 0,8

Travel speed (s) = 2,1 mm/s

Jawab :

$$HI = \frac{V\ x\ I\ x\ \eta}{s}$$

$$= \frac{24\ x\ 115\ x\ 0.8}{2,1}$$

= 1280 J/mm

Lampiran 8
Perhitungan Dilusi

Pada Spesimen 4 Layer Diketahui:

Dilusi, % : $\frac{A}{(A + B)}$

Groove	A	B	A+B	Dilusi
4 Layer	280	810	1090	25,6%
	285	795	1080	26,3%
	290	820	1110	26,1%
Rata-rata	26%			

Pada Spesimen 5 Layer Diketahui:

Dilusi, % : $\frac{A}{(A + B)}$

Groove	A	B	A+B	Dilusi
5 Layer	230	815	1045	22%
	245	810	1055	23,2%
	255	810	1065	23,9%
Rata-rata	23%			

BIODATA PENULIS

Penulis yang memiliki nama lengkap Ardian Bagas Alkindiy dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 3 November 1997 merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang pernah di tempuh yaitu SDN Kepuh Kiriman 1, SDN Menanggal 601, SMP Negeri 12 Surabaya, SMA Negeri 15 Surabaya. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi dan diterima di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Manufaktur merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Penulis pernah menjabat sebagai Staff non teknis Badan Semi Otonom Bengkel 2018/2019. Pada tahun 2018 penulis melaksanakan kerja praktek di PT Dirgantara Indonesia (*Indonesian Aerospace*) di bagian Analisa system selama satu bulan.

Pelatihan yang pernah di ikuti penulis antara lain Pelatihan Spiritual dan Kebangsaan yang diselenggarakan oleh Kemahasiswaan ITS Tahun 2016, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah -TD yang diselenggarakan oleh FTI-ITS, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra-TD yang diselenggarakan oleh FTI-ITS, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa TD.

Email ardiaanbagas@gmail.com
No. Telp : 089687561420