

**PENGARUH PARAMETER LAS GESEK TERHADAP SIFAT
MEKANIS BAJA TAHAN KARAT AISI 304 / AISI 304**

SKRIPSI

**TEKNIK MESIN
KONSTRUKSI DAN PERANCANGAN**

Skripsi diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana



Disusun oleh :

**ARI ANUGERAH
172110031**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA
2021**

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang di teliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UUNo. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Jakarta, September 2021

Mahasiswa,

Ari Anugerah

172110031

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ari Anugerah
NPM : 172110031
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : PENGARUH PARAMETER LAS GESEK
TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA TAHAN
KARAT AISI 304 / AISI 304

Telah berhasil di pertahankan di hadapan Dewan Pembimbing dan di terima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Ade Sunardi S.T., M.T. ()

Pembimbing 2 : Ida Bagus Indra S.T., M.T. ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : September 2021

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ari Anugerah
NPM : 172110031
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : PENGARUH PARAMETER LAS GESEK
TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA
TAHAN KARAT AISI 304/ AISI 304

Telah berhasil di pertahankan di hadapan Dewan Penguji dan di terima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji 1 : Adhes Gamayel ST.,MT ()

Penguji 2 : Kasum ST., MT ()

Penguji 3 : Riyan Ariyansah ST.,MT ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : september 2021

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat- Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ade Sunardi ST, MT, selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Ida Bagus Indra ST,.MT, Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan saran dan kritik dalam menyelesaikan penulisan skripsi.
- (3) Mohammad Zaennudin S,P,d, M,Sc.Eng, Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan saran dan kritik dalam penulisan skripsi,
- (4) Kedua Orang tua, keluarga besar yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
- (5) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan

Jakarta, september 2021

Penulis

Ari Anugerah

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Global Jakarta Sebagai, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ari Anugerah
NPM : 172110031
Program Studi : konstruksi dan Perancangan
Jenis Karya Ilmiah : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“PENGARUH PARAMETER LAS GESEK TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA TAHAN KARAT AISI 304 / AISI 304”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, september 2021
Yang menyatakan

Ari Anugerah
172110031

ABSTRAK

Teknik pengelasan telah digunakan secara luas dalam penyambungan logam dengan media panas. Sumber panas yang dipakai berasal dari busur listrik, nyala oksi-asitilen dan gesekan. las gesek (*friction welding*) merupakan salah satu metode pengelasan jenis solid state welding, dimana panas dihasilkan oleh dua logam yang bergesekan sehingga logam mencair kemudian membeku bersama-sama menjadi sambungan las. Sambungan las yang paling banyak digunakan pada saat ini adalah las fusi. Kelebihan pengelasan ini adalah tidak membutuhkan logam pengisi, waktu pengelasannya cepat dan temperatur operasi di bawah titik lebur logam. Keunggulan lain teknik pengelasan ini adalah menghemat bahan karena tidak membutuhkan logam pengisi, fluks dan gas pelindung, waktu pengelasan pendek dan temperatur operasi di bawah titik lebur logam. Penelitian ini membahas mengenai pengelasan gesek untuk mengetahui sifat mekanis dan mikrostruktur pada pengelasan gesek logam AISI 304/ AISI 304. Metode yang digunakan dengan pengujian yaitu : uji mcirostruktur, uji tarik dan uji kekerasan (*Vickers*). (dengan waktu gesek 40,45,50 detik)

Kata Kunci : *Friction Welding, Vickers ,Microstruktur*

ABSTRACT

Welding techniques have been used extensively in joining metal to hot media. The heat source used comes from an electric arc, an oxy-acetylene flame and friction. Friction welding is a method of solid state welding, where the heat generated by two metals rubbing together so that the metal melts and then solidifies together into a weld joint. Welding joints that are most widely used today is fusion welding. The advantages of this welding are that it does not require a charger, the welding time is fast and the operating temperature is below the melting point of the metal. Other advantages of this welding technique are material preservation because it does not require a charger, flux and gas shield, short welding time and operating temperature below the melting point of the metal. This study discusses friction welding to see the mechanical and microstructural properties of AISI D2 / AISI 304 metal friction welding. The methods used are: microstructure test, tensile test and hardness test (Vickers). (with a friction time of 40,45,50 seconds)

Keywords: *Friction Welding, Vickers, Microstructure*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	i
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH	iv
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GRAFIK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 Pengelasan.....	7
2.1.1 Karakteristik Pengelasan.....	7
2.2 Macam-macam pengelasan	8
2.2.1 SMAW (Shield Metal Arch Welding)	8
2.2.2 SAW (Submerged Arch Welding).	8
2.2.3 ESW (Electro Slag Welding)	8
2.2.4 EWS (Stud Welding)	9
2.2.5 Pengelasan Gesek (Friction Welding, FW).....	9

2.2.6 ERW (Electric Resistant Welding)	9
2.3 Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>).....	9
2.3.1 Daerah Pengelasan	11
2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan Las Gesek (<i>Friction Welding</i>)	12
2.3.3 Aplikasi Las Gesek	12
2.4 Stainless Steel 304	13
2.5 Macam-macam pengujian logam	15
2.5.1 Uji Tarik.....	15
2.5.2 Uji Kekerasan.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Diagram Alir Penelitian	20
3.2 Metodologi Penelitian	21
3.3 Variabel Penelitian.....	21
3.3.1 Variabel Bebas (<i>independen</i>).....	21
3.3.2 Variabel Terikat (<i>dependen</i>)	21
3.3.3 Variabel Terkontrol.....	21
3.4 Alat dan Material Penelitian	22
3.4.1 Alat Penelitian.....	22
3.4.2 Material Penelitian	25
3.5 Desain Of Experimen.....	26
3.5.1 Tempat Penelitian	28
3.5.2 Waktu Penelitian	28
3.6 Pelaksanaan Penelitian	28
3.6.1 Pengujian hasil pengelasan	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31

4.1	Proses penyambungan benda uji AISI 304 dan AISI 304 (<i>Friction welding</i>)	31
4.1.1	Hasil Pengelasan Gesek AISI 304 dan AISI 304	34
4.1.2	Proses Pembubutan Spesimen	35
4.2	Hasil Pengujian Mekanik	36
4.2.1	Proses Pengujian Tarik (<i>Ttensile Test</i>)	36
4.2.2	Hasil spesimen setelah pengujian tarik (<i>Tensile Test</i>)	36
4.3	Pembahasan Hasil Nilai Uji Tarik (<i>Tensile Test</i>)	37
4.3.1	Hasil Uji Tarik Sampel 1	38
4.3.2	Hasil Uji Tarik Sampel 2	40
4.3.3	Hasil Uji Tarik Sampel 3	42
4.3.4	Hasil Uji Tarik Sampel 4	44
4.3.5	Hasil Uji Tarik Sampel 5	46
4.3.6	Hasil Uji Tarik Sampel 6	48
4.3.7	Hasil Uji Tarik Sampel 7	50
4.3.8	Hasil Uji Tarik Sampel 8	52
4.3.9	Hasil Uji Tarik Sampel 9	54
4.3.10	Analisa Hasil Uji Tarik AISI 304 / AISI 304	56
4.4	Hasil Nilai Pengujian Kekerasan (<i>Vickers</i>)	57
4.3.1	Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> Sampel 1	57
4.3.2	Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> Sampel 2	58
4.3.3	Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> Sampel 3	59
4.3.4	Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> Sampel 4	60
4.3.5	Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> Sampel 5	61
4.3.6	Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> Sampel 6	62
4.3.7	Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> Sampel 7	63

4.3.8. Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> Sampel 8	64
4.3.9. Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i> Sampel 9	65
4.3.10 Pengelompokan Nilai Kekerasan Pada Daerah Base,Haz Dan Weld .	66
4.3.11 Analisis Hasil Uji Kekrasan (<i>Vickers</i>)	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1.kesimpulan	73
5.2.Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengelasan Gesek 3 Dimensi	10
Gambar 2.2 Struktur Mikro Logam Hasil Friction Welding.....	11
Gambar 2.3 Hasil Sambungan Las Gesek.....	12
Gambar 2.4 Profil Singkat Uji Tarik.....	16
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3. 2 Mesin Potong Logam (Metal Cut 251)	22
Gambar 3. 3 Thermometer inframerah.....	23
Gambar 3. 4 Mesin Bubut (Lathe machine C2640)	23
Gambar 3. 5 Mesin Uji Tarik	24
Gambar 3. 6 Micro Vickers Machine.....	25
Gambar 4. 1 Proses penyambungan benda uji (friction welding).....	31
Gambar 4. 2 Spesimen hasil penyambungan las gesek.....	34
Gambar 4. 3 Spesimen yang sudah di bubut	35
Gambar 4. 4 Proses pengujian tarik (tensile test).....	36
Gambar 4. 5 Hasil spesimen setelah pengujian tarik (tensile test).....	36
Gambar 4. 6 sketsa benda uji tarik (tensile tes)	37
Gambar 4. 7 Hasil Uji Tarik Sampel 1	38
Gambar 4. 8 Hasil Uji Tarik Sampel 2.....	40
Gambar 4. 9 Hasil Uji Tarik Sampel 3.....	42
Gambar 4. 10 Hasil Uji Tarik Sampel 4.....	44
Gambar 4. 11 Hasil Uji Tarik Sampel 5.....	46
Gambar 4. 12 Hasil Uji Tarik Sampel 6.....	48
Gambar 4. 13 Hasil Uji Tarik Sampel 7.....	50

Gambar 4. 14 Hasil Uji Tarik Sampel 8.....	52
Gambar 4. 15 Hasil Uji Tarik Sampel 9.....	54
Gambar 4. 16 Daerah titik indentasi uji kekerasan.	57
Gambar 4. 17. Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 1.....	57
Gambar 4. 18 Daerah titik indentasi uji kekerasan	58
Gambar 4. 19 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 2.....	58
Gambar 4. 20 Daerah titik indentasi uji kekerasan	59
Gambar 4. 21 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 3.....	59
Gambar 4. 22 Daerah titik indentasi uji kekerasan	60
Gambar 4. 23 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 4.....	60
Gambar 4. 24 . Daerah titik indentasi uji kekerasan	61
Gambar 4. 25 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 5.....	61
Gambar 4. 26 Daerah titik indentasi uji kekerasan	62
Gambar 4. 27 . Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 6.....	62
Gambar 4. 28. Daerah titik indentasi uji kekerasan	63
Gambar 4. 29. Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 7.....	63
Gambar 4. 30. Daerah titik indentasi uji kekerasan	64
Gambar 4. 31 . Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 8.....	64
Gambar 4. 32. Daerah titik indentasi uji kekerasan	65
Gambar 4.33 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 8.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Stainlees Steel 304.....	15
Tabel 3. 1 Komposisi Material AISI 304	26
Tabel 3. 3 Rincian Percobaan (orthogonal experiment).....	27
Tabel 4. 1 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 1.....	39
Tabel 4. 2 Tabel Hasil Uji Tarik Sampel 1	39
Tabel 4. 3 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 2	40
Tabel 4. 4 Hasil Uji Tarik Sampel 2	41
Tabel 4. 5 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 3	42
Tabel 4. 6 Hasil Uji Tarik Sampel 3	43
Tabel 4. 7 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 4	44
Tabel 4. 8 Hasil Uji Tarik Sampel 4	45
Tabel 4. 9 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 5	46
Tabel 4. 10 Hasil Uji Tarik Sampel 5	47
Tabel 4. 11 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 6	48
Tabel 4. 12 Hasil Uji Tarik Sampel 6	49
Tabel 4. 13 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 7	50
Tabel 4. 14 Hasil Uji Tarik Sampel 7	51
Tabel 4. 15 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 8	52
Tabel 4. 16 Hasil Uji Tarik Sampel 8	53
Tabel 4. 17 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 9	54
Tabel 4. 18 Hasil Uji Tarik Sampel 9	55
Tabel 4. 19 Nilai Uji Vickers Daerah Base 1	67
Tabel 4. 20 Hasil Nilai Uji Vickers Daerah HAZ 2	68

Tabel 4. 21 Hasil Nilai Uji Vickers Daerah Weld 3	69
Tabel 4. 22 Hasil Nilai Uji Vickers Daerah HAZ 4.....	70
Tabel 4. 23 Hasil Nilai Uji Vickers Daerah Base 5	71

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Nilai Hasil Uji Tarik	38
Grafik 4. 2 Hasil Uji Tarik Speciment 1	39
Grafik 4. 3 Hasil Uji Tarik speciment 2	41
Grafik 4. 4 Hasil Uji Tarik Speciment 3	43
Grafik 4. 5 Hasil Uji Tarik Speciment 4	45
Grafik 4. 6 Hasil Uji Tarik Speciment 5	47
Grafik 4. 7 Hasil Uji Tarik Specimentl 6	49
Grafik 4. 8 Hasil Uji Tarik Speciment 7	51
Grafik 4. 9 Hasil Uji Tarik Speciment 8	53
Grafik 4. 10 Hasil Uji Tarik Speciment 9	55
Grafik 4. 11 Grafik Spesimen 1 - 9	56
Grafik 4. 12 Grafik nilai Hardness pada daerah base 1.....	67
Grafik 4. 13 Grafik nilai Hardness pada daerah haz 2	68
Grafik 4. 14 Grafik nilai Hardness pada daerah weld 3	69
Grafik 4. 15 Grafik Nilai Hardness Daerah HAZ 4	70
Grafik 4. 16 Grafik Nilai Hardness Daerah Base 5.....	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Teknik pengelasan telah digunakan secara luas dalam penyambungan logam dengan media panas. Sumber panas yang dipakai berasal dari busur listrik, nyala oksi-asitilen dan gesekan. Las busur listrik umumnya adalah salah satu jenis cara untuk menyambung logam dengan menggunakan nyala busur listrik ke permukaan logam yang akan dilas. Daerah yang terkena busur listrik maka akan mencair, termasuk juga elektroda yang menghasilkan busur listrik akan mencair di pangkal ujungnya dan terus merambat sampai habis. Nyala oksi-asitilen berasal dari pembakaran oksigen dan gas asitilen. Sedangkan las gesek (*friction welding*) merupakan salah satu metode pengelasan jenis solid state welding, dimana panas dihasilkan oleh dua logam yang bergesekan sehingga logam mencair kemudian membeku bersama-sama menjadi sambungan las. Sambungan las yang paling banyak digunakan pada saat ini adalah las fusi. Las fusi merupakan proses pengelasan dengan mencairkan sebagian logam induk yang dicairkan bersamaan bahan tambah pada saat proses pengelasan.

Dalam pengaplikasiannya las fusi biasa digunakan untuk pengelasan pelat datar, plat siku, dan pipa. Jenis pengelasan fusi diantaranya Shield Metal Arc Welding (SMAW), Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Metal Inert Gas (MIG), dan sebagainya. Metode pengelasan fusi juga masih memiliki kekurangan, seperti pada saat melakukan pengelasan untuk logam silinder pejal berdiameter besar, pengelasan hanya dapat dilakukan pada sisi luar permukaan saja, sedangkan pada sisi dalam sulit dilakukan. Untuk mengatasi masalah tersebut telah dikembangkan teknik solid state welding. Teknik pengelasan tanpa logam pengisi atau pengelasan padat. Jenis teknik yang dipakai biasanya adalah las gesek (*friction welding*). Dimana panas untuk pengelasan dihasilkan oleh gerakan relatif antara dua permukaan bahan yang saling bergesekan, salah satu berputar sedang lainnya diam, lalu dikontakkan oleh gaya tekan. Gesekan pada kedua permukaan kontak dilakukan meningkat. Dengan gaya tekan dan panas pada kedua permukaan hingga

pertemuan kedua bahan mencapai suhu leleh (melting temperature) maka terjadilah proses las.

Kelebihan pengelasan ini adalah tidak membutuhkan logam pengisi, waktu pengelasannya cepat dan temperatur operasi di bawah titik lebur logam. Sultoni (2016), mempelajari efek tekanan gesek dan waktu gesekan pada penyambungan dissimilar bahan Aluminium Alloy 2024 T4 dan Stainless Steel AISI 420 metode continuous drive friction welding. Waktu yang sangat lama dapat menyebabkan produktivitas menurun saat proses pengelasan. Sementara tekanan gesek yang terlalu besar dapat menyebabkan pemborosan bahan. Sedangkan waktu yang tidak sesuai dapat menyebabkan pemanasan yang tidak merata serta kemungkinan terjadi jebakan oksida di daerah interface. Sehingga pemilihan parameter tekanan gesek dan waktu gesekan menentukan boros atau tidaknya bahan dan hasil dari sambungan tersebut. Shubhavardhan dan Surendran (2012), melakukan penelitian dissimilar material Aluminium Alloy AA6082 dan Stainless Steel AISI 304 dengan metode continuous drive friction welding. Penelitian dilakukan dengan melakukan variasi waktu gesek dan tekanan gesek. Waktu gesek yang lama menyebabkan terbentuknya lapisan intermetalik di daerah interface. Pengaruh waktu gesek dan tekanan gesek pada kekuatan sambungan dengan waktu tempa konstan yaitu 210 MPa menimbulkan fraktur pada interface sambungan las dissimilar material. Kekuatan sambungan las lebih rendah dari pada kekuatan base metal Aluminium Alloy AA6082 yaitu sebesar 290 MPa. Hasil patahan tarik menunjukkan Aluminium menempel sebagian pada Stainless Steel. Dari penelitian yang telah dilakukan belum menemukan banyak variasi tekanan gesek yang sesuai pada pengelasan continuous drive friction welding menggunakan bahan Stainless Steel 304 terhadap kekuatan tarik, struktur mikro, dan nilai kekerasan sambungan las. Hanya ada beberapa variasi tekanan gesek yang sesuai dalam penelitian sebelumnya yang telah dilakukan. Untuk itu, penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi tekanan gesek terhadap kekuatan tarik, struktur mikro, dan nilai kekerasan dengan material Stainless Steel 304.

Baja tahan karat austenitik SS 304 merupakan salah satu jenis logam paduan Fe-Cr-Ni yang telah dipakai secara luas di dunia industri karena kekuatan mekanis dan ketahanan korosi yang tinggi. Teknik penyambungan/pengelasan baja tahan

karat austenitik, dengan memperhatikan sifat mekanis dan ketahanan korosinya, harus mempertimbangkan aspek metalurgi, geometri dan pengerjaan akhir dari permukaannya. Pada proses pengelasan konvensional, seperti: las TIG, laser atau pengelasan electron beam, menimbulkan peluang terbentuknya propagasi fasa yang tidak diinginkan dan beberapa perubahan metalurgi yang merugikan di daerah pengelasan, seperti: fasa ferit- δ , korosi batas butir, korosi regangan dan fasa- σ . Permasalahan pada proses pengelasan gesek konvensional tersebut dapat dieliminasi dengan penggunaan solid state welding process, dimana pengelasan gesek merupakan salah satunya, karena proses pengelasan ini singkat dan memiliki kecepatan pendinginan tinggi. Pada proses pengelasan gesek, panas diperoleh dengan mengkonversikan energi mekanis menjadi energi termal pada antar muka komponen yang bergesekan, kemudian tekanan tempa diberikan untuk menyambung komponen tersebut.

Teknik pengelasan ini dapat digunakan untuk menyambung logam yang sangat berbeda sifat thermal dan mekanisnya, juga sering diaplikasikan pada sambungan antar logam yang tidak dapat dilakukan oleh teknik pengelasan logam lainnya yang menghasilkan fase getas. Keunggulan lain teknik pengelasan ini adalah menghemat bahan karena tidak membutuhkan logam pengisi, fluks dan gas pelindung, waktu pengelasan pendek dan temperatur operasi di bawah titik lebur logam. Penelitian tentang pengelasan gesek untuk mengetahui sifat mekanis dan mikrostruktur pada pengelasan gesek logam sejenis SS 304 telah dilakukan dalam jumlah yang masih sedikit (Sathiya dkk, 2003, Sahin, 2005, Sahin, 2007, Sidiq, 2013). Sathiya dkk, (2003) menggunakan mesin las gesek KUKA dengan tekanan gesek 1,5-2 MPa, waktu gesek 3-8 detik dan tekanan tempa sebesar 4-4,5 MPa pada putaran 1125 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahawa pada sambungan las tidak teramati adanya porositas dan retak. Nilai kekuatan sambungan las hampir sama dengan kekuatan material dasar (580-610 MPa), namun kekuatan sambungan menurun (528 MPa) seiring dengan kenaikan waktu gesek karena adanya pembesaran ukuran butir dan pelebaran daerah sambungan. Sebagian besar patahan terjadi di daerah lasan, sedangkan permukaan patahan menunjukkan patahan ulet tanpa adanya struktur dimple. Dengan mengaplikasikan nilai parameter yang lebih tinggi yaitu tekanan gesek, waktu gesek, tekanan tempa dan putaran masing-masing

sebesar 60 MPa, 9 detik, 110 MPa, 1440 rpm, Sahin, (2005) & Sahin (2007) memperoleh nilai kekuatan sambungan lebih tinggi (795 MPa). Tulisan ini membahas tentang studi eksperimen pengaruh parameter pada struktur mikro dan sifat mekanik, yang direpresentasikan oleh struktur mikro, dari pengelasan gesek baja tahan karat asutenitik AISI 304 yang dilakukan dengan parameter pengelasan tekanan gesek 1,38 – 4,14 MPa. dan tekanan tempa 6,90 – 8,27 MPa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan dalam penelitian ini, yaitu:

- 1) Apakah ada perbedaan waktu pengelasan baja AISI 304 /AISI 304?
- 2) Bagaimana pengaruh durasi gesekan pada pengelasan gesek (*Friction welding*) pada baja AISI 304/AISI 304 terhadap kekuatan tarik sambungan las ?
- 3) Bagaimana pengaruh parameter pada sifat mekanis pada baja AISI 304/AISI 304?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya masalah dan mempermudah memahami permasalahan yang akan dibahas maka perlu adanya batasan masalah, yaitu :

- 1) Proses pengelasan gesek (*Friction welding*)
- 2) Material yang digunakan baja tahan karat AISI 304/AISI 304 dengan ukuran panjang 10 cm dan diameter 12 mm
- 3) Perbedaan durasi pengelasan ada pada 40,45,50 detik
- 4) Perbedaan tekanan tempa 1,5 1,75 dan 2 dalam satuan Mpa
- 5) Diasumsikan getaran yang ditimbulkan tidak mempengaruhi hasil las.
- 6) Pengujian hasil hanya di lakukan dengan metode (*Tensile Tes*) uji tarik dan (*vickers*) uji kekerasan

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk mengetahui perbedaan waktu pengelasan baja AISI 304/AISI 304
- 2) Untuk mengetahui pengaruh durasi gesekan pada pengelasan gesek (*Friction welding*) pada baja AISI 304/AISI 304 terhadap kekuatan tarik sambungan las
- 3) Untuk mengetahui pengaruh parameter dan sifat mekanis pada baja AISI 304/AISI 304

1.5 Manfaat Penelitian

Setelah penelitian ini selesai manfaat yang diperoleh adalah sebagai berikut :

- 1) Mengetahui sifat mekanik hasil pengelasan gesek antara material baja AISI 304 dengan AISI 304
- 2) Sebagai usaha untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi seiring kemajuan zaman
- 3) Memberikan informasi mengenai alternatif penyambungan baja AISI 304/AISI 304 yang mudah.
- 4) Sebagai dasar acuan sehingga dapat dilakukan penelitian lebih lanjut

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Dalam Skripsi ini terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut ini:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan Skripsi.

BAB II LANDASAN TEORI

Berisi tentang teori-teori yang diambil dari beberapa literatur, buku dan dokumentasi lainnya yang mendukung masalah penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang obyek penelitian, metode pengumpulan data, metode pengolahan data, analisa data dan kerangka pemecahan masalah.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang hasil penelitian yang dilakukan pada pekerja meliputi perbandingan cara kerja dan setelah penggunaan alat.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Mengemukakan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisa data serta mengemukakan saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan dan masukan bagi pekerja.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengelasan

Perkembangan penggunaan teknik pengelasan dalam bidang konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel dan lain sebagainya. Las dapat digunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada coran, mempertebal bagian yang aus dan macam-macam lainya (Wiryosumarto dan Okumura; 2008). Pengelasan (welding) adalah salah satu proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambahan maupun tidak menggunakan bahan tambahan dan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas.

2.1.1 Karakteristik Pengelasan

Berdasarkan karakteristiknya pengelasan digolongkan menjadi :

1. Pengelasan cair adalah pengelasan dengan cara mencairkan logam yang akan disambung dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan dengan cara sambungan dipanaskan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian adalah pengelasan dengan cara sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam hal ini logam induk tidak ikut mencair (Wiryosumarto dan Okumura; 2008).

Metalurgi dalam pengelasan, dalam pengertian yang sempit dapat dibatasi hanya pada logam las dan daerah yang terpengaruh panas atau Heat Affected Zone (HAZ). Untuk alasan ini secara singkat dan umum, latar belakang prinsip-prinsip metalurgi juga diperlukan sebelum membicarakan sifat-sifat las dan HAZ yang berdekatan. Dengan mengetahui metalurgi las, memungkinkan memprediksi sifat-sifat dari logam las. Pada proses pengelasan perlu diperhatikan faktor keamanan dan umur konstruksi, karena panas pengelasan sangat berpengaruh terhadap sifat material antara lain kekuatan tarik, retak las, kekerasan, ketangguhan, serta

perubahan struktur mikro (Yustiasih dkk; 2005). Aspek yang timbul selama dan sesudah pengelasan harus diperhitungkan sebelumnya, karena perencanaan yang tidak sesuai dapat mengakibatkan kualitas hasil las yang kurang baik. Dengan demikian pengetahuan metalurgi las dan ditambah dengan keahlian dalam operasi pengelasan, dapat ditentukan prosedur pengelasan yang baik guna menjamin hasil sambungan las yang baik dan sempurna.

2.2 Macam-macam pengelasan

2.2.1 SMAW (Shield Metal Arch Welding)

SMAW (Shield Metal Arch Welding) adalah las busur nyala api listrik terlindung dengan mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam. Jenis ini paling banyak dipakai dimana– mana untuk hampir semua keperluan 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.

2.2.2 SAW (Submerged Arch Welding).

SAW (Submerged Arch Welding) adalah las busur terbenam atau pengelasan dengan busur nyala api listrik. Untuk mencegah oksidasi cairan metal induk dan material tambahan, dipergunakan butiran– butiran fluks/slag sehingga busur nyala terpendam di dalam ukuran– ukuran fluks tersebut.

2.2.3 ESW (Electro Slag Welding)

ESW (Electro Slag Welding) adalah pengelasan busur terhenti, pengelasan sejenis SAW namun bedanya pada jenis ESW busurnya nyala mencairkan fluks, busur terhenti dan proses pencairan fluk berjalan terus dan menjadi bahan pengantar arus listrik (konduktif). Sehingga elektroda terhubung dengan benda yang dilas melalui konduktor tersebut. Panas yang dihasilkan dari tahanan terhadap arus listrik melalui cairan fluk/slag cukup tinggi untuk mencairkan bahan 7 tambahan las dan bahan induk yang dilas tempraturnya mencapai 3500° F atau setara dengan 1925° C.

2.2.4 EWS (Stud Welding)

EWS (Electro Welding Stud) adalah las baut pondasi, gunanya untuk menyambung bagian satu konstruksi baja dengan bagian yang terdapat di dalam beton (baut angker) atau “ Shear Connector “.

2.2.5 Pengelasan Gesek (Friction Welding, FW)

Penyambungan dalam pengelasan gesek terjadi akibat panas yang ditimbulkan oleh gesekan antara dua permukaan logam yang bersentuhan. Kedua bagian logam yang akan disambung disatukan dibawah pengaruh tekanan aksial, kemudian salah satu diputar sehingga pada permukaan kontak akan timbul panas (mendekati titik cair logam), maka setelah putaran dihentikan akan terbentuk sambungan logam (Sepdyanuri, 2013).

2.2.6 ERW (Electric Resistant Welding)

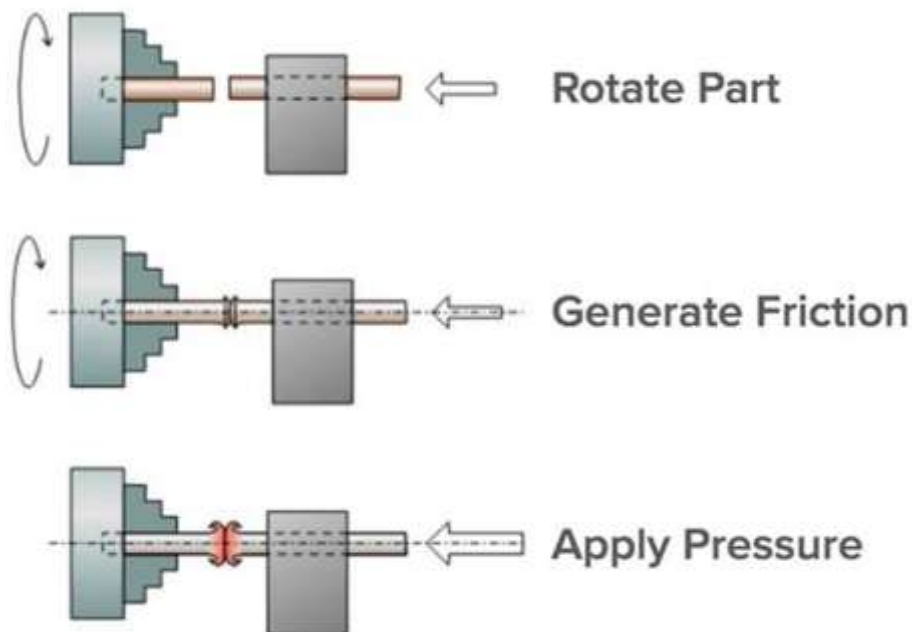
ERW (Electric Resistant Welding) adalah las tahanan listrik yaitu dengan tahanan yang besar panas yang dihasilkan oleh aliran listrik menjadi semakin tinggi sehingga mencairkan logam yang akan dilas. Contohnya adalah pada pembuatan pipa ERW, pengelasan plat–plat dinding pesawat, atau pada pagar kawat.

2.3 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesek adalah proses pengelasan keadaan padat atau tanpa logam pengisi. Metode ini bergantung pada konversi energi mekanik ke energi termal untuk membentuk pengelasan, tanpa aplikasi dari sumber panas lain. Panas untuk pengelasan dihasilkan oleh gerakan relatif dari dua antarmuka yang tersambung. Penyambungan terjadi antara dua permukaan bahan yang saling bergesekan, salah satu berputar sedang lainnya diam, lalu dikontakkan oleh gaya tekan aksial. Gesekan pada kedua permukaan kontak dilakukan secara kontinyu, sehingga panas yang ditimbulkan oleh gesekan akan terus meningkat sampai mendekati titik lebur logam sehingga terjadi flash. Dengan gaya tekan dan panas pada kedua permukaan hingga pertemuan kedua bahan mencapai suhu leleh (melting temperature) maka terjadilah proses las (Elmer dan Kautz; 1983). Parameter yang penting saat proses pengelasan gesek adalah tekanan gesek (P_f), waktu gesekan (t_f), tekanan tempa (P_u), waktu tempa (t_u) dan kecepatan putar (s). Pada proses

penyambungan terjadi proses deformasi plastis. Deformasi plastis terjadi akibat tekanan tempa, dan terjadi proses difusi karena adanya panas yang tinggi saat proses pengelasan. Deformasi plastis adalah pembentukan logam dimana baik ukuran maupun bentuk dari logam tidak dapat kembali pada keadaan semula (Suriadi dan Suarsana; 2007). Dalam gambar 2.1 ditunjukkan tahapan proses pengelasan gesek sebagai berikut :

1. Salah satu poros diputar dan logam poros lain dicekam pada toolpost lalu diberikan tekanan aksial.
2. Kedua poros digesekkan sehingga timbul panas.
3. Panas yang ditimbulkan gesekan sampai mendekati titik lebur logam tersebut sehingga terjadi flash.
4. Selanjutnya mesin dimatikan, kemudian secara langsung diberi tekanan aksial. Terbentuklah sambungan las gesek antara dua poros logam.

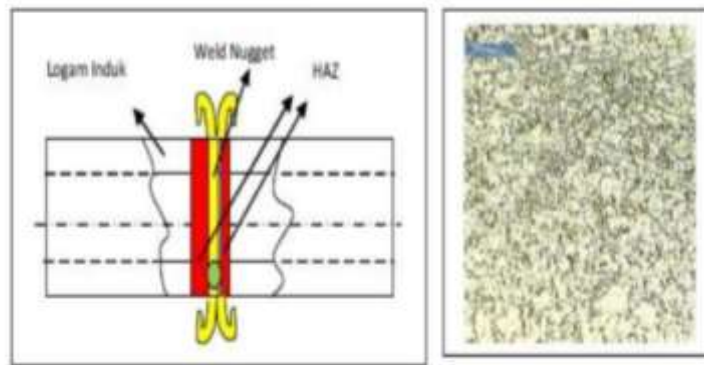


Gambar 2.1 Pengelasan Gesek 3 Dimensi

(sumber : Suriadi dan Suarsana; 2007)

2.3.1 Daerah Pengelasan

Daerah pengelasan adalah daerah yang terkena pengaruh panas saat proses pengelasan. Pengaruh panas tersebut menyebabkan sifat material mengalami perubahan karena perubahan struktur mikro pada area sambungan las. Daerah pengelasan terdiri dari tiga bagian yaitu; logam lasan, daerah pengaruh panas (HAZ), dan logam induk. Dalam gambar 2.2 ditunjukkan daerah pengelasan.



Gambar 2.2 Struktur Mikro Logam Hasil Friction Welding

(Sumber :Husodo dkk, 2012)

Daerah pengelasan terdiri dari tiga bagian yaitu sebagai berikut :

1. Logam lasan (*weld metal*), adalah daerah endapan las (*weld deposit*) dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las berasal dari logam pengisi (*filler metal*).
2. Daerah pengaruh panas (*HAZ*), adalah daerah dimana logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama pengelasan mengalami siklus termal atau pemanasan dan pendinginan dengan cepat.
3. Logam induk (*parent metal*), adalah bagian logam yang tidak terpengaruh oleh pemanasan dan temperatur yang disebabkan selama proses pengelasan, serta tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat mekanis dari logam induk. Hal ini disebabkan karena temperatur atau suhu yang terjadi di logam induk belum mencapai temperatur kritis (Wiryo Sumarto dan Okumura; 2008).

2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan Las Gesek (*Friction Welding*)

Bila dibandingkan dengan proses penyambungan metode las fusi, ada beberapa keuntungan yang dimiliki dari proses las gesek. Adapun kelebihanannya adalah sebagai berikut :

1. Tidak membutuhkan logam pengisi pada proses pengelasan.
2. Tidak ada fluks atau filler logam dan gas yang diperlukan dalam las gesek.
3. Kemungkinan terjadinya inklusi terak dan porositas dapat dihindarkan.
4. Cocok untuk jumlah produksi yang banyak.
5. Lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap atau gas.
6. Mengurangi tenaga kerja mesin, biaya pemeliharaan, meningkatkan kapasitas dan mengurangi biaya perkakas yang mudah rusak.
7. Memiliki kontrol yang akurat pada toleransi lasan.
8. Dapat menyambungkan dua material berbeda karakteristiknya.

Namun metode las gesek juga memiliki kekurangan yaitu :

1. Benda yang disambung harus simetris.
2. Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu deformasi secara plastis.
3. Keterbatasan bentuk yang dapat dilas.

2.3.3 Aplikasi Las Gesek

Berbagai macam hasil sambungan dari pengelasan las gesek (*friction welding*) dengan menggunakan bahan Stainless Steel.



Gambar 2.3 Hasil Sambungan Las Gesek

a) *Hydraulic cylinder piston*; b). *Pump motor shaft*; c). *shaft* dan d) *roller track excavator*.

Sumber : *Materials Azo. 2015. Friction Welding in the Manufacturing of OEM Chemical Processing Equipment - A Case Study by American Friction Welding.*

(Sumber : <http://www.mtiwelding.com>)

2.4 Stainless Steel 304

Outokumpu (2013), menyatakan bahwa paduan besi-kromium (Fe-Cr) dengan penambahan nikel (Ni) disebut sebagai baja tahan karat (*Stainless Steel*). Baja tahan karat memiliki sifat tahan terhadap asam pekat, tidak karat di air laut, dan memiliki titik lebur sampai 11000C. Penggunaan Stainless Steel didominasi oleh (a) (c) (e) (d) beberapa bidang seperti peralatan untuk industri minyak dan gas, industri kimia, produk konsumen, dan industri makanan dan minuman, karena baja tahan karat memiliki sifat mekanik yang baik dan mudah dilakukan pengerjaan. Stainless Steel memiliki beberapa tingkatan. *Stainless Steel* yang biasa digunakan adalah austenitik Cr-Ni 18-8 jenis baja, yang merupakan lebih dari 50% dari produk global *Stainless Steel*. Nilai yang lebih banyak digunakan berikutnya adalah feritik Cr-steels, diikuti oleh *Molybdenum-alloyed* Cr-Ni-Mo *Austenitic steels* (AK Steel Corporation, 2007). Stainless Steel merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Sedikit baja tahan karat yang mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe.

Daya tahan Stainless Steel terhadap oksidasi dalam suhu lingkungan yang tinggi di udara biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% dari berat krom. Krom membuat lapisan tidak aktif, kromium(III) oksida (Cr_2O_3) ketika bertemu oksigen. Lapisan ini terlalu tipis untuk diamati, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan udara dan air, maka logam terlindungi di bawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut passivation dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada titanium dan aluminium. Baja tahan karat dikelompokkan menjadi beberapa jenis yaitu sebagai berikut: 1. Baja tahan karat feritik, Feritik mempunyai kadar krom sebanyak 17% dan karbon antara 0,08-0,2%. Memiliki sifat ketahanan korosi yang meningkat terhadap suhu tinggi. Namun kelompok baja tahan karat ini sulit dilakukan perlakuan panas sehingga penggunaannya menjadi terbatas. Jenis baja tahan karat feritik antara lain adalah seri 409, 446. 2. Baja tahan karat austenitik, Austenitik memiliki kadar krom

sekitar 17-25% dan nikel sekitar 8-20% dan beberapa unsur tambahan dalam upaya mencapai sifat yang diinginkan.

Baja tahan karat jenis ini merupakan nonmagnetik. Jenis dari baja tahan karat austenitik anantara lain adalah seri 304, 316, 317, 321, 347, L Grade. 3. Baja tahan karat martensitik Martensitik memiliki kadar krom sebesar 12-14% dan karbon pada kisaran 0,08-2,0%. Kadar karbon yang tinggi merupakan hal yang baik dalam merespon panas untuk memberikan berbagai kekuatan mekanis, perlakuan permukaan dan ketahanan korosi sehingga bagus untuk berbagai aplikasi. Jenis baja karat mertensitik adalah seri 410, 416, 420, 431. 4. Baja tahan karat dupleks Merupakan kelompok terbaru yang mempunyai keseimbangan kromium, nikel, nitrogen dan molybdenum pada campuran yang sama antara jenis feritik dan autenit. Baja tahan karat jenis ini memiliki kekuatan yag tinggi, sangat tahan terhadap korosi dan direkomendasikan pada suhu -50°C sampai 300°C. Jenis baja tahan karat duplex antara lain adalah UNS S31803, UNS S32750, UNS S32. 5. Baja tahan karat precipitation hardening Baja tahan karat pengerasan pengendapan mempunyai struktur martensit atau austenit dengan penambahan unsur tembaga, titanium, alumunium, molibdenum, niobium dan nitrogen. Stainless Steel 304 termasuk kedalam jenis Stainless Steel austenitik. Material ini memiliki sifat non magnetik dan bisa dikeraskan dengan metode cold working. Tipe AISI 304 ini mengandung 18% Cr dan 8% Ni (iron and steel society, 1999). Jenis ini merupakan yang paling mudah dibentuk dari keseluruhan Stainless Steel, dan memiliki sifat mampu las yang baik. Stainless Steel 304 merupakan material dengan mutu sangat baik sebagai peralatan rumah tangga ataupun peralatan industri lainnya seperti water pump-finished, butterfly valves, Transmission input shaft dll. Hal inilah yang membuat Stainless Steel 304 menjadi material stainless yang paling banyak digunakan ketimbang material lain. Dalam tabel 2.1 ditunjukkan spesifikasi Stainless Steel AISI 304.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Stainlees Steel 304

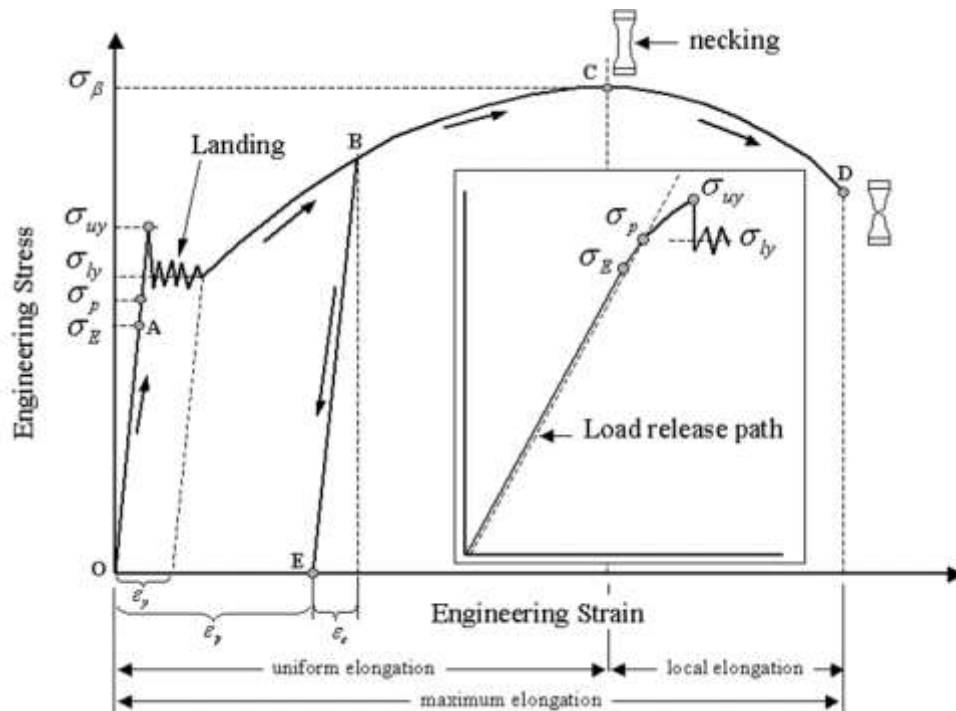
	304	304L	316	316L
Carbon (C)	0.08 max	0.03 max	0.08 max	0.03 max
Manganese (Mn)	2.0 max	2.0 max	2.0 max	2.0 max
Phosphorus (P)	0.045 max	0.045 max	0.045 max	0.045 max
Sulfur (S)	0.030 max	0.03 max	0.03 max	0.03 max
Silicon (Si)	0.75 max	0.75 max	0.75 max	0.75 max
Chromium (Cr)	18.0 - 20.0	18.0 - 20.0	16.0 - 18.0	16.0 - 18.0
Nickel (Ni)	8.0 - 12.0	8.0 - 12.0	10.0 - 14.0	10.0 - 14.0
Nitrogen (N)	0.10 max	0.10 max	—	—
Molybdenum (Mo)	—	—	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0
Iron (Fe)	Balance	Balance	Balance	Balance

(Sumber :AK Steel Corporation, 2007)

2.5 Macam-macam pengujian logam

2.5.1 Uji Tarik

Dieter (1988), menyatakan bahwa uji tarik adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu material dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1988). Kurva tegangan dan regangan dibuat dari hasil pengujian yang didapatkan. Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas awal penampang benda uji. Sedangkan regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dalam gambar 2.4 ditunjukkan profil singkat uji tarik.



Gambar 2.4 Profil Singkat Uji Tarik

(Sumber : Sastranegara, 2010)

- Batas elastis σ_E dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan uji diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan uji tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan “nol” pada titik 0.
- Batas proporsional σ_p adalah titik sampai dimana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
- Deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang tidak kembali pada keadaan semula. Pada gambar di atas bila bahan uji ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.
- Tegangan luluh atas σ_{uy} (upper yield stress) adalah tegangan maksimum sebelum bahan uji memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.
- Tegangan luluh bawah σ_{ly} (lower yield stress) adalah tegangan rata-rata daerah landing sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya yang disebutkan tegangan luluh, maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

- f) Regangan luluh ϵ_y (yield strain) adalah regangan permanen saat bahan uji akan memasuki fase deformasi plastis.
- g) Regangan elastis ϵ_e (elastic strain) adalah regangan yang diakibatkan perubahan bahan uji. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi awal. Regangan plastis ϵ_p (plastic strain) adalah regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan uji.
- i. Regangan total (total strain) adalah gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada yaitu regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal OE yaitu regangan plastis.
- j. Tegangan tarik maksimum (UTS, ultimate tensile strength) ditunjukkan dengan titik C (σ_b), yaitu besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
- k. Kekuatan patah ditunjukkan dengan titik D, yaitu besar tegangan dimana bahan uji patah atau putus.

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas penampang benda uji. Dituliskan seperti dalam persamaan 2.1 berikut.

$$\sigma = F/A \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

σ : Tegangan maksimal,

F: gaya tarikan,

A: luas penampang

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dituliskan seperti dalam persamaan 2.2 berikut.

$$\epsilon = \Delta L/L \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

ϵ : Regangan

ΔL : pertambahan panjang,

L: panjang awal Hubungan antara tegangan (stress) dan regangan (strain) dirumuskan dengan hukum Hooke: $E = \sigma/\epsilon$.

2.5.2 Uji Kekerasan

Kekerasan (Hardness) adalah salah satu sifat mekanik (Mechanical properties) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (frictional force), dalam hal ini bidang keilmuan yang berperan penting mempelajarinya adalah Ilmu Bahan Teknik (Metallurgy Engineering). Kekerasan diartikan juga sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Didunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan *vickers*:

1. Pengujian kekerasan (*Vickers*)

Uji kekerasan rockwell ini juga didasarkan kepada penekanan sebuah indenter dengan suatu gaya tekan tertentu kepermukaan yang rata dan bersih dari suatu logam yang diuji kekerasannya. Setelah gaya tekan dikembalikan ke gaya minor maka yang dijadikan dasar perhitungan nilai kekerasan rockwell bukanlah hasil pengukuran diameter ataupun diagonal bekas lekukan tetapi justru “dalamnya bekas lekukan yang terjadi itu”. Inilah cara rockwell dibandingkan dengan cara pengujian kekerasan lainnya. Angka kekerasan vickers dihitung dengan :

- $HV = \{2P \sin (\alpha/2)\}/d^2 = 1,854 P/d^2$
- Dimana : P = gaya tekan (kg)
- D = diagonal tampak tekan rata rata (mm)
- α = sudut puncak indenter = 136°

Hasil pengujian kekerasan vickers ini tidak akan bergantung pada besar gaya tekan (tidak seperti pada Brinell), dengan gaya tekan yang berbeda akan menunjukkan hasil yang sama untuk bahan yang sama. dengan demikian vickers dapat mengukur kekerasan bahan mulai dari yang sangat lunak (5HV) sampai yang amat keras (1500HV) tanpa perlu mengganti gaya tekan.

2. *Microhardness test*

Pada mikro vicker, indenter yang di gunakan juga sama seperti pada vickers biasa, juga cara perhitungan angka kekerasannya, hanya saja gaya tekan yang di gunakan kecil sekali , 1 sampai 1000 gram dan panjang diagonal indentasi diukur dalam mikron.

Angka kekerasan knoop dihitung sebagai berikut :

- $HK = 14,229 P / l$
- Diman : P = gaya tekan (kg)
- l = panjang diagonal tampak tekan yang panjang (micron)

mengingat bentuk indentornya maka knoopakan menghasilkan identitas yang sangat dangkal jika dibandingkan dengan vickers, sehingga sangat cocok untuk pengujian kekerasan pada lapisan yang sangat tipis

pemilihan masing-masing skala metode pengujian bergantung pada :

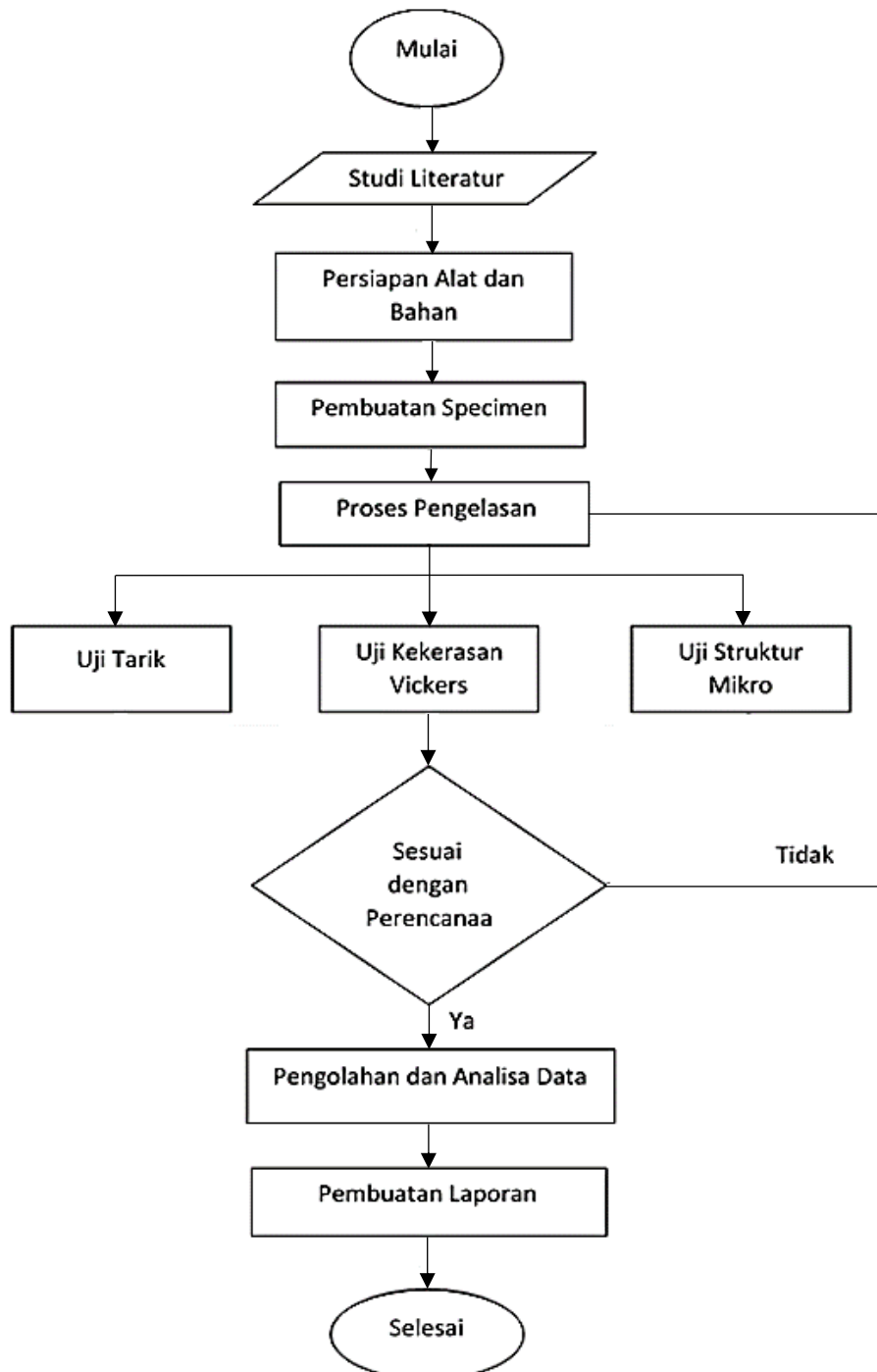
1. Permukaan material
2. Jenis dan dimensi material
3. Jenis data yang diinginkan
4. Ketersedian alat uji



Gambar 2. 6 Microhardness test
(sumber : Dokumen Pribadi)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Untuk mengetahui lebih jauh dan menjawab perumusan masalah maka digunakan metode experimental yang dapat digunakan untuk menguji suatu perlakuan atau rancangan baru dengan membandingkan satu atau lebih kelompok pengujian dengan perlakuan dan tanpa perlakuan.

3.3 Variabel Penelitian

Data diperoleh dengan menggunakan teknik observasi, yaitu dengan mengamati langsung objek penelitian agar didapatkan data yang diinginkan.

3.3.1 Variabel Bebas (*independen*)

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen (terikat) (Sugiyono, 2016: 61). Pada penelitian ini, variabel bebasnya adalah Variasi waktu gesek 40,45,50 detik dan pressure 1,5 1,75 dan 2 Mpa pada saat proses pengelasan.

3.3.2 Variabel Terikat (*dependen*)

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2016: 61). Dalam penelitian ini, variabel terikatnya adalah :

1. Kekuatan tarik sambungan pengelasan.
2. Nilai kekerasan sambungan pengelasan.

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan. Dalam penelitian ini, variabel kontrolnya adalah:

1. Jenis material yang digunakan adalah baja AISI 304 dan baja AISI 304.
2. Mesin *friction welding* yang digunakan adalah mesin bubut modifikasi dengan tipe C6240 dengan Putaran mesin 1600 Rpm
3. Ukuran spesimen untuk pengelasan masing-masing panjang 10 cm dengan diameter 12 mm.

3.4 Alat dan Material Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

a. Mesin Potong Logam (*Metal Cut 251*)

Mesin potong digunakan untuk memotong material Baja AISI 304 dan AISI 304 menjadi spesimen benda kerja untuk proses pengelasan dan spesimen pengujian agar ukurannya sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.



Gambar 3. 2 Mesin Potong Logam (*Metal Cut 251*)

(sumber : Dokumen Pribadi)

b. Termometer Inframerah

Termometer inframerah digunakan untuk mengetahui besarnya suhu atau temperatur sambungan pada saat proses pengelasan gesek pada benda kerja. Termometer inframerah dapat digunakan untuk mengukur suhu tanpa kontak fisik dengan objek ukur. Prinsipnya adalah dengan mengukur besarnya energi inframerah yang dipancarkan oleh objek ukur. Semakin panas suatu benda, maka molekulnya semakin aktif dan semakin banyak energi inframerah yang dipancarkan.



Gambar 3. 3 Thermometer inframerah

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

c. Mesin Bubut (*Lathe machine C6240*)

Mesin bubut (*Lathe machine C6240*) digunakan sebagai alat untuk melakukan pembuatan spesimen dan melakukan pengelasan *friction welding*.



Gambar 3. 4 Mesin Bubut (*Lathe machine C6240*)

(sumber : Dokumentasi Pribadi)

d. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik baja AISI 304 dan AISI 304 yang telah dilas gesek.



Gambar 3. 5 Mesin Uji Tarik

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

e. *Micro Vickers Machine*

Micro Vickers Machine digunakan untuk menguji kekerasan spesimen didaerah lasan pada baja AISI 304 dan AISI 304.



Gambar 3. 6 *Micro Vickers Machine*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

3.4.2 Material Penelitian

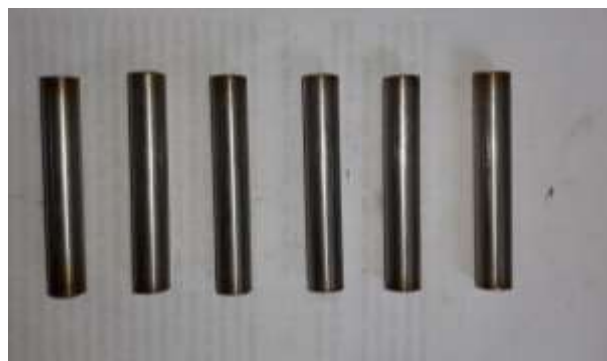
Bahan penelitian merupakan objek penelitian yang akan diambil datanya. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Baja AISI 304

Baja tahan karat adalah baja paduan yang memiliki sifat tahan korosi. Baja tahan karat diperoleh dengan menambahkan elemen Chromium (Cr) ke baja. Unsur Cr ditambahkan sedikitnya 12% yang kemudian akan bereaksi dengan oksigen di udara (atmosfer) dan Cr membentuk lapisan kromium (III) oksida (Cr_2O_3) yang tidak

aktif saat bertemu oksigen. Lapisan tersebut kedap dan kuat sehingga berfungsi sebagai dinding yang melindungi permukaan logam di bawahnya. Sehingga akan mencegah proses korosi yang sedang berlangsung. Lapisan Croksida (Cr_2O_3) bisa dikatakan permanen, karena jika lapisan tersebut cacat akibat goresan maka akan langsung terbentuk lapisan Cr-oksida yang baru.

Baja tahan karat 304 memiliki titik leleh 1399-1454 ° C, kekuatan tarik 52,0 kgf / mm², kekuatan luluh 21,0 kgf / mm², dan ekstensi 50% (Wirjosumarto dan Okumura, 2004).



Gambar 3. 7 Spesimen baja AISI 304
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Tabel 3. 1 Komposisi Material AISI 304

Sumber (*Iron and Society, 1999*)

	Alloying Element (wt%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
AISI 304	0.08	1.00	2.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-10.45

3.5 Desain Of Experimen

Desain Of Eksperimen (DOE) dan teknik statistik banyak digunakan untuk optimasi parameter proses. Rancangan percobaan yang diusulkan oleh Taguchi telah digunakan oleh banyak eksperimentalis untuk mengatasi proses optimasi selama percobaan (Butler 1992; Semioshkina dan Voigt 2006). Dengan menggunakan array ortogonal untuk mengatur parameter yang mempengaruhi proses dan level di mana mereka harus

divariasikan; Hal ini memungkinkan pengumpulan data yang diperlukan untuk menentukan faktor mana yang paling mempengaruhi kualitas produk dengan jumlah percobaan minimum, sehingga menghemat waktu dan sumber daya tanpa mempengaruhi hasil (Manideep dan Balachandar 2012). Parameter penggabungan yang dipilih untuk penelitian ini adalah: waktu gesek, tekanan tempa, dan waktu tempa . Dengan 3 parameter

Tabel 3. 2 Tingkat Eksperimen Pemyambungan

NO	WAKTU GESEK	TEKANAN TEMPA	WAKTU TEMPA
1	40	1,5	15
2	45	1,75	20
3	50	2	25

proses dan 3 level dari setiap parameter, array ortogonal L9 dari array ortogonal Taguchi dipilih .

Tabel 3. 3 Rincian Percobaan (*orthogonal experiment*).

No	Waktu gesek (s)	Tekanan Tempa (Mpa)	Waktu Tempa (s)
S1	1	1	1
S2	1	2	2
S3	1	3	3
S4	2	1	2
S5	2	2	3
S6	2	3	1
S7	3	1	3
S8	3	2	1
S9	3	3	2

3.5.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di :

- a. Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Global Jakarta untuk pembuatan spesimen dan proses pengelasan.
- b. Pengujian dilakukan di laboratoium Teknik mesin Metal sains Universitas Global Jakarta

3.5.2 Waktu Penelitian

Penulisan penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan, yaitu pada bulan Maret 2021 - agustus 2021.

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Proses pengelasan degan metode friction welding dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Global Jakarta.

Adapun tahapan pengerjaan penelitiannya adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan benda uji untuk pengelasan, bahan AISI 304 dan AISI 304 dengan ukuran panjang 100 mm dengan diameter 12mm.
- b. Prosedur pengelasan
 - Mempersiapkan mesin bubut.
 - Mempersiapkan benda kerja pada mesin bubut untuk melakukan pengelasan.
 - Melakukan proses penyambungan dengan friction welding dengan parameter yang telah ditentukan.
 - Mesin memutar benda kerja kemudian proses pengelasan terjadi pada saat benda kerja yang tidak berputar dikontakkan dengan benda kerja yang berputar dibawah tekanan konstan atau meningkat secara bertahap, sampai kedua permukaan mencapai suhu pengelasan dan kemudian putaran dihentikan dan terjadi proses penyatuan material.
 - Proses selesai, spesimen dipindahkan dari mesin bubut.
 - Spesimen didinginkan dengan menggunakan air dalam ember.
 - Kemudian membentuk spesimen sesuai dengan standar pengujian.

3.6.1 Pengujian hasil pengelasan

Pada pengujian specimen dengan pengelasan *Friction Welding* ada 3 pengujian yaitu :

a. Uji Tarik

Uji tarik dilakukan dengan menggunakan standar JIS Z2241; SNI 838-2017. Kemudian mengukur benda uji dengan menggunakan tenaga hidrolik dimulai dari 0 kg dan terus bertambah hingga benda putus pada beban maksimum. Setelah benda uji putus kemudian diukur berapa besar penampang dan panjang benda uji setelah putus. Untuk melihat beban dan gaya maksimum benda uji terdapat layar digital dan dicatat sebagai data. Setelah semua data diperoleh kemudian menghitung kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan perpanjangan benda



Gambar 3. 8 Alat Uji Tarik

(sumber : Dokumentasi Pribadi)

b. Pengujian Kekerasan

Sebelum pengujian dimulai, pasang indenter terlebih dahulu sesuai dengan jenis pengujian yang diinginkan, yaitu indenter bola baja atau kerucut intan. Setelah indenter terpasang letakkan spesimen yang akan diuji kekerasannya ditempat yang tersedia dan menyetel beban yang akan digunakan untuk proses penekanan . Untuk mengetahui nilai kekerasannya dapat dilihat pada jarum yang terpasang pada alat ukur berupa dial *indicator pointer*.



Gambar 3. 9 Alat Uji Kekerasan (*Vickers*)

(sumber : Dokumentasi Pribadi)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelasan dengan metode las gesek (*friction welding*) merupakan pengelasan dalam kondisi diam dan berputar dengan memanfaatkan putaran dari spindle. Setelah dilakukan penyambungan dan pengukuran terhadap benda uji didapatkan data-data yang ditampilkan di bab ini.

4.1 Proses penyambungan benda uji AISI 304 dan AISI 304 (*Friction welding*)

Proses penyambungan benda uji dengan pengelasan gesek dengan mesin bubut yang sudah di modifikasi untuk proses pengelasan gesek (*Friction welding*), dengan rpm dan preasure yang sudah di tetapkan.



Gambar 4. 1 Proses Penyambungan Benda Uji AISI 304 dan AISI 304 (*friction welding*)

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada proses penyambungan material AISI 304 dan AISI 304 terdapat temperatur titik leleh pada sambungan atau pada bagian interface las gesek, berikut ini gambar pengetesan temperatur las gesek dengan derajat celcius.



Gambar 4. 2 Pengetesan Suhu Sebelum Pengelasan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada pengelasan gesek material AISI 304 / AISI 304 material mulai meleleh berada di temperatur 172 derajat celcius dengan Rpm 1600



Gambar 4. 3 Pengetesan Suhu Pengelasan gesek

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4. 2 Pengetesan suhu pengelasan gesek

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada pengelasan gesek material AISI 304 / AISI 304 titik leleh maksimal berada di 372 derajat celcius dengan putaran Rpm 1600

4.1.1 Hasil Pengelasan Gesek AISI 304 dan AISI 304

Hasil sambungan las gesek bahan AISI 304 dengan AISI 304, di buat dengan jumlah totalnya ada 9 sampel dengan parameter berbeda.



Gambar 4. 3 Hasil Pengelasan Gesek AISI 304 dan AISI 304

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.1.2 Proses Pembubutan Spesimen

Setelah pengelasan dari 9 spesimen maka dilakukan pembubutan di bagian tengah atau bagian sambungan material yang di las gesek untuk dilakukan proses uji tarik.



Gambar 4. 4 Spesimen Yang Sudah Di Bubut

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.2 Hasil Pengujian Mekanik

4.2.1 Proses Pengujian Tarik (*Ttensile Test*)



Gambar 4. 5 Proses Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.2.2 Hasil spesimen setelah pengujian tarik (*Tensile Test*)



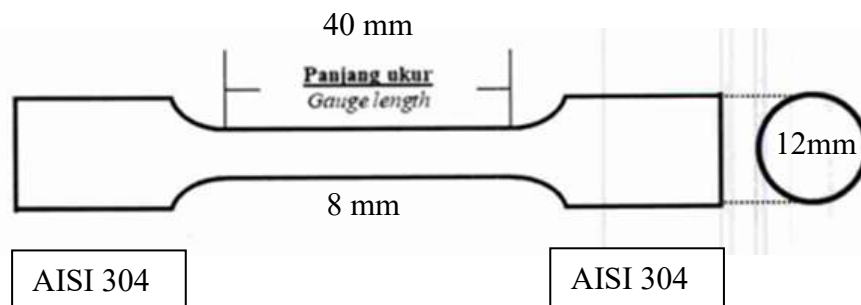
Gambar 4. 6 Hasil Spesimen Setelah Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Dalam gambar di atas terlihat patahan-patahan yang relatif, di antara daerah *HAZ*, *Base* dan *Melting Join* (daerah sambungan las) hal itu terjadi karena nilai dari kekuatan tarik yang berbeda-beda. Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (*brittle*). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (*ductile*).

4.3 Pembahasan Hasil Nilai Uji Tarik (*Tensile Test*)

Berikut ini adalah gambar specimen uji tarik beserta dimensinya dan gambar specimen yang telah di uji tarik specimen akan patah di sekitar daerah cekungan yang telah di bubut yang diameter 8 mm

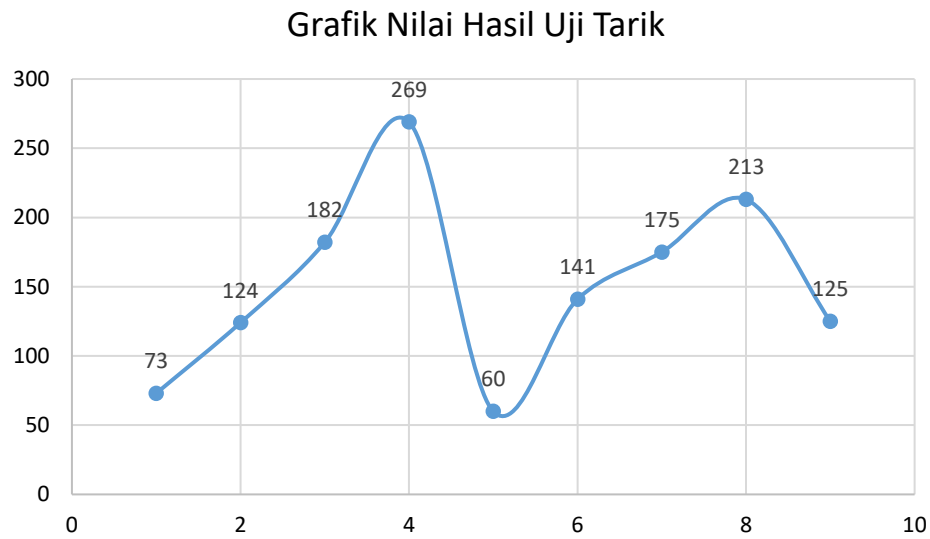


Gambar 4. 7 Sketsa Benda Uji Tarik (*Tensile Tes*)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang total 200mm ,panjang ukur 40 mm dan diameter luar 13 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukan.

Tabel 4. 1 Tabel Nilai Hasil Uji Tarik

Kode sampel	Waktu gesek (s)	Tekanan tempa (Mpa)	Waktu tempa (s)	Luas area (mm ²)	Kuat tarik (MPa)
S1	40	1,5	15	40.69	73.76
S2	40	1,75	20	55.38	124.59
S3	40	2	25	45.34	182.98
S4	45	1,5	20	45.34	269.42
S5	45	1,75	25	47.75	60.29
S6	45	2	15	44.15	141.04
S7	50	1,5	25	51.5	175.69
S8	50	1,75	15	47.75	213.60
S9	50	2	20	51.5	125.44



Grafik 4. 1 Nilai Hasil Uji Tarik

4.3.1 Hasil Uji Tarik Sampel 1



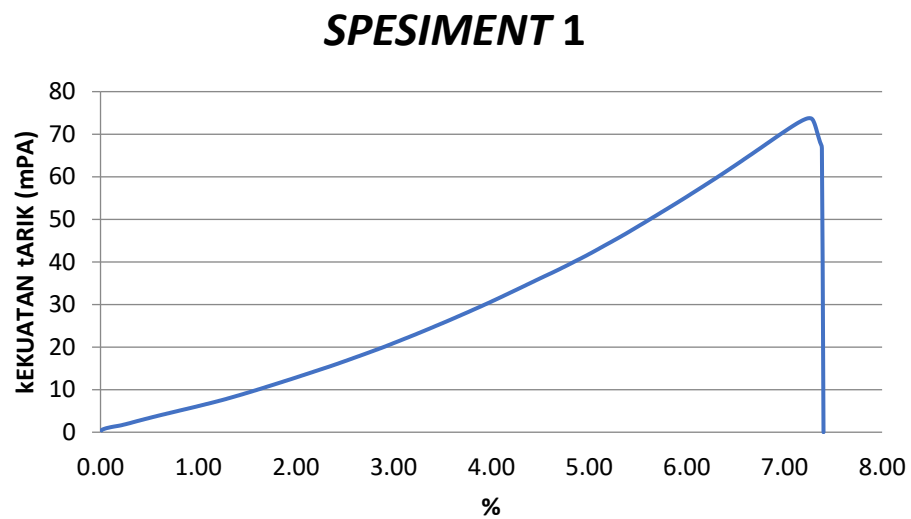
Gambar 4. 8 Hasil Uji Tarik Sampel 1

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang 200 mm, diameter luar 12 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukkan.

Tabel 4. 2 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 1

KODE SAMPEL	WAKTU GESEK (s)	TEKANAN TEMPA (Mpa)	WAKTU TEMPA (s)	LUAS AREA (mm ²)	KUAT TARIK (Mpa)
S1	40	1,5	15	40,69	73.76

Grafik 4. 2 Hasil Uji Tarik *Speciment 1*

Grafik di atas menunjukkan proses uji tarik pada sampel 1 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 15s, tekanan tempa 1,5Mpa dan waktu tempa 15s

Tabel 4. 3 Tabel Hasil Uji Tarik Sampel 1

NO	SPECIMENT	AREA	MAX FORCE	Y'S	YIELD	TENSILE	YOUNG MODULUS
1	S1	40,69	3001	2,752	35,96	73,76	898,08

4.3.2 Hasil Uji Tarik Sampel 2



Gambar 4. 9 Hasil Uji Tarik Sampel 2

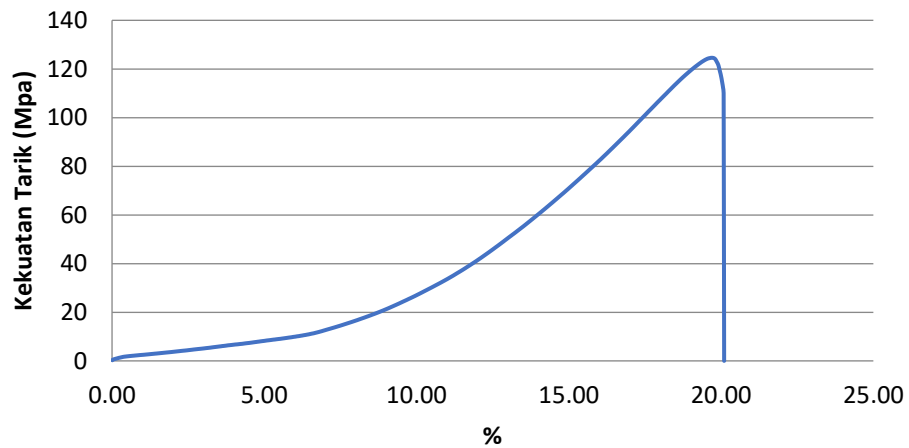
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang 200 mm, diameter luar 12 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukan.

Tabel 4. 4 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 2

KODE SAMPEL	WAKTU GESEK (s)	TEKANAN TEMPA (Mpa)	WAKTU TEMPA (s)	LUAS AREA (mm2)	KUAT TARIK (Mpa)
S2	40	1,75	20	55.38	124.59

Spesiment 2



Grafik 4. 3 Hasil Uji Tarik *speciment 2*

Grafik di atas menunjukkan proses uji tarik pada sampel 2 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 15s, tekanan tempa 1,75Mpa dan waktu tempa 20s

Tabel 4. 5 Hasil Uji Tarik Sampel 2

NO	SPECIMENT	AREA	MAX FORCE	Y'S	YIELD	TENSILE	YOUNG MODULUS
1	S2	55.38	6900	1.723	124.59	124.59	828.52

4.3.3 Hasil Uji Tarik Sampel 3



Gambar 4. 10 Hasil Uji Tarik Sampel 3

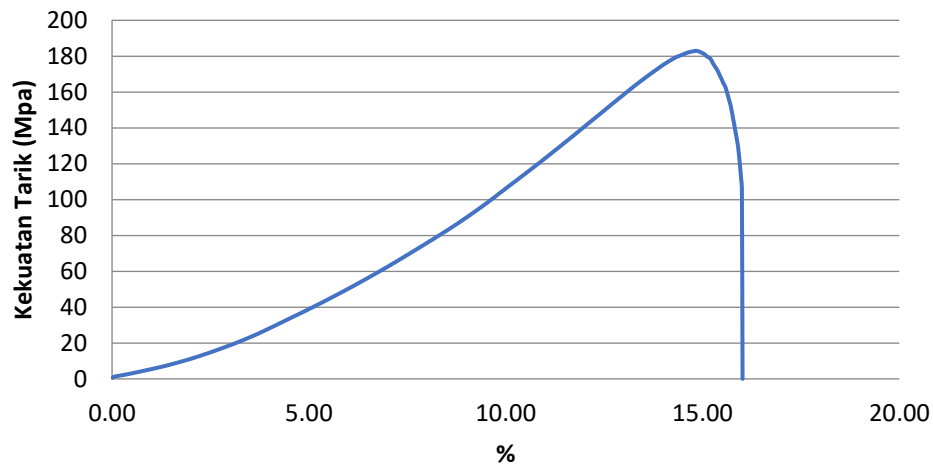
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang 200 mm, diameter luar 12 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukan

Tabel 4. 6 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 3

KODE SAMPEL	WAKTU GESEK (s)	TEKANAN TEMPA (Mpa)	WAKTU TEMPA (s)	LUAS AREA (mm2)	KUAT TARIK (Mpa)
S3	40	2	25	45.34	182.98

Spesiment 3



Grafik 4. 4 Hasil Uji Tarik *Speciment 3*

Grafik di atas menunjukkan proses uji tarik pada sampel 3 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 40s, tekanan tempa 2Mpa dan waktu tempa 25s

Tabel 4. 7 Hasil Uji Tarik Sampel 3

NO	SPECIMENT	AREA	MAX FORCE	Y'S	YIELD	TENSILE	YOUNG MODULUS
1	S3	45.34	8296	2.655	72.70	182.98	1212.96

4.3.4 Hasil Uji Tarik Sampel 4



Gambar 4. 11 Hasil Uji Tarik Sampel 4

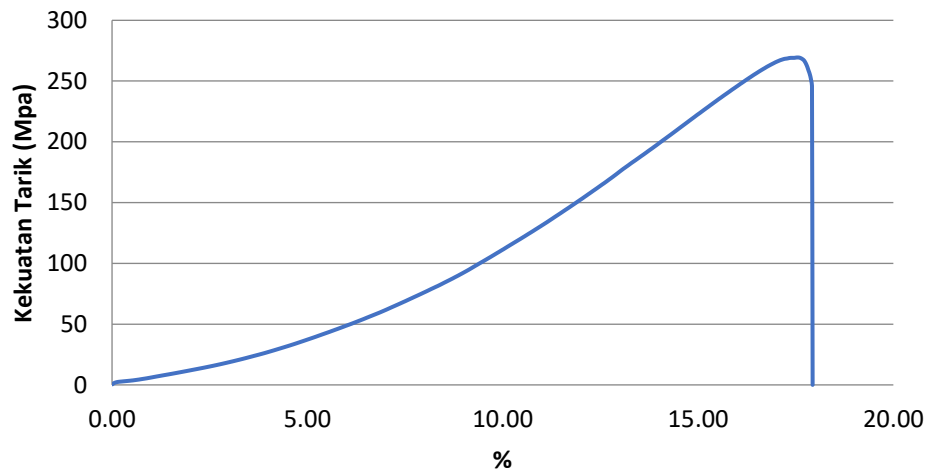
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang 200 mm, diameter luar 12 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukan

Tabel 4. 8 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 4

KODE SAMPEL	WAKTU GESEK (s)	TEKANAN TEMPA (Mpa)	WAKTU TEMPA (s)	LUAS AREA (mm2)	KUAT TARIK (Mpa)
S4	45	1,5	15	45.34	269.42

Spesiment 4



Grafik 4. 5 Hasil Uji Tarik *Speciment 4*

Grafik di atas menunjukkan proses uji tarik pada sampel 4 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 45s, tekanan tempa 1,5Mpa dan waktu tempa 15s

Tabel 4. 9 Hasil Uji Tarik Sampel 4

NO	SPECIMENT	AREA	MAX FORCE	Y'S	YIELD	TENSILE	YOUNG MODULUS
1	S4	45.34	12215	3.277	101.10	269.42	1664.93

4.3.5 Hasil Uji Tarik Sampel 5



Gambar 4. 12 Hasil Uji Tarik Sampel 5

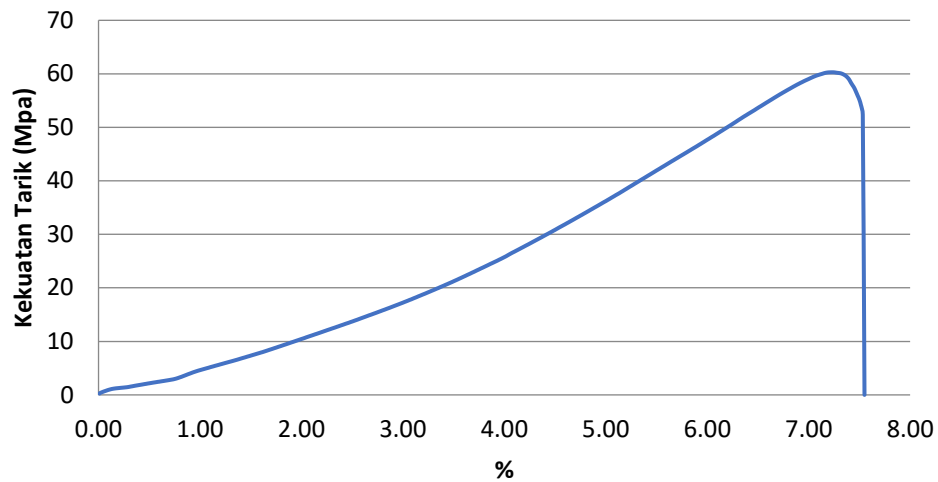
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang 200 mm, diameter luar 12 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukan

Tabel 4. 10 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 5

KODE SAMPEL	WAKTU GESEK (s)	TEKANAN TEMPA (Mpa)	WAKTU TEMPA (s)	LUAS AREA (mm2)	KUAT TARIK (Mpa)
S5	45	1,75	15	47.75	60.29

Spesiment 5



Grafik 4. 6 Hasil Uji Tarik *Speciment 5*

Grafik di atas menunjukkan proses uji tarik pada sampel 5 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 45s, tekanan tempa 1,75Mpa dan waktu tempa 20s

Tabel 4. 11 Hasil Uji Tarik Sampel 5

NO	SPECIMENT	AREA	MAX FORCE	Y'S	YIELD	TENSILE	YOUNG MODULUS
1	S5	47.75	2879	1.846	23.90	60.29	826.24

4.3.6 Hasil Uji Tarik Sampel 6



Gambar 4. 13 Hasil Uji Tarik Sampel 6

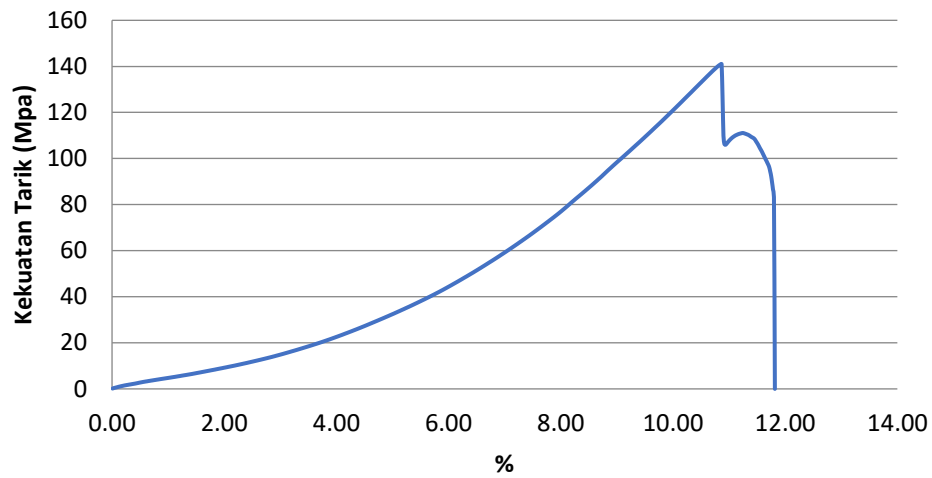
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang 200 mm, diameter luar 12 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukan

Tabel 4. 12 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 6

KODE SAMPEL	WAKTU GESEK (s)	TEKANAN TEMPA (Mpa)	WAKTU TEMPA (s)	LUAS AREA (mm ²)	KUAT TARIK (Mpa)
S6	45	2	15	44.15	141.04

Spesiment 6



Grafik 4. 7 Hasil Uji Tarik *Speciment 6*

Grafik di atas menunjukkan proses uji tarik pada sampel 6 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 45s, tekanan tempa 2Mpa dan waktu tempa 15s

Tabel 4. 13 Hasil Uji Tarik Sampel 6

NO	SPECIMENT	AREA	MAX FORCE	Y'S	YIELD	TENSILE	YOUNG MODULUS
1	S6	44.15	6227	2.263	141.04	141.04	1457.03

4.3.7 Hasil Uji Tarik Sampel 7



Gambar 4. 14 Hasil Uji Tarik Sampel 7

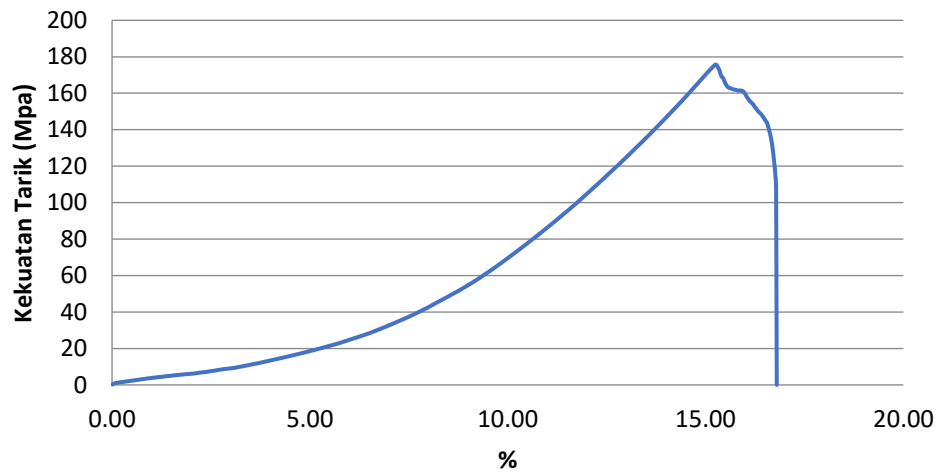
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang 200 mm, diameter luar 12 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukan

Tabel 4. 14 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 7

KODE SAMPEL	WAKTU GESEK (s)	TEKANAN TEMPA (Mpa)	WAKTU TEMPA (s)	LUAS AREA (mm2)	KUAT TARIK (Mpa)
S7	50	1,5	25	51.5	175.69

Spesiment 7



Grafik 4. 8 Hasil Uji Tarik *Speciment 7*

Grafik di atas menunjukkan proses uji tarik pada sampel 7 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 50s, tekanan tempa 1,5Mpa dan waktu tempa 25s

Tabel 4. 15 Hasil Uji Tarik Sampel 7

NO	SPECIMENT	AREA	MAX FORCE	Y'S	YIELD	TENSILE	YOUNG MODULUS
1	S7	51.5	9048	2.009	60.57	175.69	1413.84

4.3.8 Hasil Uji Tarik Sampel 8



Gambar 4. 15 Hasil Uji Tarik Sampel 8

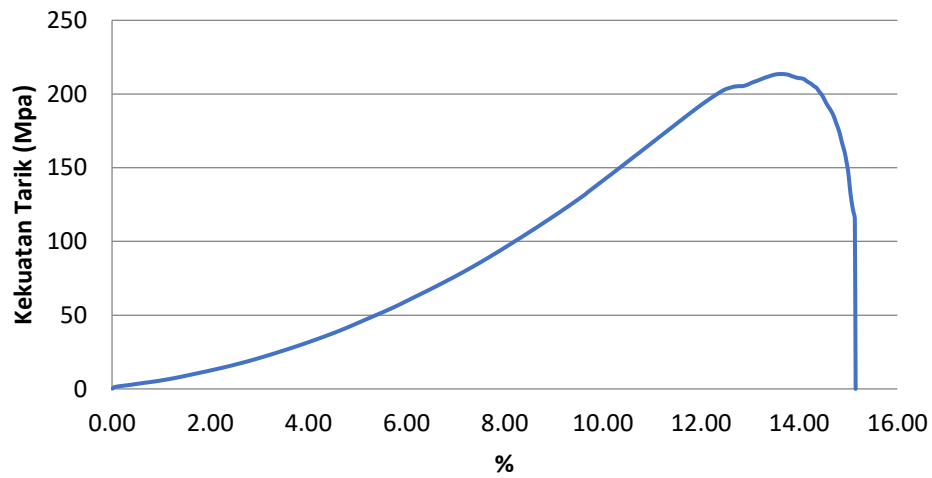
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang 200 mm, diameter luar 12 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukan

Tabel 4. 16 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 8

KODE SAMPEL	WAKTU GESEK (s)	TEKANAN TEMPA (Mpa)	WAKTU TEMPA (s)	LUAS AREA (mm2)	KUAT TARIK (Mpa)
S8	50	1,75	15	47.75	213.60

Spesiment 8



Grafik 4. 9 Hasil Uji Tarik *Speciment 8*

Grafik di atas menunjukkan proses uji tarik pada sampel 8 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 50s, tekanan tempa 1,75Mpa dan waktu tempa 15s

Tabel 4. 17 Hasil Uji Tarik Sampel 8

NO	SPECIMENT	AREA	MAX FORCE	Y'S	YIELD	TENSILE	YOUNG MODULUS
1	S8	47.75	10199	2.865	204.82	213.60	1709.80

4.3.9 Hasil Uji Tarik Sampel 9



Gambar 4. 16 Hasil Uji Tarik Sampel 9

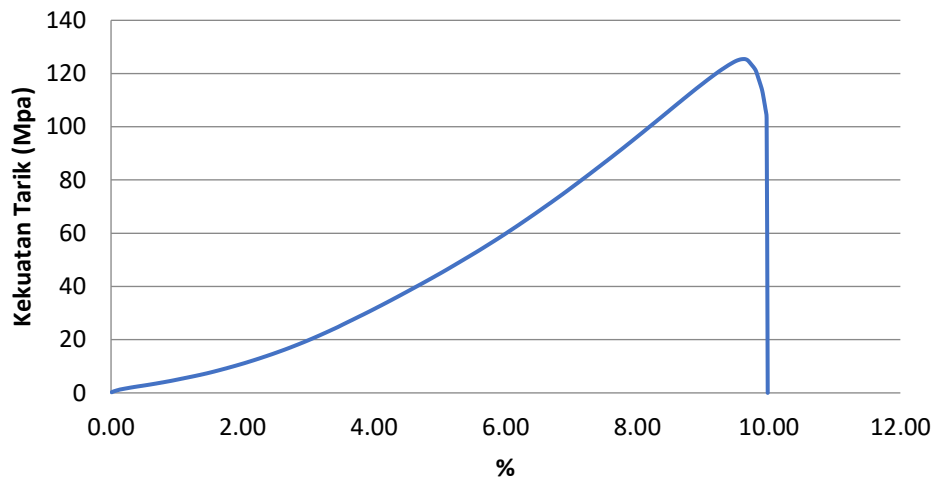
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar diatas benda yang akan di uji tarik memiliki panjang 200 mm, diameter luar 12 mm ,nilai hasil uji tarik tertera pada tabel di bawah dengan penggabungan parameter friction welding yang dimasukan

Tabel 4. 18 Spesifikasi Uji Tarik Sampel 9

KODE SAMPEL	WAKTU GESEK (s)	TEKANAN TEMPA (Mpa)	WAKTU TEMPA (s)	LUAS AREA (mm2)	KUAT TARIK (Mpa)
S9	50	2	25	51.5	125.44

Spesiment 9



Grafik 4. 10 Hasil Uji Tarik *Speciment 9*

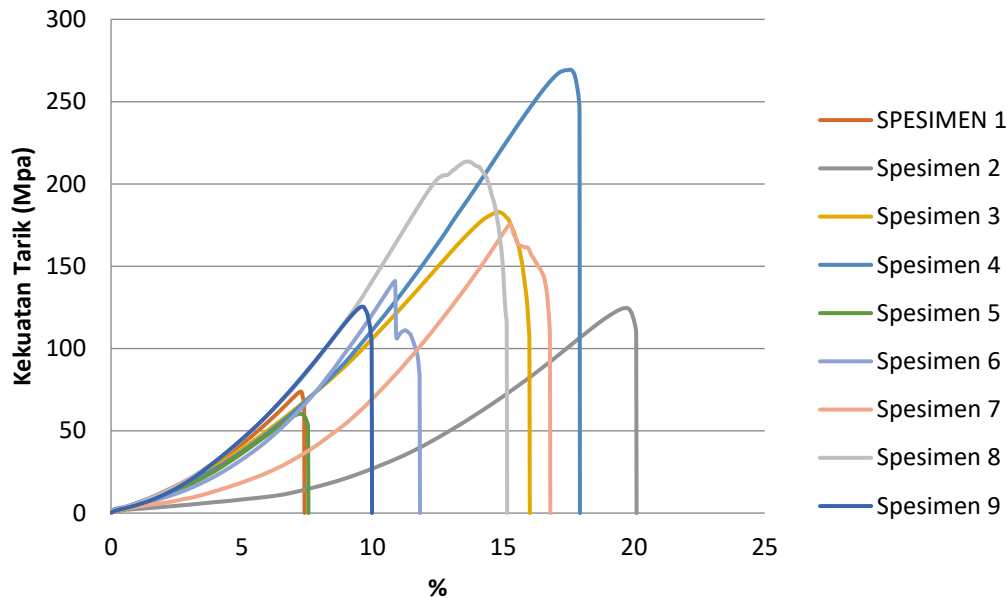
Grafik di atas menunjukkan proses uji tarik pada sampel 9 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 50s, tekanan tempa 2Mpa dan waktu tempa 25s

Tabel 4. 19 Hasil Uji Tarik Sampel 9

NO	SPECIMENT	AREA	MAX FORCE	Y'S	YIELD	TENSILE	YOUNG MODULUS
1	S9	51.5	6460	2.407	48.93	125.44	1314.62

4.3.10 Analisa Hasil Uji Tarik AISI 304 / AISI 304

Grafik *spesiment* 1 - 9



Grafik 4. 11 Grafik *Spesiment* 1 - 9

Pada grafik kekuatan tarik di atas terlihat naik turunya grafik yang signifikan dari nilai kekuatan tarik yang paling rendah pada sampel 1 hingga pada sampel 9.

Berdasarkan hasil uji tarik, grafik dan peraktek pengelasan maka penulis menganalisis bahwa kekuatan tarik yang paling tinggi terjadi pada sampel 4 disebabkan oleh :

1. uji tarik pada sampel 4 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 45s, tekanan tempa 1,5Mpa dan waktu tempa 15s.

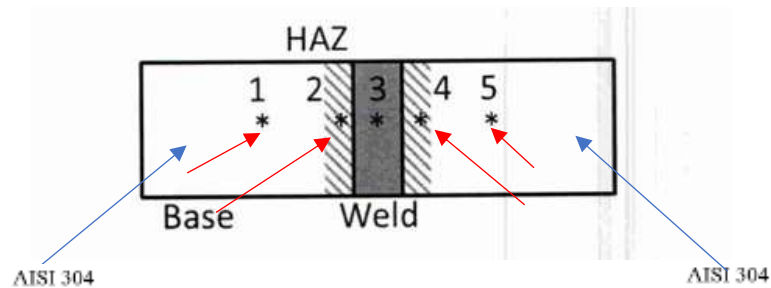
Berdasarkan hasil uji tarik, grafik dan peraktek pengelasan maka penulis menganalisis bahwa kekuatan tarik yang paling rendah terjadi pada sampel 1 disebabkan oleh :

1. uji tarik pada sampel 1 material AISI 304 dan AISI 304, Dengan parameter waktu gesek 15s, tekanan tempa 1,5Mpa dan waktu tempa 15s

4.4 Hasil Nilai Pengujian Kekerasan (*Vickers*)

Setelah melakukan proses uji tarik antara logam AISI 304 dan AISI 304 akan dilakukan pengujian mekanik uji kekerasan *vickers* . Untuk pengujian kekerasan vickers (VHN) dilakukan lima titik yaitu titik satu dari sambungan dan stelah sambungan dengan jarak 2 mm.

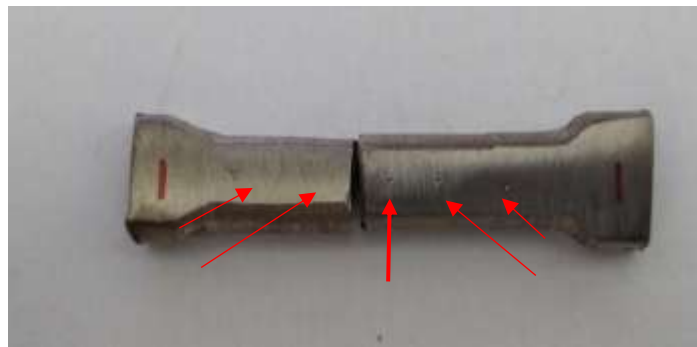
4.3.1 Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sampel 1



Gambar 4. 17 Daerah titik indentasi uji kekerasan.

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah



Gambar 4. 18. Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 1

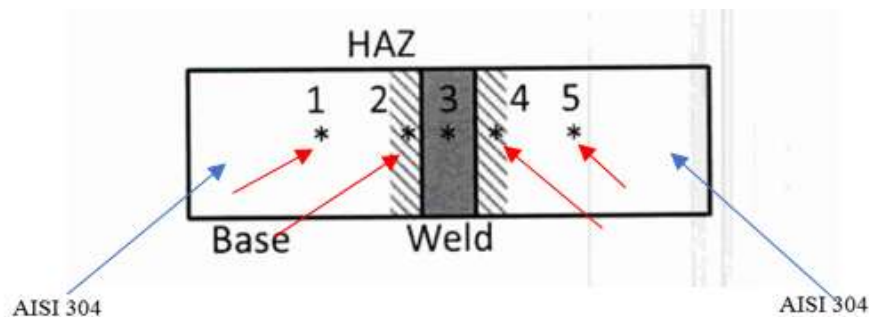
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sampel 1 memiliki 3 parameter yaitu waktu gesek 40 s, tekanan tempa 1,5 mpa dan waktu tempa 15 s. dan berdasarkan hasil uji kekeran di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.1.data hasil uji kekerasan *vickers* sampel 1

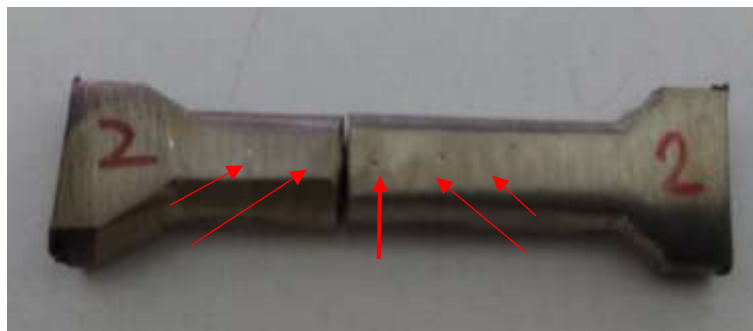
Kode Sampel	Indentation	HV	keterangan
S1	Base (1)	240	Vikers Load:3000gf,10 detik
	Haz (2)	257	
	Weld (3)	191	
	Haz (4)	190	
	Base (5)	201	

4.3.2 Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sampel 2



Gambar 4. 19 Daerah titik indentasi uji kekerasan
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah



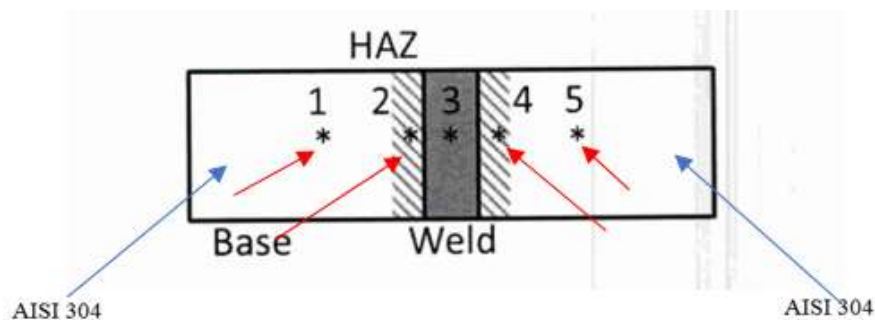
Gambar 4. 20 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 2
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sampel 2 memiliki 3 parameter yaitu waktu gesek 40 S, tekanan tempa 1,75 mpa dan waktu tempa 40 S.dan berdasarkan hasil uji kekeran di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.2.Data Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 2

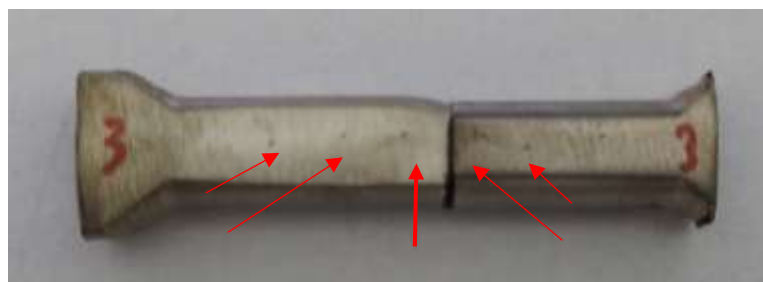
Kode Sampel	Indentation	HV	keterangan
S2	Base (1)	204	<i>Vickers</i> Load:3000gf,10 detik
	Haz (2)	163	
	Weld (3)	182	
	Haz (4)	169	
	Base (5)	190	

4.3.3 Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 3



Gambar 4. 21 Daerah titik indentasi uji kekerasan
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah



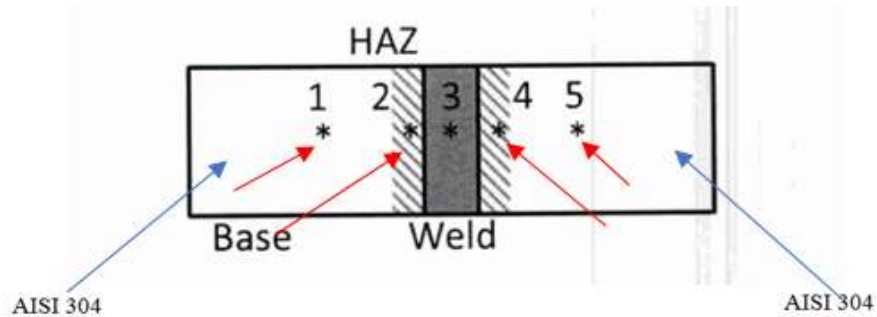
Gambar 4. 22 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 3
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sampel 3 memiliki 3 parameter yaitu waktu gesek 40 s, tekanan tempa 2 mpa dan waktu tempa 25 s.dan berdasarkan hasil uji kekeran di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.3.Data Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 3

Kode Sampel	Indentation	HV	keterangan
S3	Base (1)	207	<i>Vickers</i> Load:3000gf,10 detik
	Haz (2)	180	
	Weld (3)	191	
	Haz (4)	187	
	Base (5)	214	

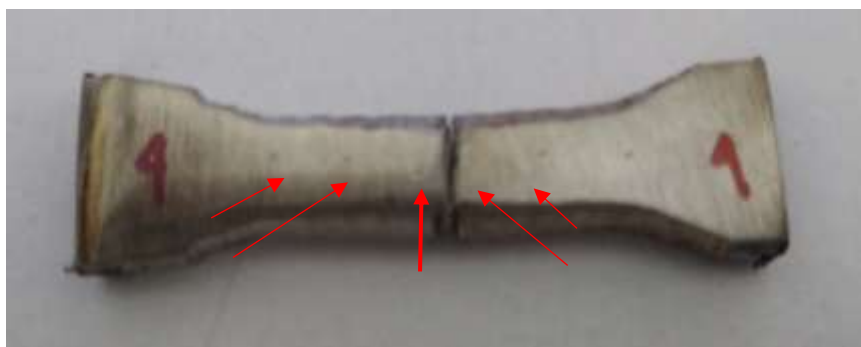
4.3.4 Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sampel 4



Gambar 4. 23 Daerah titik indentasi uji kekerasan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah



Gambar 4. 24 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 4

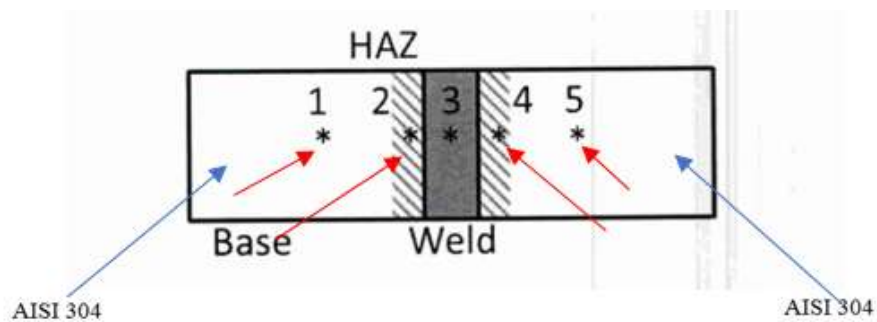
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sampel 4 memiliki 3 parameter yaitu waktu gesek 45 S, tekanan tempa 1,5 mpa dan waktu tempa 20 S. dan berdasarkan hasil uji kekeran di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.4. Data Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 4

Kode Sampel	Indentation	HV	keterangan
S4	Base (1)	228	<i>Vickers</i> Load:3000gf,10 detik
	Haz (2)	187	
	Weld (3)	175	
	Haz (4)	203	
	Base (5)	216	

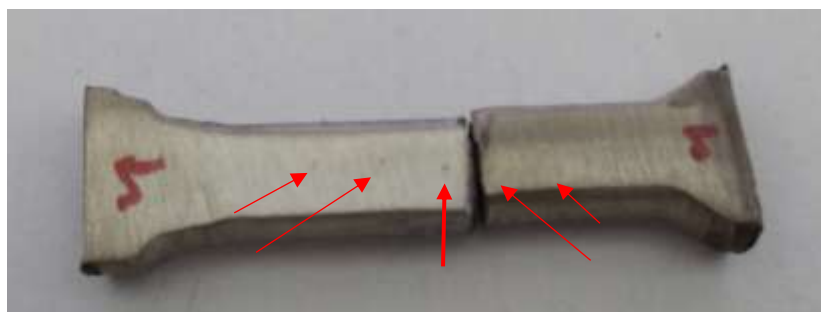
4.3.5 Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sampel 5



Gambar 4. 25 . Daerah titik indentasi uji kekerasan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah



Gambar 4. 26 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 5

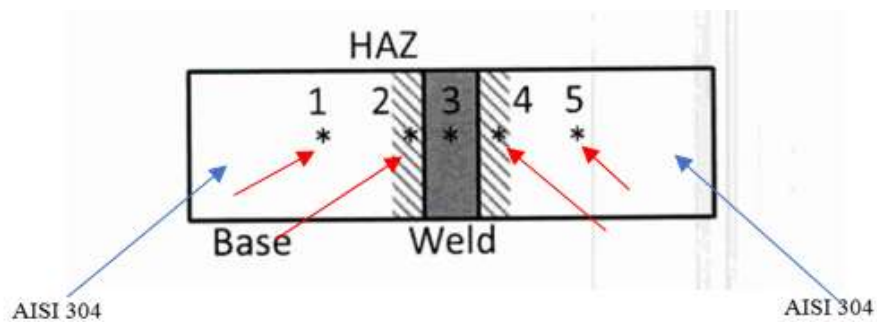
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sampel 5 memiliki 3 parameter yaitu waktu gesek 45 s, tekanan tempa 1,75 MPa dan waktu tempa 25 s. dan berdasarkan hasil uji kekeran di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.5.Data Hasil Uji Kekerasan Vickers Sampel 5

Kode Sampel	Indentation	HV	keterangan
S5	Base (1)	175	Vickers Load:3000gf,10 detik
	Haz (2)	178	
	Weld (3)	187	
	Haz (4)	193	
	Base (5)	211	

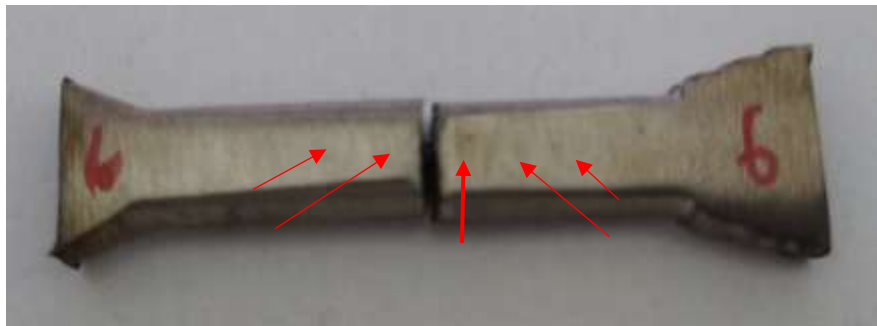
4.3.6 Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sampel 6



Gambar 4. 27 Daerah titik indentasi uji kekerasan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah



Gambar 4. 28 . Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 6

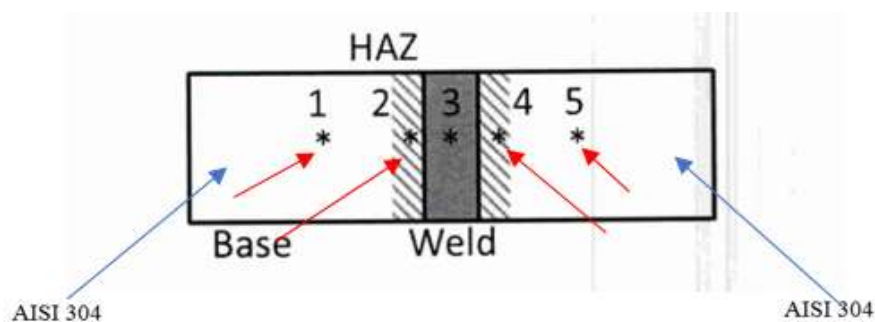
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sampel 6 memiliki 3 parameter yaitu waktu gesek 45 s, tekanan tempa 1,75 MPa dan waktu tempa 25 s.dan berdasarkan hasil uji kekeran di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.6.Data Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 6

Kode Sempel	Indentation	HV	keterangan
S6	Base (1)	209	<i>Vickers</i> Load:3000gf,10 detik
	Haz (2)	180	
	Weld (3)	182	
	Haz (4)	219	
	Base (5)	215	

4.3.7. Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 7



Gambar 4. 29. Daerah titik indentasi uji kekerasan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah



Gambar 4. 30. Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 7

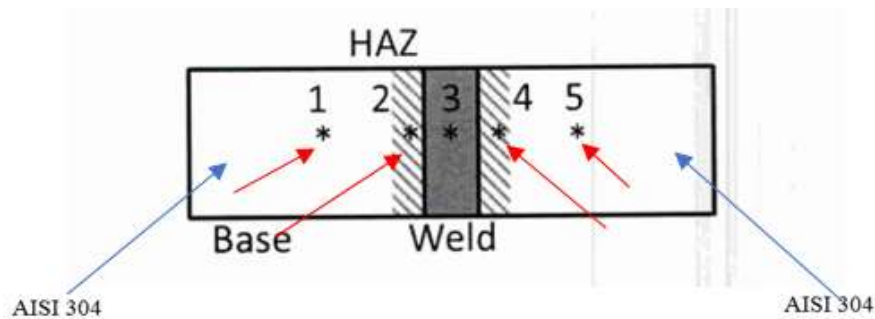
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sampel 7 memiliki 3 parameter yaitu waktu gesek 50 s, tekanan tempa 1,5 mpa dan waktu tempa 25 S.dan berdasarkan hasil uji kekeran di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.7.Data Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 7

Kode Sempel	Indentation	HV	keterangan
S7	Base (1)	219	<i>Vickers</i> Load:3000gf,10 detik
	Haz (2)	170	
	Weld (3)	191	
	Haz (4)	207	
	Base (5)	194	

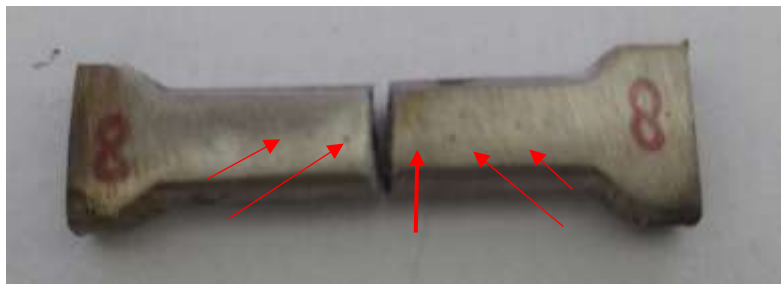
4.3.8. Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 8



Gambar 4. 31. Daerah titik indentasi uji kekerasan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah



Gambar 4. 32 . Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 8

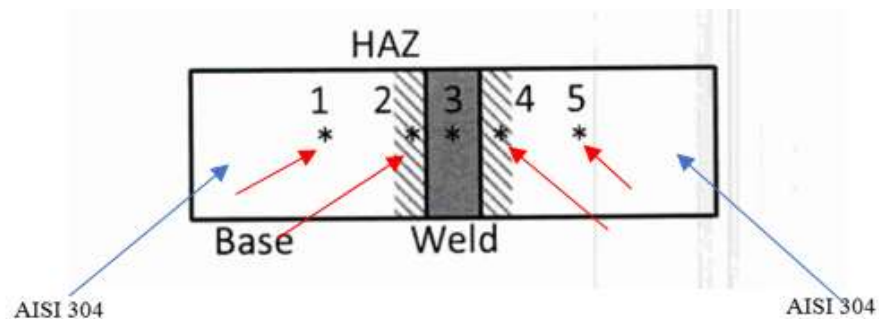
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sampel 8 memiliki 3 parameter yaitu waktu gesek 50 S, tekanan tempa 1,75 mpa dan waktu tempa 15 S.dan berdasarkan hasil uji kekeraan di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.8.Data Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 8

Kode Sampel	Indentation	HV	keterangan
S8	Base (1)	208	<i>Vickers</i> Load:3000gf,10 detik
	Haz (2)	173	
	Weld (3)	193	
	Haz (4)	211	
	Base (5)	247	

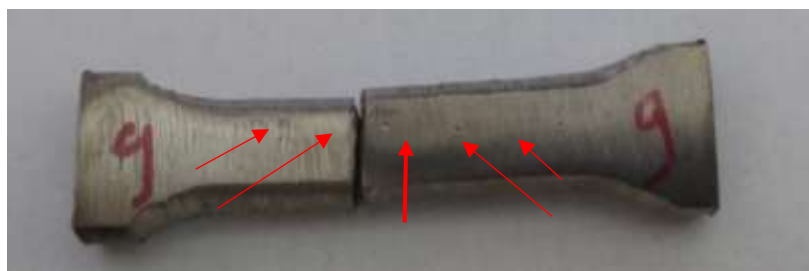
4.3.9. Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sempel 9



Gambar 4. 33. Daerah titik indentasi uji kekerasan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Untuk lebih jelasnya letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah



Gambar 4.34 Daerah titik indentasi uji kekerasan sampel 8

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

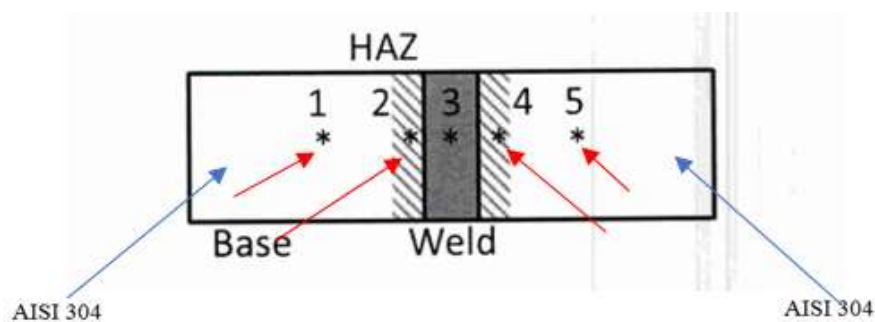
Sampel 9 yaitu sampel yang terakhir sampel ini memiliki 3 parameter yaitu waktu gesek 50 s tekanan tempa 2 MPa dan waktu tempa 20 s.dan berdasarkan hasil uji kekerasan di dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.9.Data Hasil Uji Kekerasan *Vickers* Sampel 9

Kode Sampel	Indentation	HV	keterangan
S9	Base (1)	225	<i>Vickers</i> Load:3000gf,10 detik
	Haz (2)	160	
	Weld (3)	181	
	Haz (4)	189	
	Base (5)	231	

4.3.10 Pengelompokan Nilai Kekerasan Pada Daerah Base,Haz Dan Weld

Berdasarkan uraian tabel di atas dapat di ringkas lagi menjadi tabel pada daerah Base, HAZ dan weld pada sampel 1 sampai dengan sampel 9 bertujuan untuk mempermudah analisa parameter mana yang paling mempengaruhi nilai kekerasan.



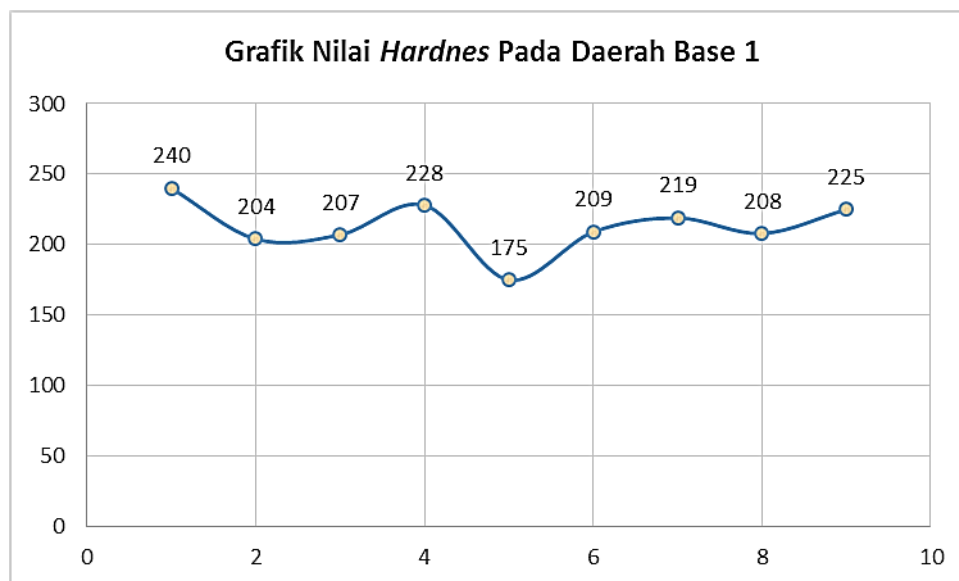
Gambar 4. 35 Daerah titik indentasi uji kekerasan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4. 20 Nilai Uji *Vickers* Daerah Base 1

No	Kode sampel	Nilai <i>hardnes</i> (HV)
1	S1	240
2	S2	204
3	S3	207
4	S4	228
5	S5	175
6	S6	209
7	S7	219
8	S8	208
9	S9	225

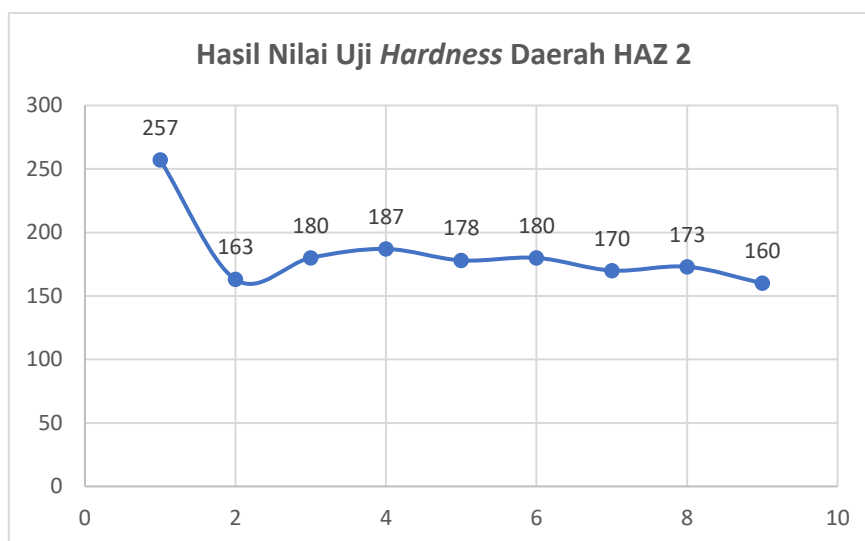
Berdasarkan tabel 4.19 di atas nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah base 1 terdapat pada sampel no 4 yaitu sebesar 228 HV dan nilai kekerasan terendah pada daerah base 1 terdapat pada sampel no 5 yaitu sebesar 175 HV. Maka di peroleh grafik pada tabel di atas sebagai berikut

Grafik 4. 12 Grafik nilai *Hardness* pada daerah base 1

Tabel 4. 21 Hasil Nilai Uji *Vickers* Daerah HAZ 2

No	Kode sampel	Nilai <i>hardnes</i> (HV)
1	S1	257
2	S2	163
3	S3	180
4	S4	187
5	S5	178
6	S6	180
7	S7	170
8	S8	173
9	S9	160

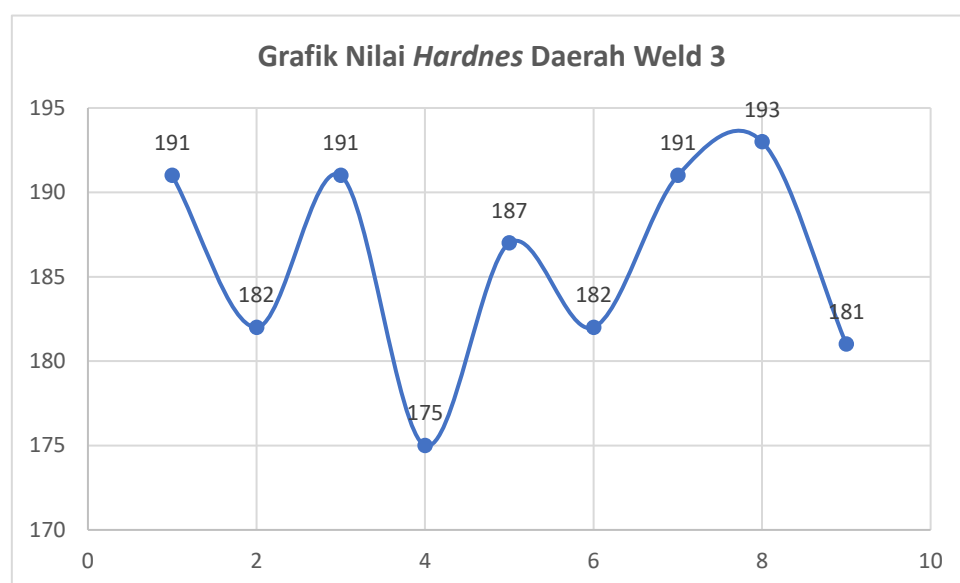
Berdasarkan tabel 4.20 di atas nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah HAZ 2 terdapat pada sampel no 1 yaitu sebesar 257 HV sampel ini memiliki parameter waktu gesek selama 40 s ,tekanan tempa sebesar 1,5 Mpa dan waktu tempa selama 15 s. Sedangkan nilai kekerasan terendah pada daerah HAZ 2 terdapat pada sampel no 9 yaitu sebesar 160 HV yang memiliki parameter waktu gesek selama 50 s,tekanan tempa sebesar 2 Mpa dan waktu tempa selama 15 s.Maka di peroleh grafik pada tabel di atas sebagai berikut.

Grafik 4. 13 Grafik nilai *Hardness* pada daerah haz 2

Tabel 4. 22 Hasil Nilai Uji *Vickers* Daerah Weld 3

No	Kode sampel	Nilai <i>hardnes</i> (HV)
1	S1	191
2	S2	182
3	S3	191
4	S4	175
5	S5	187
6	S6	182
7	S7	191
8	S8	193
9	S9	181

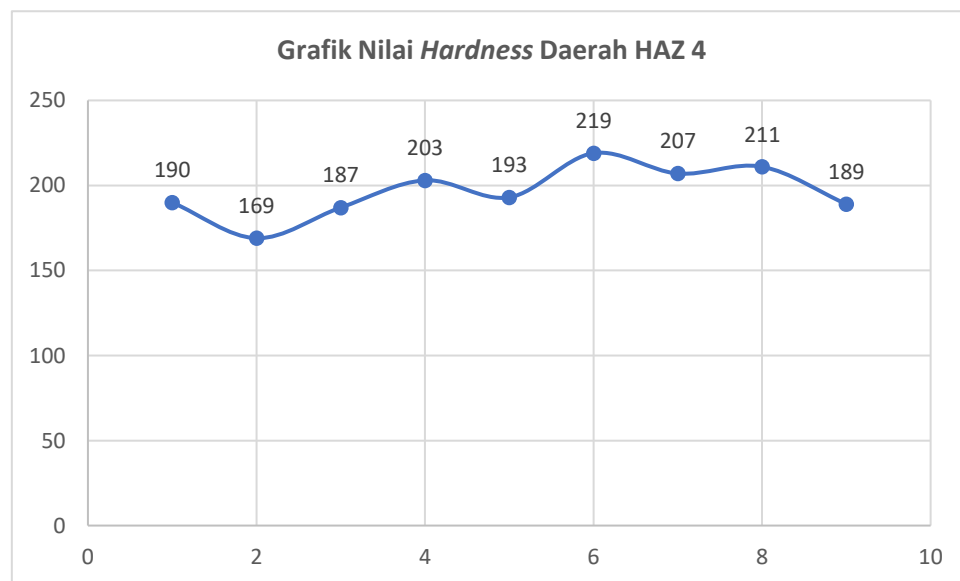
Berdasarkan tabel di atas nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah Weld 3 terdapat pada sampel no 8 yaitu sebesar 193 HV dan nilai kekerasan terendah pada daerah Weld 3 terdapat pada sampel no 4 dengan nilai *hardnes* yang sama yaitu sebesar 175 HV. Maka di peroleh grafik pada tabel di atas sebagai berikut.

Grafik 4. 14 Grafik nilai *Hardness* pada daerah weld 3

Tabel 4. 23 Hasil Nilai Uji *Vickers* Daerah HAZ 4

No	Kode sampel	Nilai <i>hardnes</i> (HV)
1	S1	190
2	S2	169
3	S3	187
4	S4	203
5	S5	193
6	S6	219
7	S7	207
8	S8	211
9	S9	189

Berdasarkan tabel di atas nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah HAZ 4 terdapat pada sampel no 6 yaitu sebesar 219 HV dan nilai kekerasan terendah pada daerah HAZ 4 terdapat pada sampel no 2 yaitu sebesar 169 HV Maka di peroleh grafik pada tabel di atas sebagai berikut.

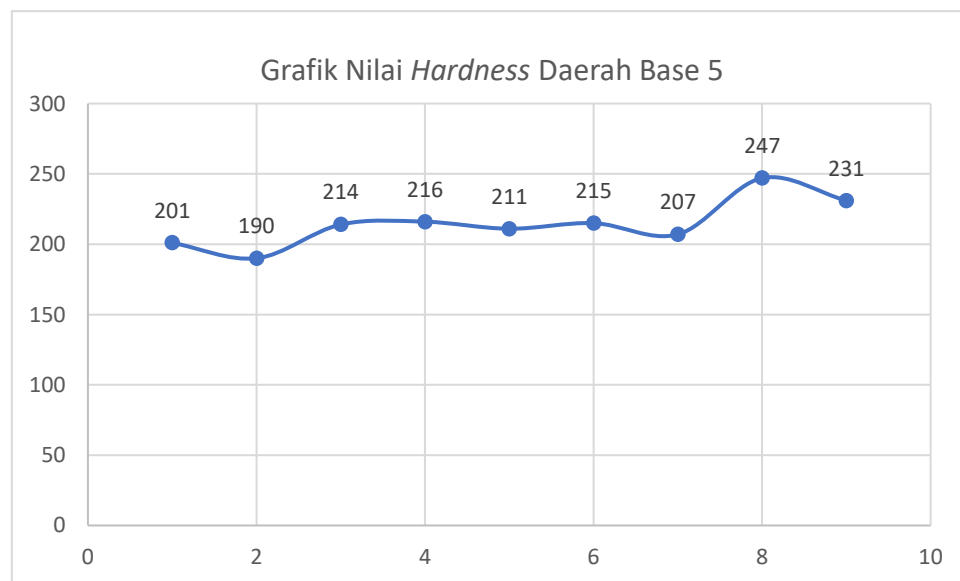
Grafik 4. 15 Grafik Nilai *Hardness* Daerah HAZ 4

Berdasarkan gambar grafik di atas 4.13. terlihat nilai kekerasan pada daerah HAZ 4 sampel 6 yaitu sebesar 219 HV dan terendah pada sampel 2 yaitu sebesar 169 HV.

Tabel 4. 24 Hasil Nilai Uji *Vickers* Daerah Base 5

No	Kode sampel	Nilai <i>hardnes</i> (HV)
1	S1	201
2	S2	190
3	S3	214
4	S4	216
5	S5	211
6	S6	215
7	S7	207
8	S8	247
9	S9	231

Berdasarkan tabel di atas nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah Base 5 terdapat pada sampel no 8 yaitu sebesar 247 HV dan nilai kekerasan terendah pada sampel no 2 dengan nilai yaitu sebesar 190 HV Maka di peroleh grafik pada tabel di atas sebagai berikut.



Grafik 4. 16 Grafik Nilai *Hardness* Daerah Base 5

Berdasarkan gambar grafik di atas 4.14. terlihat nilai kekerasan pada daerah Base 5 sampel 8 dengan nilai kekerasan yang sama yaitu 247 HV, dan yang terendah yaitu no 2 yaitu sebesar 190 HV.

4.3.11 Analisis Hasil Uji Kekerasan (*Vickers*)

Berdasarkan hasil uji kekerasan *vickers* dan praktek ketika pengelasan, kekerasan pada daerah Base, Haz dan Weld di atas maka penulis menganalisis bahwa kekerasan yang menghasilkan nilai tinggi, rata rata ada pada daerah weld atau daerah sambungan dan nilai hardness yang paling tinggi dari sampel 1 sampai dengan sampel 9 ada pada daerah weld sampel 1 dan pada daerah HAZ sampel 2 hal ini di sebabkan oleh :

- a. sampel 9 Memiliki waktu gesek ,tekanan tempa dan waktu tempa yang paling kecil di bandingkan sampel yang lain ,jadi pengaruhnya semakin kecil waktu gesek ,tekanan tempa dan waktu tempa maka akan semakin tinggi nilai kekerasanya.
- b. Semakin besar parameter yang di berikan pada setiap sampel mendapatkan hasil kekerasan yang rendah dikarenakan terjadi faktor *normalizing* pada sambungan las, dan pada pengujian ini tidak dilakukan proses *treatment*.
- c. pendinginan setelah pengelasan di lakukan secara alami (di biarkan saja) pendinginan pun berlangsung cepat hal ini akan menghasilkan struktur martensitik pada permukaan benda kerja dan struktur martensitik bersifat keras,sehingga di dapat permukaan sambungan las yang sangat keras.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.kesimpulan

Berdasarkan analisis dari hasil uji tarik, uji kekerasan, dari hasil *fiction welding* bahan baja tahan karat AISI 304 dengan AISI 304 dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian kekerasan pengelasan gesek antar logam AISI 304 dengan logam AISI 304 dengan variasi parameter yang berbeda dan putaran gesek 1600 rpm konstan bahwa di peroleh nilai kekerasan yang paling besar ada pada daerah weld 1 sampel 1 sebesar 257 HV dengan parameter waktu tempa 40 s, tekanan tempa 1.5 Mpa dan waktu tempa 15 s dan diperoleh nilai kekerasan yang paling rendah pada daerah HAZ 2 sampel 2 sebesar 163 HV.
2. Berdasarkan hasil uji tarik pengelasan gesek antara logam AISI 304 dan logam AISI 304 dengan variasi parameter yang berbeda dan putaran gesek 1600 rpm konstan bahwa di peroleh nilai kekuatan tarik yang paling besar ada pada sampel 4 yaitu sebesar 269 MPa dengan luas area 45,34 mm² dan patahan terdapat pada daerah *weld* (sambungan) sedangkan di lihat pada patahan *specimen* bisa di simpulkan matrial bersipat sangat getas sedangkan nilai kekuatan tarik yang paling rendah terdapat pada sampel 5 yaitu memiliki nilai sebesar 60,29 Mpa dengan luas area 47,75 mm².
3. parameter terbaik terdapat pada sampel 1 yang memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi dengan parameter kecil di bandingkan sampel yang lain dan hasil lasan terbaik terdapat pada sampel no 4 yang memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi di bandingkan sampel yang lain yaitu sebesar 269 Mpa.

5.2.Saran

Banyak kekurangan dari penelitian ini penulis mengharapkan untuk selanjutnya agar memperbaiki. Oleh karena itu penulis menyampaikan saran, sebagai berikut:

1. Pada penelitian kali ini pengujian yang dilakukan hanya sebatas mengetahui nilai kekerasan dan kekuatan tarik dari material, untuk selanjutnya bisa dilakukan dengan pengujian *Impact Test* dan *Bend Test*.
2. Alat yang digunakan dalam pengelasan gesek diperbaiki lagi supaya tidak terjadi guncangan ketika pengelasan.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengubah variasi parameter seperti putaran mesin, waktu, bahan, dan kecepatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Butler, C. 1992. "A Primer tentang Metode Taguchi." Sistem Manufaktur Terintegrasi Komputer.
- Elmer, J. W., dan D. D. Kautz. 2018. Dasar-dasar Pengelasan, Brazing dan Solder dari Friction Welding.
- Liu, Chenxi dkk. 2020. "Studi Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pengelasan Gesekan Linier pada Baja Ferit / Martensit Aktivasi Tereduksi 9Cr." Jurnal Bahan Nuklir 531: 152011.
- Manideep, D., dan K. Balachandar. 2012. "Parameter Pengelasan-Sifat Metalurgi Korelasi Pengelasan Gesekan Baja Tahan Karat Austenitik dan Baja Tahan Karat Feritik." Jurnal Ilmu Terapan.
- Mishra, R. S., dan Z. Y. Ma. 2005. "Pengelasan dan Pemrosesan Aduk Gesekan". Ilmu dan Teknik Material R: Laporan.
- Rai, R., A. De, H. K.D.H. Bhadeshia, dan T. DebRoy. 2011. "Ulasan: Alat Las Pengaduk Gesekan." Ilmu dan Teknologi Pengelasan dan Penggabungan.
- Semioshkina, Natalia, dan Gabrielle Voigt. 2006. "Gambaran Umum tentang Metode Taguchi." Jurnal Penelitian Radiasi.
- Stütz, Markus dkk. 2019. "Pengembangan Struktur Mikro Molibdenum selama Pengelasan Gesekan Putar." Karakterisasi Bahan 151: 506–18.
- Ahmet CAN,Mümin ŞAHİN dkk.(2010) . Modelling Of Friction Welding.

LAMPIRAN