

TUGAS AKHIR

PENGARUH *FEED RATE* TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN *FRICTION STIR WELDING* ALUMINIUM 1100 DENGAN PENGUJIAN *TENSILE TEST* MENGGUNAKAN *CYLINDRICAL TOOL PIN*

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD ROHID IQBAL
1907230179



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Rohid Iqbal
NPM : 1907230179
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Pengaruh *Feed Rate* Terhadap Kekuatan Sambungan
Friction Stir Welding Aluminium 1100 Dengan
Pengujian *Tensile Test* Menggunakan *Cylindrical Tool Pin*
Bidang ilmu : Kontruksi Manufaktur

Telah diperiksa oleh Dosen Pembimbing dan dinyatakan dapat dilanjutkan untuk mengikuti seminar hasil penelitian tugas akhir pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 Januari 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



H. Muharnif M, S.T., M.Sc

Dosen Peguji II



Chandara A Siregar, S.T., M.T

Dosen Pembimbing



Arya Rudi Nasution, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua



Chandra A Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Rohid Iqbal
Tempat /Tanggal Lahir : Banda Klippa, 6 April 2001
NPM : 1907230179
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“ Pengaruh *Feed Rate* Terhadap Kekuatan Sambungan *Friction Stir Welding* Alumunium 1100 Dengan Pengujian *Tensile Test* Menggunakan *Cylindrical Tool Pin* ”, Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Februari 2025

Saya yang menyatakan



Muhammad Rohid Iqbal

ABSTRAK

Dalam dunia industri sekarang ini terdapat banyak sekali produk/komponen yang akan digunakan harus memiliki sifat yang kuat tetapi juga ringan. Perkembangan dunia perindustrian saat ini mulai mempertimbangkan material aluminium sebagai bahan utama dalam proses produksi. Ini dikarenakan aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap karat, konduktor listrik yang cukup baik dan aluminium lebih ringan daripada besi atau baja. Tetapi Aluminium memiliki sifat mampu las (*weld ability*) yang kurang baik jika dibandingkan jenis logam lainnya. Hal ini dapat diatasi dengan pengelasan *Solid State Welding*. Pengelasan SSW sendiri adalah proses pengelasan yang dilakukan saat logam dalam kondisi padat atau logam tidak mencapai titik lebur nya. Salah satu metode SSW yang sering digunakan *Friction Stir Welding* (FSW), yaitu salah satu teknologi pengelasan yang merupakan proses *solid-state joining* yang dapat digunakan untuk menyambungkan material khususnya aluminium. FSW adalah teknologi pengelasan yang tidak memerlukan bahan tambah namun memanfaatkan gesekan panas yang dihasilkan dari *probe* dan *shoulder* dari *welding tool* dengan material benda kerja. Tujuan penelitian tentang *Friction Stir Welding* yaitu untuk mengetahui pengaruh *feedrate* terhadap kekuatan sambungan aluminium 1100 dengan pengujian tarik (*Tensile Test*). Bahan pin tool adalah *Carbide*, berbentuk bulat (*cylindrical*) dengan panjang 100 mm dan berdiameter 3 mm. Bahan spesimen uji yang digunakan untuk pengelasan FSW adalah Aluminium 1100 dengan ketebalan 3 mm, panjang 200 mm dan lebar 20 mm dan dibentuk menjadi 9 sampel. Proses pengelasan FSW dan pembentukan spesimen uji hasil pengelasan FSW berdasarkan standar ASTM E8. Pada saat proses pemesinan putaran *pin tool* 2200 rpm, sedangkan kecepatan *feedrate* 50 mm/menit, 100 mm/menit, dan 150 mm/menit. Pengujian yang dilakukan dari hasil pengelasan FSW adalah pengujian tarik. Dari hasil penelitian yang dilakukan, terdapat sembilan kali pengujian tarik. Dimana setiap parameter gerak makan (*feedrate*) dilakukan sebanyak masing masing 3 sampel. Dengan nilai rata-rata hasil Kekuatan Tarik Pada Kekuatan Sambungan *Friction Stir Welding* Diperoleh Pada *Spindle* 2200 Rpm dengan *Feed Rate* 50 mm/menit yaitu sebesar 12,34MPa. *Feed Rate* 100 mm/menit sebesar 21,53 Mpa dan *Feed Rate* 150 mm/menit sebesar 29,21 Mpa.

Kata kunci: *Friction Stir Welding* (FSW), Aluminium 1100, Kekuatan Uji Tarik *feedrate*.

ABSTRACT

In today's industrial world, there are many products/components that must be used to have strong but also light properties. The development of the industrial world today is starting to consider aluminum as the main material in the production process. This is because aluminum and aluminum alloys are light metals that have high strength, are resistant to rust, are fairly good electrical conductors and aluminum is lighter than iron or steel. However, aluminum has poor weldability properties when compared to other types of metals. This can be overcome by Solid State Welding. SSW welding itself is a welding process that is carried out when the metal is in a solid state or the metal does not reach its melting point. One of the SSW methods that is often used is Friction Stir Welding (FSW), which is a welding technology that is a solid-state joining process that can be used to connect materials, especially aluminum. FSW is a welding technology that does not require additional materials but utilizes the heat friction generated from the probe and shoulder of the welding tool with the workpiece material. The purpose of the research on Friction Stir Welding is to determine the effect of feed rate on the strength of aluminum 1100 joints with tensile testing. The pin tool material is Carbide, round (cylindrical) with a length of 100 mm and a diameter of 3 mm. The test specimen material used for FSW welding is Aluminum 1100 with a thickness of 3 mm, a length of 200 mm and a width of 20 mm and is formed into 9 samples. The FSW welding process and the formation of FSW welding test specimens are based on the ASTM E8 standard. During the machining process, the pin tool rotation is 2200 rpm, while the feed rate is 50 mm / minute, 100 mm / minute, and 150 mm / minute. The test carried out from the FSW welding results is a tensile test. From the results of the research conducted, there were nine tensile tests. Where each feedrate parameter is carried out for 3 samples each. With the average value of the tensile strength results in the strength of friction stir welding joints obtained on a 2200 rpm spindle with a feed rate of 50 mm/minute, namely 12.34 MPa. A feed rate of 100 mm/minute is 21.53 Mpa and a feed rate of 150 mm/minute amounting to 29.21 Mpa.

Key words: *Friction Stir Welding (FSW), Aluminum 1100, Tensile Test Strength, Feedrate.*

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Tidakada kata yang lebih indah selain puji dan syukur kepada Allah SWT, yang telah menetapkan segala sesuatu, sehingga tiada sehelai daun yang jatuh tanpa izin-nya. Alhamdulillah atas izin-nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul **“PENGARUH *FEED RATE* TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN *FRICTION STIR WELDING* ALUMINIUM 1100 DENGAN PENGUJIAN *TENSILE TEST* MENGGUNAKAN *CYLINDRICAL TOOL PIN*”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Arya Rudi Nasution, S.T., M.T, Selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.Sc, PHd, Selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T, Selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Chandra A Putra Siregar, S.T., M.T, Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T, Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu keteknik mesinan

kepada penulis.

9. Ayahanda M. Yusuf, Ibunda Ningsih Purwanti beserta Kedua Kakak Saya Widya Nuraisyah Amd.Keb, S.Tr.Keb, Kakak Annisa Anjanny S.K.M, dan Keponakan Saya Mahena Aqila Shiddiq Dalimunthe yang selalu membanggakan saya, mendukung saya dengan sangat baik hingga saat ini.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi Di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman – Teman Bph 19 Hmm Ft Umsu Dan Gragas 19 yang selalu membantu dan memberikan dukungan kepada saya.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik mesin.

Medan, Februari 2025

Muhammad Rohid Iqbal

DAFTAR ISI

HALAMAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian.	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. <i>Friction Stir Welding</i>	4
2.1.1. Kecepatan Feedrate	7
2.1.2. Deskripsi Proses FSW	7
2.1.2.1 Sambungan Butt (<i>Butt Joint</i>)	7
2.1.2.2 Sambungan Tumpuk (<i>Lap Joint</i>)	9
2.1.3. Dimensi Material FSW	10
2.1.4. Siklus Proses Friction Stir Welding	13
2.1.5 <i>Depth Of Weld</i> dan Kemiringan <i>Tool</i>	14
2.2. Mesin <i>frais</i> (<i>Milling Machine</i>)	14
2.2.1. Prinsip Kerja Mesin <i>Milling</i>	14
2.2.2 Parameter Proses Frais	15
2.2.3. Jenis-Jenis Mesin Frais	19
2.3. Aluminium	22
2.3.1. aluminium 1100	22
2.4. Carbide	23
2.5. Desain <i>Tool</i>	24
2.6. Pengujian <i>Tensile Test</i>	25
BAB 3 METODE PENELITIAN	29
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.1.1. Tempat	29
3.1.2. Waktu	29
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	29
3.2.1. Alat Penelitian	29
3.2.2. Bahan Penelitian	31
3.3. Bagan Alir Penelitian	34
3.4. Rangkaian Alat Pengujian	35
3.4.1. Rangkaian Alat Uji Tarik	35
3.5. Prosedur Penelitian	35
3.5.1. Persiapan Pengelasan	35
3.5.2. Proses Pengelasan Aluminium 1100	36

3.5.3. Proses pengujian tarik	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1. Sifat Mekanis Material Logam Induk	38
4.2. Proses Pengelasan Aluminium 1100	38
4.2.1. Tahap Pertama	38
4.2.2. Tahap Kedua	39
4.2.3. Tahap Ketiga	39
4.3. Hasil Pengelasan <i>Friction Stir Welding</i> (FSW)	41
4.4. Data Hasil Penelitian	41
4.4.1. Hasil Pengujian Tarik	41
4.4.2. Pembahasan Hasil pengujian	42
BAB 5 PENUTUP	46
5.1. Kesimpulan	46
5.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Aluminium Paduan	22
Tabel 2.2 Komposisi kimia Aluminium 1100	23
Tabel 2.3 Sifat fisik Aluminium 1100	23
Tabel 2.4 Sifat mekanis Aluminium 1100	23
Tabel 3.1 Jadwal dan Kegiatan Saat Melakukan Penelitian	29
Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin <i>Milling</i> EMCO F3	30
Tabel 4.1 Komposisi kimia Aluminium 1100	38
Tabel 4.2 Hasil Uji <i>Tensile Test</i>	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Prinsip dasar proses <i>Friction Stir Welding</i>	4
Gambar 2.2. Konfigurasi sambungan FSW	6
Gambar 2.3. Deskripsi proses FSW pada sambungan <i>butt</i>	8
Gambar 2.4. <i>Tool</i> untuk sambungan tumpuk	9
Gambar 2.5. Terminologi FSW	10
Gambar 2.6. Kedalaman <i>Shoulder (shoulder plunge)</i>	11
Gambar 2.7. <i>Face, toe</i> dan <i>root</i> pada FSW	11
Gambar 2.8. Arah uji tarik berdasarkan orientasi pengelasan	12
Gambar 2.9. <i>Heat Zone</i> pada FSW	12
Gambar 2.10. Skema <i>Stir Welding</i>	14
Gambar 2.11. Skematis Proses <i>Frais Vertikal</i> dan <i>Frais Horizontal</i>	16
Gambar 2.12 Mesin <i>Frais Vertikal</i>	19
Gambar 2.13 Mesin <i>Frais Horizontal</i>	20
Gambar 2.14 Mesin <i>Frais Universal</i>	20
Gambar 2.15 Mesin <i>Frais Tangan (Hand Milling Machine)</i>	21
Gambar 2.16 Mesin <i>Frais CNC (Computer Numerical Control)</i>	21
Gambar 2.17 <i>carbide</i>	24
Gambar 2.18 Material <i>Tool fsw</i> dan Aplikasinya	25
Gambar 2.19 Contoh Desain Pin pada <i>Tool Fsw</i>	25
Gambar 2.20 Bentuk Spesimen Uji Tarik <i>ASTM E8</i>	26
Gambar 2.21 Singkat Uji Tarik	26
Gambar 2.22 Kurva Tegangan-Regangan	27
Gambar 2.23 Profil Data Hasil Uji Tarik	27
Gambar 3.1. Mesin <i>Milling EMCO F3</i>	30
Gambar 3.2. Mesin Uji <i>Tensile Test</i>	30
Gambar 3.3. Sifat Fisik Aluminium 1100	31
Gambar 3.4. Sifat Mekanisme Aluminium 1100	31
Gambar 3.5. Sifat Termal Aluminium 1100	32
Gambar 3.6. Spesimen Untuk Pengelasan	32
Gambar 3.7. <i>Carbide</i>	32
Gambar 3.8. <i>Cylindrical Tool Pin</i>	33
Gambar 3.9. dimensi <i>tool</i>	33
Gambar 3.10 Pahat (<i>Tool</i>)	33
Gambar 3.11. Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 2.12 Alat Uji Tarik	35
Gambar 3.13. Standar Pengujian Tarik	37
Gambar 4.1. Hasil pembuatan a).benda kerja FSW, b). <i>tool</i> FSW	39
Gambar 4.2. proses pencekaman benda kerja dan pemasangan <i>tool</i> pada <i>spindle</i>	39
Gambar 4.3. Proses pengelasan FSW	40
Gambar 4.4. Hasil pengelasan <i>friction stir welding</i>	41
Gambar 4.5. Grafik Kekuatan Tarik Alumunium 1100 Dengan <i>Spindle</i> 2200 Rpm dan <i>Feedrate</i> 50 mm/menit.	42
Gambar 4.6. Grafik Kekuatan Tarik Alumunium Dengan <i>Spindle</i> 2200 Rpm dan <i>Feed rate</i> 100 mm/menit.	43

Gambar 4.7. Grafik Kekuatan Tarik Alumunium Dengan <i>Spindle</i> 2200 Rpm dan <i>Feed rate</i> 150 mm/menit.	43
Gambar 4.8. Grafik Hasil Kekuatan Tarik Alumunium	44

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
P	Kedalaman <i>tool</i> (<i>shoulder plunge</i>)	mm
D	diameter <i>shoulder</i>	mm
Θ	Kemiringan tool	$^{\circ}$
σ	Tegangan	MPa
F	Gaya tarikan	N
A	Luas penampang	mm ²
ε	Regangan	%
ΔL	Pertambahan panjang	m
L	Panjang awal	L ₀
g	Gravitasi	m/s ²
σ_y	tegangan luluh	MPa
F _y	gaya luluh	N
σ_u	tegangan tarik	MPa
F _u	gaya maks	N

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri sekarang ini terdapat banyak sekali produk/komponen yang akan digunakan harus memiliki sifat yang kuat tetapi juga ringan. Perkembangan dunia perindustrian saat ini mulai mempertimbangkan material aluminium sebagai bahan utama dalam proses produksi. Ini dikarenakan aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap karat, konduktor listrik yang cukup baik dan aluminium lebih ringan daripada besi atau baja. Penggunaan aluminium pada dunia industri banyak digunakan untuk *heat exchangers, pressure vessels*, pipa, dan lain-lain. Namun aluminium dan paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja, diantaranya adalah mempunyai panas jenis dan daya hantar yang tinggi, mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium yang mempunyai titik cair yang tinggi sehingga mengakibatkan peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang dan bila mengalami proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong *hydrogen*.

Akan tetapi, perbedaan yang paling mendasar adalah nilai keuletan pada logam atau kawat pengisi, dimana nilai keuletan logam atau kawat pengisi baja selalu tinggi bila dibandingkan dengan logam induk, sedangkan pada aluminium nilai keuletan pada logam las cenderung lebih kecil daripada nilai keuletan pada logam induk. Seiring dengan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian-penelitian agar proses penyambungan aluminium menjadi lebih mudah dan memiliki kekuatan yang optimal (Angger Sudrajat F. P, 2018).

Tetapi Aluminium memiliki sifat mampu las (*weld ability*) yang kurang baik jika dibandingkan jenis logam lainnya. Hal ini dapat diatasi dengan pengelasan *Solid State Welding*. Pengelasan SSW sendiri adalah proses pengelasan yang dilakukan saat logam dalam kondisi padat atau logam tidak mencapai titik leburnya. Salah satu metode SSW yang sering digunakan adalah *Friction Stir Welding* (FSW), yaitu proses pengelasan dengan memanfaatkan panas yang

timbul akibat putaran dari *tool* yang bergesekan dengan logam induk di bawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan.

Friction Stir Welding sendiri adalah suatu proses pengelasan baru yang diciptakan oleh Wayne Thomas di TWI (*The Welding Institute*) pada Desember 1991. Pengelasan FSW sering diaplikasikan pada logam aluminium atau pada *dissimilar* logam. Kelemahan saat proses pengelasan FSW terjadi pada sambungan lasan yang mengalami pelunakan dan penurunan tegangan tarik akibat proses rekristalisasi di *nugget zone* selama proses pengelasan berlangsung (Wijayanto & Anelis, 2020)

Faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan FSW adalah *welding tool* (*Cylindrical tool pin*), kecepatan putar *tool*, kecepatan pengelasan *feed rate*, dan gaya tekan *tool* terhadap benda kerja. Apabila dapat dilakukan pemilihan parameter FSW yang tepat, maka kekuatan sambungan akan meningkat dan cacat pengelasan dapat diminimalkan.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh *Feed Rate* terhadap kekuatan aluminium 1100 hasil pengelasan FSW menggunakan *cylindrical tool pin* dengan pengujian *tensile test*.

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengelasan dengan metode *friction stir welding* dengan benda uji aluminium 1100 dengan ketebalan 3 mm. Variasi *Feed rate* yang digunakan adalah 50 mm/menit, 100 mm/menit dan 150 mm/menit. Kecepatan putaran *spindle* yang digunakan adalah 2200 rpm.
2. Mengetahui hasil Kekuatan uji tarik dengan variasi kecepatan pengelasan berbeda.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa kekuatan sambungan aluminium 1100 pada proses pengelasan FSW menggunakan *cylindrical tool pin* dengan pengujian *tensile test*.
2. Untuk menganalisa pengaruh kecepatan *feed rate* terhadap kekuatan tarik.
3. Pengujian *tensile test* menggunakan *ASTM E8*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dibuatnya penelitian ini secara akademis dan teknologi antara lain yaitu:

1. Menerapkan teori yang didapat pada perkuliahan, khususnya pada teknik pengelasan dan proses permesinan.
2. Penelitian ini diharapkan memberi manfaat melalui analisis yang dipaparkan pada pihak – pihak yang bergelut dalam bidang pengelasan terutama *Friction Stir Welding*.

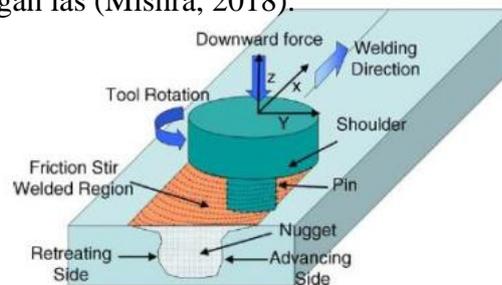
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Friction Stir Welding

Friction stir welding (FSW) adalah suatu teknologi pengelasan yang merupakan proses *solid state joining* yang bisa digunakan untuk menyambungkan material berbeda. Pada proses FSW, material yang dilas tidak benar-benar mencair pada saat proses berlangsung (temperatur kerjanya tidak melewati titik lebur benda kerja) sehingga FSW termasuk *unconsumable solid state joining process* (Thomas dkk, 2018).

FSW merupakan salah satu metode atau teknik pengelasan gesek dimana sambungan las terbentuk tanpa penambahan logam pengisi (*filler metal*). Panas yang digunakan untuk mencairkan benda kerja dihasilkan dari gesekan antara benda kerja yang diam dengan *tool* yang berputar. *Tool* berputar dengan kecepatan konstan disentuhkan ke material benda kerja yang dicekam dengan putaran *tool* berlawanan arah jarum jam dan bertranslasi dari sisi *advancing* kesisi *retreating*. Pada sisi *advancing* vektor kecepatan aliran logam cair searah dengan sambungan las. Sedangkan pada sisi *retreating* vektor kecepatan aliran logam cair berlawanan arah dengan sambungan las (Mishra, 2018).



Gambar 2.1 Prinsip dasar proses *Friction Stir Welding* (Mishra,2018)

Menurut Mishra dkk, (2018) terdapat beberapa istilah dalam pengelasan dengan metode *friction stir welding*. sebagai berikut:

1. *Tool shoulder* adalah bagian *tool* yang bersentuhan dengan permukaan benda kerja.
2. *Tool pin* yaitu bagian *tool* yang masuk ke dalam benda kerja dan berpengaruh terhadap aliran material baik horizontal maupun vertikal.

3. *Retreating side area* adalah sisi dimana arah putaran *tool* (kecepatan tangensial) berlawanan arah dengan sambungan las (*welding direction*). Aliran material pada sisi ini lebih mudah mengalir karena permukaan pin yang membantu mengalirkan ke belakang arah sambungan las.
4. *Advancing side area* yaitu sisi dimana arah putaran *tool* (kecepatan tangensial) searah dengan sambungan las (*welding direction*). Karena *tool* bergerak ke depan, material benda kerja akan mengalir ke belakang. Tetapi putaran pada *pin tool* memiliki arah yang berlawanan dengan aliran pada sisi ini.
5. *Tool rotational rate* merupakan kecepatan putaran pada *tool* dan berkontribusi besar pada input panas dan aliran material.

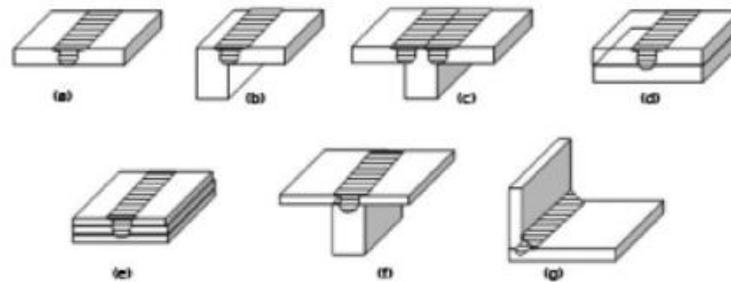
Proses kerja FSW dengan gesekan terus menerus akan menghasilkan panas dan melunakan logam, ini menjadi suatu prinsip dasar terciptanya suatu proses pengelasan gesek. Pada proses FSW, sebuah *tool* yang berputar ditekan pada material yang akan dilas. *Tool* yang berbentuk *cylindrical (cylindrical -shoulder)* yang dilengkapi *pin/probe* akan bergesekan dengan material, sehingga mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakkan bagian tersebut. *Tool* berputar pada kecepatan konstan pada jalur pengelasan dari material yang akan disatukan.

Keuntungan-keuntungan dari *Friction stir welding* :

1. Tidak terjadi pelelehan selama pengelasan
2. Bisa mengelas semua jenis Aluminum *alloys*
3. Kekuatan las lebih baik dibandingkan dengan *fusion welding*
4. Distorsi lebih rendah dari pada *fusion welding*
5. Tidak memerlukan bahan pengisi
6. Tidak memerlukan gas pelindung
7. *Tool welding* dapat digunakan berulang ulang
8. Ramah lingkungan (*low fume*)
9. Energi yang dibutuhkan untuk pengelasan lebih rendah dari *fusion welding*

FSW bisa digunakan untuk mengelas material aluminum (*casting* maupun *alloy*) baik satu atau berbeda series, baja, titanium, tembaga, *magnesium alloy*, logam paduan dan komposit matrik logam (Khaled, 2005). FSW dapat digunakan

untuk menghasilkan sambungan *butt*, sudut, bertumpuk (*lap*), T, *spot*, dan *fillet* serta dapat digunakan pula untuk menyambung benda berongga, seperti tanki, tabung dan pipa dengan kontur 3 dimensi. Selain untuk membuat sambungan, FSW juga cocok digunakan untuk memperbaiki sambungan yang ada.



Gambar 2.2 Konfigurasi sambungan FSW a. *Square Butt*, b. *Edge Butt*, c. *T-butt joint*, d. *Lap joint*, e. *Multiple lap joint*, f. *T-lap joint*, g. *Fillet joint* (Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney, 2019)

Dunia industri dan penelitian, mayoritas fokus dalam mengembangkan pengelasan *butt* untuk aluminium *alloy* lembaran dan pelat sampai tebal 3 inch. FSW juga digunakan untuk membuat sambungan *butt* antar logam dengan ketebalan yang berbeda. FSW dapat dilakukan di semua posisi (*horizontal*, *vertikal*, *overhead* dan *orbital*) (Khaled, 2005).

FSW dapat berproduksi di industri otomotif secara umum dan industri pesawat terbang secara khususnya. Pengembangan FSW pada industri otomotif dan pesawat terbang sangat pesat karena dapat mereduksi berat total dari konstruksi. Pengurangan berat bisa berasal dari jumlah total pengencang (*fastener*) yang dihilangkan. Selain itu banyak biaya yang dapat dihemat yang berasal dari pengurangan biaya design, manufaktur, perakitan dan waktu pemeliharaan, biaya-biaya tersebut bisa ditekan akibat berkurangnya jumlah part pada konstruksi. Sambungan FSW mempunyai efek konsentrasi stress yang lebih rendah di area sambungan dibandingkan dengan aplikasi *fastener* dan dapat memperbaiki sifat korosif dengan mengurangi *fastener* yang merupakan sumber utama dari kontak metal berbeda jenis. Dan penghematan terakhir berasal dari hilangnya biaya untuk keperluan *sealant*, *locking compound* dan sejenisnya.

2.1.1 Kecepatan *Feedrate*

Pada pengelasan jenis *Friction stir welding*, ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil dan kekuatan las, diantaranya adalah *Spindle rpm* (Putaran spindel) , *Feedrate* (Kecepatan pemakanan/ gerak), *Tool angle* (Sudut *probe*), *Plunge Depth* (Kedalaman pemakanan) dan *Joint Design*, pada penelitian kali ini yang difokuskan adalah pengaruh *Feedrate* terhadap kekuatan mekanik hasil las. *Feedrate* adalah kecepatan pemakanan *probe* yang terhubung pada mesin (CNC)*Friction stir welding*, *Feedrate* ini yang mengakibatkan *tool* dan benda kerja bergesekkan sehingga terjadi kenaikan suhu namun tidak sampai pada titik leleh, sehingga kedua benda kerja dapat tersambung dengan baik, *feedrate* harus selalu konstan dari titik awal hingga titik akhir agar tidak terjadi kegagalan las pada titik tertentu.

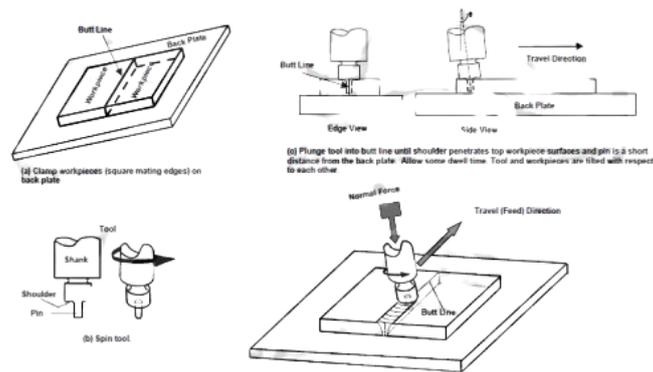
2.1.2 Deskripsi Proses FSW

Pada proses FSW berbagai jenis sambungan bisa dibuat, seperti *Butt Joint*, *Lap Joint* dan sambungan lainnya.

A. Sambungan Butt (*Butt Joint*)

Dua benda kerja yang dilas pada posisi pertemuan ruas antara bidang yang bersentuhan, di cekam rigid pada *fixture* atau ragum. *Fixture* mencegah benda kerja berputar dan atau terangkat ketika proses las berlangsung (Khaled, 2005).

Tool pengelasan yang terdiri dari *shank*, *sholder* dan *probe* berputar dengan kecepatan dan kemiringan yang telah ditentukan. *Tool* secara perlahan turun dan masuk ke dalam ruas pertemuan benda kerja sampai *shoulder* dari *tool* menyentuh permukaan benda kerja dan ujung *pin* sedekat mungkin dengan *backplate*. *Dwell time* yang singkat dapat membangkitkan panas untuk *preheating* dan pelunakan material sepanjang garis sambungan. Sampai di akhir pengelasan *tool* ditarik/diangkat ketika *tool* masih dalam kondisi berputar. Seperti pin yang ditarik, *tool* akan meninggalkan lubang (*keyhole*) di ujung pengelasan. *Tool shoulder* yang bersentuhan dengan benda kerja pun meninggalkan bekas semi *circular ripple* di jalur pengelasan seperti pada ilustrasi di bawah.



Gambar 2.3. Deskripsi proses FSW pada sambungan *butt*. a. Pencekaman benda kerja pada *back plate*, b. FSW *tool*, c. Bagian-bagian dari *tool* pengelasan, d. Gaya-gaya yang terjadi (Khaled, 2005).

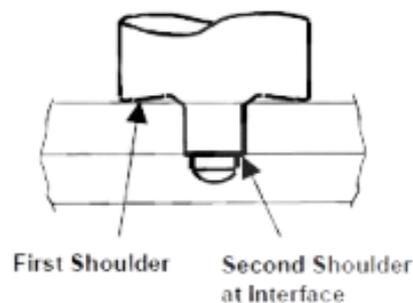
Tool FSW yang berputar bergerak searah dengan alur pengelasan, permukaan depan dari *probe tool*, (dibantu oleh *feature* pada *probe* jika ada), memaksa *plasticed material* dari kedua sisi material yang akan dilas ke arah belakang *probe*. Akibatnya material dipindahkan dari permukaan depan *tool* ke belakang *probe tool* (ketika material sedang diaduk) dan ditempa oleh permukaan *shoulder* yang bersentuhan dengan bidang benda kerja. Beberapa orang percaya bahwa gerakan berputar (*stirring*) bisa memecah oksigen pada permukaan *faying*, sehingga ikatan antar sambungan menghasilkan permukaan yang bersih (Khaled, 2005).

Perlu dicatat bahwa untuk menghasilkan sambungan yang penuh (*closure of root*) maka *pin* harus sedekat mungkin dengan *backplate* dan *shoulder* harus menyentuh permukaan benda kerja. *Open root* (kurangnya penetrasi) berpotensi besar untuk mengalami kegalalan pada sambungan. Pada gambar di atas bisa dilihat bahwa sumbu dari *spindle* dan benda kerja tidak benar-benar tegak lurus 90° , ada kemiringan sekitar $2-4^\circ$, kemiringan ini bisa didapat dengan cara memiringkan *spindle* mesin atau memiringkan benda kerja. Hal ini dapat membantu pepadatan material pada bagian belakang *tool*, tetapi juga mempunyai kelemahan yaitu berkurangnya kemampuan (*ability*) untuk eksekusi proses pengelasan *non-linear* dan juga bisa mengurangi kecepatan pengelasan (*travel speed weld*) (C. J. Dawes and W. M. Thomas, 2021).

Konsekuensi dari metode FSW adalah adanya lubang (*key hole*) yang terjadi diakhir pengelasan. Terlebih lagi untuk pengelasan baja dan material *alloy* lainnya, pelubangan awal (*predrill*) berdiameter kecil diperlukan di *area butt line* yang bertujuan untuk mengurangi gaya yang terjadi ketika *tool* berpenetrasi ke dalam benda kerja. Sangat disarankan adanya proses permesinan akhir (*finishing*) dari benda kerja pada awal dan akhir sambungan karena *strength* pada posisi ini memiliki nilai yang paling rendah dibanding posisi lain (L. Ekman, A. Norlin and J, 2020). Proses *finishing* bisa dilakukan dengan menghilangkan benda kerja kira-kira setebal benda kerja atau lebih.

B. Sambungan Tumpuk (*Lap Joint*)

Prinsip operasional dari sambungan tumpuk tidak berbeda jauh dengan sambungan butt kecuali tidak adanya *butt line*, dimana *tool* berada diantara benda kerja sehingga *tool* harus menembus benda kerja teratas. Hal ini merupakan perbedaan yang mendasar antara *butt joint* dengan *lap joint* (M. J. Brooker , 2020). Pada *butt joint*, putaran utama terjadi di permukaan antar sambungan, berbeda dengan *lap joint* yang sambungannya tidak berada di permukaan sambungan, tetapi berada diantara permukaan tumpukan sambungan. Dari desain *tool*nya pun berbeda, jika di *butt joint tool* FSW hanya memiliki satu *shoulder*, maka di *lap joint tool* FSW memiliki dua *shoulder* yang lokasinya berada di permukaan benda kerja bawah.



Gambar 2.4 *Tool* untuk sambungan tumpuk (Khaled, 2005).

Pada sambungan tumpuk, ujung *probe* dari *tool* FSW harus menembus benda kerja bagian atas, dan harus menembus sebagian pada benda kerja di bawahnya. Oleh karena itu, ujung *pin* tidak perlu sampai mendekati permukaan bawah benda kerja bagian bawah, karena berbeda dengan *butt joint*, pada *lap joint* sambungan

las tidak terfokus pada pembentukan penutupan akar (*root closure*) (Khaled, 2005).

Namun demikian, kita tetap harus memperhitungkan efek dari faktor kedalaman penetrasi terhadap sifat mekanik sambungan. Takikan pada kedua sisi dari sambungan merupakan daerah potensial terjadinya retakan dan berpengaruh besar terhadap sifat mekanik. Secara umum, biasanya sambungan tumpuk tidak sekuat sambungan butt yang kekuatannya bisa menggantikan fungsi dari *fasteners* (R. Talwar, 2020).

2.1.3 Dimensi Material FSW

Berdasarkan ketentuan yang dikemukakan oleh Colligan, benda kerja FSW dibagi menjadi 2 bagian, yaitu sisi *advancing* dan sisi *retreating* (K. J. Colligan, 2020). Sisi dari *welding tool* yang searah dengan arah pengelasan disebut sisi *advancing*. Dan sisi lawannya dimana permukaan bergerak berlawanan dengan arah pengelasan disebut sisi *retreating*. Seperti kita ketahui sebelumnya, posisi benda kerja dan FSW *tool* mempunyai kemiringan sebesar Θ° . Colligan dan Hirano mengindikasikan bahwa kemiringan sudut berpengaruh pada menjauhnya permukaan sambungan (*face and toe*) dari permukaan benda kerja (S. Hirano, 2019).

Kemiringanpun menambah kedalaman dari (P) *shoulder plunge*, dimana :

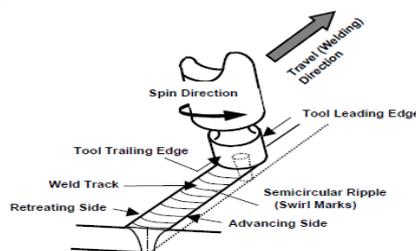
$$P = 0.5 D \sin \Theta$$

Dimana : P = Kedalaman *tool* (*shoulder plunge*)

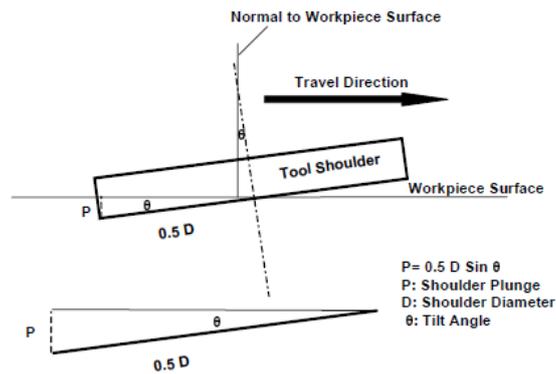
D = diameter *shoulder*

Θ = kemiringan *tool*

Shoulder plunge didefinisikan sebagai jarak *shoulder* terendah *tool* diukur dari permukaan benda kerja.

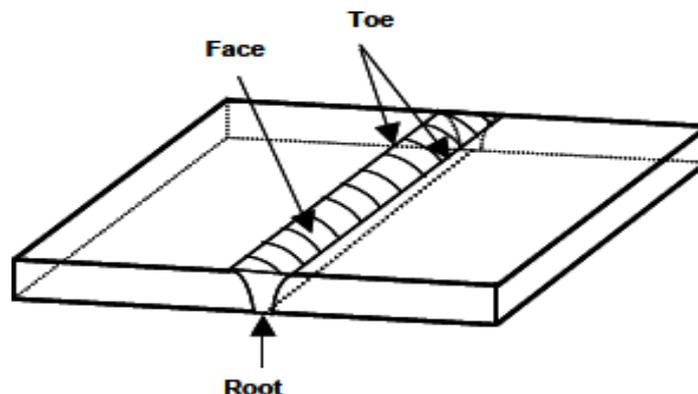


Gambar 2.5 Terminologi FSW (Khaled, 2005).

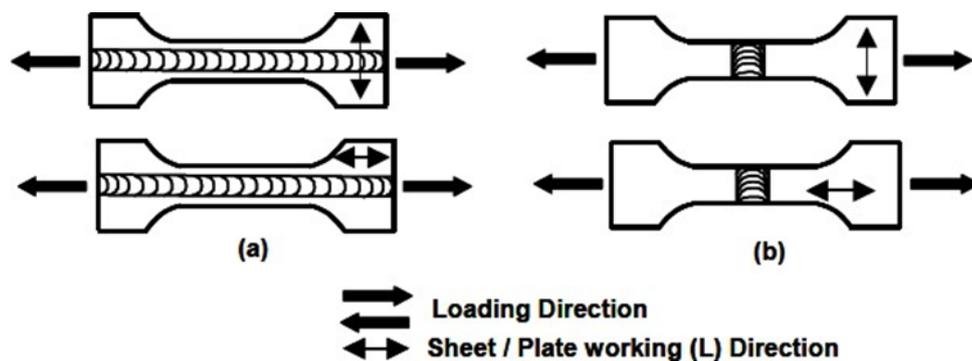


Gambar 2.6 Kedalaman *Shoulder* (*shoulder plunge*) (Khaled, 2005).

Face, *root* dan *toe* merupakan istilah yang biasa digunakan pada sambungan *butt*. Istilah *undermatching* dan *overmatching*, masing-masing mengindikasikan jika kekuatan sambungan FSW lebih rendah dibanding material induk (*base material*) dan jika kekuatan sambungan FSW lebih tinggi dibandingkan dengan *base material*. Istilah lainnya adalah *joint efficiency*, yang didefinisikan sebagai ratio dari $(F_{tw})_{joint}/(F_{tw})_{base\ metal}$, dan biasa dituliskan dalam persentase. Nilai kekuatan maksimal dari *base metal* berdasarkan pada pengujian sambungan pada arah yang sama. Lebih jauh lagi, jika sambungan diuji pada arah longitudinal dari produk, maka nilai itulah yang menjadi nilai kekuatan maksimum dari *base metal* pada arah longitudinal. Begitu juga dengan nilai kekuatan maksimum transversal dari *base metal* harus digunakan jika sambungan diuji dengan arah transversal dari produk (Khaled, 2005).

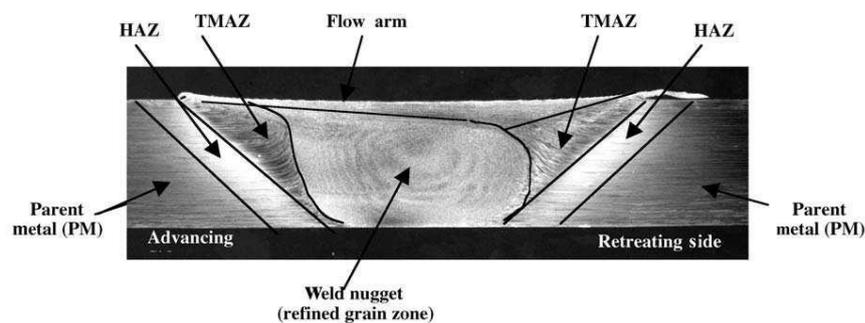


Gambar 2.7 *Face*, *toe* dan *root* pada FSW (Khaled, 2005).



Gambar 2.8 Arah uji tarik berdasarkan orientasi pengelasan. a. Orientasi *Longitudinal* (sambungan lasa sejajar arah pembebanan), b. Orientasi *Transversal* (sambungan tegak lurus arah pembebanan) (Khaled, 2005).

Panas yang terjadi membuat material yang ada di sekitar *pin* menjadi lunak dan akibat adanya gerak rotasi dan translasi dari *tool* material yang ada di depan *pin* bergerak ke belakang *pin* dan ini terjadi terus menerus selama gerak translasi berlangsung dan menghasilkan sambungan yang diinginkan.



Gambar 2.9 *Heat Zone* pada FSW (Joseph Leon et al., 2021)

Akibat adanya panas yang terjadi, maka terjadi perubahan struktur mikro pada area yang di las, dan dapat dibagi menjadi 4 zona yaitu (gbr 2.9):

1. **Base metal**, merupakan bagian base material yang tidak terkena pengaruh panas yang dihasilkan selama proses FSW berlangsung.
2. **Heat-Affected Zone (HAZ)**, area ini merupakan area yang paling dekat dengan center dari lokasi pengelasan, material pada area ini sudah mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari base material, tetapi pada area ini tidak terjadi deformasi plastis akibat pengelasan.

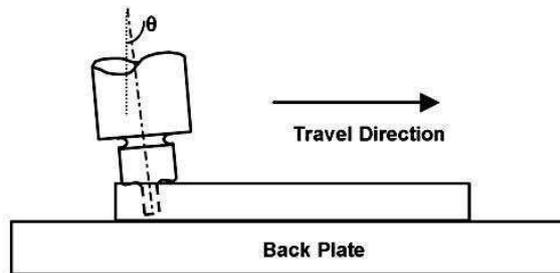
3. ***Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)***, pada area ini *tool* mendeformasi material secara plastis dan tentunya panas yang dihasilkan pada saat proses pengelasan juga membawa pengaruh terhadap material. Pada material aluminium panas tersebut memungkinkan untuk menghasilkan regangan plastis tanpa adanya proses rekristalisasi. Dan biasanya ada batas yang jelas yang membedakan antara area rekristalisasi (*weld nugget*) dan area TMAZ yang terdeformasi.
4. ***Weld Nugget***, adalah area yang secara utuh mengalami rekristalisasi atau terkadang disebut juga *Stir Zone*. Area ini merupakan area yang menghasilkan sambungan akibat gerakan *tool*.

2.1.4 Siklus Proses *Friction Stir Welding*

Siklus dari proses FSW dapat dibagi-bagi menjadi beberapa langkah dimana pada masing-masing langkah memiliki aliran panas dan *thermal profile* yang berbeda, siklus-siklus tersebut adalah

1. ***Dwell Time***, Pada langkah proses pemanasan awal dilakukan pada benda kerja dengan cara membiarkan *tool* berputar tanpa gerak translasi (*stationery*). Pada langkah ini material yang ada dibawah *tool* dipanaskan hingga benar-benar melunak dan *tool* siap untuk bergerak translasi sepanjang joint line. Biasanya pada langkah ini juga proses penetrasi *pin* dimulai.
2. ***Transient Heating***, pada saat *tool* mulai untuk bergerak translasi biasanya ada saat pemanasan sementara dimana pada saat itu panas yang diciptakan dan suhu pada sekitar *tool* menjadi tidak stabil dan bergerak hingga menjadi *steady-state* pada saat *tool* sudah mulai bergerak.
3. ***Pseudo steady-state***, walaupun pada saat proses berlangsung terjadi fluktuasi suhu pada area sekitar *tool* tetapi secara termal pada area tersebut sudah konstan paling tidak secara mikrostruktur.
4. ***Post Steady State***, pada saat menjelang akhir dari proses pengelasan, panas akan meningkat pada sekitar *tool*.

2.1.5 *Depth Of Weld* dan Kemiringan *Tool*



Gambar 2.10 Skema *Stir Welding* (Rajiv S. Mishra, 2016)

Depth of Weld dapat diartikan sebagai kedalaman titik terendah *tool shoulder* yang menembus benda kerja sedangkan kemiringan *tool* adalah besarnya sudut yang dibuat antara sumbu *tool* dengan permukaan benda kerja yang harus diperhatikan karena akan sangat mempengaruhi hasil dari FSW. Kemiringan yang dibuat adalah $2-4^\circ$ dimana bagian belakang *shoulder* lebih rendah dibandingkan dengan bagian depannya

2.2 Mesin *Frais* (*Milling Machine*)

Mesin frais adalah mesin *tools* yang digunakan secara akurat untuk menghasilkan satu atau lebih pengerjaan permukaan benda dengan menggunakan satu atau lebih alat potong. Benda kerja dipegang dengan aman pada meja benda kerja dari mesin atau dalam sebuah alat pemegang khusus yang dijepit atau dipasang pada meja mesin. Selanjutnya benda kerja dikontakkan dengan pemotong yang bergerak maju mundur.

Mesin *frais* merupakan mesin potong yang dapat digunakan untuk berbagaimacam operasi seperti pengoperasian benda datar dan permukaan yang memiliki bentuk yang tidak beraturan, roda gigi dan kepala baut, *boring*, *reaming*. Kemampuan untuk melakukan berbagai macam pekerjaan membuat mesin *frais* merupakan salah satu mesin yang sangat penting dalam bengkel kerja.

2.2.1 Prinsip Kerja Mesin *Milling*

Prinsip kerja mesin *milling* adalah menggunakan *milling cutter* sebagai alat pemotong lapisan pada material. *Milling Cutter* ialah sejenis alat pemotong *rotary* yang memiliki banyak sudut pemotongan, *milling* (penggilingan) dan *drilling*

(pengeboran) memiliki kesamaan dalam mekanik. Perbedaannya pisau *milling* berputar pada porosnya dan maju ke arah material dan kembali pada posisi semula, ketika pisau mundur kembali ke posisi semula ini berfungsi untuk menyisir sisa potongan agar rapi dan presisi. Proses *milling* dengan hasil memuaskan akan tercapai jika perputaran pisau dan laju maju mundur pisau ke ujung material dipelankan maka hasil potongan akan lebih bagus.

ada proses *milling* terdapat tiga golongan utama yaitu :

1. *Face Milling*

Proses pemotongan terjadi pada sudut material setelah *milling cutter*, ini berguna untuk memotong lapisan yang rata pada material atau media kerja dan memotong rongga yang datar dan dalam.

2. *Peripheral Milling*

Pemotongan ini berlangsung dengan lingkaran dari *cutter*, ini agar bagian silang yang terpotong akan terpotong sesuai dengan bentuk pisau pemotongan. *Peripheral milling* sangat cocok memotong slot yang dalam dan juga benang.

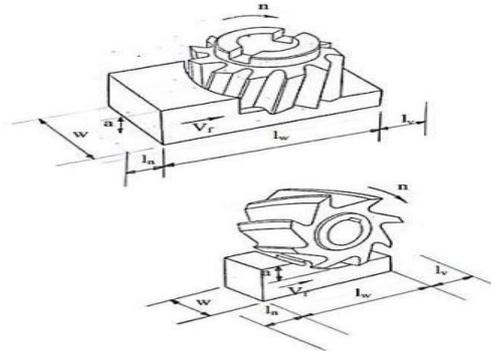
3. *Frais Jari (End Frais)*

Pisau pada proses *frais jari* biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pisau dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pisau terletak pada selubung pisau dan ujung badan pisau.

2.2.2 Parameter Proses *Frais*

Parameter pemotongan di perlukan agar proses produksi dapat sesuai dengan prosedur perencanaan. Parameter-parameter pemotongan yang penting untuk di perhatikan dalam proses *frais* yaitu: kecepatan potong, putaran *spindel*, kedalaman pemakanan, gerak makan per gigi, dan waktu pemesinan. Penentuan rasio kecepatan antara gerak benda kerja dan putaran pisau sangat penting di perhatikan untuk mendapat nilai kekasaran yang baik. Jika langkah pemakanan benda kerja terlalu pelan maka waktu akan terbuang dengan banyak dan pisau *milling* pun akan cepat mengalami tumpul dan menurunkan umur mata pahat. Jika pemakanan benda kerja terlalu cepat pisau *frais* bisa cepat rusak, dan

memerlukan waktu lebih banyak untuk menggantinya (Nasution, A. R, et all, 2021).



Parameter-parameter tersebut dapat di jelaskan sebagai berikut:

Gambar 2.11 Skematis Proses Frais *Vertikal* dan *Frais Horizontal* (Rochim, 2013)

1. Kecepatan potong (*cutting speed*)

Yang di maksud dengan Kecepatan potong (Cs) adalah kemampuan alat potong menyayat bahan dengan aman menghasilkan tatal dalam satuan panjang/waktu (meter/menit atau *feet/menit*). Pada gerak putar seperti pada mesin *frais* kecepatannya (Cs) adalah keliling lingkaran benda kerja (\square) di kalikan dengan putaran (n). Dalam menentukan kecepatan potong beberapa faktor yang perlu di pertimbangkan antarlain:

- a. Material benda kerja yang akan di *frais*
- b. Material pisau atau mata pahat
- c. Diameter mata pahat
- d. Kedalaman potong yang di tentukan
- e. Rigiditas benda kerja dan mesin.

Untuk benda kerja berbeda kekasarannya, strukturnya dan kemampuan pemesinannya di perlukan *cutting speed* yang berbeda.

Cutting speed dapat di rumuskan dalam bentuk persamaan:

$$CS = \frac{(\pi \times d \times n)}{1000} \text{ (m/min)}$$

2. Kecepatan putaran mesin (*Revolution* permenit/Rpm)

Yang di maksud kecepatan putaran mesin adalah kemampuan kecepatan

putaran mesin untuk melakukan pemotongan/ penyayatan dalam satu menit. Dalam hal ini mengingat nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah di tetapkan secara baku, maka komponen yang bisa di atur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin/benda kerja. Dengan demikian rumus untuk menghitung putaran adalah:

$$n = \frac{1000.Cs}{\pi.d} (Rpm)$$

Terdapat 3 faktor yang harus di pertimbangkan dalam menentukan putaran mesin *frais* antara lain:

- a. Material yang akan di *frais*.
- b. Bahan pisau *frais*.
- c. Diameter pisau *frais*.

3. Kecepatan Pemakanan (*Feed/ F*) mm/menit

Kecepatan Pemakanan pada proses pengefraisan, di tentukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor di antaranya kekerasan bahan, kedalaman penyayatan, sudut-sudut sayat alat potong, bahan alat potong, Ketajaman alat potong, dan kesiapan mesin yang di gunakan. Di samping beberapa pertimbangan tersebut, kecepatan pemakanan pada umumnya untuk proses pengasaran di tentukan pada kecepatan pemakanan tinggi karena tidak memerlukan hasil permukaan yang halus (waktu pengefraisan lebih cepat), dan pada proses penyelesaiannya/ *finishing* di gunakan kecepatan pemakanan rendah dengan tujuan mendapatkan kualitas permukaan hasil penyayatan yang lebih baik sehingga hasilnya halus (waktu pengefraisan lebih cepat). Besarnya kecepatan pemakanan (*F*) pada mesin *frais* di tentukan oleh seberapa besar bergesernya pisau *frais* (*f*) dalam satuan mm/putaran di kalikan seberapa besar putaran mesinnya (*n*) dalam satuan putaran. Maka rumus untuk mencari kecepatan pemakanan adalah:

$$F = f . n(mm./menit)$$

Feed dapat di nyatakan sebagai rasio gerak benda kerja terhadap gerak putar pisau *frais*. Dalam menentukan *feed*, faktor yang harus di perhatikan adalah:

- a. Kedalaman pemakanan.
- b. Tipe pisau *frais*.
- c. Bentuk pisau *frais*.
- d. Material benda kerja.
- e. Kekuatan dan keseragaman benda kerja.
- f. Tipe permukaan *finishing* yang di harapkan.
- g. Power dan rigiditas mesin.

4. Kedalaman pemotongan

Pemotongan dalam proses frais meliputi pemotongan kasar (*roughing*) dan pemotongan halus (*finishing*). Pada pemotongan kasar dalam pemotongan dapat di tentukan pada kedalaman maksimal (lebih dalam). Pada pemotongan yang berat dapat di gunakan pisau dengan gigi helix dan jumlah gigi yang lebih sedikit. pemotongan dengan jumlah gigi potong lebih sedikit akan menghasilkan pemotongan yang lebih kuat dan lebih mempunyai kelonggaran yang lebih besar dari pada banyak gigi.

Pemotongan halus (*finishing*) di lakukan secara ringan (*light*) dari pada pemotongan kasar. Kedalaman pemotong pada pemakanan kasar biasanya dari 1/64 inchi (0.39mm). pada pemakanan halus, *feeding* (gerakan pemakanan) harus di kurangi dan putaran di percepat, sedangkan pada pemotongan kasar sebaliknya. yaitu *feeding* di perbesar dan putaran pisau di perlambat.

5. Gerak makan per gigi, Fz

$$fz = \frac{vf}{(Z \times N)} = (mm/gigi)$$

6. Waktu pemotongan

$$tc = \frac{lt}{vf} = (mm)$$

7. Kecepatan penghasilan geram

$$Z = f.a.V \text{ (} cm^3 / menit \text{)}$$

Proses frais bisa di lakukan dengan banyak cara menurut jenis pahat yang di gunakan dan bentuk benda kerjanya. Selain itu jenis mesin *frais* yang bervariasi menyebabkan analisa proses *frais* menjadi rumit. Hal-hal yang perlu di perhatikan dalam perencanaan bukan hanya kecepatan potong dan gerak makan saja, tetapi juga cara pencekaman, gaya potong, kehausan produk, getaran mesin dan getaran benda kerja. Maka rumus untuk kecepatan penghasilan geram adalah:

2.2.3 Jenis-Jenis Mesin *Frais*

Terdapat beberapa jenis mesin *frais*. Berdasarkan spindelnya mesin *frais* di bedakan atas:

1. Mesin *Frais Vertikal*

Merupakan mesin frais dengan poros utama sebagai pemutar dengan pemegang alat potong dengan posisi tegak. Mesin ini adalah terutama sebuah mesin perkakas yang di kontruksi untuk pekerjaan yang sangat teliti. Penampilan mirip dengan *frais* jenis datar perbedaan adalah bahwa meja kerjanya di lengkapi gerak empat yang kemungkinan meja untuk berputar horizontal. Seperti gambar di bawah ini mesin *frais* vertikal.



Gambar 2. 12 Mesin *Frais Vertikal*

2. Mesin *Frais Horizontal*

Merupakan mesin *frais* yang potong utamanya sebagai pemutar dan pemegang alat potong pada posisi mendatar seperti gambar di bawah ini mesin *frais horizontal*.



Gambar 2. 13 Mesin *Frais Horizontal*

3. Mesin *Frais Universal*

Mesin *frais universal* ini adalah mesin produksi dari konstruksi yang kasar. Bangkunya ini adalah benda cor yang kaku dan berat serta menyangga sebuah meja yang hanya memiliki gerakan *longtidunal*. Penyatan *vertikal* di berikan dalam kepala spindel dan suatu penyetelan lintang di buat dalam pena atau ram *spindel* seperti gambar di bawah ini, Mesin *frais universal*.



Gambar 2. 14 Mesin *Frais Universal*

4. Mesin *Frais Tangan (Hand Milling Machine)*

Jenis mesin *frais* ini paling sederhana dari semua jenis mesin *frais*. Jenis mesin *frais* ini dapat di letakan di meja manapun dan hanya di kendalikan oleh tangan. Mesin dapat di pasang pada posisi *horizontal* dan di gerakkan oleh daya. Jenis mesin penggilingan ini berukuran kecil dan cocok untuk peomotongan ringan dan sederhana.



Gambar 2. 15 *Hand Milling Machine*)

5. Mesin *Frais CNC (Computer Numerical Control)*

Jenis mesin *frais* lainnya adalah *CNC (Computer Numerical Control)*. Ini adalah tipe mesin penggilingan paling berguna yang di kendalikan oleh komputer. Ini merupakan versi yang lebih baik dari mesin *frais* lainnya. Mesin ini memiliki poros yang dapat bergerak di ketiga arah dan meja dapat berputa 360 derajat. Semua gerakan ini di kendalikan secara hidrolik yang di perintahkan oleh komputer.



Gambar 2. 16 Mesin *Frais CNC (Computer Numerical Control)*

2.3 Aluminium

Aluminium dan paduannya mempunyai sifat-sifat secara umum yang cukup baik, antara lain: ringan, tahan korosi, mudah difabrikasi, sifat konduktivitas panas yang tinggi, titik cair rendah, mempunyai keuletan dan kekuatan yang baik serta warna yang khas (tidak pudar). Sifat-sifat di atas merupakan kelebihan yang tidak dimiliki oleh logam lain sehingga banyak digunakan di bidang teknik seperti pesawat, bidang otomotif, kereta api, alat penukar kalor, konstruksi-konstruksi ringan seperti rangka jendela atau pintu, rangka atap rumah serta peralatan industri lainnya. Berdasarkan pembuatannya aluminium paduan dibagi menjadi dua kategori yaitu aluminium paduan tempa (*wrought alloy*) dan aluminium paduan cor (*cast alloy*), kemudian dari masing-masing kategori dibagi lagi kedalam beberapa seri.

Tabel 2.1. Klasifikasi Aluminium Paduan (Mandal, 2018)

Wrought Alloys		Cast Alloys	
No seri	Unsur Paduan Utama	No seri	Unsur Paduan Utama
1XXX	Al, komposisi murni	1XXX	Al, komposisi murni
2XXX	Tembaga	2XXX	Tembaga
3XXX	Mangan	3XXX	Silikon, tembaga, magnesium
4XXX	Silikon	4XXX	Silikon
5XXX	Magnesium	5XXX	Magnesium
6XXX	Magnesium dan Silikon	7XXX	Seng
7XXX	Seng	8XXX	Tin
8XXX	Unsur lain	9XXX	Unsur lain

2.3.1 Aluminium 1100

Paduan aluminium 1100 adalah paduan aluminium murni dengan karakteristik pembentukan yang sangat baik. Paduan aluminium 1100 memiliki kemampuan mesin yang sangat baik terutama ketika paduan tersebut dikerjakan dengan mesin dengan temperaturss yang keras. Aluminium 1100 adalah salah satu paduan aluminium yang paling lembut, dan tidak boleh digunakan untuk aplikasi berkekuatan tinggi atau bertekanan tinggi.

Tabel 2.2 komposisi kimia alumunium 1100

Elemen	Konten (%)
Aluminium, Al	99.00
Silicon (Si) + Besi (Fe)	≤ 0.95
Tembaga, Cu	≤ 0.20%
Seng, Zn	≤ 0.10
Mangan, Mn	≤ 0.50
Berilium, Be	≤ 0.0008

Tabel 2.3 sifat fisik alumunium 1100

Properti	Metrik	Bahasa Inggris
Kepadatan	2,71 g/cc	0,0979 lb/in ³
Titik Leleh	643 - 657.2 °C	1190 - 1215 °F

Tabel 2.4 sifat mekanis alumunium 1100

Properti	Metrik	Bahasa Inggris
Kekerasan, Brinell	23	23
Kekuatan Tarik, Ultimate	89,6 MPa	13000 psi
Kekuatan Tarik, Hasil	34,0 MPa	4930 psi
Pemanjangan saat Istirahat	15 - 28%	15 - 28%
Modulus Elastisitas	68,9 GPa	103000 ksi
Kekuatan Bantalan Utama	159 MPa	23100 psi
Kekuatan Hasil Bantalan	55,0 MPa	7980 psi
Kekuatan Tarik, Ultimate	89,6 MPa	13000 psi
Rasio Poisson	0.33	0.33
Kekuatan Kelelahan	34,5 MPa	5000 psi
Modulus Geser	26,0 MPa	3770 psi
Kekuatan Geser	62,1 Mpa	9000 psi

2.4 Carbide

Tungsten karbida (WC) adalah senyawa kimia anorganik yang mengandung bagian yang sama dari atom *tungsten* dan karbon. *Tungsten carbide* sering hanya disebut karbida. Dalam bentuk yang paling dasar itu adalah bubuk abu-abu halus, tetapi dapat ditekan dan dibentuk menjadi bentuk untuk digunakan dalam mesin industri, alat-alat, abrasive, serta perhiasan. *Tungsten* karbida adalah sekitar tiga kali lebih kekakuan dari baja, dengan *modulus Young* sekitar 550 GPa, dan jauh lebih padat daripada baja atau titanium. Hal ini sebanding dengan *korundum* (α -Al₂O₃ atau *safir*) dalam kekerasan dan hanya dapat dipoles dan selesai dengan abrasive kekerasan unggulan seperti silikon karbida, *cubic boron nitride* dan berlian antara lain, dalam bentuk bubuk, roda dan senyawa. *Tungsten Carbide*

adalah bahan yang sangat serbaguna yang datang dalam berbagai jenis untuk memberikan sifat yang berbeda-beda. Karakteristik yang berbeda-beda adalah alasan utama untuk popularitas dalam berbagai aplikasi dan industri. *Tungsten Carbide* jatuh antara 8,5 dan 9,0 pada skala kekerasan Mohs, membuatnya hampir sekeras berlian.



Gambar 2.17 *carbide*

2.5 Desain Tool

Desain *tool* merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi struktur mikro, profil, dan sifat mekanik sambungan.

Material *tool* merupakan faktor yang menentukan akan kehandalan *tool*, koefisien gesek, dan pembangkitan heat. Oleh karena itu *tool* design merupakan hal yang sangat penting dari FSW.

Hal pertama yang harus diperhatikan pada saat merancang *tool* yang akan digunakan adalah pemilihan material yang akan digunakan, beberapa karakter material yang harus dipenuhi oleh sebuah *tool* adalah :

1. Memiliki kekuatan yang baik di suhu rug dan di suhu tinggi.
2. Stabilitas material tetap terjaga pada saat suhu tinggi
3. Tahan gesek dan aus.
4. Material yang digunakan tidak bereaksi dengan benda kerja
5. Memiliki ketangguhan yang baik
6. *Thermal expansion* rendah
7. Mampu mesin yang baik
8. Homogen secara microstructure dan masa jenis
9. Tersedia luas di pasaran.

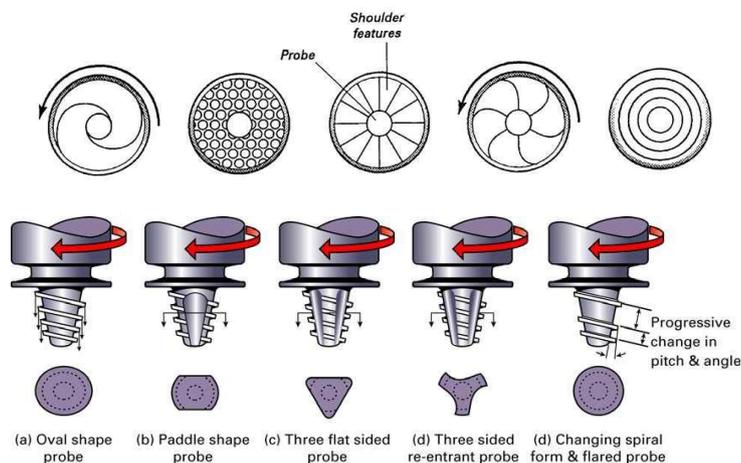
Alloy	Thickness		Tool material
	mm	in.	
Aluminum alloys	<12	<0.5	Tool steel, WC-Co MP159
	<26	<1.02	
Magnesium alloys	<6	<0.24	Tool steel, WC
Copper and copper alloys	<50	<2.0	Nickel alloys, PCBN(a), tungsten alloys Tool steel
	<11	<0.4	
Titanium alloys	<6	<0.24	Tungsten alloys
Stainless steels	<6	<0.24	PCBN, tungsten alloys
Low-alloy steel	<10	<0.4	WC, PCBN
Nickel alloys	<6	<0.24	PCBN

(a) PCBN, polycrystalline cubic boron nitride

Gambar 2.18 Material Tool FSW dan Aplikasinya

Hal yang kedua adalah bentuk dari *shoulder* dan *pin* dari *tool*, dua bagian utama dari sebuah *tool* yang digunakan dalam FSW adalah :

Shoulder, bagian ini adalah bagian yang membangun panas dengan gesekan yang dilakukannya terhadap benda kerja, bagian ini juga yang menjadi penahan material panas yang ada di bawahnya. Disamping itu bagian ini pun yang memberikan gaya vertikal ke arah benda kerja yang menjaga kondisi contact *tool* dengan benda kerja.

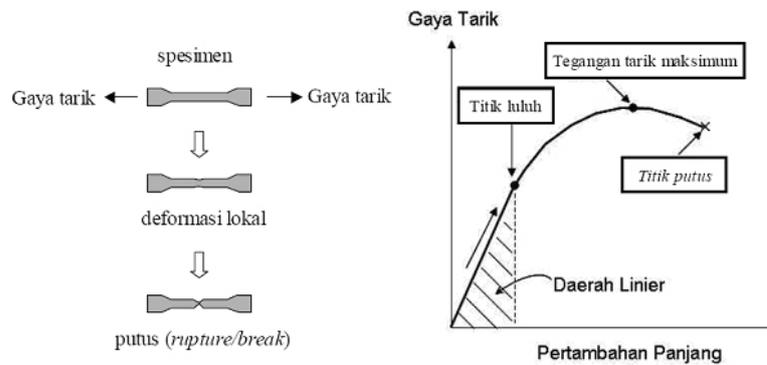


Gambar 2.19 Contoh Desain *Pin* pada *Tool* FSW

2.6 Pengujian *Tensile Test*

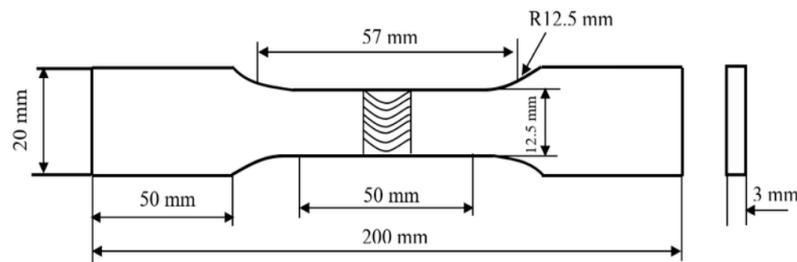
Uji Tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana

material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkerman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).



Gambar 2.20 Bentuk Spesimen Uji Tarik ASTM E8

Kurva dibawah ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.



Gambaran 2.21 Singkat Uji Tarik

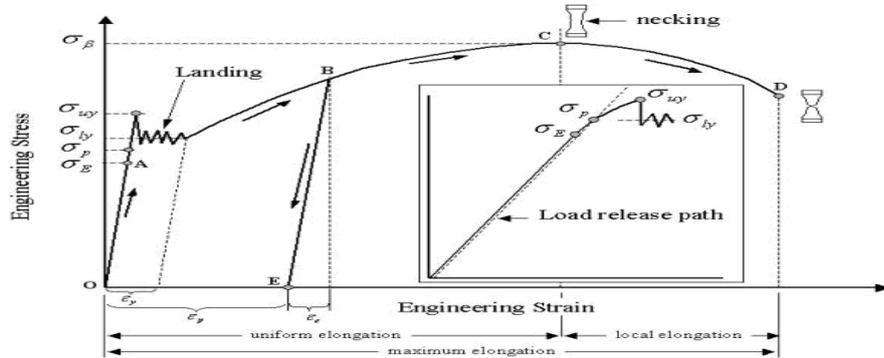
Menurut Hukum Hooke (*Hooke's Law*) bahwa hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah *linier* atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke yaitu rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan. bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkerman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

Dibawah ini hubungan antara *stress* dan *strain*:

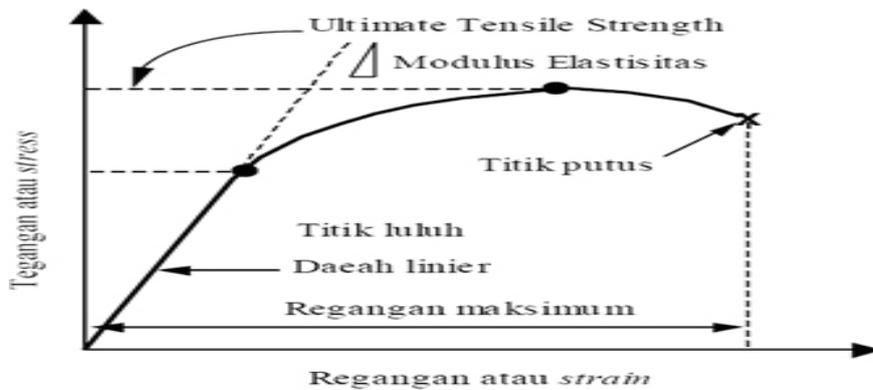
Stress (Tegangan Mekanis): $\sigma = F/A$, F = gaya tarikan, A = luas penampang

Strain (Regangan): $\epsilon = \Delta L/L$, ΔL = Pertambahan panjang, L = Panjang awal
Maka, hubungan antara stress dan strain dirumuskan:

$$E = \sigma/\epsilon$$



Gambar 2.22 Kurva Tegangan-Regan



Gambar 2.23 Profil Data Hasil Uji Tarik

Dibawah ini istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan berpedoman pada hasil uji tarik seperti pada Gambar 2.23:

- Batas elastic σ_E (*elastic limit*), Pada Gambar 2.23 dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat Gambar 2.23). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku.
- Batas proporsional σ_p (*proportional limit*). Titik di mana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
- Deformasi plastis (*plastic deformation*). Perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada Gambar 2.23 yaitu bila bahan ditarik

- sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.
- d. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*). Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi
 - e. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*). Tegangan rata-rata daerah landing sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan mekanis pada titik ini.
 - f. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*). Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.
 - g. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*). Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.
 - h. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*). Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.
 - i. Tegangan tarik maksimum (UTS, *Ultimate Tensile Strength*). Pada Gambar 2.23 ditunjukkan dengan titik C (σ_{β}), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
 - j. Kekuatan patah (*breaking strength*). Pada Gambar 2.23 ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Adapun tempat pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di Lab Fakultas Teknik jalan Kapten Muchtar Basri No. 108-112, glugur darat II, Medan timur.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian ini dilakukan mulai dari tanggal disahkannya usulan judul oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Jadwal dan Kegiatan Saat Melakukan Penelitian

No	Kegiatan	Waktu(Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul	■					
2	Studi Literatur	■	■				
3	Penulisan Laporan	■	■	■			
4	Seminar Proposal			■	■		
5	Pengelasan Benda Uji				■	■	
6	Pengambilan Data Uji Tarik					■	■
7	Penulisan Laporan Akhir					■	■
8	Seminar Hasil dan Sidang Serjana						■

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Mesin *Milling* EMCO F3

Mesin milling yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin Milling EMCO F3 yang merupakan alat di Laboratorium CNC TU2A/TU3A Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Mesin ini merupakan mesin *milling* konvensional 4 *axis* yang telah dilengkapi penggerak otomatis untuk meja mesin.



Gambar 3.1 Mesin *Milling* EMCO F3

Spesifikasi Mesin *Milling* EMCO F3

Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin *Milling* EMCO F3

SPESIFIKASI	
Rentang Meja Kerja	: 300x200x350 mm
Alat Pemegang	: SK30.8
Kecepatan Poros	: 80-2200 rpm
Berat	: 500 kg
Dimensi	: 1,30 x 1,20 x 1,80 m

2. Mesin *Tensile Test*

Dalam pengujian, untuk mengukur kekuatan dari hasil pengelasan *Friction Stir Welding Aluminium*, menggunakan mesin uji *Tensile Test* yang ada di Lab Material Test Room Politeknik Negeri Medan.



Gambar 3.2 Mesin Uji *Tensile Test*

3.2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan pada penelitian ini adalah:

1. Aluminium 1100

Spesimen uji yang akan digunakan adalah aluminium 1100. Dalam dunia industri material ini banyak sekali digunakan Berikut adalah sifat dari material aluminium 1100



Properti	Metrik	Bahasa Inggris
Kepadatan	2,71 g/cc	0,0979 lb/in ³
Titik Leleh	643 - 657.2 °C	1190 - 1215 °F

Gambar 3.3 sifat fisik aluminium 1100



Properti	Metrik	Bahasa Inggris
Kekerasan, Brinell	23	23
Kekuatan Tarik, Ultimate	89,6 MPa	13000 psi
Kekuatan Tarik, Hasil	34,0 MPa	4930 psi
Pemanjangan saat Istirahat	15 - 28%	15 - 28%
Modulus Elastisitas	68,9 GPa	103000 ksi
Kekuatan Bantalan Utama	159 MPa	23100 psi
Kekuatan Hasil Bantalan	55,0 MPa	7980 psi
Kekuatan Tarik, Ultimate	89,6 MPa	13000 psi
Rasio Poisson	0.33	0.33
Kekuatan Kelelahan	34,5 MPa	5000 psi
Modulus Geser	26,0 MPa	3770 psi
Kekuatan Geser	62,1 MPa	9000 psi

Gambar 3.4 sifat mekanisme aluminium 1100

Sifat Termal		
Properti	Metrik	Bahasa Inggris
Panas Fusi	390 J/g	168 BTU / lb
Kapasitas Panas Spesifik	0,904 J / g - ° C	0,216 BTU / lb- ° F
Konduktivitas Termal	222 W/m-K	1540 BTU-in / jam-ft ² - ° F

Gambar 3.5. sifat termal alumunium 1100

Lembaran plat dengan tebal 3 mm dipotong dengan menggunakan mesin potong dengan ukuran spesimen 500 mm x 150 mm seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.6. spesimen untuk pengelasan

1. Carbide

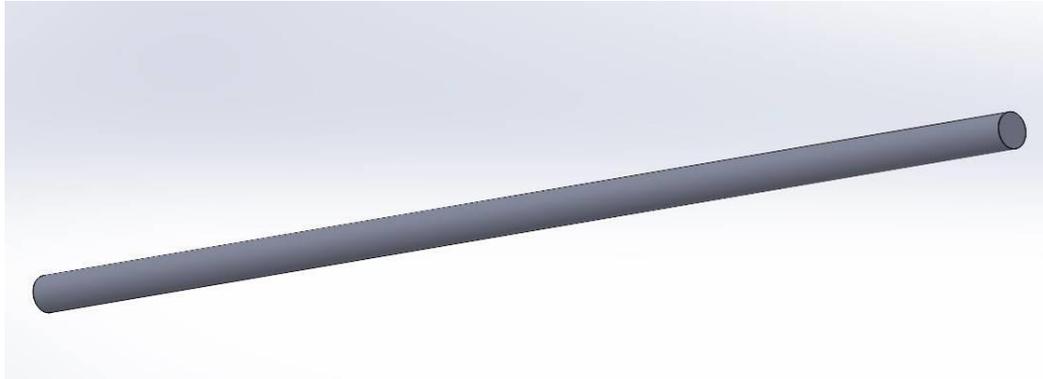
Carbide adalah bahan yang sangat serbaguna yang datang dalam berbagai jenis untuk memberikan sifat yang berbeda-beda. Karakteristik yang berbeda-beda adalah alasan utama untuk popularitas dalam berbagai aplikasi dan industri. *Tungsten Carbide* jatuh antara 8,5 dan 9,0 pada skala kekerasan Mohs, membuatnya hampir sekeras berlian.



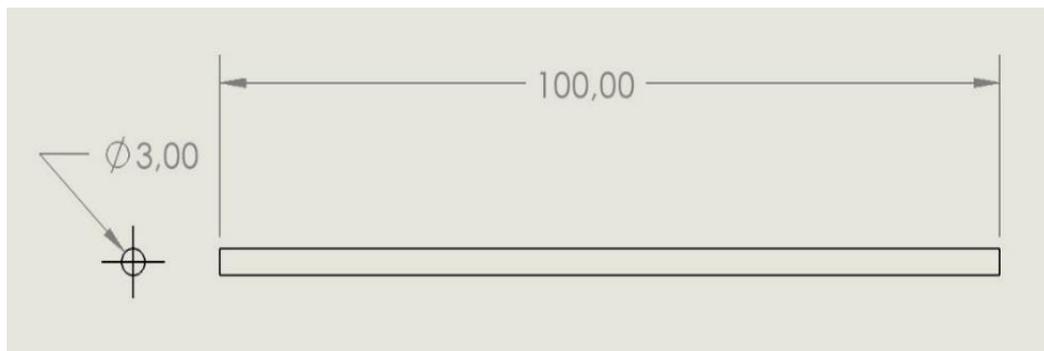
Gambar 3.7. carbide

2. *Tool* / pahat

Adapun *tool* yang digunakan untuk proses pengelasan metode fsw dengan bentuk *cylindrical tool pin*.



Gambar 3.8. *cylindrical Tool Pin*

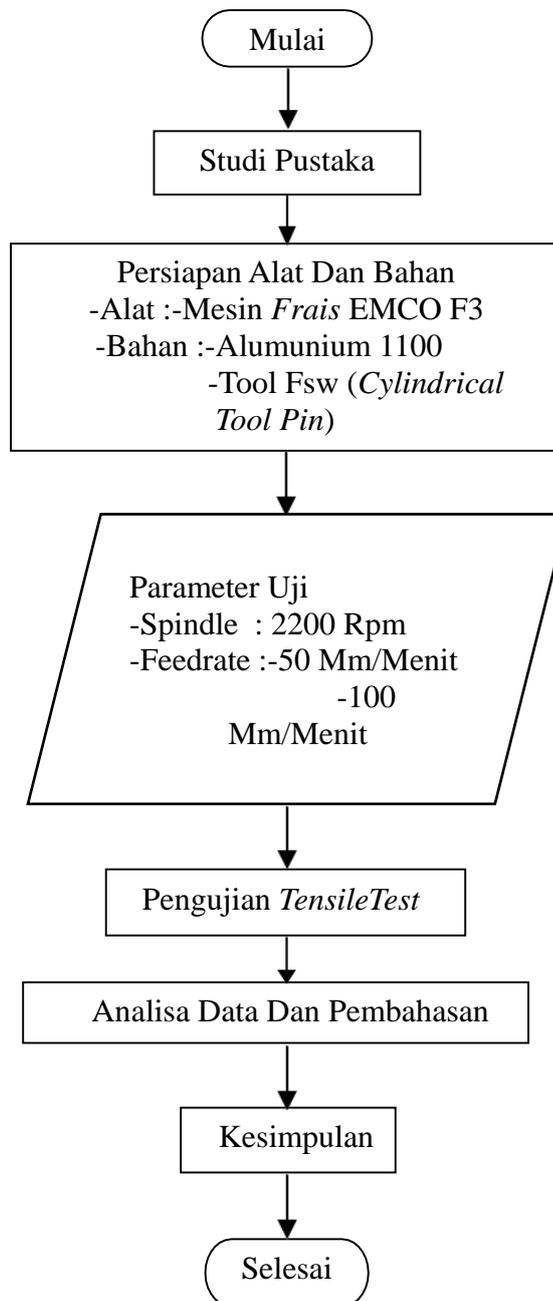


Gambar 3.9. dimensi *tool*



Gambar 3.10 Pahat (*Tool*)

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.11 Bagan Alir Penelitian

3.4 Rangkaian Alat Pengujian

3.4.1. Rancangan Alat Uji Tarik

Mesin Uji Universal (UTM), juga dikenal sebagai mesin/peng uji tarik, adalah sistem pengujian elektromekanis yang menerapkan gaya tarik pada bahan baku atau komponen untuk menguji kekuatan tarik dan lentur. Alat ini banyak digunakan untuk pengujian beban kecil dan besar dalam kontrol kualitas atau proyek penelitian, dll.



Gambar 3.12 Alat uji Tarik

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Pengelasan

1. Mempersiapkan mesin *Milling*.
2. Mempersiapkan material atau alumunium 1100 yang akan dilas, dimana dimensi alumunium 1100 yang akan dilas harus sudah sesuai dengan standard ASTM E8 untuk pengujian tarik nantinya.
3. Memberikan nomor urut atau tanda pada alumunium 1100.
4. Memprsiapkan peralatan yang diperlukan untuk mencekam alumunium 1100 pada meja kerja mesin *Milling*.
5. Mencekam benda kerja yang akan dilas dengan pada meja mesin *Miling*.
6. Mengatur posisi mesin *Milling*.
7. Mepersiapkan *tool*.
8. Penyetingan parameter mesin seperti kecepatan putaran *spindle* dan kecepatan *feedrate*.
9. Kemudian cek semua fungsi penguncian dari meja mesin *Milling*, pastikan semua bekerja dengan baik.

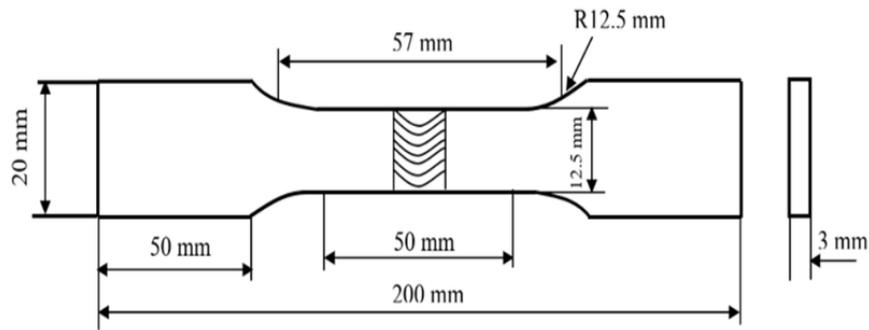
3.5.2 Proses Pengelasan Alumunium 1100

Proses pengelasan dapat dilakukan apabila semua alat uji, benda kerja dan persiapan pengelasan telah siap. Langkah proses pengelasan adalah sebagai berikut:

1. Pasang *tool* pada *collet*, *tool* dipasang setelah *collet* terpasang pada adaptornya untuk meminimalisir kerusakan pada *collet*.
2. Kemudian *setting* rpm sesuai dengan yang diinginkan dengan memindahkan tuas yang ada di mesin *Milling*. Perpindahan rpm dilakukan secara manual.
3. Cekam alumunium 1100 pada meja yang dibuat sesuai tebal benda kerja. Dengan menggunakan besi tebal dan plat besi sebagai alas alumunium 1100, kemudian alumunium 1100 di kancing dengan besi dan baut. Kemudian kencangkan dengan maksimal.
4. Sebelum melakukan pengelasan. Setting alur pengelasan benda kerja agar rata dengan *tool* pengelasan. Kemudian hidupkan mesin dengan parameter yang sudah ditentukan.
5. Posisikan FSW *tool* sedekat mungkin dengan spesimen. Posisi *tool* tidak boleh melewati sisi terluar karena akan menghalangi *downforce* dari *Shoulder tool*.
6. Penetrasikan atau tekan tool FSW sampai *Shoulder* menyentuh benda kerja.
7. Kemudian gerakan meja searah sumbu X dengan kecepatan pengelasan konstan. Pergerakan meja dilakukan secara otomatis untuk menjaga kecepatan meja tetap konstan.
8. Setelah mencapai ujung benda kerja. Hentikan pergerakan meja kerja kemudian tarik *tool* keluar dari benda kerja.
9. Matikan *spindle* mesin dan posisikan benda kerja terbebas dari *tool* FSW.
10. Lepas benda kerja dari pencekam.
11. Angkat alumunium 1100 menggunakan tang penjepit.
12. Matikan mesin *Milling*.

3.5.3 Proses pengujian tarik

Proses pengujian tarik yang dilakukan pada spesimen akan mengikuti standar ASTM E8 dimana untuk spesimen dengan tipe *sheet plate* dengan tebal 3 mm. berikut adalah ilustrasi dari *test piece* yang akan dibuat sebagai benda kerja untuk pengujian tarik.



Gambar 3.13 Standar Pengujian Tarik

Prosedur dan pembacaan hasil pada pengujian tarik adalah sebagai berikut. Benda uji dijepit pada ragum uji tarik, setelah sebelumnya diketahui penampangnya, panjang awalnya dan ketebalannya. Langkah pengujinya sebagai berikut:

1. Benda uji mulai mendapatkan beban tarik dengan menggunakan tenaga hidrolik hingga benda putus.
2. Benda uji yang sudah putus lalu diukur berapa besar penampang dan panjang benda uji setelah putus.
3. Beban maksimum diperoleh dari data yang terlihat pada layar atau jarum Penunjuk.
4. Hal terakhir yaitu menghitung kekuatan tarik dari data yang telah didapat.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHSAN

4.1. Sifat Mekanis Material Logam Induk

Untuk memastikan bahwa logam induk yang digunakan dalam pengelasan FSW adalah material jenis aluminium 1100 dengan memperhatikan komposisi kimia dan sifat mekanisnya. Berikut pada table 4.1 menunjukkan hasil pengujian komposisi kimia dan sifat mekanis.

Tabel 4.1 Komposisi kimia Aluminium 1100

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others- Each	Others Total	Al Min
1100	0.95		0.05-	0.05	-	-	0.10	-	0.05	0.15	99.00
	Si+ Fe		0.20								

Dari tabel tersebut didapatkan komposisi unsur utama paduan aluminium logam induk yang dominan yang terdiri dari Magnesium (Mg), Silika (Si) yang sesuai dengan paduan utama aluminium seri 1xxx.

4.2. Proses Pengelasan Aluminium 1100

Pengelasan dengan metode *friction stir welding* merupakan pengelasan yang terjadi dalam kondisi padat (*solid state*) dengan memanfaatkan panas dari gesekan benda yang berputar (*tool*) dengan benda kerja yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Proses pengelasan FSW aluminium 1100 ini dilakukan dengan menggunakan mesin *Milling* merek EMCO F3. Berikut ini uraian penjelasan urutan tahapan proses dan hasil pengelasan FSW aluminium 1100.

4.2.1. Tahap Pertama

Mempersiapkan material logam induk dan *tool*. Bahan logam induk dari material aluminium 1100 yang terlebih dahulu diratakan permukaannya menggunakan mesin *milling* sesuai ukuran. Sedangkan *tool* yang digunakan terbuat dari material *Carbide* yang dibentuk melalui proses pembubutan. *Pin tool* yaitu berbentuk *Cylindrical* (bulat). dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini:



(A)



(B)

Gambar 4.1. Hasil pembuatan a).benda kerja FSW, b).*tool* FSW

4.2.2. Tahap kedua

Pencekaman benda kerja dan pemasangan *tool*. Pada tahap ini benda kerja dicekam menggunakan ragum dan klem penjepit pada meja mesin. Setelah benda kerja terpasang, selanjutnya memasang *tool* di *spindle* mesin *milling*, proses pencekaman benda kerja dan pemasangan *tool* terlihat pada gambar 4.2 berikut:



(A)



(B)

Gambar 4.2. A) proses pencekaman benda kerja, B) pemasangan *tool* pada *spindle*

4.2.3. Tahap ketiga

Proses pengelasan FSW. Setelah tahap pemasangan benda kerja dan *tool* selanjutnya adalah tahap proses penyambungan menggunakan metode FSW. Pada tahap ini terbagi menjadi 3 proses yaitu proses penetrasi awal, proses penyambungan dan proses pengangkatan *tool*. Proses awal dalam tahapan ini adalah penetrasi *tool* ke benda kerja hingga *shoulder* bergesekan dengan permukaan benda kerja lasan kemudian *tool* ditahan hingga terbentuk lumeran cair di permukaan gesek benda kerja. Setelah benda kerja melumer maka meja digerakkan linear dan konstan secara otomatis dimana arah eretannya berlawanan dengan arah putaran *tool*. Proses penetrasi untuk pelumeran, pegelasan dan

pengangkatan *tool* ini terlihat pada gambar 4.3 berikut:



(A)



(B)

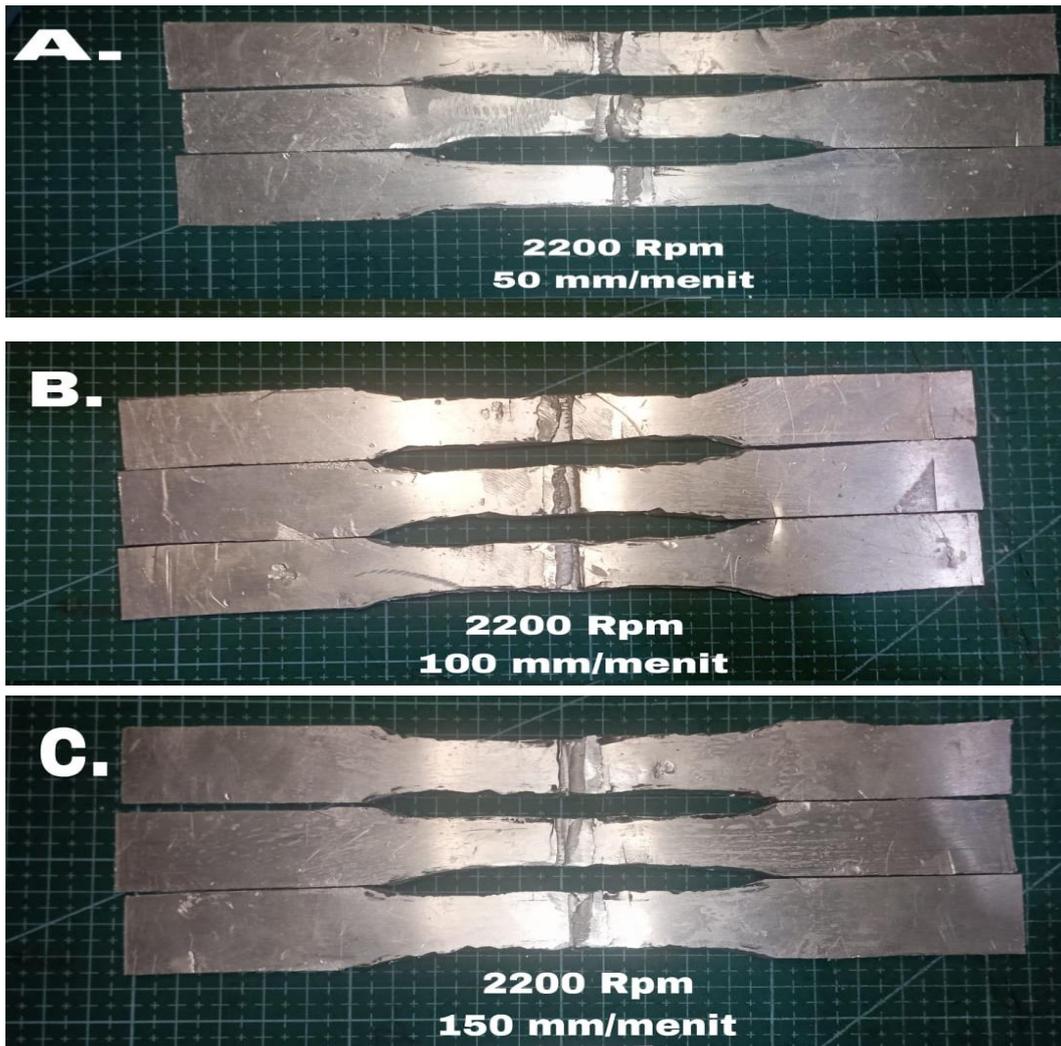


(C)

Gambar 4.3. Proses pengelasan FSW a). Proses penetrasi dan pelumeran benda kerja, b). proses penyambungan benda kerja, c). pengangkatan *tool* dari benda kerja

4.3. Hasil Pengelasan Friction Stir Welding (FSW)

Pengelasan dengan metode FSW merupakan pengelasan yang terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) dengan memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Hasil pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* ditunjukkan pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Hasil pengelasan *friction stir welding*

4.4 Data Hasil Penelitian

4.4.1 Hasil Pengujian Tarik

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data dengan melakukan pengujian tarik terhadap sambungan hasil lasan dengan metode FSW (*Friction Stir Welding*). Pengujian tarik sendiri menggunakan alat mesin uji tarik (*universal testing machine*) dimana sebelumnya spesimen telah dibentuk sesuai dengan standar untuk pengujian tarik. Pada setiap pemakaian *Feed rate* berbeda nantinya dapat dibentuk menjadi tiga sampel uji tarik untuk tiga kali proses pengulangan yang nantinya diperoleh nilai rata-rata dari ketiga pengujian. Nilai yang diperoleh dari hasil uji tarik dapat dilihat pada table dibawah.

Tabel 4.2 Hasil Uji *Tensile Test*

No	Kode Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (W)	F_y (N)	F_u (N)	σ_y MPa	σ_u MPa	ϵ (%)	Ket
1	RPM 2200/50	15,14	3,00	0,00	500	0,00	11,01	1,60	Putus Dilasan
2	RPM 2200/50	15,48	3,00	0,00	600	0,00	12,92	1,27	Putus Dilasan
3	RPM 2200/50	15,57	3,00	0,00	600	0,00	13,10	1,48	Putus Dilasan
						0,00	12,34	1,45	
4	RPM 2200/100	17,29	3,00	0,00	1000	0,00	19,28	2,78	Putus Dilasan
5	RPM 2200/100	15,67	3,00	0,00	1100	0,00	21,91	2,82	Putus Dilasan
6	RPM 2200/100	18,91	3,00	0,00	1100	0,00	23,40	2,98	Putus Dilasan
						0,00	21,53	2,86	
7	RPM 2200/150	16,79	3,00	0,00	1500	0,00	27,82	3,84	Putus Dilasan
8	RPM 2200/150	16,52	3,00	0,00	1500	0,00	29,56	4,07	Putus Dilasan
9	RPM 2200/150	16,50	3,00	0,00	1500	0,00	30,27	4,22	Putus Dilasan
						0,00	29,21	4,04	

keterangan : Gravitasi, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$,

$\sigma_y =$ tegangan luluh,

$F_y =$ gaya luluh,

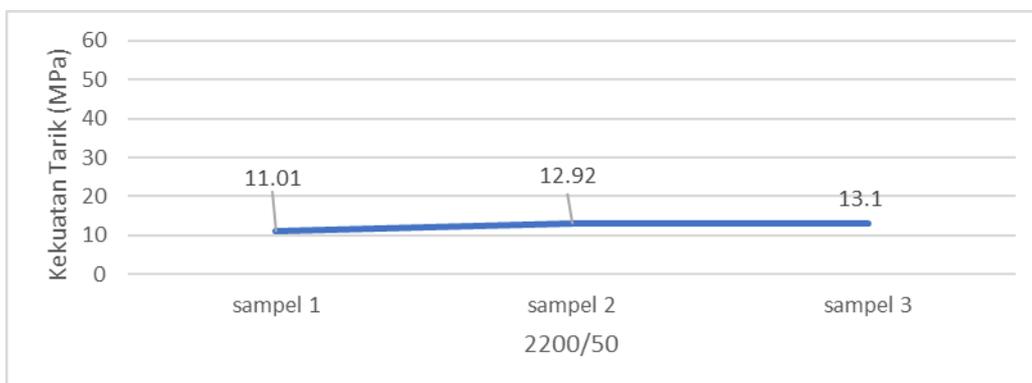
$\sigma_u =$ tegangan tarik.,

$F_u =$ gaya maks

$\epsilon =$ regangan.

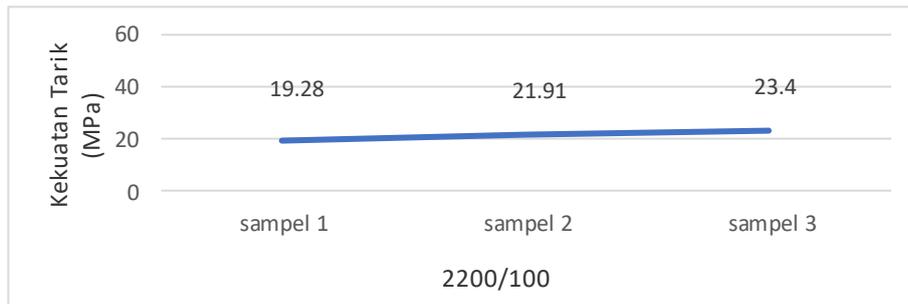
4.4.2 Pembahasan hasil pengujian

Adapun penyajian nilai kekuatan tarik hasil sambungan pengelasan FSW material Aluminium 1100 dengan putaran *spindle* 2200 rpm *feed rate* 50 mm/menit dalam bentuk grafik berikut ini.



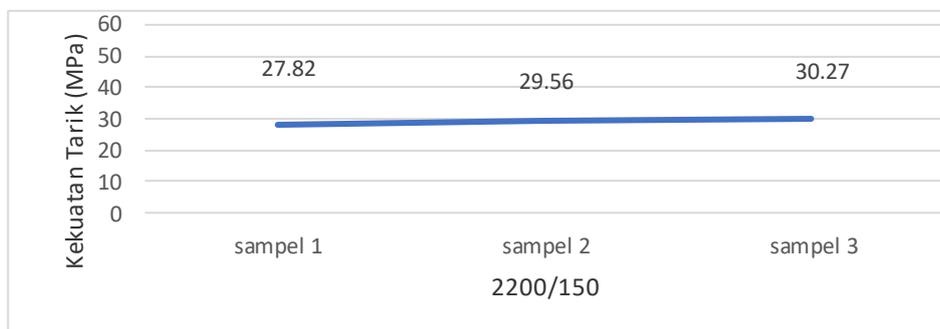
Gambar 4.5 Grafik Kekuatan Tarik Aluminium 1100 Dengan *Spindle* 2200 Rpm dan *Feedrate* 50 mm/menit.

Dari hasil diatas dapat diketahui bahwa kekuatan uji Tarik pada putaran *spindle* 2200 rpm dan *feedrate* 50 mm/menit pada sampel 1 sebesar 11,01 Mpa, kemudian mengalami kenaikan pada sampel 2 sebesar 12,92 MPa, kemudian mengalami kenaikan pada sampel 3 sebesar 13,10 MPa. dan penyajian nilai kekuatan tarik hasil pengelasan FSW material Alumunium 1100 dengan putaran *spindle* 2200 rpm *feed rate* 100 mm/menit dalam bentuk grafik berikut ini.



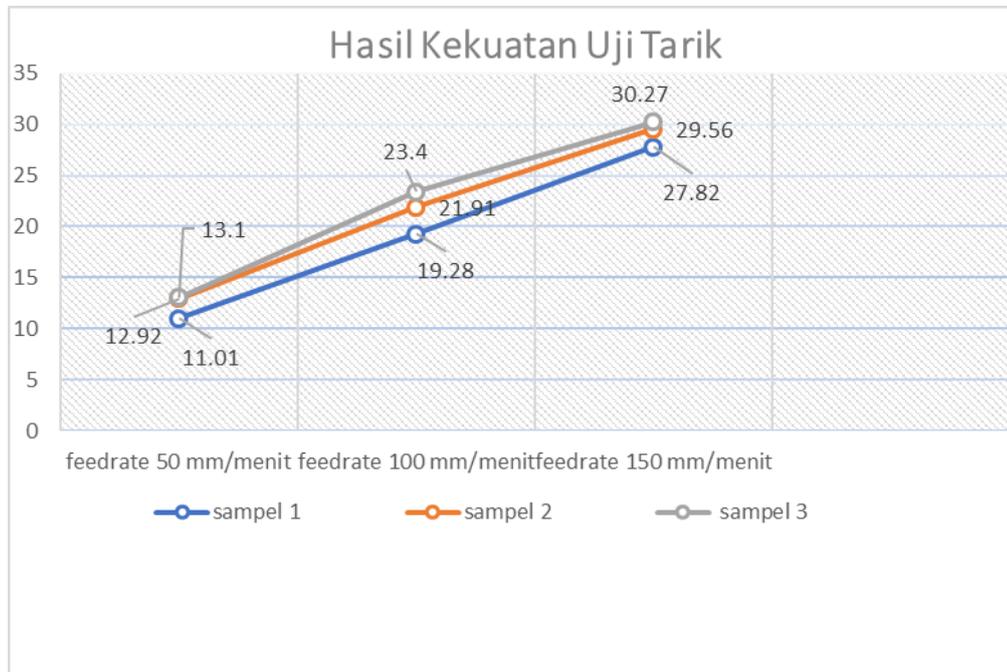
Gambar 4.6 Grafik Kekuatan Tarik Alumunium Dengan *Spindle* 2200 Rpm dan *Feed rate* 100 mm/menit.

Dari hasil diatas dapat diketahui bahwa kekuatan uji Tarik pada putaran *spindle* 2200 rpm dan *feedrate* 50 mm/menit pada sampel 1 sebesar sebesar 19,28 MPa, kemudian mengalami kenaikan pada sampel 2 sebesar 21,91 MPa. kemudian mengalami penurun pada sampel 3 sebesar 23,40 MPa. penyajian nilai kekuatan tarik hasil pengelasan FSW material Alumunium 1100 dengan putan *spindle* 2200 rpm *feedrate* 150 mm/menit dalam bentuk grafik berikut ini.



Gambar 4.7. Grafik Kekuatan Tarik Alumunium Dengan *Spindle* 2200 Rpm dan *Feed rate* 150 mm/menit.

Dari hasil diatas dapat diketahui bahwa kekuatan uji Tarik pada putaran *spindle* 2200 rpm dan *feed rate* 150 mm/menit pada sampel 1 sebesar sebesar 24,82 MPa,kemudian mengalami kenaikan pada sampe 2 sebesar 29,56 MPa.dan mengalami penurun pada sampel 3 sebesar 30,27 MPa.



Gambar 4.8. Grafik Hasil Kekuatan Tarik Alumunium

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang terdapat pada tabel 4.2 serta diagram pada gambar 4.5, 4.6, dan 4.7 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengujian tarik dengan putaran 2200 Rpm,dan *feed rate* 50 mm/min, 100 mm/min, 150 mm/min dengan menggunakan *Cylindrical Tool Pin*.
 - a. Kekuatan tarik tertinggi untuk putaran 2200 Rpm pada *feed rate* 50 mm/min terdapat pada sampel 3 sebesar 13,10 MPa dengan regangan sebesar 1,45% . Kemudian untuk kekuatan tarik tertinggi pada *feed rate* 100 mm/min terdapat pada sampel 3 sebesar 21,53 MPa dengan regangan sebesar 2,98%.Kekuatan tarik tertinggi pada *feed rate* 150 mm/min terdapat pada sampel 3 sebesar 30,27 MPa dengan regangan sebesar 4,22 % , Jadi kekuatan tarik terbesar terdapat pada putaran 2200 Rpm dengan *feed rate* 150 mm/min.
 - b. Kekuatan tarik terendah untuk putaran 2200 Rpm pada *feed rate* 50 mm/min terdapat pada sampel 1 sebesar 11,01 MPa dengan regangan sebesar 1,60% .

Kemudian untuk kekuatan tarik tertinggi pada *feed rate* 100 mm/min terdapat pada sampel 1 sebesar 19,28 MPa dengan regangan sebesar 2,78%. Kekuatan tarik tertinggi pada *feed rate* 150 mm/min terdapat pada sampel 3 sebesar 27,82 MPa dengan regangan sebesar 3,84 %, Jadi kekuatan tarik terendah terdapat pada putaran 2200 Rpm dengan *feed rate* 50 mm/min.

Dari hasil analisa data tersebut di atas dapat diketahui bahwa pengelasan FSW aluminium 1100 dengan putaran 2200 Rpm dan variasi *feed rate* 50 mm/min, 100 mm/min, 150 mm/min dengan menggunakan *Cylindrical tool pin* memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata maksimum yang berbeda tiap *feed rate* nya, dimana kekuatan tarik mengalami penurunan kekuatan dari kekuatan tarik logam induk. Kekuatan tarik terendah terdapat pada putaran 2200 Rpm dengan *feed rate* 50 mm/min. Penurunan kekuatan terjadi dengan cenderung pada kecepatan pengelasan dan *feed rate* yang rendah, karena pada *feed rate* yang rendah pengadukan dan penyatuan material yang disambung tidak menyatu secara optimal akibat pergerakan tool yang terlalu lambat, sehingga mengakibatkan kedua logam tidak dapat tersambung dengan sempurna. Selain itu dengan kecepatan pengelasan yang lambat menghasilkan cacat las di permukaan logam las berupa retakan dan lubang kecil sehingga luas permukaan daerah pengelasan berkurang yang menyebabkan kekuatan tarik menurun hampir setengah dari kekuatan tarik logam induk.

Dari hasil analisa data dapat disimpulkan berdasarkan nilai kekuatan tarik dan regangan hasil pengujian nilai putaran dan *feed rate* yang baik digunakan untuk pengelasan FSW pada aluminium 1100 adalah putaran 2200 Rpm dengan *feed rate* 150 mm/min.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Dari hasil rata-rata pengujian kekuatan tarik dengan putaran *spindel* 2200 Rpm dan *feedrate* 50 mendapatkan hasil 12,34 Mpa, pada hasil pengujian kekuatan tarik dengan putaran *spindel* 2200 Rpm dan *feedrate* 100 mendapatkan hasil 21,53 Mpa, pada hasil pengujian kekuatan tarik dengan putaran *spindel* 2200 Rpm dan *feedrate* 150 mendapatkan hasil 29,21 Mpa.
2. Hasil Kekuatan Tarik Tertinggi Pada Kekuatan Sambungan *Friction Stir Welding* Diperoleh Pada *Spindle* 2200 Rpm dengan *Feed Rate* 150 mm/menit yaitu Sebesar 29,21 MPa.

5.2. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan variasi kecepatan *Spindle*, sehingga akan diperoleh data yang lebih luas lagi.
2. disarankan untuk fokus pada pengaruh ukuran butiran terhadap sifat mekanis pengelasan FSW, material *tool* lebih keras serta alat yang digunakan lebih modern dan canggih.

DAFTAR PUSTAKA

- Joseph Leon, S. L., Varghese, A. F., Michel, J., & Gunasekaran, G. (2021). ANALYTICAL AND NUMERICAL THERMAL ANALYSIS ON FRICTION STIR WELDING USING POLYGONAL TOOL PIN. *IJUM Engineering Journal*, 22(2), 352–363. <https://doi.org/10.31436/iiumej.v22i2.1707>
- Khaled, T. (2005). *An Outsider Looks at Friction Stir Welding*. <https://www.researchgate.net/publication/242695468>
- Nasution, A. R, Affandi Affandi, Khairul Umurani, Siregar, A. M. (2021). Analisis Kekasaran Permukaan Cast Iron Menggunakan Cairan Pendingin Berbasis Nabati Pada Proses Face milling. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* [Http://Jurnal.Umsu.Ac.Id/Index.Php/RMME](http://Jurnal.Umsu.Ac.Id/Index.Php/RMME), 4(2), 125–131. <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/8073/5986>
- Rajiv S. Mishra, M. W. M. Y. S. Y. H. (2016). *Friction Stir Welding and Processing VIII* (R. S. Mishra, M. W. Mahoney, Y. Sato, & Y. Hovanski, Eds.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48173-9>
- Rochim, T. (2013). Proses Permesinan Buku 4: Perkakas & Sistem Pemerkakasan Umur Pahat, Cairan Pendingin Pemesinan. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Sudrajat, Angger F. P. (2018). Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium Aa 1100 Dengan Metode Friction Stir Welding (FSW). Skripsi Strata Satu. Jember : Universitas Jember.
- Anelis A., 2020, “Pengaruh Feed Rate Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan Friction Stir Welding Alumunium 6110”, Skripsi Teknik Mesin, Yogyakarta: IST AKPRIND.
- Khaled, Terry, An outsider looks at friction stir welding, ANM-112N-05-06 juli 2019.
- Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney, Friction stir welding and processing, editors,p 1-5, 2019.
- C. J. Dawes and W. M. Thomas, First International Symposium on Friction Stir Welding (Session 7), Thousand Oaks, California, USA, 14-16 June 2021.
- L. Ekman, A. Norlin and J. Backlund: Second International Symposium on Friction Stir Welding (session 1), Gothenburg, Sweden, 26-28 June 2020.

- M. J. Brooker, A. J. M. van Deudekom, S. W. Kallee and P. D. Sketchley: Second International Symposium on Friction Stir Welding (session 9), Gothenburg, Sweden, 26-28 June 2020.
- R. Talwar, D. Bolser, R. Lederich and J. Baumann: Second International Symposium on Friction Stir Welding (session 9), Gothenburg, Sweden, 26-28 June 2020.
- K. J. Colligan: *Welding Journal*, 2020, vol. 78(7), pp. 229s-237s.
- S. Hirano, K. Okamoto, K. Aota, H. Okamura, Y. Aono and T. Odakura, Third International Symposium on Friction Stir Welding (Session 1), Kobe, Japan, 27-28 September 2019.
- Rahdiyanta, Dwi. "*Proses Frais (Milling)*." Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta 2019.
- Mandal, 2018, *Aluminium Welding*, Second Edition, Department of Ocean Engineering and Naval Architecture, India.
- Carbide material selection, Retrieved from www.wesltd.com/divisions/hardmetal/html/services/TungstenCarbideBlog.html (11 Juni 2019)/

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Muhammad Rohid Iqbal
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Bandar Klippa, 06 April 2001
Alamat : Dusun XI Emplasmen Jl. Ar Ridho
Kebangsaan : Indonesia
Agama : Islam
Email : m.rohidiqbal@gmail.com
Nomor Hp : 0877 0701 0814

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Peserta Mahasiswa : 1907230179
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Mochtar Basri BA. No.3 Medan

No	Tingkat Pendidikan	Nama Dan Tempa	Tahun
1.	SD	SD Negeri 101764	2007 - 2013
2.	SMP	Mts N 2 medan	2013 - 2016
3.	SMK	SMK Negeri 1 Percut	2016 - 2019
4.	Perguruan Tinggi	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2019 - 2025