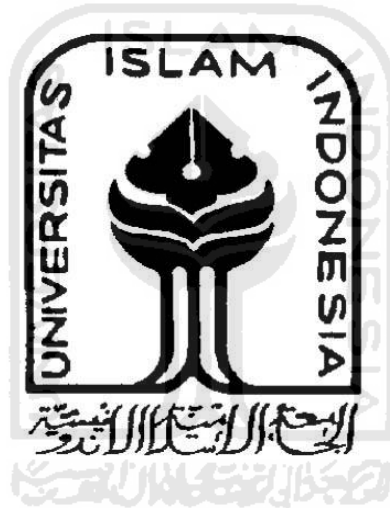


**PENGARUH TEBAL PLAT DAN TEGANGAN LISTRIK
SEKUNDER PENGELASAN TERHADAP MODE PATAH
SAMBUNGAN LAS TITIK (*RESISTANCE SPOT WELDING*)
BAJA KARBON RENDAH SS400 DAN
*STAINLESS STEEL JLS AUS***

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin



Disusun oleh:

Nama : SUPRIYANTO

NIM : 07 525 039

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2011

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH TEBAL PLAT DAN TEGANGAN LISTRIK
SEKUNDER PENGELASAN TERHADAP MODE PATAH
SAMBUNGAN LAS TITIK (*RESISTANCE SPOT WELDING*)
BAJA KARBON RENDAH SS 400 DAN**

STAINLESS STEEL JLS AUS

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : **SUPRIYANTO**

NIM : **07 525 039**

Yogyakarta, 8 Agustus 2011

Dosen Pembimbing I,



Yustiasih Purwaningrum, ST., MT.

Dosen Pembimbing II,



Triyono, ST., MT.

**PENGARUH TEBAL PLAT DAN TEGANGAN LISTRIK
SEKUNDER PENGELASAN TERHADAP MODE PATAH
SAMBUNGAN LAS TITIK (*RESISTANCE SPOT WELDING*)
BAJA KARBON RENDAH SS400 DAN
*STAINLESS STEEL JLS AUS***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : **SUPRIYANTO**

NIM : **07 525 039**

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 16 Agustus 2011

Tim Penguji:

Triyono S.T.,M.T.

Ketua

Tanggal : 16 agustus 2011

Purtojo S.T.,M.Sc.

Anggota I

Tanggal : 16 agustus 2011

Agung Nugroho Adi S.T.,M.T.

Anggota II

Tanggal : 16 agustus 2011

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Agung Nugroho Adi S.T.,M.T.

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Rasa syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat,
hidayah, serta karunia-NYA*

*Bapak Sriyanto dan Ibu Sunarti terimakasih atas
segala do'a, kasih sayang, didikan serta
pengorbanan yang tcurahkan. Semoga balasan
ridho dan kasih sayang Allah SWT dilimpahkan
untuk kalian.....*

*Kakak-kakakku (mas Danang, mbak devin, mbak
nita, mas dodik) serta keponakanku theo
terimakasih atas doa dan dukungan kalian, semoga
apa yang kalian cita-citakan dapat tercapai,
Amien.....*

*Sahabat-sahabat seiatiku dan seperjuanganku.
Semangat untuk selesaikan S1 kalian ya....*

*Almamater Teknik Mesin Universitas Islam
Indonesia kebanggaanku.*

HALAMAN MOTTO

“... Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberikan ilmu pengetahuan beberapa derajat...”

(Q.S AL Mujaadilah ayat 11)

“...Jadikan sabar dan shalat sebagai penolongmu sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang sabar”.

(Q.S Al Baqoroh ayat 15)

“... Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain”.

(Q.S Alam Nasroah ayat 6)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah Hirobbil Alamin, rasa syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan curahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul : "Pengaruh Tebal Plat Dan Tegangan Listrik Sekunder Pengelasan Terhadap Mode Patah Sambungan Las Titik (*Resistance Spot Welding*) Baja Karbon Rendah SS400 dan *Stainless Steel JLS AUS*. Shalawat serta salam juga penulis sampaikan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari dalam tulisan ini tidak lepas dari kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan masukan dari pembaca baik berupa kritikan maupun sumbangan pikiran yang bersifat konstruktif guna perbaikan tugas akhir ini. Hasil tugas akhir ini merupakan sebagian kecil dari tahap pengembangan diri penulis dan yang terpenting adalah proses tersebut penuh makna yang ternyata lebih berharga. Proses yang bermakna ini tidak lepas dari orang-orang yang berada dalam kehidupan penulis, bahkan sebenarnya karena merekalah tugas akhir ini bermakna.

Pada kesempatan ini penulis tak lupa menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak atas bantuannya baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan nikmat iman dan Islam kepada penulis dan Nabi paling mulia Muhammad SAW juga atas segenap keluarga, para

sahabat, para tabi'in dan tabi'in–tabi'in serta para pengikutnya hingga akhir zaman.

2. Ir. Gumbolo Hadi Susanto.,Msc, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Agung Nugroho Adi, ST., MT, selaku Kajur dan DPA, yang senantiasa meluangkan waktu telah memberikan bimbingan.
4. Yustiasih Purwaningrum, ST., MT, selaku dosen pembimbing I, yang senantiasa meluangkan waktu telah memberikan bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Triyono, ST., MT, selaku dosen pembimbing II, terimakasih telah meluangkan waktu membimbing dalam proses tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan di lingkungan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, terima kasih atas jalinan kerjasama dan ilmu yang telah diberikan pada penulis.
7. Orang tua ku,Bapak Sriyanto dan Ibu Sunarti, sebagai motivator utama dan penyemangat dalam hidupku yang tidak henti-hentinya mendoakan, memberikan nasehat, memberikan motivasi dan dukungan, serta pelajaran hidup. Terimakasih atas semua yang telah diberikan kepadaku.
8. Untuk mas Danang, mbak devin, mbak Nita, mas Dodik yang sangat ku cintai dan sayangi yang selalu memberikan doa, memberikan semangat dan keceriaan, serta memberikan motivasi dalam penulisan skripsi ini.
9. Sahabat-sahabatku *STEMSA 07* : Satria, Yudi, Darmi, Tri, Doni, Arif, Bambang, Catur terima kasih atas waktu, semangat, dukungan, senda gurau, dan keberadannya dikala aku merasakan suka dan duka.

10. Buat temen-temen satu bimbingan dan satu perjuangan Wahyu “bagong”, Hamid “ustad”, ajis. Terima kasih atas saran, kritik, informasi, motivasi dan semangatnya dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin 07 UII : Iwan ”temon”, Anang ”balap”, Faisal ”brewok”, Dedi ”Gombong”, Riza ”Parto”, Aan ”oon”, Joko, Dika, dan Endik terima kasih atas persahabatan yang penuh warna.
12. Untuk temen-temen KKN angkatan 42 Unit 46. Terima kasih atas motivasi pengertiannya selama aku mengerjakan skripsi ini
13. Seluruh Mahasiswa Teknik Mesin FTI-UII dan untuk semua pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis.

Semoga amal kebaikan yang telah diberikan akan mendapat balasan dari Allah SWT. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan untuk orang lain pada umumnya.

Wassalamu’alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, Agustus 2011

Penulis.

SUPRIYANTO

ABSTRACT

Welding is metal connection process mostly used in current time. Resistance Spot Welding is mostly used in manufacture industries, because it has advantages, such as: practical, reliable, efficient and economical. This research aimed to find effects of secondary electric voltage and connected plat thickness on characteristics and fracture mode of resistance spot welding of low carbon steel and stainless steel of JLS AUS, and understand corrosive rate occurring in stainless steel material of JLS AUS.

Welding used RSW with variation of secondary electric voltage and plat thickness. Materials used were low carbon steel of SS400 with 3 mm thickness and stainless steels of JLS AUS with .5 mm, .8 mm, and 1 mm weaknesses. Voltages used were 1.79V, 2.02V, 2.30V, and 2.67V with constant welding time of 2.5 seconds. Tests covered tests for hardness using Vickers method, tensile-shear strength, micro-photo, and corrosive tests using electro-chemical method.

Results of tensile tests for MS:SS were 3:.5 mm thickness at critical voltage of 2.30V, MS:SS with 3:.8 mm and 3:1 mm thicknesses at critical voltage of 2.67V. Results of hardness test indicated that nugget was harder than HAZ and main metal. In nugget of MS:SS, the thicknesses of 3:.5 had VHN value of 215.37 kg/mm² (MS) and 212.2 kg/mm² (SS); thickness of 3:.8 had VHN value of 261.43 kg/mm² (MS) and 234.38 kg/mm² (SS), and 3:1 mm thickness had VHN value of 290.03 kg/mm² (MS) and 320.8 kg/mm² (SS). Results of micro-photo tests indicated that materials of low carbon steel of SS400 had ferrite and pearlite structures in main metal area and HAZ, area of nugget had bainite structure; whereas, stainless steel JLS AUS had austenite structure. Results of corrosive tests indicated that thicker materials and higher electric voltage of welding, corrosive rate was higher. Corrosive rate of stainless steel JLS AUS with MS:SS thickness of 3:.5 mm had corrosive rate of 1.62 mmpy, MS:SS thickness of 3:.8 mm had corrosive rate of 1.78 mmpy, MS:SS thickness of 3:1 had corrosive rate of 1.83 mm, raw material had corrosive rate of 1.65 mm.

Keywords: RSW, SS400, JLS AUS, tensile test, hardness test, micro-photo test, and corrosive test.

ABSTRAK

Pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang paling banyak digunakan pada saat ini. Las titik (Resistance Spot Welding) banyak digunakan dalam industri manufaktur, karena mempunyai keuntungan antara lain : praktis, hasilnya dapat diandalkan, efisien dan ekonomis. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat yang disambung terhadap karakteristik dan mode patah sambungan las titik baja karbon rendah dan stainless steel JLS AUS serta mengetahui laju korosi yang terjadi pada material stainless steel JLS AUS.

Pengelasan menggunakan las RSW dengan variasi tegangan listrik sekunder dan ketebalan plat. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah SS400 tebal 3 mm dan stainless steel JLS AUS tebal 0.5 mm, 0.8 mm, dan 1mm. Tegangan yang digunakan 1.79V, 2.02V, 2.30V, dan 2.67V dengan waktu las konstan pada 2.5 detik. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan dengan metode Vickers, pengujian kekuatan tarik-geser, pengujian foto mikro, dan pengujian korosi dengan metode elektrokimia.

Hasil uji tarik untuk MS:SS dengan tebal 3:0.5 mm tegangan kritis pada 2.30V, pada MS:SS dengan tebal 3:0.8 mm dan 3:1 mm tegangan kritis pada 2.67 V. Hasil uji kekerasan menunjukkan nugget memiliki kekerasan paling tinggi dibandingkan HAZ dan logam induk. Pada nugget MS:SS tebal 3:0.5 mm nilai VHN 215.37 kg/mm² (MS) dan 212.2kg/mm² (SS), untuk ketebalan 3:0.8 mm nilai VHN 261.43 kg/mm² (MS) dan 234.38 kg/mm² (SS), dan tebal 3:1 mm nilai VHN 290.03 kg/mm² (MS) dan 320.8 kg/mm² (SS). Hasil uji foto mikro menunjukkan material baja karbon rendah SS400 memiliki struktur ferit dan perlit didaerah logam induk dan HAZ, pada daerah nugget memiliki struktur bainit, sedangkan stainless steel JLS AUS memiliki struktur austenit dan precipitation pada daerah logam induk, HAZ, dan nugget. Hasil uji korosi menunjukkan semakin tebal material dan besar tegangan listrik pengelasan, maka laju korosi semakin cepat. Laju korosi material stainless steel JLS AUS untuk tebal MS:SS tebal 3:0.5 mm laju korosi 1.62 mmpy, MS:SS tebal 3:0.8 mm laju korosi 1.78 mmpy, MS:SS tebal 3:1 laju korosi 1.83 mm, raw material laju korosi 1.65 mm.

Kata Kunci : Las RSW, SS400, JLS AUS, uji tarik, uji kekerasan, uji foto mikro, dan uji korosi.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
HALAMAN MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan Laporan.....	4
BAB II. KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori.....	11
2.2.1. Definisi Pengelasan.....	11
2.2.2. Klasifikasi Pengelasan.....	11
a. SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>).....	11
b. SAW (<i>Submerged Arc Welding</i>).....	12
c. ESW (<i>Electro Slag Welding</i>).....	12
d. ERW (<i>Electric Resistance Welding</i>).....	13
e. EBW (<i>Electron Beam Welding</i>).....	13
f. GMAW (<i>Gas Metal Welding</i>).....	14
g. GTAW (<i>Gas Tungsten Welding</i>).....	14
h. FCAW (<i>Flux Cored Arc Welding</i>).....	15

f. PAW (<i>Plasma Arc Welding</i>).....	15
g. OAW (<i>Oxygen Acetylene Welding</i>).....	16
h. FSW (<i>Friction Stir Welding</i>).....	17
I. RSW (<i>Resistance Spot Welding</i>).....	17
2.3.1. Metalurgi Las.....	19
2.4. Material.....	20
2.4.1. Baja Karbon.....	20
2.4.2. Baja Tahan Karat.....	22
a. Baja Tahan Karat Jenis <i>Martensit</i>	23
b. Baja Tahan Karat Jenis <i>Ferrit</i>	23
c. Baja Tahan Karat Jenis <i>Austenitik</i>	23
2.5. Korosi.....	24
2.5.1 Korosi Baja Karbon Rendah.....	25
2.5.2 Korosi Baja Tahan Karat.....	26
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1. Flow Chart.....	28
3.2. Bahan dan Alat	28
3.3. Pelaksanaan Penelitian.....	30
3.3.1. Rancangan Sambungan Las.....	30
3.3.2. Proses Pengelasan.....	30
3.3.3. Pengujian Hasil Las.....	32
3.3.3.1 Pengujian Foto Mikro.....	32
3.3.3.2 Pengujian Kekerasan (<i>Vickers Microhardness</i>).....	33
3.3.3.3 Pengujian Tarik/Geser.....	34
3.3.3.4 Pengujian Korosi.....	35
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Pengamatan Foto Makro Dan Mikro.....	37
4.1.1 Pengamatan Foto Makro.....	37
4.2 Pengamatan Foto Mikro.....	38
4.2.1 Daerah Logam Induk.....	38

4.2.2 Daerah <i>HAZ</i> (<i>Heat Affected Zone</i>).....	39
4.3 Pengujian Kekerasan <i>Mikro Vickers</i>	42
4.4 Pengujian Tarik-Geser (<i>Tension-Shear Test</i>).....	46
4.5 Pengujian Korosi.....	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Klasifikasi Baja Karbon Rendah.....	22
Tabel 2-2 Klasifikasi Baja Tahan Karat.....	24
Tabel 3-1 Komposisi Kimia Baja Karbon Rendah SS400.....	29
Tabel 3-2 Komposisi Kimia <i>Stanless Steel JLS AUS</i>	29
Tabel 3-3 Peralatan yang Digunakan.....	29
Tabel 3-4 Parameter Pengelasan.....	30
Tabel 3-6 Parameter Pengujian <i>Vickers</i>	34



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Ukuran Material (Jurnal).....	5
Gambar 2-2 Grafik Hubungan <i>Welding Current</i> Dengan <i>Wel Nugget</i>	6
Gambar 2-3 Grafik Hubungan <i>welding Time</i> Dengan <i>Welding Nugget</i>	6
Gambar 2-4 Diameter Kritis Untuk Uji Tarik Dan Uji tarik –Geser.....	9
Gambar 2-5 Prediksi Gagal PF Dan IF Berdasarka Ketebalan Material.....	10
Gambar 2-6 Pengelasan SMAW (<i>Shilded Metal Arc Welding</i>).....	9
Gambar 2-7 Pengelasan SAW (<i>Submarged Arc Welding</i>).....	12
Gambar 2-8 Pengelasan ESW (<i>Electro Slag Welding</i>).....	12
Gambar 2-9 Pengelasan ERW (<i>Electric Resistance Welding</i>).....	13
Gambar 2-10 Pengelasan EBW (<i>Electron Beam Welding</i>).....	13
Gambar 2-11 Pengelasan GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>).....	14
Gambar 2-12 Pengelasan GTAW (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>).....	14
Gambar 2-13 Pengelasan FCAW (<i>Flux Cored Welding</i>).....	15
Gambar 2-13 Pengelasan PAW (<i>Plasma Arc Welding</i>).....	15
Gambar 2-14 Pengelasan OAW (<i>Oxigen Acytylene Welding</i>).....	16
Gambar 2-15 Pengelasan FSW (<i>Friction stir Welding</i>).....	17
Gambar 2-16 Pengelasan RSW (<i>Resistance Spot Welding</i>).....	18
Gambar 2-17 Metalurgi Pengelasan Titik.....	19
Gambar 3-1 Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3-2 Ukuran Material Baja Karbon Rendah Dan <i>Stainless Steel</i> <i>JLS AUS</i>	30
Gambar 3-3 Elektroda Atas Dan Bawah.....	31
Gambar 3-4 Mesin Las RSW.....	31
Gambar 3-5 Alat Uji Foto Mikro.....	32
Gambar 3-6 Alat Uji Foto Makro.....	32
Gambar 3-7 Alat Uji Kekerasan <i>Vickers Microhardness</i>	33
Gambar 3-6 Alat Uji Tarik-Geser.....	35
Gambar 4-1 Pengamatan Foto Makro MS:SS 3:0.5.....	37
Gambar 4-2 Pengamatan Foto Makro MS:SS 3:0.8.....	37
Gambar 4-3 Pengamatan Foto Makro MS:SS 3:1.....	37

Gambar 4-4 Pengamatan Foto Mikro Logam Induk MS 3 mm Bawah.....	38
Gambar 4-5 Pengamatan Foto Mikro Logam Induk SS 0.5 mm Atas.....	38
Gambar 4-6 Pengamatan Foto Mikro Logam Induk MS 3 mm Bawah.....	38
Gambar 4-7 Pengamatan Foto Mikro Logam Induk SS 0.8 mm Atas.....	38
Gambar 4-8 Pengamatan Foto Mikro Logam Induk MS 3 mm Bawah.....	39
Gambar 4-9 Pengamatan Foto Mikro Logam Induk SS 1 mm Atas.....	39
Gambar 4-10 Pengamatan Foto Mikro HAZ MS 3 mm Bawah.....	39
Gambar 4-11 Pengamatan Foto Mikro HAZ SS 0.5 mm Atas.....	39
Gambar 4-12 Pengamatan Foto Mikro HAZ MS 3 mm Bawah.....	40
Gambar 4-13 Pengamatan Foto Mikro HAZ SS 0.8 mm Atas.....	40
Gambar 4-14 Pengamatan Foto Mikro HAZ MS 3 mm Bawah.....	40
Gambar 4-15 Pengamatan Foto Mikro HAZ 1 mm Atas.....	40
Gambar 4-16 Pengamatan Foto Mikro Las MS 3 mm Bawah.....	41
Gambar 4-17 Pengamatan Foto Mikro Las SS 0.5 mm Atas.....	41
Gambar 4-18 Pengamatan Foto Mikro Las MS 3 mm Bawah.....	41
Gambar 4-19 Pengamatan Foto Mikro Las SS 0.8 mm Atas.....	41
Gambar 4-20 Pengamatan Foto Mikro Las MS 3 mm Bawah.....	41
Gambar 4-21 Pengamatan Foto Mikro Las SS 1 mm Atas.....	41
Gambar 4-22 Grafik Nilai Kekerasan 3:0.5.....	42
Gambar 4-23 Grafik Nilai Kekerasan 3:0.8.....	43
Gambar 4-24 Grafik Nilai Kekerasan 3:1	44
Gambar 4-25 Kekerasan Rata-Rata <i>Vickers Hardness Number</i>	45
Gambar 4-26 Grafik Tegangan Listrik Dengan Pmak SS:MS/3:1 Dan 3:0.8....	46
Gambar 4-27 Grafik Tegangan Listrik Dengan Pmak MS/SS 3:0.5.....	47
Gambar 4-28 Grafik Perbandingan Tegangan Listrik Dengan Diameter <i>Nugget</i> MS:SS/ 3:0.8 dan 3:1.....	48
Gambar 4-29 Grafik Perbandingan Tegangan Listrik Dengan Diameter <i>Nugget</i> MS:SS/3:0.5.....	49
Gambar 4-30 Grafik Diameter <i>Nugget</i> Kritis.....	49
Gambar 4-31 Grafik Tegangan Listrik Kritis.....	50
Gambar 4-31 Patahan SS:MS 3:0.5 Dengan Tegangan Listrik 2.30 V (<i>pullout fracture</i>).....	50

Gambar 4-32 Patahan SS:MS 3:0.8 Dengan Tegangan Listrik 2.30 V (<i>pullout fracture</i>).....	50
Gambar 4-33 Patahan SS:MS 3:1 Dengan Tegangan Listrik 2.30 V (<i>pullout fracture</i>).....	50
Gambar 4-34 Patahan SS:MS 3:0.8 Dengan Tegangan Listrik 2.30 V (<i>interfacial fracture</i>).....	51
Gambar 4-35 Grafik Laju Korosi.....	53



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pada abad saat ini, sektor industri telah berkembang demikian pesatnya, tidak kecuali di Indonesia. Hal ini dapat dilihat dari semakin banyaknya industri yang muncul dengan berbagai macam produksi. Dengan demikian akan membawa konsekwensi yaitu dengan bertambahnya kebutuhan berbagai macam sumber daya sebagai faktor pendukung. Salah satu faktor pendukung adalah ketersediaan mesin yang memadai terutama penggunaan mesin las yang digunakan untuk proses pengelasan di industri di gunakan sebagai proses perbaikan, proses penyambungan, proses pemotongan dan bagian-bagian logam yang dibuang atau di perbaiki.

Perkembangan pengelasan logam khususnya las titik (*Resistance Spot Welding*) masih banyak dibutuhkan dalam industri manufaktur dimana industri otomotif merupakan salah satunya banyak diaplikasikan untuk menyambung antar material yang berbentuk lembaran. Proses pengelasan titik itu sendiri merupakan suatu proses yang kompleks melibatkan interaksi elektrik, panas, mekanik, dan metalurgi, dimana setiap parameter memiliki pengaruh terhadap kualitas dan karakteristik hasil las. Masalah yang sering dihadapi pada metode ini adalah kualitas las atau *nugget* yang terbentuk. Kualitas las tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kualitas permukaan logam dan perubahan dimensi (*deformasi*) dari elektroda yang digunakan seperti mengalami keausan.

Lembaran baja tipis seng merupakan salah satu jenis material yang digunakan pada industri otomotif. Proses fabrikasi banyak menggunakan teknologi pengelasan. Penelitian oleh *Gedeon* dan *Edgar* terhadap variasi material dan modifikasi proses agar memperoleh kondisi yang tepat untuk pengelasan titik menunjukkan bahwa baja dengan lapisan seng yang lebih tipis memiliki rentang kondisi *dislokasi* yang lebih baik dibandingkan baja galvanis penuh.

Pada las titik, logam yang akan disambung umumnya berbentuk lembaran (*sheet*), disusun dalam konfigurasi tumpang (*lap join*). Kedua lembaran logam ditekan satu sama lain menggunakan elektroda dan pada saat yang sama tegangan listrik dialirkan sehingga permukaan yang kontak dengan elektroda menjadi panas karena adanya tahanan listrik kemudian mencair. Pada pengelasan titik ada tiga faktor yang perlu diperhatikan yaitu : arus pengelasan (ampere), tahanan listrik antara elektroda yang digunakan (dalam ohm), dan waktu (dalam detik). Faktor-faktor tersebut akan berperan dalam pembentukan panas yang

dihasilkan. Besar kecilnya tegangan listrik akan mempengaruhi ukuran diameter *nugget* (manik las) dan panas yang ditimbulkan. Ketebalan plat yang digunakan akan mempengaruhi kecepatan rambatan panas yang terjadi baik pada saat pengelasan maupun sesudah pengelasan (pendinginan). Hal ini akan mempengaruhi pembentukan fasa akhir yang terbentuk, sehingga akan menentukan kekuatan sambungan las. Selain itu waktu las dan jenis bahan yang mudah menghantarkan listrik (konduktor), juga mempengaruhi intensitas panas yang masuk. Pemilihan parameter las titik yang tepat akan berpengaruh pada kekuatan lasan dan perubahan sifat mekanis (Wiryosumarto, 2004).

Pada penelitian ini merupakan pengelasan dengan menyambungkan dua material yang berbeda yaitu baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS* yang mempunyai perbedaan sifat fisik, mekanik, dan metalurgi sehingga mempengaruhi bidang *thermal* selama pengelasan.

Setelah dilakukan pengelasan dilakukan beberapa pengujian diantaranya adalah pengujian tarik yang dimaksudkan untuk mengetahui mode patahan yang terjadi pada pengelasan yang sudah dilakukan. Didalam pengujian ini didapatkan dua mode patahan yaitu *interfacial fracture* dan *pullout fracture*. Sehingga perlu dilakukan penelitian pengaruh tegangan listrik pada berbagai variasi ketebalan plat terhadap mode patahan yang terjadi.

Pada kasus tertentu diperlukan sambungan las untuk logam yang berbeda (*dissimilar-metal welding*). Sebagai contoh, sebagai contoh untuk ketahanan korosi untuk baja karbon dilas dengan baja tahan karat (*stainless steel*). Selain memenuhi syarat kondisi operasi, las baja karbon dengan lebih ekonomis daripada seluruh konstruksinya memakai *stainless steel*. Distorsi yang terjadi pada proses pengelasan material mengalami siklus *thermal* dan saat mengalami siklus pendinginan, bagian *HAZ* mengalami peningkatan tegangan sebagai akibat penyusutan tegangan logam. Sehingga permasalahan yang timbul menurunnya ketahanan korosi di daerah terpengaruh panas (*HAZ*) *stainless steel* karena korosi batas butir. Korosi batas butir disebabkan oleh timbulnya *presipitasi* karbida krom ($Cr_{23}C_6$) di batas butir yang terjadi pada saat pemanasan di daerah sensitif antara $400^{\circ}C - 871^{\circ}C$. *Presipitasi* karbida krom yang terbentuk pada batas butir *austenite* yang menyebabkan daerah batas butir lebih anodik dibandingkan daerah lainnya (Kou, 1987). Hal ini mengakibatkan penurunan ketahanan korosi pada daerah *HAZ* baja tahan karat (*stainless steel*) dengan kegagalan akibat *stress corrosion cracking*.

Berdasarkan latar belakang diatas perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh parameter las titik terutama besar arus yang berhubungan dengan panas dan tebal plat

terhadap sifat mekanik sambungan las titik pada baja karbon rendah dan *stainless steel* kondisi variabel yang paling tepat antara arus las, waktu pengelasan, dan tebal plat yang digunakan.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Dari uraian latar belakang diatas maka rumusan masalah dalam penelitian diatas adalah :

- a. Bagaimana pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat yang disambung terhadap karakteristik sambungan las titik baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS*.
- b. Karena mode patahan dapat digunakan untuk memprediksi kondisi optimum, bagaimana pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat terhadap mode patahan pada material baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS*.
- c. Bagaimana pengaruh tegangan listrik dan perbedaan tebal material *stainless steel JLS AUS* terhadap laju korosi yang terjadi.

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penulisan tugas akhir ini, batasan masalah yang digunakan agar dapat lebih mengarah pada inti permasalahan dan tidak menyimpang jauh dari apa yang akan di bahas. Batasan-batasan masalah disini antara lain :

- a. Tekanan pada pengelasan titik diasumsikan konstan.
- b. Diameter elektroda las titik dianggap konstan.
- c. Pemotongan spesimen uji struktur makro/mikro dianggap ditengah *nugget*.
- d. Pengujian korosi menggunakan metode uji elektrokimia.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Dalam penelitian tentang pengelasan terhadap mode patahan sambungan las titik antara baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS*, mengenai tujuan tugas akhir yang akan dicapai adalah:

- a. Untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat yang disambung terhadap karakteristik sambungan las titik karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS*.
- b. Untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat yang disambung terhadap mode patahan las titik karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS*.
- c. Untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada material uji *stainless steel JLS AUS*

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat penelitian merupakan penjelasan mengenai manfaat yang akan diperoleh jika tujuan penelitian dapat tercapai.

- a. Menjadi tinjauan dalam memilih parameter las pada pengelasan titik material karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS* yang disambung mempunyai perbedaan tebal.
- b. Karena mode patahan sambungan las titik ada kaitannya dengan kondisi optimum, maka penelitian ini yang bermanfaat dalam optimasi proses produksi.
- c. Menjadi tinjauan untuk memilih material yang sesuai kebutuhan dalam produksi manufaktur terhadap ketahanan korosi suatu material.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk memudahkan memahami tugas akhir, dikemukakan sistematika penulisan terdiri dari 5 bab, yaitu : Bab 1 Pendahuluan, menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, serta tujuan penelitian. Bab II Landasan teori, pada bab ini menjelaskan teori-teori yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Bab III Metode penelitian, pada bab ini menjelaskan tentang skema penelitian, alat dan bahan penelitian, pengelasan titik (*Spot Welding*), serta pengujian yang akan dilakukan. Bab IV analisa dan pembahasan, pada bab ini menjelaskan mengenai hasil analisa foto mikro, analisa pengujian tarik, analisa pengujian *vickers*, analisa pengujian korosi. Bab V Penutup, pada bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dari semua uraian yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya dan dilengkapi saran-saran agar penelitian yang dilakukan dapat dimanfaatkan dengan baik dan disempurnakan.

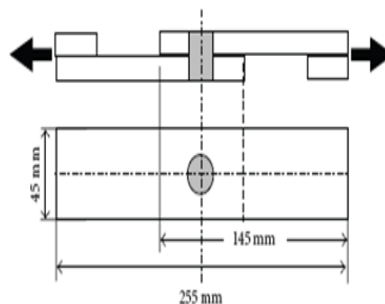
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

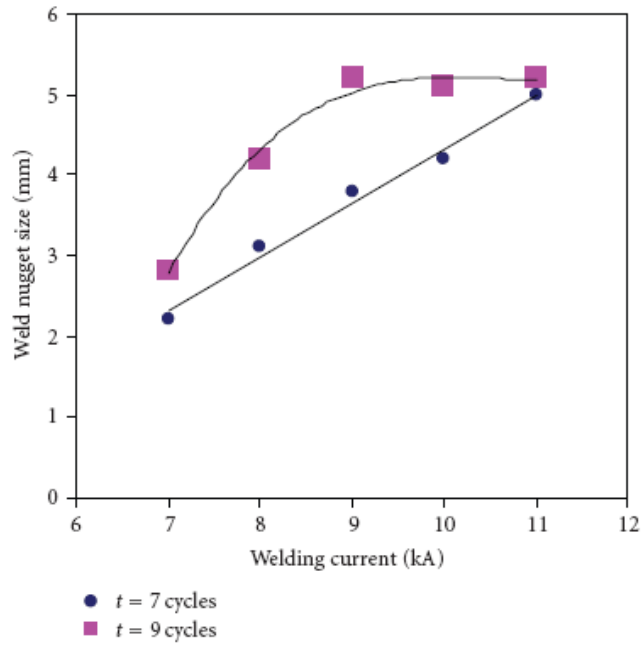
Resistance Spot Welding adalah salah satu bentuk pengelasan tahanan dimana suatu las dihasilkan pada suatu titik pada benda kerja diantara elektroda-elektroda pembawanya, las akan mempunyai luas kira-kira sama dengan ujung elektroda. Dalam pengelasan ini terjadi pada kombinasi waktu, tegangan listrik, dan tekanan.

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

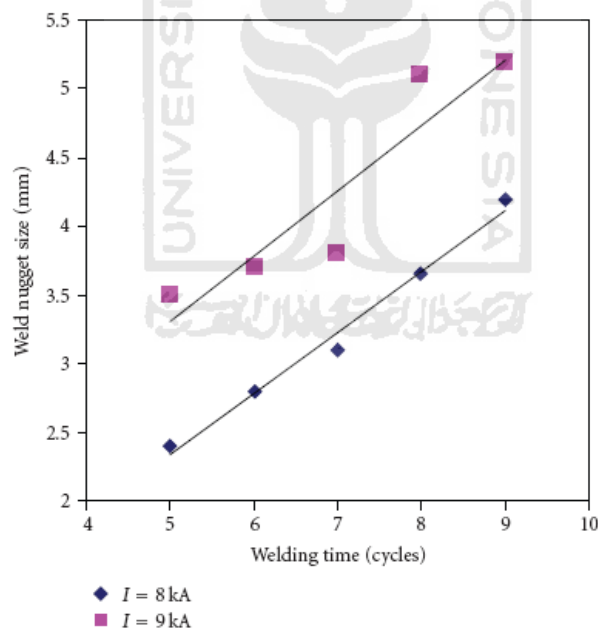
Paoranvary (2010) Secara umum, parameter pengelasan RSW yang berpengaruh terhadap hasil pengelasan adalah arus listrik (*welding current*), tekanan elektroda (*electrode force*) dan siklus pengelasan. Siklus pengelasan tersebut terdiri dari (*squase time*) waktu dimana elektroda menekan material tetapi arus belum mengalir, (*welding time*) waktu dimana elektroda menekan material tegangan listrik mengalir, (*hold time*) waktu dimana tegangan listrik tidak mengalir, tetapi elektroda masih menekan material, (*off time*) waktu dimana material lepas dari mesin las. Penelitian yang dilakukan tentang parameter pengelasan *Resistance Spot Welding* pada baja karbon rendah. Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah yang mempunyai komposisi kimia Fe (99,9091%), C(0.045%), Si(0.032%), Mn(0.189%). Ukuran material yang digunakan mempunyai panjang 145 mm dan lebar 45 mm terlihat pada gambar 2-1. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah arus pengelasan (*welding current*) 7-11 Kilo Ampere (KA), waktu pengelasan (*welding time*) 5-9 cycle. Setelah dilakukan pengelasan kemudian dilakukan penelitian tentang pengaruh *welding current* (KA) terhadap *weld nugget size* (mm) didapatkan hasil bahwa semakin besar *welding current* (KA) yang digunakan maka *weld nugget size* (mm) semakin besar dapat dilihat pada gambar 2-2. Pada pengaruh variasi waktu pengelasan (*welding time*) juga mempengaruhi pertumbuhan *welding nugget size* (mm) dapat dilihat pada grafik 2-3.



Gambar 2-1 Ukuran Material



Gambar 2-2 Garfik Hubungan *Welding Current* Dengan *Weld Nugget*



Gambar 2-3 Garfik Hubungan *Welding Time* Dengan *Welding Nugget*

Shamsul (2009) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter pengelasan *Resistance Spot Welding* pada baja *austenitic stainless steel 304*. Material yang digunakan mempunyai ukuran panjang 76 mm dan lebar 19 mm dan ketebalan 3 mm. Arus yang digunakan dalam penelitian ini bervariasi yaitu : 2.5 KA, 3.75 KA, dan 6.25 KA, sebagai siklus konstan empat siklus. Dari penelitian ini peningkatan diameter *nugget* dipengaruhi arus pengelasan sedangkan arus pengelasan yang berlebihan menyebabkan diameter

nugget lebih kecil. Dalam pengujian *Vickers* dari penelitian ini didapatkan bahwa *nugget* las memiliki harga kekerasan yang lebih besar dibandingkan dengan *HAZ* dan logam induk. Harga kekerasan *nugget* untuk semua sampel hampir sama, hal ini menunjukkan dengan memvariasikan arus pengelasan harga kekerasan didaerah *nugget* las tidak banyak berpengaruh.

Badheka, dkk (2010) melakukan penelitian tentang kegagalan mode patahan pada pengelasan *Resistance Spot Welding*. Dalam penelitian ini digunakan material *stainless steel AISI 420* yang memiliki kadar karbon (0.29%). Arus yang digunakan dalam pengelasan ini bervariasi yaitu : 3.4 KA, 3.7 KA, 4.4 KA, 2.4 KA, 2.7 KA, 3.1 KA, 1.7 KA, 1.9 KA, 2.2 KA, 1.5 KA, 1.7 KA, 1.9 KA. *Cracking* dapat mempengaruhi mode kegagalan, baik mode kegagalan IF (*interfacial fracture*) atau PO (*pullout fracture*). Dalam pengujian tarik *nugget* tetap utuh, mekanisme kegagalan adalah melalui geser tebal sekitar tempat las (*nugget*). Untuk mengetahui perbedaan kegagalan tarik maka kedua material diuji dengan cara yang sama, tetapi kegagalan terjadi pada logam induk.

Harlin et al. (2003) menyatakan bahwa kualitas hasil pengelasan RSW selain dipengaruhi oleh parameter pengelasan juga dipengaruhi oleh tahanan listrik permukaan material yang dilas. Pernyataan ini berdasarkan hasil penelitiannya tentang mekanisme pertumbuhan logam las titik (RSW) pada baja karbon yang dilapisi seng dan baja karbon tanpa lapisan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat pertumbuhan logam las titik pada baja karbon yang dilapisi seng lebih rendah daripada baja karbon tanpa lapisan, hal ini disebabkan karena berkurangnya tahanan listrik permukaan baja karbon yang berlapis seng. Hasil riset ini juga diperkuat oleh *Tumuluru* (2007) yang meneliti pengaruh jenis pelapis (*coating*) baja fasa ganda terhadap *nugget* las titik. Jenis pelapisnya divariasi HDGI (*hot-dipped galvanize*) dan HDGA (*hot-dipped galvanneal*). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa baja dengan pelapis HDGA membutuhkan arus yang lebih rendah untuk mencapai luasan *nugget* minimum. Selain itu pelapis HDGA juga mempunyai rentang arus yang lebih lebar untuk menghasilkan luasan *nugget* yang bisa diterima secara teknis. Dari gambar 2-3 terlihat bahwa sambungan las titik biasanya menggunakan tipe *lap joint*, sehingga beban yang bekerja biasanya kombinasi beban geser dan tarik (*shear tension*). Dengan beban kombinasi ini maka kegagalan sambungan bisa berupa *pullout* atau *interfacial fracture*. Para perancang struktur lebih memilih patah *pullout* dalam struktur yang mereka rancang berkaitan dengan faktor keamanan. Secara analitis, *American Welding Society* (AWS), *Society of Automotive Engineering* (SAE) dan *American National Standards Institute* (ANSI) bersama-sama

merekomendasikan diameter *nugget* minimal (d) agar terjadi patah *pullout* dengan persamaan:

$$d = 4\sqrt{t} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

di mana t adalah tebal plat yang disambung. Formula empirik ini disusun hanya berdasarkan tebal plat dan tidak mempertimbangkan sifat mekanik material yang disambung. *Chao* (2003) menyatakan bahwa formula ini hanya cocok untuk material *mild steel*. *Marya et al.* (2006) mengatakan bahwa formula tersebut tidak cukup untuk menyebabkan patah *pullout* pada sambungan las titik material baja DP600, DP780 dan DP980. Sedangkan *Sun et al.* (2008) juga mengatakan bahwa formula di atas tidak cukup untuk menjamin terjadinya patah *pullout* pada sambungan las titik aluminium dan baja kekuatan tinggi. *Sun et al.* juga merekomendasikan untuk mempertimbangkan faktor metalurgi sebagai tambahan terhadap faktor tebal plat dalam menganalisa kekuatan sambungan las titik.

Evaluasi analitis terhadap formula AWS pada persamaan (2-1) dilakukan oleh *Pouranvari et al.* (2008). Dengan mempertimbangkan *nugget* berbentuk silinder dengan diameter d dan tinggi $2t$, model patah *interfacial* (IF) dapat dinyatakan dalam persamaan

$$P_{IF} = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) \tau_{WN} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

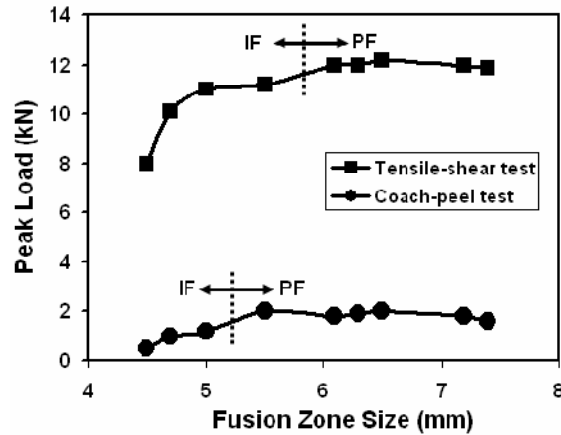
dengan τ_{WN} adalah kekuatan geser maksimum daerah *nugget*. Sedangkan patah *pullout* akan terjadi jika tegangan sekeliling *nugget* mencapai tegangan ijin material di lokasi tersebut dan dapat dinyatakan dalam

$$P_{PF} = \pi dt(\sigma_u)_{FL} \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

dengan $(\sigma_u)_{FL}$ adalah kekuatan tarik maksimum material pada daerah patah. Interseksi persamaan (2-2) dan persamaan (2-3) didapatkan diameter kritis (d_{cr}) yang dinyatakan dengan

$$d_{cr} = 4t \frac{(\sigma_u)_{FL}}{\tau_{WN}} \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

Plot grafik persamaan (2-2) dan persamaan (2-3) untuk mendapatkan diameter kritis terlihat pada gambar 2-4. Sambungan las titik dengan diameter *nugget* lebih kecil dari diameter kritis akan mengalami patah *interfacial* (IF), sedangkan sambungan las titik dengan diameter *nugget* lebih besar dari diameter kritis akan mengalami patah *pullout* (PF).



Gambar 2-4 Diameter Kritis Untuk Uji Tarik Dan Uji tarik-Geser

Evaluasi analitis terhadap formula AWS pada persamaan (2-1) juga dilakukan oleh Chao (2003) dengan pendekatan mekanika perpatahan. Beban patah pada kondisi *interfacial* dirumuskan dengan

$$P_{IF} = 1,25K_C \frac{d^{5/2}}{t} \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

di mana K_C adalah faktor intensitas tegangan kritis di daerah *nugget*. Sedangkan beban patah pada kondisi *pullout* adalah

$$P_{PF} = t d \tau \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

dengan τ adalah tegangan geser ijin pada daerah terpengaruh panas (*HAZ*). Dari persamaan (2-5) dan (2-6) didapatkan diameter kritis yang dapat dinyatakan dengan

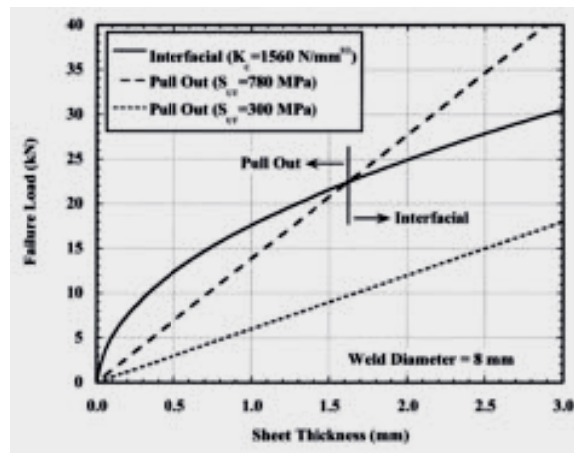
$$d_{cr} = 0,86 \left(\frac{\tau}{K_C} \right)^{2/3} t^{4/3} \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

Pengembangan model prediksi kegagalan *interfacial* (IF) dan *pullout* (PF) pada sambungan las titik (*resistance spot weld*) juga dapat dilakukan dengan mengevaluasi ketebalan material yang disambung. Radakovic dan Tumuluru (2008) menyatakan bahwa kegagalan *interfacial* (IF) dan *pullout* (PF) masing-masing dapat diprediksi dengan persamaan berikut

$$P_{PF} = k. \sigma_U. d. t \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

$$P_{IF} = 1,44. K_C. d. \sqrt{t} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

Interseksi persamaan (2-8) dan (2-9) menghasilkan ketebalan kritis yaitu suatu tebal yang menjadi titik perubahan gagal *pullout* menjadi gagal *interfacial* seperti terlihat pada grafik gambar 2-5.



Gambar 2-5 Prediksi Gagal PF dan IF Berdasarkan Ketebalan Material

Dari gambar 2-5, diketahui bahwa dengan diameter *nugget* yang sama yaitu 8 mm, tetapi tipe kegagalan bisa berubah menurut ketebalan plat yang disambung. Selain itu gambar tersebut juga memperlihatkan bahwa untuk material dengan kekuatan rendah ($\leq 300 \text{ MPa}$) akan selalu terjadi kegagalan sambungan tipe *pullout* pada rentang ketebalan 0-3 mm. Sebaliknya untuk material dengan kekuatan tinggi dan ketangguhan tinggi, Radakovic dan Tumuluru (2008) memprediksi cenderung untuk terjadi gagal tipe *interfacial fracture*.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap kegagalan *interfacial* (IF) dan *pullout* (PF) pada sambungan las titik (*resistance spot weld*) adalah arus listrik. Pouranvari et al. (2008) melakukan penelitian variasi arus terhadap kekuatan sambungan las titik logam tak sejenis antara baja tahan karat tebal 1,2 mm dengan baja galvanis tebal 1,1 mm. Hasil penelitian ditampilkan dalam grafik yang terlihat pada gambar 2-5, menunjukkan bahwa semakin tinggi arus listrik yang digunakan maka kekuatan sambungan semakin besar. Selain itu dari evaluasi jenis kegagalan didapatkan suatu nilai arus listrik tertentu yang menjadi tempat berubahnya tipe kegagalan IF menjadi tipe PF.

Mengacu pada penelitian dan jurnal sebelumnya, penulis melakukan penelitian yang hampir sama. Dengan menggunakan las titik (*resistance spot weld*) dengan dua material berbeda yaitu baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS* dengan ketebalan untuk Baja karbon rendah SS400 memiliki ketebalan 3 mm, sedangkan *stainless steel JLS AUS* memiliki ketebalan 0.5 mm, 0.8 mm, dan 1 mm. Serta dilakukannya pengujian tarik geser,

pengamatan fotomikro, pengujian mikro *Vickers*, dan pengujian korosi untuk mengetahui hasil pengelasan dan fenomena yang terjadi.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 DEFINISI PENGELASAN

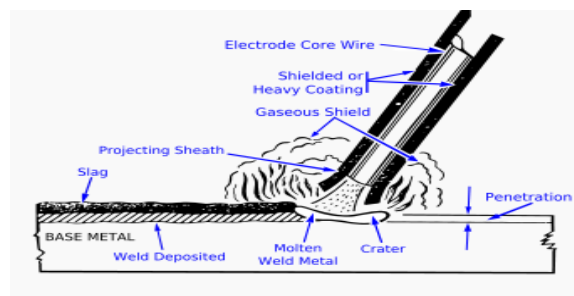
Pengelasan berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen (DIN)* adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan pada keadaan lumer atau cair. Atau dapat juga didefinisikan bahwa pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu logam induk dan logam pengisi (*filler metal*) akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan. Banyak metode yang digunakan dalam proses pengelasan logam, salah satu pengelasan yang cukup maju adalah *Resistansi Spot Welding (RSW)* atau sering dikenal dengan las titik. (Wiryosumarto, 2000).

Metode *Resistansi Spot Welding* adalah permukaan yang akan disambung ditekan satu sama yang lain kemudian dialiri arus listrik yang tinggi dengan arus yang singkat. Proses pengelasan titik itu sendiri merupakan proses yang kompleks, melibatkan interaksi elektrik, panas, mekanik, dan fenomena metalurgi dimana setiap parameter proses memiliki pengaruh terhadap kualitas dan karakteristik hasil las.

2.2.2 KLASIFIKASI PENGELASAN

a. SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

SMAW adalah las busur nyala api listrik terlindung dengan mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber pemanas pencair logam. Jenis ini paling banyak dipakai dimana-mana hampir untuk semua pekerjaan pengelasan. Tegangan yang dipakai hanya 23 sampai dengan 45 Volt AC atau DC, sedangkan untuk pencairan pengelasan dibutuhkan arus hingga 500 Ampere. Namun secara umum yang dipakai berkisar 80-200 Ampere. Skema pengelasan SMAW dapat dilihat dalam gambar 2-6.

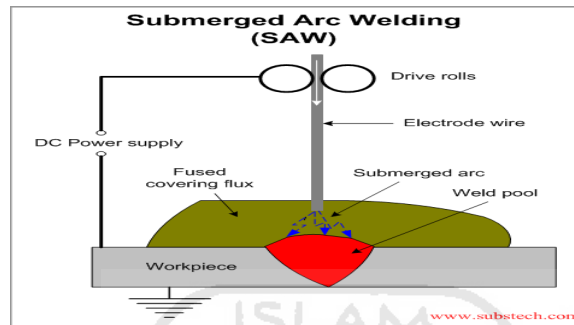


Gambar 2-6 Pengelasan SMAW (*shielded Metal Arc welding*)

<http://akmalchaka.blogspot.com>

b. SAW (Submerged Arc Welding)

SMAW adalah las busur terbenam atau pengelasan dengan busur nyala api listrik . Untuk mencegah oksidasi cairan metal induk dan material tambahan, dipergunakan butiran-butiran *fluks/slag* sehingga busur nyala api terpendam didalam ukuran-ukuran *fluks* tersebut. Skema pengelasan SAW dapat dilihat dalam gambar 2-7.

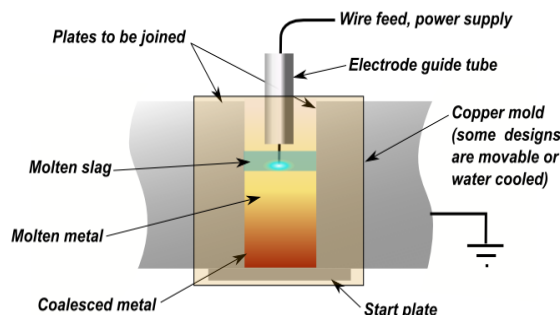


Gambar 2-7 Pengelasan SAW (Submerged ARC Welding)

<http://www.substech.com>

c. ESW (Electro Slag Welding)

ESW adalah pengelasan busur terhenti, pengelasan sejenis SAW namun bedanya pada ESW busurnya nyala mancairkan *fluks*., busur terhenti dan proses pencairan *fluks* berjalan terus dan menjadi bahan pengantar arus listrik (konduktif). Sehingga elektroda terhubung dengan beda yang dilas melalui konduktor tersebut. Panas yang dihasilkan dari tahanan terhadap arus listrik melalui cairan *fluks/slag* cukup tinggi untuk mencairkan bahan tambahan las dan bahan induk yang dilas temperaturnya mencapai $3500^{\circ}F$ atau setara dengan $1925^{\circ}C$. Skema pengelasan ESW dapat dilihat dalam gambar 2-8.

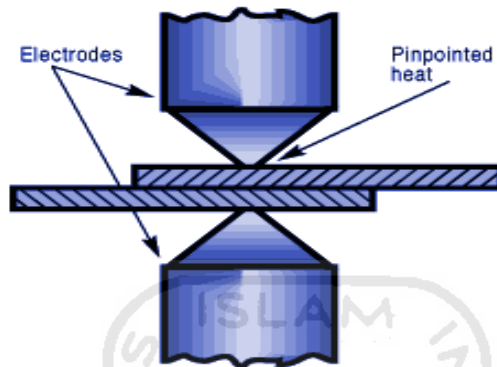


Gambar 2-8 Pengelasan ESW (Electro Slag Welding)

<http://en.wikipedia.org>

d. ERW (*Electric Resistance Welding*)

ERW adalah las tahanan listrik yaitu dengan tahanan yang besar, panas yang dihasilkan oleh aliran listrik menjadi semakin tinggi sehingga mencairkan logam yang akan dilas. Contohnya adalah pada pembuatan pipa ERW, pengelasan plat dinding-dinding pesawat atau pada pagar kawat. Skema pengelasan ERW dapat dilihat dalam gambar 2-9.

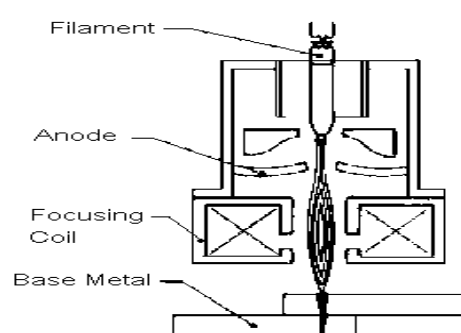


Gambar 2-9 Pengelasan ERW (*Electric Resistance Welding*)

<http://www.lucasmilhaupt.com>

e. EBW (*Electron Beam Welding*)

EBW adalah las dengan proses pemboman elektron, suatu pengelasan ruang pencairan disebabkan oleh panas yang dihasilkan oleh suatu berkas loncatan elektron yang dimampatkan dan diarahkan pada benda yang akan dilas. Pengelasan ini dilakukan didalam ruang hampa, sehingga mengecilkan kemungkinan oksidasi atau kontaminasi. Skema pengelasan EBW dapat dilihat dalam gambar 2-10.



Gambar 2-10 Pengelas EBM (*Electro Beam Welding*)

<http://www.weldingengineer.com>

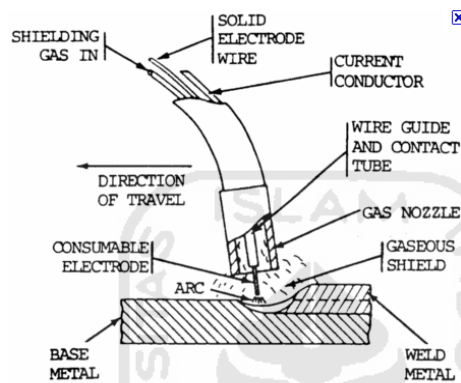
f. GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Terdiri dari:

1. MAG (*Metal Active Gas*)

2. MIG (*Metal Inert Gas*)

MAG pengelasan dengan gas nyala yang dihasilkan berasal dari unsur nyala listrik, yang dipakai sebagai pencair metal yang dilas dan metal penambah. Sebagai pelindung oksidasi dipakai gas pelindung yang berupa gas kekal (*inert*) atau CO_2 . MIG digunakan untuk mengelas besi atau baja, sedangkan gas pelindungnya adalah menggunakan karbon dioksida CO_2 . Skema pengelasan GMAW dapat dilihat dalam gambar 2-11.

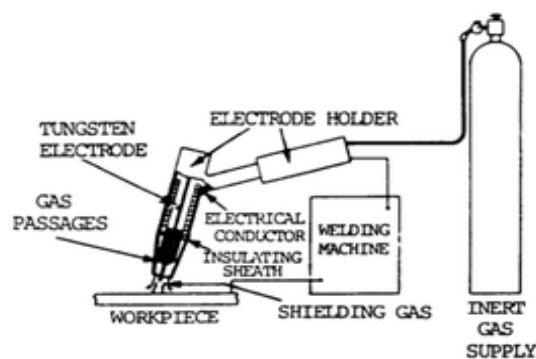


Gambar 2-11 Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

<http://mewelding.com>

g. GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) atau TIG (*Tungsten Inert Gas*)

GTAW adalah pengelasan dengan memakai busur nyala dengan *tungsten*/elektroda yang terbuat dari *wolfram*, sedangkan bahan penambahnya digunakan bahan yang sama atau sejenis dengan material induknya. Untuk mencegah oksidasi, dipakai gas kekal (*inert*) 99% dan Argon (Ar) murni. Skema pengelasan GTAW dapat dilihat dalam gambar 2-12.

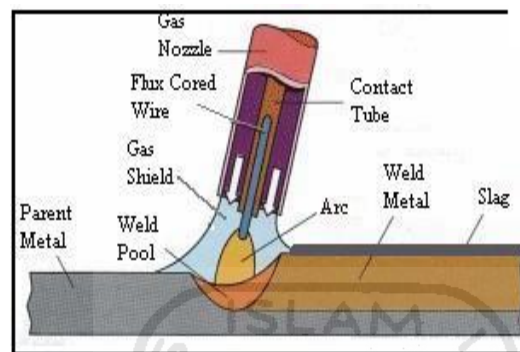


Gambar 2-12 Pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

<http://flaggedrevs.labs.wikimedia.org>

h. FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

Pada hakikatnya hampir sama dengan pengelasan GMAW. Gas pelindungnya juga sama-sama menggunakan karbon dioksida CO_2 . Biasanya pada mesin las FCAW ditambah robot yang bertugas untuk menjalankan pengelasan biasanya disebut dengan *super anemo*. Skema pengelasan FCAW dapat dilihat dalam gambar 2-13.

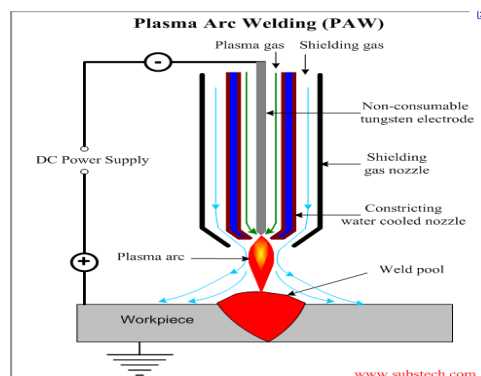


Gambar 2-13 Pengelasan FCAW (*Flux Cored Welding*)

<http://www.weldcop.com>

i. PAW (*Plasma Arc Welding*)

PAW adalah las listrik dengan plasma yang sejenis dengan GTAW hanya pada proses ini gas pelindung menggunakan bahan campuran antar Argon (Ar) , Nitrogen (N) dan Hidrogen (H) yang lazim disebut dengan plasma. Plasma adalah gas yang *luminous* dengan derajat pengantar arus dan kapasitas termin/panas yang tinggi yang dapat menampung temperatur diatas $5000^{\circ}C$. Skema pengelasan PAW dapat dilihat dalam gambar 2-14.

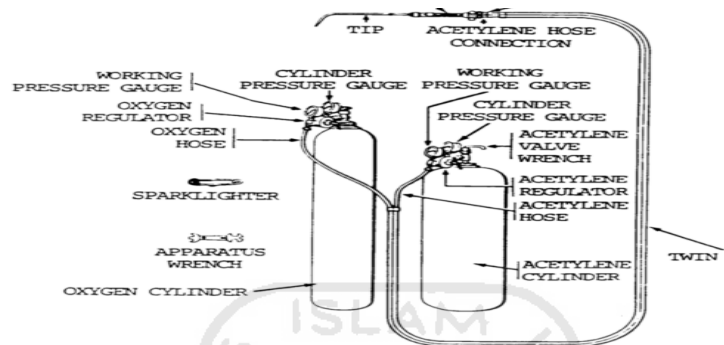


Gambar 2-14 Pengelasan PAW (*Plasma Arc Welding*)

<http://www.substech.com>

j. OAW (Oxygen Acetylene Welding)

OAW adalah sejenis las karbit/las *otogen*. Panas yang didapat dari hasil pembakaran gas *acetylene* (C_2H_2) dengan zat asam atau oksigen (O_2). Ada juga yang sejenis las ini dan memakai gas propane (C_3H_8) sebagai ganti *acetylene*. Ada pula yang memakai bahan pemanas yang terdiri dari campuran gas hidrogen (H) dan zat asam (O_2) yang disebut OHW (*Oxy hydrogen Welding*). Skema pengelasan OAW dapat dilihat dalam gambar 2-10.

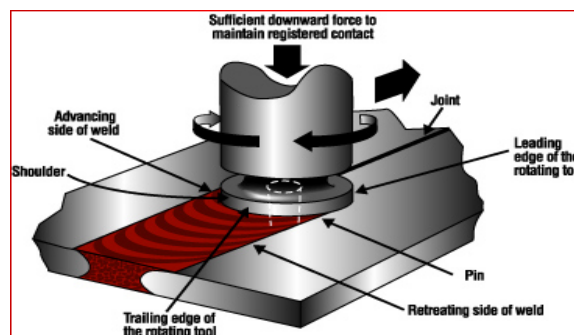


Gambar 2-15 Pengelasan OAW (*Oxygen Acetylene Welding*)

<http://mewelding.com>

k. FSW (Friction Stir Welding)

FSW adalah penekanan *tools* pada sisi sambungan yang akan dilas pada plat aluminium, pemutaran *tools* harus cepat pada saat bergesekan dengan aluminium, sehingga menyebabkan dan plat aluminium yang akan disambung meleleh dan menyambung, serta dibarengi berjalannya *tools* atau meja kerja (tempat aluminium) supaya aluminium tidak bolong atau meleleh semua. Pengelasan ini tidak memerlukan bahan tambah (*filler*) sehingga menghemat bahan tambahannya yang bisa dipakai pada pengelasan pada umumnya. Skema pengelasan FSW dapat dilihat dalam gambar 2-16.



Gambar 2-16 Pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*)

<http://www.frictionstirlink.com>

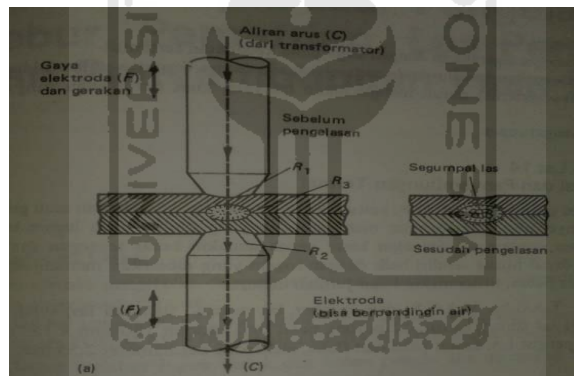
I. RSW (RESISTANCE SPOT WELDING)

Pengelasan titik (*Spot Welding*) merupakan suatu bentuk pengelasan tahanan dimana las dihasilkan pada suatu titik pada benda kerja diantara elektroda-elektroda pembawa arus, las akan mempunyai luas yang kira-kira sama dengan ujung elektroda atau sekecil ujung elektroda dari ukuran yang berbeda-beda. Gaya yang dikenakan terhadap titik yang biasanya melalui elektroda, secara kontinyu diseluruh proses (tidak ada busur api yang terbentuk)

a. Hal-hal yang penting :

- Elektroda paduan tembaga memiliki mempunyai tahanan aliran listrik yang lebih kecil daripada bagian yang akan dilas.
- Semakin besar tahanan terhadap aliran arus semakin terkonsentrasi aliran panas.

Catatan : tahanan yang kecil $R_1 + R_2$ (gambar 2-17) adalah diantara elektroda, pelat, dan tahanan yang tinggi R_3 adalah celah udara yang kecil diantara pelat-pelat, menyebabkan peleburan dan fusinya kedua permukaan yang terbentuk suatu bungkahan las. Skema pengelasan RSW dapat dilihat dalam gambar 2-17.



Gambar 2-17 Pengelasan RSW (*Resistensi Spot Welding*)

b. Urutan Las Sebagai Berikut

- Gaya dikenakan pada elektroda
- Arus mengalir melalui periode waktu tertentu gaya elektroda dijaga selama suatu periode setelah arus berhenti mengalir kemudian dilepaskan.
- Sumber panas diperoleh dari transformator yang menyediakan elektroda las dengan arus yang tinggi.

c. Kelebihan dan kekurangan RSW

Pengelasan RSW (*Resistensi Spot Welding*) mempunyai kelebihan dan kekurangan diantaranya yaitu:

Kelebihan RSW :

- a) Tidak diperlukan logam pengisi.
- b) Kecepatan produksi tinggi.
- c) Memiliki kemampuan ulang (*repeatability*) dan keandalan yang baik

Kekurangan RSW

- a) Biaya investasi awal mesin yang relatif tinggi.
- b) Hanya dapat mengerjakan sambungan tumpang (*lap join*)
- c) Kekuatan *nugget* dipengaruhi oleh gaya yang diberikan pada material.

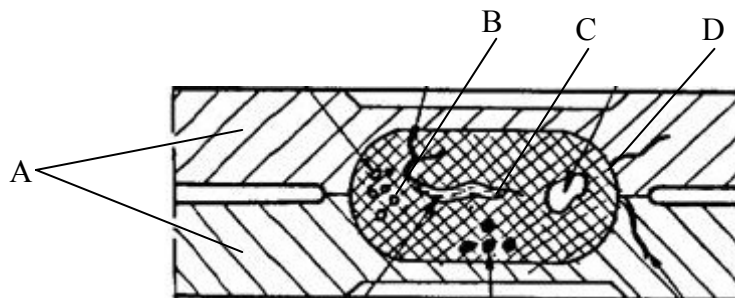
d. Aplikasi RSW

Pada pengelasan RSW ini banyak diaplikasikan dalam dunia industri, biasanya las titik (*Spot Welding*) banyak digunakan dalam produksi massal mobil, peralatan, perabot logam dan produk lainnya yang terbuat dari logam lembaran

2.3.1 METALURGI LAS

Daerah las-lasan atau *nugget* mempunyai beberapa bagian dalam strukturnya. Ketika dilakukan pengujian tarik geser akan terjadi beberapa kegagalan, yaitu PO (*Pullout Fracture*) dan IF (*Interfacial Fracture*). PO (*pullout fracture*) terjadi karena pada waktu pengujian tarik material mengalami sobek pada daerah las, sedangkan IF (*interfacial fracture*) terjadi karena pada waktu pengujian tarik sambungan *nugget* lepas dan tidak menimbulkan kerusakan seperti sobek.

Disetiap penyambungan dengan proses pengelasan hampir selalu dijumpai daerah-daerah ataupun bagian-bagian dari sambungan las mulai logam las atau *nugget*, garis penggabungan atau *fusion line*, daerah terkena panas atau disebut *heat affected zone*, dan logam induk atau *base metal* sebagai mna ditunjukkan pada gambar 2-18



Gambar 2-18 Metalurgi Pengelasan Tititik

Keterangan gambar :

A. Daerah induk atau *base metal*

Bagian ini jauh dari pengelasan, akan tetapi bagian ini tidak mengalami deformasi. Walaupun termasuk dalam bagian yang terpengaruh panas dari pengelasan, tetapi tidak terpengaruh panas yang berkaitan dengan struktur mikro. Logam induk merupakan logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.

B. *Heat Affected Zone (HAZ)*

Daerah ini lebih dekat dari pusat pengelasan, material mengalami siklus panas yang telah merubah mikro struktur. Daerah yang dipengaruhi panas yang dalam bahasa inggrisnya adalah *Heat Affected Zone* dan disingkat *HAZ* merupakan logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat, sehingga terjadi perubahan struktur akibat pemanasan tersebut disebabkan daerah yang mengalami pemanasan yang cukup tinggi .

C. *Nugget*

Pada daerah ini material telah membentuk logam las (*nugget*) merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku. Berasal dari material yang meleleh akibat panas pengelasan dan membeku.

D. *Garis penggabungan (fusion line)*

Merupakan daerah perbatasan antara daerah yang mengalami peleburan dan yang tidak melebur. Daerah ini sangat tipis sekali sehingga dinamakan garis gabungan antara *nugget* dan *HAZ*.

2.4 Material

2.4.1 Baja Karbon

Logam yang banyak dipakai untuk konstruksi bangunan mesin, sipil, kapal adalah baja karbon dengan kadar $<0,3\%$ dimana tebal plat nya kurang lebih 1 inchi,. Dengan baja karbon rendah ini, maka pengelasan dapat dilakukan tanpa pemanasan sebelum maupun sesudah pencairannya. Sedang untuk baja karbon dengan kadar lebih tinggi dan tebalnya lebih dari 1 inchi biasanya memerlukan pemanasan pendahuluan serta memakai elektroda dengan kadar *hydrogen* rendah di mana hal ini guna menghindari pengerasan yang akan menyebabkan keretakan.

Baja karbon (*carbon steel*) adalah salah satu jenis logam paduan besi karbon

terpenting dengan presentase berat karbon hingga 2,11%. Baja karbon di klasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu :

- a) Baja karbon rendah (*low*) adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%.
- b) Baja karbon sedang (*medium*) adalah baja dengan kadar karbon 0,30% – 0,45% karbon
- c) Baja karbon tinggi (*high*) adalah baja karbon dengan kadar karbon antara 0,45% – 1,70% karbon.

Jika penambahan elemen-elemen lain selain karbon untuk tujuan-tujuan tertentu cukup signifikan, maka baja diklasifikasikan menjadi baja paduan (*alloy steel*) atau baja paduan rendah (*low alloy steel*). Jenis baja lainnya yang cukup penting adalah baja perkakas (*tool steel*) dan baja nirkarat (*stainless steel*). Selain baja paduan berbasis karbon lain yang juga penting adalah besi tuang atau besi cor (*cast iron*), yaitu besi dengan kadar karbon lebih dari 2.11% hingga 4-6%. Besi tuang diklasifikasikan lebih lanjut berdasarkan struktur mikro dan sifat-sifatnya kedalam besi tuang kelabu (*gray cast iron*), besi tuang ulet atau *nodular* (*ductile or nodular cast iron*), besi tuang putih (*white cast iron*), besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*).

Klasifikasi baja karbon rendah juga disebut baja lunak banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja karbon ini dibagi lagi dalam beberapa klasifikasi. Baja karbon rendah sendiri mempunyai sifat mampu las yang baik. Ada beberapa faktor yang sangat mempengaruhi mampu las dari baja karbon rendah yaitu :

- a) kekuatan tarik dan kepekaan terhadap retak las.
- b) Baja dapat disambung dengan proses pengelasan.
- c) Kemampuan las baja tergantung dari komponen kimia baja dengan menaikkan dan menurunkan kadar karbon dan menaikkan kadar Mangan.

Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan plat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi. Cara pengelasan baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas.

Jika penambahan elemen-elemen lain selain karbon untuk tujuan-tujuan tertentu cukup signifikan, maka baja diklasifikasikan menjadi baja paduan (*alloy steel*) atau baja paduan rendah (*low alloy steel*). Jenis baja lainnya yang cukup penting adalah baja perkakas (*tool steel*) dan baja nirkarat (*stainless steel*). Selain baja paduan berbasis karbon lain yang juga penting adalah besi tuang atau besi cor (*cast iron*), yaitu besi dengan kadar karbon lebih

dari 2.11% hingga 4-6%. Besi tuang diklasifikasikan lebih lanjut berdasarkan struktur mikro dan sifat-sifatnya kedalam besi tuang kelabu (*gray cast iron*), besi tuang ulet atau *nodular (ductile or nodular cast iron)*, besi tuang putih (*white cast iron*), besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*).

Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan plat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi. Cara pengelasan baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas. Bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi. Klasifikasi dari baja karbon dapat dilihat dalam tabel 2-1.

Tabel 2-1 Klasifikasi baja karbon
(Wiryosumarto, 2000)

Jenis dan kelas		Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Panjang (%)	Keras Brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18 – 28	32 – 36	40 – 30	95 – 100	Plat tipis
	Baja sangat lunak	0,08 – 0,12	20 – 29	36 – 42	40 – 30	80 – 120	Batang, kawat
	Baja lunak	0,12 – 0,20	22 – 30	38 – 48	36 – 24	100 – 130	Konstruksi umum
	Baja setengah lunak baja	0,20 – 0,30	24 – 36	44 – 55	32 – 22	112 – 145	Konstruksi umum
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30 – 0,40	30 – 40	50 – 60	30 – 17	140 – 170	Alat – alat mesin
Baja karbon tinggi	Baja keras	0,40 – 0,50	34 – 46	58 – 70	26 – 14	160 – 200	Perkakas
	Baja sangat keras	0,50 – 0,80	36 – 47	65 – 100	20 – 11	180 – 235	Rel, pegas, dan kawat

Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan plat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi. Cara pengelasan baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas.

2.4.2 Baja Tahan Karat

Baja tahan karat adalah baja paduan tinggi, maka jelas bahwa kualitas sambungan lasnya sangat dipengaruhi dan menjadi getas oleh panas dan atmosfer pengelasan. Baja tahan karat kadang-kadang digunakan dalam pengelasan las busur rendah, las sinar elektron, las resistansi listrik. Baja tahan karat di dalam dunia rekayasa material digunakan secara luas hingga sekarang dengan pengembangan-pengembangan baru. Material ini memiliki secara umum sifat ketahanan korosi yang baik di berbagai lingkungan. Ketahanan korosi ini dikarenakan adanya kandungan unsur-unsur di dalam paduan tersebut. Unsur-unsur *Crom* (C_r) dan *Nikel* (Ni) merupakan unsur yang bertanggung jawab atas ketahanan korosi. Baja tahan karat dengan kandungan unsur krom lebih dari 12% wt memberikan efek ketahanan korosi. Baja tahan karat dengan unsur krom lebih dari 10%wt akan membentuk suatu lapisan oksida protektif ($C_{rs}O_3$) di permukaan baja untuk melindungi beberapa lingkungan korosif. Baja tahan karat tipe *austenitik* mempunyai kerentanan terhadap proses sensitasi. Sensitasi adalah proses pembentukan senyawa baru di batas butir antara suhu $580^{\circ}\text{C} - 8150^{\circ}\text{C}$ sehingga dapat memberikan efek korosi batas butir jika di dalam larutan korosif. Baja tahan karat atau *stainless steel* sendiri adalah paduan besi dengan minimal 12% kromium. Komposisi ini membentuk *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap krom yang terjadi secara spontan. Ada beberapa macam baja tahan karat, diantaranya adalah :

a) Baja Tahan Karat Jenis *Martensit*

Baja ini dalam siklus pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan akan membentuk *martensit* yang keras dan getas sehingga sifat mampu lasnya kurang baik.

b) Baja Tahan Karat Jenis *Ferrite*

Ferrite adalah fase larutan padat yang memiliki struktur *BBC* (*body centered cubic*). *Ferrite* dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperatur ruang, yaitu *alpha-ferrite* atau temperatur tinggi, yaitu *delta ferrite* secara umum fase ini bersifat lunak (*soft*), ulet (*ductile*), dan magnetik hingga temperatur tertentu yaitu T_{curie} . Pelarutan karbon didalam fase ini relatif lebih kecil dibanding larutan karbon didalam larutan padat lainnya didalam baja, yaitu fase *austenite*. Pada temperatur ruang, dalam *alpha-ferrite* hanyalah sekitar 0.05 %.

Berbagai jenis baja dan besi dibuat dengan mengeksplorasi sifat-sifat *ferrite*. Baja lembaran berkadar karbon rendah dengan fasa tunggal *ferrite* misalnya, banyak di produksi untuk proses pembentukan logam lembaran. Dewasa ini bahkan telah dikembangkan baja

berkadar karbon ultra rendah untuk karakteristik mampu bentuk yang lebih baik. Kenaikan kadar karbon secara umum akan meningkatkan sifat-sifat mekanik *ferrite* sebagaimana telah di bahas sebelumnya. Untuk paduan baja dengan fasa tunggal *ferrite* sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Untuk baja dengan fasa tunggal *ferrite*, faktor lainnya yang berpengaruh signifikan terhadap sifat-sifat mekanik adalah ukuran butir.

c) Baja Tahan Karat Jenis *Austenitik*

Baja tahan karat jenis ini yang digunakan dalam penelitian, baja tahan karat ini mempunyai sifat mampu las yang lebih baik bila dibanding dengan kedua jenis yang lainnya. Tetapi walaupun demikian pada pendinginan lambat dari 680°C ke 480°C akan terbentuk karbida khrom yang mengendap di antara butir, endapan ini terjadi pada suhu sekitar 650°C dan menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya.

Baja tahan karat termasuk dalam baja paduan tinggi yang tahan terhadap korosi, suhu tinggi dan suhu rendah. Di samping itu juga mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup. Karena sifatnya, maka baja ini banyak digunakan dalam reaktor atom, turbin, mesin jet, pesawat terbang, alat rumah tangga. Secara garis besar baja tahan karat dapat dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu jenis *ferrite*, jenis *austenitik* dan jenis *martensit*. Klasifikasi baja tahan karat dapat dilihat pada table 2-2.

Tabel 2-2 Klasifikasi baja tahan karat
(Wiryosumarto, 2000 dan Okumura, 2000)

Klasifikasi	Komposisi Utama (%)			Sifat mampu keras	Sifat tahan korosi	Sifat mampu tempa	Sifat mampu las	Kemagnetan
	Cr	Ni	C					
Baja tahan karat <i>martensit</i>	11-15	-	$\leq 1,20$	Mengeras sendiri	Kurang baik	Kurang baik	Tidak baik	Magnet
Baja tahan karat <i>ferrite</i>	16-27	-	$\leq 0,35$	Tidak dapat dikeraskan	Baik	Baik	Kurang baik	Magnet
Baja tahan karat <i>austenit</i>	≤ 16	≤ 7	$\leq 0,25$	Tidak dapat dikeraskan	Baik sekali	Baik sekali	Baik sekali	Bukan magnet

2.5 Korosi

Korosi atau karat adalah sebagai proses pembusukan suatu bahan atau proses perubahan sifat suatu bahan akibat pengaruh atau reaksinya dengan lingkungan sekitarnya, yang oleh *NACE (national Association of Engineer)* didefinisikan sebagai “*corrosion*” is *the deterioration of substance, usually a metal, or its properties because of reaction with its enviroment*. Karat dapat terjadi dimana saja dan pada bahan apa saja, boleh dikatakan bahwa tidak ada benda padat yang tidak dapat berkarat atau kebal terhadap serangan karat, masing-masing bahan memiliki kelebihan dan kekurangan terhadap jenis-jenis karat tertentu.

Adapun cara yang terbaik untuk menjegah karat adalah dengan menciptakan lingkungan yang menetralsir terjadinya karat dengan mempergunakan bahan pelapis permukaan yang anti terhadap suatu jenis karat tertentu, atau menggunakan bahan yang tahan terhadap jenis karat tertentu. Hingga saat ini dikenal 105 jenis karat, yang 80 diantaranya bahan logam. Setiap logam mempunyai sifat kimiawi fisik dan mekanik yang berbeda dan semua jenis logam tidak ada yang kebal terhadap karat, masing-masing logam memiliki kelebihan dan kekurangan terhadap jenis karat tertentu

Untuk mengetahui lebih lanjut terhadap karat, dibawah ini dijelaskan beberapa jenis karat :

- a) Jenis karat yang terjadi melalui proses elektrokimia adalah antara lain : karat atmosfer, karat galvanis, karat arus liar, karat air laut, karat tanah (*soil corrosion*), *oxygen concentration cell*, dan lain-lain.
- b) Jenis karat yang terjadi melalui proses kimia adalah antara lain : karat peralutan selektif, karat merkuri, karat asam (*acid corrosion*), karat titik embun (*dew poin corrosion*), dan lain-lain.
- c) Jenis karat yang terjadi karena kombinasi elektrokimia, kimia dan fisik adalah antara lain : karat tegangan, karat erosi, dan lain-lain.
- d) Jenis yang terjadi karat akibat kerusakan mekanis antara lain adalah : *fretting* (karat gesekan), karat kelelahan (*corrosion fatigue*), serangan tumbukan partikel (*impingemen attack*).
- e) Jenis karat yang terjadi pada suhu tinggi misalnya antara lain oksidasi, karat metal cair (*liquit metal corrosion*), dan lain-lain.
- f) Jenis karat yang disebabkan oleh faktor biologis yakni karat yang disebabkan oleh bakteri pereduksi sulfat (*sulphate redusing bacterial*).

- g) Kerusakan material lain yang disebabkan oleh pencemaran zat kimia sewaktu diopersikan pada kondisi lingkungan yang kaya dengan zat pencemar tertentu, misalnya penggetasan hidrogen (*hydrogen embrittlement*), penggetasan sulfur.
- h) Jenis karat yang terjadi di batas kristal metal, yakni *intergrannular/intercrystalline corrosion*, *interdendritic corrosion*, dan lain-lain.

2.5.1 Korosi Baja Karbon Rendah

Baja karbon murni akan mengalami korosi di hampir semua lingkungan atmosfer bila kelembaban melebihi 60 persen. Begitu lapisan buti-butir air terbentuk pada permukaannya, laju korosi ditentukan oleh berbagai faktor lingkungannya; tetapi yang paling penting adalah pemasokan oksigen, PH, dan hadirnya ion-ion agresif, terutama oksida-oksida belerang dan klorida.

Komposisi baja, kondisi permukaan, dan sudut *exposure*-nya juga berpengaruh terhadap laju korosi. Penambahan kandungan karbon, mangan dan silikon cenderung mengurangi laju korosi. Laju korosi untuk baja yang terendam didalam air dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor : kelembaban relatif, temperatur, PH, konsentrasi oksigen, bahan pengotor, konsentrasi, kecepatan elektrolit.

Dalam air tawar laju korosi sebesar 0,05 mm per tahun walaupun laju itu mungkin turun hingga 0,01 bila endapan kapur sudah terbentuk. Dalam air laut, laju korosi rata-rata berada didaerah antara 0,1 hingga 0,15 mm pertahun. Apabila terdapat kerak, atau bila lokasinya berada didaerah pasang surut selalu mengalami keadaan basah/kering yang berulang maka angka tersebut dapat menjadi lebih besar.

2.5.2 Korosi Baja Tahan Karat

Baja tahan karat adalah paduan besi yang ketahanan terhadap korosi bergantung pada sebuah selaput permukaan pasif khromium oksida yang transparan dan sangat tipis. Masalah korosi utama yang dialami baja tahan karat adalah peretakan peka-lingkungan dan korosi celah. Kedua proses tersebut dipercepat oleh ion-ion khlorida yang sangat agresif menyerang selaput khromium oksida. Kandungan karbon yang sangat terlalu tinggi (>0,03 persen) dapat mengganggu perilaku korosi baja tahan karat akibat penggumpalan khromium karbida yang menyebabkan kadar khrom di beberapa tempat dari bahan pengikat kurang dari batas minimum untuk mempertahankan selaput oksida.

Walaupun kandungan karbon pada baja ini relatif rendah, karbon tambahan masih bisa larut selama proses pemanasan yang menggunakan minyak, cat, atau gemuk pada

permukaannya. Semua lapisan yang bisa menjadi sumber karbon harus dihilangkan dahulu apabila baja tahan karat akan dilas, dipanaskan untuk penempatan atau pengepresan, atau dipanaskan untuk keperluan lain.

Untuk menghitung laju korosi material yang diuji maka dipergunakan rumus (Jones,1992) seperti dibawah ini.

$$N_{eq} = \sum \left(\frac{f_1 n_1}{a_1} \right) = \frac{f_1 n_1}{a_1} + \frac{f_2 n_2}{a_2} + \frac{f_3 n_{13}}{a_3} + \frac{f_4 n_{14}}{a_4} \dots\dots\dots 2-1$$

$$E_w = \frac{1}{N_{eq}} \dots\dots\dots 2-2$$

$$CR = 0.00327 \frac{I_{corr} \cdot E_w}{D} \dots\dots\dots 2-3$$

Diketahui :

N_{eq} = Number equivalent

f = jumlah persen unsur (%)

a = masa atom

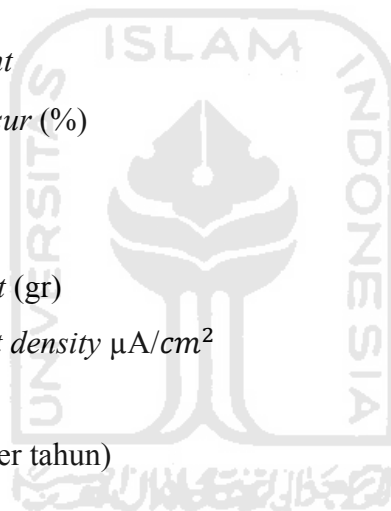
n = valensi

E_w = Equivalent Weight (gr)

I_{corr} = Corrosion current density $\mu A/cm^2$

D = densitas gr/cm^3

CR = laju korosi (mm per tahun)

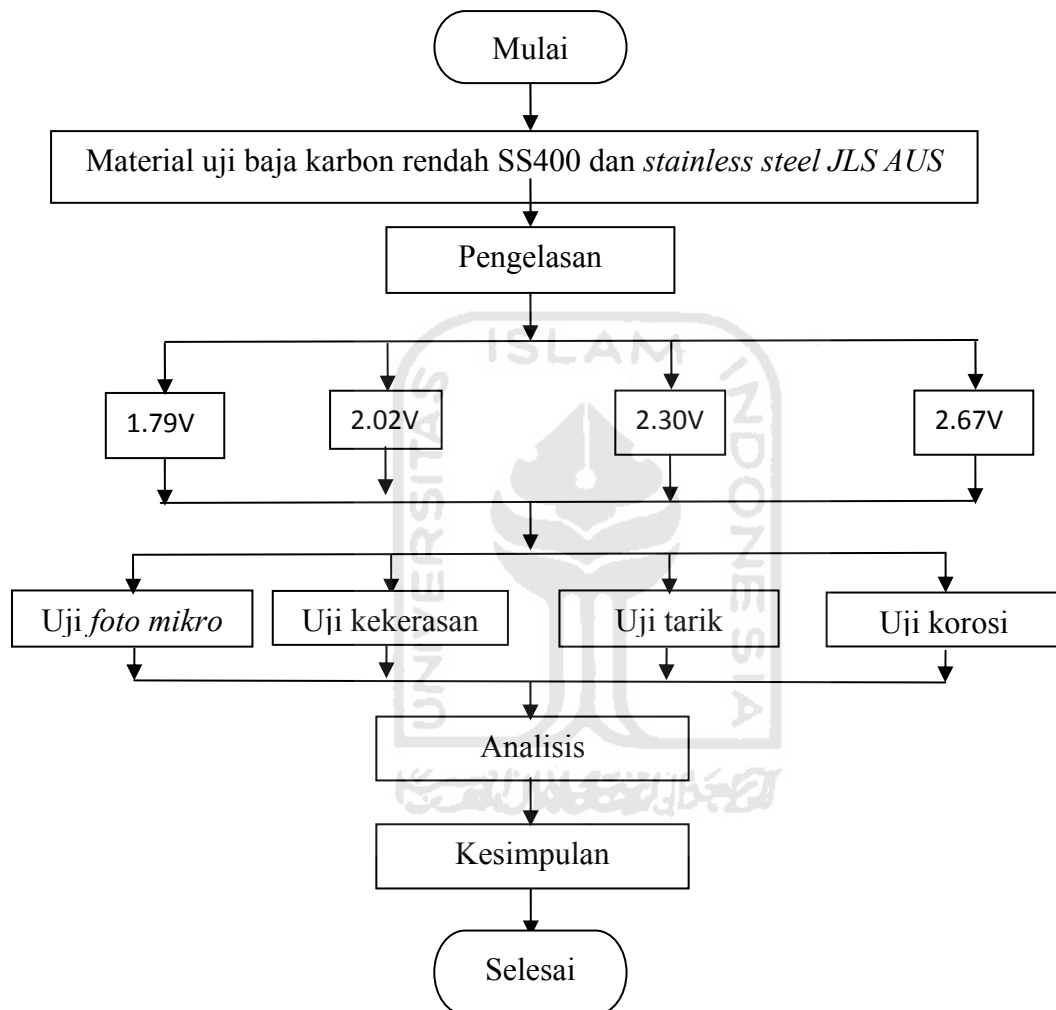


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart

Flow chart penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan , tahapan proses yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar 3-1.



Gambar 3-1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan dan Alat

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah SS400 dan *satainless steel JLS AUS*, untuk memudahkan dalam penyebutan material baja karbon rendah disebut *MS*, sedangkan *stainless steel* disebut *SS*. Komposisi kimia baja karbon rendah SS400 dapat dilihat pada table 3-1 dan untuk *stainless steel JLS AUS* dapat dilihat pada tabel 3-2

Table 3-1 Komposisi Kimia Baja Karbon Rendah SS400

No	Komposisi	%
1	Fe	99.07
2	Mn	0.53
3	C	0.20
4	Si	0.09
5	S	0.04
6	Ni	0.03
7	Cr	0.03
8	P	0.01

Tabel 3-2 Komposisi Kimia *Stainless Steel JLS AUS*

No	Komposisi	%
1	Fe	70.145
2	Cr	16.2
3	Mn	7.20
4	Ni	4.1
5	Cu	1.7
6	N	0.08
7	C	0.07
8	P	0.05
9	Si	0.45
10	S	0.005

Alat yang digunakan dan fungsinya dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel

3-3

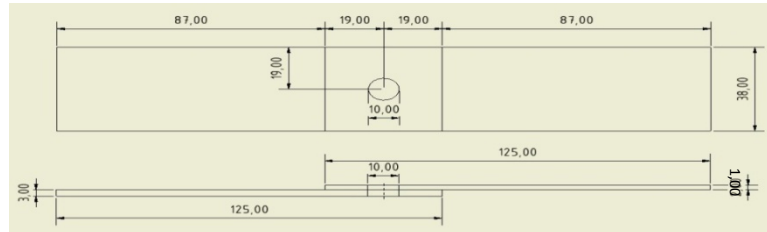
Tabel 3-3 Peralatan yang digunakan

No	Nama	Keterangan
1	Mesin las RSW	Untuk pengelasan
2	Amplas	Untuk memnghaluskan permukaan
3	Mesin uji tarik geser	Menguji keuletan material
4	Foto mikro	Untuk melihat struktur material
5	Mesin uji kekerasan mikro <i>Vickers</i>	Menguji kekerasan material
6	Mesin uji korosi	Menguji korosi material

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Rancangan Sambungan Las

Rancangan sambungan las titik dalam penelitian ini seperti yang terlihat pada gambar 3-2.



Gambar 3-2 Ukuran Material Baja Karbon Rendah dan *Stainless Steel*

Tabel 3-4 Parameter Pengelasan

TEBAL T1 (SS400) (mm)	TEBAL T2 (JLS AUS) (mm)	TEGANGAN LISTRIK (V)	KETERANGAN
3	1	1.79V	a. Replika 3 sampel sehingga total uji geser-tarik 12x3= 36 sampel b. Uji korosi replika 4 sampel sehingga total uji korosi 4
		2.02V	
		2.30V	
		2.67V	
	0.8	1.79V	
		2.02V	
		2.30V	
		2.67V	
	0.5	1.79V	
		2.02V	
		2.30V	
		2.67V	

3.3.2 Proses Pengelasan

Pada pengelasan RSW material yang digunakan adalah baja karbon rendah SS400 yang memiliki ketebalan 3 mm dan *stainless steel JLS AUS* yang memiliki tebal 1 mm, 0,8 mm, dan 0,5 mm. Pengelasan dilakukan dengan perbandingan ketebalan 3:1, 3:0.8, 3:0.5,

semuanya dilakukan dengan parameter yang berbeda. Sebelum dilas, baja karbon rendah dan *stainless steel* terlebih dahulu digambar menggunakan mal agar bisa berada pada titik pengelasan. Kemudian kedua sisi plat dengan ketebalan 3:1 dilas dengan parameter 1.79V sampai 2.67V dilakukan sebanyak 12 kali pengelasan. Lalu kedua sisi plat dengan ketebalan 3:0.8 dilas dengan parameter 1.79V sampai 2.67V dilakukan 12 kali pengelasan. Pada ketebalan 3:0.5 pengelasan dilakukan dengan parameter 1.79V sampai 2.67V dilakukan hingga 12 kali pengelasan. Total semua pengelasan dilakukan sebanyak 36 kali. Pengelasan dilakukan dengan ketebalan berbeda dan parameter yang berbeda.

Las RSW dilakukan dengan elektroda atas berukuran 6mm dan mempunyai panjang 165mm. Untuk diameter bawah berukuran 7mm dan mempunyai panjang 165mm. Gambar 3-3 menunjukkan elektroda yang digunakan, dan gambar 3-4 menunjukkan alat RSW yang digunakan.



Gambar 3-3 Elektroda Atas dan Bawah



Gambar 3-4 Mesin Las RSW

Proses pengelasan las titik mempunyai tahapan pengoperasian mesin las, sebagai berikut:

1. Perisapan plat baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS* yang akan dilas.
2. Penghalusan salah satu sisi permukaan (antar muka).
3. Memilih tegangan listrik dan waktu yang sesuai.
4. Mengatur posisi platnya supaya tegak lurus dan tepat ditengah.
5. Material diletakkan diantara elektroda terbuka.
6. Menginjak panel penekanan dan gaya tekan akan diberikan.
7. Lama tegangan listrik dialirkan (disebut waktu las) ini di bagi menjadi 4 tahapan yaitu:

- a) *Squeeze time* yaitu waktu dimana penekanan elektroda dan disaat mulai pengaliran arus.
- b) *Weld time* yaitu waktu dimana arus listrik sedang mengalir.
- c) *Hold time* yaitu waktu dimana penekanan masih berjalan tetapi listrik tidak mengalir lagi.
- d) *Off time* yaitu waktu dimana elektroda lepas dari benda kerja (tidak ada arus maupun tekanan).

8. Lepasa benda kerja dari mesin las dan dipindahkan.

3.3.3 Pengujian Hasil Las

3.3.3.1 Pengujian Foto Mikro

Setelah dipilih titik kritis dan batas random maka pada tebal 3:0.5, 3:0.8, dan 3:1 dilakukan pengelasan ulang untuk ketebalan 3:0.5 menggunakan tegangan listrik 2.30V dengan waktu 2.5 detik sedangkan untuk ketebalan 3:0.8 dan 3:1 menggunakan tegangan listrik 2.67V dengan waktu 2.5 detik.

Pengujian foto mikro dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS*. Pada umumnya foto mikro dilakukan untuk membandingkan struktur mikro dari material uji sehingga didapatkan hasil yang diinginkan. Alat uji yang digunakan adalah alat uji foto mikro yang mempunyai perbesaran yang bisa diatur. Untuk melihat struktur mikro menggunakan mikroskop optik seperti yang terlihat pada gambar 3-5, sedangkan untuk struktur makro seperti yang terlihat pada gambar 3-6.



Gambar 3-5 Alat uji Foto Mikro



Gambar 3-6 Alat Uji Foto Makro

3.3.3.2 Pengujian kekerasan (*Vickers Microhardness*)

Pengujian kekerasan ini dilakukan bertujuan mengetahui nilai kekerasan dari material yang diuji setelah dilakukan proses pengelasan RSW. Dalam pengujian kekerasan ini terdapat tiga bagian yang akan dilakukan uji kekerasan yaitu daerah las, logam induk, *HAZ*. Alat uji kekerasan *Vickers microhardness* ditunjukkan pada gambar 3-7.



Gambar 3-7 Alat Uji Kekerasan *Vickers Microhardness*

Kekerasan material adalah kekuatan material menerima beban tekan/gores dari *penetrator* terhadap permukaan material yang digunakan dalam pengujian kekerasan adalah *Olympus Mikro Hardness Tester*. Metode pengujian kekerasan ini adalah menggunakan metode *vickers* dengan menggunakan *penetrator* piramida intan 136 derajat dengan beban 200gr pengujian dilakukan sebanyak 8 kali, pada material uji dengan dengan rincian pengujian pada tebal parameter. Material yang diuji terlebih dahulu di resin kemudian dihaluskan dan diratakan permukaan ujinya. Di bawah ini merupakan rumus untuk mencari harga *vickers Microhardness* :

$$VHN = \frac{1,855 \times p}{d^2} \dots \dots \dots (3-1)$$

Diketahui :

VHN = *Vickers Hardnes Number*

P = beban ($\frac{kg}{mm^2}$)

d^2 = diameter rata-rata (mm)

Tabel 3-6 Parameter Pengujian *Vickers*

Tebal	Jarak	Keterangan
Untuk tebal 3 mm, 1 mm, 0.8 mm, 0.5 mm	0,0	Jarak dihitung dari pusat las (<i>nugget</i>) berjalan kekiri
	0,5	
	1,0	
	1,5	
	2,0	
	2,5	
	3,0	
	3,5	

3.3.3.3 Pengujian Tarik/Geser

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan perubahan-perubahan dari suatu logam terhadap perbedaan tarik, alat yang digunakan dalam pengujian tarik seperti terlihat pada gambar 3-8. Pengujian ini biasanya digunakan untuk pengujian beban-beban statik. Beban tarik tersebut dimulai dari nol dan berhenti pada beban atau tegangan patah tarik (*ultimate strength*) dari benda uji. Benda uji yang telah dinormalisasikan ukurannya dipasang pada benda tarik kemudian diberi beban (gaya tarik) secara perlahan-lahan dimulai dari nol hingga maksimum. Setiap kali dibuat catatan mengenai perubahan pertambahan panjang dan gaya yang diberikan. Hasil catatan tersebut digambarkan dalam sebuah diagram tegangan regangan yang dirumuskan : tegangan sama dengan sama besarnya beban dibagi dengan luas penampang. Regangan sama dengan pertambahan panjang dibagi dengan panjang mula-mula. Persamaan dari pengujian tarik digunakan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots 3-2$$

Diketahui :

$$\sigma = \text{Tegangan } \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$F = \text{Gaya (N)}$$

$$A = \text{Luas penampang (m}^2\text{)}$$

Kemudian rumus yang digunakan untuk menghitung regangan pada spesimen yang telah diuji adalah :

$$= \frac{\Delta L_0}{L_0} \times 100 \% \dots \dots \dots 3-3$$

Diketahui :

$\square$ = Regangan (%)

ΔL_o = Pertambahan panjang (mm)

L_o = Panjang mula-mula (mm)



Gambar 3-6 Alat Uji Tarik-Geser

3.3.3.4 Pengujian Korosi

Pengujian korosi ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi suatu material dengan menggunakan air laut. Pada penelitian ini bahan yang akan diuji korosi adalah baja tahan karat jenis *JLS AUS* dengan bantuan air dan akuades dengan perbandingan 40% air laut dan 60 % akuades. Dan perlu diketahui laju korosi di air tawar sebesar 0,05 mm pertahun dan itu bisa turun hingga 0,01 mm per tahun, beda dengan air laut laju korosi berada dirata-rata 0,1mm per tahun hingga 0,15 mm per tahun. Untuk mengetahui laju korosi pertahun maka digunakan rumus (Jones, 1992) seperti dibawah ini.

$$N_{eq} = \sum \left(\frac{f_1 n_1}{a_1} \right) = \frac{f_1 n_1}{a_1} + \frac{f_2 n_2}{a_2} + \frac{f_3 n_3}{a_3} + \frac{f_4 n_4}{a_4} \dots 3-4$$

$$E_w = \frac{1}{N_{eq}} \dots 3-5$$

$$CR = 0.00327 \frac{I_{corr} \cdot E_w}{D} \dots 3-6$$

Diketahui :

N_{eq} = Number equivalent

f = jumlah persen unsur (%)

a = masa atom

n = valensi

E_w = Equivalen Weight (gr)

I_{corr} = Corrosion current density $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

D = densitas gr/cm^3

CR = laju korosi (mm per tahun)



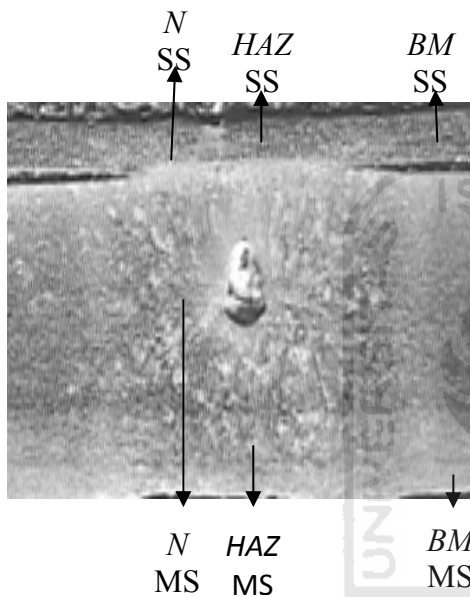
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

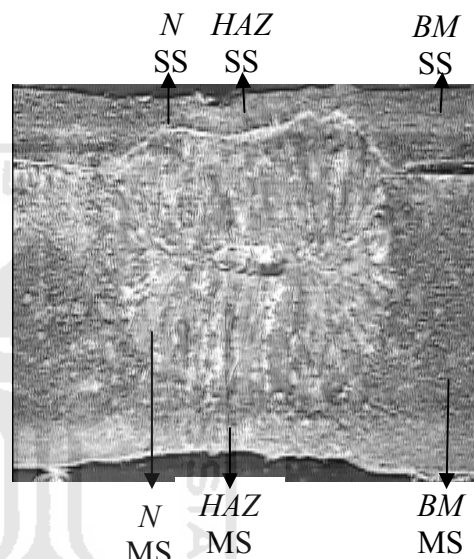
4.1 Pengamatan Foto Makro dan Mikro

4.1.1 Pengamatan Foto Makro

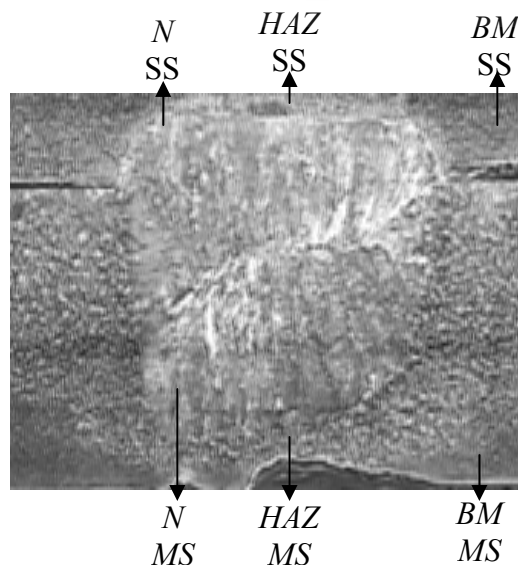
Gambar 4-1, 4-2, 4-3 dalah hasil dari pengamatan foto makro sambungan las RSW baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS*. Menggunakan parameter tegangan untuk MS:SS 3:0.5 menggunakan parameter tegangan 2.30V waktu las 2.5 detik, sedangkan MS:SS 3:0.8 dan 3:1 menggunakan parameter tegangan 2.67V dengan waktu las 2.5 detik.



Gambar 4-1 SS:MS 3:0.5



Gambar 4-2 SS:MS 3:0.8



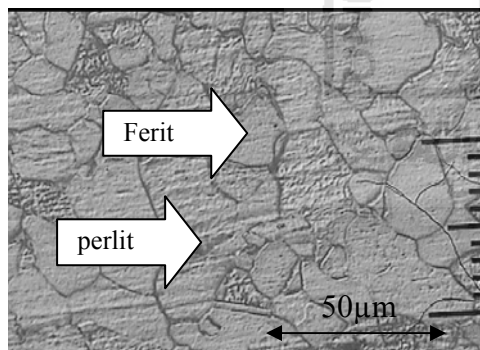
Gambar 4-3 SS:MS 3:1

Pada pengamatan foto makro hasil pengelasan RSW untuk material pada sambungan MS:SS tebal 3:0.5 *nugget* yang terbentuk simetri pada plat atas dan bawah, karena ada keseimbangan panas antara kedua plat yang disambung, sedangkan foto makro untuk material pada sambungan MS:SS tebal 3:0.8 dan 3:1 *nugget* yang terbentuk tidak simetris, karena tidak seimbangan panas karena perbedaan tebal material. *Nugget* akan cenderung terjadi pada plat yang lebih tebal, karena plat yang lebih tebal memiliki resistansi listrik yang lebih tinggi. Pada pengamatan foto makro untuk material uji baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS* setelah dilakukan pengelasan terbentuk metalurgi las baik untuk baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS* metalurgi las yang terbentuk sama. Metalurgi las yang terbentuk *Nugget (N)*, *Heat Affected Zone (HAZ)*, *Base Metal (BM)*

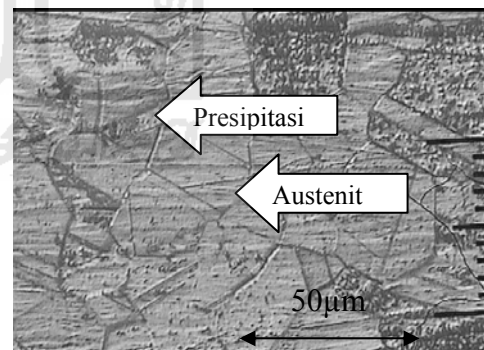
4.2 Pengamatan Foto Mikro

4.2.1 Pengamatan Foto Mikro Daerah Logam Induk

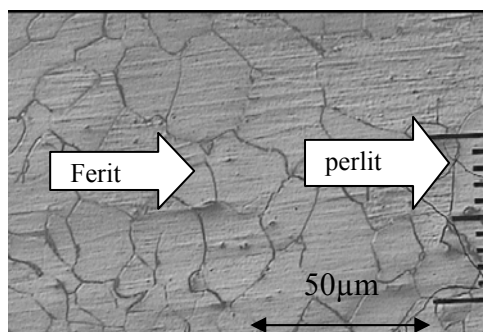
Dibawah ini merupakan gambar dari pengamatan foto mikro dari material uji baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS* perbandingan 3:0.5, 3:0.8, dan 3:1. Untuk gambar pengamatan foto mikro daerah logam induk dapat dilihat pada gambar 4-4, 4-5, 4-6, 4-7, 4-8, 4-9.



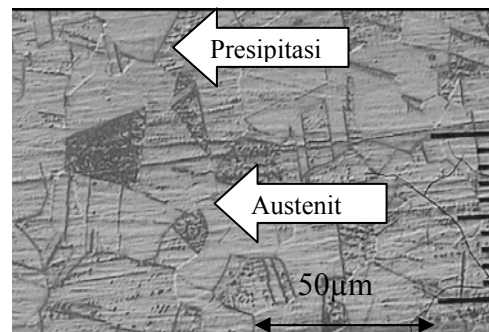
Gambar 4-4 MS 3 mm bawah



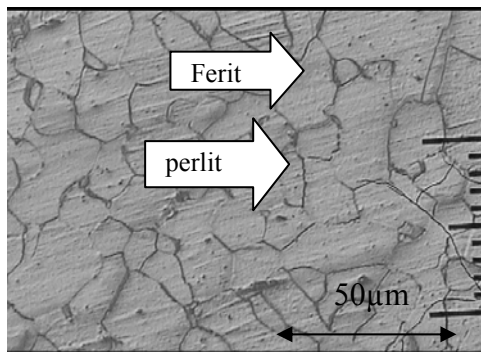
Gambar 4-5 SS 0.5 mm atas



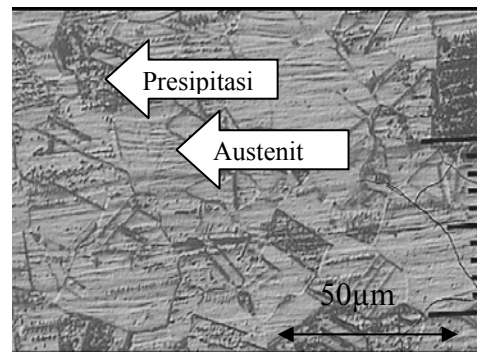
Gambar 4-6 MS 3 mm bawah



Gambar 4-7 SS 0.8 mm atas



Gambar 4-8 MS 3mm bawah

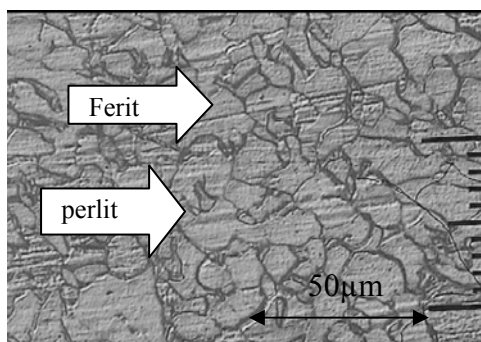


Gambar 4-9 SS 1mm atas

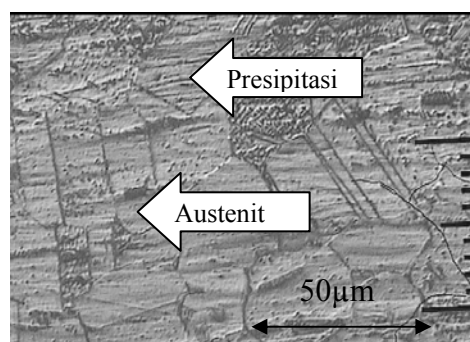
Struktur mikro logam induk pada tebal 3:0.5, 3:0.8, dan 3:1 setelah pengelasan pada baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS*, untuk baja karbon rendah terbentuk fasa *ferit* berwarna terang dan fasa *perlit* berwarna gelap. *Stainless steel JLS AUS* fasa yang terbentuk fasa *austenit* yang berwarna terang dan *presipitasi* yang berwarna gelap. *Presipitasi* ini merupakan butiran kecil yang masuk akibat proses pengelasan. Logam induk untuk baja karbon rendah dan *stainless steel* untuk masing-masing ketebalan mempunyai bentuk yang sama dan tidak mengalami perubahan bentuk butir yang signifikan. Hal ini disebabkan, karena pada saat pengelasan logam induk tidak terpengaruh panas pengelasan sehingga tidak merubah struktur asli material.

4.2.2 Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*)

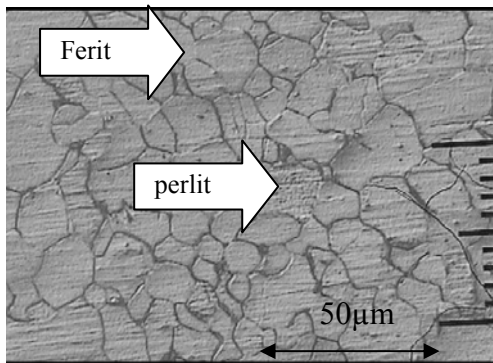
Dibawah ini merupakan gambar dari pengamatan foto mikro dari material uji baja karbon rendah SS400 dan *stainless steel JLS AUS* perbandingan 3:0.5, 3:0.8, dan 3:1. Untuk gambar pengamatan foto mikro daerah logam induk dapat dilihat pada gambar 4-4, 4-5, 4-6, 4-7, 4-9.



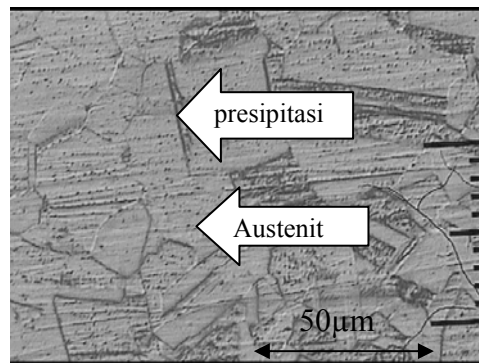
Gambar 4-10 MS 3 mm bawah



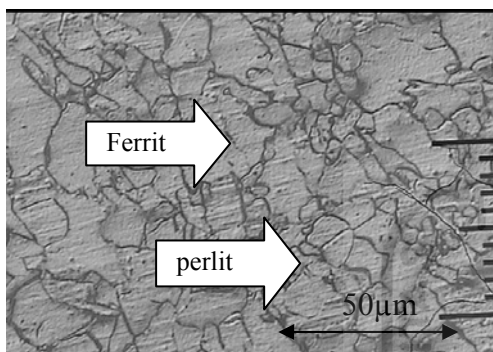
Gambar 4-11 SS 0.5mm atas



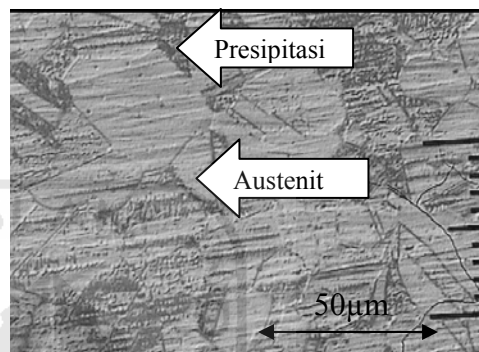
Gambar 4-12MS 3 mm bawah



Gambar 4-13 SS 0.8 mm atas



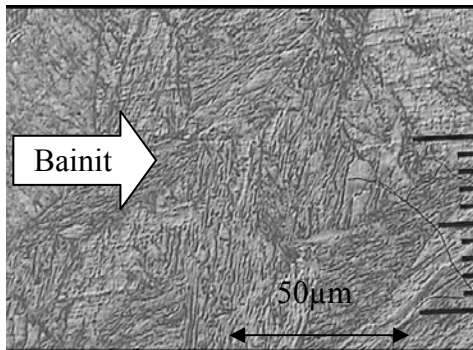
Gambar 4-14 MS 3 mm bawah



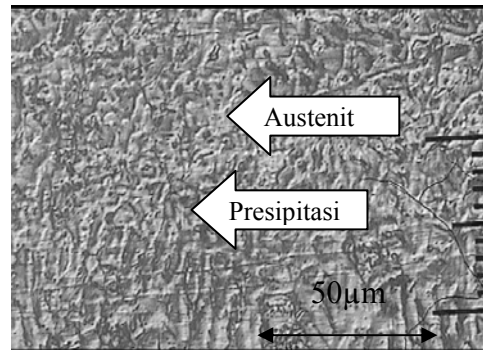
Gambar 4-15 SS 1 mm atas

Daerah *HAZ* (*Heat Affected Zone*) adalah logam induk yang terpengaruh panas dari pengelasan dan sedikit mengubah struktur mikro. Dari gambar 4-10, 4-12, 4-14 terlihat bahwa struktur mikro *HAZ* untuk baja karbon rendah berupa *ferit* berwarna terang dan *perlit* berwarna gelap, tetapi ukuran fasa *ferit* dan *perlit* daerah *HAZ* lebih kecil dibandingkan daerah logam induk. Dari gambar 4-11, 4-13, 4-15 terlihat bahwa struktur mikro *stainless steel JLS AUS* fasa yang terbentuk *austenit* berwarna terang dan *presipitasi* berwarna gelap, tetapi ukuran fasa *austenit* dan *presipitasi* pada daerah *HAZ* lebih kecil dibandingkan logam induk. Terbentuknya struktur ini disebabkan pendinginan yang relatif cepat. Perbedaan struktur mikro untuk ketebalan yang berbeda pada baja karbon rendah dan *stainless steel* tidak terlalu signifikan karena panas di daerah *HAZ* merata.

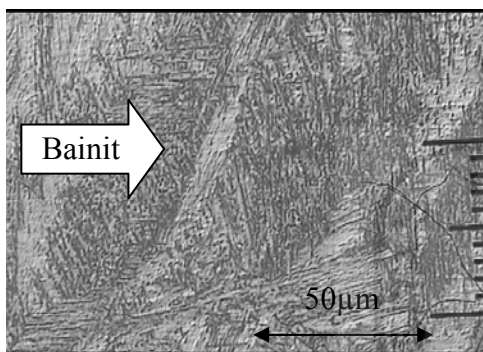
4.2.3 Daerah Las (Weld Nugget)



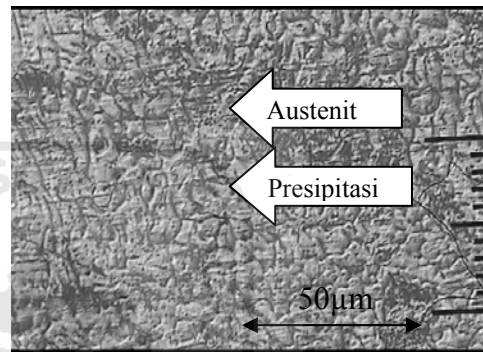
Gambar 4-16 MS 3 mm bawah



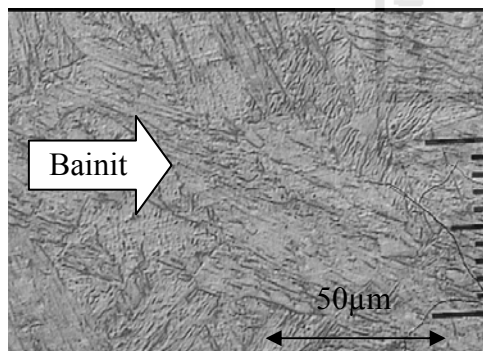
Gambar 4-17 SS 0.5 mm atas



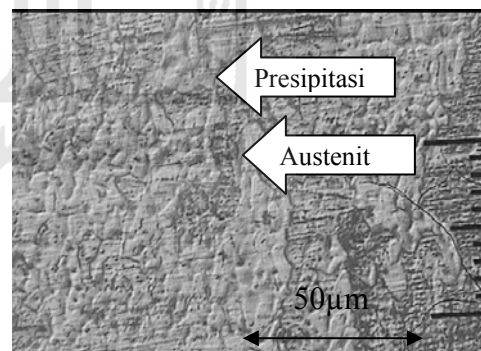
Gambar 4-18 MS 3 mm bawah



Gambar 4-19 SS 0.8 mm atas



Gambar 4-20 MS 3 mm bawah



Gambar 4-21 SS 1 mm atas

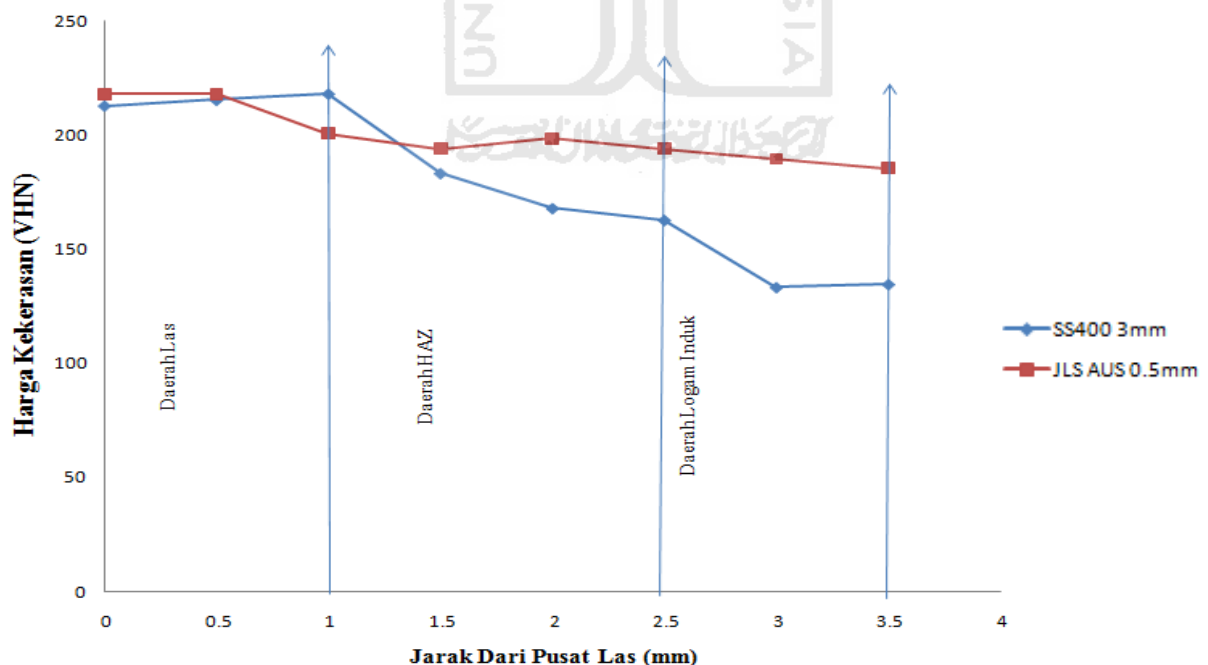
Pada pengujian struktur mikro daerah las pada baja karbon rendah mengalami perubahan fasa menjadi *bainit* tersusun dari *ferit* yang terbentuk bilah dan sementit (Fe_3C) yang mengendap pada batas butir. Struktur *bainit* mirip seperti jarum-jarum pendek/ butiran beras, sedikit didapatkan *ferit* dan *perlit* halus (warna hitam) dan didominasi oleh *bainit*. *Stainless steel* pada daerah las fasa yang terbentuk berupa *austenite* dan *presipitasi*, pada material ini tidak mengalami perubahan fasa, tetapi ukuran butir lebih rapat dibandingkan dengan logam induk dan *HAZ*. Hal Ini dikarenakan daerah las

mengalami panas yang berlebihan dan material telah mengalami titik cair akibat pengelasan sehingga merubah strukturnya dan butiran menjadi lebih rapat. Dari gambar 4-16 dan 4-17 terlihat ukuran butir lebih kecil dibandingkan dengan daerah las yang ditunjukkan pada gambar 4-18, 4-19, 4-20, 4-21. Dikarenakan untuk material yang tipis resistansi *thermal* mudah mengalir sehingga menyebabkan perubahan struktur dari material tersebut sehingga butir menjadi lebih kecil akibat pengaruh panas.

4.3 Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers*

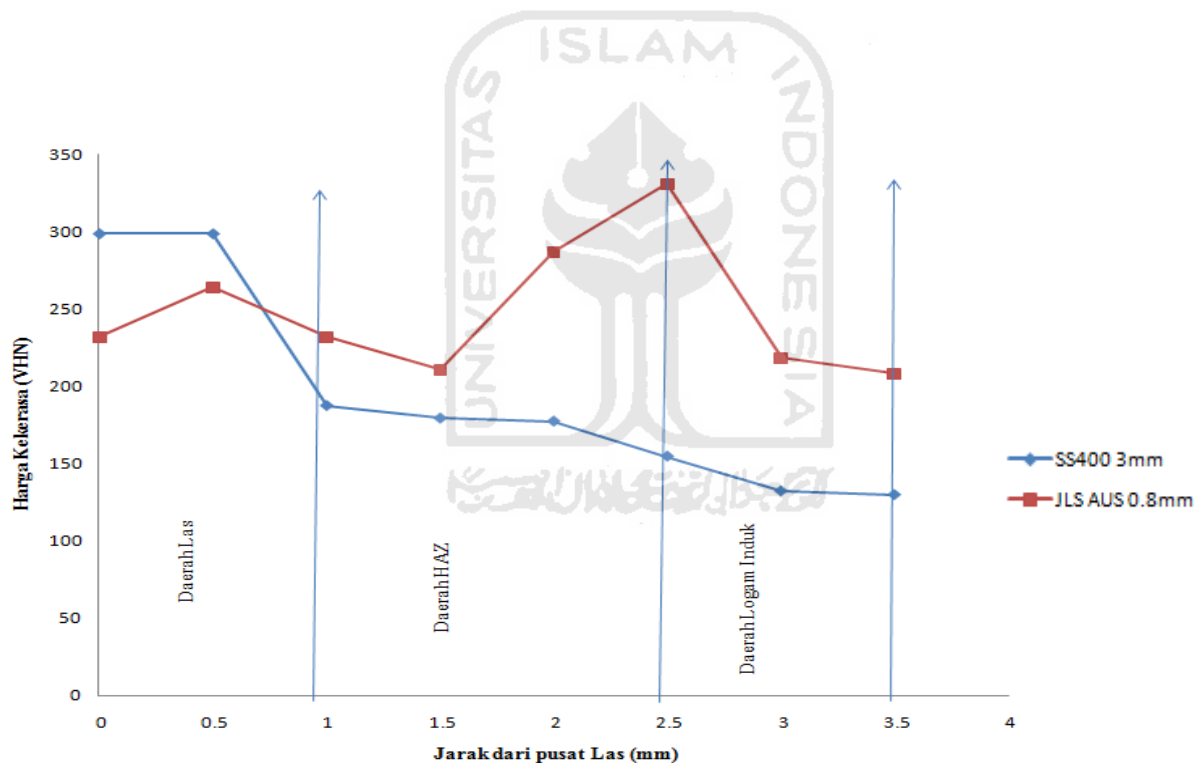
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Vickers Micro Hardness (VHN)*. Keuntungan pengujian dengan metode *Vickers* adalah bekas penekanan kecil, pengukuran teliti, dan *range* ukuran besar. Pengujian dilakukan untuk membandingkan nilai kekerasan pada logam induk, daerah *HAZ*, dan *nugget*. Angka kekerasan *vickers* ditunjukkan pada persamaan (3-1)

Prinsip dasar pengujian kekerasan dengan *VHN*, dari hasil penumbukan akan diperoleh satu bekas injakan penumbuk pada benda uji. Bekas Injakan ini kemudian diukur pada diagonal (d). Besar diagonal rata-rata dimasukkan ke persamaan, dan hasilnya akan diperoleh angka kekerasan *Vickers*.



Gambar 4-22 Grafik Nilai Kekerasan 3:0.5

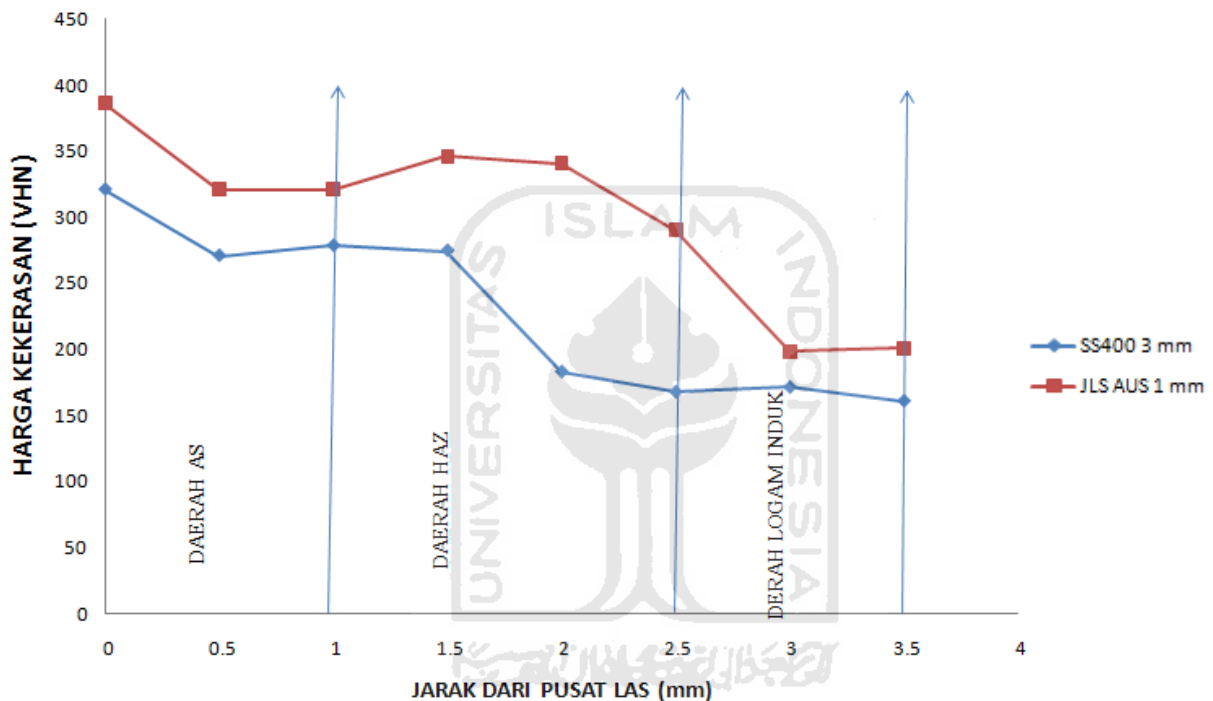
Dari gambar 4-22 dapat dilihat nilai rata-rata kekerasan VHN baja karbon rendah SS400 untuk ketebalan 3:0.5 pada posisi daerah las 215.37 kg/mm^2 , daerah HAZ 171.27 kg/mm^2 , logam induk 133.95 kg/mm^2 . Sedangkan pada *stainless steel JLS AUS* pada posisi daerah las 212.2 kg/mm^2 , daerah HAZ 197.13 kg/mm^2 , daerah logam induk 187.3 kg/mm^2 . Dilihat dari rata-rata nilai kekerasannya menunjukkan bahwa daerah logam induk nilai kekerasannya paling kecil dikarenakan pada daerah logam induk terletak jauh dari daerah pengelasan sehingga tidak banyak terpengaruh oleh panas dan bentuk struktur mikronya tetap sedangkan dibandingkan dengan daerah HAZ dan daerah las yang lebih banyak menerima panas sehingga struktur mikronya berubah akibat pengaruh panas dan letak butir-butir struktur mikronya lebih padat sehingga menyebabkan bagian tersebut lebih keras. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 1.



Gambar 4-23 Grafik Nilai Kekerasan 3:0.8

Dari gambar 4-23 dapat dilihat nilai rata-rata kekerasan VHN baja karbon rendah SS400 pada ketebalan 3:0.8 posisi daerah las 261.43 kg/mm^2 , daerah HAZ 170.27 kg/mm^2 , logam induk 130.8 kg/mm^2 . Sedangkan pada *stainless steel JLS AUS* pada posisi daerah las 234.38 kg/mm^2 , daerah HAZ 358.5 kg/mm^2 , daerah logam induk 213.3 kg/mm^2 . Dilihat dari rata-rata nilai kekerasannya menunjukkan bahwa daerah logam induk nilai kekerasannya

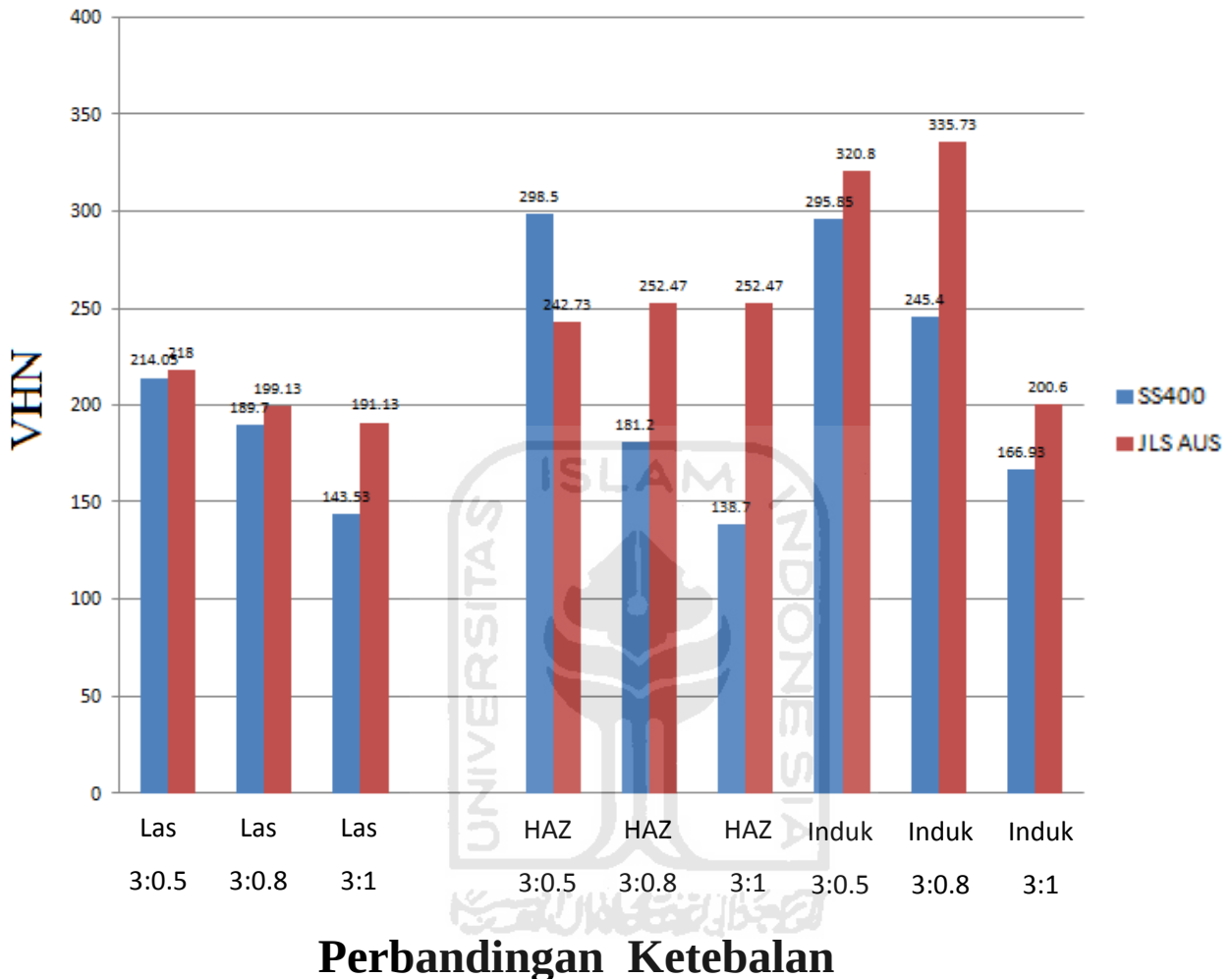
paling kecil dikarenakan pada daerah logam induk terletak jauh dari daerah pengelasan sehingga tidak banyak terpengaruh oleh panas dan bentuk struktur mikronya tetap sedangkan dibandingkan dengan dengan daerah *HAZ* dan daerah las yang lebih banyak menerima panas sehingga struktur mikronya berubah akibat pengaruh panas dan letak butir-butir struktur mikronya lebih padat sehingga menyebabkan bagian tersebut lebih keras. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 2.



Gambar 4-24 Grafik Nilai Kekerasan 3:1

Dari gambar 4-24 dapat dilihat nilai rata-rata kekerasan *VHN* baja karbon rendah SS400 pada ketebalan 3:1 posisi daerah las 290.03 kg/mm^2 , daerah *HAZ* 208.57 kg/mm^2 , logam induk 166.5 kg/mm^2 . Sedangkan pada *stainless steel JLS AUS* pada posisi daerah las 320.8 kg/mm^2 , daerah *HAZ* 325.53 kg/mm^2 , daerah logam induk 199.45 kg/mm^2 . Dilihat dari rata-rata nilai kekerasannya menunjukkan bahwa daerah logam induk nilai kekerasannya paling kecil dikarenakan pada daerah logam induk terletak jauh dari daerah pengelasan sehingga tidak banyak terpengaruh oleh panas dan bentuk struktur mikronya tetap sedangkan dibandingkan dengan dengan daerah *HAZ* dan daerah las yang lebih banyak menerima panas sehingga struktur mikronya berubah akibat pengaruh panas dan letak butir-butir struktur

mikronya lebih padat sehingga menyebabkan bagian tersebut lebih keras. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 3.



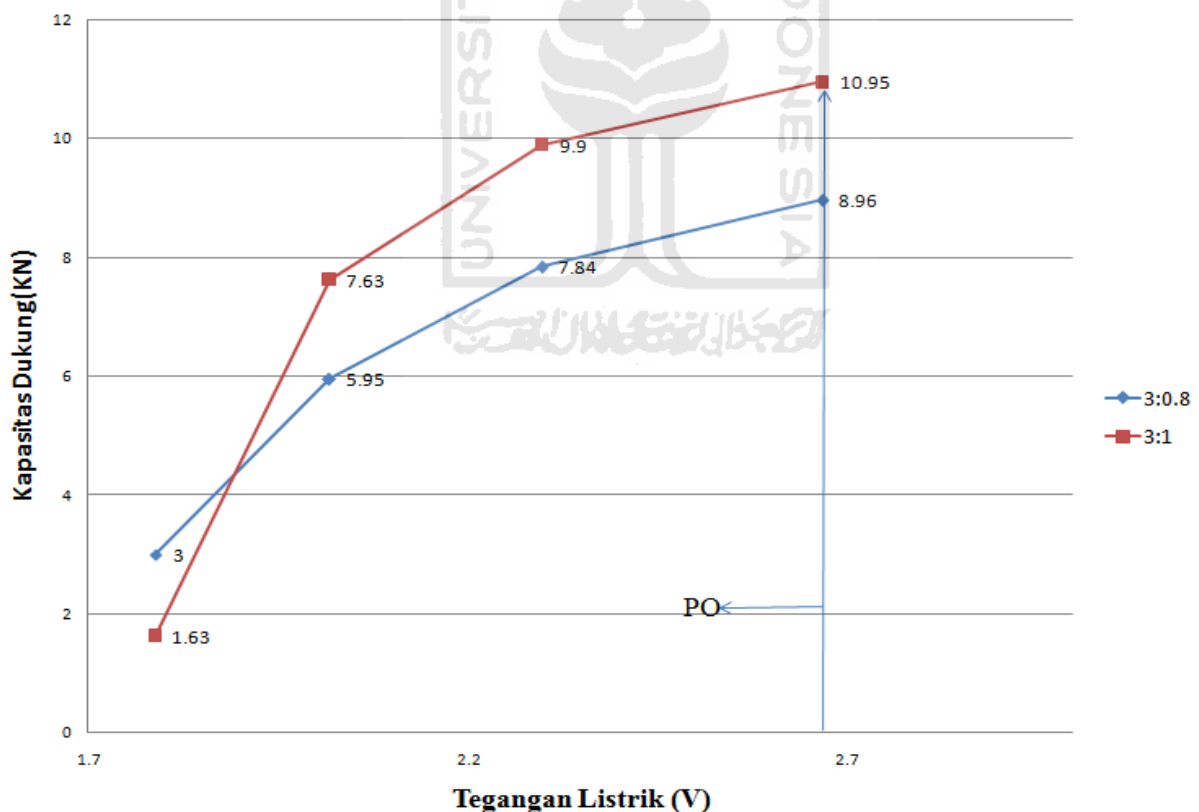
Gambar 4-25 kekerasan Rata-Rata *Vickers Hardnes Number*

Gambar 4-25 menunjukkan perbandingan nilai kekerasan rata-rata dari ketiga kondisi tebal tersebut secara umum terlihat bahwa ada peningkatan kekerasan didaerah *HAZ* dibandingkan dengan logam induk dan daerah nugget. *Nugget* mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh ukuran butir struktur mikro masing-masing-bagian yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya. *HAZ* memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan daripada logam induk, karena ukuran butir lebih kecil. *Nugget* memiliki kekerasan paling tinggi karena struktur yang terbentuk *bainit* untuk baja karbon rendah, sedangkan untuk *stainless steel* struktur yang terbentuk *austenit* dan.

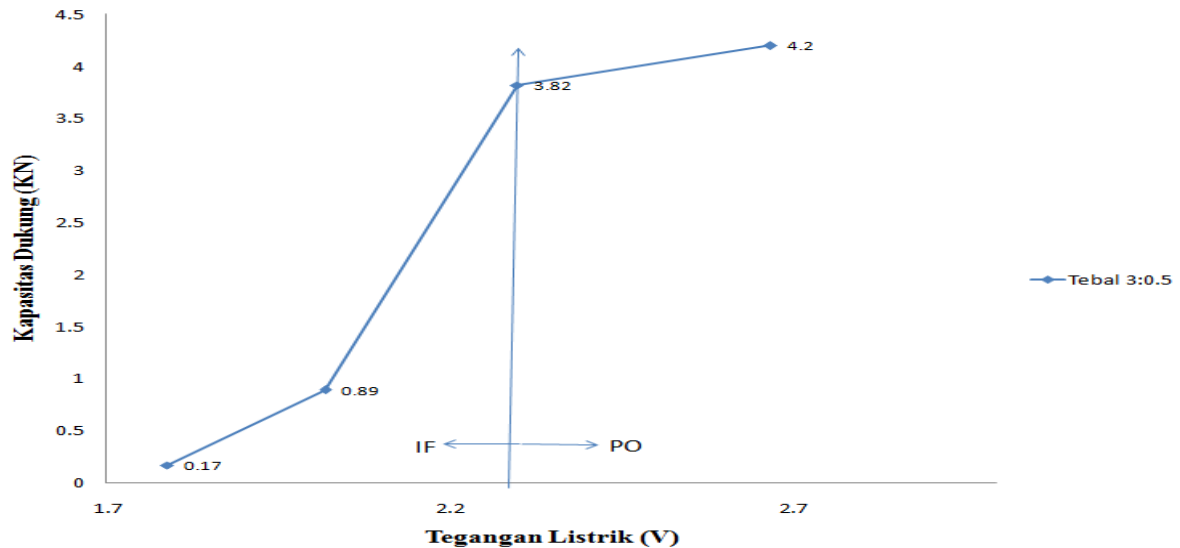
Untuk *Stainless steel* pada perbandingan 3:0.8 daerah *HAZ* memiliki kekerasan paling tinggi karena ada unsur karbon yang masuk kedalam daerah *HAZ* tersebut.

4.4 Hasil Pengujian Tarik-Geser (*Tension-Shear Tests*)

Pengujian tarik dilakukan setelah dilakukan pengelasan RSW (*Resistance Spot Welding*). Setiap Spesimen dengan ketebalan yang berbeda dilakukan 12 kali pengujian tarik. Pengelasan RSW dengan menggunakan variasi arus dan perbedaan tebal pada spesimen, arus yang digunakan pada ketebalan 3:05 yaitu: 1.79V, 2.02V, 2.30V, 2.67V. Kemudian ketebalan 3:0.8 yaitu: 1.79V, 2.02V, 2.30V, 2.67V. Kemudian ketebalan 3:1 yaitu: 1.79V, 2.02V, 2.30V, 2.67 V. Pada saat terjadi patahan pada spesimen dilakukan pengukuran terhadap diameter *nugget* menggunakan jangka sorong. Dan pada pengujian tarik terdapat dua jenis patahan yaitu IF (*interfacial feacture*) dan PO (*pullout fracture*). Pemilihan beban puncak dilakukan secara random antara IF (*interfacial fracture*) dan PO (*pullout fracture*).

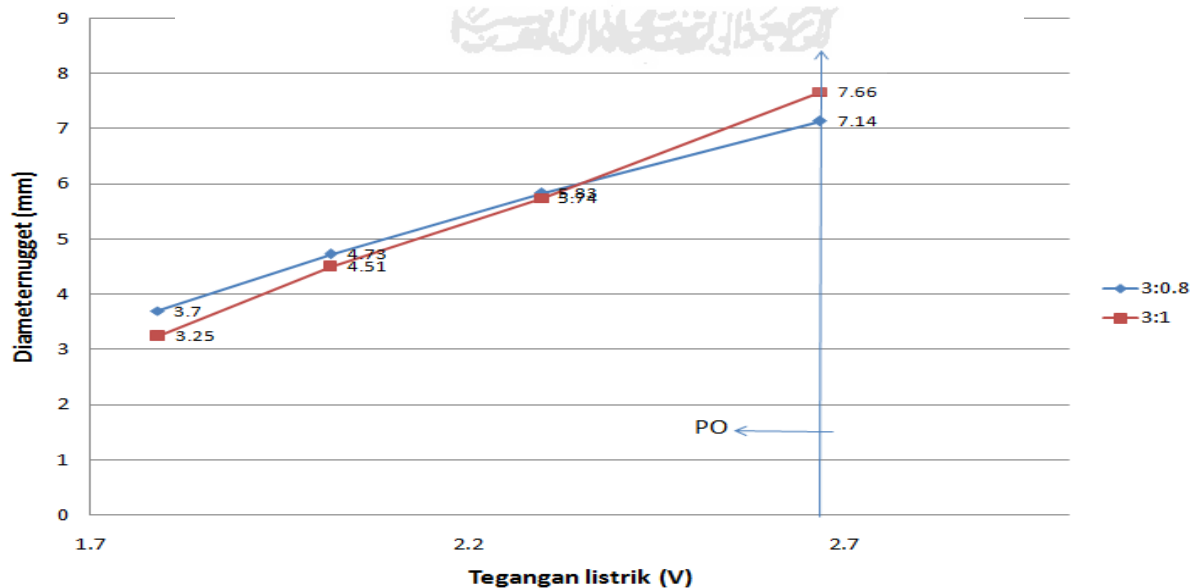


Gambar 4-26 Grafik perbandingan tegangan listrik dengan Kapasitas Dukung
(SS : MS / 3:1 dan 3:0.8)

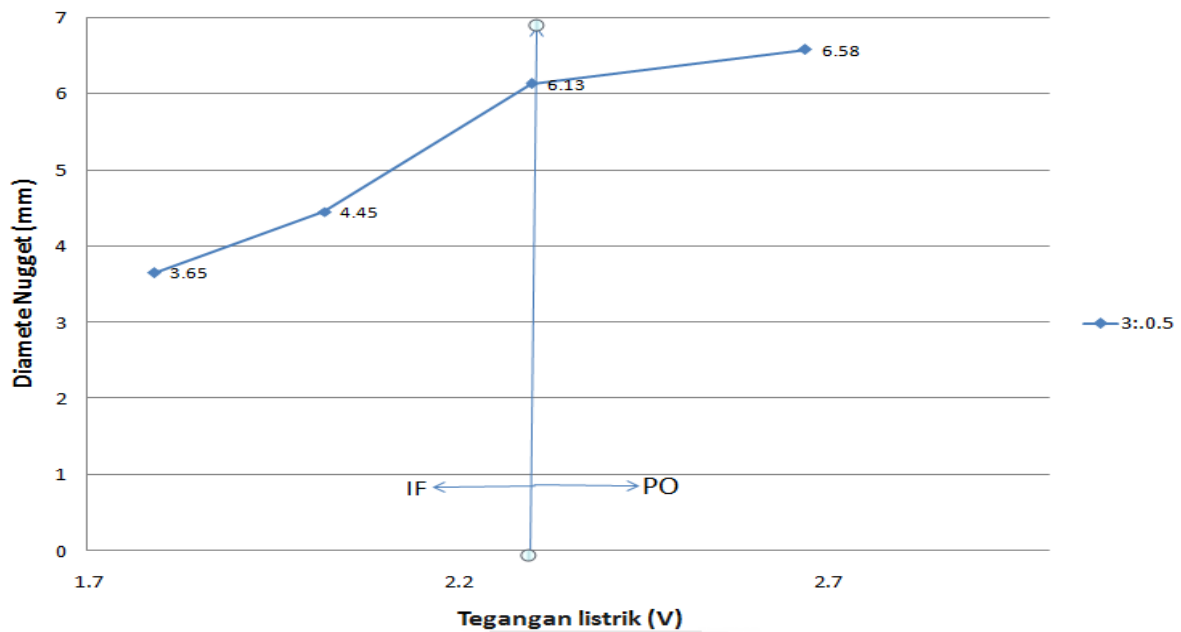


Gambar 4-27 Grafik perbandingan tegangan listrik dengan Kapasitas Dukung
(SS : MS 3:0.5)

Variasi arus dan ketebalan sangat berpengaruh pada besarnya kapasitas dukung yang terjadi. Pada gambar 4-26 dan 4-27 menunjukkan grafik perbandingan antara tegangan listrik dengan (*Volt*) dengan kapasitas dukung (KN). Dari grafik tersebut titik kritis pada tebal 3:0.5 pada tegangan 2.30 *V*, sedangkan untuk tebal 3:0.8 dan 3:1 pada tegangan 2.67*V*. Pada grafik diatas dapat dilihat perubahan kapasitas dukung (KN) pada masing-masing variasi tegangan. Data hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 4.

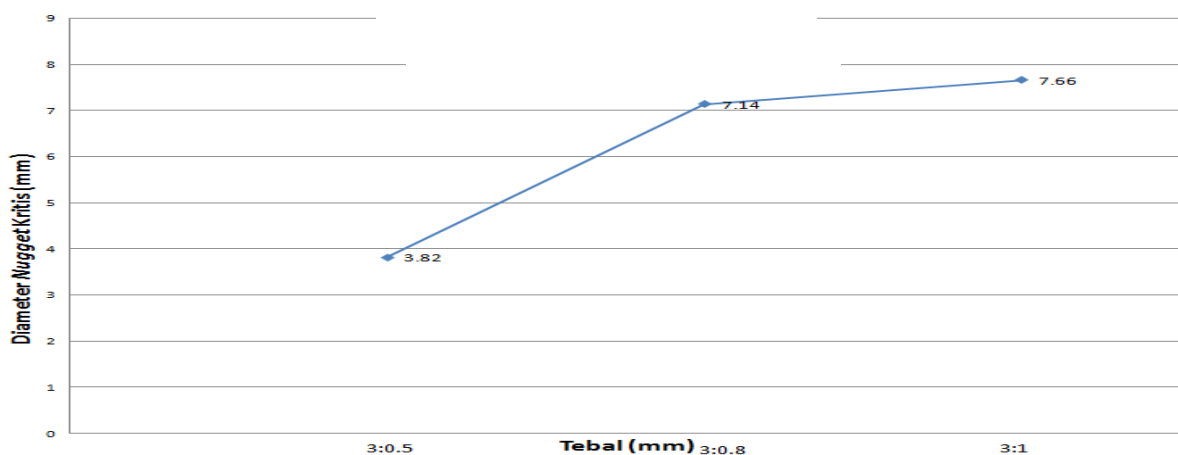


Gambar 4-28 Grafik Perbandingan Tegangan Listrik Dengan Diameter *Nugget*
(SS:MS/ 3:0.8 dan 3:1)



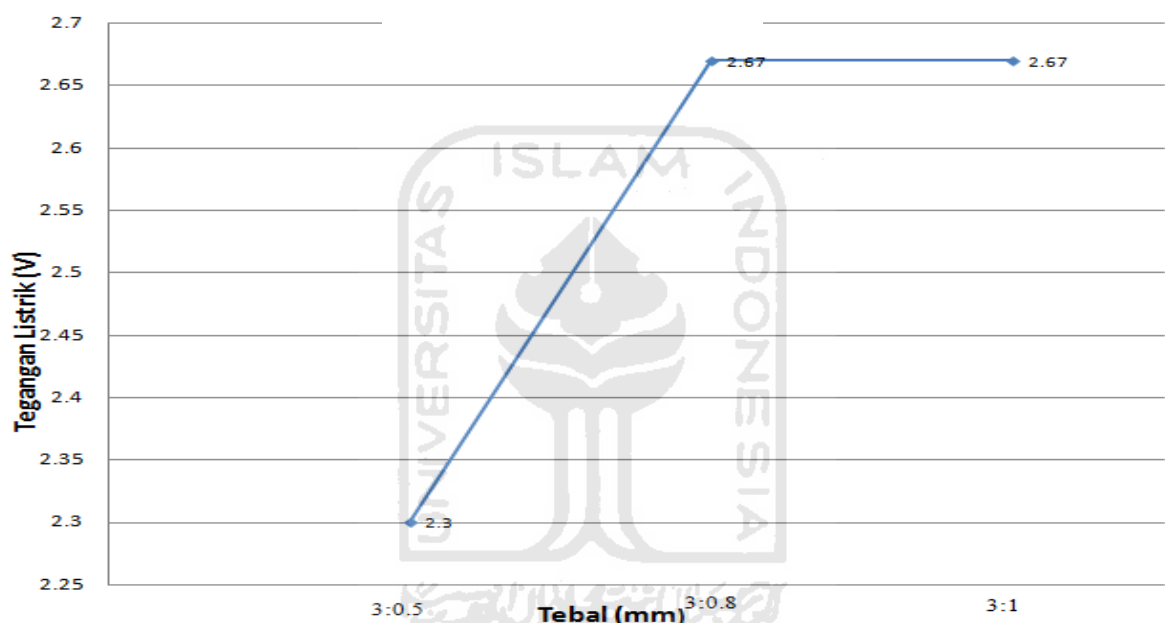
Gambar 4-29 Grafik Perbandingan Tegangan Listrik Dengan Diameter *Nugget* (SS:MS 3:0.5)

Pada gambar menunjukkan grafik perbandingan antar tegangan listrik (*volt*) dengan diameter *nugget* (mm). Pada gambar 4-8 grafik tersebut menunjukkan titik kritis pada tebal 3:0.5 berada pada tegangan 2.30V, sedangkan pada gambar 4-9 grafik menunjukkan titik kritis pada tebal 3:0.8 dan 3:1 berada pada tegangan 2.67V. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan listrik berbanding lurus dengan perbesaran *nugget*, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan listrik yang terjadi maka diameter *nugget* semakin besar. Data hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 5.



Gambar 4-30 Grafik Diameter *Nugget* Kritis

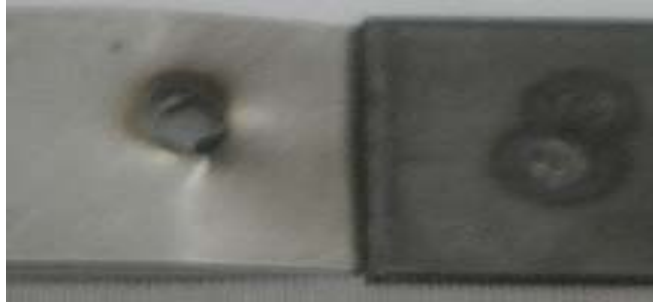
Dari gambar 4-30 grafik tersebut dapat dijelaskan diameter *nugget* terbesar pada tebal 3:1. Untuk tebal 3:0.8 nilai diameter kritis *nugget* menurun, sementara tebal 3:0.5 diameter *nugget* lebih kecil dari tebal 3:0.8 dan 3:1. Pada tebal 3:0.5 pengelasan menggunakan tegangan 2.30V dengan waktu 2.5 detik, sedangkan untuk tebal 3:0.8 dan 3:1 menggunakan tegangan listrik 2.67V dengan waktu 2.5 detik. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan listrik mempengaruhi pertumbuhan *nugget*, semakin besar tegangan listrik maka diameter *nugget* yang terbentuk semakin besar. Data hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 6.



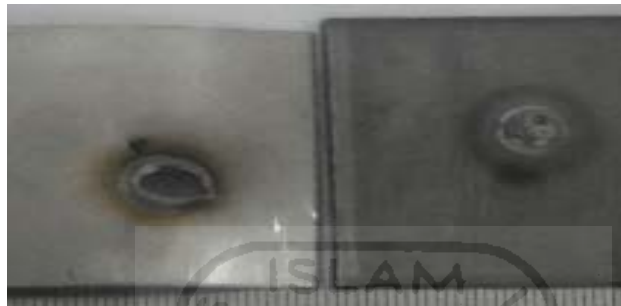
Gambar 4-31 Grafik Tegangan Listrik Kritis

Pada gambar 4-31 perbandingan tebal dengan tegangan listrik (*Volt*) kritis. Grafik tersebut menjelaskan untuk teba 3:0.5 digunakan tegangan listrik 2.30V, sedangkan untuk tebal 3:0.8 dan 3:1 menggunakan tegangan listrik 2.67V. Pada tegangan tersebut tebal 3:0.5, 3:0.8, 3:1 lebih kuat nilai gaya tariknya. Dari pemilihan tersebut tegangan yang dipilih pada pengelasan untuk pengujian foto mikro dan *Micro Vickers* adalah 2.30V dan 2.67V. Data hasilpengujian dapat dilihat pada lampiran 7.

Setelah dilakukan pengujian tarik-geser maka spesimen akan mengalami patahan. Patahan terdapat dua yaitu patahan IF (*Interfacial Fracture*) dan PF (*Pullout Fracture*).



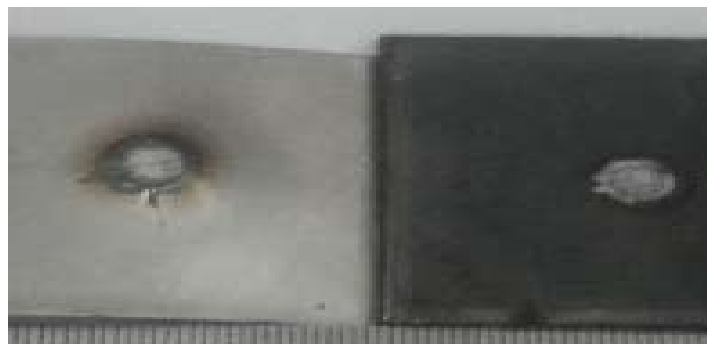
Gambar 4-31 patahan SS-MS 3:0.5 dengan tegangan listrik 2,30V (*pullout fracture*)



Gambar 4-32 patahan SS-MS 3:0.8 dengan tegangan listrik 2,67V (*pullout fracture*)



Gambar 4-33 patahan SS-MS 3:0.8 dengan tegangan listrik 2,67V (*pullout fracture*)



Gambar 4-34 patahan SS-MS 3:0.8 dengan tegangan listrik 2,67V (*interfacial fracture*)

4.3.1 Pengujian Korosi

Pada pengujian material sebelumnya dilakukan proses pengelasan menggunakan las *Resistance Spot Welding* antara baja karbon rendah SS400 dengan *stainless steel JLS AUS* dengan perbandingan ketebalan 3:0.5 dan tegangan listrik 2.30V, 3:0.8 dengan tegangan listrik 2.67V, 3:1 dengan tegangan listrik 2.67V. Sebelum dilakukan pengujian maka material dipotong dengan diameter 14 mm untuk memudahkan dalam pengujian. Pengujian ini menggunakan air laut dan akuades penetralan 5 kali. Dengan perbandingan antara air laut dan akuades 40:60. Dan pada pengujian ini yang diuji pada material *stainless steel JLS AUS*. Dalam pengujian korosi ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi material *stainless steel JLS AUS* per tahun sehingga material tersebut dapat diketahui laju korosinya. Untuk mengetahui laju korosi per tahun maka menggunakan rumus (Jones, 1992). Dibawah ini merupakan perhitungan laju korosi pertahun material *stainless steel JLS AUS*.

Diketahui :

Fe =72.5%	$n_1 =2$	$a_1 = 55.647$	$D=7.8 \text{ gr/cm}^2$
Cr = 16.2%	$n_2=2$	$a_2 = 51.996$	
Ni =4.1%	$n_3=2$	$a_3 = 58$	
Mn = 7.20%	$n_4 = 2$	$a_4 = 54.938$	

$I_{corr3:0.5}=140.19 \mu A/cm^2$ dari hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 15

$I_{corr3:0.8}=153.57 \mu A/cm^2$ dari hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 15

$I_{corr3:1}=158.28 \mu A/cm^2$ dari hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 15

$I_{corr \text{ raw material}}=143.10 \mu A/cm^2$ dari hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 15

$$N_{eq} = \sum \left(\frac{f_{1n_1}}{a_1} \right) = \frac{f_{1n_1}}{a_1} + \frac{f_{2n_2}}{a_2} + \frac{f_{3n_3}}{a_3} + \frac{f_{4n_4}}{a_4}$$

$$N_{eq} = \sum \left(\frac{f_{1n_1}}{a_1} \right) = \frac{72.5 \times 2}{55.647} + \frac{16.2 \times 2}{51.996} + \frac{4.1 \times 2}{58.71} + \frac{7.20 \times 2}{54.938}$$

$$= (2.61+0.62+0.14+0.26)\%$$

$$= 3.63\%=0.0363$$

$$E_w = \frac{1}{N_{eq}} = \frac{1}{0.0363}$$

$$= 27.55$$

$$CR_{3:0.5} = 0.00327 \frac{I_{corr} \cdot E_w}{D}$$

$$= 0.00327 \frac{140.19 \times 27.55}{7.8}$$

$$= 1.62 \text{ mmpy}$$

$$CR_{3:0.8} = 0.00327 \frac{I_{corr} \cdot E_w}{D}$$

$$= 0.00327 \frac{153.57 \times 27.55}{7.8}$$

$$= 1.78 \text{ mmpy}$$

$$CR_{3:1} = 0.00327 \frac{I_{corr} \cdot E_w}{D}$$

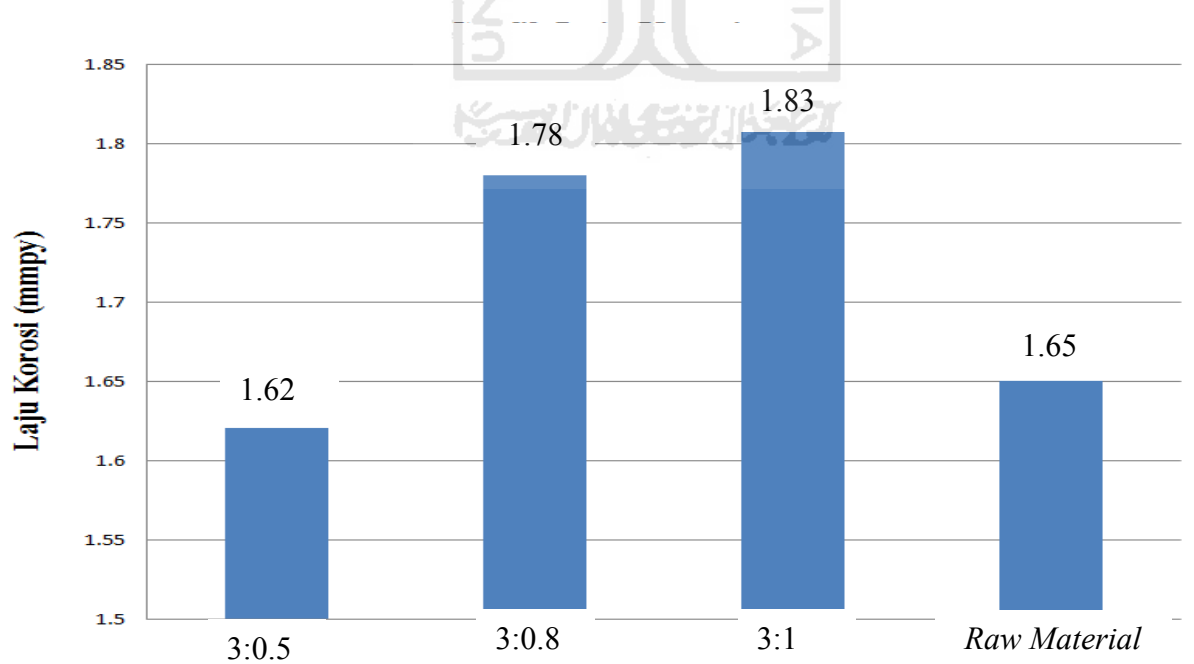
$$= 0.00327 \frac{158.28 \times 27.55}{7.8}$$

$$= 1.83 \text{ mmpy}$$

$$CR_{raw \text{ material}} = 0.00327 \frac{I_{corr} \cdot E_w}{D}$$

$$= 0.00327 \frac{143.1 \times 27.55}{7.8}$$

$$= 1.65 \text{ mmpy}$$



Perbandingan Tebal

Gambar 4-35 Grafik laju korosi

Hasil uji korosi pada logam induk material *stainless steel JLS AUS* dapat dilihat pada gambar 4-35 menunjukkan bahwa laju korosi logam induk pada tebal material 3:1 mm memiliki laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam induk dengan ketebalan material 3:0.5, 3:0.8, dan *raw material*, sehingga ketebalan material dan tegangan listrik pengelasan berbanding lurus dengan laju korosi, semakin tebal material dan besar tegangan listrik maka laju korosi semakin cepat. Material setelah dilakukan pengelasan RSW dan pendinginan lambat dari temperatur tinggi antara $500^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$ mengalami perubahan struktur mikro, terbentuk *presipitasi* karbida krom pada batas butirnya. *Presipitasi* karbida krom menyebabkan batas butir kekekuran krom sehingga sifat tahan korosi dapat berkurang. Laju korosi suatu material dipengaruhi oleh bahan pengkorosif yang bereaksi dengan material tersebut. Pada dasarnya material akan mengalami korosi bila bereaksi dengan dengan air H_2O dan Udara O_2 . Dilihat dari struktur mikro terlihat untuk material dengan ketebalan 3:1 butiran-butiran halus yang masuk dalam material semakin banyak disebabkan tegangan pengelasan lebih besar sehingga mempercepat laju korosi, untuk material yang memiliki ketebalan 3:0.5, 3:0.8, dan *raw material* butir-butir halus yang masuk tidak sebanyak dengan material dengan ketebalan 3:1 disebabkan tegangan pengelasan kecil sehingga laju korosi lambat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada pengelasan RSW dan dilakukan beberapa pengujian, yaitu pengujian tarik-geser, pengujian kekerasan *Vickers*, pengujian foto mikro, pengujian korosi maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tegangan listrik sekunder dan ketebalan plat mempengaruhi karakteristik sambungan las titik yang berupa kapasitas dukung dari material, nilai kekerasan, struktur mikro yang terbentuk pada baja karbon rendah dan laju korosi yang terjadi pada *stainless steel*. Perbedaan tersebut dapat dilihat dari hasil pengujian yang telah dilakukan sebagai berikut:
 - a. Struktur mikro untuk baja karbon rendah SS400 daerah logam induk dan *HAZ* terbentuk struktur *ferit* dan *perlit*, sedangkan daerah las terbentuk struktur *bainit*. *Stainless steel* JLS AUS logam induk, *HAZ* dan las terbentuk struktur *austenite* dan *presipitasi*.
 - b. Daerah las memiliki kekerasan paling tinggi dibanding dengan daerah *HAZ* dan logam induk. Nilai kekerasan ini dipengaruhi oleh struktur mikro yang terjadi, semakin kecil ukuran butir maka semakin tinggi nilai kekerasannya.
 - c. Didapatkan nilai gaya tarik (kN), serta patahan PO dan IF pada daerah *nugget* dari uji tarik. Hasil tersebut menentukan diameter kritis, dan batas random pada patahan PO dan IF tegangan listrik kritis.
 - d. Tegangan listrik dan ketebalan material mempengaruhi laju korosi, semakin besar tegangan listrik dan tebal material maka laju korosi semakin cepat. Dapat dibuktikan dengan melakukan uji korosi material dengan tebal 3:0.5 dengan tegangan listrik sekunder 2.30 V, tebal 3:0.8 dan 3:1 dengan tegangan listrik sekunder 2.67V, dan *raw material* tebal 3:1. Pengujian dilakukan dengan metode elektrokimia dan menggunakan media akuades dan air laut dengan perbandingan 60:40.
2. Tegangan listrik sekunder dan ketebalan plat mempengaruhi mode patahan sambungan las titik antara baja karbon rendah dan *stainless steel*. Ketebalan plat yang berbeda yang menyebabkan tegangan listrik sekunder yang optimal berbeda untuk masing-masing ketebalan. Untuk MS:SS 3:0.5 mm tegangan listrik optimum pada 2.30V, sedangkan untuk MS:SS 3:0.8 dan 3:1 tegangan listrik optimum pada 2.67V.

5.2 Saran

Melihat dari hasil penelitian yang telah penulis lakukan, masih perlu dilakukan perbaikan dan pengembangan terutama dalam pengelasan RSW diantaranya adalah :

- a. Mesin las yang digunakan sebaiknya mengikuti standart *AWS*, karena mesin las yang digunakan mempengaruhi hasil pengelasan yang akan berpengaruh juga pada hasil pengujian
- b. Pengelasan *RSW* sebaiknya dilakukan pada orang yang sudah professional sehingga hasil pengelasannya baik.
- c. Perlu dilakukan penelitian pengelasan *RSW* untuk material 4 mm, sebagai pembanding untuk penelitian ini.





DAFTAR PUSTAKA

Airmengalir. Jenis-jenis Las. Available online at. [www.airmengalir.blogspot.com/jenis las](http://www.airmengalir.blogspot.com/jenis_las), diakses Februari 2011.

American Metallurgical. *Welding Procedures Techniques*. available online at <http://www.weldingengineer.com>, diakses April 2011.

Anis, dkk (2009) *Study Lapisan Intermetalik Cu_3Sn Pada Ujung Elektroda Pada Pengelasan Titik Baja Galvanis*. Jurnal vol-13, 91-95.

Badheka, dkk (2009), *Resistance Spot Welding Of Martensitic Stainless Steel (SS420)*. Jurnal Vol-04, 328-340.

Cho, dkk (2003), *Experimental Study of Nugget Formation in Resistance Spot Welding*. *Welding Journal*, 95s-201s.

Kenyon, W., 1985. *Dasar-Dasar Pengelasan*. Erlangga, Jakarta.

Laboratorium Bahan Teknik. 2009. D3 Teknik Mesin. Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

Pouranvari (2011), *Effect Of welding Parameters On The Peak Load and Energy Absorption Of Low_Carbon Steel Resistance Spot Welds*. Tidak diterbitkan. Islamic Azad University.

Pouranvari , dkk (2008), *Failure Behaviour of Resistance Spot Welded Low Carbon Steel in Tensile-Shear and Coach-Peel Metal*. Tidak diterbitkan. Islamic Azad University.

Shamsul, dkk (2009), *The Influence Of Welding Parameters And Corrosive Enviroment On The The Joins Stregth Of Resistance Spot-Welded Mild Steel Sheets*. Jurnal Vol-4. 208-2010.

Suharto, 1991. *Teknologi Pengelasan Logam*. Rineka Cipta, Jakarta.

Sunari.2007. *Teknik pengelasan logam*. Ganesa Exact, Jakarta.

Tumuluru, M (2007), *Predicting Resistance Spot Weld Failure Modes in Shear Tension Tests of Advanced High-Strength Automotive Steels*. *Welding Journal* vol-87, 96s-105s.

Wiryosumarto, H., & Okumura, T., 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita, Jakarta.

Widharto, S. 2008. *Petunjuk Kerja Las*. Pradnya Paramita, Jakarta.



LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

Nilai Kekerasan *Micro Vickers* MS:SS 3:0.5

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	d (rata-rata) (μm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-Rata kg/mm^2
1	MS 3 mm	0.0	42	41.5	41.75	212.8	215.37
2		0.5	41.5	41.5	41.50	215.3	
3		1.0	41.0	41.5	41.25	218.0	
4		1.5	45.0	45.0	45.00	183.2	171.27
5		2.0	47.0	47.0	47.00	167.9	
6		2.5	48.0	47.5	47.75	162.7	
7		3.0	52.0	53.5	52.75	133.3	133.95
8		3.5	43.0	52.0	52.50	134.6	
9	SS 0.5 mm	0.0	41.0	41.5	41.25	218.0	212.2
10		0.5	41.0	41.5	41.25	218.0	
11		1.0	43.0	43.0	43.00	200.6	
12		1.5	44.0	43.5	43.75	198.8	197.13
13		2.0	43.0	43.5	43.25	198.3	
14		2.5	43.5	44.0	43.75	193.8	
15		3.0	44.5	44.0	44.25	189.4	187.3
16		3.5	44.5	45.0	44.75	185.2	

LAMPIRAN 2

Nilai Kekerasan *Micro Vickers* MS:SS 3:0.8

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	d (rata-rata) (μm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-Rata kg/mm^2
1	MS 3 mm	0.0	35.5	35.0	35.25	298.5	261.43
2		0.5	35.5	35.25	35.25	298.5	
3		1.0	44.0	45.0	44.50	187.3	
4		1.5	45.0	46.0	45.50	179.1	170.27
5		2.0	46.0	45.5	45.75	177.2	
6		2.5	47.0	51.0	49.00	154.5	
7		3.0	54.0	52.0	53.00	132.0	130.8
8		3.5	54.0	53.0	53.50	129.6	
9	SS 0.8 mm	0.0	40.0	40.0	40.0	231.8	234.38
10		0.5	37.5	37.5	37.5	263.7	
11		1.0	40.0	40.0	40.0	231.8	
12		1.5	42.0	42.0	42.0	210.2	
13		2.0	36.0	36.0	36.0	386.2	358.5
14		2.5	33.5	33.5	33.50	330.8	
15		3.0	41.5	42.0	41.75	218.8	213.3
16		3.5	42.5	42.0	42.25	207.8	

LAMPIRAN 3

MS:SS 3:1

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	d (rata- rata) (μm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-Rata kg/mm^2
1	MS 3 mm	0.0	34.0	34.0	34.0	320.8	290.03
2		0.5	38.0	36.0	37.0	270.9	
3		1.0	37.0	36.0	36.50	278.4	
4		1.5	37.5	36.0	36.75	274.6	208.57
5		2.0	45.0	45.0	45.00	183.2	
6		2.5	47.0	47.0	47.0	167.9	
7		3.0	46.0	47.0	46.5	171.5	166.5
8		3.5	48.0	48.0	48.0	161.5	
9	SS 1 mm	0.0	34.0	34.0	34.0	320.8	320.8
10		0.5	34.0	34.0	34.0	320.8	
11		1.0	34.0	34.0	34.00	320.8	
12		1.5	33.0	32.5	32.75	345.8	325.53
13		2.0	33.0	33.0	33.00	340.6	
14		2.5	36.5	35.0	35.75	290.2	
15		3.0	43.5	43.0	43.25	198.3	199.45
16		3.5	43.0	43.0	43.00	200.6	

LAMPIRAN 4

Hasil pengujian tarik

No	Material	Tebal	Teg Listrik (v)	Replikasi Ke	P Maks (kN)	Rata-rata P maks	Nugget rata-rata	Rata-rata nugget (mm)	Jenis Patah
1	SS : SS	3:0.5	1,79 V	1	0	0,17	4,27	3,65	IF
2				2	0		2,98		IF
3				3	0.496		3,68		IF
4	SS : SS	3:0.5	2.02 V	1	1,490	0,89	4,63	4,45	IF
5				2	1,178		4,45		IF
6				3	0		4,26		IF
7	SS : SS	3:0.5	2,30 V	1	4,002	3,82	7,25	4,16	PO
8				2	3,452		5,23		IF
9				3	4,003		0		PO
10	SS : SS	3:0.5	2,67 V	1	4,372	4,2	0	4,53	PO
11				2	4,240		6,9		PO
12				3	3,975		6,7		PO
13	SS : SS	3:0.8	1,79 V	1	0	3	3,81	3,7	IF
14				2	3,058		3,96		IF
15				3	2,938		3,33		IF
16	SS : SS	3:0.8	2,02 V	1	5,649	5,95	4,65	4,73	IF
17				2	5,998		4,9		IF
18				3	6,19		4,63		IF
19	SS : SS	3:0.3	2,30 V	1	7,577	7,84	5,62	5,83	IF
20				2	7,957		5,73		IF
21				3	7,991		6,13		IF
22	SS : SS	3:0.8	2,67 V	1	8,799	8,96	7,38	7,14	PO
23				2	9,125		7,23		PO
24				3	8,941		6,80		IF
25	SS : SS	3 : 1	1,79	1	2,634	1,63	3,45	3,25	IF
26				2	2,254		3,01		IF
27				3	0		3,3		IF
28	SS : SS	3 : 1	2,02	1	7,808	7,63	5,08	4,51	IF
29				2	8,167		4,05		IF
30				3	6,921		4,4		IF
31	SS : SS	3 : 1	2,30	1	10,418	9,9	5,7	5,74	IF
32				2	10,089		5,38		IF
33				3	9,179		6,15		IF
34	SS : SS	3 : 1	2,67	1	11,430	10,95	7,54	7,66	PO
35				2	11,199		7,35		PO
36				3	10,211		8,09		PO

LAMPIRAN 5

Hasil P maks pada titik kritis SS-MS

No	Material	Tebal (mm)	Teg Listrik (v)	Replika ke	P maks (KN)	Rata2 P maks (KN)
1	MS:SS	3:0.5	2.30	1	4.002	4.16
2		3:0.8		2	3.452	
3		3:1		3	4.003	
4	MS:SS	3:0.5	2.67	1	8.779	7.14
5		3:0.8		2	9.125	
6		3:1		3	8.941	
7	MS:SS	3:0.5	10.95	1	7.54	7.66
8		3:0.8		2	7.35	
9		3:1		3	8.09	



LAMPIRAN 6.

Hasil *nugget* pada titik kritis SS-MS

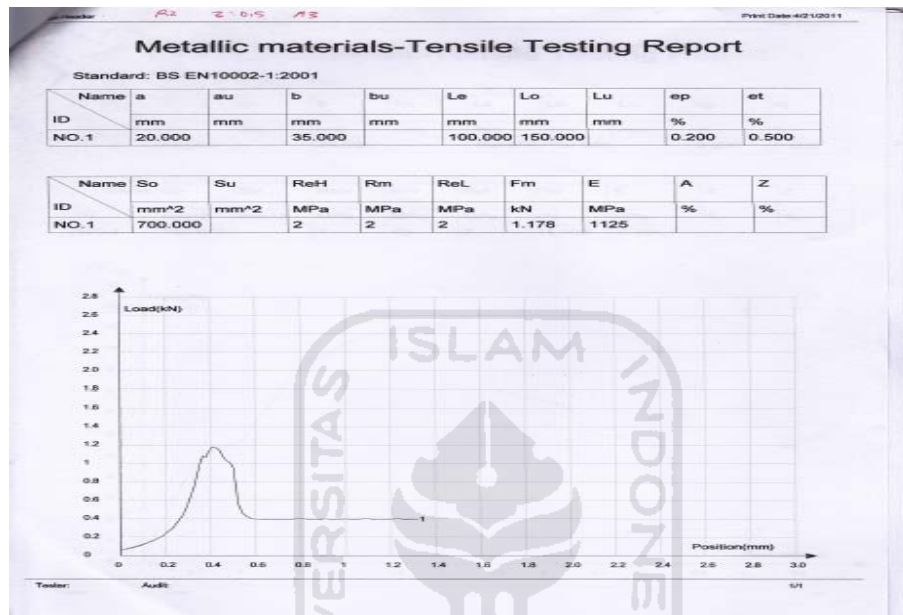
No	Material	Tebal (mm)	Teg Listrik (v)	Replika ke	Nugget Rata2 (mm)	Rata2 Nugget (mm)
1	MS:SS	3:0.5	2.30	1	7.25	6.13
2		3:0.8		2	5.23	
3		3:1		3	5.9	
4	MS:SS	3:0.5	2.67	1	7.38	7.14
5		3:0.8		2	7.23	
6		3:1		3	6.80	
7	MS:SS	3:0.5	2.67	1	7.54	7.66
8		3:0.8		2	7.35	
9		3:1		3	8.09	



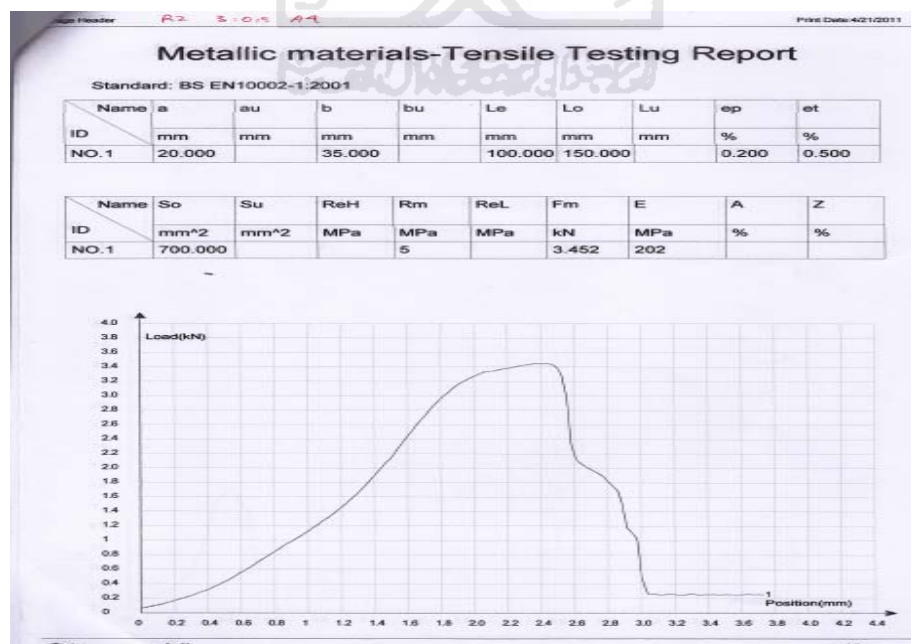
LAMPIRAN 7

Grafik Uji Tarik

- MS:SS 3:0.5 (2.02V)



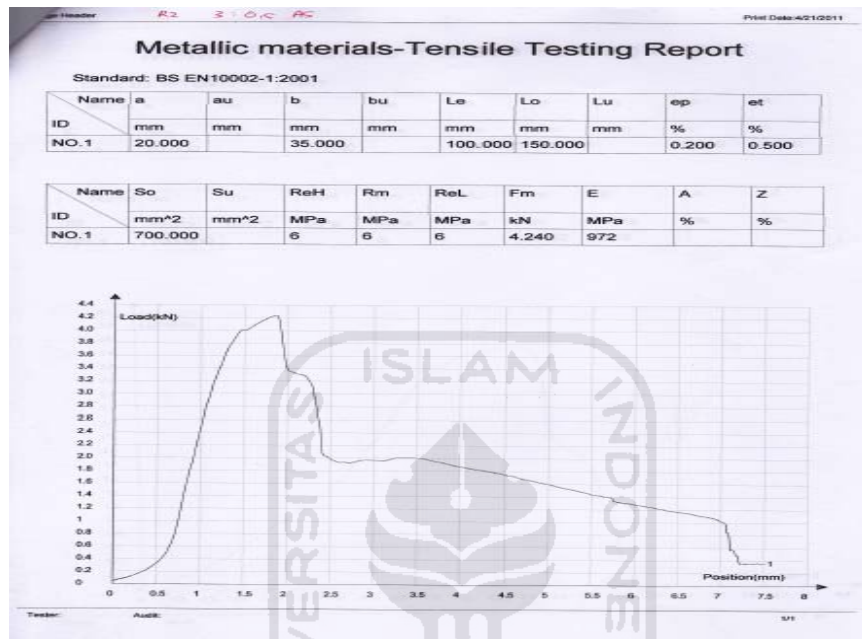
- MS:SS 3:0.5 (2.30V)



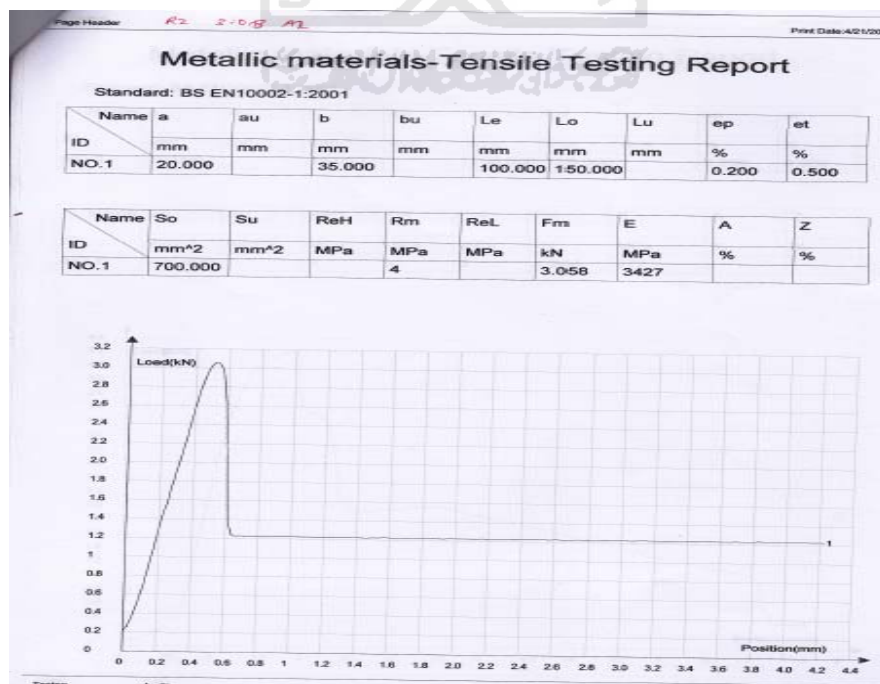
LAMPIRAN 8

Grafik Uji Tarik

- MS:SS 3:0.5 (2.67)



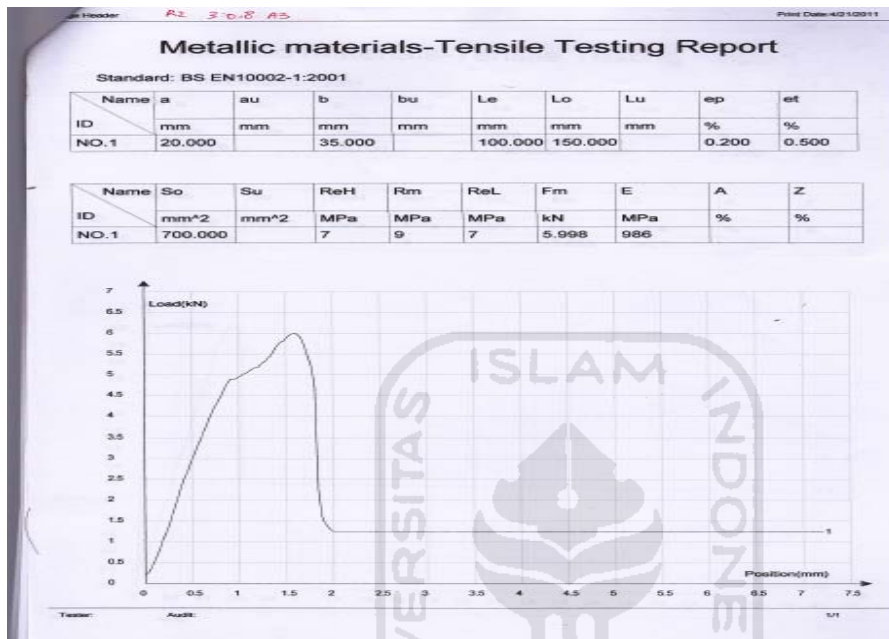
- MS:SS 3:0.8 (1.79V)



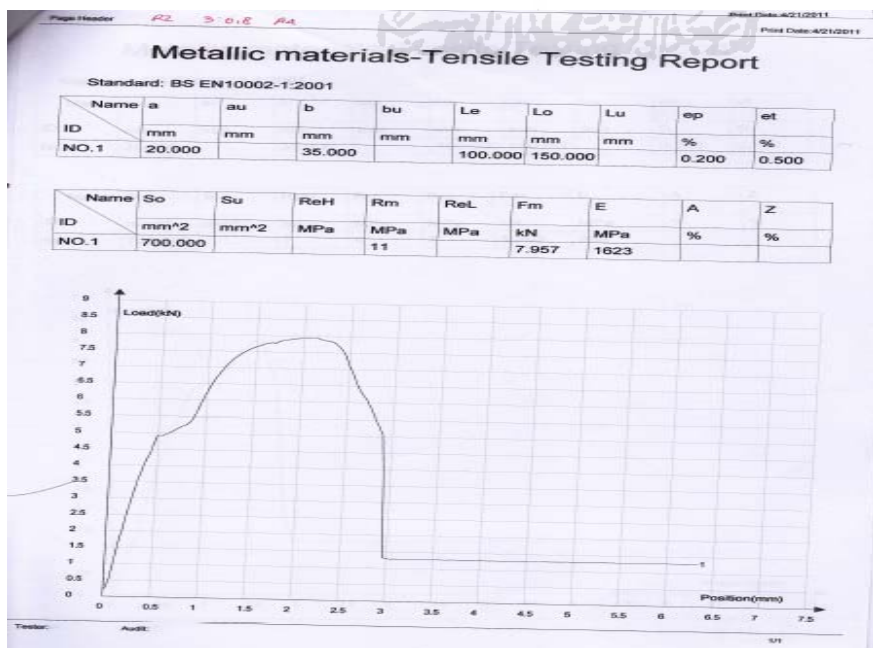
LAMPIRAN 9

Grafik Uji Tarik

- MS:SS 3:0.8 (2.02)



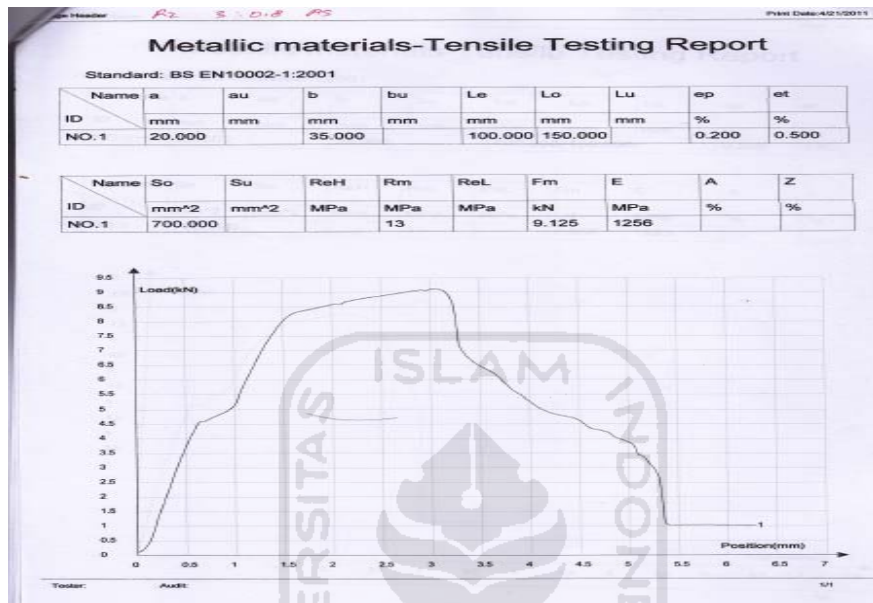
- MS:SS 3:0.8 (2.30V)



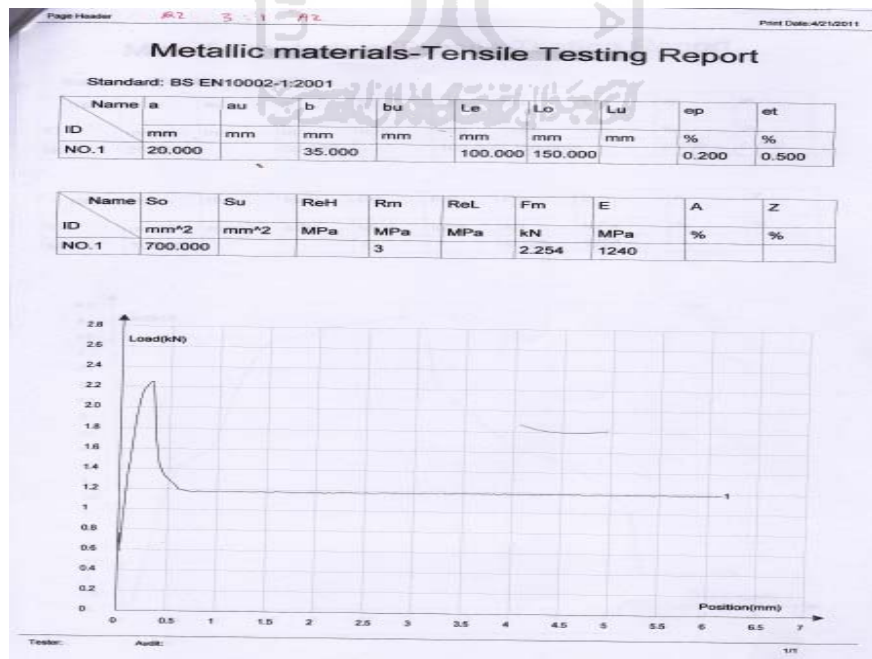
LAMPIRAN 10

Grafik Uji Tarik

- MS:SS 3:0.8 (2.67V)



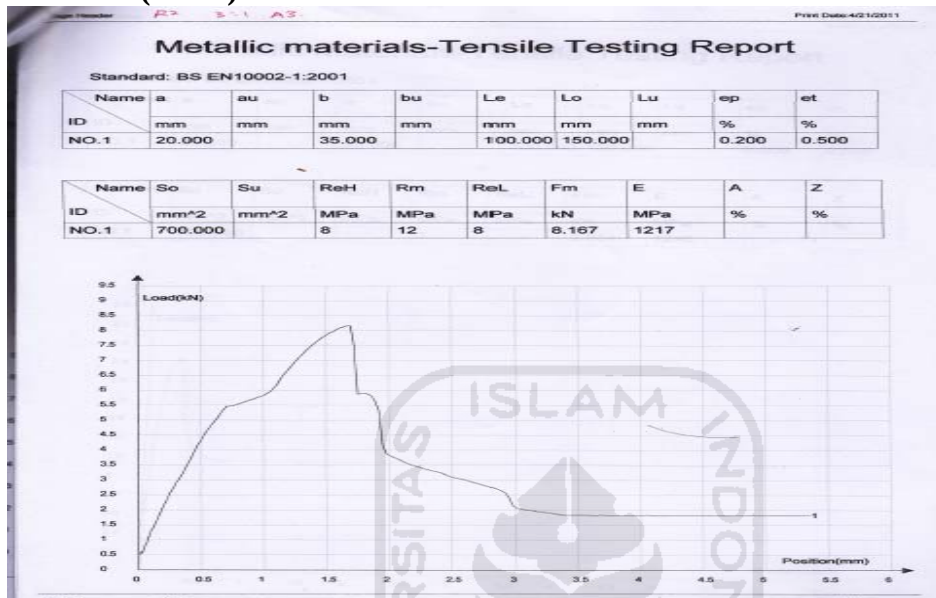
- MS:SS 3:1 (1.79V)



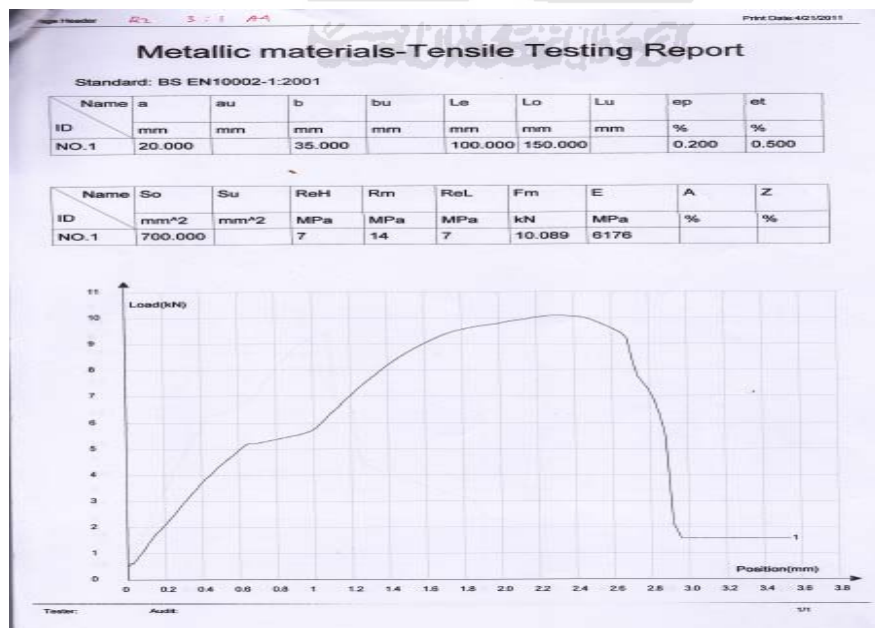
LAMPIRAN 11

Grafik Uju Tarik

- MS:SS 3:1 (2.02V)



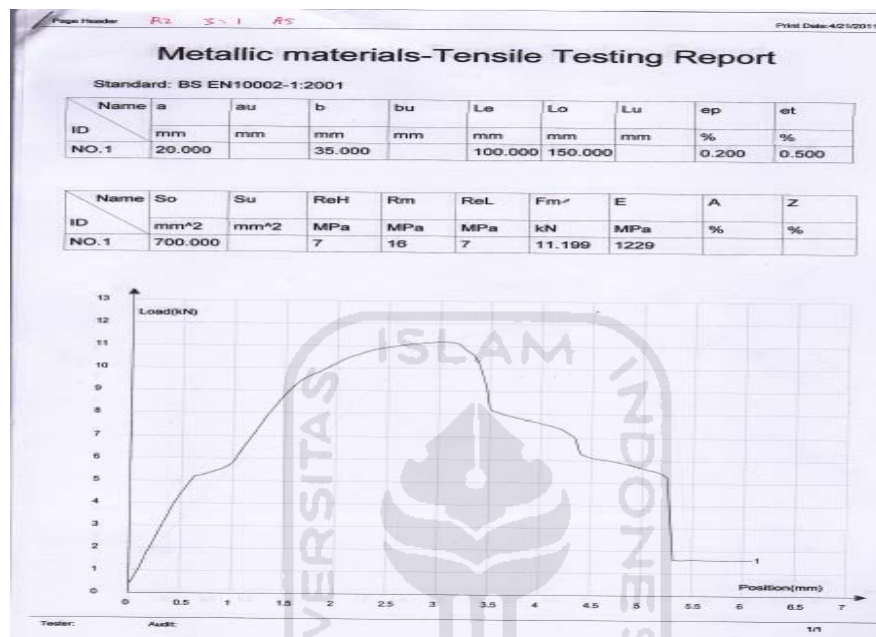
- MS:SS 3:1 (2.30)



LAMPIRAN 12

Grafik Uji Tarik

- MS:SS 3:1 (2.67)



LAMPIRAN 13

Grafik Uji Korosi

- MS:SS 3:0.5 (2.30V)

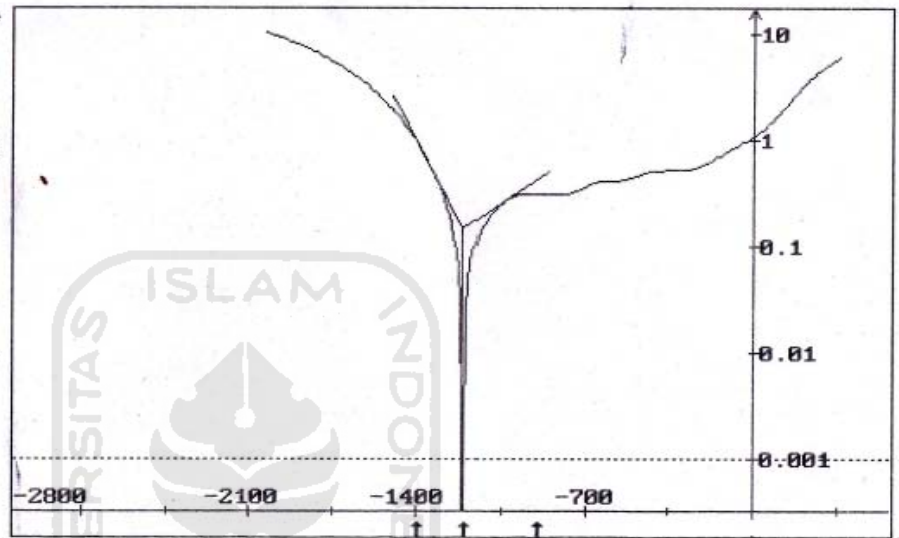
DATA PROCESSING

$E(i=0) = -1203.4 \text{ mV}$

$R_p = 4.13E+02 \ \Omega \cdot \text{cm}^2$
 $r^2 = 0.9892$

$I(i=0) = 140.19 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

$p_c = -240.7 \text{ mV}$
 $r^2 = 0.9996$
 $p_a = +644.8 \text{ mV}$



JLS AUS 3:0.5 dalam air laut P.5 X (A)

- MS:SS 3:0.8 (2.67V)

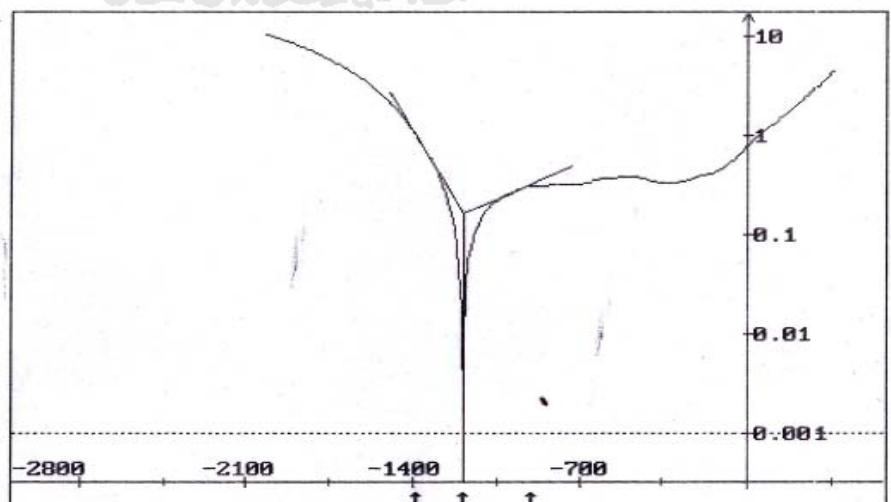
DATA PROCESSING

$E(i=0) = -1186.9 \text{ mV}$

$R_p = 4.05E+02 \ \Omega \cdot \text{cm}^2$
 $r^2 = 0.9894$

$I(i=0) = 158.28 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

$p_c = -257.4 \text{ mV}$
 $r^2 = 0.9994$
 $p_a = +983.8 \text{ mV}$

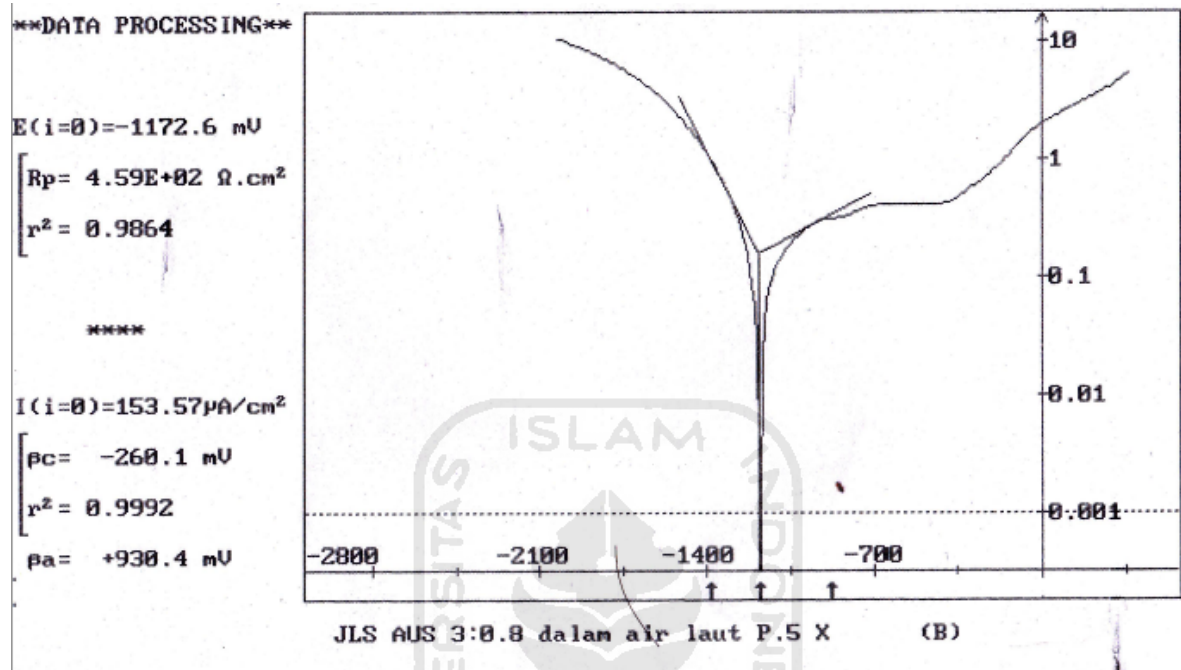


JLS AUS 3:1.0 dalam air laut P.5 X (C)

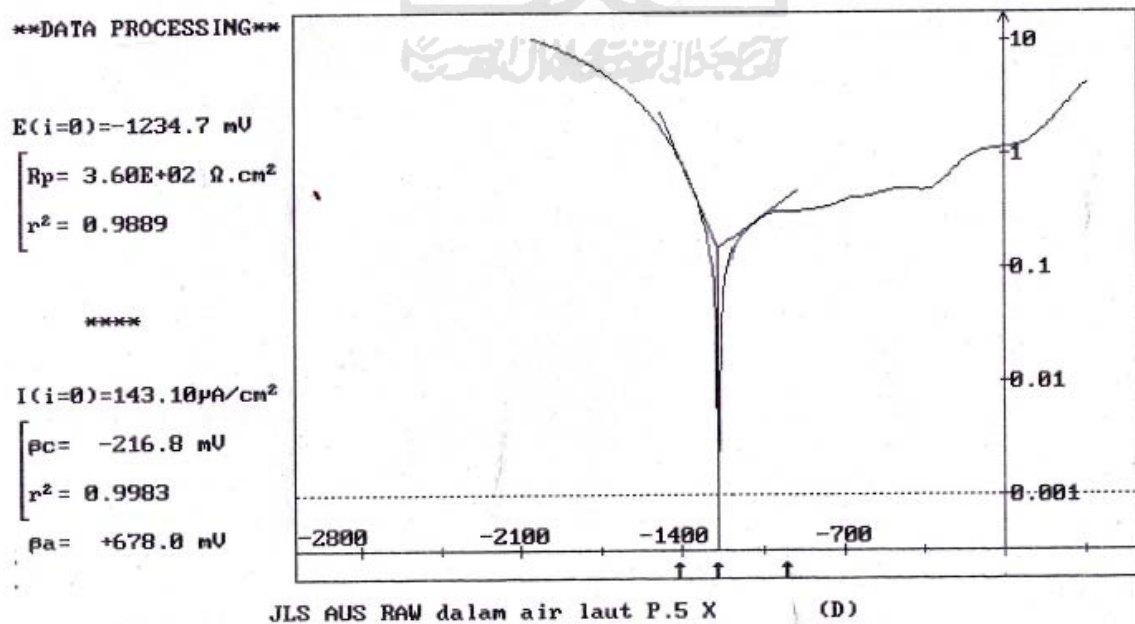
LAMPIRAN 14

Grafik Uji Korosi

- MS:SS 3:1 (2.67V)



- Raw Material



LAMPIRAN 15

Hasil Uji Korosi



LABORATORIUM

PUSAT TEKNOLOGI AKSELERATOR DAN PROSES BAHAN – BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 Ykbb, Yogyakarta 55281, Telp. (0274) 488435, 484436, Fax. (0274) 487824

Form-25a/Sert/Uji,

Nomor : 070/APB/VV2011
 Nomor :
 Halaman : 1 dari 1
 Page :

Sertifikat Pengujian

Test Certificate

Dibuat untuk
Certified for

Jenis / Nama Contoh
Type / Name of sample

Asal Contoh
Origin of sample

Jumlah Contoh
Amount of sample

Kode Contoh
Sample Code

Parameter
Parameters

Tanggal Pengambilan Contoh
Sample taken on

Tanggal Penerimaan Contoh
Sample received on

Tanggal Pengujian Contoh
Sample tested on

: SUPRIYANTO

: JLS AUS

: SUPRIYANTO

: 4 (empat)

: 067/P/APB/11

: Uji Korosi

: ---

: 13 Mei 2011

: 26 – 30 Mei 2011

Hasil Pengujian

Test Result

Nama Contoh	Kode Contoh	Label Contoh	Parameter	Hasil Uji	Satuan	Metode Uji
JLS AUS	067/P/APB/11-A	JLS AUS 3 : 0,5 dalam air laut P.5x	Uji Korosi	140,19	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Elektrokimia
	067/P/APB/11-B	JLS AUS 3 : 0,8 dalam air laut P.5x	Uji Korosi	153,57	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Elektrokimia
	067/P/APB/11-C	JLS AUS 3 : 1,0 dalam air laut P.5x	Uji Korosi	158,28	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Elektrokimia
	067/P/APB/11-D	JLS AUS RAW dalam air laut P.5x	Uji Korosi	143,10	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Elektrokimia

Keterangan :

Media : Air Laut dengan pengenceran 5x (lima kali)

Yogyakarta, 06 Juni 2011

Mahajer Teknik,



Prof. Dr. H. Samin Prihatin
 NIP. 19561205 197803 1 002

Catatan : 1. Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji
 Note These test result are only valid for the tested samples

2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak/dipindai tanpa izin dari Manajer Teknik Laboratorium
 The certificate shall not be reproduced (copied) without the written permission of the Laboratory Technical Manager

LAMPIRAN 16

Hasil pengujian Vickers



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HARGA KEKERASAN MICRO VICKERS

Spesimen Stainless Steel-Baja

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d_1 (μm)	d_2 (μm)	$d_{rata-rata}$ (μm)	Kekerasan (VHN)
1	Baja Ketebalan 3 mm	0.0	42.0	41.5	41.75	212.8
2		0.5	41.5	41.5	41.50	215.3
3		1.0	41.0	41.5	41.25	218.0
4		1.5	45.0	45.0	45.00	183.2
5		2.0	47.0	47.0	47.00	167.9
6		2.5	48.0	47.5	47.75	162.7
7		3.0	52.0	53.5	52.75	133.3
8		3.5	53.0	52.0	52.50	134.6
9	Stainless Steel Ketebalan 0.5 mm	0.0	41.0	41.5	41.25	218.0
10		0.5	41.0	41.5	41.25	218.0
11		1.0	43.0	43.0	43.00	200.6
12		1.5	44.0	43.5	43.75	193.8
13		2.0	43.0	43.5	43.25	196.3
14		2.5	43.5	44.0	43.75	193.8
15		3.0	44.5	44.0	44.25	189.4
16		3.5	44.5	45.0	44.75	185.2

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan :

1. Menggunakan pembebanan 200 gf
2. Waktu pembebanan 5 detik
3. Pengujian dilakukan pada tanggal 14 Mei 2011



LAMPIRAN 17

Hasil Pengujian Vickers



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HARGA KEKERASAN MICRO VICKERS

Spesimen Stainless Steel-Baja

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	d _{rata-rata} (μm)	Kekerasan (VHN)
1	Baja Ketebalan 3 mm	0.0	35.5	35.0	35.25	298.5
2		0.5	35.5	35.0	35.25	298.5
3		1.0	44.0	45.0	44.50	187.3
4		1.5	45.0	46.0	45.50	179.1
5		2.0	46.0	45.5	45.75	177.2
6		2.5	47.0	51.0	49.00	154.5
7		3.0	54.0	52.0	53.00	132.0
8		3.5	54.0	53.0	53.50	129.6
9	Stainless Steel Ketebalan 0,8 mm	0.0	40.0	40.0	40.00	231.8
10		0.5	37.5	37.5	37.50	263.7
11		1.0	40.0	40.0	40.00	231.8
12		1.5	42.0	42.0	42.00	210.2
13		2.0	36.0	36.0	36.00	286.2
14		2.5	33.5	33.5	33.50	330.5
15		3.0	41.5	42.0	41.75	212.8
16		3.5	42.5	42.0	42.25	207.8

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan :

1. Menggunakan pembebanan 200 gf
2. Waktu pembebanan 5 detik
3. Pengujian dilakukan pada tanggal 14 Mei 2011



LAMPIRAN 18

Hasil Pengujian Vickers



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HARGA KEKERASAN MICRO VICKERS

Spesimen Stainless Steel-Baja

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dan Pusat Las	d_1 (μm)	d_2 (μm)	$d_{rata-rata}$ (μm)	Kekerasan (VHN)
1	Baja Ketebalan 3 mm	0.0	34.0	34.0	34.00	320.8
2		0.5	38.0	38.0	37.00	270.9
3		1.0	37.0	36.0	36.50	278.4
4		1.5	37.5	36.0	36.75	274.6
5		2.0	45.0	45.0	45.00	183.2
6		2.5	47.0	47.0	47.00	167.9
7		3.0	46.0	47.0	46.50	171.5
8		3.5	48.0	48.0	48.00	161.0
9	Stainless Steel Ketebalan 1 mm	0.0	31.0	31.0	31.00	385.9
10		0.5	34.0	34.0	34.00	320.8
11		1.0	34.0	34.0	34.00	320.8
12		1.5	33.0	32.5	32.75	345.8
13		2.0	33.0	33.0	33.00	340.6
14		2.5	36.5	35.0	35.75	290.2
15		3.0	43.5	43.0	43.25	198.3
16		3.5	43.0	43.0	43.00	200.6

Lembar asli tidak untuk dijamah

Keterangan :

1. Menggunakan pembebanan 200 gf
2. Waktu pembebanan 5 detik
3. Pengujian dilakukan pada tanggal 14 Mei 2011

