

ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK *PROBE/PIN* TERHADAP SIFAT  
MEKANIS HASIL PENGELASAN ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA  
PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING*

SKRIPSI



Disusun oleh

NAMA : Syafi'i Abdulloh

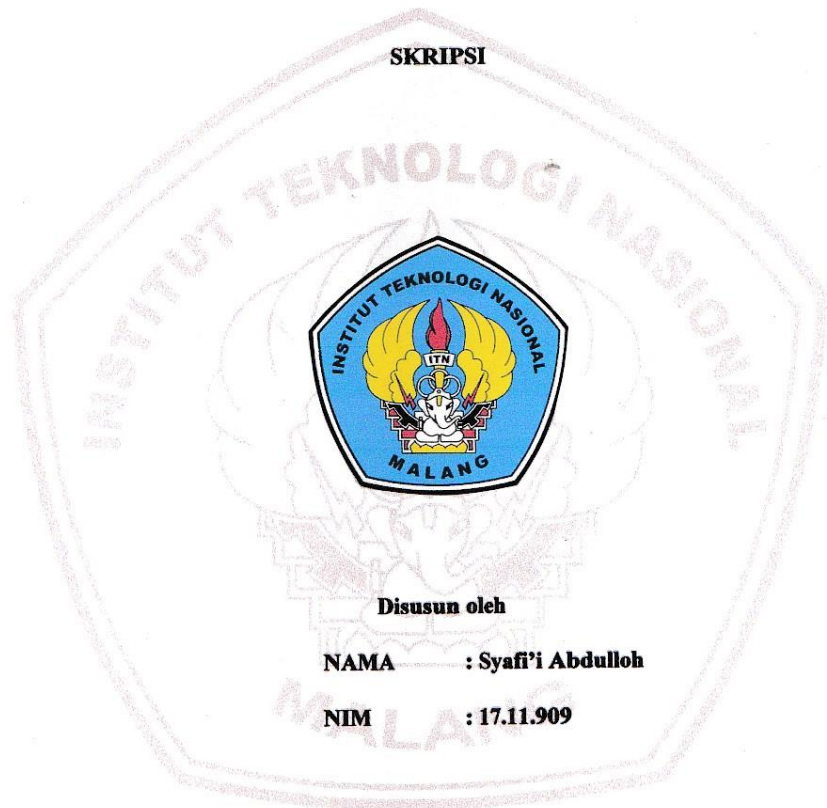
NIM : 17.11.909

JURUSAN TEKNIK MESIN S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2019

**ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK *PROBE/PIN* TERHADAP SIFAT  
MEKANIS HASIL PENGELASAN ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA  
PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING***

**SKRIPSI**



**Disusun oleh**

**NAMA : Syafi'i Abdulloh**

**NIM : 17.11.909**

**JURUSAN TEKNIK MESIN S-1**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2019**

ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK *PROBE/PIN* TERHADAP SIFAT  
MEKANIS HASIL PENGELASAN ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA  
PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING*

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST)  
Jurusan Teknik Mesin



Disusun oleh

NAMA : Syafi'i Abdulloh

NIM : 17.11.909

JURUSAN TEKNIK MESIN S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2018

LEMBAR PERSETUJUAN

Skripsi

ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK *PROBE/TIN* TERHADAP SIFAT  
MEKANIS HASIL PENGELASAN ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA  
PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING*



Disusun oleh

NAMA : Syaff'i Abdullah

NIM : 12111009

Mengetahui/Ditandatangani Oleh :



Mengetahui  
Dekan FTI

Dr. F. Yudi Limpraptono, ST, MT  
NIP. Y. 1039500274

Diperiksa/Ditandatangani  
Dosen Pembimbing

Sibat, ST, MT  
NIP. P. 1030300379

ii



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Syafi'i Abdulloh  
NIM : 17.11.909  
Jurusan : Teknik Mesin S-1  
Judul Skripsi : ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK PROBE/PIN  
TERHADAP SIFAT MEKANIS HASIL PENGELASAN  
ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA PADA PROSES  
*FRICITION STIR WELDING*

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada:

Hari/Tanggal : Sabtu/ 26 Januari 2019

Dengan Nilai : 90,50 ( A )

**Panitia Ujian Skripsi**

**Ketua,**

**Sibut, ST., MT**  
NIP. Y. 1030300379

**Sekretaris,**

**Ir. Teguh Rahadrjo, MT**  
NIP. 195706011992021001

**Anggota Penguji**

**Penguji I,**

**Ir. I Wayan Sujana, MT**  
NIP. 195812311989031012

**Penguji II,**

**Ir. Mochtar Asroni, MSME**  
NIP. Y.1018100036



**LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Syafi'i Abdullah

NIM : 17.11.909

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.

**Menyatakan**

Bahwa skripsi yang saya buat ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan hasil dari karya orang lain, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Demikian surat pernyataan keaslian ini saya buat dengan data yang sebenarnya.

Malang, 31 Januari 2019

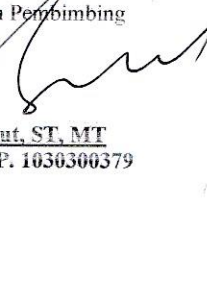


Syafi'i Abdullah  
17.11.909

**LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI**

Nama : Syafi'i Abdulloh  
 NIM : 17.11.909  
 Jurusan : Teknik Mesin S-1  
 Judul Skripsi : **ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK  
 PROBE/PIN TERHADAP SIFAT MEKANIS HASIL  
 PENGELASAN ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA  
 PADA PROSES FRICTION STIR WELDING**

Dosen Pembimbing : **SIBUT, ST, MT**

No.	Materi Bimbingan	Waktu Bimbingan	Paraf Dosen Pembimbing
1.	Pengajuan Judul Skripsi	27-10-2018	
2.	Pengajuan Proposal Judul	3-11-2018	
3.	Konsultasi BAB I	4-11-2018	
4.	Konsultasi BAB II	6-11-2018	
5.	Konsultasi BAB III	7-11-2018	
6.	Konsultasi BAB IV	10-11-2018	
7.	Konsultasi BAB V	15-11-2018	
8.	Konsultasi Menambah Gambar	20-11-2018	
9.			
10.			

Diperiksa dan Disetujui  
 Dosen Pembimbing

  
**Sibut, ST, MT**  
 NIP. P. 1030300379

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisa Pengaruh Variasi Bentuk *Probe/Pin* Terhadap Sifat Mekanis Hasil Pengelasan Aluminium dengan Tembaga Pada Proses *Friction Stir Welding*”. Skripsi ini dibuat oleh penulis sebagai salah satu persyaratan bagi mahasiswa Jurusan Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST). Atas dukungan dan bantuan daribanyak pihak, penyusunan Skripsi ini dapat terselesaikan, untuk itu penulis dalam kesempatan ini ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini.
2. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Dr. Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Sibut, ST.,MT selaku Ketua Prodi Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang
5. Bapak Sibut, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing.
6. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa, dukungan baik moral maupun materiil.
7. Semua Staf Jurusan Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang.
8. Staf Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang yang sudah membantu proses *Stir Friction Welding*, Uji Tarik, dan Uji Mikro.
9. Rekan-rekan sepetjuangan Jurusan Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang yang telah membantu memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian Skripsi ini.

10. Rekan-rekan Kos Jl. Joyo Raharjo VI/157 A, Kelurahan. Merjosari, Kecamatan. Lowokwaru, Malang yang telah memberi dukungan moral serta

Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna memperbaiki isi dari bahasan ini. Semoga apa yang telah penulis sampaikan dalam Laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya Mahasiswa Teknik Mesin S-1.

Malang, 31 Januari 2019



Penulis

**ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK *PROBE/PIN* TERHADAP SIFAT  
MEKANIS HASIL PENGELOMAN ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA  
PADA PROSES *FRICITION STIR WELDING***

**Syafi'i Abdulloh (17.11.909)**

**Dosen Pembimbing : Sibut, ST., MT.**

Prodi Teknik Mesin S-1. Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Nasional Malang

Kampus II Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang

Email : [syafii\\_abdlh@yahoo.com](mailto:syafii_abdlh@yahoo.com)

**ABSTRAK**

Prinsip kerja *Stir Friction Welding* adalah memanfaatkan gesekan dari tools yang berputar dengan benda kerja yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Parameter pengelasan dari *Stir Friction Welding* meliputi kecepatan putar (*rotational speed*), kecepatan pengelasan (*feed rate*), kedalaman *shoulder* (*shoulder plunge*), dll. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dan pengamatan struktur mikro pada aluminium dengan tembaga setelah dilakukan pengelasan menggunakan *Friction Stir Welding*. Pengelasan menggunakan Mesin Milling CNC Vertical Dahlih model MCV-1020BA yang telah dilengkapi dengan CNC dan Motor penggerak otomatis untuk meja mesin, mesin ini mampu memutar spindle utamanya sampai max 15.000 rpm. *Tools* menggunakan material Amutid, dengan ukuran dimensi : diameter tool 20 mm, diameter shoulder 16 mm, *probe/pin* Oval 5 mm (diameter), Kotak 3,5 mm (setiap sisi), Segitiga 4,3 mm (setiap sisi), dan panjang *probe/pin* 1,5 mm. Proses pengelasan *Friction Stir Welding* ini dilakukan pada plat aluminium dengan tembaga, dengan ketebalan plat 2,7 mm. Menggunakan kecepatan putar *spindle* mesin konstan 2500 rpm, dan kecepatan pengelasan konstan 20 mm/s. Selanjutnya dilakukan pengujian tarik dan pengujian struktur mikro pada pengelasan. Dari hasil pengelasan menunjukkan bahwa yang mempunyai kekuatan tarik tertinggi adalah variasi *probe/pin* berbentuk kotak dengan nilai tensile strength 103,56 N/mm<sup>2</sup>, untuk variasi *probe/pin* oval dan segitiga memiliki nilai tensile strength masing-masing 86,03 N/mm<sup>2</sup> dan 59,12 N/mm<sup>2</sup>. Serta hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa variasi bentuk *probe/pin* Kotak lebih bagus (tidak terdapat porosity) dibandingkan dengan bentuk Oval dan Segitiga.

**Kata kunci** : *Friction Stir Welding*, Aluminium, Tembaga, Amutid, Variasi Bentuk Probe/Pin.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	iv
LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Metodologi Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Klarifikasi Aluminium .....	6
2.1.1 Aluminium Murni.....	6
2.1.2 Aluminium Paduan.....	7
2.2 Klarifikasi Tembaga.....	11
2.2.1 Tembaga Murni.....	11
2.2.2 Tembaga Paduan.....	12
2.3 <i>Friction Stir Welding</i> .....	15

2.3.1	Parameter Pengelasan ( <i>welding parameter</i> ).....	17
2.3.2	Siklus Proses <i>Friction Stir Welding</i> .....	17
2.3.3	Sambungan pada Proses <i>Friction Stir Welding</i> .....	18
2.3.4	Desain <i>Tool</i> .....	20
2.3.5	Rotasi <i>Tool</i> dan Percepatan Melintang.....	21
2.3.6	Kedalaman Ceburan dan Tekanan <i>Tool</i> .....	22
2.3.7	Gaya pada Proses <i>Friction Stir Weding</i> .....	22
2.4	Metode Pengujin Tarik.....	23
2.4.1	Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji.....	24
2.4.2	<i>Grip</i> dan <i>Face Selection</i> .....	24
2.4.3	Sifat-sifat Mekanik Uji Tarik.....	27
2.4.4	Model Patahan Material.....	30
2.5	Metologi.....	33
2.5.1	Pemotongan Spesimen ( <i>sectioning</i> ).....	33
2.5.2	<i>Framing</i> ( <i>mounting</i> ).....	34
2.5.3	<i>Grinding</i> , Abrasi, dan <i>Polishing</i> .....	35
2.5.4	Etsa.....	37
2.5.5	Pengamatan Struktur Mikro.....	39

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	40
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	41
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	41
3.3.1	Alat Penelitian.....	41
3.3.2	Bahan Penelitian.....	44
3.4	<i>Tool Friction Stir Welding</i> .....	46
3.5	Variabel Penelitian.....	48
3.6	Prosedur Penelitian.....	48
3.6.1	Persiapan Pengelasan.....	49
3.6.2	Proses Pengelasan.....	49
3.6.3	Spesimen Pengujian Tarik.....	53
3.6.4	Spesimen Pengamatan Struktur Mikro.....	55
3.7	Proses Pengujian.....	55
3.7.1	Pengujian Tarik.....	55

3.7.2 Pengamatan Struktur Mikro.....	55
3.8 Analisa Data.....	55

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pengolahan Data.....	57
4.2 Data Hasil Pengujian Tarik.....	57
4.2.1 Perhitungan Data dengan Variasi Bentuk <i>Probe/Pin</i> Oval.....	58
4.2.2 Perhitungan Data dengan Variasi Bentuk <i>Probe/Pin</i> Kotak.....	60
4.2.3 Perhitungan Data dengan Variasi Bentuk <i>Probe/Pin</i> Segitga.....	63
4.3 Pembahasan dan Analisa Pengujian Tarik.....	63
4.4 Pembahasan dan Analisa Pengamatan Struktur Mikro.....	65

#### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	67

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fasa Paduan Al – Si.....	7
Gambar 2.2	Fasa Paduan Al – Mg.....	8
Gambar 2.3	Fasa Paduan Al – Cu.....	8
Gambar 2.4	Fasa Paduan Al – Mn.....	9
Gambar 2.5	Fasa Paduan Al – Zn.....	10
Gambar 2.6	Proses Pengelasan FSW.....	15
Gambar 2.7	Heat Zone pada FSW.....	16
Gambar 2.8	Sambungan pada Proses <i>Friction Stir Welding</i> .....	19
Gambar 2.9	<i>Design Probe/pin</i> pada Tool FSW.....	21
Gambar 2.10	Kurva Uji Tarik.....	23
Gambar 2.11	Contoh Spesimen ASTM E8.....	24
Gambar 2.12	Patahan Material.....	31
Gambar 2.13	Mekanisme Patah secara Ulet.....	32
Gambar 2.14	Alat Pemotong ( <i>sectioning</i> ).....	34
Gambar 2.15	Bahan untuk Framing.....	35
Gambar 2.16	Alat untuk Pengamplasan Metalografi.....	36
Gambar 2.17	Grinder Polisher.....	37
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	40
Gambar 3.2	Mesin Milling CNC DAHLIH type 1020 BA.....	42
Gambar 3.3	Mesin Uji Tarik.....	42
Gambar 3.4	Mikroskop Optik.....	43
Gambar 3.5	Alat Pemotong Bahan Spesimen.....	43
Gambar 3.6	Mesin Amplas dan Mesin Polishing.....	44
Gambar 3.7	Spesimen Plat Aluminium untuk Proses Pengelasan.....	45
Gambar 3.8	Spesimen Plat Tembaga untuk Proses Pengelasan.....	45
Gambar 3.9	Baja Amutit.....	46
Gambar 3.10	Dimensi Tool dengan <i>Probe/pin</i> berbentuk Oval.....	46
Gambar 3.11	Tool dengan <i>Probe/pin</i> berbentuk Oval.....	47
Gambar 3.12	Dimensi Tool dengan <i>Probe/pin</i> berbentuk Kotak.....	47
Gambar 3.13	Tool dengan <i>Probe/pin</i> berbentuk Kotak.....	47
Gambar 3.14	Dimensi Tool dengan <i>Probe/pin</i> berbentuk Segitiga.....	48

Gambar 3.15	Tool dengan <i>Probe/pin</i> berbentuk Segitiga.....	48
Gambar 3.16	Mengatur Kecepatan Spindle dan <i>Travel Speed</i> .....	49
Gambar 3.17	Pemasangan Benda Kerja pada Ragum.....	49
Gambar 3.18	Collet Mesin Milling CNC.....	50
Gambar 3.19	Penetrasi <i>Tool</i> .....	50
Gambar 3.20	Proses Pengelasan <i>Friction Stir Welding</i> .....	51
Gambar 3.21	Hasil Pengelasan Atas dengan <i>Probe/pin</i> bentuk Oval.....	51
Gambar 3.22	Hasil Pengelasan Belakang dengan <i>Probe/pin</i> bentuk Oval....	52
Gambar 3.23	Hasil Pengelasan Atas dengan <i>Probe/pin</i> bentuk Kotak.....	52
Gambar 3.24	Hasil Pengelasan Belakang dengan <i>Probe/pin</i> bentuk Kotak...	52
Gambar 3.25	Hasil Pengelasan Atas dengan <i>Probe/pin</i> bentuk Segitiga.....	53
Gambar 3.26	Hasil Pengelasan Belakang dengan <i>Probe/pin</i> bentuk Segitiga..	53
Gambar 3.27	Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM 8M – 09.....	54
Gambar 3.28	Spesimen Uji Tarik ASTM 8M – 09.....	54
Gambar 3.29	Spesimen Pengamatan Struktur Mikro.....	55
Gambar 4.1	Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen I Variasi bentuk <i>Probe/pin</i> Oval.....	58
Gambar 4.2	Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen II Variasi bentuk <i>Probe/pin</i> Oval.....	59
Gambar 4.3	Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen I Variasi bentuk <i>Probe/pin</i> Kotak.....	60
Gambar 4.4	Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen II Variasi bentuk <i>Probe/pin</i> Kotak.....	61
Gambar 4.5	Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen I Variasi bentuk <i>Probe/pin</i> Segitiga.....	62
Gambar 4.6	Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen II Variasi bentuk <i>Probe/pin</i> Segitiga.....	63
Gambar 4.7	Grafik Hasil Pengujian Tarik.....	64
Gambar 4.8	Foto Mikro Hasil Pengelasan dengan Variasi : (a) Bentuk Oval, (b) Bentuk Kotak, dan (c) Bentuk Segitiga.....	65

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	<b>Pengaruh Fe terhadap paduan Aluminium.....</b>	<b>10</b>
<b>Tabel 2.2</b>	<b>Paduan Tembaga.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabel 2.3</b>	<b>Material Tool FSW dan Aplikasinya.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabel 3.1</b>	<b>Spesifikasi Mesin Milling DAHLIH 1020 BA.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabel 3.2</b>	<b>Komposisi Aluminium.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabel 3.3</b>	<b>Komposisi Tembaga.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabel 3.4</b>	<b>Standart ASTM 8M – 09.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabel 3.5</b>	<b>Analisa Data Pengujian.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabel 4.1</b>	<b>Data Hasil Pengujian Tarik.....</b>	<b>64</b>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang telah dilakukan sejak zaman dahulu kala. Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi pada dunia pemesinan pun semakin canggih dan rumit, salah satunya dengan dikembangkannya teknik pengelasan untuk mengatasi permasalahan dalam merancang suatu model mesin perkakas atau otomotif. Untuk hal itu maka telah ditemukan metode pengelasan yang baru, yaitu pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).

Pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) ditemukan pada tahun 1991, proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) dikembangkan, dan dipatenkan oleh *The Welding Institute* (TWI) di Cambridge, kerajaan Inggris. Mesin las adukan gesek yang pertama kali dibuat dan dijual adalah produksi *ESAB Welding and Cutting Products* pada pabrik mereka yang berada di Laxa, Swedia. Pengembangan proses ini, berubah secara signifikan dari gerak putaran konvensional dan gesekan linier yang saling berbalasan, menjadi penyambungan dua buah material dengan media gesek (perkakas las). Selain dari fungsi utamanya, yakni untuk penyambungan atau pengealasan, metode pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) juga merupakan salah satu prinsip dari perbaikan struktur mikro dan komposisi permukaan, yang dilakukan pada material padat.

Metode FSW menghasilkan daerah *Thermomechanic Affected Zone* (TMAZ) yang lebih kecil dibandingkan dengan pengelasan busur nyala (*fusion welding*). Metode pengelasan ini pun bisa menekan biaya proses menjadi lebih murah karena hanya memerlukan input energi yang rendah, selain itu potensi kegagalan akibat bahan tambah pun bisa direduksi karena metode ini tidak memerlukan bahan tambah. Hasil pengelasan memiliki permukaan yang relatif rata, halus, kuat, dan tidak berpori dibanding hasil pengelasan tradisional. Metode ini pun ramah lingkungan karena tidak ada asap, percikan, dan tidak ada silau saat proses berlangsung.

Temperatur kerja yang tidak terlalu tinggi mengakibatkan tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. Metode ini dapat digunakan juga untuk tembaga paduan yang tidak dapat disambung dengan las cair.

Parameter pengelasan dari FSW meliputi kecepatan putar (*rational speed*), kecepatan tempuh (*travel speed*), kemiringan *tool* (*tool tilt*), kedalaman shoulder (*shoulder plunge*), kedalaman penetrasi *probe*, dll. Parameter pengelasan biasanya dipublikasi di lingkungan yang terbatas, sehingga sedikit sekali yang dipublikasi untuk umum. Walaupun dipublikasikan biasanya ada beberapa parameter penetrasi *probe*, kedalam *shoulder*, atau kemiringan. Parameter yang biasanya tidak dipublikasikan adalah kecepatan putar, kecepatan tempuh, dan lebar celah pelat yang akan dilas. Karena adanya keterbatasan publikasi terhadap parameter pada pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) ini, maka penelitian berikut ini akan membahas tentang parameter “**Analisa Pengaruh Variasi Bentuk *Probe/Pin* Terhadap Sifat Mekanis Hasil Pengelasan Aluminium dengan Tembaga Pada Proses *Friction Stir Welding*”**”.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi bentuk probe/pin terhadap kekuatan sambungan aluminium dengan tembaga pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).?
2. Bagaimana pengaruh variasi bentuk probe/pin terhadap struktur mikro pada sambungan aluminium dengan tembaga pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kekuatan sambungan aluminium dengan tembaga pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).
2. Mengetahui struktur mikro pada sambungan aluminium dengan tembaga pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat :

1. Menerapkan teori yang didapat dibangku perkuliahan, khususnya pada teknik pengelasan.

2. Dapat dijadikan acuan/motivasi pembaca agar dapat melakukan penelitian lebih lanjut.
3. Sebagai usaha pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang selalu berkembang tiap tahunnya.

### 1.5 Batasan Masalah

Dari masalah yang ada, diberikan batasan-batasan untuk permasalahan tersebut, guna memperjelas bagian mana yang akan dikaji dan bagian mana yang tidak, dan juga untuk mempersempit ruang lingkup penjelasan, agar tidak menyimpang dari topik permasalahan utama.

Batasan-batasan masalah tersebut yaitu :

1. Metode pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) ini menggunakan Mesin Frais CNC yang dimodifikasi *toolnya*, sehingga dapat digunakan untuk proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).
2. Variasi bentuk *probe/pin* segitiga, kotak, dan oval.
3. Pengujian mekanis sambungan yaitu uji tarik dan uji struktur mikro pada sambungan.
4. Tidak membahas pengujian kekerasan pada sambungan.
5. Tidak membahas distribusi temperatur pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).
6. Tidak membahas kekuatan *probe/pin*.
7. Material yang akan dilakukan penyambungan adalah plat aluminium dengan tembaga. Tebal masing-masing plat adalah 2,7 mm.
8. Material *tools* yang digunakan adalah Amutid. Dengan diameter *shoulder* 16 mm, diameter *probe/pin* oval 5 mm, *probe/pin* kotak 3,5 mm setiap sisi, *probe/pin* segitiga 4,3 mm setiap sisi, dan panjang *probe/pin* 1,5 mm.
9. Kecepatan tempuh (*travel speed*) konstan 20 mm/s.
10. Kecepatan *spindle* mesin konstan 2500 rpm.

### 1.6 Metodologi Penelitian

Untuk menganalisa permasalahan dalam penyusunan skripsi ini penulis menggunakan beberapa metode, antara lain sebagai berikut :

1. Study Literature.

Bertujuan sebagai referensi untuk mengkaji hasil data yang akan dianalisa. Sumber-sumber yang digunakan berasal dari kajian buku-buku pegangan, artikel, serta jurnal dari internet.

2. Observasi dan Interview.

Bertujuan untuk mendapatkan data yang actual dalam penelitian perlu adanya observasi lapangan secara interview dengan pihak-pihak yang terkait dalam pengamatan. Kondisi yang perlu diamati adalah hasil akhir yang merupakan tujuan dari penelitian, dengan demikian dapat memahami permasalahan yang ada.

3. Pengambilan Data.

Bertujuan untuk mendapatkan pengambilan data yang akurat dan bermutu. Pengambilan data dilakukan setelah melakukan pengujian.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan skripsi ini dibagi menjadi beberapa bab agar maksud dan tujuan yang ingin disampaikan oleh penulis dapat tercapai dengan baik.

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan Latar Belakang yang melandasi penulisan Skripsi, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian, dan Sistematika Penulisan

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Bab ini berisikan tentang teori-teori yang diambil dari buku-buku pegangan, artikel, serta jurnal dari internet yang dipakai untuk kelancaran penelitian ini. Serta menjelaskan tentang alat pengelasan yang digunakan.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan, metode persiapan, metode pengambilan data, dan metode pengujian yang digunakan.

#### BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN

Bab ini berisikan data-data dan analisis hasil yang diperoleh dari proses pengujian.

#### BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil data dan analisis percobaan, serta saran yang diberikan untuk perbaikan pada percobaan selanjutnya.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.6 Klarifikasi Aluminium

Aluminium adalah benda logam berwarna putih keperakan yang lunak. Aluminium tergolong logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar  $\pm 30$  juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain (corundum, gibbsite, boehmite, diaspor, dan lain-lain).

Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi.

Selama 50 tahun terakhir, aluminium telah menjadi logam yang luas penggunaannya setelah baja. Perkembangan ini didasarkan pada sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi, kekuatan dan ductility yang cukup baik (aluminium paduan), mudah diproduksi dan cukup ekonomis (aluminium daur ulang). Yang paling terkenal adalah penggunaan aluminium sebagai bahan pembuat pesawat terbang, yang memanfaatkan sifat ringan dan kuatnya.

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Kekuatan *tensile* aluminium murni adalah 90MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan *tensile* berkisar 200-600 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditekuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik, dan diekstrusi. Aluminium memiliki klasifikasi dan penggolongan yang bermacam-macam antara lain :

##### 2.1.1. Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan *tensiel* sebesar 92 MPa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga sering kali aluminium dipadukan dengan logam lain.

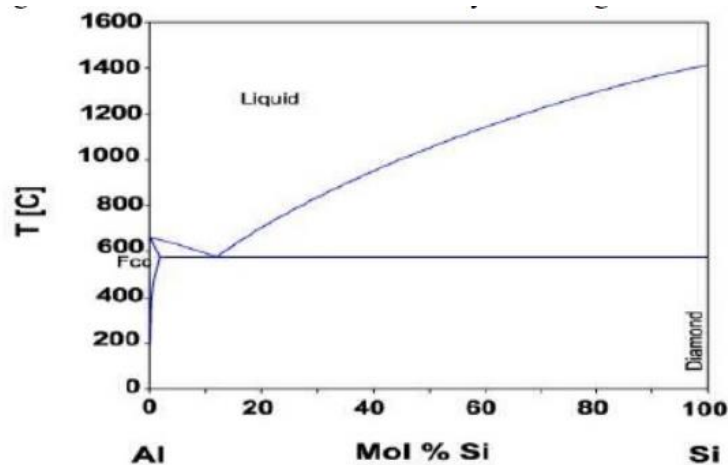
### 2.1.2. Aluminium Paduan

Elemen paduan yang umum digunakan pada aluminium adalah silikon, magnesium, tembaga, seng, mangan, dan juga lithium sebelum tahun 1982. Secara umum, penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu akan meningkatkan kekuatan *tensile* dan kekerasan, serta menurunkan titik lebur. Jika melebihi konsentrasi tersebut, umumnya titik lebur akan naik disertai meningkatnya kerapuhan akibat terbentuknya senyawa, kristal, atau granula dalam logam.

Namun, kekuatan bahan paduan aluminium tidak hanya bergantung pada konsentrasi logam paduannya saja, tetapi juga bagaimana proses perlakuannya hingga aluminium siap digunakan, apakah dengan penempaan, perlakuan panas, penyimpanan, dan sebagainya.

#### 1. Paduan Aluminium – Silikon

Paduan aluminium dengan silikon hingga 15% akan memberikan kekerasan dan kekuatan *tensile* yang cukup besar, hingga mencapai 525 MPa pada aluminium paduan yang dihasilkan pada perlakuan panas. Jika konsentrasi silikon lebih tinggi dari 15%, tingkat kerapuhan logam akan meningkat secara drastis akibat terbentuknya kristal granula silika

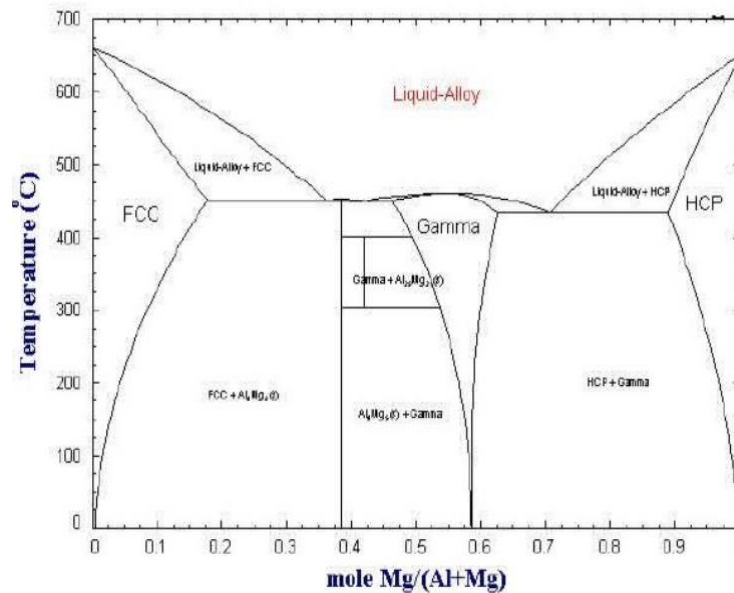


Gambar 2.1 Fasa paduan Al - Si

#### 2. Paduan Aluminium – Magnesium

Keberadaan magnesium hingga 15,35% dapat menurunkan titik lebur logam paduan yang cukup drastis, dari 660°C hingga 450°C. Namun, hal ini tidak menjadikan aluminium paduan dapat ditempa menggunakan

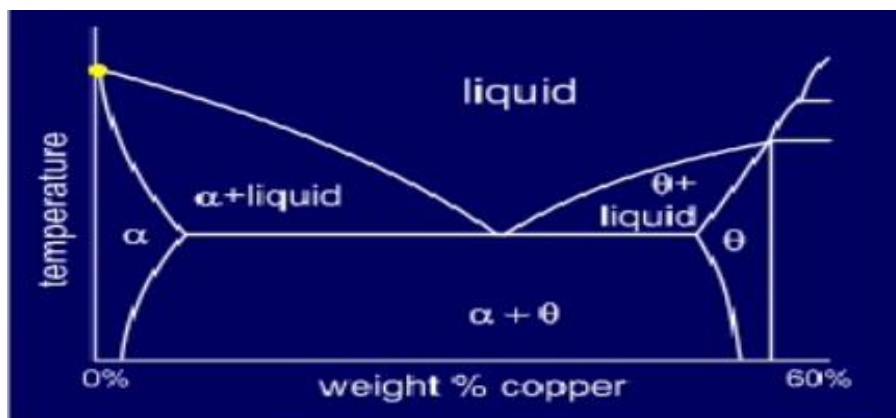
panas dengan mudah karena korosi akan terjadi pada suhu di atas 60<sup>0</sup>C. Keberadaan magnesium juga menjadikan logam paduan dapat bekerja dengan baik pada temperatur yang sangat rendah, di mana kebanyakan logam akan mengalami *failure* pada temperatur tersebut.



Gambar 2.2 Fasa paduan Al - Mg

### 3. Paduan Aluminium – Tembaga

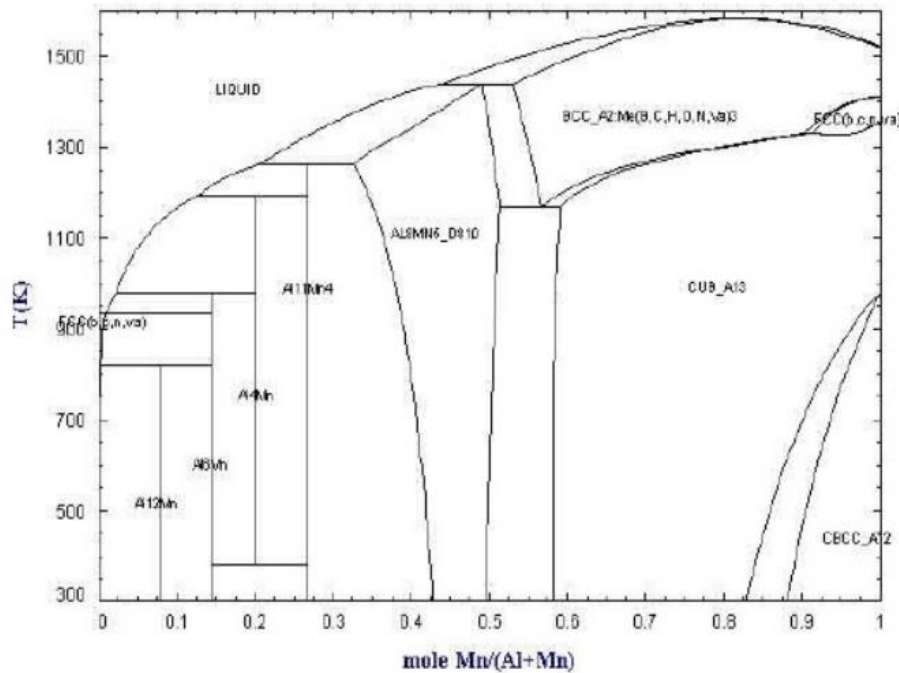
Paduan aluminium – tembaga juga menghasilkan sifat yang keras dan kuat, namun rapuh. Umumnya, untuk kepentingan penempaan, paduan tidak boleh memiliki konsentrasi tembaga di atas 5,6% karena akan membentuk senyawa CuAl<sub>2</sub> dalam logam yang menjadikan logam rapuh.



Gambar 2.3 Fasa paduan Al – Cu

#### 4. Paduan Aluminium – Mangan

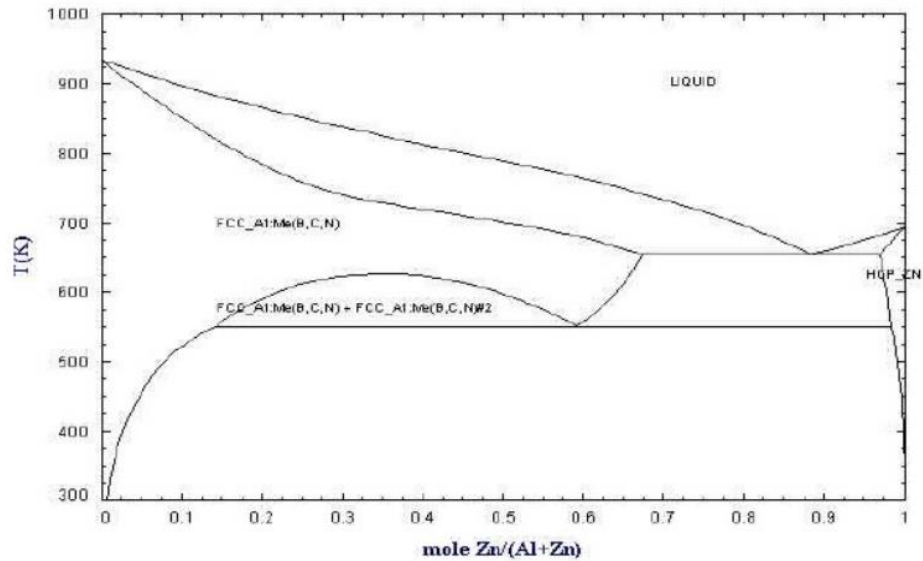
Penambahan mangan memiliki akan berefek pada sifat dapat dilakukan pengerasan tegangan dengan mudah (*work-hardening*) sehingga didapatkan logam paduan dengan kekuatan *tensile* yang tinggi namun tidak terlalu rapuh. Selain itu, penambahan mangan akan meningkatkan titik lebur paduan aluminium.



Gambar 2.4 Fasa paduan Al - Mn

#### 5. Paduan Aluminium – Seng

Paduan aluminium dengan seng merupakan paduan yang paling terkenal karena merupakan bahan pembuat badan dan sayap pesawat terbang. Paduan ini memiliki kekuatan tertinggi dibandingkan paduan lainnya, aluminium dengan 5,5% seng dapat memiliki kekuatan *tensile* sebesar 580 MPa dengan *elongasi* sebesar 11% dalam setiap 50 mm bahan. Bandingkan dengan aluminium dengan 1% magnesium yang memiliki kekuatan *tensile* sebesar 410 MPa namun memiliki *elongasi* sebesar 6% setiap 50 mm bahan.



Gambar 2.5 Fasa paduan Al - Zn

## 6. Paduan Aluminium – Besi

Besi (Fe) juga kerap kali muncul dalam aluminium paduan sebagai suatu "kecelakaan". Kehadiran besi umumnya terjadi ketika pengecoran dengan menggunakan cetakan besi yang tidak dilapisi batuan kapur atau keramik. Efek kehadiran Fe dalam paduan adalah berkurangnya kekuatan tensil secara signifikan, namun diikuti dengan penambahan kekerasan dalam jumlah yang sangat kecil. Dalam paduan 10% silikon, keberadaan Fe sebesar 2,08% mengurangi kekuatan *tensile* dari 217 hingga 78 MPa, dan menambah skala Brinell dari 62 hingga 70. Hal ini terjadi akibat terbentuknya kristal Fe-Al-X, dengan X adalah paduan utama aluminium selain Fe.

Tabel 2.1 Pengaruh Fe terhadap paduan aluminium

% Fe	Kekuatan tensil (MPa)	Elongasi (%) pada 50 mm bahan	Skala kekerasan Brinell
0,29	217	14	62
0,79	216	9,8	65
0,90	210	6,0	65
1,13	171	2,5	66
1,60	126	1,5	68
2,08	78	1,0	70

## 2.7 Klarifikasi Tembaga

Tembaga adalah logam lunak berwarna coklat kemerah-merahan, bersifat ductile tahan korosi dan cuaca serta merupakan konduktor listrik yang baik. Secara industri sebagian besar penggunaan tembaga dipakai sebagai kawat atau bahan untuk penukas panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panas yang baik.

### 2.2.1 Tembaga Murni

Tembaga murni untuk keperluan industri dicairkan dari tembaga yang diproses secara elektrolisa, dan diklasifikasikan menjadi tiga macam menurut kadar oksigen dan cara *deoksidasi*, yaitu : tembaga ulet, tembaga deoksidasi, dan tembaga bebas oksigen. Kalau oksigen terkandung dalam unsur-unsur pengotor dapat mengendap sebagai suatu oksida, maka jumlah larutan padat untuk menaikkan hantaran listrik, menjadi kurang. Banyaknya oksida pada tembaga, untuk temperatur tinggi dapat menyebabkan kegetasan hidrogen, dan dapat dicegah dengan mempergunakan tembaga deoksidasi atau tembaga bebas oksigen. Tembaga murni untuk keperluan industri biasanya terdapat unsur-unsur gas yang memberikan pengaruh terhadap berbagai sifat. Berikut unsur-unsur gas yang mempengaruhi sifat tembaga murni :

#### 1. Pengaruh Oksigen

Tembaga ulet mengandung sampai 0,04% O, berstruktur fasa ganda dengan Cu dan Cu<sub>2</sub>O. Kehadiran Cu<sub>2</sub>O merupakan fasa yang diharapkan tidak terlalu mempengaruhi sifat-sifat mekanik, tetapi jika jumlahnya banyak menyukarkan dalam pengerjaan dingin, jadi sebaiknya mengontrol kadar oksigen agar rendah.

#### 2. Pengaruh *Hydrogen*

Tembaga cair mengabsorpsi hidrogen bersama dengan oksigen. Banyaknya H<sub>2</sub> yang terkandung, membentuk gas pada waktu pendinginan. Jika pencairan dilakukan pada kondisi atmosfer yang lembab terjadi desosiasi H<sub>2</sub>O pada permukaan tembaga cair. Jumlah yang larut di dalam tembaga cair sebanding lurus dengan akar 2 dari konsentrasi *hydrogen*, dan *hydrogen* masuk ke dalam tembaga dalam kondisi atom. Dalam keadaan padat kelarutan *hydrogen* sangat menurun, tetapi jika jumlahnya cukup besar dapat terlarut dalam keadaan padat di antara kisi atom. Dalam keadaan padat

terkandung H sebanyak  $\frac{1}{2}$  sampai  $\frac{1}{3}$  dari O. H dalam tembaga yang mengandung O bereaksi dengan  $\text{Cu}_2\text{O}$  membentuk  $\text{H}_2\text{O}$ , dan tidak dapat lagi berada dalam kisi atom dan membentuk gelembung-gelembung yang mengakibatkan berbagai cacat. Tembaga ulet yang mengandung sejumlah O dapat menjadi getas karena pemanasan dalam atmosfer tereduksi, ini disebut penyakit *hydrogen*.

### 3. Tembaga Deoksidasi

Fosfor sering dipergunakan untuk deoksidasi Cu. Karena kegetasan yang disebabkan hydrogen merupakan kerugian, maka tembaga deoksidasi fosfor dipergunakan untuk pengelasan dan penyolderan. Jumlah P yang diperbolehkan 0,004 - 0,040% berguna untuk mengurangi konduktivitas listrik. Sebagai tambahan  $\text{CaB}_6$  dan Li dipergunakan juga untuk deoksidasi. Li efektif untuk deoksidasi dan untuk dehidrogenasi tanpa menyebabkan penurunan hantaran listrik, maka dengan maksud yang sama dapat dipergunakan juga bagi tembaga bebas oksigen

## 2.2.2 Paduan Tembaga

Paduan tembaga adalah terbentuknya larutan padat dengan unsur-unsur logam lain, dan dipergunakan untuk berbagai keperluan. Paduan tembaga yang penting antara lain sebagai berikut :

### 1. Kuningan

Kuningan berasal dari zaman Romawi yang merupakan gabungan antara fasa Cu dan Zn. Kuningan dapat dibedakan atas ;

#### a. Kuningan Khusus

Kuningan jenis ini, adalah kuningan yang ditambahkan unsur ketiga selain dari Cu dan Zn. Maksudnya untuk memperbaiki ketahanan korosi, ketahanan aus. Unsur-unsur tersebut Mn, Sn, Fe, Al, Ni, Pb, dsb. Unsur Pb penambahannya maksimal 0,4% tujuannya memperbaiki dan membuat permukaan yang halus. Unsur Sn ditambahkan untuk memperbaiki ketahanan korosi dan sifat-sifat mekaniknya. Unsur Al adalah efektif untuk memperhalus butir kristal dan memperbaiki ketahanan korosi terhadap air laut dan penggunaannya 1,5 sampai 2,5 % Al.

b. Kuningan berkekuatan tarik yang tinggi

Kuningan berkekuatan tarik yang tinggi dibuat dari kuningan 60-40% dengan paduan 5% Mn, 2% Fe, dan 2% Al, tidak melebihi jumlah 3-5%. Sedangkan penambahan Ni memberikan pengaruh pada kekuatan tarik dan memperbaiki sifat-sifatnya sesuai dengan jumlah yang ditambahkan dan maksimal 10%.

## 2. Perunggu (*Brons*)

Perunggu dalam arti yang sempit merupakan paduan antara Cu dan Sn. Tetapi dalam arti yang luas berarti paduan Cu dengan unsur paduan lainnya selain dari Zn. Perunggu merupakan paduan yang mudah dicor, memiliki kekuatan yang lebih tinggi, ketahanan aus dan ketahanan korosi sehingga dipergunakan untuk berbagai komponen mesin, bantalan, pegas, coran artistik dll.

(1). Perunggu timah putih

Perunggu timah putih memiliki diagram fasa Cu-Sn, Sn lebih mahal dari kuningan. Oleh karena itu kuningan digunakan sebagai bahan baku dan selanjutnya bahan dicampur 4-5% Sn. Penggunaannya untuk keperluan khusus dan hampir semua di industri dipakai dalam bentuk coran. Perunggu timah putih berdasarkan sejarah penggunaannya maka dikenal paduan dasar 8-12% disebut gun metal, paduan dengan 10% Sn dan 23% Sn dinamakan admiralty gun metal, sedangkan yang mengandung 18-23% disebut "*brons bell*" dan paduan yang mengandung 30-34% disebut "*brons kaca*"

(2). Perunggu fosfor (*brons fosfor*)

Paduan tembaga fosfor berguna sebagai penghilang oksida, sehingga penambahan fosfor 0,05-0,5% pada logam memberikan sifat cair pada logam yang lebih baik. *Brons fosfor* memiliki kelebihan pada keelastisan, kekuatan dan ketahanan terhadap aus. Penggunaan *brons* ini dalam industri dikenal ada tiga jenis yaitu;

a. *Brons* biasa tidak memiliki kelebihan fosfor yang berguna untuk penghilangan oksida.

b. *Brons fosfor* untuk pegas memiliki kadar fosfor 0,05-0,15 % yang ditambahkan pada *brons* yang mengandung Sn kurang dari 10%.

c. *Brons fosfor* untuk bantalan memiliki kadar *fosfor* 0,3-1,5% ditambahkan pada *brons* yang mengandung Sn lebih dari 10%.

(3). *Brons aluminium*

Paduan ini bila digunakan untuk pabrikan mengandung 6-7%Al dan 9-10%Al untuk coran. Paduan ini memiliki kekuatan yang baik ,mampu dibentuk dan tahan korosi yang baik

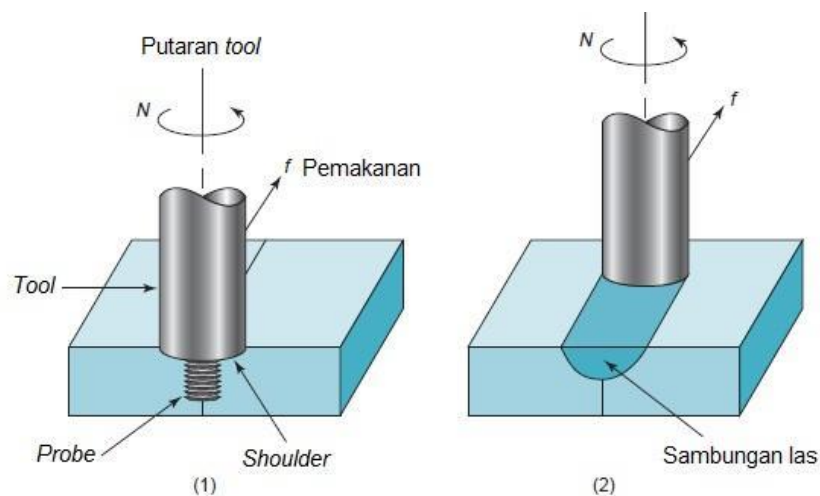
**Tabel 2.2 Paduan Tembaga**

Paduan	Komposisi Kimia Utama (%)	Sifat-sifat mekanik			Penggunaan
		Kekuatan Tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Mulur (kgf/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)	
Kuningan 70-30	70Cu-30Zn	32,6	11,5	60	Emas Tiruan
Kuningan 60-40	60Cu-40Zn	37,8	12	0,43	Pemrosesan logam tipis
Kuningan <i>Admiralty</i>	71Cu-28Zn-1,05Sn	34,3	12,6	63	Sekrup, Baut
<i>Brons Forfor</i>	94,8Cu-5Sn-0,25P	35	14	0,58	Roda Gigi, Pegas
<i>Brons Mangan</i>	58,5Cu-39,2Zn-1,0Sn-1,0Fe-0,3Mn	15,5	21	0,35	Poros Baling-baling Kapal
<i>Brons Aluminium</i>	95Cu-5Al	38,6	15,4	65	Untuk Industri Kimia,Bahan tahan Korosi

## 2.8 Friction Stir Welding

*Friction stir welding* (FSW) adalah proses pengelasan *solid-state* di mana sebuah *tool* yang berputar dimakamkan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja. *Tool* yang berputar dan dimakamkan pada garis sambungan tersebut menghasilkan panas serta secara mekanis menggerakkan (*stirring*; bentuk dasar: stir, sehingga diberi nama *friction stir welding*) logam untuk membentuk sambungan las. Perbedaan *friction stir welding* dengan *friction welding* adalah pada *friction stir welding* panas gesekan dihasilkan oleh *tool* tahan aus, sedangkan pada *friction welding* berasal dari benda kerja yang akan disambung itu sendiri. Dalam FSW, *tool* pengelasan dengan atau tanpa profil pada *probe/pin* berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua material yang dilas. Benda kerja harus dicekam dengan kuat pada *fixture* atau ragam untuk mempertahankan posisinya akibat gaya yang terjadi pada waktu pengelasan. Panjang *probe/pin* harus lebih pendek dari pada tebal benda kerja yang akan dilas dan *shoulder* dari *tool* harus bersentuhan dengan permukaan benda kerja.

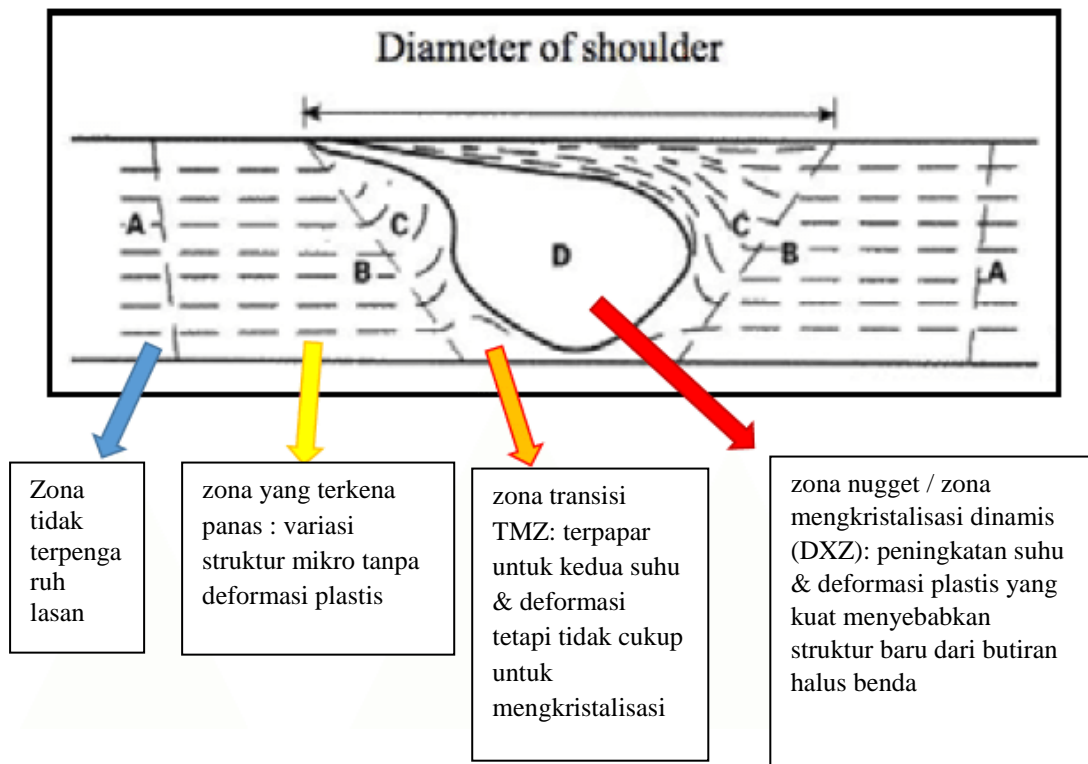
Gesekan panas (*Frictional Heat*) pada FSW dihasilkan oleh gesekan antara *probe/pin* dan *shoulder* dari *welding tool* dengan material benda kerja yang dilas. Panas ini bersama dengan panas yang dihasilkan dari proses pengadukan mekanis (*mechanical mixing*) akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya (*melting point*), hal ini yang memungkinkan *tool* pengelasan bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan.



Gambar 2.6 Proses Pengelasan FSW

Ketika *probe/pin welding tool* bergerak sepanjang jalur pengelasan, permukaan depan *probe/pin* akan memberikan gaya dorong plastis terhadap material ke arah belakang *probe/pin* sambil memberikan gaya tempa yang kuat untuk menyatukan logam las. Material yang akan dilas harus dicekam dengan baik dan ditempatkan diatas *backing* plat sehingga beban yang diberikan pada *probe/pin* dan diteruskan kebenda kerja tidak menyebabkan bagian bawah plat yang dilas terdeformasi. Panas dihasilkan dari *probe/pin* dan *shoulder* yang bergesekan dengan benda kerja yang dilas. Pada saat material sudah menjelang mencair maka *probe/pin* bergerak perlahan sepanjang join line yang menyebabkan proses pencampuran mekanis. *Probe/pin* memiliki 3 fungsi utama, antara lain :

1. Memanaskan benda kerja dengan gesekan dan gaya yang diberikan.
2. Memindahkan material yang sudah semi cair ke lokasi baru untuk menghasilkan sambungan.
3. Sebagai penahan material panas yang berada dibawah *shoulder*.



**Gambar 2.7 Heat Zone pada FSW**

Keuntungan yang paling menonjol dari proses ini terutama untuk benda kerja yang memiliki dimensi besar adalah dengan tidak adanya deformasi yang dihasilkan setelah proses pengelasan selesai dilakukan. Tidak seperti yang terjadi pada proses pengelasan konvensional yang kebanyakan akan menyebabkan benda kerja terdeformasi (melengkung). FSW juga memiliki beberapa kerugian antara lain :

1. Meninggalkan *exit hole* pada akhir pengelasan.
2. Tidak se-*fleksible arc welding*.
3. Memerlukan gaya yang besar dalam pencekaman.

Secara sederhana dapat dikatakan bahwa semakin cepat *tool* berputar, semakin cepat pula gerak translasi yang bisa dilakukan. Panas pada benda kerja dapat ditingkatkan dengan cara mempercepat putaran (rpm) atau menurunkan *feeding*. Tetapi intinya adalah material yang ada disekitar *tool* harus cukup panas untuk dapat menciptakan aliran material yang dibutuhkan dan meminimalisir beban pada *tool*.

### **2.3.1 Parameter Pengelasan (*welding parameter*)**

Parameter pengelasan dari FSW meliputi kecepatan putar (*rational speed*), kecepatan tempuh (*travel speed*), kemiringan *tool* (*tool tilt*), kedalaman *shoulder* (*shoulder plunge*), kedalaman penetrasi *probe/pin*, dll. Secara umum kecepatan tempuh dan kecepatan putar yang lambat biasanya digunakan untuk material yang keras atau material yang tipis. Meningkatkan kecepatan putar atau menurunkan kecepatan tempuh cenderung akan meningkatkan masukan panas dan temperatur pengelasan.

Bagaimanapun, peningkatan atau penurunan kecepatan putar dan kecepatan *tempuh* yang drastis bisa menimbulkan efek merugikan. Walaupun begitu penelitian dalam pengembangan kecepatan tempuh terus berkembang untuk alasan ekonomis.

### **2.3.2 Siklus proses *Friction Stir Welding***

Siklus dari proses FSW dapat dibagi menjadi beberapa langkah dimana masing-masing memiliki aliran panas dan thermalprofile 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 joint line. Biasanya pada langkah ini juga proses penetrasi *probe/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*

Pada saat proses berlangsung terjadi *fluktuasi* suhu pada area sekitar *tool* tetapi secara *thermal* pada area tersebut sudah konstan paling tidak secara mikrostruktur.

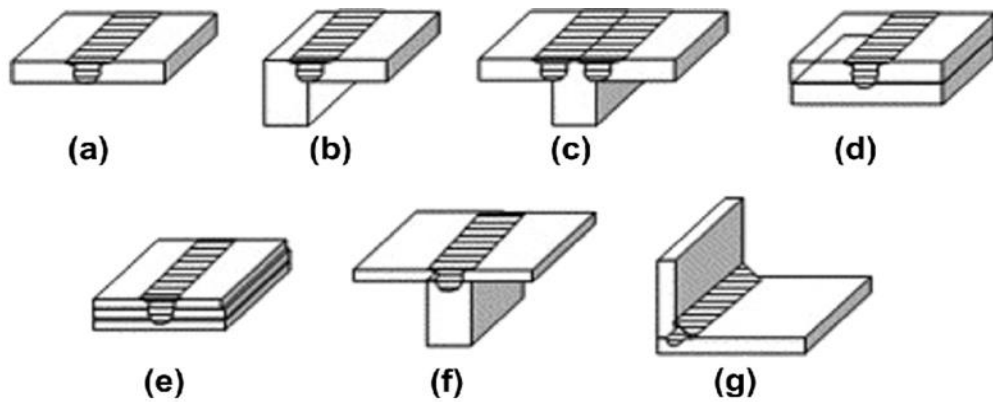
### 4. *Post Steady State*

Pada saat menjelang akhir dari proses pengelasan, panas akan meningkat pada sekitar *tool*.

## 2.3.3 Sambungan pada proses *Friction Stir Welding*

Pada proses FSW jenis sambungan yang dibuat, seperti butt joint. Dua benda kerja yang dilas pada posisi pertemuan ruas antara bidang yang bersentuhan, dicekam rigid pada fixture atau ragum. Fixture mencegah benda kerja berputar atau terangkat ketika proses las berlangsung. Tool pengelasan yang terdiri dari shoulder dan probe/pin berputar dengan kecepatan dan kemiringan yang ditentukan. Tool secara perlahan turun dan masuk kedalam ruas pertemuan benda kerja sampai shoulder dari tool menyentuh benda permukaan benda kerja dan ujung probe/pin sedekat mungkin dengan backplate. Dwell time yang singkat dapat membangkitkan panas untuk preheating dan pelunakan material sepanjang garis sambungan. Sampai diakhir pengelasan tool ditarik/diangkat ketika tool masih dalam kondisi berputar.

Seperti pin yang ditarik, tool akan meninggalkan lubang (keyhole) diujung pengelasan. Tool shoulder yang bersentuhan dengan benda kerja pun meninggalkan bekas semi circular ripple dijalur pengelasan.



**Gambar 2.8 Sambungan pada proses *Friction Stir Welding***

Tool FSW yang berputar bergerak searah dengan alur pengelasan, permukaan depan dari probe/pin tool, memaksa plasticed material dari kedua sisi material yang akan dilas ke arah belakang probe/pin. Akibatnya material dipindahkan dari permukaan ke 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. Perlu dicatat bahwa untuk menghasilkan sambungan penuh (closure off roof) maka probe/pin harus sedekat mungkin dengan backplate dan shoulder harus menyentuh permukaan benda kerja. Open root (kurangnya penetrasi) berpotensi besar untuk mengalami kegagalan pada sambungan. Pada pengelasan FSW sumbu dari spindle dan benda kerja tidak benar-benar tegak lurus  $90^0$ . Ada kemiringan sekitar  $2-4^0$ , kemiringan ini bisa didapat dengan cara memiringkan spindle mesin atau memiringkan benda kerja. Hal ini dapat membantu pematatan material pada bagian belakang tool, tetapi juga mempunyai kelemahan yaitu berkurangnya kemampuan (ability) untuk eksekusi proses pengelasan non-linier dan juga bisa mengurangi kecepatan pengelasan (travel speed weld).

Konsekuensi dari metode FSW adalah adanya lubang (key hole) yang terjadi diakhir pengelasan, terlebih lagi untuk pengelasan baja material alloy

lainnya. Pelungangan 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 pemesinan akhir sambungan karena strength pada posisi ini memiliki nilai yang paling rendah dibanding posisi lain.

### 2.3.4 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, koefesien gesek, dan pembangkitan heat. Oleh karena itu tool design merupakan hal yang sangat penting dari FSW.

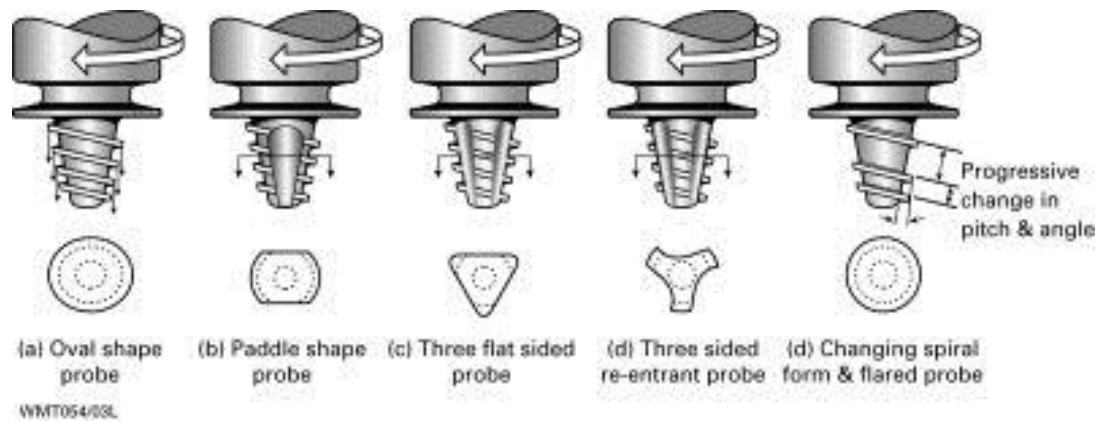
Hal pertama yang harus diperhatikan pada saat merancang tool yang akan digunakan adalah pemilihan material yang akan digunakan, beberapa karakter material yang harus dipenuhi oleh sebuah tool adalah :

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

**Tabel 2.3 Material Tool FSW dan Aplikasinya**

Alloy	Thickness		Tool Material
	mm	in	
Aluminium Alloys	<12	<0,5	Tool Steel, WC-Co
Magnesium Alloys	<26	<1,02	MP159
	<6	<0,24	Tool Steel, WC
Copper and copper Alloys	<50	<2,0	Nickel alloys, PCBN (a), Tungsten Alloys
	<11	<0,4	Tool Steel
Titanium Alloys	<6	<0,24	Tungsten Alloys
Stainless Steel	<6	<0,24	PCBN, Tungsten Alloys
Low-Alloy Steel	<10	<0,4	WC,PCBN
Nickel Alloy	<6	<0,24	PCBN

Hal yang kedua adalah bentuk shoulder dan probe/pin dari tool, bagian utama dari sebuah tool yang digunakan dalam FSW adalah shoulder, bagian ini yang membangun panas dengan gesekan yang dilakukannya terhadap benda kerja, bagian ini juga yang menjadi penahan material panas yang ada dibawahnya. Disamping itu bagian ini pun memberikan gaya vertikal ke arah benda kerja yang menjaga kondisi contact tool dengan benda kerja.



**Gambar 2.9 Design Probe/pin pada Tool FSW**

Pin/Probe adalah bagian yang melakukan penetrasi ke dalam benda kerja, dimana bagian dari tool ini adalah bagian yang mengaduk material atau mengalirkan material yang sudah melunak akibat panas yang dihasilkan shoulder, dapat menciptakan suatu sambungan antara dua material. Selanjutnya adalah ukuran dari tool, diameter shoulder, diameter pin/probe, panjang pin/probe, dan panjang tool secara keseluruhan diatur sesuai dengan proses yang diinginkan yaitu ketebalan benda kerja, kemiringan tool saat proses, kekuatan sambungan dan clearance antar benda kerja.

### 2.3.5 Rotasi Tool dan Kecepatan Melintang

Ada dua kecepatan alat yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu seberapa cepat tool itu berputar dan seberapa cepat tool itu melintasi jalur pengelasan (joint line). Kedua parameter ini, harus ditentukan secara cermat untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang memuaskan. Hubungan antara kecepatan pengelasan dan input panas selama proses pengelasan sangat kompleks, tetapi umumnya dapat dikatakan bahwa meningkatnya kecepatan rotasi dan berkurangnya kecepatan melintas akan mengakibatkan titik las lebih panas. Jika material tidak cukup panas maka arus

pelunakan tidak akan optimal sehingga dimungkinkan akan terjadi cacat rongga atau cacat lain pada stir zone, dan kemungkinan tool akan rusak. Tetapi input panas yang terlalu tinggi akan merugikan sifat akhir lasan karena perubahan karakteristik logam dasar material. Oleh sebab itu dalam menentukan parameter harus benar-benar cermat, input panas harus cukup tinggi tetapi tidak terlalu tinggi untuk menjamin plastisitas material serta untuk mencegah timbulnya sifat-sifat las yang merugikan.

### **2.3.6 Kedalaman Ceburan dan Tekanan Tool**

Kedalaman ceburan (*plunge depth*) didefinisikan sebagai kedalaman titik terendah probe/pin dibawah permukaan material yang dilas dan telah diketahui sebagai parameter kritis yang menjamin kualitas lasan. *Plunge depth* perlu diatur dengan baik untuk menjamin tekanan kebawah tercapai, dan memastikan *tool* penuh menembus lasan. *Plunge depth* yang dangkal dapat mengakibatkan cacat dalam lasan, sebaliknya *plunge depth* yang berlebihan bisa mengakibatkan kerusakan pin karena berinteraksi dengan alasnya. Tekanan *shoulder* diharapkan untuk menjaga material lunak tidak keluar jalur dan memberi efek tempa (*forging*). Material panas ditekan dari atas oleh *shoulder* dan ditahan oleh alas dari bawah. Proses ini bertujuan untuk memadatkan material sehingga penguatan sambungan terjadi akibat efek tempa tersebut. Selain itu tekanan *shoulder* juga menghasilkan input panas tambahan karena permukaannya yang lebih besar bergesekan dengan material (Jarot Wijayanto & Agdha Anelis 2010).

### **2.3.7 Gaya pada proses Friction Stir Welding**

Dibawah ini gaya-gaya yang terjadi pada proses kerja FSW :

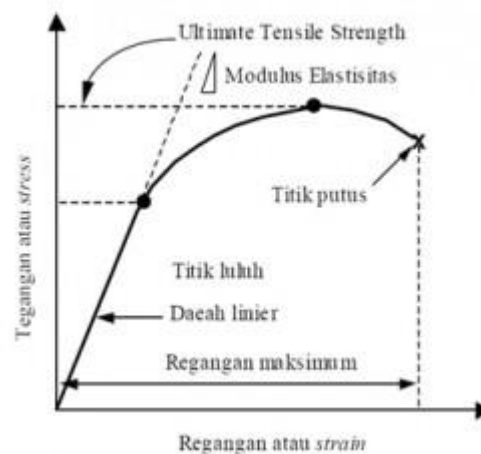
- a. *Downward Force*, merupakan gaya utama yang dipakai untuk mempertahankan posisi *tool* pada permukaan material benda kerja.
- b. *Traverse Force*, gaya yang sejajar dengan arah pergerakan *tool*, peningkatan gaya *transversal* merupakan wujud resistensi material terhadap pergerakan *tool* dan sejalan proses gaya ini akan berkurang sejalan dengan naiknya temperatur kerja.
- c. *Lateral Force*, gaya yang tegak lurus dengan arah dari pergerakan *tool* dan merupakan reaksi gaya dari *downward Force*.

- d. *Torsi* dibutuhkan untuk memutarakan *tool*, besarnya tergantung dari *downward force* dan nilai koefesien gesek atau *flow strength*.

## 2.9 Metode Pengujian Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu [Askeland, 1985]. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva uji tarik.

Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar 2.9. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.



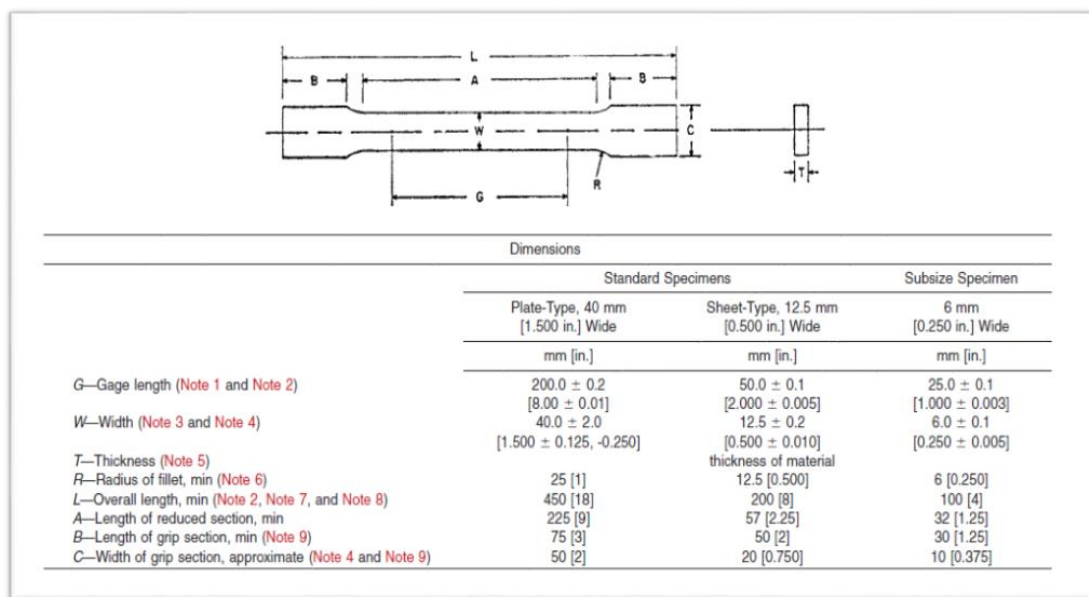
Gambar 2.10 Kurva Uji Tarik

Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan pada material. Dimana spesimen uji yang telah distandarisasi, dilakukan pembebanan uniaxial sehingga specimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya patah. Pengujian tarik relatif sederhana, murah dan sangat terstandarisasi dibanding pengujian lain. Hal-hal yang perlu

diperhatikan agar pengujian menghasilkan nilai yang valid adalah bentuk dan dimensi spesimen uji, pemilihan grips dan lain-lain.

### 2.4.1 Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji

Spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi dari ASTM E8 atau D638. Bentuk dari spesimen penting karena kita harus menghindari terjadinya pataha tau retak pada daerah grip atau yang lainnya. Jadi standarisasi dari bentuk spesimen uji dimaksudkan agar retak dan patahan terjadi di daerah gage length



Gambar 2.11 Contoh Spesimen ASTM E8

### 2.4.2 Grip and Face Selection

*Face* dan *grip* adalah faktor penting. Dengan pemilihan setting yang tidak tepat, spesimen uji akan terjadi slip atau bahkan pecah dalam daerah *grip* (*jawbreak*). Ini akan menghasilkan hasil yang tidak *valid*. *Face* harus selalu tertutupi di seluruh permukaan yang kontak dengan *grip*. Agar spesimen uji tidak bergesekan langsung dengan *face*. Beban yang diberikan pada bahan yang di uji ditransmisikan pada pegangan bahan yang di uji. Dimensi dan ukuran pada benda uji disesuaikan dengan standar baku pengujian.

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan teknik tersebut diperoleh dengan cara

membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas awal penampang benda uji. Dituliskan seperti dalam persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Keterangan :  $\sigma$  = Besarnya tegangan (kg/mm<sup>2</sup>)  
 $P$  = Beban yang diberikan (kg)  
 $A_0$  = Luas penampang awal benda uji (mm<sup>2</sup>)

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

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Keterangan :  $e$  = Besar regangan (mm<sup>2</sup>)  
 $L$  = Panjang benda uji setelah pengujian (mm)  
 $L_0$  = Panjang awal benda uji (mm)

Bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu logam tergantung pada komposisi, perlakuan panas, deformasi plastik, laju regangan, temperatur dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian. Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan logam adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh atau titik luluh, persen perpanjangan dan pengurangan luas. Dan parameter pertama adalah parameter kekuatan, sedangkan dua yang terakhir menyatakan keuletan bahan.

Bentuk kurva tegangan-regangan pada daerah elastis tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Deformasi tidak berubah pada pembebanan, daerah regangan yang tidak menimbulkan deformasi apabila beban dihilangkan disebut daerah elastis. Apabila beban melampaui nilai yang berkaitan dengan kekuatanluluh, benda mengalami deformasi plastis bruto.

Deformasi pada daerah ini bersifat permanen, meskipun bebannya dihilangkan. Tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan deformasi plastis akan bertambah besar dengan bertambahnya regangan plastis. Pada tegangan dan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas. Persamaannya dituliskan dalam persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

Keterangan : **E** = Besar modulus elastisitas (kg/mm<sup>2</sup>)  
**e** = Regangan (mm<sup>2</sup>)  
**σ** = Tegangan (kg/mm<sup>2</sup>)

Pada mulanya pengerasan regang lebih besar dari yang dibutuhkan untuk mengimbangi penurunan luas penampang lintang benda uji dan tegangan teknik (sebanding dengan beban *F*) yang bertambah terus, dengan bertambahnya regangan. Akhirnya dicapai suatu titik di mana pengurangan luas penampang lintang lebih besar dibandingkan pertambahan deformasi beban yang diakibatkan oleh pengerasan regang. Keadaan ini untuk pertama kalinya dicapai pada suatu titik dalam benda uji yang sedikit lebih lemah dibandingkan dengan keadaan tanpa beban. Seluruh deformasi plastis berikutnya terpusat pada daerah tersebut dan benda uji mulai mengalami penyempitan secara lokal. Karena penurunan luas penampang lintang lebih cepat daripada pertambahan deformasi akibat pengerasan regang, beban sebenarnya yang diperlukan untuk mengubah bentuk benda uji akan berkurang dan demikian juga tegangan teknik akan berkurang hingga terjadi patah.

### 2.4.3 Sifat-sifat Mekanik Uji Tarik

#### 1. Kekuatan tarik

Kekuatan yang biasanya ditentukan dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (Yield Strength) dan kuat tarik (Ultimate Tensile Strength). Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength /UTS), adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji :

$$S_u = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Keterangan :  $S_u$  = Kekuatan tarik  
 $P_{\max}$  = Beban Maximal  
 $A_0$  = Luas Penampang

Untuk logam-logam yang liat kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban maksimum dimana logam dapat menahan sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas.

Tegangan tarik adalah nilai yang paling sering dituliskan sebagai hasil suatu uji tarik, tetapi pada kenyataannya nilai tersebut kurang bersifat mendasar dalam kaitannya dengan kekuatan bahan. Untuk logam-logam yang liat kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban maksimum, di mana logam dapat menahan beban sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas. Akan ditunjukkan bahwa nilai tersebut kaitannya dengan kekuatan logam kecil sekali kegunaannya untuk tegangan yang lebih kompleks, yakni yang biasanya ditemui. Untuk berapa lama, telah menjadi kebiasaan mendasarkan kekuatan struktur pada kekuatan tarik, dikurangi dengan faktor keamanan yang sesuai.

Kecenderungan yang banyak ditemui adalah menggunakan pendekatan yang lebih rasional yakni mendasarkan rancangan statis logam yang liat pada kekuatan luluhnya. Akan tetapi, karena jauh lebih praktis menggunakan kekuatan tarik untuk menentukan kekuatan bahan, maka metode ini lebih banyak dikenal, dan merupakan metode identifikasi bahan yang sangat berguna, mirip dengan kegunaan komposisi kimia untuk mengenali logam atau bahan. Selanjutnya, karena kekuatan tarik mudah ditentukan dan merupakan sifat yang mudah dihasilkan kembali (reproducible). Kekuatan tersebut berguna untuk keperluan spesifikasi dan kontrol kualitas bahan. Korelasi empiris yang diperluas antara kekuatan tarik dan sifat-sifat bahan misalnya kekerasan dan kekuatan lelah, sering dipergunakan. Untuk bahan-bahan yang getas, kekuatan tarik merupakan kriteria yang tepat untuk keperluan perancangan.

Tegangan di mana deformasi plastik atau batas luluh mulai teramati tergantung pada kepekaan pengukuran regangan. Sebagian besar bahan mengalami perubahan sifat dari elastik menjadi plastik yang berlangsung sedikit demi sedikit, dan titik di mana deformasi plastik mulai terjadi dan sukar ditentukan secara teliti. Telah digunakan berbagai kriteria permulaan batas luluh yang tergantung pada ketelitian pengukuran regangan dan data-data yang akan digunakan.

1. Batas elastik sejati berdasarkan pada pengukuran regangan mikro pada skala regangan  $2 \times 10^{-6}$  inci/inci. Batas elastik nilainya sangat rendah dan dikaitkan dengan gerakan beberapa ratus dislokasi.
2. Proporsional adalah tegangan tertinggi untuk daerah hubungan proporsional antara tegangan-regangan. Harga ini diperoleh dengan cara mengamati penyimpangan dari bagian garis lurus kurva tegangan-regangan
3. Batas elastik adalah tegangan terbesar yang masih dapat ditahan oleh bahan tanpa terjadi regangan sisa permanen yang terukur pada saat beban telah ditiadakan. Dengan bertambahnya ketelitian pengukuran regangan, nilai batas elastiknya menurun hingga suatu batas yang sama dengan batas elastik sejati yang diperoleh dengan cara pengukuran regangan mikro.

## 2. Kekuatan Luluh (yield strength)

Salah satu kekuatan yang biasanya diketahui dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (Yield Strength). Kekuatan luluh (yield strength) merupakan titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis [Dieter, 1993]. Besar tegangan luluh dituliskan seperti pada persamaan, sebagai berikut :

$$Y_s = \frac{P_y}{A_0}$$

Keterangan :  $Y_s$  = Besarnya tegangan luluh ( $\text{kg/mm}^2$ )

$P_y$  = Besarnya beban di titik yield (kg)

$A_0$  = Luas penampang awal benda uji ( $\text{mm}^2$ )

Tegangan di mana deformasi plastis atau batas luluh mulai teramati tergantung pada kepekaan pengukuran regangan. Sebagian besar bahan mengalami perubahan sifat dari elastik menjadi plastis yang berlangsung sedikit demi sedikit, dan titik di mana deformasi plastis mulai terjadi dan sukar ditentukan secara teliti. Kekuatan luluh adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Definisi yang sering digunakan untuk sifat ini adalah kekuatan luluh ditentukan oleh tegangan yang berkaitan dengan perpotongan antara kurva tegangan-regangan dengan garis yang sejajar dengan elastis offset kurva oleh regangan tertentu.

### **3. Pengukuran Keliatan (Keuletan)**

Keuletan adalah kemampuan suatu bahan sewaktu menahan beban pada saat diberikan penetrasi dan akan kembali ke bentuk semula. Secara umum pengukuran keuletan dilakukan untuk memenuhi kepentingan tiga buah hal [Dieter, 1993]:

- a. Untuk menunjukkan elongasi dimana suatu logam dapat berdeformasi tanpa terjadi patah dalam suatu proses pembentukan logam, misalnya pengerolan dan ekstrusi.
- b. Untuk memberi petunjuk secara umum kepada perancang mengenai kemampuan logam untuk mengalir secara plastis sebelum patah.
- c. Sebagai petunjuk adanya perubahan permukaan kemurnian atau kondisi pengolahan.

### **4. Modulus Elastisitas**

Modulus Elastisitas adalah ukuran kekuatan suatu bahan akan keelastisitasannya. Makin besar modulus, makin kecil regangan elastis yang dihasilkan akibat pemberian tegangan. Modulus elastisitas ditentukan oleh gaya ikat antar atom, karena gaya-gaya ini tidak dapat dirubah tanpa terjadi perubahan mendasar pada sifat bahannya. Maka modulus elastisitas salah satu sifat-sifat mekanik yang tidak dapat diubah. Sifat ini hanya sedikit berubah oleh adanya penambahan paduan, perlakuan panas, atau pengerjaan dingin.

## 5. Kelentingan (resilience)

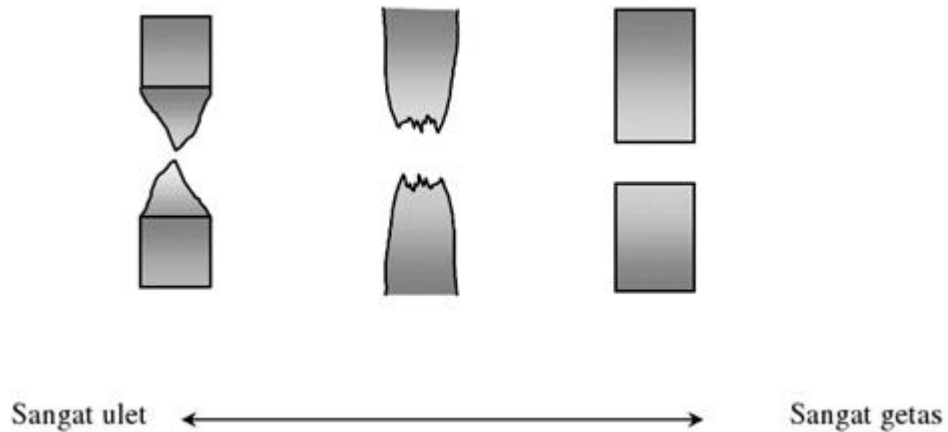
Kelentingan adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap energi pada waktu berdeformasi secara elastis dan kembali ke bentuk awal apabila bebannya dihilangkan [Dieter,1993]. Kelentingan biasanya dinyatakan sebagai modulus kelentingan, yakni energi regangan tiap satuan volume yang dibutuhkan untuk menekan bahan dari tegangan nol hingga tegangan luluh  $\sigma_0$ . Energi regangan tiap satuan volume untuk beban tarik satu sumbu.

## 6. Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan (*Toughness*) adalah kemampuan menyerap energy pada daerah plastik. Pada umumnya ketangguhan menggunakan konsep yang sukar dibuktikan atau didefinisikan. Salah satu menyatakan ketangguhan adalah meninjau luas keseluruhan daerah di bawah kurva tegangan-regangan. Luas ini menunjukkan jumlah energi tiap satuan volume yang dapat dikenakan kepada bahan tanpa mengakibatkan pecah

### 2.4.4 Model Patahan Material

Secara definisi, patah sederhana adalah pemisahan dari sebuah kesatuan menjadi dua bagian atau lebih diakibatkan gaya yang berlaku statis (yang bersifat konstan atau berubah secara perlahan menurut fungsi waktu). Adapun penyebab patah lebih lanjut disebabkan oleh adanya gaya berupa tarikan, tekanan, geseran, dan torsional. Adapun yang sekarang kita bahas adalah fraktur yang disebabkan oleh tegangan yang sifatnya uniaksial. Dalam kata patah, dikenal adanya patah ulet dan patah getas. Ini didasari pada kemampuan material untuk dapat berdeformasi secara plastis. Kita tahu bahwa, material dengan sifat ulet memiliki kemampuan untuk menyerap energi lebih besar karena mengalami deformasi plastis dahulu sebelum putus sehingga menghasilkan daerah yang luas dibawah kurva stress-strain. Hal ini berkebalikan dengan patah secara getas, dimana material dengan sifat getas tidak mengalami yang namanya deformasi plastis dan patah saat berada di daerah elastis. Nah, dibawah ini akan dibahas lebih lanjut tentang patah ulet dan patah getas.



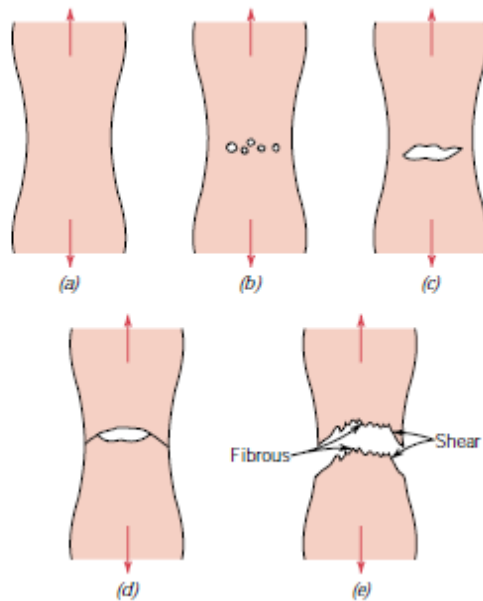
Gambar 2.12 Patahan Material

### 1. Patah Ulet

Patah secara ulet memiliki karakteristik tersendiri terlihat dari permukaan hasil patahan yang dapat dilihat secara mikroskopik maupun makroskopik. Patah secara ulet juga dapat dibedakan atas 2 yaitu patah ulet tingkat tinggi dan tingkat menengah. Patah dengan keuletan tingkat tinggi biasanya terjadi pada material berupa logam lunak seperti emas murni dan timbale pada temperature kamar dan pada logam lainnya, polimer, dan gelas anorganik pada suhu yang dinaikkan. Jika kita lihat pada gambar 1 poin a, terlihat bahwa material patah secara ulet sempurna dengan memperlihatkan terjadinya necking yaitu berupa adanya reduksi luasan dan pertambahan panjang.

Namun, jenis patah ulet yang sering kita lihat setelah dilakukannya pengujian tarik adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar dimana necking hanya terlihat sebagian. Mekanisme patah secara ulet dapat dilihat pada gambar.

Disini terlihat pada poin a, terjadi istilahnya permulaan necking. Lalu pada poin b, terlihat adanya lubang-lubang kecil dan di poin c terlihat lubang- lubang kecil tadi menyatu dan membentuk lubang besar. Di poin d, terjadi rambatan retakan dan di poin e barulah terjadi fraktur dengan arah patahan membentuk sudut 45<sup>o</sup> terhadap arah tarikan.



Gambar 2.13 Mekanisme Patah secara Ulet

## 2. Patah Getas

Patah getas tidak mengalami yang namanya deformasi plastis sebelum terjadinya patah dan mengalami perambatan retakan yang sangat cepat. Arah dari retakan sendiri tegak lurus dengan arah tarikan dan memiliki bentuk patahan yang datar.

Bentuk patahan yang terjadi pada patah getas juga memiliki karakteristik tertentu, tidak terdapat adanya tanda-tanda deformasi plastis sebelum patah. Bentuk lainnya dari patah getas adalah terdapatnya garis dan daerah seperti punggung bukit. Tak jarang, jenis patahan dengan pola diatas tidak dapat dibedakan dengan mata telanjang. Pada baja yang terlalu keras dengan butir baik, pola patahan juga tidak dapat dibedakan. Patah getas pada material amorf seperti gelas keramik, daerah yang dihasilkan akan menghasilkan permukaan yang halus dan berkilau.

Pada berbagai kristal getas, perambatan retakan disebabkan karena pengulangan pemutusan ikatan sepanjang struktur kristalografi dalam berbagai bidang, beberapa proses dinamakan cleavage (pembelahan). Patahan dengan jenis seperti ini dinamakan dengan patahan transgranular atau transkristalin karena patahan melewati butiran-butiran. Secara makroskopik, permukaan patahan akan terlihat berbutir dan bersegi sebagai akibat dari perubahan orientasi dari bidang-bidang pembelahan

dari butir menuju butir. Ini akan terlihat jika diamati secara mikroskopik dengan menggunakan Semi Electron Microscope (SEM).

Dalam beberapa paduan, perambatan retakan terjadi di sepanjang batas butir. Retakan ini dinamakan dengan intergranular. Jenis patahan ini, akan memperlihatkan butiran secara keseluruhan dan bersifat 3 dimensi. Hal ini terjadi setelah terjadinya proses yang memperlemah ikatan pada batas butir.

## **2.10 Metalografi**

Metalografi adalah teknik atau metode persiapan materi untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi yang terkandung dalam material yang dapat diamati, seperti fase, biji-bijian, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya pada.

**Dalam garis besar langkah-langkah yang dilakukan dalam metalografi adalah sebagai berikut:**

### **2.5.1 Pemotongan Spesimen (*sectioning*)**

Proses pemotongan adalah penghapusan materi dari sampel besar menjadi spesimen dengan ukuran kecil. Pemotongan yang salah akan menyebabkan struktur mikro itu tidak benar karena telah berubah. Untuk meningkatkan efisiensi lebih baik bila spesimen berukuran lebih kecil namun bisa mewakili bagian yang ingin diperiksa atau merupakan bagian yang ingin diteliti. Pemisahan spesimen bisa dilakukan dengan menggunakan metode-metode pemotongan yang umum digunakan, seperti menggunakan gergaji, roda abrasif atau dengan flame cutting. Dianjurkan bahwa dilakukan proses pemotongan yang menghasilkan deformasi/perubahan struktur yang rendah, dan dilakukan dengan panas yang minimal.

Dalam hal ini, yang terbaik adalah dengan menggunakan roda abrasif, dengan pemotongan yang disertai dengan pemberian cairan pendingin. Kerusakan pada materi dalam proses pemotongan sangat tergantung pada bahan dipotong, alat yang digunakan untuk memotong, dan kecepatan makan pemotongan. Dalam beberapa spesimen, kerusakan tidak terlalu banyak dan dapat dibuang pada saat pengamplasan dan polishing.



Gambar 2.14 Alat Pemotong (sectioning)

### 2.5.2 Framing (*mounting*)

*Mounting* adalah penggunaan pemegang atau proses pembesaran pemegang spesimen. pemegang biasanya digunakan untuk plat tipis dimana beberapa plat ditumpuk sehingga menghasilkan spesimen yang berukuran cukup besar yang akan mempermudah penanganan. Pembesaran spesimen dilakukan dengan menggunakan bahan resin atau *plastic thermosetting*.

Spesimen diletakkan dengan bahan ini sehingga memiliki ukuran yang lebih besar. Jenis bahan yang digunakan tergantung pada spesimen yang diuji. *Plastic thermosetting* tidak cocok untuk material yang rentan terhadap temperatur atau tekanan tinggi karena proses pengerasan *plastic thermosetting* memerlukan penekanan yang disertai dengan pemanasan. Resin memiliki keunggulan karena tidak memerlukan pemanasan atau penekanan untuk mengeras. *Plastic thermosetting* yang umum digunakan adalah Bakelite atau Lucite, dimana Lucite memiliki warna transparan. Framing atau pembingkai yang sering diperlukan dalam penyusunan spesimen metalografi, meskipun di beberapa spesimen dengan ukuran agak besar, itu tidak mutlak. Namun, untuk bentuk kecil atau tidak teratur harus dibingkai untuk memfasilitasi memegang spesimen dalam proses pengamplasan dan polishing.



**Gambar 2.15 Bahan untuk Framing**

Sebelum melakukan framing, membersihkan spesimen harus dilakukan dan hanya dibatasi oleh pengobatan sederhana rincian kita ingin melihat tidak hilang. Perbedaan akan muncul antara bentuk fisik dan kimia bersih permukaan. Kebersihan fisik secara tidak langsung bebas dari kotoran padat, minyak pelumas dan kotoran lainnya, sementara kebersihan kimia bebas dari semua kontaminasi. Pembersihan ini dimaksudkan bahwa hasil framing tidak retak atau rusak karena pengaruh kotoran di sana.

Dalam pemilihan bahan untuk framing, yang perlu diperhatikan adalah perlindungan dan pemeliharaan spesimen. Frame harus memiliki kekerasan yang cukup, meskipun kekerasan bukan merupakan indikasi, dari karakteristik abrasif. Bahan bingkai juga harus tahan terhadap distorsi fisik yang disebabkan oleh panas selama pengamplasan, tetapi juga harus mampu menembus ke dalam lubang kecil dan bentuk permukaan yang tidak teratur.

### **2.5.3 Grinding, Abrasi dan Polishing**

Dalam proses ini dilakukan penggunaan partikel abrasif tertentu yang bertindak sebagai alat pemotong berulang kali. Pada beberapa proses, partikel bersatu sehingga bentuk blok mana permukaan Anda akan menikmati permukaan kerja. Partikel yang dilengkapi dengan menonjol partikel abrasif untuk membentuk titik yang tajam sangat banyak.

Perbedaan antara grinding dan pengamplasan terletak pada batas kecepatan keduanya. **Grinding** adalah proses yang memerlukan pergerakan

permukaan abrasive sangat cepat, menyebabkan panas ke permukaan spesimen. Sementara **pengamplasan** adalah proses untuk mengurangi permukaan dengan gerakan permukaan abrasive bergerak relatif lambat sehingga panas yang dihasilkan tidak signifikan ...

Dari proses pengamplasan diperoleh adalah munculnya sistem yang memiliki permukaan yang relatif halus atau seragam goresan pada permukaan spesimen. Pengamplasan juga memproduksi deformasi plastik dari lapisan permukaan spesimen cukup mendalam.



**Gambar 2.16** Alat untuk Pengamplasan Metalografi

Proses **polishing** menggunakan partikel abrasive tidak kuat melekat di pesawat tetapi pada cairan dalam serat kain. Tujuannya adalah untuk menciptakan permukaan yang sangat halus yang dapat sehalus kaca yang dapat memantulkan cahaya dengan sangat baik. Dalam polishing biasanya digunakan pasta gigi, pasta gigi yang mengandung Zn dan Ca yang akan mampu menghasilkan permukaan yang sangat halus. Proses untuk memoles hampir sama dengan pengamplasan, namun proses polishing hanya menggunakan kekuatan kecil di abrasif, karena tekanan yang diperoleh diredam oleh serat yang memegang partikel.



**Gambar 2.17 Grinder Polisher**

#### **2.5.4 Etsa**

Etsa metalografi dilakukan dalam proses ini adalah untuk melihat struktur mikro spesimen dengan menggunakan mikroskop optik. Etsa merupakan larutan kimia yang digunakan untuk memungkinkan pengamatan struktur mikro. Etsa bekerja dengan tiga cara yaitu :

- a. Melarutkan lapisan aliran logam yang terbentuk sebagai akibat dari proses persiapan permukaan spesimen.
- b. Membedakan struktur yang terdapat pada logam.
- c. Memberikan warna pada struktur mikro sehingga mempermudah pengenalan dan analisa (untuk pengetsaan berwarna).

Etsa dapat membedakan struktur mikro karena perbedaan komposisi fase atau orientasi kristal sehingga terjadi perbedaan tingkat pelarutan struktur oleh etsa yang digunakan. Struktur yang mudah dilarutkan akan tampak gelap karena permukaannya menjadi tidak rata/kasar.

Jenis etsa yang digunakan harus bisa dipilih secara tepat. Pemilihan etsa tergantung pada jenis material yang akan diamati serta jenis struktur yang menjadi perhatian. Untuk beberapa paduan seperti paduan tembaga, terdapat beberapa macam etsa yang memiliki fungsi yang sama. Untuk hal ini, dianjurkan untuk menggunakan etsa yang paling mudah dibuat atau disesuaikan dengan etsa yang digunakan oleh gambar referensi.

**Berikut adalah beberapa etsa yang umum digunakan :**

**Fe dan Paduan**

- Nital : 1 – 5 ml HNO<sub>3</sub> dan 98 ml ethanol atau methanol (95% atau absolute). Digunakan pada baja karbon untuk membedakan ferrite dengan pearlite atau cementite, membedakan ferrite dengan martensite, menunjukkan batas butiran ferrite. Lama pengetsaan : celup selama beberapa detik sampai 1 menit.
- Picral : 4 g asam picric. 100 ml ethanol atau methanol (95% atau absolute). Dan 4 – 5 tetes 17% *zephiran chloride*. Gunakan ethanol bila asam mengandung 10% atau lebih air. Untuk baja karbon yang telah mengalami perlakuan panas, memberikan resolusi yang lebih baik daripada Nital untuk struktur halus. Membedakan karbida. Celup selama beberapa detik sampai 1 menit.
- Larutan Vilella's : 2 ml HCl, 1 g asam picric dan 100 ml ethanol atau methanol (95% atau absolute). Menunjukkan batas butiran *austenite* pada baja hasil pengerasan/*tempering*.

**Aluminium dan paduannya**

- Etsa HF : 1 ml HF (48%) dan 200 ml H<sub>2</sub>O. Untuk struktur secara umum. Celup selama 30-45 detik atau oleskan selama 15 detik. HF melarutkan kaca.
- Larutan Keller's : 2 ml HF (48%), 3 ml HCl (conc), 5 ml HNO<sub>3</sub> (conc), 190 ml H<sub>2</sub>O. Celupkan selama 8-15 detik, bilas dalam aliran air, keringkan dengan udara panas. Jangan bersihkan permukaan dari sisa-sisa etsa.

**Tembaga dan paduannya**

- 5 g FeCl<sub>3</sub> 5-3 ML HCL, dan 100 ml ethanol. Menggelapkan fase  $\beta$  dalam kuningan ( $\alpha + \beta$ ) dan kuningan aluminium. Celup atau oles selama 1 detik sampai beberapa menit.

Dalam penyiapan etsa, perlu diperhatikan mengenai bahaya cairan kimia. Hal ini penting karena kebanyakan etsa mengandung atau memerlukan cairan kimia berupa asam atau basa konsentrat serta senyawa-senyawa yang beracun. Diwajibkan untuk membaca terlebih dahulu keterangan yang terdapat pada botol-botol kimia sehingga bisa menghindari kecelakaan. Penggunaan etsa

harus dilakukan sesuai dengan anjuran yang terdapat bagi tiap jenis etsa. Hal yang sama berlaku untuk penyimpanan etsa, karena ada beberapa yang tidak stabil untuk disimpan lama atau diperlukan dalam keadaan barudicampur.

### 2.5.5 Pengamatan Struktur Mikro

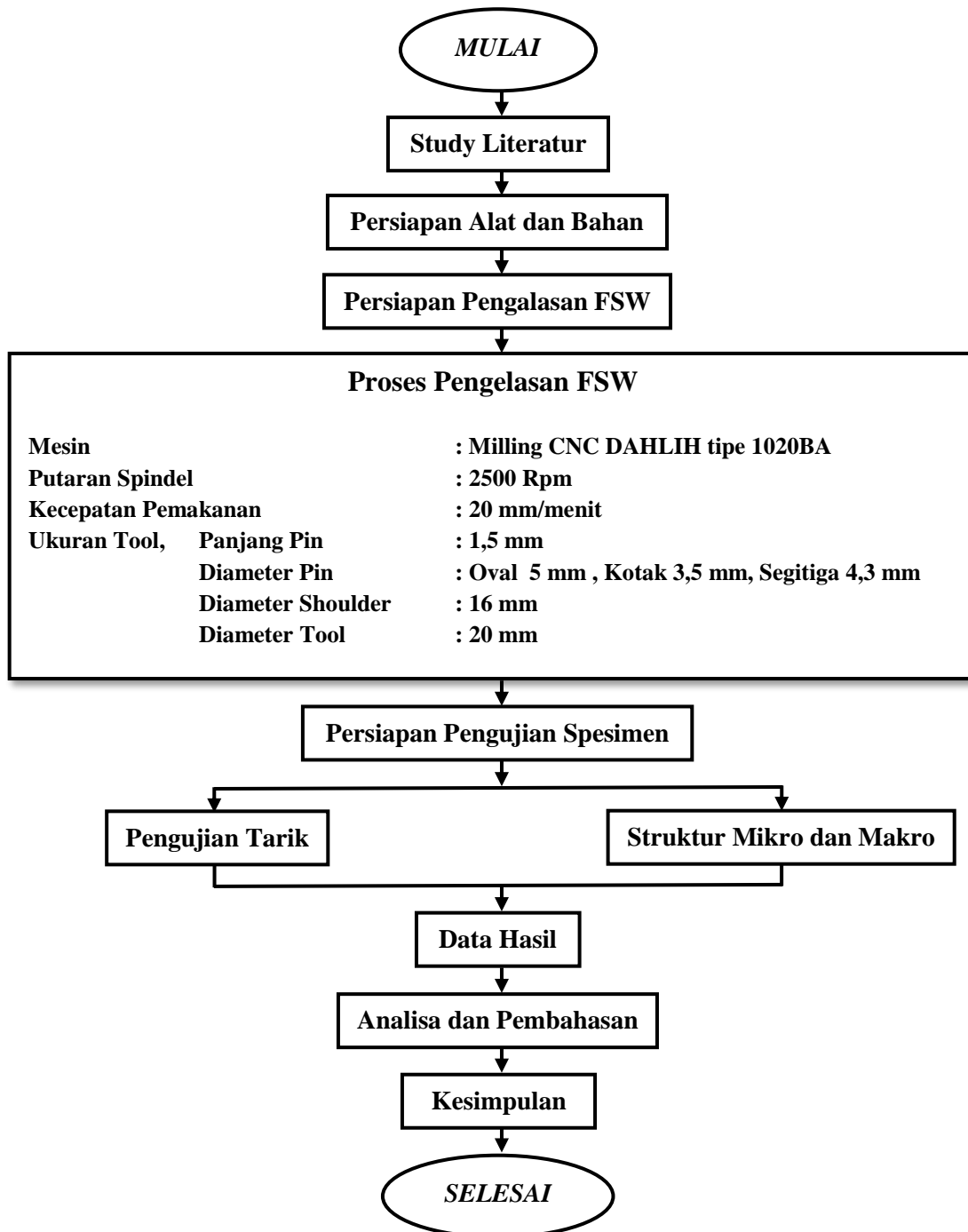
Dalam metalografi, umum untuk dicermati adalah dua hal: **struktur makro** dan **struktur mikro**. Struktur **makro** adalah struktur logam yang terlihat dalam makro pada permukaan terukir dari spesimen yang telah dipoles. Sedangkan **struktur mikro** adalah struktur permukaan logam yang telah dipersiapkan secara khusus terlihat dengan menggunakan perbesaran minimal 25x. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron..

Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan melalui diagram fasa, kita dapat meramalkan struktur mikronya dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat :

- a. Ukuran dan bentuk butir
- b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
- c. Pengotor yang terdapat dalam material

**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir Penelitian**



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat, sebagai berikut :

1. Pembuatan (pemotongan) Spesimen di beberapa tempat, dibengkel las dekat kos dan dibengkel las dan bubut Pak Partono. Pembuatan spesimen ini dilaksanakan pada bulan Oktober sampai dengan bulan Desember 2018
2. Pengelasan *Friction Stir Welding* dilakukan di Laboratorium Pemesinan Politeknik Negeri Malang. Pengelasan dilaksanakan pada bulan Oktober sampai dengan November 2018.
3. Pengujian Tarik dan Struktur Mikro dilakukan di Laboratorium Metallurgi dan Uji Bahan di Pemesinan Politeknik Negeri Malang. Pengujian dilaksanakan pada bulan November sampai dengan Desember 2018.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 3.2.1 Alat Penelitian

##### 1. Mesin Milling CNC

Mesin milling yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin Milling DAHLIH tipe 1020BA yang merupakan asset *workshop* Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Mesin ini merupakan mesin milling konvensional 4 axis yang telah dilengkapi penggerak otomatis untuk meja mesin. Berikut adalah spesifikasi dari mesin milling DAHLIH 1020BA :

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Milling DAHLIH 1020 BA

<b>Tahun</b>	1999
<b>Nomor Seri</b>	1020BA
<b>Buatan</b>	Jerman
<b>Daya Motor (<i>spindle</i>)</b>	10 HP (7,5 kW)
<b>V</b>	220/280
<b>F</b>	50/60 Hz
<b>N (max)</b>	1720
<b>I</b>	14,3 A



**Gambar 3.2 Mesin Milling CNC DAHLIH tipe 1020BA**

## **2. Mesin Uji Tarik**

Dalam pengujian, untuk mengukur kekuatan dari hasil pengelasan *Friction Stir Welding* aluminium dengan tembaga, menggunakan mesin uji tarik yang ada di Laboratorium Metallurgi dan Uji Bahan di Pemesinan Politeknik Negeri Malang.



**Gambar 3.3 Mesin Uji Tarik**

## **3. Mikroskop Optik Metalografi**



bertujuan untuk menciptakan permukaan yang sangat halus yang dapat sehalus kaca sehingga pada saat melakukan pengamatan Struktur Mikro dengan Mikroskop Optik mendapatkan hasil/foto yang jelas (tidak berserabut).



Gambar 3.6 Mesin Amplas dan Mesin *Polishing*

### 3.2.2 Bahan Penelitian

#### 1. Aluminium

Aluminium yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah plat aluminium dengan komposisi seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.2 Komposisi Aluminium

Compound	Conc	Unit
Al	96	%
P	0.93	%
Ca	0.566	%
Ti	0.034	%
V	0.005	%
Cr	0.032	%
Mn	0.23	%
Fe	1.49	%
Ni	0.006	%
Cu	0.281	%
Zn	0.039	%
Ga	0.041	%
Ba	0.05	%
Pr	0.07	%
Eu	0.03	%
Yb	0.073	%
Os	0.077	%
Ir	0.05	%

Untuk proses pengelasan *Friction Stir Welding* memakai plat Aluminium dengan ukuran panjang : 200 mm, lebar : 10 mm, dan tebal : 2,7 mm



Gambar 3.7 Spesimen Plat Aluminium untuk Proses Pengelasan

## 2. Tembaga

Tembaga yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah plat tembaga dengan komposisi seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Komposisi Tembaga

Compound	Conc	Unit
P	0.3	%
Ca	0.23	%
Cr	0.041	%
Fe	0.23	%
Ni	0.059	%
Cu	96.05	%
Y	2.5	%
I	0.23	%
Cs	0.1	%
Ir	0.24	%

Untuk proses pengelasan *Friction Stri Welding* memakai plat Tembaga dengan ukuran panjang : 200 mm, lebar : 10 mm, dan tebal : 2,7 mm



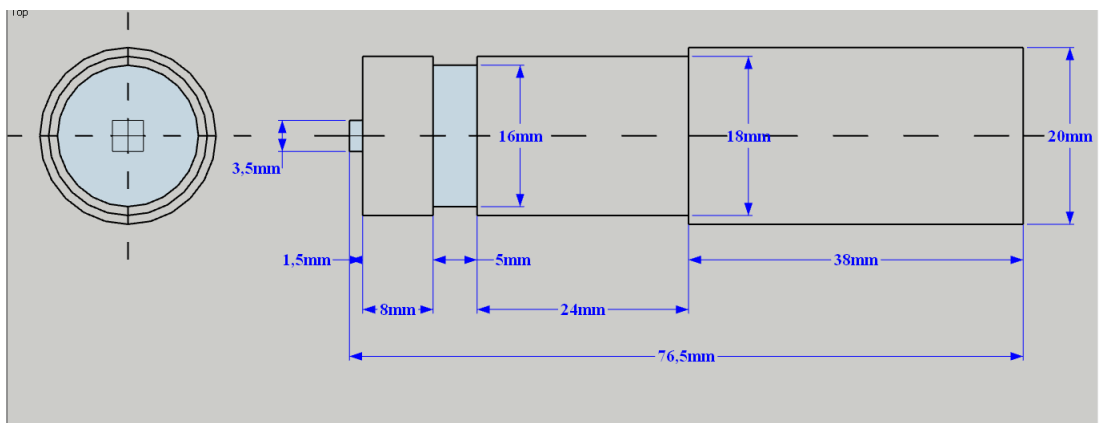
Gambar 3.8 Spesimen Plat Tembaga untuk Proses Pengelasan





Gambar 3.11 Tool dengan Probe/pin berbentuk Oval

2. Tool dengan probe/pin berbentuk Kotak.

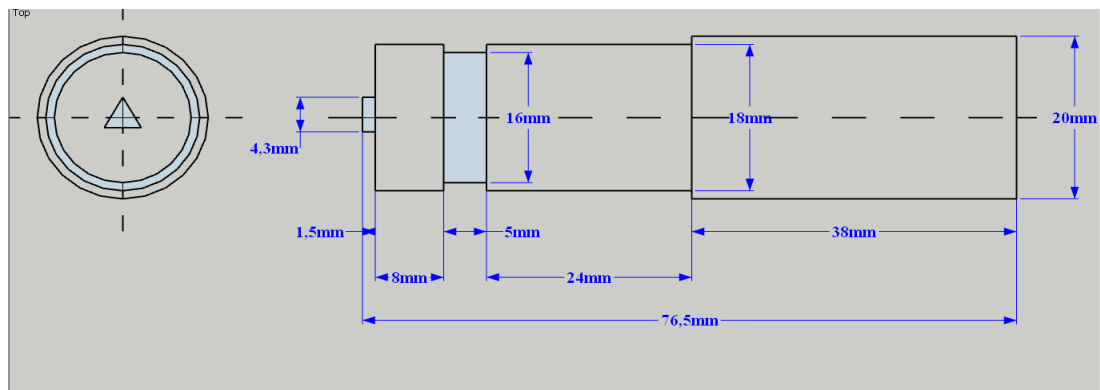


Gambar 3.12 Dimensi Tool dengan Probe/pin berbentuk Kotak



Gambar 3.13 Tool dengan Probe/pin berbentuk Kotak

### 3. Tool dengan probe/pin berbentuk Segitiga.



Gambar 3.14 Dimensi Tool dengan Probe/pin berbentuk Segitiga



Gambar 3.15 Tool dengan Probe/pin berbentuk Segitiga

### 3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian pada skripsi ini terdiri atas variabel terikat dan variabel bebas, dimana variabel terikat adalah kekuatan tarik hasil pengelasan aluminium dengan tembaga, dan variabel bebasnya adalah variasi bentuk probe/pin Oval, Kotak, dan Segitiga.

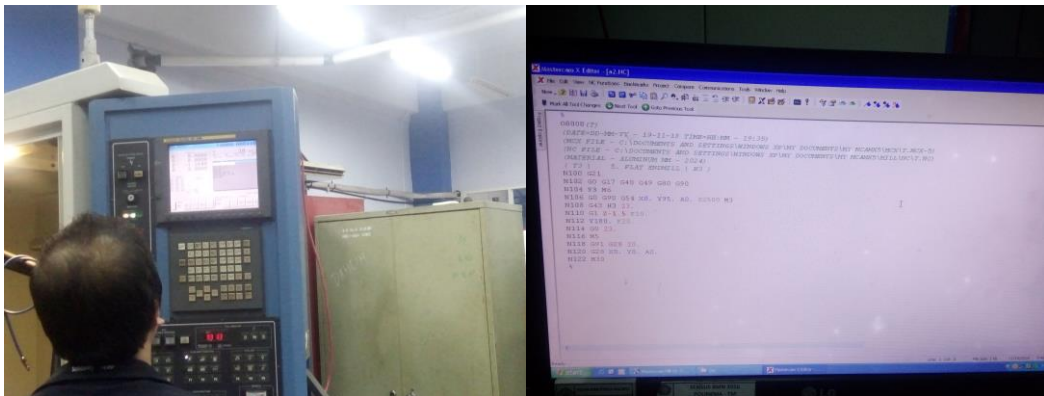
### 3.6 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang penulis lakukan adalah mempersiapkan bahan dan alat pengelasan, melakukan proses pengelasan, pembuatan spesimen pengujian tarik, dan struktur mikro.

### 3.6.1 Persiapan Pengelasan

Sebelum melakukan pengelasan ada beberapa hal yang harus dipersiapkan yaitu :

1. Menyiapkan bahan yang akan dilas (aluminium dan tembaga)
2. Penyetelan alat pengecam dengan posisi meja kerja.
3. Penyetelan kecepatan *spindle* pada rpm konstan 2500 dan *travel speed* pada 20 mm/menit pada panel control atau program MasterCam.



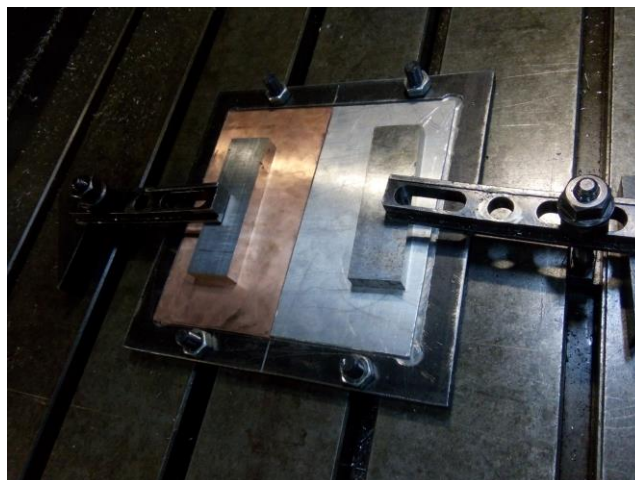
Gambar 3.16 Mengatur Kecepatan *Spindle* dan *Travel Speed*

4. Setting kemiringan *spindle* mesin ( jika dilakukan bukan pada settingan  $0^{\circ}$ )

### 3.6.2 Proses Pengelasan

Proses pengelasan bisa dilakukan jika semua alat dan bahan telah siap, berikut adalah langkah-langkah pengelasan :

1. Pemasangan benda kerja dan alat pengecam (ragum) di mesin CNC .



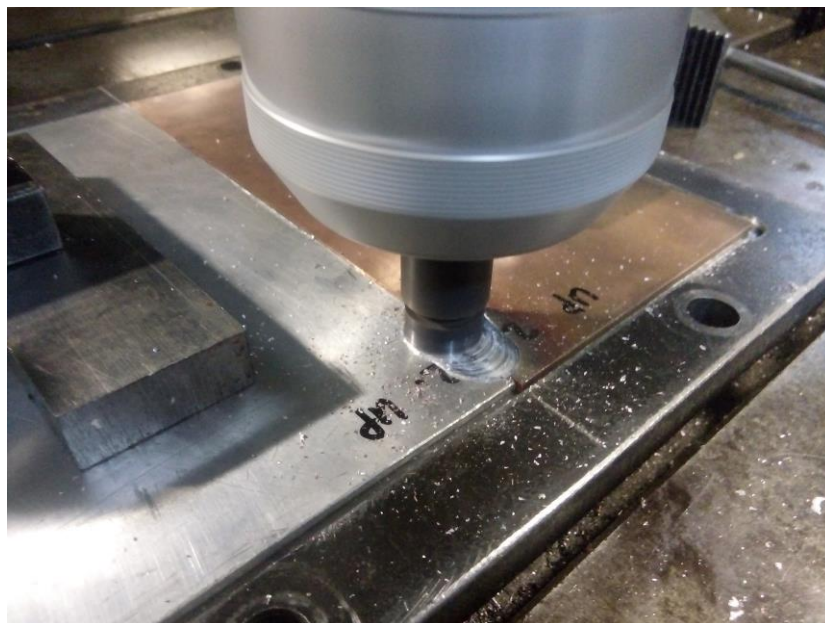
Gambar 3.17 Pemasangan Benda Kerja pada Ragum

2. Pasang *tool* pada *collet*, *tool* dipasang setelah *collet* terpasang pada adaptornya untuk meminimalisir kerusakan pada *collet*.



**Gambar 3.18 Collet Mesin Milling CNC**

3. Nyalakan mesin pada putaran *spindle* yang diinginkan.
4. Posisikan FSW *tool* sedekat mungkin dengan spesimen. Posisi *tool* tidak boleh melewati sisi terluar karena akan menghilangkan *downward force* dari *shoulder tool*.
5. Kunci meja mesin milling pada arah X dan Y. Penguncian meja ini bertujuan menjaga agar tidak terjadi pergeseran benda kerja (meja kerja) akibat adanya *lateral* dan *traverse force*.
6. Penetrasi *tool* FSW sampai *shoulder* menyentuh benda kerja.



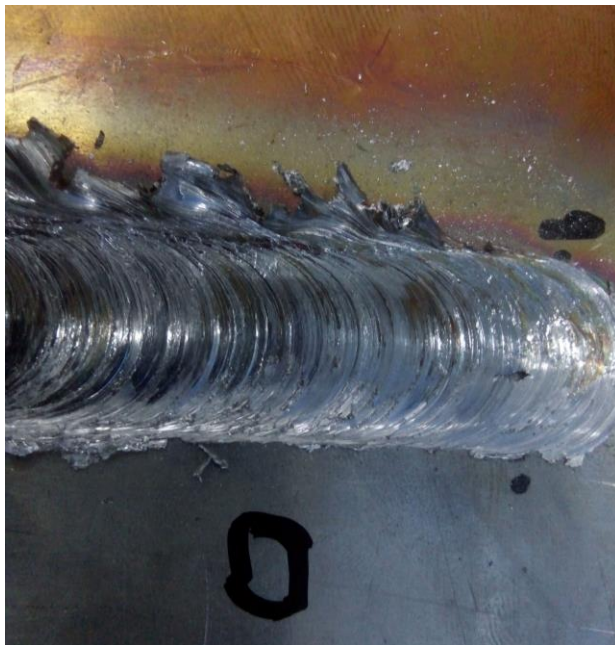
**Gambar 3.19 Penetrasi Tool**

7. Gerakan pada meja kerja pada arah sumbu Y dengan *travel speed* konstan 20 mm/menit. Pergerakan meja dilakukan dengan metode otomatis untuk menjaga kecepatan meja tetap konstan.



**Gambar 3.20** Proses Pengelasan *Friction Stir Welding*

8. Setelah selesai pada jarak travel dan benda kerja sudah tersambung, hentikan pergerakan meja kerja dan tarik *tool* keluar dari benda kerja.
9. Matikan spindle mesin dan posisikan terbebas dari FSW *tool*.
10. *Unloading* benda kerja dengan menggunakan tang penjepit dan berikan *marking nomer specimen*.
11. Potong hasil pengelasan tersebut dengan ukuran (l) 20 mm x (p) 200 mm, untuk dijadikan spesimen uji tarik



**Gambar 3.21** Hasil Pengelasan Atas dengan Probe/pin bentuk Oval



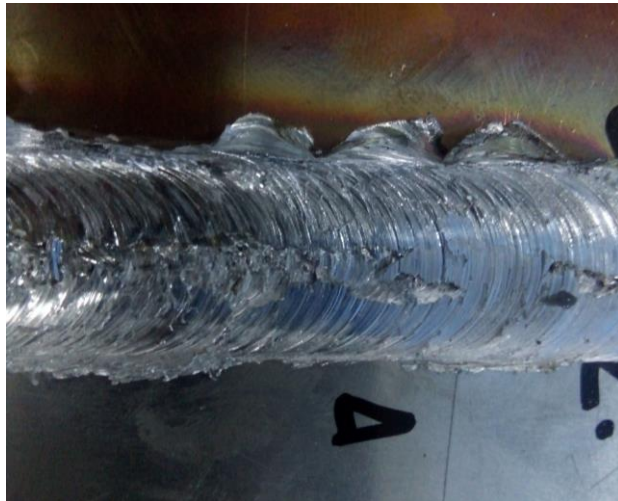
**Gambar 3.22 Hasil Pengelasan Belakang dengan Probe/pin bentuk Oval**



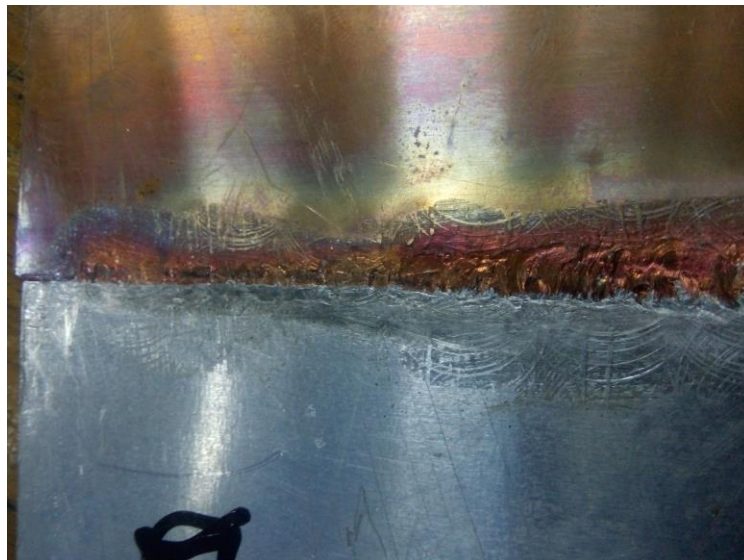
**Gambar 3.23 Hasil Pengelasan Atas dengan Probe/pin bentuk Kotak**



**Gambar 3.24 Hasil Pengelasan Belakang dengan Probe/pin bentuk Kotak**



**Gambar 3.25 Hasil Pengelasan Atas dengan Probe/pin bentuk Segitiga**

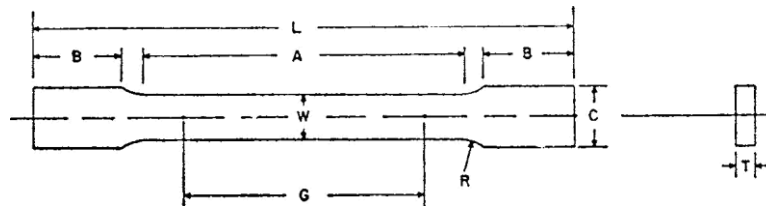


**Gambar 3.26 Hasil Pengelasan Belakang dengan Probe/pin bentuk Segitiga**

### **3.6.3 Spesimen Pengujian Tarik**

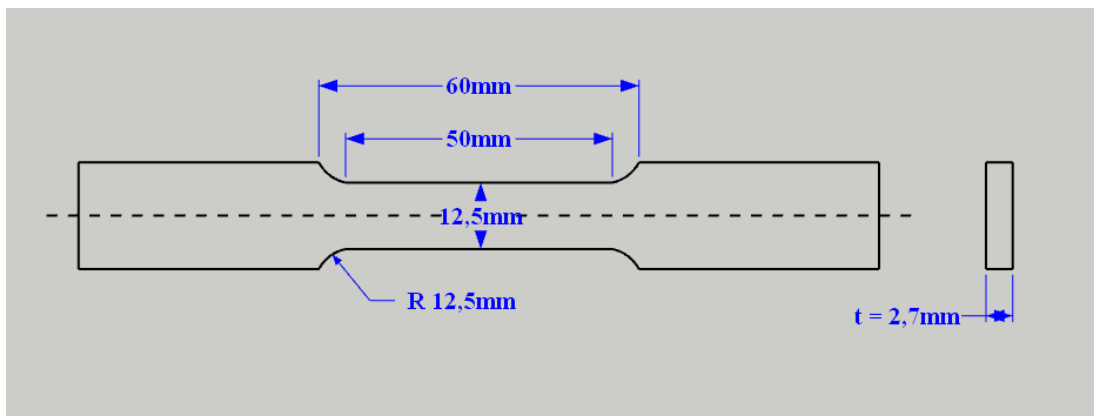
Tembaga yang telah di potong dengan ukuran lebar 20 mm x panjang 200 mm, proses selanjutnya adalah pemilihan bentuk dan dimensi dari benda uji. Seleksi standard yang dilakukan berdasarkan kesesuaian dimensi dari benda kerja pengelasan dengan specimen yang akan dibuat. Untuk material berbentuk plate, bar atau strip dengan ketebalan 2,7 mm menggunakan standard ASTM E8M-09.

**Tabel 3.4 Standard ASTM 8M-09**



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material 12.5 [0.500]	6 [0.250]
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	200 [8]	100 [4]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	57 [2.25]	32 [1.25]
A—Length of reduced section, min	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
B—Length of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

Dari standard benda uji yang ada maka yang sesuai dengan bentuk benda kerja pengelasan actual adalah specimen yang bisa digunakan, akan tetapi menyulitkan pada waktu proses pemesinan karena dalam bidang pengecam dari benda kerja kurang dari 50 %, sehingga berpotensi besar akan mengalami kegagalan. Ukuran dari benda uji tarik dapat dilihat pada gambar dibawah.



**Gambar 3.27 Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM 8M-09**



**Gambar 3.28 Spesimen Uji Tarik ASTM 8M-09**

### 3.6.4 Spesimen Pengamatan Struktur Mikro

Hasil pengelasan selanjutnya dipotong kecil-kecil dan diampelas-dipolishing untuk digunakan sebagai spesimen pengamatan struktur uji mikro menggunakan mikroskop optik. Berikut foto specimen pengamatan struktur mikro :



Gambar 3.29 Spesimen Pengamatan Struktur Mikro

## 3.7 Proses Pengujian

### 3.7.1. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik yang berada di Laboratorium Uji Bahan di Pemesinan Politeknik Negeri Malang. Pengujian dilakukan pada specimen hasil pengelasan yang dibentuk menurut standard ASTM E8-09, specimen 3. (*Annual Book ASTM Standards*)

### 3.7.2. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada sambungan Aluminium dengan Tembaga dalam pengujian ini dilakukan di laboratorium Metalurgi Politeknik Negeri Malang, dengan menggunakan Mikroskop Optik.

## 3.8 Analisa Data

Teknik analisa data yang dipakai dalam penelitian ini adalah menggunakan analisis deskriptif yaitu menggambarkan data hasil penelitian dalam bentuk table dan grafis seperti yang tercantum dalam rancangan tiap-tiap tebal pengujian.

**Tabel 3.5 Analisa Data Pengujian**

Bahan	Spesimen	Dimensi			Max Force	Tensile Strength	Elongation	$\Sigma$ Tensile Strength
		Lebar	Tebal	Luas Penampang				
		W (mm)	t (mm)	A <sup>0</sup> (mm <sup>2</sup> )	N	N/mm <sup>2</sup>		
Probe Oval	I							
	II							
Probe Kotak	I							
	II							
Probe Segitiga	I							
	II							
Aluminium	I							
Tembaga	I							

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengolahan Data

Data hasil pengujian Tarik dan Struktur Mikro dilakukan di Laboratorium Pemesinan dan Metalurgi Politeknik Negeri Malang Jl. Soekarno Hatta No.09 Malang Jawa Timur. Dimana hasil pengujian akan menjadi acuan dalam pengerjaan skripsi.

#### 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik

Pengujian hasil pengelasan *friction stir welding* dengan memakai plat aluminium dengan tembaga dengan tebal 2,7 mm, variasi bentuk Probe/pin Oval, Kotak, dan Segitiga, dengan laju pengelasan (*feeding*) yang konstan yaitu 20 mm/menit pada putaran *spindle* 2500 rpm, dan untuk *tool* yang digunakan dengan diameter *shoulder* 16 mm, diameter *probe* Oval 5 mm, probe kotak 3,5 mm, probe segitiga 4,3 mm, dan panjang *probe* 1,5 mm. Tabel dan perhitungan hasil pengujian tarik dengan 6 spesimen dapat disajikan di bawah ini.

Luas Area Las,  $A_0 = W \times t$

$$= 12,5 \text{ mm} \times 2,7 \text{ mm}$$

$$= 33,75 \text{ mm}^2$$

1. Hubungan tegangan pada sambungan aluminium dengan tembaga dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup>)

$p$  = Beban tarik (N)

$A_0$  = Luas penampang spesimen awal (mm<sup>2</sup>)

2. Hubungan regangan pada sambungan aluminium dengan tembaga dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad \text{Atau} \quad \epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

Keterangan :

$\epsilon$  = Regangan

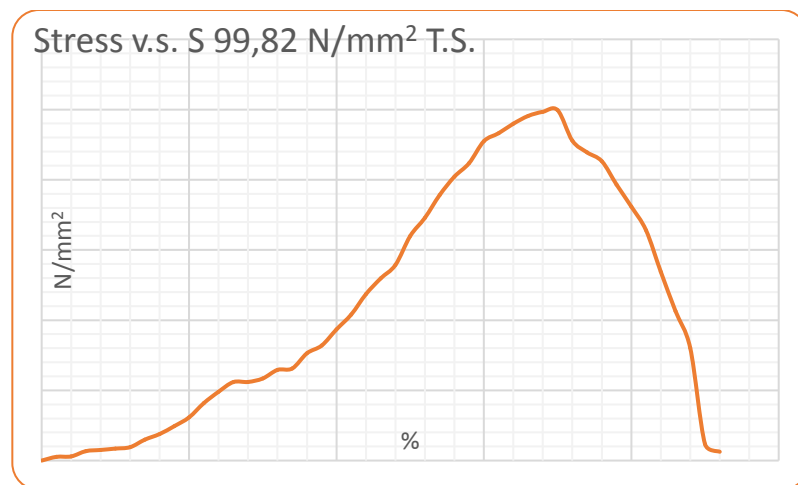
$L_0$  = Panjang awal batang uji (mm)

$L$  = Panjang batang uji saat menerima beban (mm)

#### 4.2.1 Perhitungan Data Dengan Variasi Bentuk *Probe/Pin* Oval

Dari hasil pengujian spesimen uji tarik yang telah dilakukan, maka perhitungan besar tegangan dan regangan tarik dengan variasi bentuk *probe/pin* oval adalah sebagai berikut :

##### 1) Hasil Pengujian Tarik Spesimen I Variasi bentuk *Probe/pin* Oval



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk *Probe/pin* Oval

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen I :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{3244,29 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 99,82 \quad (\text{N/mm}^2)$$

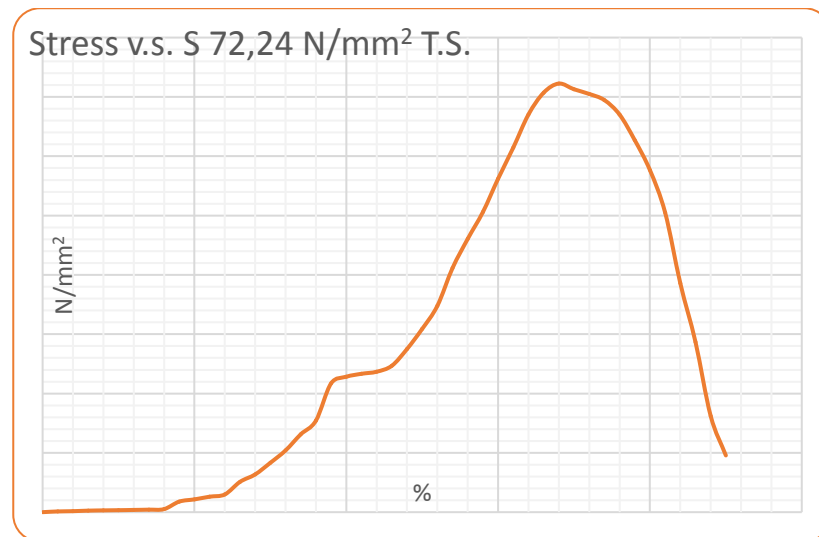
- Analisa perhitungan Regangan data spesimen I :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{82 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0,64 \%$$

## 2) Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *probe/pin* Oval



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *Probe/pin* Oval

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen II :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{2348,08 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 72,24 \quad (\text{N/mm}^2)$$

- Analisa perhitungan Regangan data spesimen II :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

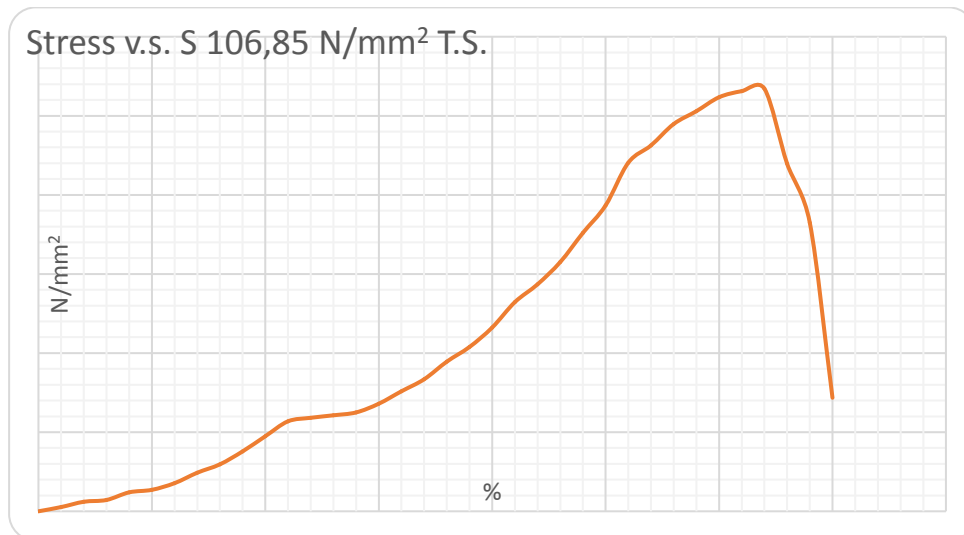
$$\varepsilon = \frac{83 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0,66 \%$$

#### 4.2.2 Perhitungan Data Dengan Variasi Bentuk *Probe/Pin* Kotak

Dari hasil pengujian spesimen uji tarik yang telah dilakukan, maka perhitungan besar tegangan dan regangan tarik dengan variasi bentuk probe kotak adalah sebagai berikut :

##### 1) Hasil Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk *probe/pin* Kotak



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk *Probe/pin* Kotak

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen I :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{3472,63 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 108,85 \quad (\text{N/mm}^2)$$

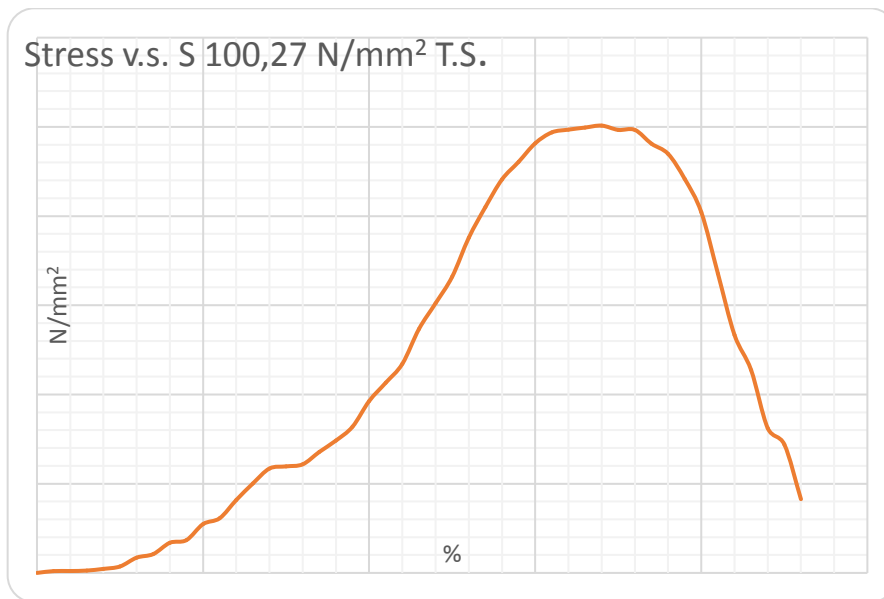
- Analisa perhitungan Regangan data spesimen I :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{84 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0,68 \%$$

## 2) Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *probe/pin* Kotak



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *Probe/pin* Kotak

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen II :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{3258,99 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 100,27 \quad (\text{N/mm}^2)$$

- Analisa perhitungan Regangan data spesimen II :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

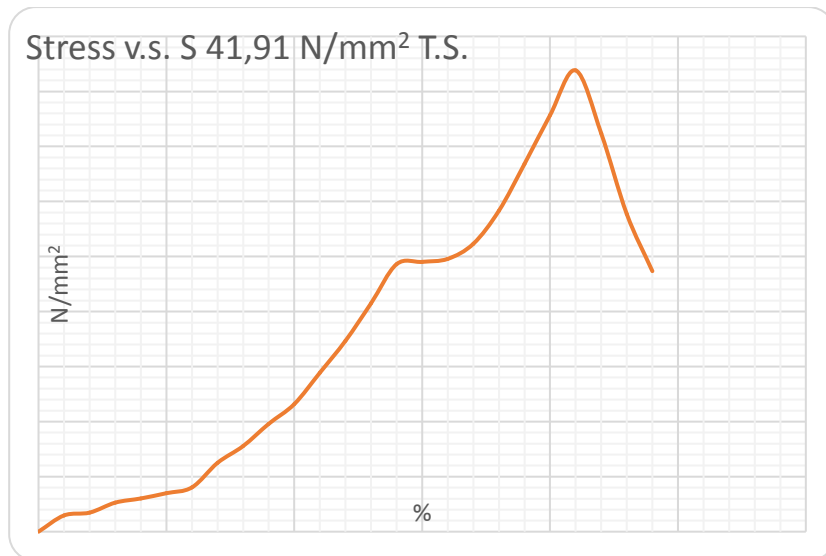
$$\varepsilon = \frac{85 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0,7 \%$$

### 4.2.3 Perhitungan Data Dengan Variasi Bentuk *Probe/Pin* Segitiga

Dari hasil pengujian spesimen uji tarik yang telah dilakukan, maka perhitungan besar tegangan dan regangan tarik dengan variasi bentuk probe kotak adalah sebagai berikut :

#### 1) Hasil Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk *Prube/pin* Segitiga



Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk *Prube/pin* Segitiga

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen I :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{1362,2 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 41,91 \quad (\text{N/mm}^2)$$

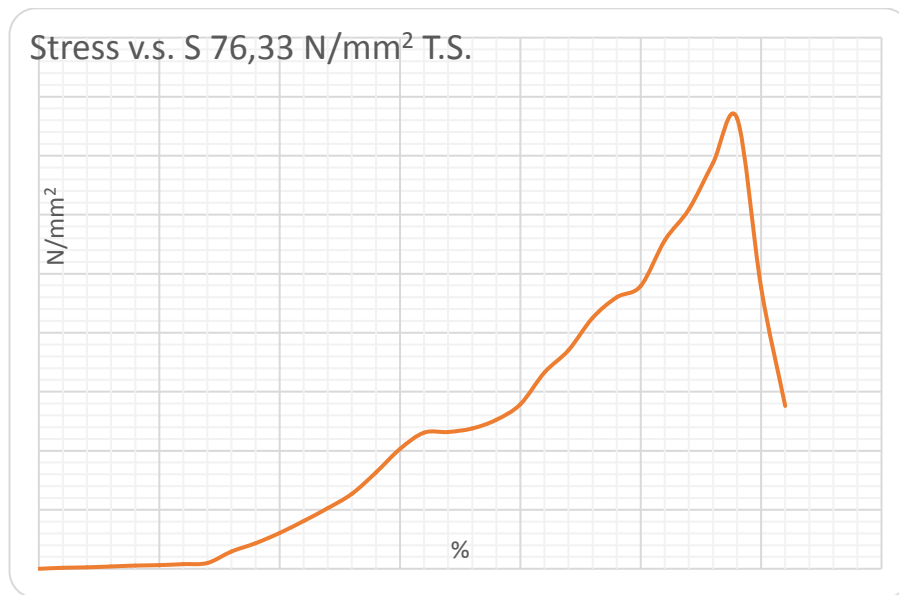
- Analisa perhitungan Regangan data spesimen I :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{73 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0,46 \%$$

## 2) Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *Prube/pin* Segitiga



Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *Prube/pin* Segitiga

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen II :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{2480,87 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 76,33 \quad (\text{N/mm}^2)$$

- Analisa perhitungan Regangan data spesimen II :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{81 - 50}{50} \times 100\%$$

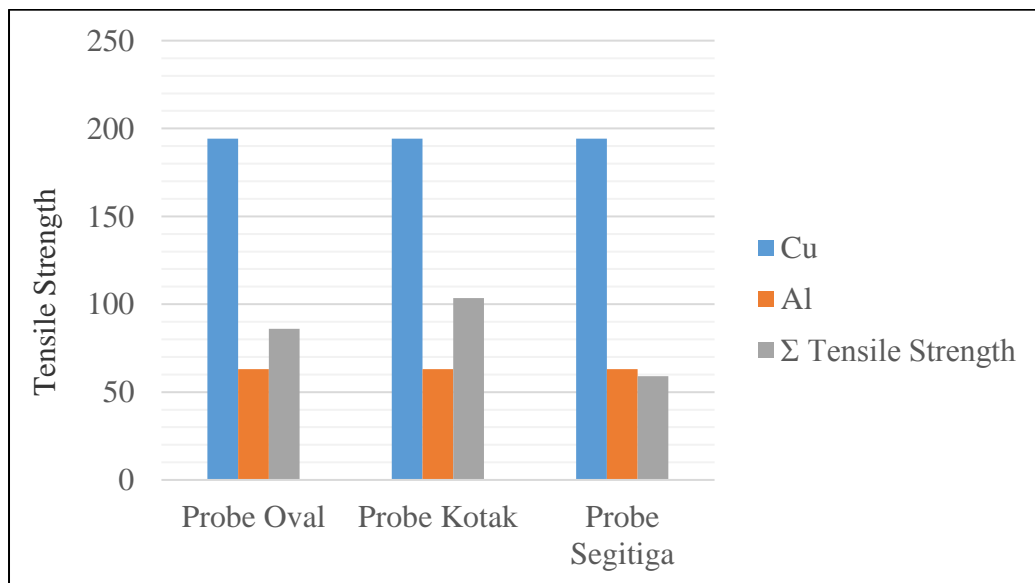
$$\varepsilon = 0,62 \%$$

### 4.3 Pembahasan dan Analisa Pengujian Tarik

Dari hasil perhitungan uji tarik di atas dapat dijelaskan lebih ringkas dalam tabel dan grafik di bawah :

**Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik**

Bahan	Spesimen	Dimensi			Max Force N	Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	Elongation	Σ Tensile Strength
		Lebar	Tebal	Luas Penampang				
		W (mm)	t (mm)	A <sup>0</sup> (mm <sup>2</sup> )				
Probe Oval	I	12,5	2,6	32,5	3244,29	99,82	0,64	86,03
	II	12,5	2,6	32,5	2348,08	72,24	0,66	
Probe Kotak	I	12,5	2,6	32,5	3472,63	106,85	0,68	103,56
	II	12,5	2,6	32,5	3258,99	100,27	0,7	
Probe Segitiga	I	12,5	2,6	32,5	1362,2	41,91	0,46	59,12
	II	12,5	2,6	32,5	2480,87	76,33	0,62	
Aluminium	I	12,5	2,6	32,5	2046,24	62,96	0,93	62,96
Tembaga	I	12,5	2,6	32,5	6311,69	194,205	3,26	194,20



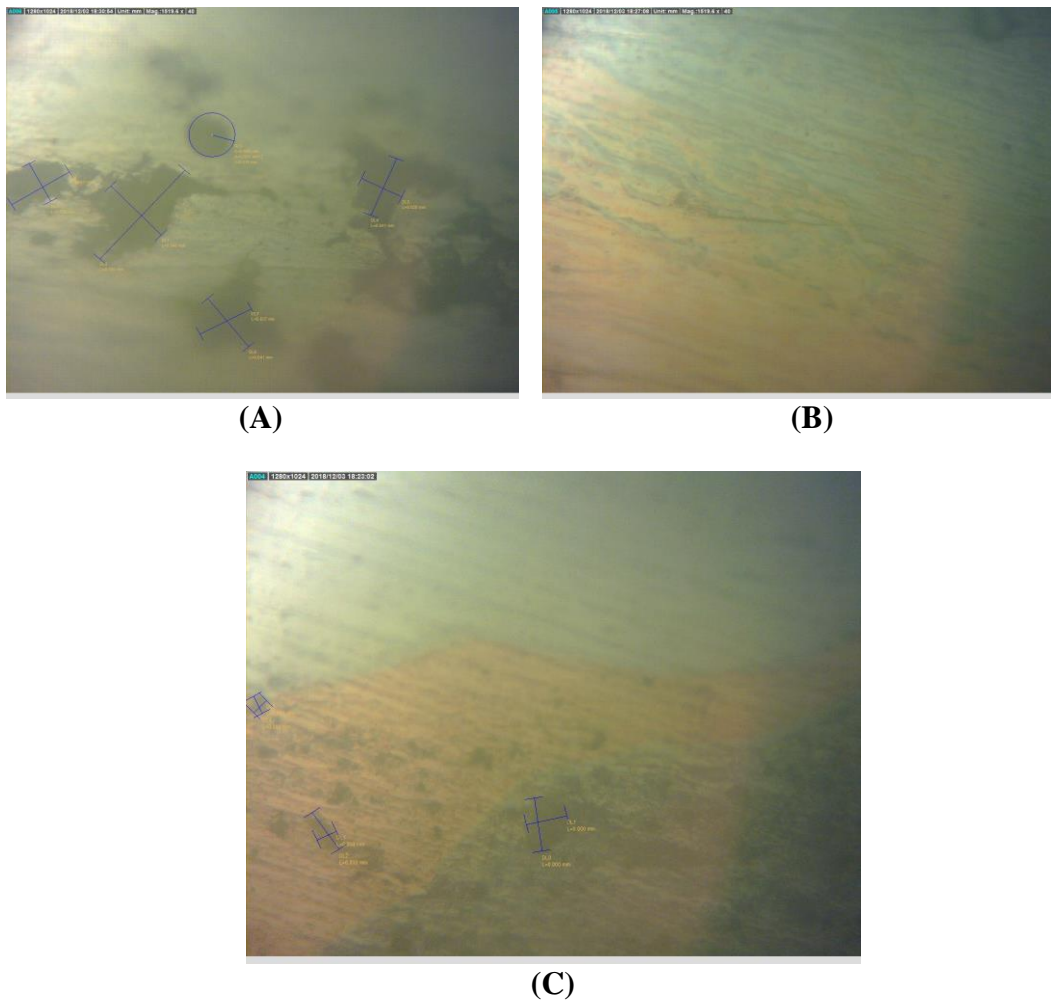
**Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Tarik**

Dari data pengujian tarik yang telah dilakukan seperti terdapat pada tabel 4.1 didapatkan rata-rata besar tegangan tarik pada hasil pengelasan dengan variasi Probe bentuk Oval sebesar 86,03 N/mm<sup>2</sup>, pada variasi Probe bentuk Kotak didapatkan besar tegangan 103,56 N/mm<sup>2</sup>, dan pada variasi Probe bentuk Segitiga didapatkan besar tegangan sebesar 86,53 N/mm<sup>2</sup>. Dari ketiga variasi bentuk Probe yang telah diuji, bentuk Probe Kotak memiliki tegangan tarik paling tinggi hal ini dipengaruhi oleh proses pengadukan material dan rongga-

rongga bentuk Probe yang seimbang sehingga meningkatkan kekuatan sambungan pengelasan. Sedangkan pada variasi bentuk Probe Segitiga dan Oval proses pengadukan material dan rongga-rongga bentuk Probe kurang sempurna, sehingga hasil pengelasan menyebabkan inklusi (pengotoran), porosity, dan rentan terjadinya retakan.

#### 4.4 Pembahasan dan Analisa Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode *friction stir welding* dengan variasi bentuk *Probe/pin*.



**Gambar 4.8 Foto Mikro Hasil Pengelasan Dengan Variasi: (a) Bentuk Oval, (b) Bentuk Kotak dan, (c) Bentuk Segitiga**

Dari gambar diatas dapat diketahui daerah *stir zone* hasil pengelasan dengan variasi bentuk **probe/pin oval** terlihat hasil pengelasan FSW Aluminium

dengan Tembaga rapat tidak terdapat cacat porosity (rongga udara yang terperangkap saat proses pengelasan). Sedangkan pada **probe/pin kotak** terlihat hasil pengelasannya sedikit cacat porosity, dan pada **probe/pin segitiga** terlihat banyak cacat porosity. Dari hasil pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik, penggunaan variasi bentuk probe/pin segitiga hasilnya sangat kurang memuaskan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, pengaruh variasi bentuk Probe/pin terhadap sifat mekanis hasil pengelasan Aluminium dengan Tembaga pada proses Friction Stir Welding dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Variasi bentuk probe/pin yang digunakan adalah Oval ( $D = 5\text{mm}$ ), Kotak ( $S = 3,7\text{mm}$ ), dan Segitiga ( $S = 4,3$ ).
2. Pada pengujian tarik hasil pengelasan, Luas Penampang ( $A_0$ ) di masing-masing variasi probe/pin sebesar  $33,75\text{ mm}^2$ .
3. Rata-rata kekuatan tarik dari setiap variasi adalah Oval =  $86\text{ N/mm}^2$ , Kotak =  $103,56\text{ N/mm}^2$ , dan Segitiga =  $59,12\text{ N/mm}^2$ . Dari data tersebut Probe berbentuk Kotak memiliki tegangan tarik yang paling tinggi.
4. Pada pengujian struktur mikro, probe berbentuk Kotak tidak terdapat cacat. Sedangkan probe berbentuk Oval memiliki sedikit cacat dibandingkan dengan probe berbentuk Segitiga.
5. Dengan demikian, pengelasan Aluminium dengan Tembaga pada proses *Friction Stir Welding* lebih baik menggunakan Probe/pin berbentuk Kotak.

#### **5.2 Saran**

Penelitian yang telah dilakukan ini memiliki beberapa kekurangan yang diharapkan dapat diperbaiki untuk penelitian selanjutnya. Ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut :

1. Diharapkan pada pembuatan alat pengujian selanjutnya perlu memperhatikan kondisi alat uji karena kondisi alat uji sangat mempengaruhi hasil pengujian.
2. Dalam perhitungan hasil pengujian diharapkan dilakukan secara teliti dan berulang-ulang agar dapat diperoleh hasil yang sesuai.

## DAFTAR PUSTAKA

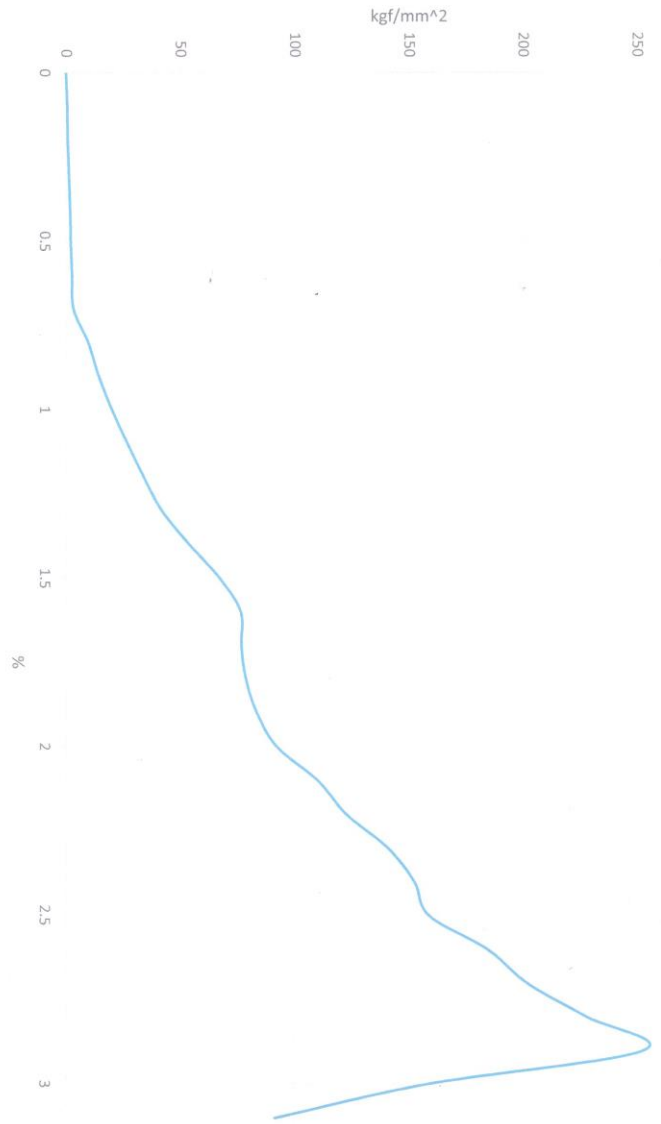
- Agung, Prabowo. 2005. Pengaruh Parameter *Traveling Speed* Pada Proses *Friction Stir Welding (FSW)* Pelat Al 1100-H8 Terhadap Kualitas Hasil Lasan. Universitas Lampung.
- Amanto, H. dan Daryanto, 2006 Ilmu Bahan. Jakarta: Bumi Aksara.
- ASTM. Volume 9. 2001. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*.
- Elangovan, K dan V. Balasubramanian. 2007. *Influences of Tool Pin Profile and Tool Shoulder Diameter on the Formation of Friction Stir Processing Zone in AA6061 Aluminium Alloy*. India: Annamalai University, Tamil Nadu.
- Helmi, Irfan, & Tarmizi. 2017. “pengaruh bentuk pin terhadap sifat mekanik aluminium 5083-H112 hasil proses *Friction Stir Welding*”. Balai Besar Logam dan Mesin. Bandung.
- M. Grujicic, G. Arakere, H.V. Yalavarthy, T. He, C. F. Yen, and B.A Cheeseman. 2010. *Modelling of AA5083 Material-Microstructure Evolution During Butt Friction-Stir Welding*. *ASM International, Journal of Materials Engineering and Performance*.
- Megantoro, Lukytoardi and Hendroprasetyo, Wing AP. ST. M, Eng. 2008. Pengaruh pengelasan aluminium 5083 terhadap sifat mekanis dan biaya pengelasan dengan perbedaan diameter shoulder pada *Friction Stir Welding (FSW)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- Mishra, Rajiv S. Murray W, Mahoney. 2007. *Friction Stir Welding and Processing*. Ohio: ASM International. (1-78)
- Okumura, T. & Wiryosumarto, H, 1996. Teknologi Pengelasan Logam, Pradnya Paramita. Jakarta.

# LAMPIRAN

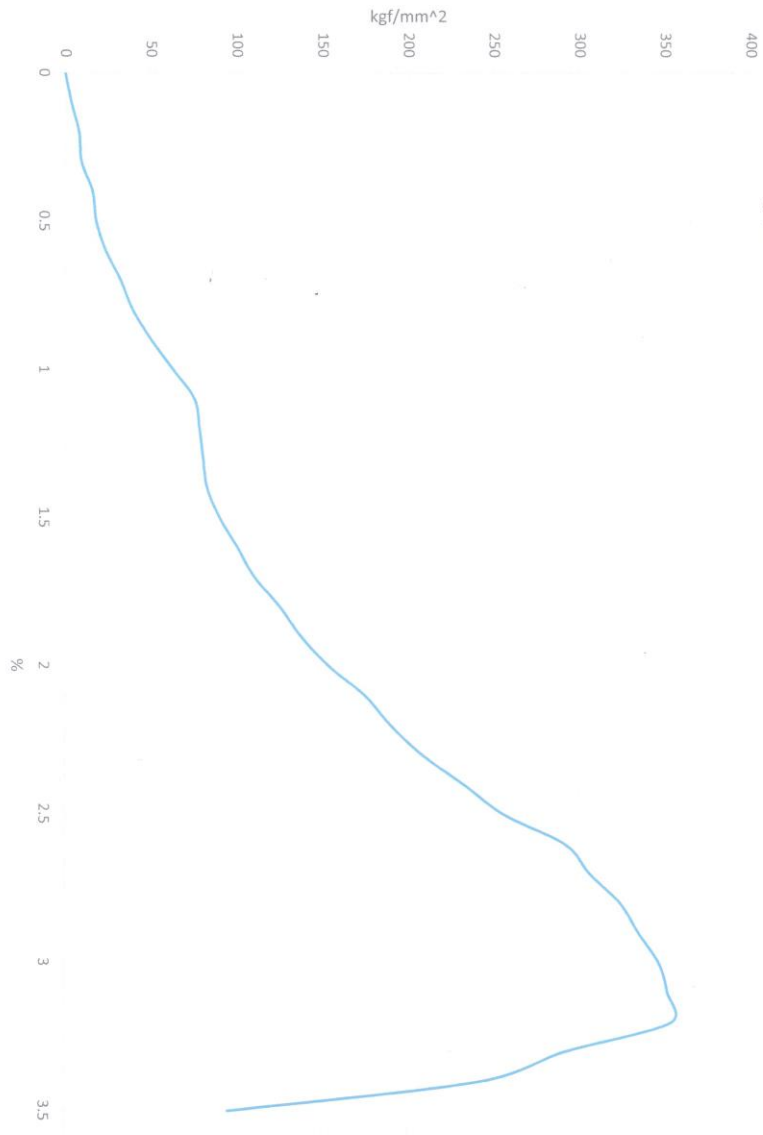
Stress v.s. S 1390 kgf/mm<sup>2</sup> T.S.



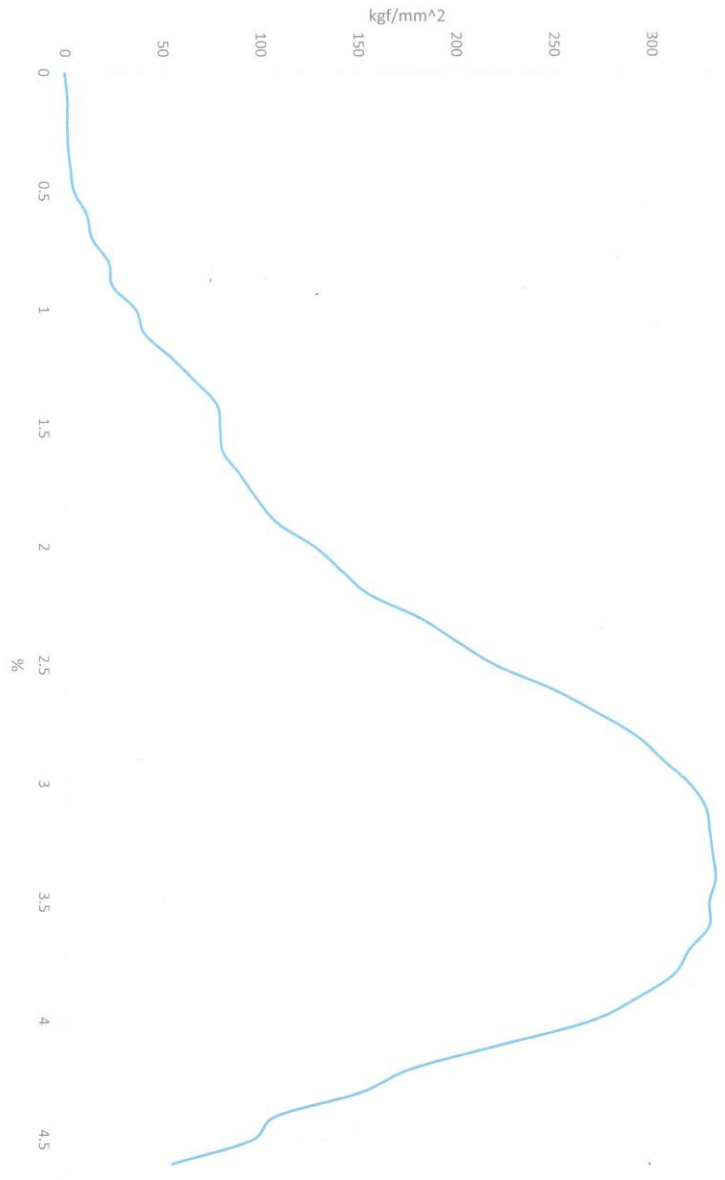
Stress vs. S 2531 kgf/mm<sup>2</sup> T.S.  
300



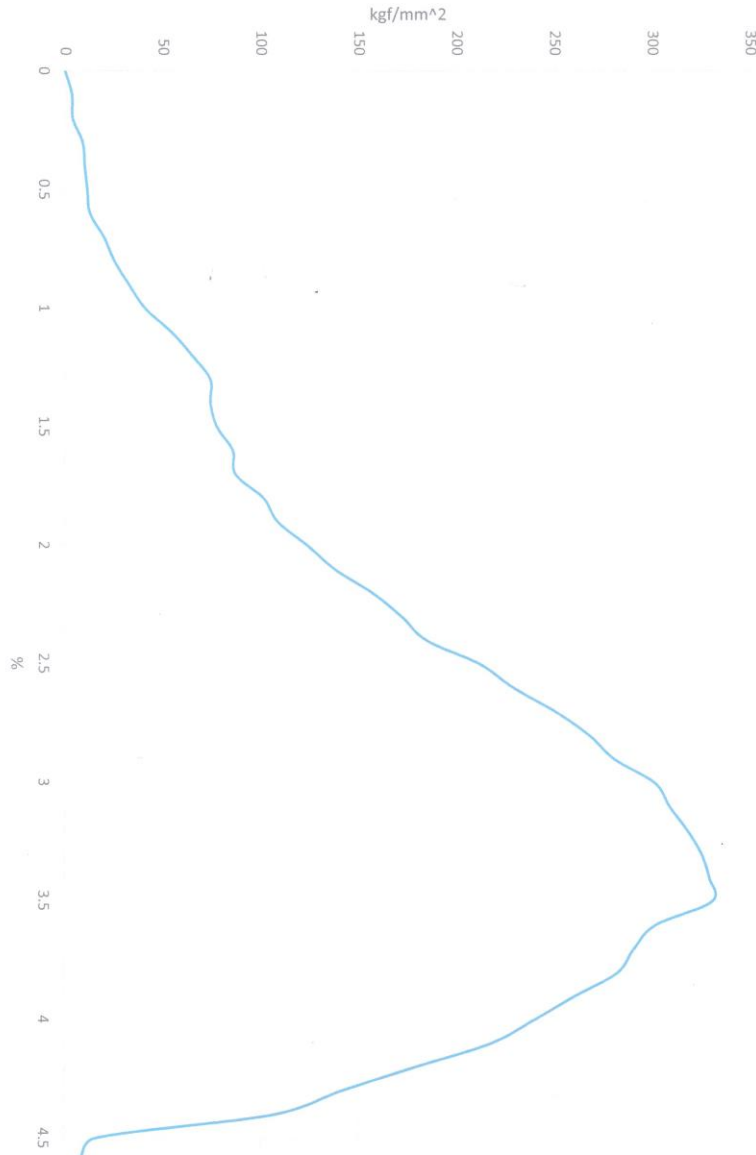
Stress vs S 3543 kgf/mm<sup>2</sup> T.S.



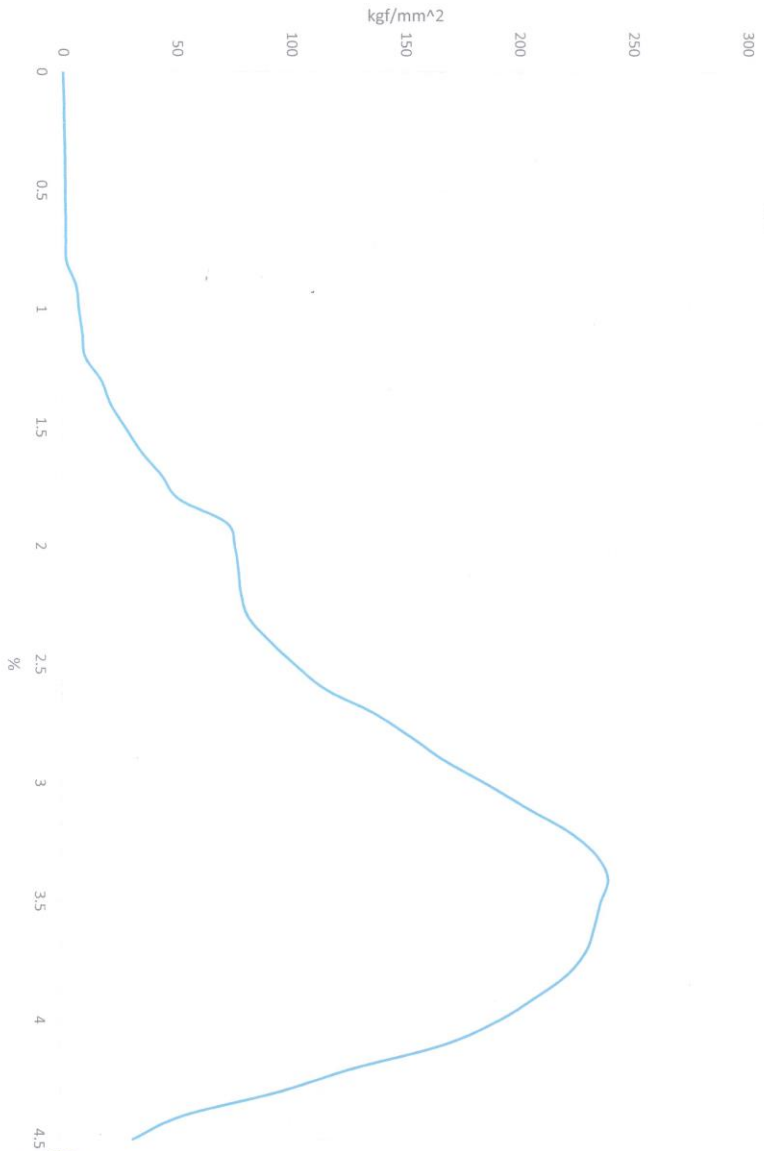
Stress vs S 3329 kgf/mm<sup>2</sup> T.S.  
350



Stress vs. S 3310 kgf/mm<sup>2</sup> T.S.



Stress v.s. S 2396 kgf/mm<sup>2</sup> T.S.





**SURAT KETERANGAN**  
**NOMOR : 233/PL2.TM/KM/2018**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ir. Kasijanto, MT.  
N I P : 19580815 199003 1 001  
Jabatan : Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Malang

Menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa :

Nama : Syafi'i Abdullah  
Nim : 1711909  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik Industri  
Institut Teknologi Nasional

Benar benar telah melaksanakan pengambilan data *Friction Stir Welding* Aluminium dengan Tembaga , Pengujian Tarik dan Pengujian Struktur Micro di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang pada tanggal 5 sampai 29 November 2018, guna keperluan penyusunan skripsi.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Malang, 4 Desember 2018  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Kasijanto, MT.  
19580815 199003 1 001