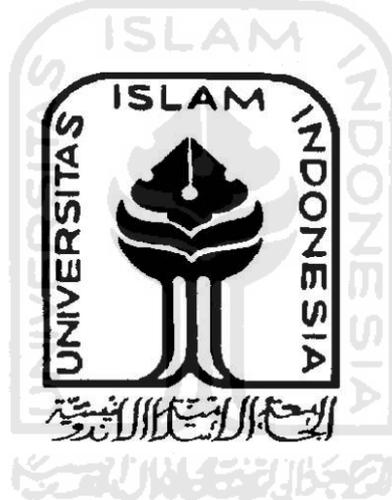


**PENGARUH RASIO TEBAL PLAT DAN TEGANGAN LISTRIK  
SEKUNDER PENGELASAN TERHADAP MODE PATAH  
SAMBUNGAN LAS TITIK (*RESISTANCE SPOT WELDING*)  
LOGAM TAK SEJENIS ANTARA BAJA KARBON RENDAH  
DAN BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin



Disusun oleh:

Nama : **Wahyu Tya Kurniawan**

NIM : **07 525 024**

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

**2011**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PENGARUH RASIO TEBAL PLAT DAN TEGANGAN LISTRIK  
SEKUNDER PENGELASAN TERHADAP MODE PATAH  
SAMBUNGAN LAS TITIK (*RESISTANCE SPOT WELDING*)  
LOGAM TAK SEJENIS ANTARA BAJA KARBON RENDAH  
DAN BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK**

**TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh :

Nama : **Wahyu Tya Kurniawan**  
NIM : **07 525 024**  
NIRM : **07 510 077**

Yogyakarta, 8 Agustus 2011

Dosen Pembimbing I Dosen Pembimbing II

Yustiasih Purwaningrum, ST., MT. Triyono, ST., MT.

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PENGARUH RASIO TEBAL PLAT DAN TEGANGAN LISTRIK  
SEKUNDER PENGELASAN TERHADAP MODE PATAH  
SAMBUNGAN LAS TITIK (*RESISTANCE SPOT WELDING*)  
LOGAM TAK SEJENIS ANTARA BAJA KARBON RENDAH  
DAN BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK**

**TUGAS AKHIR**

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, ST., MT.**  
Ketua

(.....)  
Tanggal: 16 Agustus 2011

**Agung Nugroho Adi, ST., MT.**  
Anggota I

(.....)  
Tanggal: 16 Agustus 2011

**Purtojo, ST., MSc.**  
Anggota II

(.....)  
Tanggal: 16 Agustus 2011

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Agung Nugroho Adi, ST., MT.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

**Puji syukur kupakanatkan kepada Allah SWT, hanya dengan Rahmat, Hidayah, serta Kehendak-Nya lah skripsi ini bisa terselesaikan**

**Skripsi ini saya persembahkan untuk :**

- ✚ Bapak dan ibu tercinta, terima kasih atas kasih sayang, doa,nasehat, serta dukungan yang selalu bapak & ibu berikan. Doa untuk bapak & ibu selalu ananda panjatkan, semoga,kesehatan, kebahagiaan, keselamatan, berkah serta rizki selalu Allah berikan untuk bapak & ibu.**
- ✚ Untuk kakak dan adikku tersayang, Novita & Ditya. Terima kasih telah mengisi hari-hariku. Semoga kalian selalu bahagia & sukses dalam kehidupan maupun pendidikan dimanapun kalian berada.**
- ✚ Kepada Ifsantin “my Honey”, terima kasih atas kasih sayang, kesabaran dan waktu yang telah diberikan untuk temani hari-hariku.**

## **HALAMAN MOTTO**

**Bacalah dengan nama Tuhanmu yang menciptakan  
( Al - 'alaq 96 : 1 )**

**Kehidupan tidak akan memberikan suatu hadiah berupa  
apapun kepada setiap umat manusia tanpa usaha dan kerja  
keras**

**( Penulis )**

**Kesempurnaan itu,,,,,,**

**Saat kita bisa saling melengkapi kekurangan  
masing-masing**

**dan bukan menjadikan kekurangan-kekurangan itu semakin  
terlihat nyata dan menghancurkan**

**( Penulis )**

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

*Alhamdulillahirobbil'amin*, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga dengan rahmat dan karunia-Nya ini penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Rasio Tebal Plat dan Tegangan Listrik Sekunder Pengelasan Terhadap Mode Patah Sambungan Las Titik (*Resistance Spot Welding*) Logm Tak Sejenis Antara Baja Karbon Rendah dan Baja Tahan Karat Austenitik”.

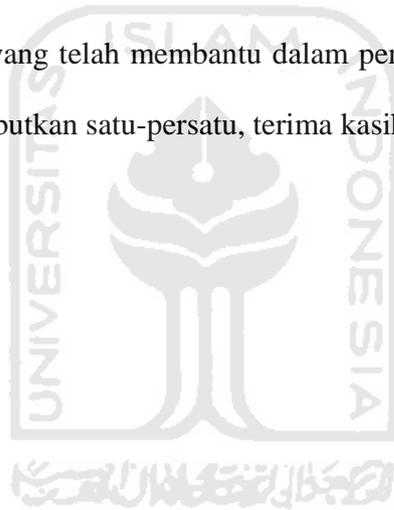
Skripsi ini diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik jenjang pendidikan Strata Satu Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini sulit untuk dapat terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang memberikan kontribusinya baik material maupun spiritual 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. Prof. Dr. Edy Suandi Hamid, M.Ec, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk menuntut ilmu dan menulis skripsi di Universitas Islam Indonesia.
3. Ir. Gumbolo Hadi Susanto, M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Yustiasih Purwaningrum, ST, MT., selaku dosen pembimbing I yang telah dengan sabar membimbing dan memberi masukan pada penulis, sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Triyono, ST, MT., selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberi masukan pada penulis, sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Bapak, ibu, kakak, adik dan seluruh keluarga yang telah memberi motivasi, do'a, serta semangat kepada penulis.
7. Buat Ifsantin "Honey", terima kasih telah bersabar menghadapi tingkah polah dan sikapku, semoga waktu bisa mendewasakan dan membawa kita menjadi pribadi yang lebih baik.
8. Pinky kos, Mr.David, Amunk, Ari "Bujank", Penjol, Rony, Girboy, Ari Bali, Dika, Rudi yang telah menjadi keluarga keduaku selama di Jogja. Suka dan duka bersama kalian merupakan pengalaman berharga bagiku.
9. Sahabat-sahabatku, Anang, Tomi, Arif "Enyong", Iwan "Temon", Oon, Adul, semoga persahabatan kita tidak sampai disini saja.
10. Teman-teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi, Hamid, Azis, Supri, terima kasih atas bantuan, saran dan kerja samanya.

11. Teman-teman KKN 141, Santin, Richo, Tya, mami “Nisa”, mbah “Enta, Mary & Essi, melewati 1 bulan bersama kalian bukanlah suatu hal yang sia-sia bagiku.
12. Teman-teman Teknik Mesin 2007, kenangan selama kuliah bersama kalian tidak akan kulupakan, salam solidarity forever.
13. Semua dosen dan staff pegawai baik di Fakultas Teknologi Industri maupun di Universitas Islam Indonesia yang telah membantu penulis selama menjadi mahasiswa.
14. Semua semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih atas bantuannya.



## **ABSTRAK**

*Proses pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang paling banyak digunakan pada saat ini, karena pengelasan mempunyai banyak keuntungan antara lain : praktis, hasilnya dapat diandalkan, efisien, dan ekonomis. Resistance Spot Welding (RSW) atau las titik merupakan proses pengelasan yang paling banyak digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat yang disambung terhadap karakteristik dan mode patah sambungan las titik antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik.*

*Pengelasan dilakukan dengan las titik dengan parameter yang digunakan meliputi tegangan sekunder, waktu dan penekanan. Menggunakan dua material berbeda, baja karbon rendah SS400 dan baja tahan karat austenitik SUS304 dengan tebal 1mm, 2mm, dan 3mm, variasi tegangan 1,79V, 2,02V, 2,30V, dan 2,67V dengan waktu las konstan pada 2,5detik. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan dengan metode mikro Vickers, pengujian kekuatan geser sambungan dengan metode uji tarik, dan pengujian foto mikro dengan menggunakan mikroskop optik.*

*Dari hasil uji tarik memperlihatkan untuk SSMS dengan tebal 1:3 mm dan 3:1 mm tegangan kritis pada 2,02V, pada SSMS dengan tebal 2:2 mm tegangan kritis pada 2,30V. Hasil uji kekerasan memperlihatkan bahwa nugget memiliki kekerasan paling tinggi dibandingkan HAZ kemudian diikuti logam induk. Pada nugget SSMS tebal 1:3 mm nilai dari VHN sebesar 413,93 kg/mm<sup>2</sup>(SS) dan 426,55 kg/mm<sup>2</sup>(MS), untuk SSMS 2:1mm nilai VHN sebesar 426,30 kg/mm<sup>2</sup> (SS) dan 421,40 kg/mm<sup>2</sup> (MS), dan SSMS 3:1mm didapatkan nilai VHN sebesar 267,30 kg/mm<sup>2</sup>(SS) dan 169,77 kg/mm<sup>2</sup>(MS). Dari pengujian struktur mikro memperlihatkan bahwa material baja karbon rendah SS400 mempunyai struktur ferit, perlit, dan martensit pada daerah logam induk dan daerah HAZ, untuk nugget baja karbon rendah SS400 mempunyai struktur bainit, sedangkan pada material baja tahan karat SUS304 memiliki struktur austenit.*

**Kata Kunci :** Las RSW, SS400, SUS304, uji tarik, uji foto mikro, uji kekerasan Vickers.

## **ABSTRACT**

*Welding process is metal connection process mostly used in current time, because welding has more advantages, such as: practical, reliable, efficient and economical. Resistance Spot Welding (RSW) is a mostly used welding process. This objective of research were to find effects of secondary electric voltage and connected plat thickness on characteristics and fracture mode of resistance spot welding between low carbon steel and austenitic corrosive-resistance steel.*

*Welding was conducted by RSW whose parameters used were secondary voltage, time and pressure, using two different materials, namely, SS400-low carbon steel and SUS304 corrosive resistance steel with 1 mm, 2 mm, and 3 mm thicknesses, voltages ranged from 1.79V to 2.02V, 2.30V and 2.67V with constant welding time of 2.5 s. Tests covered tests for hardness using micro-Vickers method, connection strength using tensile test method, and micro-photo using optical microscope.*

*The results of tensile test showed SSMS with thicknesses of 1:3 mm and 3:1 mm at critical voltage of 2.02V, SSMS with 2:2 mm thickness at critical voltage of 2.30V. Results of hardness test showed that nugget was harder than HAZ, followed by main metal. SSMS nugget with 1:3 mm thickness had HVN value of 413.93 kg/mm<sup>2</sup> (SS) and 426.55 kg/mm<sup>2</sup> (MS), SSMS with 2:1 mm had VHN value of 426.30 kg/mm<sup>2</sup> (SS) and 421.40 kg/mm<sup>2</sup> (MS), and SSMS with 3:1 mm thickness had VHN value of 267.30 kg/mm<sup>2</sup> (SS) and 169.77 kg/mm<sup>2</sup> (MS). Microstructure testing indicated that SS400-low carbon steel material had structures of ferrite, pearlite and martensite in area of HAZ, SS400-low carbon steel nugget had structure of bainite; whereas SUS304 corrosive resistance steel material had structure of austenite.*

**Keywords:** RSW, SS400, SUS304, tensile test, micro-photo test, Vickers hardness test.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
HALAMAN MOTO .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAKSI .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xvi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	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 .....	5
KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1. Tinjauan Pustaka .....	5
2.2. Dasar Teori .....	11
2.3. Las Resistansi Listrik .....	19
2.4. Metalurgi Las ( <i>Nugget</i> ) .....	22
2.5. Material .....	23

BAB III .....	28
METODOLOGI PENELITIAN .....	28
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	28
3.2. Bahan dan Alat .....	29
3.3. Pengelasan RSW ( <i>Resistance Spot Welding</i> ) .....	31
3.4. Pengujian Material RSW .....	33
BAB IV .....	38
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	38
4.1. Pengamatan Foto Makro .....	38
4.2. Pengamatan Foto Mikro .....	39
4.3. Pengujian Kekerasan ( <i>Vickers Hardness</i> ) .....	44
4.4. Pengujian Tarik .....	47
BAB V .....	55
PENUTUP .....	55
5.1. Kesimpulan .....	55
5.2. Saran .....	56
DAFTAR PUSTAKA .....	57
LAMPIRAN .....	59



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Baja Karbon Rendah .....	25
Tabel 2.2. Klasifikasi Baja Tahan Karat .....	27
Tabel 3.1. Komposisi Kimia Baja Karbon Rendah SS400 .....	29
Tabel 3.2. Komposisi Kimia Baja Tahan Karat Austenitik SUS304 .....	30
Tabel 3.3. Alat Uji .....	30
Tabel 3.4. Parameter Pengujian .....	31
Tabel 4.1. Nilai Kekerasan Micro Vickers SS-MS 1:3 .....	59
Tabel 4.2. Nilai Kekerasan Micro Vickers SS-MS 2:2 .....	60
Tabel 4.3. Nilai Kekerasan Micro Vickers SS-MS 3:1 .....	60
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Tarik .....	61
Tabel 4.5. Hasil P Maksimum Pada Titik Kritis SS-MS .....	62
Tabel 4.6. Hasil Nugget Pada Titik Kritis SS-MS .....	62



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Patahan Hasil Uji Tarik .....	7
Gambar 2.2.	Prediksi Diameter Kritis Berdasarkan Model Patah <i>Interfacial</i> dan <i>Pullout</i> .....	8
Gambar 2.3.	Diameter Kritis Untuk Uji Tarik dan Uji Tarik-Geser .....	9
Gambar 2.4.	Prediksi Hagal PF dan IF Berdasarkan Ketebalan Material ..	10
Gambar 2.5.	Pengaruh Arus Listrik Terhadap Jenis Kegagalan Sambungan Las Titik .....	11
Gambar 2.6.	Pengelasan SMAW ( <i>Shilded Metal Arc Welding</i> ) .....	12
Gambar 2.7.	Pengelasan SAW ( <i>Submerged Arc Welding</i> ) .....	13
Gambar 2.8.	Pengelasan ESW ( <i>Electro Slag Welding</i> ) .....	14
Gambar 2.9.	Pengelasan ERW ( <i>Electric Resistance Spot Welding</i> ) .....	14
Gambar 2.10.	Pengelasan EBW ( <i>Electro Beam Welding</i> ) .....	14
Gambar 2.11.	Pengelasan GMAW ( <i>Gas Metal Arc Welding</i> ) .....	15
Gambar 2.12.	Pengelasan GTAW ( <i>Gas Tungsten Arc Welding</i> ) .....	16
Gambar 2.13.	Pengelasan FCAW ( <i>Flux Cored Arc Welding</i> ) .....	16
Gambar 2.14.	Pengelasan PAW ( <i>Plasma Arc Welding</i> ) .....	17
Gambar 2.15.	Pengelasan OAW ( <i>Oxygen Acetylene Welding</i> ) .....	17
Gambar 2.16.	Pengelasan FSW ( <i>Friction Stir Welding</i> ) .....	18
Gambar 2.17.	Jenis-jenis las kampuh resistansi listrik .....	19
Gambar 2.18.	Diagram alat las titik .....	21
Gambar 2.19.	<i>Nugget</i> las titik .....	22
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 3.2.	Dimensi spesimen .....	31
Gambar 3.3.	Tahapan siklus pengelasan titik .....	32
Gambar 3.4.	Alat RSW ( <i>Resistance Spot Welding</i> ) .....	32
Gambar 3.5.	Elektroda atas dan bawah .....	33
Gambar 3.6.	Alat uji foto mikro .....	34
Gambar 3.7.	Alat uji foto makro .....	34

Gambar 3.8.	Alat uji mikro <i>vickers</i> .....	35
Gambar 3.9.	Alat uji tarik .....	36
Gambar 4.1.	Foto makro SS-MS .....	38
Gambar 4.2.	Foto mikro logam induk SS-MS .....	40
Gambar 4.3.	Foto mikro daerah HAZ SS-MS .....	41
Gambar 4.4.	Foto mikro daerah las SS-MS .....	43
Gambar 4.5.	Grafik <i>vickers hardness</i> SS-MS 1:3 .....	44
Gambar 4.6.	Grafik <i>vickers hardness</i> SS-MS 2:2 .....	45
Gambar 4.7.	Grafik <i>vickers hardness</i> SS-MS 3:1 .....	45
Gambar 4.8.	Diagram rata-rata <i>vickers hardness number</i> .....	47
Gambar 4.9.	Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dengan P Maksimum SS:MS / 1:3 dan 3:1 .....	49
Gambar 4.10.	Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dengan P Maksimum SS:MS 2:2 .....	49
Gambar 4.11.	Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dengan Nugget SS:MS / 1:3 dan 3:1 .....	50
Gambar 4.12.	Grafik Perbandingan Tegangan Listrik dengan Nugget SS:MS 2:2 .....	50
Gambar 4.13.	Grafik diameter <i>nugget</i> kritis .....	51
Gambar 4.14.	Grafik tegangan listrik kritis .....	52
Gambar 4.15.	Gambar patahan SS-MS 3:1 dengan tegangan listrik 2,02 v ....	52
Gambar 4.16.	Gambar patahan SS-MS 2:2 dengan tegangan listrik 2,30 v ....	53
Gambar 4.17.	Gambar patahan SS-MS 1:3 dengan tegangan listrik 2,02 v ....	53
Gambar 4.18.	Patahan IF ( <i>Interfacial Fracture</i> ) .....	54
Gambar 4.19.	Patahan PF ( <i>Pullout Fracture</i> ) .....	54

## DAFTAR NOTASI

Persamaan 2.1.	Persamaan diameter <i>nugget</i> minimal ( $d$ ) agar terjadi patah <i>pullout</i> .....	7
Persamaan 2.2.	Persamaan model patah <i>interfacial</i> (IF) .....	8
Persamaan 2.3.	Persamaan model patah <i>pullout</i> (PF) .....	8
Persamaan 2.4.	Persamaan diameter kritis .....	8
Persamaan 2.5.	Persamaan beban patah pada kondisi <i>interfacial</i> .....	9
Persamaan 2.6.	Persamaan beban patah pada kondisi <i>pullout</i> .....	9
Persamaan 2.7.	Persamaan diameter kritis .....	9
Persamaan 2.8.	Persamaan prediksi kegagalan <i>interfacial</i> (IF) .....	10
Persamaan 2.9.	Persamaan prediksi kegagalan <i>pullout</i> (PF) .....	10
Persamaan 2.10.	Persamaan jumlah energi termal .....	21
Persamaan 2.11.	Persamaan ekivalen karbon .....	24
Persamaan 3.1.	Persamaan <i>Vickers Hardness Number</i> .....	35
Persamaan 3.2.	Persamaan Tegangan tarik .....	36
Persamaan 3.3.	Persamaan regangan .....	37

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya zaman, maka teknologi juga ikut berkembang terutama di bidang pengelasan untuk penyambungan logam, maupun sebagai alat pemotongan bagian-bagian yang dibuang atau diperbaiki. Pengelasan merupakan cara yang paling banyak digunakan dalam proses penyambungan logam dikarenakan las memiliki kelebihan antara lain sambungan lebih kuat, hemat, murah, dan mudah pemakaiannya. Banyak metode yang digunakan dalam proses pengelasan logam, salah satu pengelasan yang cukup maju adalah *Resistance Spot Welding (RSW)* atau sering dikenal dengan las titik.

Metode RSW adalah permukaan yang akan disambung ditekan satu sama lain kemudian dialiri arus listrik yang tinggi dengan waktu yang singkat. Proses pengelasan titik sendiri merupakan suatu proses yang kompleks, melibatkan interaksi elektrik, panas, mekanik dan fenomena metalurgi, di mana setiap parameter proses memiliki pengaruh terhadap kualitas dan karakteristik hasil las.

RSW yang ditemukan sekitar tahun 1950-an banyak diaplikasikan tidak hanya untuk menyambung logam atau plat berbentuk lembaran tetapi juga diaplikasikan pada industri manufaktur, penyambungan struktur pesawat tempur, maupun struktur bangunan *engineering*.

Prinsip kerja dalam RSW adalah plat yang dilas dijepit pada tempat sambungan dengan sepasang elektroda dari paduan tembaga dan kemudian dialiri arus listrik yang besar dalam waktu yang singkat. Karena aliran listrik antara kedua elektroda tersebut harus melalui logam yang dijepit, maka pada tempat jepitan timbul panas yang menyebabkan logam di tempat tersebut mencair dan tersambung. Pada tempat kontak antara elektroda dan pelat juga terjadi panas karena tahanan listrik, tetapi tidak sampai mencairkan logam, karena ujung-ujung elektroda didinginkan dengan air.

RSW baik diterapkan pada plat tipis dengan sambungan *lap joint*. 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 waktu penekanan (*squeeze time*), waktu pengelasan (*welding time*), waktu pendinginan (*cooling time*) dan waktu penahanan (*hold time*) (Messler, 1999). Faktor-faktor tersebut akan berperan dalam pembentukan panas yang dihasilkan. Besar kecilnya arus 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 fase akhir yang terbentuk, sehingga akan menentukan kekuatan sambungan las. Selain itu waktu lasan 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).

Dalam AWS (*American Welding Society*) telah ditemukan parameter pengelasan (*welding schedule*) untuk mendapatkan sambungan yang baik. Pengaturan ini berdasarkan ukuran diameter *nugget* sebagai fungsi tebal plat yang disambung. Namun pengaturan-pengaturan tersebut hanya digunakan untuk sambungan dua plat yang memiliki ketebalan dan jenis material yang sama. Perbedaan ketebalan dan jenis material ini akan mempengaruhi bidang termal selama proses pengelasan. Parameter terpenting dalam RSW adalah *heat input* yang dipengaruhi oleh arus listrik atau tegangan listrik.

Berdasarkan latar belakang diatas perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh parameter RSW terutama besar tegangan yang berhubungan dengan panas dan tebal plat terhadap sifat mekanik sambungan las titik pada material yang berbeda yaitu antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik, agar diketahui kondisi variabel yang paling tepat antara tegangan las, waktu pengelasan, dan tebal plat yang digunakan serta dilakukan pemeriksaan untuk mengetahui kegagalan IF (*Interfacial Fracture*) dan PF (*Pullout Fracture*) dalam las titik dan dapat menentukan tegangan listrik pengelasan yang optimum sebagai fungsi dari *dimensionless number* perbandingan tebal plat yang disambung.

## 1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat yang disambung terhadap karakteristik sambungan las titik antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik.
2. Karena mode patah dapat digunakan untuk memprediksi kondisi optimum, maka bagaimana pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat terhadap mode patah sambungan las titik antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik.

## 1.3. Batasan Masalah

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

1. Pengelasan menggunakan las RSW dengan tekanan elektroda diasumsikan konstan.
2. Diameter elektroda las titik dianggap konstan.
3. Pemotongan spesimen uji struktur makro atau mikro dianggap tepat di tengah *nugget*.

## 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan penjelasan mengenai sasaran akhir yang hendak dicapai. Dalam hal ini tujuannya ialah :

1. Untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat yang disambung terhadap karakteristik sambungan las titik antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik.
2. Untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik sekunder dan tebal plat yang akan disambung terhadap mode patah sambungan las titik antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian merupakan penjelasan mengenai manfaat yang akan diperoleh jika tujuan penelitian dapat tercapai. Dalam hal ini manfaat penelitiannya adalah :

1. Menjadi rujukan dalam memilih parameter pengelasan titik antara material baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik dimana plat yang disambung memiliki perbedaan tebal.
2. Karena mode patah sambungan las titik ada kaitannya dengan kondisi optimum, maka penelitian ini juga bermanfaat dalam optimasi proses produksi.

### **1.6. Sistematika Penulisan Laporan**

Untuk memudahkan dalam memahami tugas akhir, dikemukakan sistematika penulisan yang terdiri dari 5 bab, yaitu : Bab 1 Pendahuluan, menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, serta tujuan penelitian. Bab 2 Landasan Teori, pada bab ini menjelaskan mengenai teori-teori yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Bab 3 Metode Penelitian, pada bab ini menjelaskan mengenai skema penelitian, alat dan bahan penelitian, pengelasan RSW, serta pengujian yang akan dilakukan. Bab 4 Analisa dan Pembahasan, pada bab ini menjelaskan mengenai analisa hasil foto mikro, analisa *micro vickers hardness* atau kekerasan dan hasil uji tarik-geser. Bab 5 Penutup, pada bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dari semua uraian yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya dan juga dilengkapi saran-saran agar alat yang dibuat dapat dimanfaatkan dengan baik dan bisa lebih disempurnakan.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

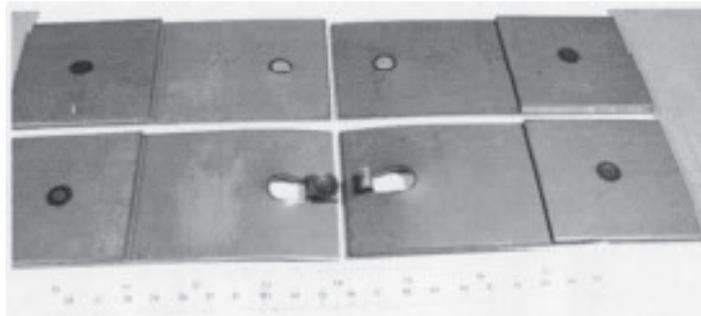
*Resistance spot welding* adalah salah satu proses las listrik tertua yang digunakan oleh industri saat ini. Las ini terjadi oleh kombinasi dari panas, tekanan, dan waktu. Material akan dialiri arus dan kemudian terjadi pemanasan lokal di bagian material yang dilas. Tekanan yang diberikan oleh ujung-ujung penjepit elektroda. Waktu adalah berapa lama arus pada sambungan, yang ditentukan oleh ketebalan bahan dan jenis, jumlah arus, dan *cross-sectional area* ujung elektroda dan permukaan material. (*American Welding Society, 1995*)

Pada pengelasan titik ada beberapa hal yang mempengaruhi hasil las tersebut, yaitu: panas yang terjadi pada saat pengelasan, tekanan elektroda saat pengelasan, ukuran *nugget* dari hasil las, dan jenis material yang dilas. Oleh karena itu perlu dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan hasil las yang optimal. Pengujian-pengujian yang dapat dilakukan adalah pengujian tarik geser, pengujian foto mikro, dan pengujian mikro *Vickers*.

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Secara umum, parameter pengelasan RSW yang mempengaruhi hasil pengelasan adalah arus listrik (*welding current*), tekanan elektroda (*electrode force*) dan siklus pengelasan. Siklus pengelasan tersebut terdiri dari waktu penekanan (*squeeze time*), waktu pengelasan (*welding time*), waktu pendinginan (*cooling time*) dan waktu penahanan (*hold time*) (Messler, 1999). Sihombing (2002), melakukan penelitian tentang pengaruh parameter las titik terhadap kekerasan dan struktur mikro sambungan las baja karbon rendah agar diketahui kombinasi variabel las yang paling tepat untuk mendapatkan hasil las yang baik. Dalam penelitian ini tebal plat yang digunakan ada 2 ketebalan yaitu 1 mm dan 3 mm. Untuk tebal plat 1 mm arus yang digunakan adalah: 2 kA, 4 kA, 6 kA, 8 kA, dan 10 kA, gaya elektroda 2 kN, 2,4 kN, 2,8 kN, 3,2 kN, dan 3,6 kN dan waktu las 20 detik, 30 detik, 35 detik, 40 detik, dan 45 detik. Untuk tebal plat 3 mm arus yang digunakan adalah dari 8 kA, 9 kA, 10 kA, 11 kA dan 12 kA, gaya elektroda dari 2 kN, 2,4 kN, 2,6 kN, 3,2 kN, dan 3,6 kN, waktu las 20 detik, 30 detik, 40

detik, 50 detik, dan 57 detik. Pengujian sifat mekanik yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan dengan metode Vickers, pengujian kekuatan geser sambungan dengan metode uji tarik, sedangkan pengujian metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Proses pengelasan memperlihatkan untuk tebal plat 1 mm, apabila arus di bawah 4 kA tidak terjadi sambungan las. Untuk tebal plat 3 mm, jika arus di bawah 8 kA tidak terjadi sambungan las. Hasil uji kekerasan memperlihatkan, bahwa semakin besar arus listrik, waktu las dan gaya elektroda, maka kekerasan logam makin besar. Untuk tebal plat 1 mm, kondisi arus 6 kA, waktu las 30 detik, dan gaya elektroda 2 kN memiliki nilai kekerasan paling tinggi yaitu  $300 \text{ kg/mm}^2$  pada daerah las. Dan pada tebal plat 3 mm, kondisi arus 10 kA, waktu las 20 detik, dan gaya elektroda 3,6 kN memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu  $300 \text{ kg/mm}^2$ . Hasil pengujian struktur mikro memperlihatkan bahwa material mempunyai struktur ferit, perlit, dan martensit. Dengan demikian dari penelitian ini didapat hasil untuk pelat tebal 1 mm kombinasi yang terbaik adalah arus 6 kA, waktu las 30 detik dan gaya elektroda 2 kN sedangkan untuk tebal plat 3 mm kombinasi terbaik adalah arus 10 kA, waktu las 20 detik dan gaya elektroda 3,6 kN. Sedangkan 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 divariasikan HDGI (*hot-dipped galvanize*) dan HDGA (*hot-dipped galvaneal*). 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.



Gambar 2.1. Patahan hasil uji tarik

Dari gambar 2.1 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. Cho (2003) menyatakan bahwa formula ini hanya cocok untuk material *mild steel*. Marya *et al.* (2005) 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

$$P_{IF} = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) \tau_{WN} \dots\dots\dots (2.2)$$

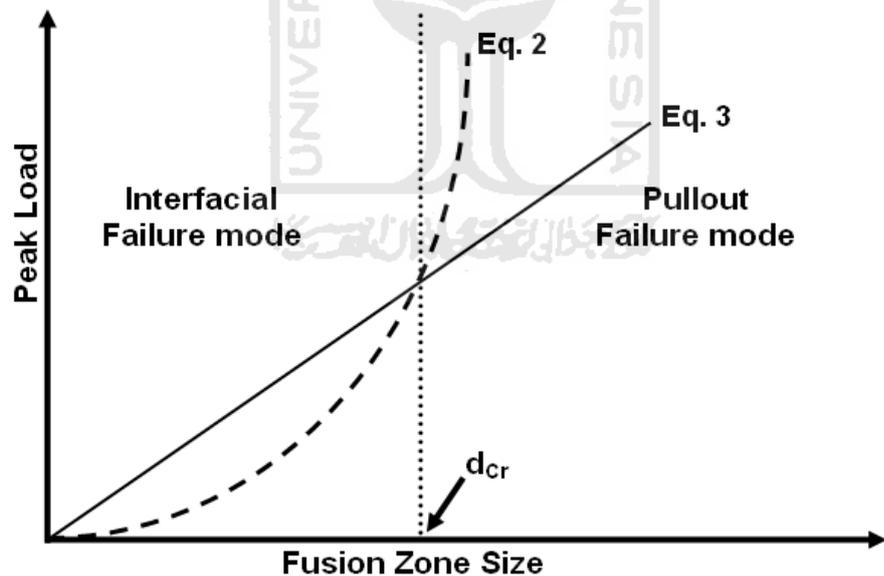
dengan  $\tau_{WN}$  adalah kekuatan geser maksimum daerah nugget. Sedangkan patah *pullout* akan terjadi jika tegangan sekeliling nugget mencapai tegangan ijin material di lokasi tersebut dan dapat dinyatakan dalam

$$P_{PF} = \pi dt(\sigma_u)_{FL} \dots\dots\dots (2.3)$$

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

$$d_{cr} = 4t \frac{(\sigma_u)_{FL}}{\tau_{WN}} \dots\dots\dots (2.4)$$

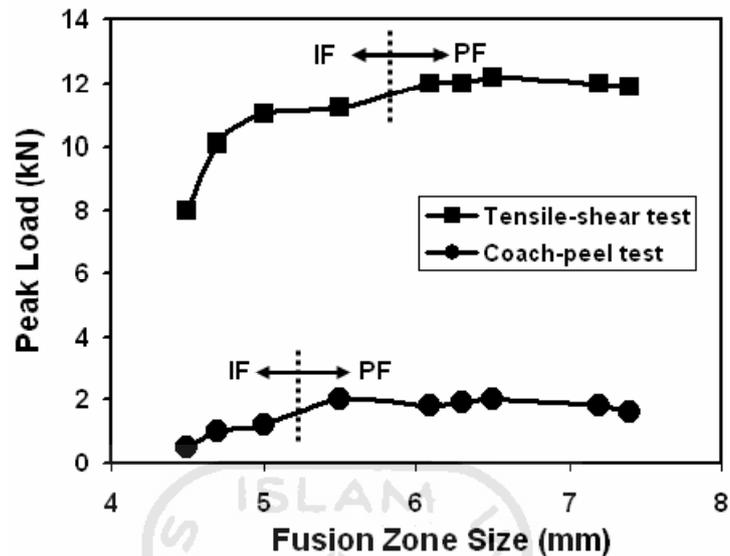
Plot grafik persamaan (2.2) dan persamaan (2.3) untuk mendapatkan diameter kritis terlihat pada gambar 2.2. Sambungan las titik dengan diameter *nugget* lebih kecil dari diameter kritis akan mengalami patah *interfacial* (IF), sedangkan sambungan las titik dengan diameter *nugget* lebih besar dari diameter kritis akan mengalami patah *pullout* (PF).



Gambar 2.2. **Prediksi diameter kritis berdasarkan model patah *interfacial* dan *pullout***

Model analitis untuk memprediksi diameter kritis tersebut di atas dibuktikan secara eksperimen oleh Pouranvari *et al.* (2009). Hasil penelitiannya adalah seperti terlihat pada gambar 2.3. Dari gambar tersebut diketahui bahwa

kekuatan tarik murni (*coach peel test*) jauh lebih rendah dibandingkan dengan uji tarik-geser (*tensile-shear test*). Diameter kritis untuk uji tarik murni lebih kecil dibandingkan dengan diameter kritis uji tarik-geser.



Gambar 2.3. Diameter kritis untuk uji tarik dan uji tarik-geser

Evaluasi analitis terhadap formula AWS pada persamaan (2.1) juga dilakukan oleh Cho (2003) dengan pendekatan mekanika perputahan. Beban patah pada kondisi *interfacial* dirumuskan dengan

$$P_{IF} = 1,25K_C \frac{d^{5/2}}{t} \dots\dots\dots (2.5)$$

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

$$P_{PF} = tdt \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan  $\tau$  adalah tegangan geser ijin pada daerah terpengaruh panas (HAZ). Dari persamaan (2.5) dan (2.6) didapatkan diameter kritis yang dapat dinyatakan dengan

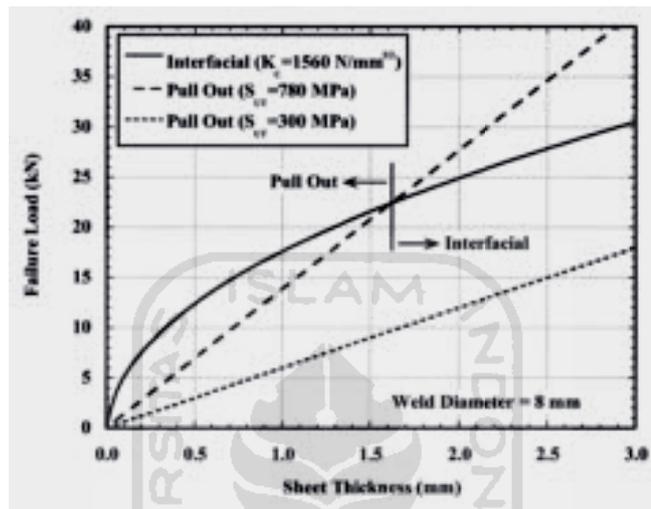
$$d_{cr} = 0,86 \left( \frac{\tau}{K_C} \right)^{2/3} t^{4/3} \dots\dots\dots (2.7)$$

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

$$P_{PF} = k \cdot \sigma_U \cdot d \cdot t \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

$$P_{IF} = 1,44 \cdot K_C \cdot d \cdot \sqrt{t} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

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 2.4.

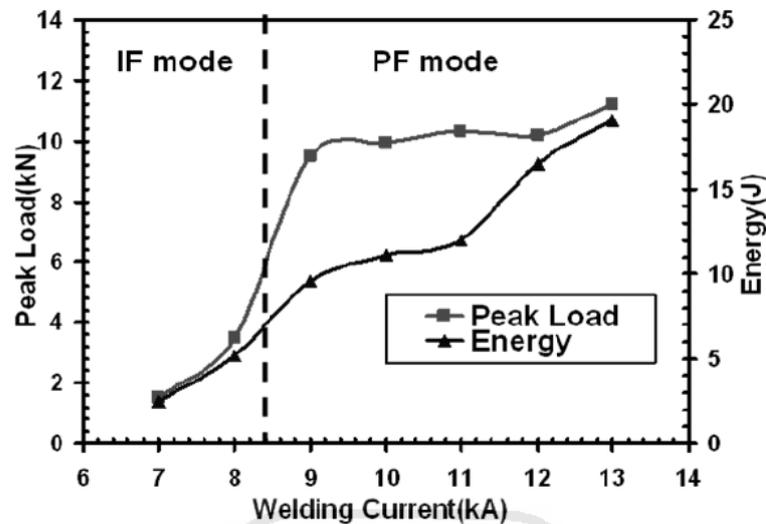


Gambar 2.4. **Prediksi gagal PF dan IF berdasarkan ketebalan material**

Dari gambar 2.4, 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 ( $\leq 300$  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.



Gambar 2.5. Pengaruh arus listrik terhadap jenis kegagalan sambungan las titik

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 baja tahan karat SUS304 untuk ketebalan plat 1mm, 2mm, 3mm. Serta dilakukannya pengujian tarik geser, pengamatan fotomikro, dan pengujian mikro *Vickers* untuk mengetahui hasil pengelasan dan fenomena yang terjadi.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Definisi Pengelasan

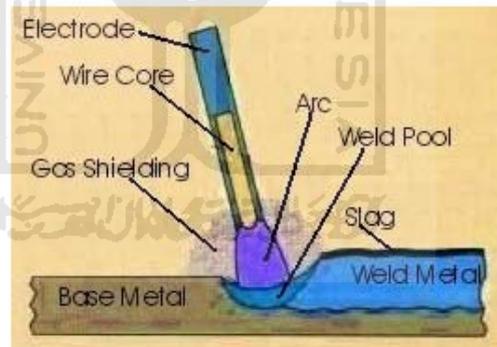
Pengelasan berdasarkan definisi dari *Deutche Industrie Normen (DIN)* adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Atau dapat juga didefinisikan bahwa pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu antara logam induk dan 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 *Resistance Spot Welding (RSW)* atau sering dikenal dengan las titik. (Wiryosumarto, 2000)

Metode *resistance 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. (Wiryosumarto, 2000)

## 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.

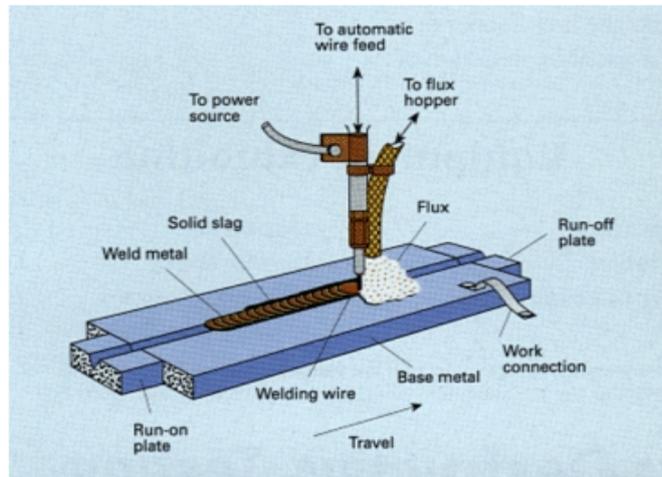


Gambar 2.6. **Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)**

<http://www.weldingengineer.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 atau slag sehingga busur nyala api terpendam didalam ukuran-ukuran fluks tersebut. Skema pengelasan SAW dapat dilihat dalam gambar 2.7.

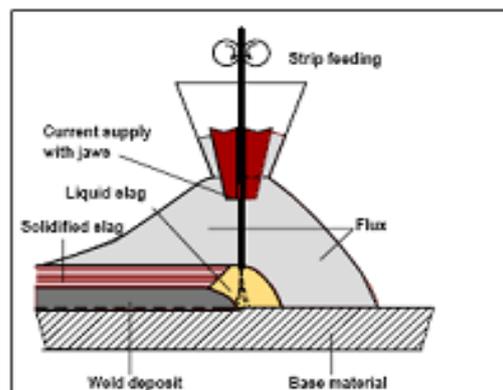


Gambar 2.7. **Pengelasan SAW (*Submerged Arc Welding*)**

<http://www.weldingengineer.com>

**c. ESW (*Electro Slag Welding*)**

ESW adalah pengelasan busur terhenti, pengelasan sejenis SAW namun bedanya pada ESW busur nyala mencairkan 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.

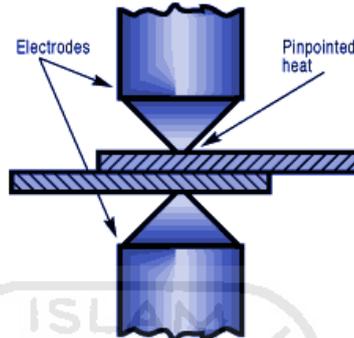


Gambar 2.8. **Pengelasan ESW (*Electro Slag Welding*)**

<http://www.weldingengineer.com>

**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.

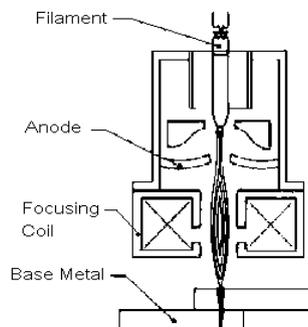


Gambar 2.9. **Pengelasan ERW (*Electric Resistance Spot Welding*)**

<http://www.weldingengineer.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 mengecilkkan kemungkinan oksidasi atau kontaminasi. Skema pengelasan SMAW dapat dilihat dalam gambar 2.10.



Gambar 2.10. **Pengelasan EBW (*Electro Beam Welding*)**

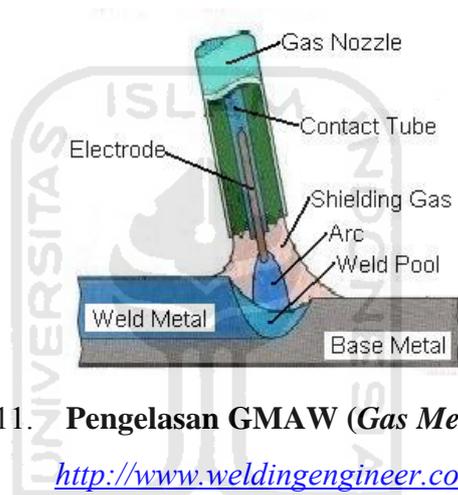
<http://www.weldingengineer.com>

f. **GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)**

Pengelasan GMAW terdiri dari :

- MAG (*Metal Active Gas*)
- 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 ditunjukkan pada gambar 2.11.

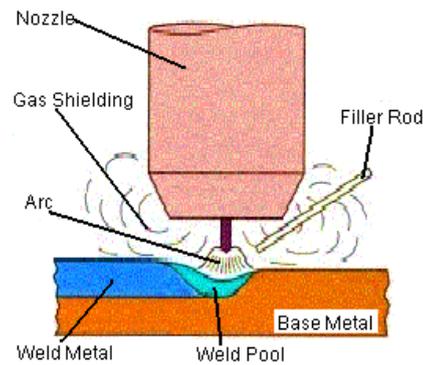


Gambar 2.11. **Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)**

<http://www.weldingengineer.com>

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

GTAW adalah pengelasan dengan memakai busur nyala dengan tungsten atau 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 ditunjukkan pada gambar 2.12.

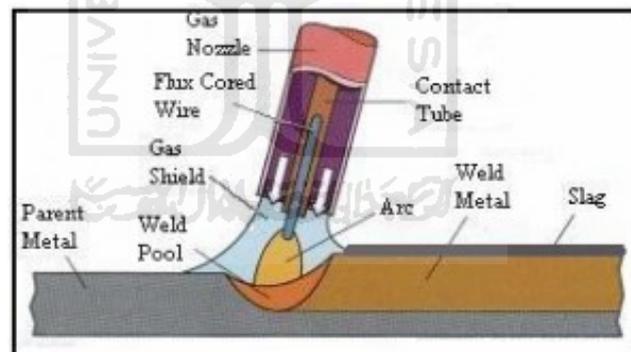


Gambar 2.12. **Pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)**

<http://www.weldingengineer.com>

**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 ditunjukkan pada gambar 2.13.



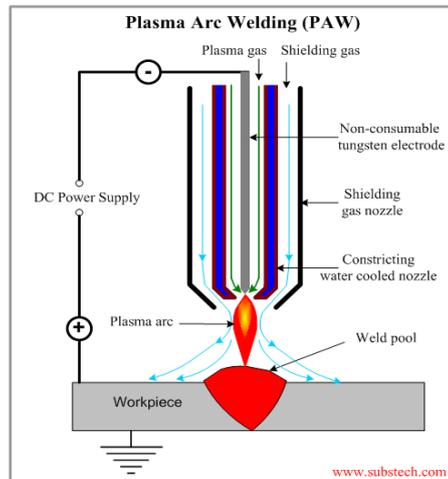
Gambar 2.13. **Pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)**

<http://www.weldingengineer.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 atau panas yang tinggi yang dapat menampung temperatur diatas  $5000^{\circ}C$ . Skema pengelasan PAW dapat ditunjukkan pada gambar 2.14.

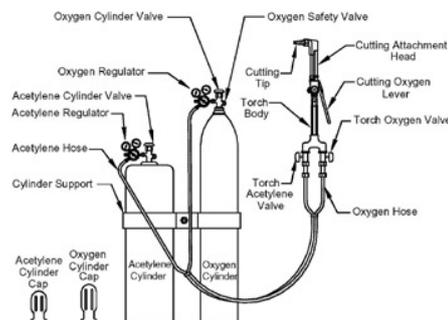


Gambar 2.14. **Pengelasan PAW (*Plasma Arc Welding*)**

<http://www.weldingengineer.com>

**j. OAW (*Oxygen Acetylene Welding*)**

OAW adalah sejenis las karbit atau 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*. Ad pula yang memakai bahan pemanas yang terdiri dari campuran gas hidrogen (H) dan zat asam ( $O_2$ ) yang disebut OHW (*Oxy Hidrogen Welding*). Skema pengelasan OAW dapat ditunjukkan pada gambar 2.15.

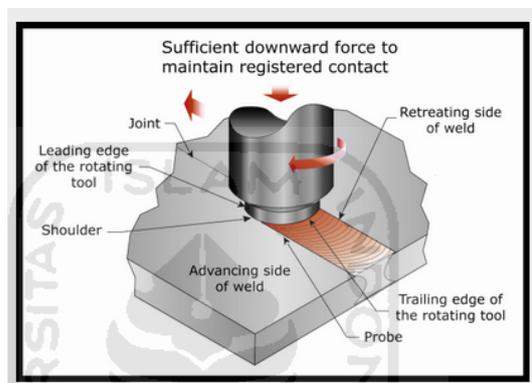


Gambar 2.15. **Pengelasan OAW (*Oxygen Acetylene Welding*)**

<http://www.weldingengineer.com>

**k. FSW (*Friction Stir Welding*)**

FSW adalah penekanan tool pada sisi sambungan yang akan dilas pada plat alumunium, pemutaran tool harus cepat pada saat bergesekan dengan alumunium, sehingga menyebabkan dan plat alumunium yang akan disambung meleleh dan menyambung, serta dibarengi berjalannya tool atau meja kerja (tempat alumunium) supaya alumunium 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 ditunjukkan pada gambar 2.16.

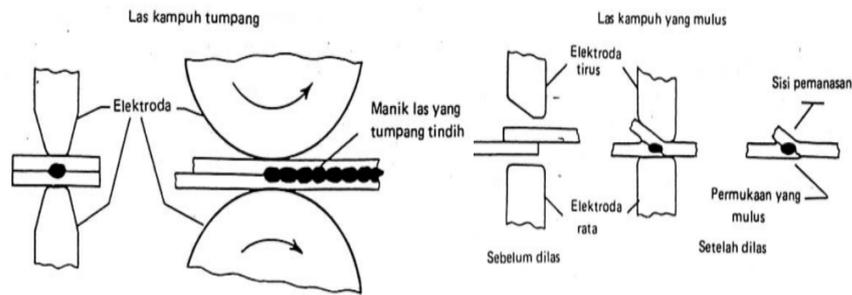


Gambar 2.16. Pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*)

<http://www.weldingengineer.com>

**l. Las Kampuh (*Seam Weld*)**

Las kampuh merupakan proses las untuk menghasilkan lasan yang berlanjut pada plat logam yang ditumpuk. Sambungan terjadi oleh panas yang ditimbulkan oleh tahanan listrik. Arus mengalir melalui elektroda ke plat sama seperti pengelasan titik. Metode ini sebenarnya merupakan pengelasan titik yang baik. Tiga jenis las kampuh yang sering dilakukan pada industri bisa dilihat pada gambar 2.17, yaitu las kampuh tumpang, las kampuh tindih, dan las kampuh yang mulus.



Gambar 2.17. **Jenis-jenis las kampuh resistansi listrik**

( [www.airmengalir.blogspot.com//jenislas](http://www.airmengalir.blogspot.com//jenislas) )

### 2.3 Las Resistansi Listrik

Las resistansi listrik adalah cara pengelasan di mana permukaan pelat yang disambung ditekan satu sama lain dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan tersebut menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik.

Pengelasan titik atau *resistance spot welding* adalah suatu bentuk pengelasan tahanan dimana suatu las dihasilkan pada suatu titik pada benda kerja di antara elektroda-elektroda pembawa arus, las akan mempunyai luas yang kira-kira sama dengan ujung elektroda ataupun biasa dengan ukuran yang berbeda-beda. Gaya yang dikenakan terhadap titik, yang biasanya melalui elektroda secara bersambung didalam proses pengelasan. Tidak ada busur api yang terbentuk. Ada beberapa hal yang penting dalam las titik.

- a. Elektroda paduan tembaga mempunyai tahanan terhadap aliran listrik yang lebih daripada bahan yang akan di las.
- b. Semakin besar tahanan terhadap aliran arus, semakin terkonsentrasi pengaruh panas.
- c. Sumber panas diperoleh dari transformator yang menyediakan elektroda las dengan arus las yang tinggi dan voltase yang sangat rendah.
- d. Urutan las adalah :
  - Gaya yang dikenakan melalui elektroda.
  - Arus mengalir selama periode waktu yang tertentu.
  - Gaya elektroda dijaga selama suatu periode setelah arus berhenti mengalir dan kemudian dilepaskan.

Pada pengelasan *resistance spot welding* terdapat siklus las yang terjadi. Khususnya pada las titik dibagi menjadi 4 (empat) tahapan waktu yaitu *squeeze time*, *weld time*, *hold time*, dan *off time*. *Squeeze time* adalah waktu diantara penekanan oleh elektroda dan saat dimulainya pengaliran arus listrik. *Weld time* adalah waktu dimana arus listrik sedang mengalir. *Hold time* adalah waktu dimana penekanan masih berjalan akan tetapi listrik tidak mengalir lagi. *Off time* adalah waktu elektroda lepas dari benda kerja yang tidak ada arus maupun tekanan.

Bila *weld time* terlalu kecil maka pencairan pada logam kurang cukup. Demikian pula bila power inputnya terlampau kecil maka *weld nugget* yang terbentuk belum cukup besar. Juga bila tekanan elektroda terlampau besar justru platnya akan penyok. Ada beberapa unsure-unsur yang mempengaruhi kekuatan dan struktur logam las diantaranya :

- a. Karakteristik arus yang digunakan apakah arus yang mengalir hanya memanasi bagian yang diinginkan atau justru sebaliknya.
- b. Kecepatan pendinginan.
- c. Bersih tidaknya gap dari kontaminator.
- d. Pemberian tekanan elektroda ketika pengelasan.

Pemberian tekanan ketika pengelasan juga harus diperhatikan, dengan kata lain bahwa tekanan berbanding terbalik terhadap kuat arus. Penekanan tadi dimaksudkan untuk menjamin kontak arus listrik sebelum mendapatkan sambungan yaitu dengan memberikan tekanan sesudah *weld time*. Ada beberapa kendala saat penekanan diberikan yaitu besarnya arus, lamanya arus diberikan (tergantung tebal plat), tebal plat, dan sifat fisik logam yang di las. Semakin tebal dipilihlah waktu yang singkat (namun diimbangi oleh arus dan gaya penekanan yang besar) guna menghindari penyebaran panas yang terlalu jauh. Prinsip proses las titik adalah bila arus listrik (*I ampere*) melalui suatu hambatan (*R ohm*) selama (*t*) detik, maka akan terjadi energi termal pada hambatan tersebut yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$H = I^2 R t \dots\dots\dots(2.10)$$

- Dimana
- H* = Jumlah energi termal yang timbul (joule)
  - I* = Kuat arus (ampere)
  - R* = Hambatan (ohm)

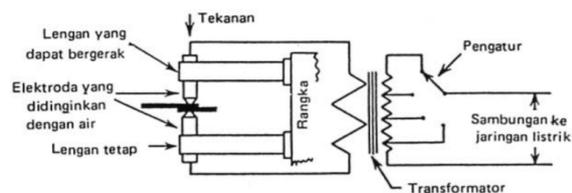
$t =$  Waktu (detik)

*Crack* atau retak pada nugget ataupun diluar yang menyebabkan terjadinya penyok pada permukaan plat yang disambung sama tidak baiknya pada pengelasan *resistance spot weld*. Selain pada titik lebur dari logamnya sendiri yang tidak sama, maka *crack* terlampau sering terjadi karena *over heated* dan *over pressure*. Perbedaan ketebalan plat dan perbedaan jenis logam akan menuntut adanya perlakuan yang berbeda dalam pemberian panas, besarnya tekanan serta diameter tip dari elektrodanya. Bila dihadapkan pada pengelasan lempengan dua logam yang berbeda konduktivitas listriknya antara logam 1 dengan logam 2 dan dengan ukuran ketebalan yang berbeda maka ukuran ujung elektrodanya tidaklah harus sama. Oleh sebab itu untuk pengelasan baja karbon rendah SS400 diberikan arus sedang dan tekanan elektroda yang besar.

Untuk bisa mencapai kualitas sambungan atau *weld nugget* yang baik, maka diameter tip harus sesuai dengan tebal plat yang harus di las. Namun diakhir dari pengelasan itu biasanya terdapat bekas identitas dari tip pada permukaan plat yang dilas. Proses pengelasan resistansi listrik meliputi : las titik, las proyeksi, las kampuh, las tumpul, las nyala, dan las perkusi.

### 2.3.1 Las Titik

Las titik adalah pengelasan memakai metode resistansi listrik dimana plat lembaran dijepit dengan dua elektroda. Ketika arus dialirkan maka terjadi sambungan las pada posisi jepitan. Siklus pengelasan titik dimulai ketika elektroda menekan plat dimana arus belum dialirkan. Waktu proses ini disebut waktu tekan. Setelah itu arus dialirkan ke elektroda sehingga timbul panas pada plat di posisi elektroda sehingga terbentuk sambungan las. Waktu proses ini disebut waktu las yang ditunjukkan pada diagram alat las titik yang terdapat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Diagram alat las titik

( [www.airmengalir.blogspot.com//jenislas](http://www.airmengalir.blogspot.com//jenislas) )

Setelah itu arus dihentikan namun tekanan tetap ada dan proses ini disebut waktu tenggang. Kemudian logam dibiarkan mendingin sampai sambungan menjadi kuat dan tekanan di hilangkan dan plat siap dipindahkan untuk selanjutnya proses pengelasan dimulai lagi untuk titik yang baru. Pengelasan RSW mempunyai kelebihan dan kekurangan diantaranya yaitu:

a. Kelebihan RSW :

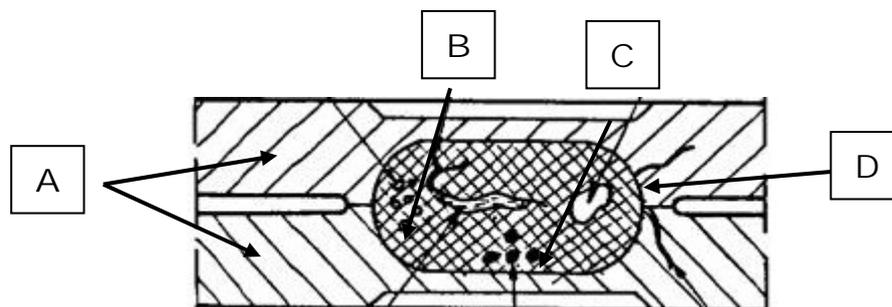
- Tidak diperlukan logam pengisi.
- Kecepatan produksi tinggi.
- Memiliki kemampuan ulang (*repeatability*) dan keandalan yang baik

b. Kekurangan RSW :

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

#### 2.4. Metalurgi Las (*Nugget*)

Daerah lasan atau *nugget* mempunyai beberapa bagian dalam strukturnya. Disetiap penyambungan dengan proses pengelasan hampir selalu dijumpai daerah-daerah ataupun bagian-bagian dari sambungan las mulai logam las atau *weldment*, garis penggabungan atau *fusion line*, daerah yang terpengaruh panas atau disebut *heat affected zone*, dan logam induk atau *base metal* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.19. *Nugget las titik*

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 terkena dampak 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 atau *Heat Affected Zone (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. Logam las atau *nugget***

Pada daerah ini material telah mengalami peleburan. Logam las (*nugget*) merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku. *Nugget* terbentuk dari pencairan dua logam induk tanpa adanya *filler metal* atau logam pengisi.

**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.

**2.5. Material**

**a. Baja karbon**

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya.

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. Asosiasi las Jepang dalam menentukan sifat mampu las dari baja menggunakan kadar karbon dimana unsur-unsur lain dinyatakan dalam karbon ekuivalen seperti persamaan dibawah ini:

$$C_{ek} = C + \frac{1}{6} + \frac{1}{24} Si + \frac{1}{40} Ni + \frac{1}{5} Cr + \frac{1}{4} Mo + \frac{1}{14} V \dots\dots\dots (2.11)$$

Ada beberapa faktor yang sangat mempengaruhi mampu las dari baja karbon rendah yaitu :

1. kekuatan tarik dan kepekaan terhadap retak las.
2. Baja dapat disambung dengan proses pengelasan.
3. Kemampuan las baja tergantung dari komponen kimia baja dengan menaikkan dan menurunkan kadar karbon C dan menaikkan kadar Mangan.

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**

(Sumber : Wiryosumarto, dan Okumura, 2000)

Jenis dan kelas		Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	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.

#### **b. Baja tahan karat**

Baja tahan karat tipe austenitik mempunyai kerentanan terhadap proses sensitasi. Sensitasi adalah proses pembentukan senyawa baru di batas butir antara suhu 580 – 850°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.

Baja tahan karat adalah baja paduan tinggi, maka jelas bahwa kualitas sambungan lasnya sangat dipengaruhi dan menjadi getas oleh panas pengelasan. Baja tahan karat kadang-kadang digunakan dalam pengelasan las busur rendam, 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 *Chrom* (Cr) 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 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) di permukaan baja untuk melindungi beberapa lingkungan korosif. Ada beberapa macam baja tahan karat, (Wiryosumarto, 2000) diantaranya adalah :

### **1. 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.

### **2. Baja tahan karat jenis ferit**

Baja tahan karat jenis ferit sangat sukar mengeras, tetapi butirnya mudah menjadi kasar yang menyebabkan ketangguhan dan keuletannya menurun. Terdiri dari 10,5% dan 27% kromium dan nikel sangat sedikit, jika ada, tetapi beberapa jenis dapat mengandung timah. Kebanyakan termasuk komposisi molibdenum, beberapa aluminium, atau titanium. Nilai feritik umum meliputi 18Cr-2Mo, 26Cr-1Mo, 29Cr-4Mo, dan 29Cr-4Mo-2Ni. Paduan ini bisa diturunkan dengan adanya kromium  $\sigma$ , fase intermetalik yang dapat memicu pada pengelasan.

### **3. 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 karbid khrom yang mengendap di antara butir, endapan ini terjadi pada suhu sekitar 650°C dan menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya.

Sifat mekanik dan sifat tahan karat dari logam las sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur. Karena semua jenis baja tahan karat dalam pengelasan akan mengalami penggetasan dan peretakan, maka harus dijaga agar logam las selalu terletak pada daerah aman. Struktur austenitik akan menjurus pada terbentuknya retak panas, tetapi retak ini sangat berkurang bila austenitik mengandung lebih dari 4% ferit. Dengan sifat di atas maka dalam pengelasan baja tahan karat austenitik hendaknya : pertama jangan dilakukan pemanasan mula tetapi dihindari terjadinya masukan panas yang tinggi sehingga tidak terjadi pengendapan antar butir dari karbid-khrom ; kedua sebaiknya digunakan elektroda jenis Nb, Ti atau karbon rendah ( $C \leq 0,03\%$ ) dan ketiga dipilih elektroda yang menghasilkan struktur logam las pada daerah aman.

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 dan lain-lainnya. Secara garis besar baja tahan karat dapat dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu jenis *ferit*, jenis *austenitik* dan jenis *martensit* seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.2.

**Tabel 2.2**

**Klasifikasi Baja Tahan Karat**

(Sumber : Wiryosumarto, dan Okumura, 2000)

Klasifikasi	Komposisi Utama (%)			Sifat mampu keras	Sifat tahan korosi	Sifat mampu tempa	Sifat mampu las	Kemagnitan
	Cr	Ni	C					
Baja tahan karat martensit	11-15	-	$\leq 1,20$	Mengeras sendiri	Kurang baik	Kurang baik	Tidak baik	Magnit
Baja tahan karat ferit	16-27	-	$\leq 0,35$	Tidak dapat dikeraskan	Baik	Baik	Kurang baik	Magnit
Baja tahan karat austenit	$\leq 16$	$\leq 7$	$\leq 0,25$	Tidak dapat dikeraskan	Baik sekali	Baik sekali	Baik sekali	Bukan magnit

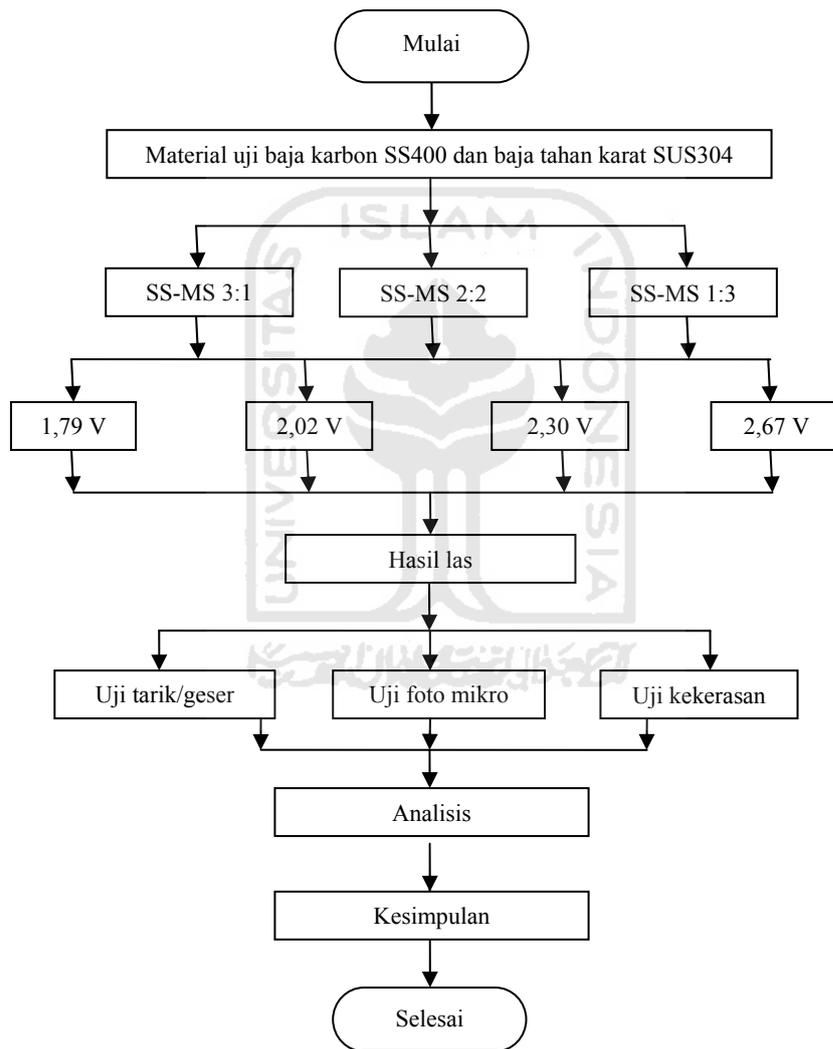


## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan-tahapan proses yang akan dilakukan seperti ditunjukkan oleh gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Bahan dan Alat

Pada penelitian ini bahan yang akan digunakan adalah baja karbon rendah dengan seri SS 400 dan baja tahan karat austenitik SUS 304 yang biasa digunakan pada industri perkapalan dan kereta api. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan kode MS (*mild steel*) untuk baja karbon rendah dan SS (*stainless steel*) untuk baja tahan karat austenitik. Komposisi kimia dari baja karbon rendah SS 400 ditunjukkan oleh tabel 3.1 dan komposisi kimia dari baja tahan karat austenitic SUS 304 ditunjukkan oleh table 3.2.

**Tabel 3.1.**

**Komposisi kimia baja karbon rendah SS400**

No	Comp (%)	Sampel	
		Plat 3mm	Plat 2mm
1	Fe	99.534	99.498
2	C	0.08706	0.09063
3	Mn	0.24456	0.25776
4	Si	0.01917	0.01949
5	P	0.01102	0.01667
6	S	0.02923	0.01915
7	Ni	0.00548	0.00866
8	Cr	0.00405	0.00885
9	Cu	0.00674	0.00686
10	Mo	0.00085	0.00050
11	V	0.00068	0.00041
12	Ti	0.00105	0.00107
13	Al	0.03557	0.04240
14	Nb	0.00071	0.00061
15	W	0.00027	0.00007
16	As	0.00977	0.01357
17	Sn	0.00069	0.00044
18	Co	0.00153	0.00220
19	Pb	0.00291	0.00278
20	B	0.00024	0.00025
21	Sb	0.00145	0.00025
22	Bi	0.00188	0.00217
23	Ca	0.00051	0.00060
24	Mg	0.00024	0.00034
25	Zn	0.00118	0.00085
26	N	0.04618	0.04864

**Tabel 3.2.**

**Komposisi kimia baja tahan karat austenitik SUS304**

No	Comp (%)	Austenitik SUS304
1	C	0.08
2	Mn	2.00
3	P	0.045
4	S	0.030
5	Si	0.75
6	Cr	18.00-20.00
7	Ni	8.00-10.50
8	Mo	-
9	N	0.10
10	Cu	-

Alat yang digunakan dalam penelitian ini beserta fungsinya ditunjukkan pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3.**

**Alat uji**

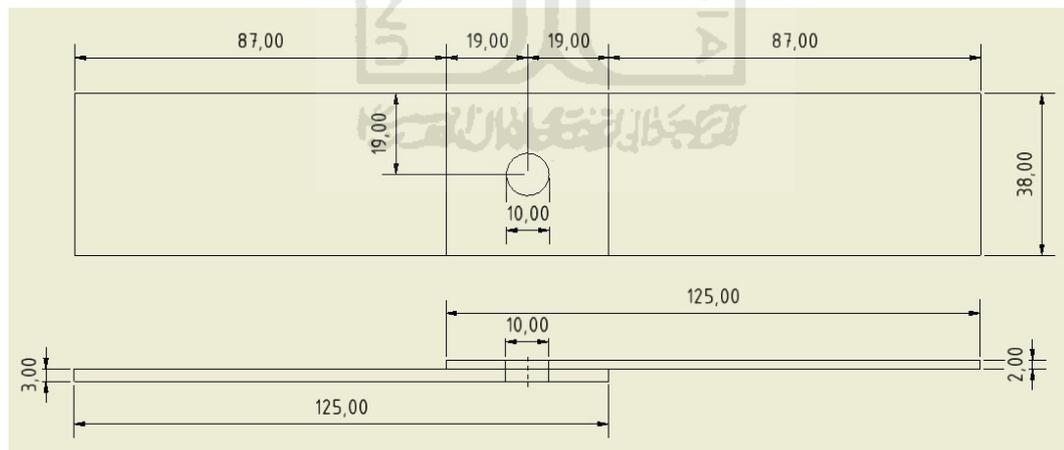
No	Mesin	Keterangan
1	Mesin las RSW	Untuk pengelasan
2	Mesin uji tarik geser	Menguji kekuatan material
3	Foto mikro	Untuk melihat struktur mikro material
4	Mesin uji kekerasan mikro vickers	Menguji kekerasan material
5	Mesin uji <i>spectrum</i>	Mengamati komposisi kimia material
6	Amplas	Untuk membersihkan permukaan material

### 3.3. Pengelasan RSW (*Resistance Spot Welding*)

Rancangan sambungan las titik (RSW) pada penelitian ini adalah seperti pada gambar 3.2. Parameter las dan kombinasi tebal sambungan adalah seperti terlihat pada table 3.4.

**Tabel 3.4.**  
**Parameter pengujian**

NO	TEBAL T1 (mm)	TEBAL T2 (mm)	TEGANGAN LISTRIK (V)	KETERANGAN
1	3	1	A1=1,79	Replikasi 3 sampel sehingga total uji geser tarik 12 x 3 = 36 sampel
			A2=2,02	
			A3=2,30	
			A4=2,67	
2	2	2	A1=1,79	
			A2=2,02	
			A3=2,30	
			A4=2,67	
3	1	3	A1=1,79	
			A2=2,02	
			A3=2,30	
			A4=2,67	

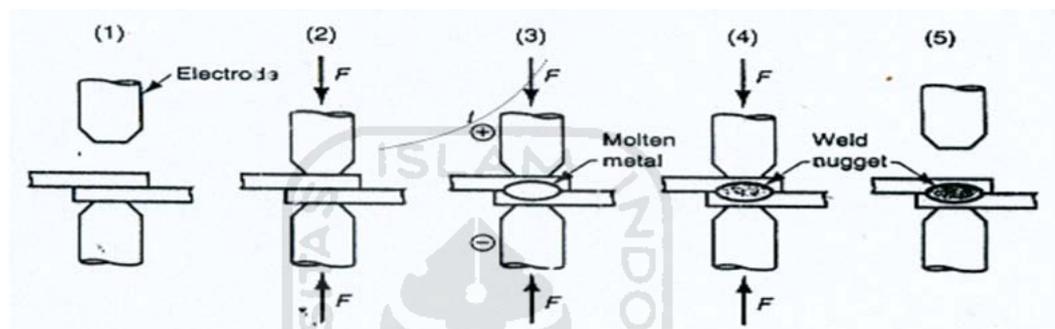


**Gambar 3.2. Dimensi spesimen**

Proses pengelasan *resistance spot welding* mempunyai tahapan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan plat baja karbon rendah dan baja tahan karat yang akan dilas.
2. Menghaluskan salah satu sisi permukaan (antar muka).
3. Memilih arus dan waktu yang sesuai atau diinginkan

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. Arus listrik dialirkan (disebut waktu las).
8. Arus listrik diputus, tekanan tetap atau ditambah (arus yang kecil kadang-kadang digunakan sesaat menjelang akhir tahapan ini, untuk menghilangkan tegangan sisa dari daerah las).
9. Melepas panel injakan , dan benda kerja yang telah dilas dapat dipindahkan.



Gambar 3.3 Tahapan siklus pengelasan titik

Las RSW dilakukan dengan elektroda atas dengan diameter 6 mm dan mempunyai panjang 165 mm, untuk diameter bawah 7 mm dan mempunyai panjang 165 mm. Gambar 3.4 menunjukkan alat RSW yang digunakan, dan gambar 3.5 menunjukkan elektroda yang digunakan.



Gambar 3.4. Alat RSW (*Resistance Spot Welding*)



Gambar 3.5. Elektroda atas dan bawah

### 3.4. Pengujian Material RSW

Pengujian material RSW dan material akan dilakukan dalam 4 pengujian antara lain : pengujian tarik geser, pengujian foto mikro, pengujian kekerasan mikro *Vickers*.

#### 3.4.1. Pengujian foto mikro

Pengujian foto mikro dilakukan untuk struktur mikro dari material baja karbon rendah dan baja tahan karat. Setelah dilakukan pengujian tarik dan didapatkan arus listrik yang optimum untuk setiap spesimen, kemudian dilakukan pengujian foto mikro untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada daerah las, HAZ dan logam induk. Spesimen dipotong sesuai kebutuhan kemudian diresin agar mempermudah dalam melakukan pengujian foto mikro. Spesimen yang telah diresin kemudian diampelas hingga halus selanjutnya digosok menggunakan kain beludru yang telah diberi *autosol* kemudian spesimen dietsa menggunakan cairan kimia yang sesuai dengan material. Dalam pengujian ini digunakan dua cairan etsa yang berbeda, karena spesimen yang akan diuji terdiri dari dua material yang berbeda yaitu, baja tahan karat austenitik dan baja karbon rendah. Dari hasil pengujian foto mikro dapat dilihat perubahan struktur mikro yang terjadi akibat panas dari proses pengelasan.

Alat uji yang digunakan adalah foto mikro yang mempunyai perbesaran yang bisa diatur. Sifat mekanik sangat tergantung pada struktur mikro, sedangkan struktur mikro sangat mudah diubah melalui proses perlakuan panas. Gambar 3.6 merupakan alat yang digunakan untuk foto mikro pada spesimen baja tahan karat SUS 304 dan baja karbon rendah SS 400 yang telah di resin sebelumnya.



Gambar 3.6. **Alat uji foto mikro**

Sedangkan untuk pengujian foto makro ditunjukkan gambar 3.7. Foto makro merupakan keseluruhan dari logam induk hingga daerah las.



Gambar 3.7. **Alat uji foto makro**

#### **3.4.2. Pengujian kekerasan**

Pengujian kekerasan mikro Vickers dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material yang di uji. Kekerasan material adalah kekuatan material menerima beban tekan dari penetrator terhadap permukaan materialnya. Metode pengujian kekerasan ini menggunakan metode mikro *Vickers Hardness*, Pengujian

dilakukan sebanyak 8 kali pada material uji dengan rincian pengujian pada tabel 3.5. Uji kekerasan vickers menggunakan indentor yang berbentuk piramid intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan sudut 136°. Alat yang digunakan dalam pengujian kekerasan mikro *Vickers* ditunjukkan pada gambar 3.8. Angka kekerasan *Vickers* (*Vickers hardness number*, VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi dengan luas permukaan lekukan. Untuk menghitung nilai *Vickers hardness number* digunakan rumus :

$$\text{VHN} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \dots\dots\dots (3.1)$$

- Diketahui : VHN = *Vickers Hardness Number* (kg/mm<sup>2</sup>)  
P = beban (kg)  
d<sup>2</sup> = diameter rata-rata (mm)

**Tabel 3.5.**  
**Parameter pengujian mikro vickers dari pusat las**

No	Tebal	Jarak	Keterangan
1	Untuk tebal 1mm, 2mm, 3mm	0,0	Jarak diukur dari pusat las ( <i>nugget</i> ) berjalan ke kiri ke logam induk
		0,5	
		1,0	
		1,5	
		2,0	
		2,5	
		3,0	
		3,5	



Gambar 3.8. Alat uji mikro vickers

### 3.4.3. Pengujian tarik/geser

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan perubahan-perubahan dari suatu logam terhadap perbedaan tarik. 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 standar ukurannya dipasang pada benda tarik kemudian diberi beban (gaya tarik) secara perlahan lahan dimulai dari nol hingga maksimum. Gambar 3.9 menunjukkan alat uji tarik-geser yang digunakan dalam pengujian ini.



Gambar 3.9. Alat uji tarik

Setiap kali dibuat catatan mengenai perubahan pertambahan panjang dan gaya yang diberikan. Hasil tersebut digambarkan dalam sebuah diagram tegangan regangan. Untuk menghitung tegangan tarik digunakan rumus :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (3.2)$$

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

F = Gaya (N)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

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

$$\epsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.3)$$

- Diketahui :
- $\epsilon$  = Regangan (%)
  - $\Delta L_0$  = Pertambahan panjang (mm)
  - $L_0$  = Panjang mula-mula (mm)





Pada sambungan SS-MS 2:2 *nugget* yang terbentuk simetri pada plat SS dan MS, hal ini dikarenakan terjadi keseimbangan panas antara kedua plat yang disambung. Pada sambungan SS-MS 1:3 dan 3:1 *nugget* yang terbentuk tidak simetri disebabkan panas tidak seimbang karena perbedaan tebal material. *Nugget* akan cenderung terjadi pada plat yang lebih tebal, karena plat yang lebih tebal memiliki resistansi listrik yang lebih tinggi.

Dari gambar-gambar tersebut, terlihat bahwa daerah las dapat dibagi menjadi empat daerah utama, yaitu *nugget* (n), daerah terpengaruh panas (HAZ), daerah garis penggabungan (FL) dan daerah induk (BM). Dari hasil pengamatan struktur makro tersebut tampak bahwa terjadi fusi antara kedua plat yang disambung .

## **4.2. Pengamatan Foto Mikro**

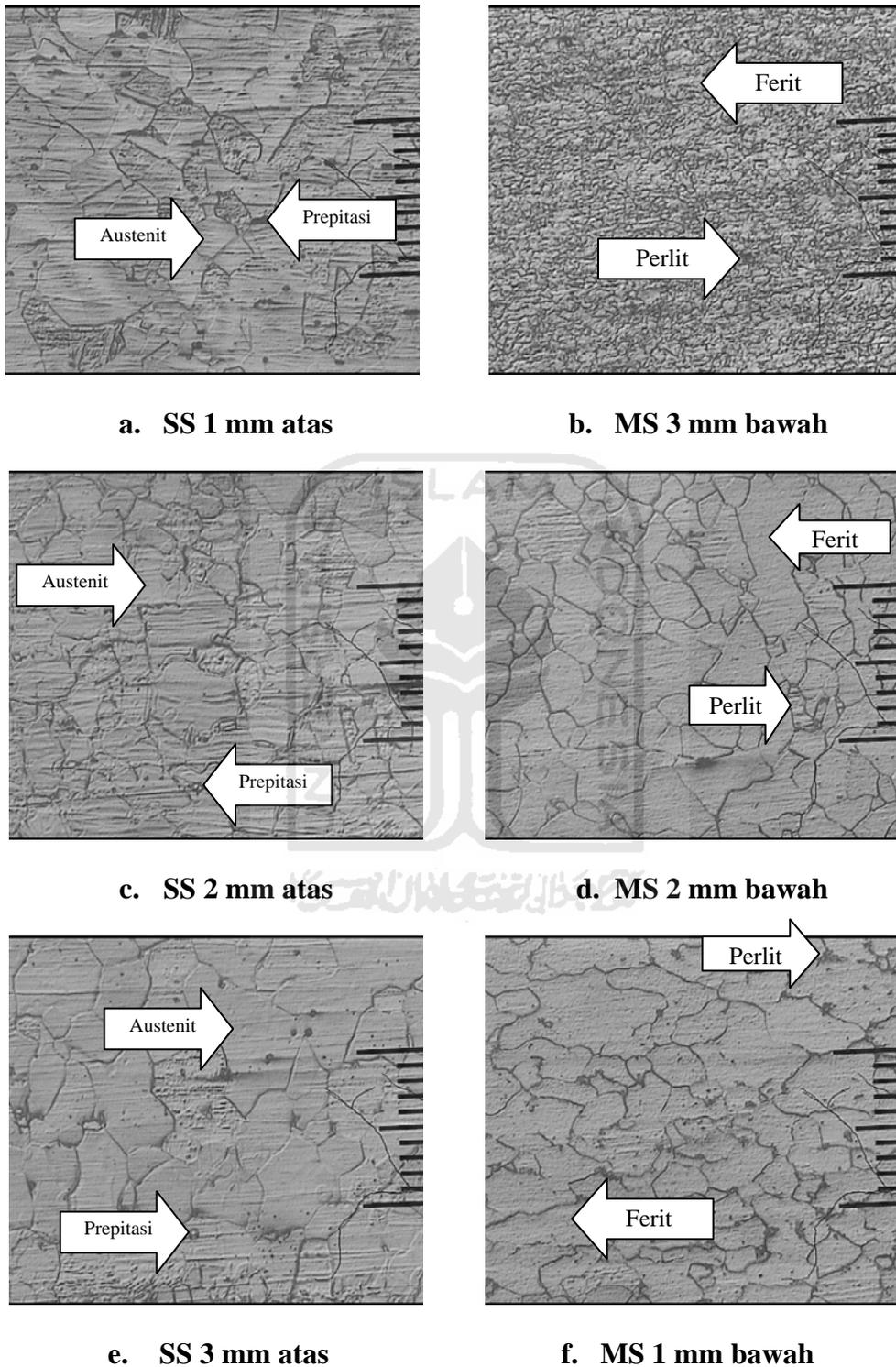
### **4.2.1. Logam Induk**

Hasil pengamatan foto mikro dari baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik pada daerah induk dengan ketebalan SS-MS 1:3, 2:2, 3:1 ditunjukkan oleh gambar 4.2. Foto mikro diambil dengan perbesaran 200x, skala 10 strip pada foto menunjukkan 50  $\mu\text{m}$ .

Struktur mikro yang terbentuk pada logam induk setelah pengelasan pada baja tahan karat austenitik SUS304 adalah fasa austenit. Fasa austenit ditunjukkan oleh struktur yang berwarna putih, sedangkan daerah yang berupa titik pada struktur mikro merupakan prepitasi. Prepitasi bukanlah fasa tetapi unsur yang masuk ke dalam material baja tahan karat dalam jumlah yang kecil akibat elektroda dari proses pengelasan.

Pada baja karbon rendah SS400 struktur mikro yang terbentuk pada logam induk setelah pengelasan adalah fasa ferit dan fasa perlit. Struktur yang berwarna putih merupakan fasa ferit, sedangkan unsur yang berwarna lebih gelap adalah fasa perlit. Pada material baja karbon rendah dengan tebal 3 mm memiliki besar butir yang berbeda dengan material tebal 2 mm dan 1 mm, hal ini disebabkan oleh proses pada pembuatan material saat dibentuk lembaran. Ada dua proses yang dapat dilakukan dalam pembuatan material untuk menjadi lembaran yaitu, *hot*

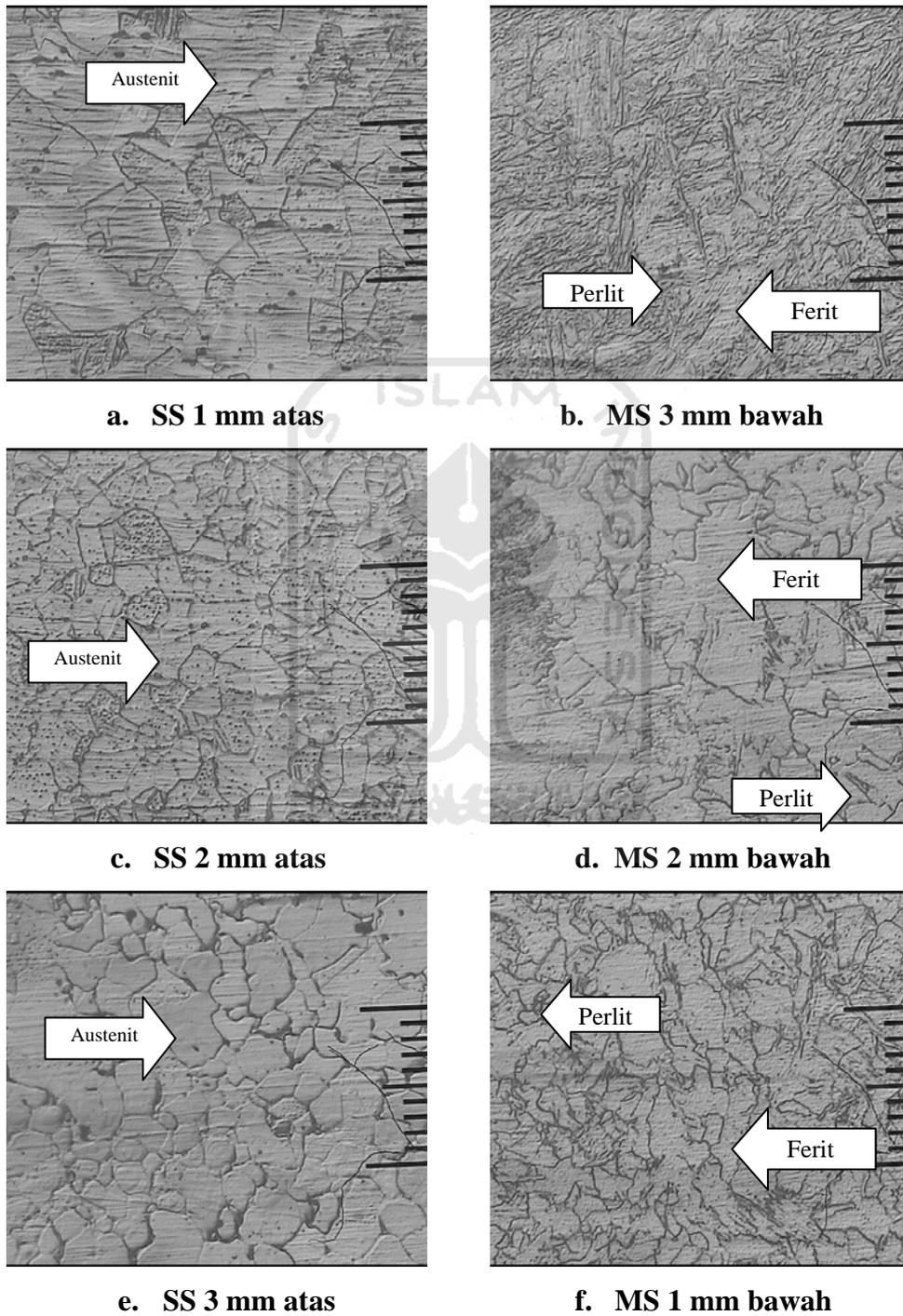
*rolling* dan *cold rolling*. Namun perbedaan ukuran butir ini tidak berpengaruh signifikan pada nilai kekerasan dari material baja karbon.



Gambar 4.2. Foto mikro logam induk SS-MS

#### 4.2.2. Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*)

Berikut ini adalah hasil pengamatan struktur mikro baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik dengan ketebalan SS-MS 1:3, 2:2 dan 3:1 pada daerah HAZ yang ditunjukkan oleh gambar 4.3.



Gambar 4.3. Foto mikro daerah HAZ SS-MS

Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) adalah logam induk yang terkena dampak panas pengelasan dan sedikit mengubah struktur dari material. Dari gambar 4.3 dapat dilihat perubahan struktur daerah HAZ pada baja tahan karat dan baja karbon rendah. Perubahan terjadi pada ukuran butir yang semakin kecil dibandingkan dengan ukuran butir pada logam induk. Namun fasa yang terbentuk pada daerah HAZ sama dengan fasa pada logam induk.

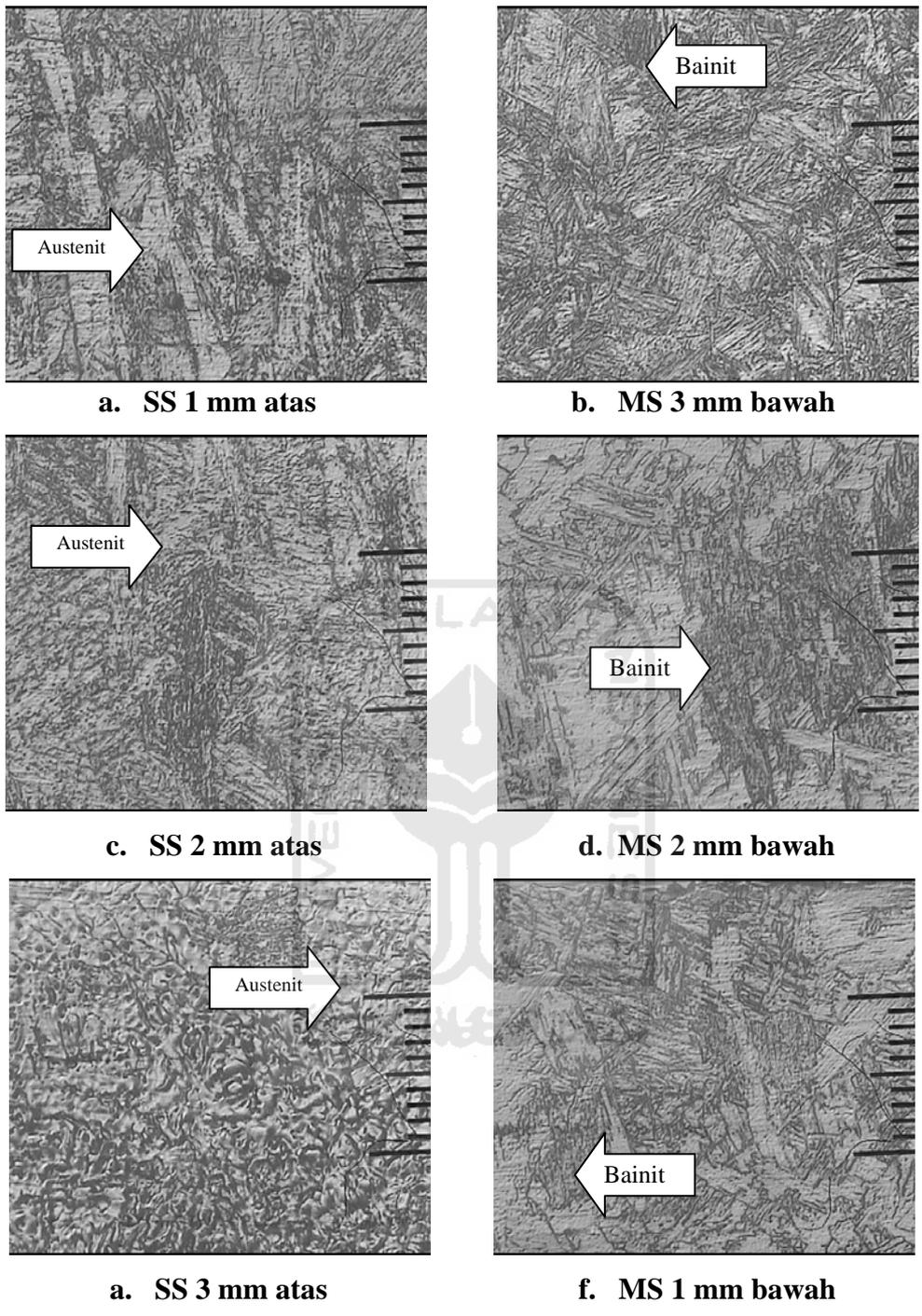
Pada daerah HAZ baja tahan karat, struktur mikro yang terbentuk adalah fasa austenit. Perbedaannya dengan daerah logam induk adalah pada ukuran butirnya, ukuran butir pada HAZ lebih kecil dibandingkan dengan ukuran butir pada logam induk. Pada HAZ baja karbon rendah struktur mikro yang terbentuk masih sama dengan logam induk yaitu, fasa ferit dan fasa perlit dengan ukuran butir yang lebih kecil daripada ukuran butir logam induk.

#### **4.2.3. Daerah las (*Nugget*)**

Pada gambar 4.4 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik dengan ketebalan SS-MS 1:3, 2:2 dan 3:1 pada daerah HAZ.

Pada daerah las struktur mikro berubah karena faktor panas yang terjadi saat pengelasan. Pada daerah las material telah melewati titik kritisnya sehingga terjadi perubahan butir dan fasa. Pada baja tahan karat tidak terjadi perubahan fasa, fasa yang terjadi di daerah pengelasan tetap austenit namun ukuran butirnya menjadi lebih kecil dibandingkan pada daerah HAZ dan logam induk.

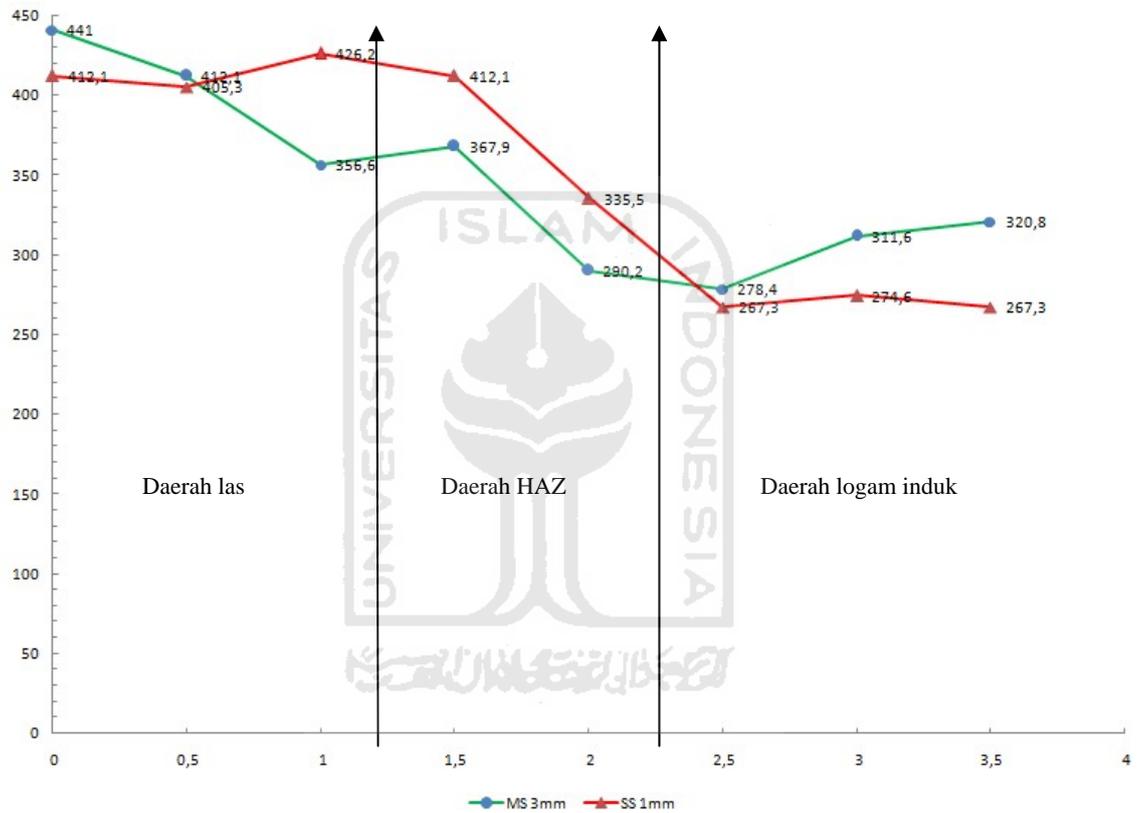
Pada baja karbon rendah terjadi perubahan fasa dan ukuran butir. Fasa yang terbentuk pada daerah las baja karbon rendah adalah fasa bainit. Fasa bainit memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan fasa ferit dan fasa perlit.



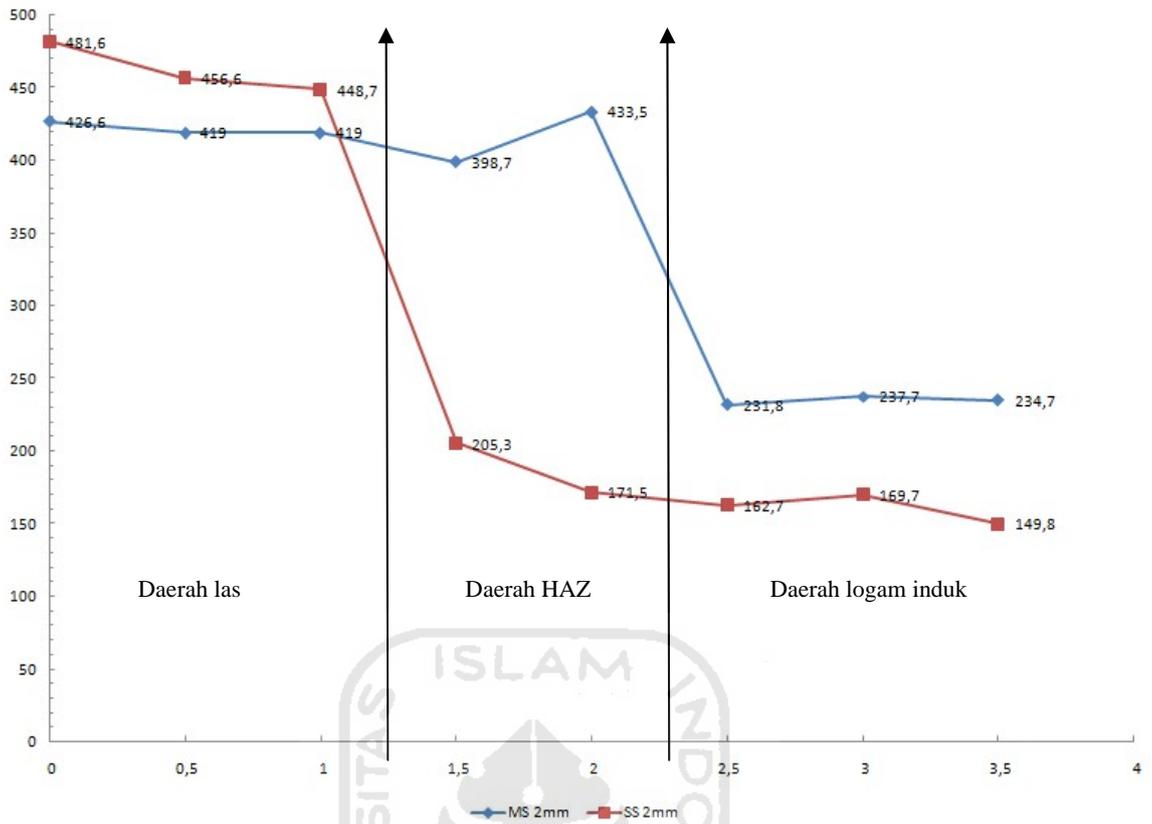
Gambar 4.4. Foto mikro daerah las SS-MS

### 4.3. PENGUJIAN KEKERASAN (*Vickers Hardness*)

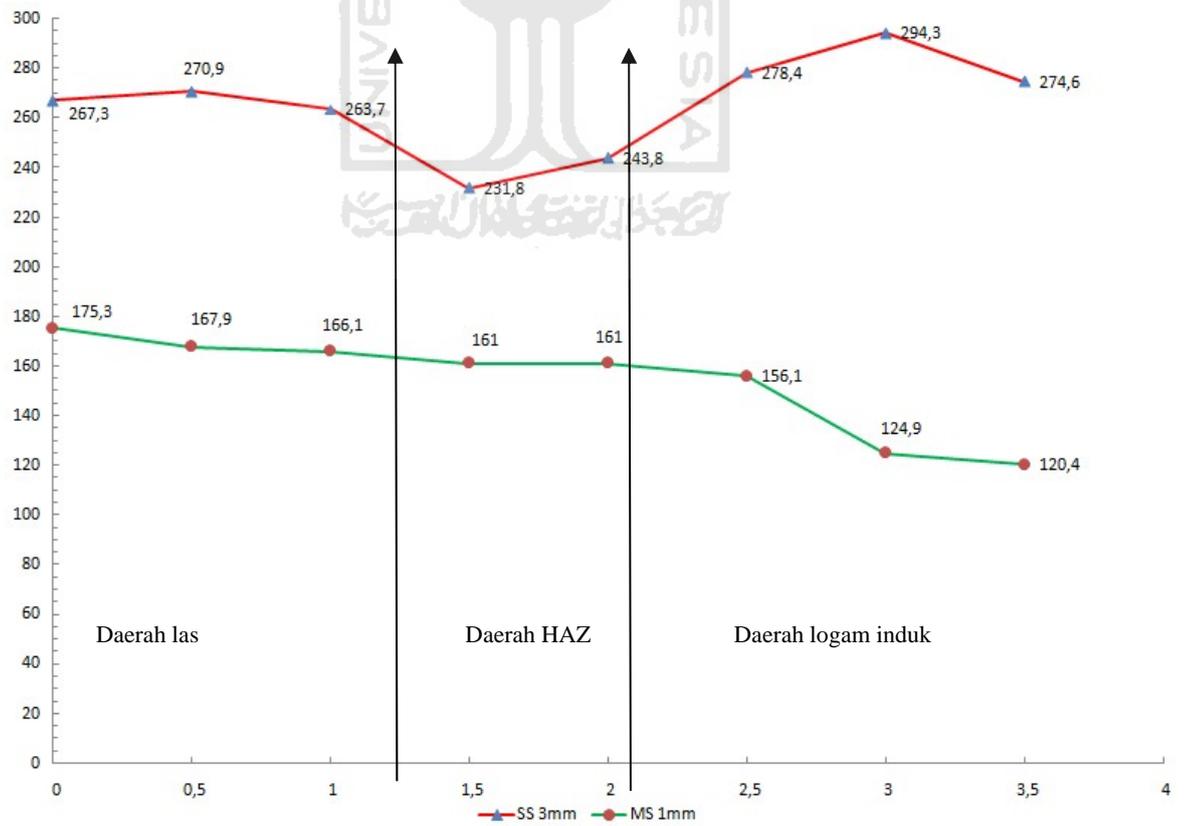
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Vickers Micro Hardness*. Keuntungan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* adalah bekas penekanannya kecil, pengukurannya teliti, dan *range* ukurnya besar. Pengujian dilakukan untuk membandingkan nilai kekerasan pada logam induk, daerah HAZ, dan *nugget*. Angka kekerasan *Vickers* dapat ditentukan dengan persamaan 3.3.



Gambar 4.5. Grafik *vickers hardness* SS-MS 1:3



Gambar 4.6. **Grafik vickers hardness SS-MS 2:2**



Gambar 4.7. **Grafik vickers hardness SS-MS 3:1**

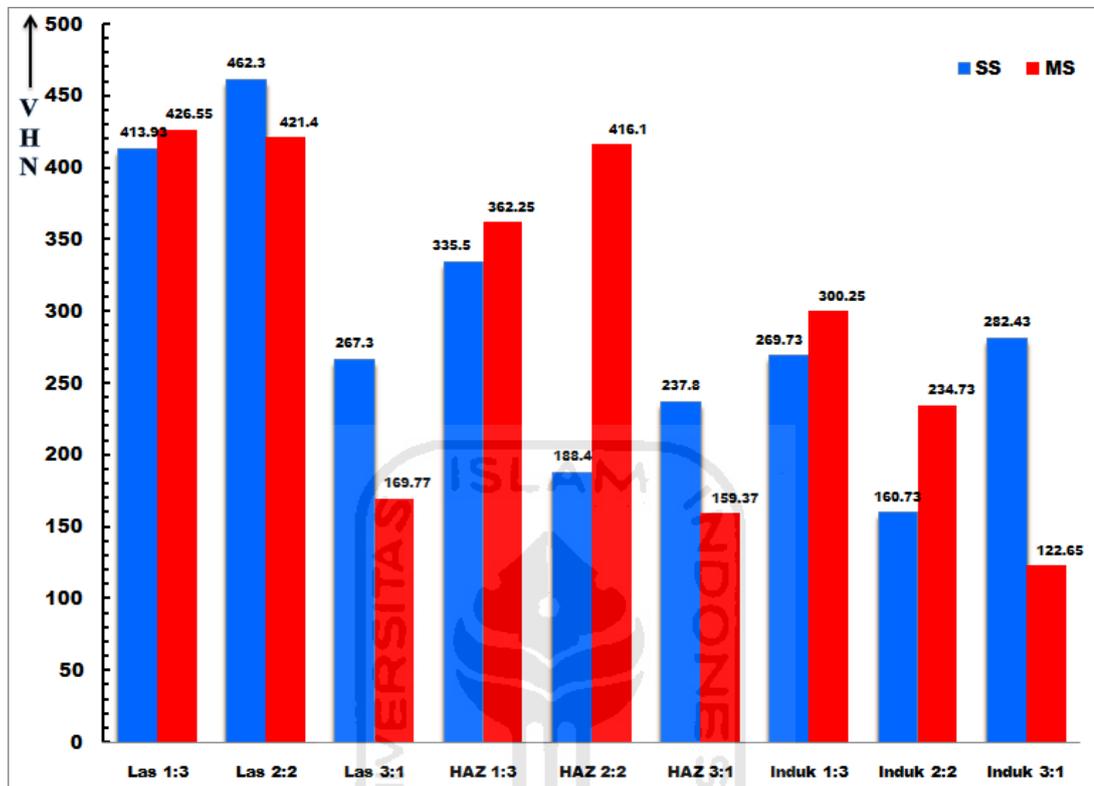
Perbandingan nilai kekerasan logam induk, HAZ dan *nugget* pada sambungan las titik dengan ketebalan SS-MS 1:3, 2:2 dan 3:1 masing-masing diperlihatkan pada gambar 4.5, 4.6 dan 4.7, sedangkan gambar 4.8 merupakan perbandingan nilai kekerasan rata-rata dari ketiga kondisi tebal tersebut. Secara umum terlihat bahwa ada peningkatan kekerasan HAZ dibandingkan dengan logam induk dan daerah *nugget* memiliki kekerasan yang paling tinggi. Hal ini disebabkan oleh ukuran butir struktur mikro masing-masing material.

Dari gambar 4.5 bisa dilihat kenaikan nilai VHN dari logam induk, HAZ dan daerah las. Nilai kekerasan rata-rata untuk material SS dengan tebal 1 mm pada daerah logam induk adalah 269,73 kg/mm<sup>2</sup>, HAZ 335,50 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada daerah las adalah 413,93 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk material MS dengan tebal 3 mm pada daerah logam induk adalah 300,25 kg/mm<sup>2</sup>, HAZ 362,25 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada daerah las adalah 426,55 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan rata-rata diambil berdasarkan nilai kekerasan yang telah dihitung pada masing-masing jarak pengujian. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1 pada lampiran.

Pada gambar 4.6 bisa dilihat kenaikan nilai VHN dari logam induk, HAZ dan daerah las. Nilai kekerasan rata-rata untuk material SS dengan tebal 2 mm pada daerah logam induk adalah 160,73 kg/mm<sup>2</sup>, HAZ 188,40 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada daerah las terjadi peningkatan kekerasan yang sangat tinggi yaitu sekitar 287 kg/mm<sup>2</sup> menjadi 462,30 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk material MS dengan tebal 2 mm pada daerah logam induk adalah 234,73 kg/mm<sup>2</sup>, kemudian pada daerah HAZ terjadi peningkatan nilai kekerasan sekitar 170 kg/mm<sup>2</sup> menjadi 416,1 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada daerah las nilai kekerasannya adalah 421,40 kg/mm<sup>2</sup> yang mengalami peningkatan dibanding kekerasan pada daerah HAZ. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2 pada lampiran.

Dari gambar 4.7 bisa dilihat terjadi penurunan nilai VHN pada material SS sedangkan pada material MS terjadi kenaikan nilai VHN dari logam induk, HAZ dan daerah las. Nilai kekerasan rata-rata untuk material SS dengan tebal 3 mm pada daerah logam induk adalah 282,43 kg/mm<sup>2</sup>, HAZ 237,80 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada daerah las adalah 267,30 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk material MS dengan tebal 1 mm pada daerah logam induk adalah 122,65 kg/mm<sup>2</sup>, HAZ 159,37 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada daerah las adalah 169,77 kg/mm<sup>2</sup>. Pada material MS, kekerasan di daerah

las, HAZ dan logam induk tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Hal tersebut disebabkan panas yang tidak terlalu berpengaruh pada hasil las logam MS. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3 pada lampiran.



Gambar 4.8. Diagram rata-rata *vickers hardness number*

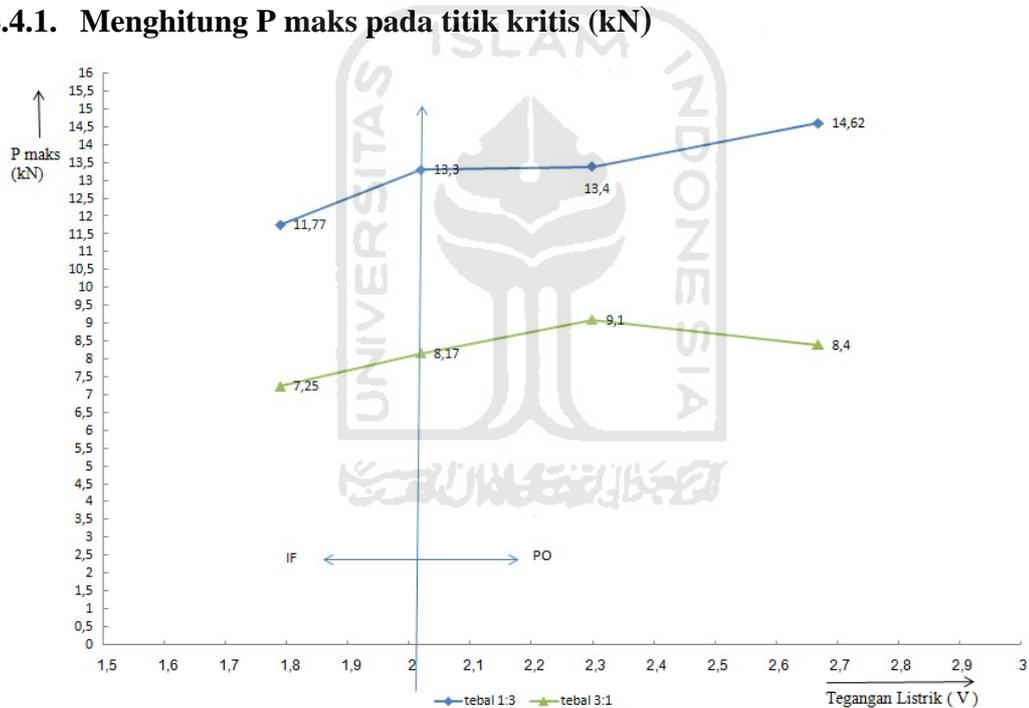
Gambar 4.8 merupakan rata-rata dari nilai kekerasan pada daerah logam induk, HAZ dan daerah las pada masing-masing spesimen. Dari diagram dapat terlihat perbedaan nilai VHN pada logam induk, HAZ dan daerah las. Secara umum nilai VHN mengalami kenaikan dari logam induk, kemudian nilai kekerasannya naik pada daerah HAZ dan pada daerah las nilai kekerasannya paling tinggi. Perubahan nilai kekerasan ini terpengaruh dari perubahan struktur mikro yang terjadi pada proses pengelasan.

#### 4.4. Pengujian Tarik

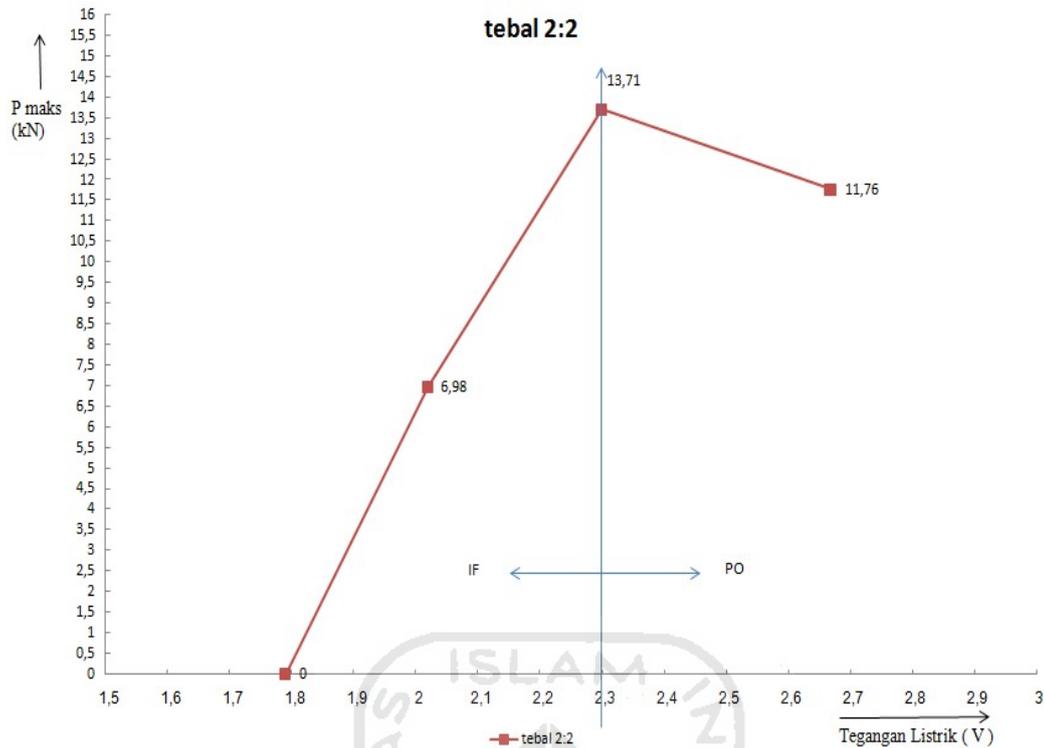
Pengujian tarik dilakukan setelah semua spesimen dilakukan pengelasan RSW. Setiap spesimen dengan ketebalan dan arus yang berbeda dilakukan 12 kali pengujian tarik. Pengelasan RSW dilakukan dengan menggunakan variasi

tegangan dan perbedaan tebal pada spesimen, tegangan yang digunakan pada spesimen SS:MS dengan ketebalan 1:3, 2:2 dan 3:1 yaitu 1.79V, 2.02V, 2.30V, 2.67V. Dilakukan pengujian tarik sehingga didapatkan grafik yang menunjukkan daerah elastis dan plastis dari setiap spesimen. Pada saat terjadi patahan pada spesimen dilakukan pengukuran terhadap diameter *nugget* menggunakan jangka sorong, *nugget* itu sendiri merupakan bekas hasil pengelasan RSW. Hasil diameter *nugget* dapat dilihat pada tabel 4.4. Kemudian menghitung rata-rata P maks (tegangan puncak) dan rata-rata diameter *nugget*. Perhitungan dilakukan pada titik kritis puncak terjadinya patahan di daerah plastis. Pemilihan titik kritis dilakukan secara random antara IF dan PF sehingga pada daerah plastis terlihat puncak patahan.

#### 4.4.1. Menghitung P maks pada titik kritis (kN)



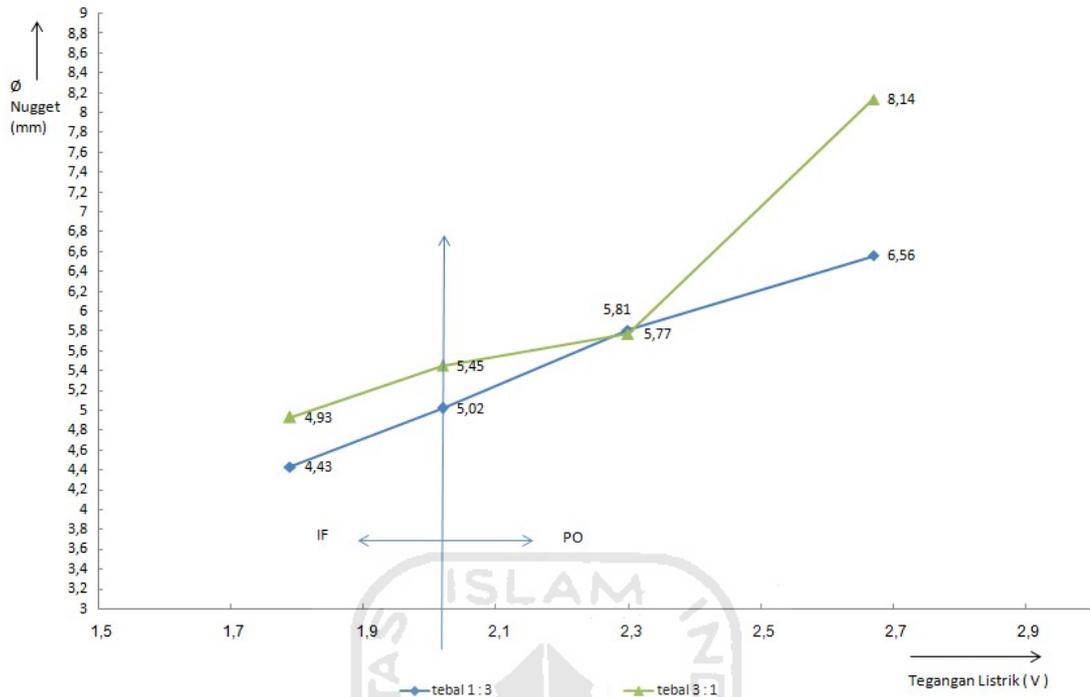
Gambar 4.9. Grafik perbandingan tegangan listrik dengan P maks (SS : MS / 1:3 dan 3:1)



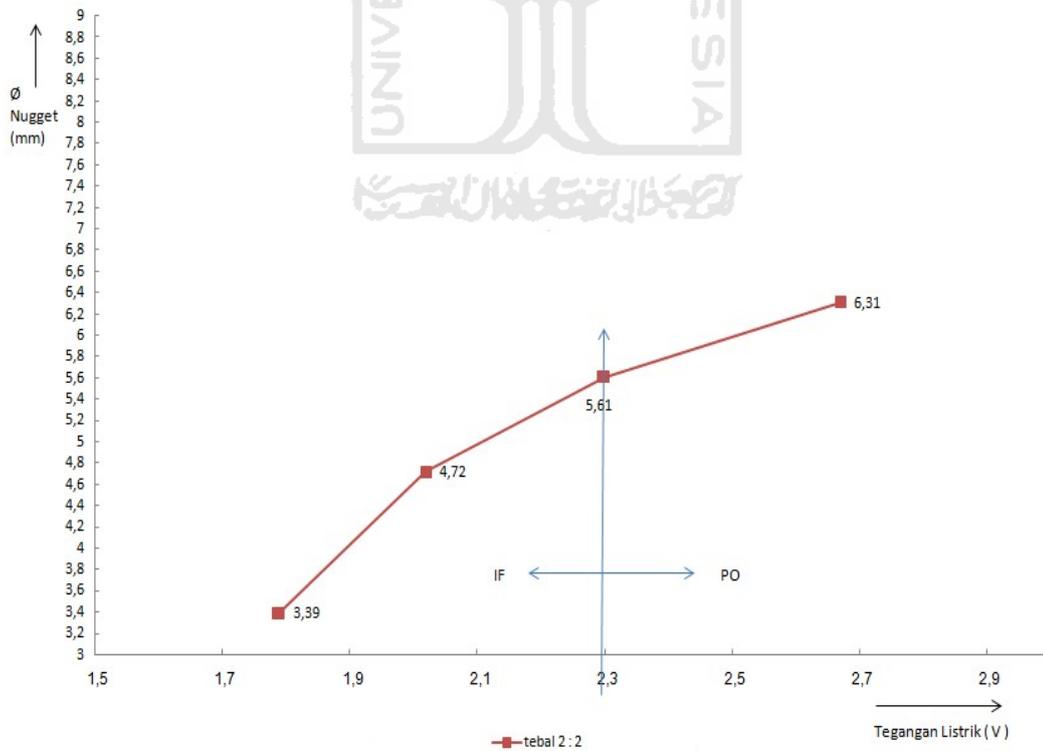
**Gambar 4.10. Grafik perbandingan tegangan listrik dengan P maks (SS : MS / 2:2)**

Variasi arus dan ketebalan sangat berpengaruh pada besarnya gaya tarik yang terjadi. Pada gambar 4.9 dan 4.10 menunjukkan grafik perbandingan antara tegangan listrik (*Volt*) dan gaya tarik (kN). Dari grafik tersebut titik kritis pada tebal 1:3 dan 3:1 berada pada tegangan 2,02V, sedangkan untuk tebal 2:2 pada tegangan 2,30V. Pada grafik di atas dapat terlihat perubahan gaya tarik (kN) pada masing-masing variasi arus. Hasil pengujian tarik untuk P maksimum pada titik kritis dapat dilihat pada tabel 4.5 pada lampiran.

#### 4.4.2. Menghitung rata-rata diameter nugget (mm)

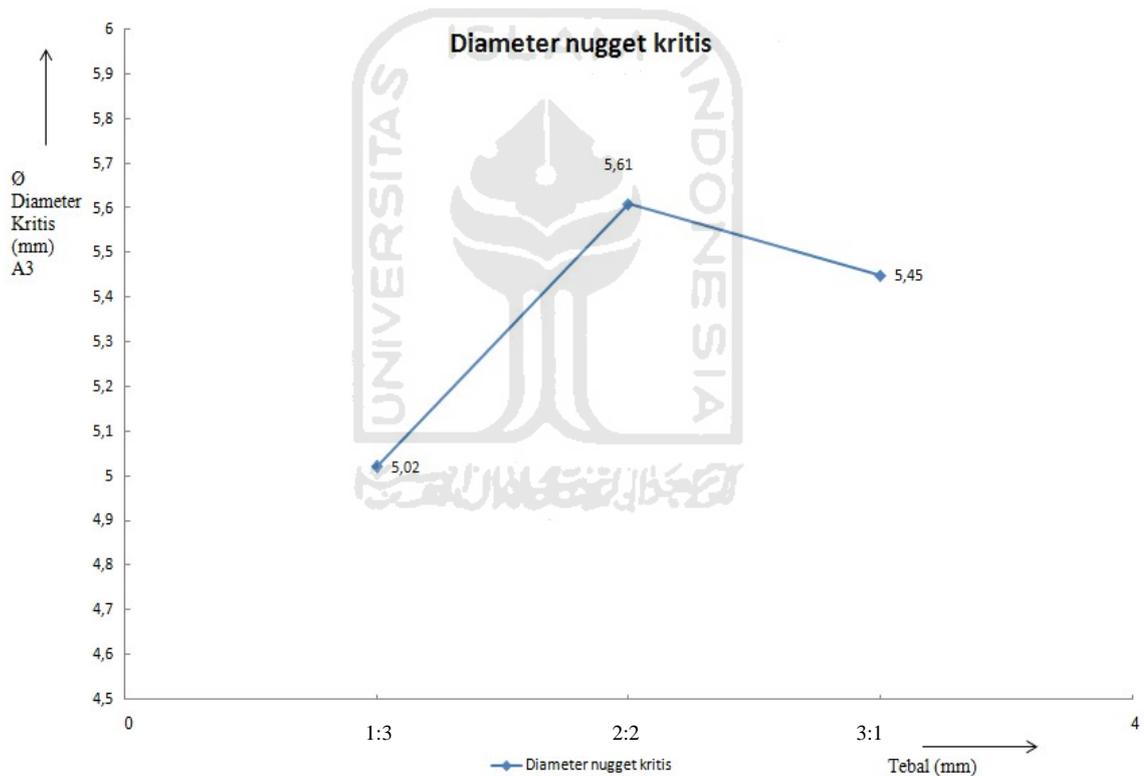


Gambar 4.11. Grafik perbandingan tegangan listrik dengan *nugget* (SS : MS / 1:3 dan 3:1)

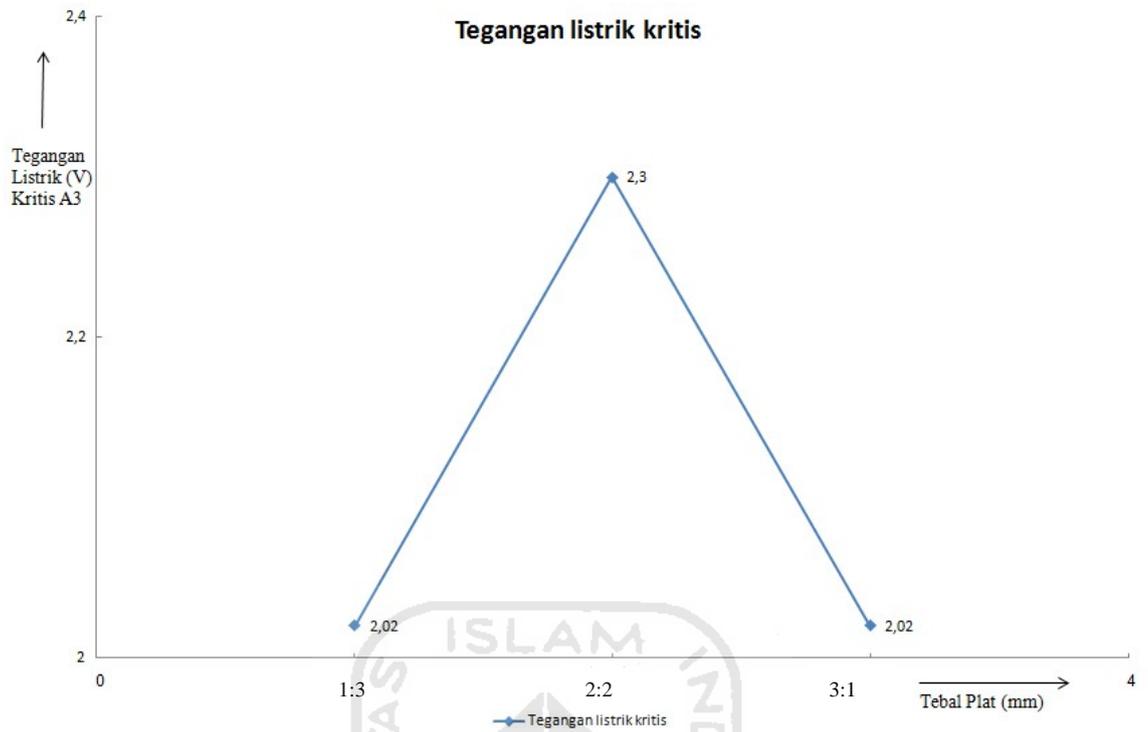


Gambar 4.12. Grafik perbandingan tegangan listrik dengan *nugget* (SS : MS / 2:2)

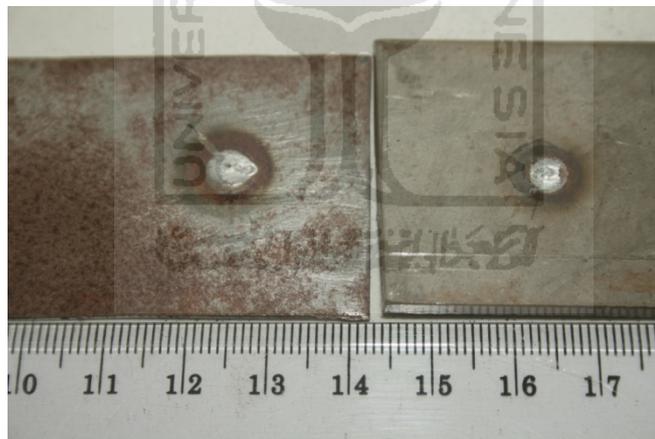
Pada gambar 4.11 dan 4.12 menunjukkan grafik perbandingan antara tegangan listrik (*Volt*) dan diameter *nugget* (mm). Pada gambar 4.11, grafik tersebut menunjukkan titik kritis pada tebal SS-MS 1:3 dan 3:1 berada pada tegangan 2,02V. Sedangkan pada gambar 4.12, grafik tersebut menunjukkan titik kritis pada tebal SS-MS 2:2 berada pada tegangan 2,30V. Dari grafik-grafik tersebut dapat terlihat bahwa tegangan listrik berbanding lurus dengan perbesaran *nugget*, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan listrik yang terjadi maka diameter *nugget* akan bertambah besar. Hasil pengujian tarik untuk diameter *nugget* maksimum pada titik kritis dapat dilihat pada tabel 4.6 pada lampiran.



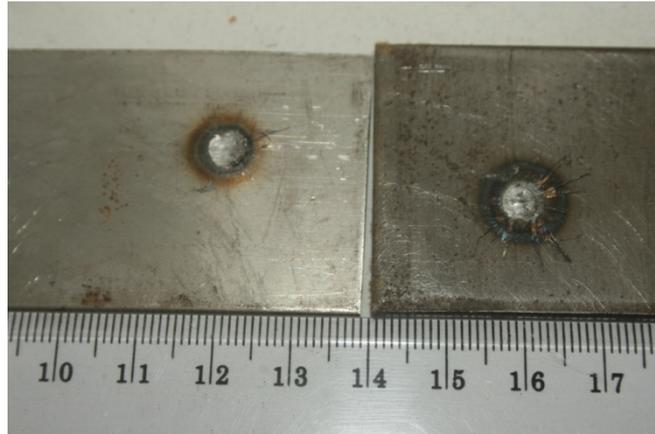
Gambar 4.13. Grafik diameter *nugget* kritis



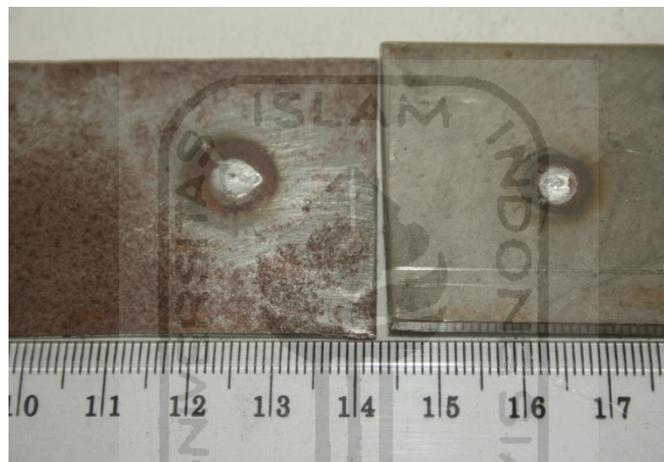
Gambar 4.14. **Grafik tegangan listrik kritis**



Gambar 4.15. **Gambar patahan SS-MS 3:1 dengan tegangan listrik 2,02 V**

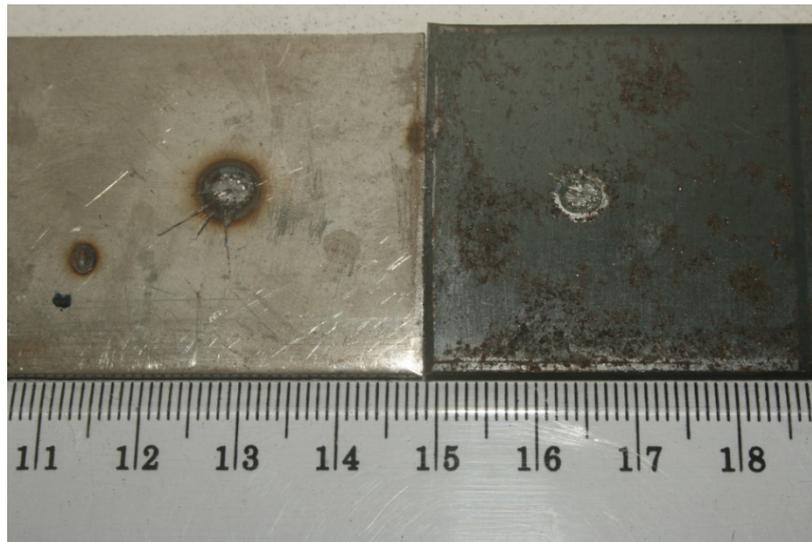


Gambar 4.16. Gambar patahan SS-MS 2:2 dengan tegangan listrik 2,30 V

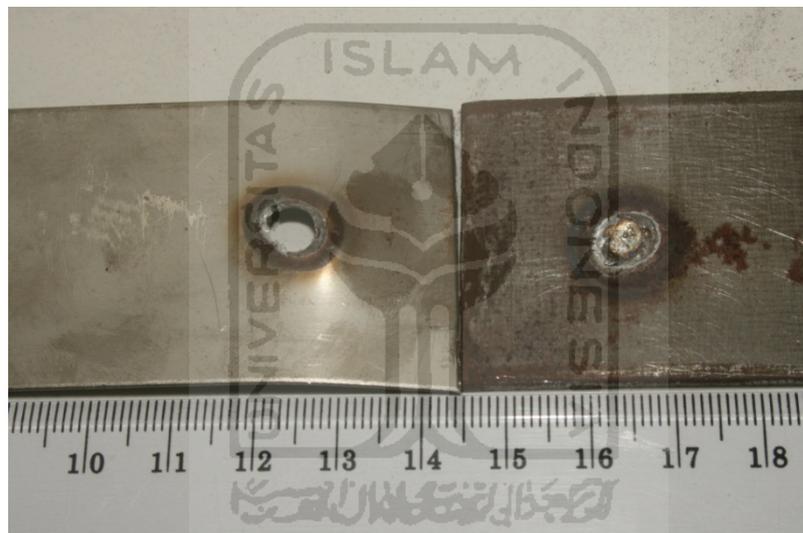


Gambar 4.17. Gambar patahan SS-MS 1:3 dengan tegangan listrik 2,02 V

Setelah dilakukan pengujian tarik-geser maka spesimen akan mengalami patahan. Patahan terdapat dua yaitu patahan IF (*Interfacial Fracture*) dan PF (*Pullout Fracture*). Contoh patahan IF (*Interfacial Fracture*) ditunjukkan gambar 4.18 dan contoh patahan PF (*Pullout Fracture*) ditunjukkan gambar 4.19.



Gambar 4.18. **Patahan IF** (*Interfacial Fracture*)



Gambar 4.19. **Patahan PF** (*Pullout Fracture*)

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan tujuan dan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

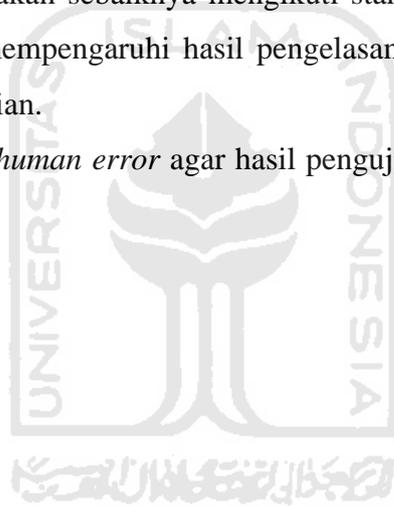
1. Tegangan listrik sekunder dan ketebalan plat mempengaruhi karakteristik sambungan las titik antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik. Perbedaan tersebut dapat dilihat dari hasil pengujian yang telah dilakukan sebagai berikut :
  - a. Dilihat dari struktur mikronya, untuk baja karbon rendah pada logam induk dan HAZ struktur yang terbentuk sama yaitu ferit dan perlit dengan ukuran butir yang berbeda sedangkan pada *nugget* struktur yang terbentuk adalah bainit. Pada baja tahan karat austenitik struktur yang terbentuk pada logam induk, HAZ dan *nugget* adalah sama yaitu austenit dengan ukuran butir yang berbeda. Pada HAZ ukuran butirnya lebih kecil dibandingkan logam induk dan untuk *nugget* memiliki ukuran yang lebih kecil dari HAZ.
  - b. Dari hasil pengujian mikro Vickers didapatkan hasil bahwa nugget memiliki kekerasan paling tinggi dibandingkan HAZ dan logam induk. Pada gambar 4.6, 4.7 dan 4.8 dapat dilihat kenaikan nilai kekerasan dari logam induk, HAZ dan nugget. Nilai kekerasan ini dipengaruhi oleh struktur mikro yang terjadi, semakin kecil ukuran butir maka semakin tinggi nilai kekerasannya.
  - c. Berdasarkan hasil uji tarik yang dilakukan, didapatkan hasil patahan IF dan PF dengan tegangan kritis dan diameter *nugget* kritis untuk menentukan tegangan listrik sekunder yang paling tepat untuk masing-masing variasi ketebalan SS-MS. Pemilihan titik kritis didapatkan dari hasil patahan pengujian tarik yang akan menghasilkan batas random antara IF dan PF.

2. Tegangan listrik sekunder dan ketebalan plat mempengaruhi mode patah sambungan las titik antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenitik. Ketebalan plat yang berbeda menyebabkan tegangan listrik sekunder yang optimal berbeda untuk masing-masing ketebalan. Untuk SS-MS 1:3 dan 3:1 tegangan listrik optimalnya adalah 2,02 V, sedangkan untuk SS-MS 2:2 tegangan listrik optimalnya pada 2,30 V.

## 5.2. Saran

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

1. Mesin las yang digunakan sebaiknya mengikuti standar AWS, karena mesin las yang digunakan mempengaruhi hasil pengelasan yang akan berpengaruh juga pada hasil pengujian.
2. Meminimalisir faktor *human error* agar hasil pengujian yang dihasilkan lebih akurat.



## 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.

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

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

Marya and Gayden (2005), *Development of Requirements for Resistance Spot Welding Dual-Phase (DP600) Steels Part 1 — The Causes of Interfacial Fracture*. *Welding Journal*, 172s-182s.

Messler (1999), *Principles of welding: Processes, physics, chemistry, and metallurgy*, John Willey.

Pouranvari. M., Marashi. P., Goordazi. M. (2009), *Failure Behaviour of Resistance Spot Welded Low Carbon Steel in Tensile-Shear and Coach-Peel*. *Welding Journal vol-15*, 149s-157s.

Radakovic D.J and 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.

Sihombing (2002), *Penentuan Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las Baja Karbon Rendah Akibat Perlakuan Las Titik*. *Welding Jurnal vol-13*, 155s-158s.

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

Surdia. T., Saito. S., 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.

Wiryo Sumarto, H., Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramitha, Jakarta



## LAMPIRAN

**Tabel 4.1.**  
**Nilai Kekerasan *Micro Vickers* SS-MS 1:3**

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d <sub>1</sub> (μm)	d <sub>2</sub> (μm)	d (rata-rata) (μm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata
1	SS 1 mm	0.0	30.0	30.0	30.00	412.1	413.93
2		0.5	31.0	29.5	30.25	405.3	
3		1.0	29.5	29.5	29.50	426.2	
4		1.5	29.5	30.5	30.00	412.1	
5		2.0	32.5	34.5	33.25	335.5	335.5
6		2.5	37.0	37.5	37.25	267.3	269.73
7		3.0	36.5	37.0	36.75	274.6	
8		3.5	37.0	37.5	37.25	267.3	
9	MS 3 mm	0.0	28.5	29.5	29.00	441.0	
10		0.5	29.0	31.0	30.00	412.1	
11		1.0	32.0	32.5	32.25	356.6	
12		1.5	32.0	31.5	31.75	367.9	362.25
13		2.0	36.0	35.5	35.75	290.2	300.25
14		2.5	36.0	37.0	36.50	278.4	
15		3.0	34.0	35.0	34.50	311.6	
16		3.5	35.0	33.0	34.00	320.8	

**Tabel 4.2.**  
**Nilai Kekerasan *Micro Vickers* SS-MS 2:2**

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d <sub>1</sub> (μm)	d <sub>2</sub> (μm)	d (rata-rata) (μm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata	
1	SS 2 mm	0.0	27.5	28.0	27.75	481.6	462.30	
2		0.5	28.0	29.0	28.50	456.6		
3		1.0	29.5	28.0	28.75	448.7		
4		MS 2 mm	1.5	41.5	42.5	42.50	205.3	188.40
5			2.0	47.0	46.0	46.50	171.5	
6			2.5	47.5	48.0	47.75	162.7	160.73
7			3.0	46.5	47.0	46.75	169.7	
8			3.5	48.5	51.0	49.75	149.8	
9	MS 2 mm		0.0	29.0	30.0	29.50	426.2	421.40
10			0.5	29.0	30.5	29.75	419.0	
11			1.0	29.0	30.5	29.75	419.0	
12		MS 2 mm	1.5	30.5	30.5	30.50	398.7	416.1
13			2.0	30.5	28.0	29.25	433.5	
14			2.5	40.0	40.0	40.00	231.8	234.73
15			3.0	40.0	39.0	39.50	237.7	
16			3.5	41.5	38.0	39.75	234.7	

**Tabel 4.3.**  
**Nilai Kekerasan *Micro Vickers* SS-MS 3:1**

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d <sub>1</sub> (μm)	d <sub>2</sub> (μm)	d (rata-rata) (μm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata		
1	SS 3 mm	0.0	37.5	37.0	37.25	267,3	267.30		
2		0.5	37.0	37.0	37.00	270,9			
3		1.0	38.0	37.0	37.50	263,7			
4		MS 1 mm	1.5	40.0	40.0	40.00	231,8	237.80	
5			2.0	40.0	38.0	39.00	243,8		
6			2.5	37.0	36.0	36.50	278,4	282.43	
7			3.0	35.5	35.5	35.50	294,3		
8			3.5	36.5	37.0	36.75	274,6		
9	MS 1 mm		0.0	46.0	46.0	46.00	175,3	169.77	
10			0.5	49.0	45.0	47.00	167,9		
11			1.0	47.5	47.0	47.25	166,1		
12		MS 1 mm	1.5	50.5	45.5	48.00	161,0	159.37	
13			2.0	49.0	47.0	48.00	161,0		
14			2.5	48.5	49.0	48.75	156,1		
15			MS 1 mm	3.0	54.0	55.0	54.50	124,9	122.65
16				3.5	55.0	56.0	55.50	120,4	

**Tabel 4.4.**  
**Hasil pengujian tarik**

	material	Tebal R	Teg. Listrik (v)	Replikasi ke	P maks (kN)	Rata2 P maks kN	Nugget rata2 (mm)	Rata2 nugget (mm)	Jenis patah
1	SS : MS	1 : 3	1,79 V	1	11,84	11,77	4,32	4,43	IF
2				11,54	4,60		IF		
3				11,93	4,38		IF		
4	SS : MS	1 : 3	2,02 V	1	14,01	13,30	5,53	5,02	PF
5				12,98	5,00		PF		
6				12,92	4,53		IF		
7	SS : MS	1 : 3	2,30 V	1	12,64	13,40	6,53	5,81	PF
8				15,17	5,91		PF		
9				12,38	5,00		PF		
10	SS : MS	1 : 3	2,67 V	1	15,79	14,62	4,46	6,56	PF
11				16,81	8,05		PF		
12				11,26	7,18		PF		
13	SS : MS	2 : 2	1,79 V	1	-	-	4,09	3,39	IF
14				2	-		2,35		IF
15				3	-		3,73		IF
16	SS : MS	2 : 2	2,02 V	1	9,68	6,98	7,44	4,72	IF
17				2	7,69		3,67		IF
18				3	3,56		3,06		IF
19	SS : MS	2 : 2	2,30 V	1	13,09	13,71	5,51	5,61	IF
20				2	13,58		5,72		IF
21				3	14,47		5,60		PF
22	SS : MS	2 : 2	2,67 V	1	12,89	11,76	5,02	6,31	IF
23				2	6,91		6,72		PF
24				3	15,47		7,19		PF
25	SS : MS	3 : 1	1,79 V	1	6,08	7,25	5,04	4,93	PF
26				2	8,22		5,09		IF
27				3	7,46		4,65		IF
28	SS : MS	3 : 1	2,02 V	1	7,26	8,17	5,79	5,45	PF
29				2	9,22		5,60		PF
30				3	8,04		4,97		IF
31	SS : MS	3 : 1	2,30 V	1	8,98	9,10	5,78	5,77	PF
32				2	10,67		6,34		PF
33				3	7,65		5,20		PF
34	SS : MS	3 : 1	2,67V	1	8,20	8,40	6,30	8,14	PF
35				2	8,57		11,7		PF
36				3	8,42		6,42		PF

**Tabel 4.5.****Hasil P maks pada titik kritis SS-MS**

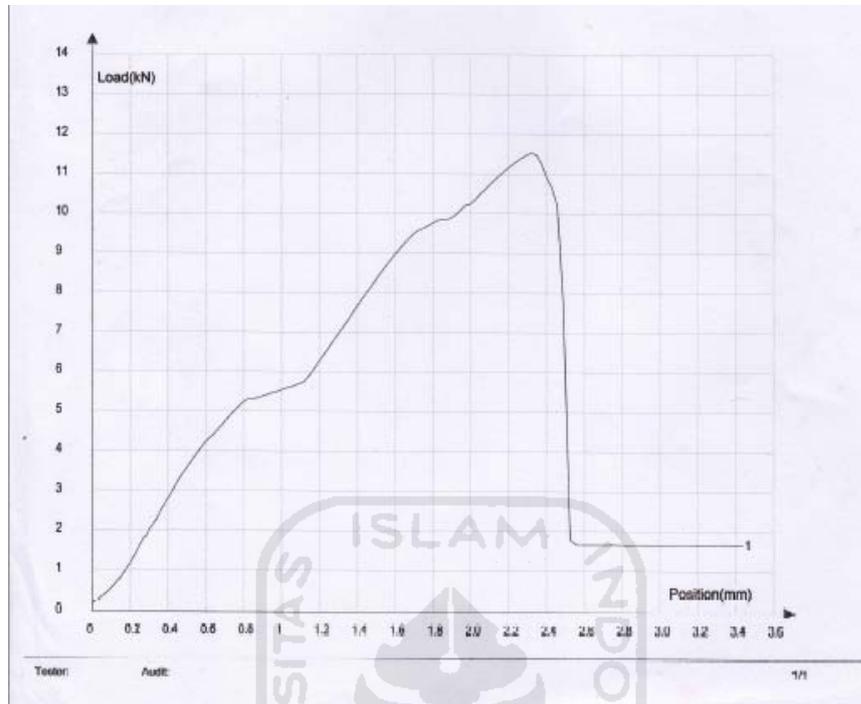
No	material	Tebal (mm)	Teg. Listrik (v)	Replikasi ke	P maks (kN)	Rata2 P maks (kN)
1	SS : MS	1 : 3	2,02 V	1	14,01	13,30
2				12,98		
3				12,92		
4	SS : MS	2 : 2	2,30 V	1	13,09	13,71
5				13,58		
6				14,47		
7	SS : MS	3 : 1	2,02 V	1	7,26	8,17
8				9,22		
9				8,04		

**Tabel 4.6.****Hasil nugget pada titik kritis SS-MS**

No	material	Tebal (mm)	Teg. Listrik (v)	Replikasi ke	Nugget rata2 (mm)	Rata2 nugget (mm)
1	SS : MS	1 : 3	2,02 V	1	5,53	5,02
2				5,00		
3				4,53		
4	SS : MS	2 : 2	2,30 V	1	5,51	5,61
5				5,72		
6				5,60		
7	SS : MS	3 : 1	2,02 V	1	5,79	5,45
8				5,60		
9				4,97		

### Grafik Hasil Uji Tarik

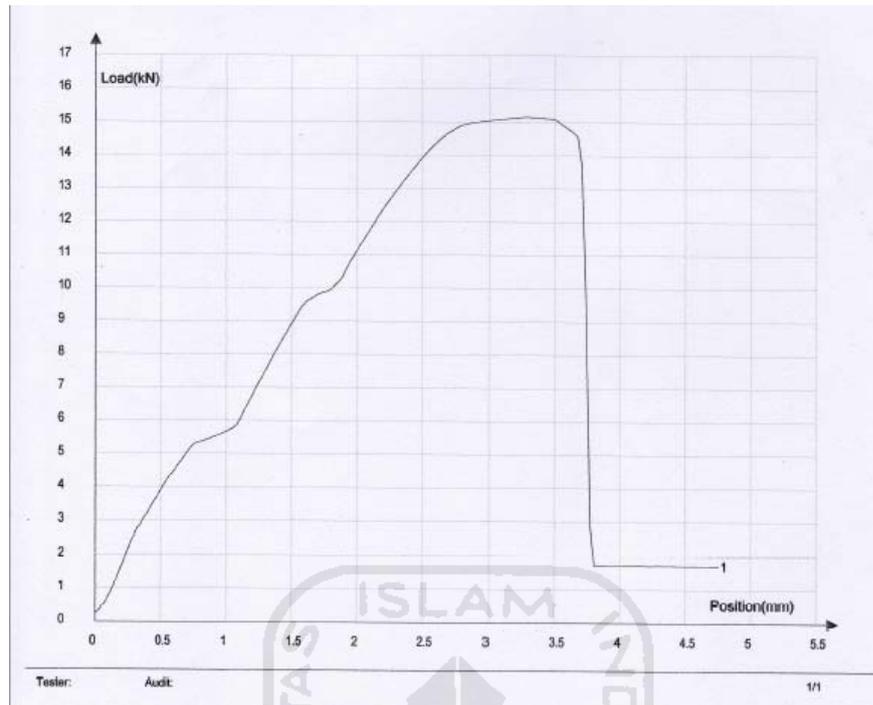
- SS-MS 1:3 (1,79 V)



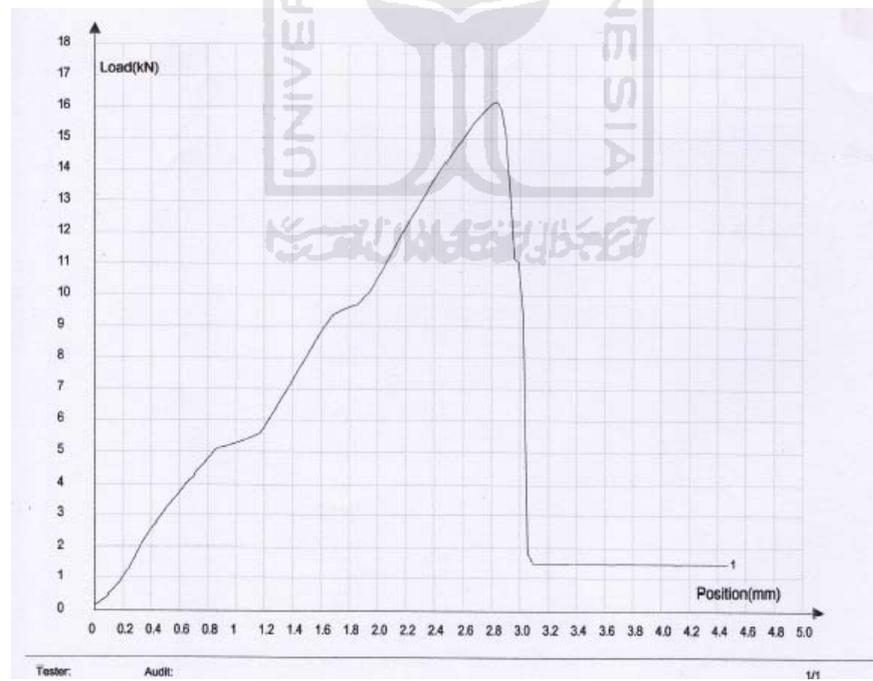
- SS-MS 1:3 (2,02 V)



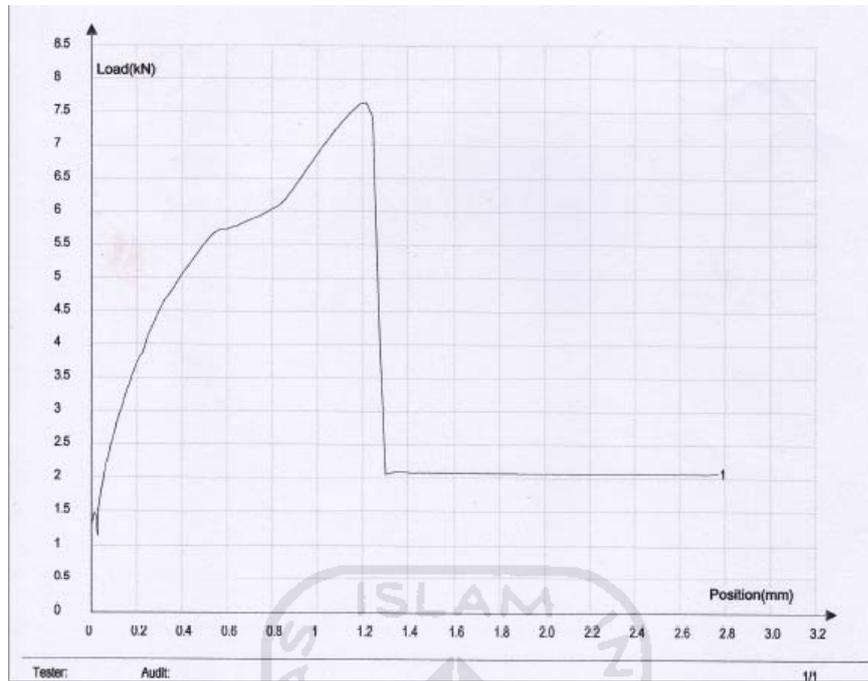
- SS-MS 1:3 (2,30 V)



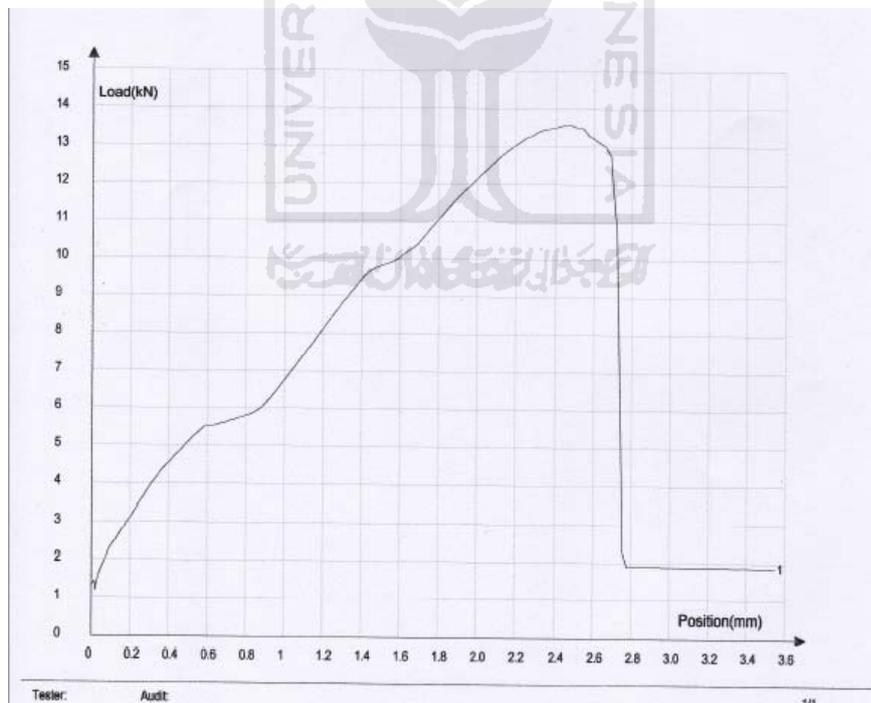
- SS-MS 1:3 (2,67 V)



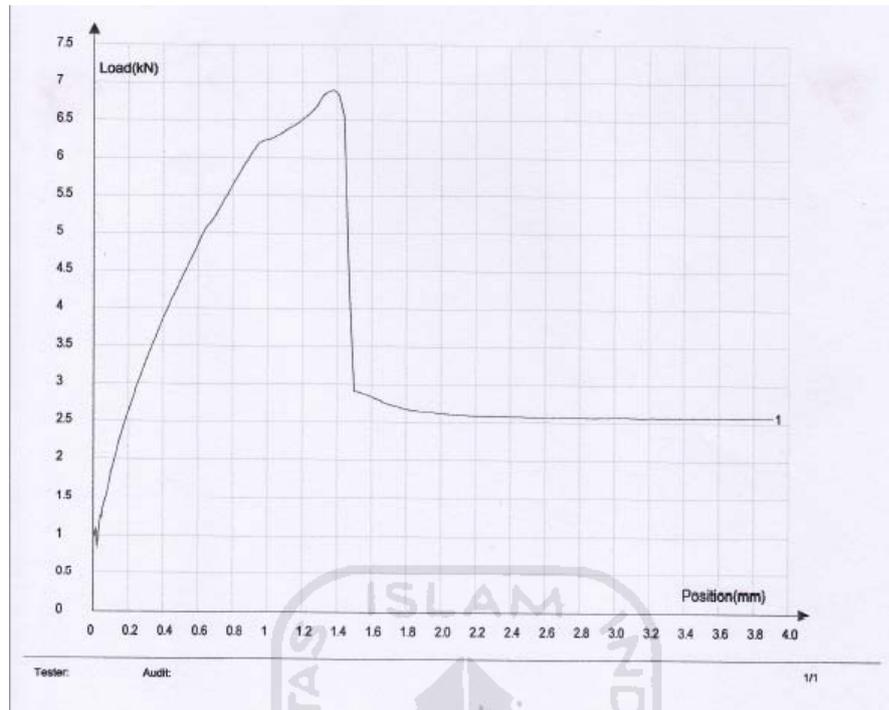
- SS-MS 2:2 (2,02 V)



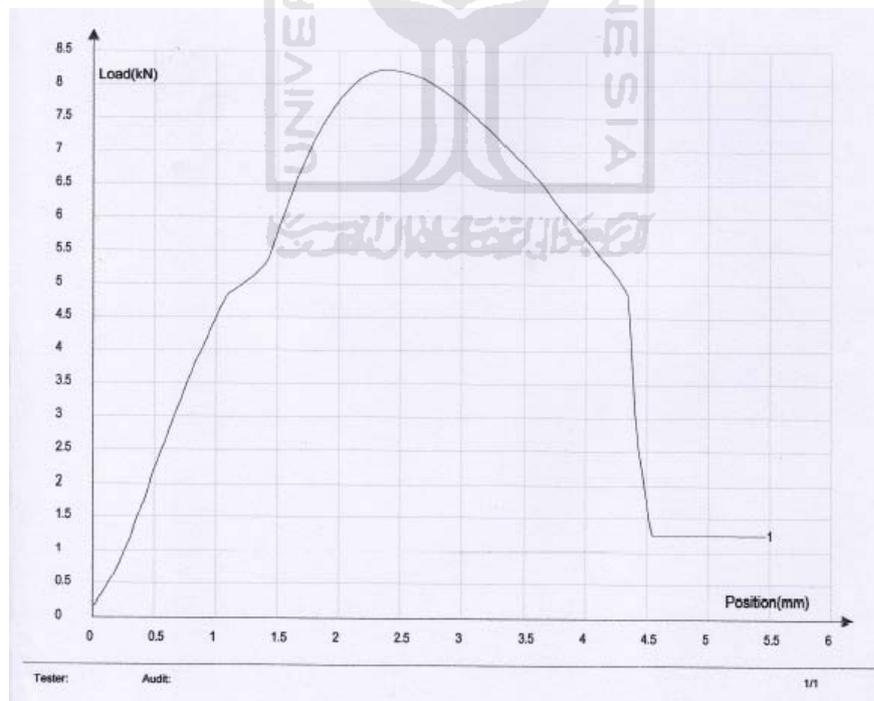
- SS-MS 2:2 (2,30 V)



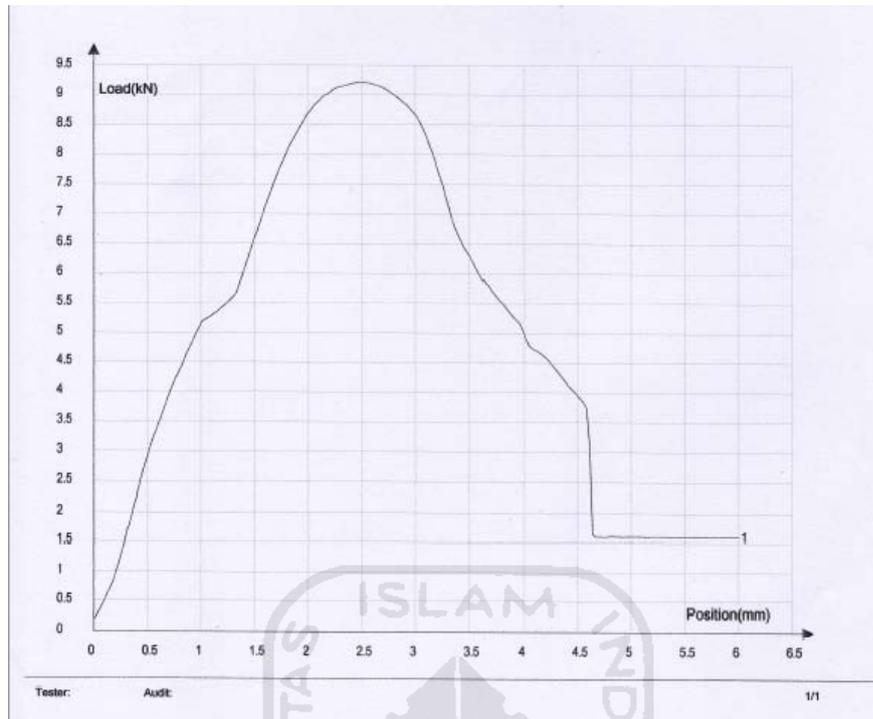
- SS-MS 2:2 (2,67 V)



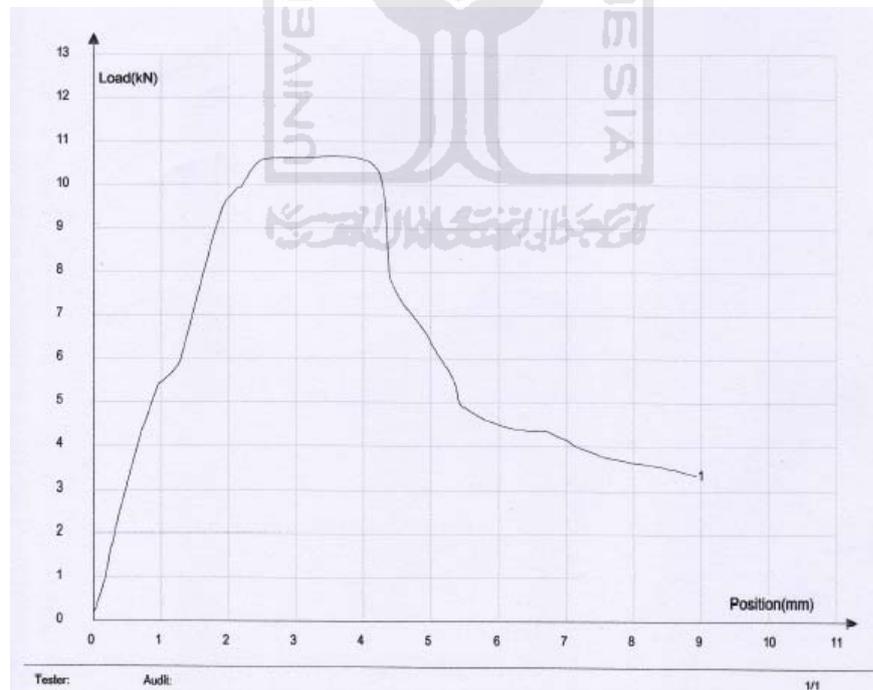
- SS-MS 3:1 (1,79 V)



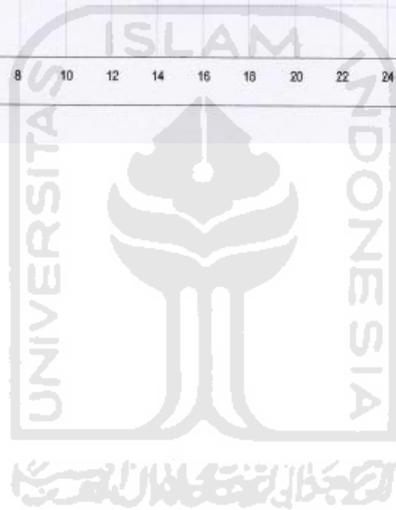
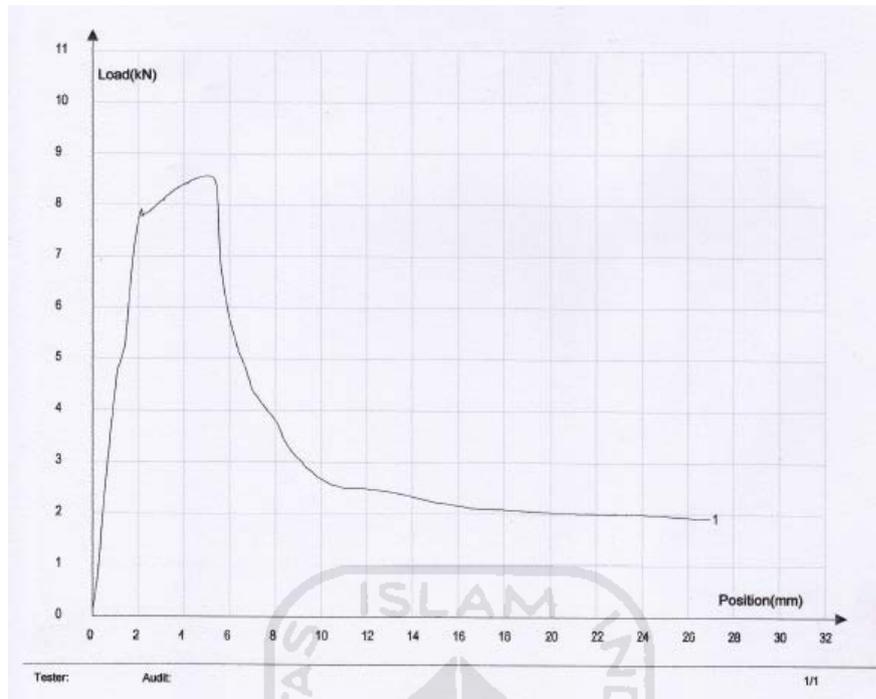
- SS-MS 3:1 (2,02 V)



- SS-MS 3:1 (2,30 V)



- SS-MS 3:1 (2,67 V)





**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	$d_1$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_2$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_{\text{rata-rata}}$ ( $\mu\text{m}$ )	Kekerasan (VHN)
1	Baja Ketebalan 3 mm	0.0	28.5	29.5	29.00	441.0
2		0.5	29.0	31.0	30.00	412.1
3		1.0	32.0	32.5	32.25	356.6
4		1.5	32.0	31.5	31.75	367.9
5		2.0	36.0	35.5	35.75	290.2
6		2.5	36.0	37.0	36.50	278.4
7		3.0	34.0	35.0	34.50	311.6
8		3.5	35.0	33.0	34.00	320.8
9	Stainless Steel Ketebalan 1 mm	0.0	30.0	30.0	30.00	412.1
10		0.5	31.0	29.5	30.25	405.3
11		1.0	29.5	29.5	29.50	426.2
12		1.5	29.5	30.5	30.00	412.1
13		2.0	32.5	34.0	33.25	335.5
14		2.5	37.0	37.5	37.25	267.3
15		3.0	36.5	37.0	36.75	274.6
16		3.5	37.0	37.5	37.25	267.3

Lembar asli, tidak untuk digandakan

*Keterangan :*

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





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

**HARGA KEKERASAN MICRO VICKERS**

**Spesimen Stainless Steel-Baja**

Lembar asli, tidak untuk digandakan

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d <sub>1</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d <sub>2</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d <sub>rata-rata</sub> ( $\mu\text{m}$ )	Kekerasan (VHN)
1	Baja Ketebalan 2 mm	0.0	29.0	30.0	29.50	426.2
2		0.5	29.0	30.5	29.75	419.0
3		1.0	29.0	30.5	29.75	419.0
4		1.5	30.5	30.5	30.50	398.7
5		2.0	30.5	28.0	29.25	433.5
6		2.5	40.0	40.0	40.00	231.8
7		3.0	40.0	39.0	39.50	237.7
8		3.5	41.5	38.0	39.75	234.7
9	Stainless Steel Ketebalan 2 mm	0.0	27.5	28.0	27.75	481.6
10		0.5	28.0	29.0	28.50	456.6
11		1.0	29.5	28.0	28.75	448.7
12		1.5	41.5	43.5	42.50	205.3
13		2.0	47.0	46.0	46.50	171.5
14		2.5	47.5	48.0	47.75	162.7
15		3.0	46.5	47.0	46.75	169.7
16		3.5	48.5	51.0	49.75	149.8

Keterangan :

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





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

**HARGA KEKERASAN MICRO VICKERS**

**Spesimen Stainless Steel-Baja**

Lembar asli, tidak untuk digandakan

No	Ketebalan Spesimen	Jarak dari Pusat Las	d <sub>1</sub> ( $\mu$ m)	d <sub>2</sub> ( $\mu$ m)	d <sub>rata-rata</sub> ( $\mu$ m)	Kekerasan (VHN)
1	Stainless Steel Ketebalan 3 mm	0.0	37.5	37.0	37.25	267.3
2		0.5	37.0	37.0	37.00	270.9
3		1.0	38.0	37.0	37.50	263.7
4		1.5	40.0	40.0	40.00	231.8
5		2.0	40.0	38.0	39.00	243.8
6		2.5	37.0	36.0	36.50	278.4
7		3.0	35.5	35.5	35.50	294.3
8		3.5	36.5	37.0	36.75	274.6
9		0.0	46.0	46.0	46.00	175.3
10	Baja Ketebalan 1 mm	0.5	49.0	45.0	47.00	167.9
11		1.0	47.5	47.0	47.25	166.1
12		1.5	50.5	45.5	48.00	161.0
13		2.0	49.0	47.0	48.00	161.0
14		2.5	48.5	49.0	48.75	156.1
15		3.0	54.0	55.0	54.50	124.9
16		3.5	55.0	56.0	55.50	120.4

Keterangan :

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

