



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PROSES *FRICTION STIR WELDING (FSW)* PADA
PLAT TIPIS ALUMINIUM**

SKRIPSI

DEDEN RAHAYU

0906604716

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PROSES *FRICTION STIR WELDING* (FSW) PADA
PLAT TIPIS ALUMINIUM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DEDEN RAHAYU

0906604716

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

ANALISIS PROSES *FRICTION STIR WELDING (FSW)* PADA PLAT TIPIS ALUMINIUM

Yang dibuat untuk melengkapi sebagai persyaratan menjadi sarjana teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah di publikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : Deden Rahayu

NPM : 0906604716

Tanda Tangan : 

Tanggal : 2 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Deden Rahayu

NPM : 0906604716

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : **ANALISIS PROSES FRICTION STIR WELDING (FSW)
PADA PLAT TIPIS ALUMINIUM**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ario Sanar Baskoro, ST.,MT.,MEng

Penguji : Dr. Ir. Gandjar Kiriwanto, MEng

Penguji : Yudan Whulanza, ST.,MSc.,PhD

Penguji : Jos Istiyanto, ST.,MT.,PhD

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa dalam proses pembuatan hingga selesainya skripsi ini banyak pihak yang telah membantu dan menyemangati saya dalam pembuatan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

- 1) Istri (Yohana) dan anak (Eldyla Fakhirah) saya tersayang yang selalu mensupport baik secara moril maupun materiil.
- 2) Orang tua dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan bantuan baik moril maupun materiil.
- 3) Dr. Ario Sunar Baskoro ST.,MT.,MEng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
- 4) Bapak Suwarsono selaku pembimbing serta penasihat yang telah membimbing penulis selama berada di UI.
- 5) Albertus Aan selaku partner yang telah bekerja sama dengan baik selama pengerjaan skripsi ini.
- 6) Tim teknisi CNC dan Material Polteknik Negeri Bandung yang telah memberikan bantuannya dalam praktikum percobaan yang telah dibuat.
- 7) Teman-teman Politeknik Manufaktur Astra yang telah memberikan bantuannya dalam praktikum uji mekanikal material hasil percobaan.
- 8) Bu Santi, Pak Hendra, Om Ronny, Yudi, Taufan, Sindy, Rizky yang telah ikut berkontribusi dan pengertiannya untuk memberikan waktu luang di kantor (Astra Daihatsu Motor-VLC) dalam pembuatan skripsi ini.

Depok, 2 Juli 2012



Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, penulis yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Deden Rahayu
NPM : 0906604716
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah yang berjudul :

ANALISIS PROSES *FRICTION STIR WELDING (FSW)* PADA PLAT TIPIS ALUMINIUM

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pengkalaan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir penulis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian Pernyataan ini penulis buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 2 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Deden Rahayu)

ABSTRAK

Nama : Deden Rahayu

NPM : 0906604716

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : **ANALISIS PROSES *FRICITION STIR WELDING (FSW)*
PADA PLAT TIPIS ALUMINIUM**

Friction Stir Welding (FSW) adalah suatu teknologi pengelasan yang merupakan proses *solid-state joining* yang bisa digunakan untuk menyambungkan material yang berbeda, karakter awal base material bisa dipertahankan dan juga tidak memerlukan bahan tambah (*filler*). Distorsi dari hasil proses FSW sangat rendah dikarenakan prosesnya dalam keadaan padat sehingga defleksi setelah pengelasan bisa diminimalisir dengan kekuatan sebanding dengan proses pengelasan lain dan juga dapat diaplikasikan pada material-material yang sulit dilas bila menggunakan metode konvensional atau teknik penyambungan lain seperti solder atau rivet.

Tipe sambungan pada FSW yang akan dilakukan adalah tipe *Lap Welding* dan *Spot Welding*. Adapun parameter yang akan digunakan adalah kecepatan putaran *tool*, kecepatan translasi *tool (feeding)*, kemiringan *tool* saat proses pengelasan, dan desain mata pisau *tool*. Mesin yang digunakan pada proses ini yaitu mesin CNC tipe *adjustable vertical milling machine* sehingga hasil tiap langkah proses pengelasan akan seragam.

Untuk mengetahui kekuatan mekanik dari spesimen maka dilakukan uji kekasaran permukaan (*surface roughness*) dan uji tarik untuk setiap specimen yang berbeda tiap parameternya.

Hasil analisis data dengan menggunakan metode Grafik, *Chi Square*, dan *Response Surface Methodology (RSM)* menunjukkan bahwa setiap parameter yang digunakan pada proses FSW mempengaruhi kekuatan mekanik dan kekasaran permukaan pada material hasil pengelasan.

Kata kunci: Friction Stir Welding (FSW), Lap Welding, Spot Welding, Surface Roughness, Tensile Stress, Chi Square, Response Surface Methodology.

ABSTRACT

Name : Deden Rahayu
NPM : 0906604716
Program : Teknik Mesin
Topic : **ANALYSIS OF FRICTION STIR WELDING (FSW) PROCESS
IN WELDING OF ALUMINUM THIN PLATE**

Friction Stir Welding (FSW) is a welding technology which is a solid-state joining process that can be used to connect different materials. The initial character of the base material can be maintained and also does not require the added material (filler). Distortion of the FSW process is very low due to the process in the solid state so that the deflection after welding can be minimized with the strength compare to other welding processes, FSW can also be applied to materials that are difficult to weld when using conventional methods or other sewing techniques such as Solder or Rivet.

In this study, the type of connection with FSW method are Lap Welding and Spot Welding. The parameters were the tool rotation speed, translational speed of the tool (feeding), the slope of the tool when the welding process, and tool shape. Machine that used in this process was the adjustable CNC vertical milling machine so that the results of each step of the welding process will be uniform.

To find the mechanical strength of the performed test specimens surface roughness and tensile test for each different specimens each parameter were investigated.

The results of data analysis using Graph Method, Chi Square, and Response Surface Methodology (RSM) showed that each parameter used in the FSW process influences to mechanical strength and surface roughness of welded materials.

Keywords: Friction Stir Welding (FSW), Lap welding, Spot Welding, Surface Roughness, Tensile Stress, Chi Square, Response Surface Methodology.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3. TUJUAN PENELITIAN	2
1.4. PEMBATAAN MASALAH	3
1.5. METODOLOGI PENELITIAN	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	6
BAB 2 DASAR TEORI.....	7
2.1. PENGERTIAN <i>FRICITION STIR WELDING</i> (FSW)	7
2.1.1. PRINSIP KERJA <i>FRICITION STIR WELDING</i> (FSW).....	7
2.1.2. SIKLUS PROSES <i>FRICITION STIR WELDING</i> (FSW).....	9
2.1.3. <i>DEPT OF WELD</i> DAN KEMIRINGAN <i>TOOL</i>	10
2.1.4. DESAIN <i>TOOL</i>	10
2.1.5. GAYA PADA <i>FRICITION STIR WELDING</i>	13
2.2. JENIS SAMBUNGAN PADA <i>FRICITION STIR WELDING</i>	14
2.2.1. SAMBUNGAN <i>BUTT</i>	14
2.2.2. SAMBUNGAN TUMPUK (<i>LAP JOINT</i>).....	16
2.3. KETETAPAN DAN TERMINOLOGI FSW	17
2.4. VARIABEL PROSES	19
2.5. KEUNTUNGAN DAN APLIKASI FSW	20
2.6. UJI MEKANIK.....	24
2.6.1. UJI TARIK	24
2.6.2. KEKASARAN PERMUKAAN	27
2.7. MATERIAL ALUMUNIUM	28
2.8. METODE ANALISIS	34
2.8.1. <i>CHI SQUARE</i>	34
2.8.2. <i>RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)</i>	35
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	37
3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN	37

3.2. ALAT DAN MATERIAL PENGUJIAN	38
3.2.1. ALAT/MESIN PEMBUATAN PERCOBAAN PENGELASAN	38
3.2.2. BENDA UJI PENGELASAN	39
3.3. <i>TOOL</i> / PAHAT	42
3.4. PROSES PENGELASAN	44
BAB 4 ANLISIS DATA	47
4.1. KARAKTERISISASI HASIL PERCOBAAN PENGELASAN.....	47
4.2. DATA HASIL PERCOBAAN PENGELASAN.....	48
4.2.1 HASIL KEKASARAN PERMUKAAN (<i>SURFACE ROUGHNESS</i>)	48
4.2.1 HASIL UJI TARIK	50
4.3. ANALISA HASIL PENGUJIAN PERCOBAAN FSW PADA SAMBUNGAN <i>LAP WELDING (CHI SQUARE DAN GRAFIK)</i>	53
4.3.1 <i>TOOL</i> DENGAN <i>PROBE</i> LURUS PADA PENGUJIAN KEKASARAN PERMUKAAN.....	53
4.3.2. <i>TOOL</i> DENGAN <i>PROBE</i> TIRUS PADA PENGUJIAN KEKASARAN PERMUKAAN.....	56
4.3.3. <i>TOOL</i> DENGAN <i>PROBE</i> LURUS PADA PENGUJIAN TARIK	59
4.3.4. <i>TOOL</i> DENGAN <i>PROBE</i> TIRUS PADA PENGUJIAN TARIK	62
4.4. ANALISA HASIL PENGUJIAN PERCOBAAN FSW PADA METODE SAMBUNGAN <i>SPOT WELDING</i>	65
4.5. ANALISA HASIL PENGUJIAN PERCOBAAN FSW DENGAN MENGUNAKAN <i>RESPONSE SURFACE METHODOLOGY</i>	68
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
LAMPIRAN.....	74
DAFTAR PUSTAKA	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip Dasar Proses FSW	8
Gambar 2.2	Skema Kerja FSW.....	8
Gambar 2.3	<i>Heat Zone</i> pada FSW	8
Gambar 2.4	Skema <i>Stir Welding</i>	10
Gambar 2.5	Konfigurasi Desain <i>Tool</i> FSW	12
Gambar 2.6	Contoh Desain Pin pada <i>Tool</i> FSW	12
Gambar 2.7	Gaya-Gaya pada <i>Friction Stir Welding</i>	13
Gambar 2.8	Deskripsi Proses FSW pada Sambungan <i>Butt</i>	14
Gambar 2.9	Variasi Kekerasan Sepanjang Sambungan <i>Butt</i>	16
Gambar 2.10	<i>Tool</i> untuk Sambungan Tumpuk.....	16
Gambar 2.11	Terminologi FSW	18
Gambar 2.12	Kedalaman <i>Shoulder (Shoulder Plunge)</i>	18
Gambar 2.13	<i>Face, Toe, dan Root</i> pada FSW	19
Gambar 2.14	Arah Uji Tarik Berdasarkan Orientasi Pengelasan	19
Gambar 2.15	Konfigurasi Sambungan FSW	21
Gambar 2.16	Uang Logam.....	22
Gambar 2.17	Aluminium Foil.....	22
Gambar 2.18	Aluminium Foam	23
Gambar 2.19	Velg Mobil	23
Gambar 2.20	Roda Gigi	23
Gambar 2.21	Pesawat Terbang	23
Gambar 2.22	Gambar Singkat Uji Tarik.....	24
Gambar 2.23	Kurva Tegangan Regangan.....	25
Gambar 2.24	Profil Data Hasil Uji Tarik.....	25
Gambar 2.25	Parameter-Parameter dalam Profil Permukaan	27
Gambar 2.26	Aluminium <i>Casting</i> dan Tempa.....	29
Gambar 2.27	Metode Pembentukan Aluminium	30
Gambar 3.1	Diagram Alir Percobaan FSW pada Plat Tipis Aluminium...	37
Gambar 3.2	Mesin CNC	38

Gambar 3.3	Ragum Meja Datar	39
Gambar 3.4	Pencekam Spesimen.....	39
Gambar 3.5	Spesimen untuk Pengelasan	41
Gambar 3.6	Mesin Potong untuk Plat	42
Gambar 3.7	Dimensi <i>Tool</i> #1 dengan <i>Probe</i> Lurus	42
Gambar 3.8	<i>Tool</i> #1 dengan <i>Probe</i> Lurus.....	43
Gambar 3.9	Dimensi <i>Tool</i> #1 dengan <i>Probe</i> Tirus (120^0).....	43
Gambar 3.10	<i>Tool</i> #1 dengan <i>Probe</i> Tirus (120^0).....	44
Gambar 3.11	Proses Kalibrasi Pencekam Spesimen	44
Gambar 3.12	Monitor untuk Programming CNC	45
Gambar 3.13	Proses Pengelasan	46
Gambar 3.14	Penandaan Spesimen Uji.....	46
Gambar 4.1	Hasil Pengelasan pada Metode <i>Lap Weding</i> Terjadi Cacat...	47
Gambar 4.2	Hasil Pengelasan pada Metode <i>Lap Weding</i> Tidak Terjadi <i>Cacat</i>	47
Gambar 4.3	Hasil Pengelasan pada Metode <i>Spot Weding</i> Terjadi Lubang	47
Gambar 4.4	Hasil Pengelasan pada Metode <i>Lap Weding</i> Tidak Terjadi <i>Lubang</i>	47
Gambar 4.5	Grafik <i>Surface Roughness</i> pada Sudut 0^0 untuk <i>Tool</i> Lurus..	53
Gambar 4.6	Grafik <i>Surface Roughness</i> pada Sudut 1^0 untuk <i>Tool</i> Lurus..	54
Gambar 4.7	Grafik <i>Surface Roughness</i> pada Sudut 2^0 untuk <i>Tool</i> Lurus..	55
Gambar 4.8	Grafik <i>Surface Roughness</i> pada Sudut 0^0 untuk <i>Tool</i> Tirus ..	56
Gambar 4.9	Grafik <i>Surface Roughness</i> pada Sudut 1^0 untuk <i>Tool</i> Tirus ..	57
Gambar 4.10	Grafik <i>Surface Roughness</i> pada Sudut 2^0 untuk <i>Tool</i> Tirus ..	58
Gambar 4.11	Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 0^0 untuk <i>Tool</i> Lurus	59
Gambar 4.12	Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 1^0 untuk <i>Tool</i> Lurus	60
Gambar 4.13	Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 2^0 untuk <i>Tool</i> Lurus	61
Gambar 4.14	Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 0^0 untuk <i>Tool</i> Tirus	62
Gambar 4.15	Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 1^0 untuk <i>Tool</i> Tirus	63
Gambar 4.16	Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 2^0 untuk <i>Tool</i> Tirus	64

Gambar 4.17	Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 0^0 untuk Proses <i>Spot Welding</i>	65
Gambar 4.18	Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 1^0 untuk Proses <i>Spot Welding</i>	66
Gambar 4.19	Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 2^0 untuk Proses <i>Spot Welding</i>	67
Gambar 4.20	RSM pada <i>Tool</i> Lurus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Translasi dengan Sudut ($^{\circ}$) Terhadap Hasil Uji Tarik pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	68
Gambar 4.21	RSM pada <i>Tool</i> Tirus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Translasi dengan Sudut ($^{\circ}$) Terhadap Hasil Uji Tarik pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	68
Gambar 4.22	RSM pada <i>Tool</i> Lurus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Translasi (<i>feed rate</i>) dengan Kecepatan Putar Terhadap Hasil Uji Tarik pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	68
Gambar 4.23	RSM pada <i>Tool</i> Tirus untuk Melihat Pengaruh kecepatan Translasi (<i>feed rate</i>) dengan Kecepatan Putar Terhadap Hasil Uji Tarik pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	69
Gambar 4.24	RSM pada <i>Tool</i> Lurus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Translasi (<i>feed rate</i>) dengan Sudut ($^{\circ}$) Terhadap hasil Uji Tarik pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	69
Gambar 4.25	RSM pada <i>Tool</i> Tirus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Translasi (<i>feed rate</i>) dengan sudut ($^{\circ}$) Terhadap Hasil Uji Tarik pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	69
Gambar 4.26	RSM pada <i>Tool</i> Lurus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Translasi (<i>feed rate</i>) dengan Kecepatan Putar <i>Tool</i> Terhadap Hasil Uji Kekasaran Permukaan pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	70

Gambar 4.27	RSM pada <i>Tool</i> Tirus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Translasi (<i>feed rate</i>) dengan Kecepatan Putar <i>Tool</i> Terhadap hasil Uji Kekasaran Permukaan pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	70
Gambar 4.28	RSM pada <i>Tool</i> Lurus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Putar <i>Tool</i> dengan Sudut ($^{\circ}$) Terhadap Hasil Uji Kekasaran Permukaan pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	71
Gambar 4.29	RSM pada <i>Tool</i> Lurus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Putar <i>Tool</i> dengan Sudut Terhadap Hasil Uji Kekasaran Permukaan pada Metode Sambungan <i>LapWelding</i>	71
Gambar 4.30	RSM pada <i>Tool</i> Lurus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan <i>Dwell Time</i> dengan Sudut ($^{\circ}$) Terhadap Hasil Uji Tarik pada Metode Sambungan <i>Spot Welding</i>	71
Gambar 4.31	RSM pada <i>Tool</i> Lurus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan <i>Dwell Time</i> dengan Kecepatan Putar Terhadap Hasil Uji Tarik pada Metode Sambungan <i>Spot Welding</i>	72
Gambar 4.32	RSM pada <i>Tool</i> Lurus untuk Melihat Pengaruh Kecepatan Putar <i>Tool</i> dengan Sudut ($^{\circ}$) Terhadap Hasil Uji Tarik pada Metode Sambungan <i>Spot Welding</i>	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Contoh Material <i>Tool</i> FSW dan Aplikasinya.....	11
Tabel 2.2	Angka Kekasaran Permukaan	28
Tabel 2.3	Pembagian Material Berdasarkan Komposisi Kimia.....	30
Tabel 2.4	Pembagian Material Berdasarkan Sifat Mekanik	31
Tabel 3.1	Sifat Mekanik dari Aluminium AA1050	40
Tabel 3.2	Property Mekanik dari Aluminium AA1050	40
Tabel 3.3	Kandungan dari Aluminium AA1050.....	40
Tabel 3.4	Kemampuan Proses dari Aluminium AA1050	41
Tabel 3.5	Parameter untuk <i>Lap Welding</i>	45
Tabel 3.6	Parameter untuk <i>Spot Welding</i>	45
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan pada Metode Sambungan <i>Lap Welding</i>	48
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Tarik pada Metode Sambungan <i>Lap Welding</i>	50
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Tarik pada Metode Sambungan <i>Spot Welding</i>	52
Tabel 4.4	<i>Chi Square</i> Kekasaran Permukaan pada sudut 0^0 untuk <i>Tool</i> Lurus	53
Tabel 4.5	<i>Chi Square</i> Kekasaran Permukaan pada sudut 1^0 untuk <i>Tool</i> Lurus	54
Tabel 4.6	<i>Chi Square</i> Kekasaran Permukaan pada sudut 2^0 untuk <i>Tool</i> Lurus	55
Tabel 4.7	<i>Chi Square</i> Kekasaran Permukaan pada sudut 0^0 untuk <i>Tool</i> Tirus	56
Tabel 4.8	<i>Chi Square</i> Kekasaran Permukaan pada sudut 1^0 untuk <i>Tool</i> Tirus	57
Tabel 4.9	<i>Chi Square</i> Kekasaran Permukaan pada sudut 2^0 untuk <i>Tool</i> Tirus	58
Tabel 4.10	<i>Chi Square</i> Pengujian Tarik pada sudut 0^0 untuk <i>Tool</i>	

	Lurus	59
Tabel 4.11	<i>Chi Square</i> Pengujian Tarik pada sudut 1^0 untuk <i>Tool</i>	
	Lurus	60
Tabel 4.12	<i>Chi Square</i> Pengujian Tarik pada sudut 2^0 untuk <i>Tool</i>	
	Lurus	61
Tabel 4.13	<i>Chi Square</i> Pengujian Tarik pada sudut 0^0 untuk <i>Tool</i>	
	Tirus	62
Tabel 4.14	<i>Chi Square</i> Pengujian Tarik pada sudut 1^0 untuk <i>Tool</i>	
	Tirus	63
Tabel 4.15	<i>Chi Square</i> Pengujian Tarik pada sudut 2^0 untuk <i>Tool</i>	
	Tirus	64
Tabel 4.16	<i>Chi Square</i> Pengujian Tarik pada sudut 0^0 untuk Proses	
	<i>Spot Welding</i>	65
Tabel 4.17	<i>Chi Square</i> Pengujian Tarik pada sudut 1^0 untuk Proses	
	<i>Spot Welding</i>	66
Tabel 4.18	<i>Chi Square</i> Pengujian Tarik pada sudut 2^0 untuk Proses	
	<i>Spot Welding</i>	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

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

Jika kita lihat dari properties dan fungsi dari Aluminium seharusnya aplikasi *aluminium* untuk masyarakat umum sangatlah banyak digunakan namun yang menjadi kendala adalah proses pengelasannya dikarenakan proses penyambungan *aluminium* dengan pengelasan sangat tidak mudah dan jarang ditemukan di masyarakat umum tidak seperti halnya pengelasan baja sehingga suatu saat nanti jika peralatan tersebut rusak maka akan sangat sulit untuk diperbaiki karena keterbatasan tempat untuk menyambung *aluminium* tidak seperti teknologi proses pengelasan pada baja yang sudah umum banyak digunakan oleh masyarakat luas. Teknologi pengelasan tersebut misalnya:

1. *Oxy Acetylene Welding* (OAW) atau biasanya dikenal dengan las karbit.
2. *Gas Metal Arc Welding* (GMAW): *Tungsten Inert Gas* (TIG) & *Metal Inert Gas* (MIG).
3. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau biasa dikenal dengan las listrik.

Pada umumnya masyarakat Indonesia atau bahkan masyarakat luar Indonesia biasanya untuk piranti perkakas menggunakan tipe penyambungan seperti ripet dan solder. Kedua penyambungan ini sangat sangat terbatas jika dilihat dari beberapa aspek fungsi misalnya hasil penyambungan dengan menggunakan ripet yang mana hasilnya akan menambah tebal, menggunakan bahan tambah dan juga ada bahan yang terbuang dari sisa pengeboran. Hal

tersebut sangatlah tidak efektif jika kita melihat teknologi yang sedang atau jauh berkembang pesat.

Penelitian teknologi pengelasan dengan metode FSW masih harus terus menerus dikembangkan baik secara sifat-sifat atau tipe dari material (tebal-tipis material), material hasil dari proses pengelasan, karakter pengelasan maupun alat untuk metode pengelasan FSW.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Dalam beberapa literatur menyebutkan bahwa banyak parameter yang dapat mempengaruhi terhadap kualitas pengelasan dengan metode *Friction Stir Welding (FSW)* diantaranya:

- a. Kecepatan putaran *tool* (rpm)
- b. Kecepatan translasi *tool* (*feeding*)
- c. Desain dan material *tool*
- d. *Down force*
- e. Kemiringan *tool* saat pengelasan
- f. *Plunge depth tool*
- g. Material benda kerja

Supaya mendapatkan kualitas hasil pengelasan yang bagus maka parameter-parameter tersebut diatas harus diatur dan disesuaikan antara satu parameter dengan parameter lainnya dengan melihat hasil pengelasan secara visual dan pengujian bahan setelah proses pengelasan dengan metode FSW.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk meneliti perubahan parameter permesinan yang digunakan terhadap sifat kekuatan bahan hasil *Friction Stir Welding (FSW)*. Adapun variasi parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. *Lap Welding*

1. Kecepatan putaran *tool* (rpm)
2. Kecepatan translasi *tool/feed rate* (mm/menit)
3. Bentuk *probe* dari *tool*
4. Kemiringan *tool* saat pengelasan

b. *Spot Welding*

1. *Dwell Time* (detik)
2. Kemiringan *tool* saat pengelasan
3. Kecepatan putaran *tool* (rpm)

1.4. PEMBATAAN MASALAH

Pada penulisan laporan penelitian ini, hal yang akan dibahas adalah pengaruh parameter-parameter permesinan :

a. *Lap Welding*

1. Kecepatan putaran *tool* (rpm)
2. Kecepatan translasi *tool (feeding)*
3. Desain dan material *tool*
4. *Down force*
5. Kemiringan *tool* saat pengelasan

Terhadap sifat-sifat mekanik bahan dari hasil pengelasan dengan metode FSW diantaranya:

1. Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)
2. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

b. *Spot Welding*

1. *Dwell Time*
2. Kemiringan *tool* saat pengelasan
3. Kecepatan translasi *tool (feeding)*

Terhadap kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan dari hasil pengelasan dengan metode FSW.

Adapun pembatasan pada laporan penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan sebagai bahan kerja yaitu plat aluminium tipe AA1050 dengan ketebalan 0,4 mm.
2. Material yang digunakan sebagai *tool* atau pahat yaitu *tool steel* dari Bohler dengan tipe K110.
3. Desain *tool* yang digunakan yaitu bentuk lurus dan tirus dengan kemiringan 30° .
4. Variasi kecepatan putaran *tool*:
 - a. *Lap Welding* = 2300, 2600, dan 2900 rpm
 - b. *Spot Welding* hanya 2300 rpm
5. Variasi kecepatan translasi *tool* (*feeding*):
 - a. *Lap Welding* = 50, 60, 70 mm/min
 - b. *Spot Welding* dibuat konstan yaitu 30 mm/min.
6. Variasi kemiringan *Tool* untuk *Lap Welding* maupun *Spot Welding* yaitu $0^{\circ}, 1^{\circ}, 2^{\circ}$.
7. *Down force* pada lap maupun *Spot Welding* dibuat konstan yaitu 20 mm/min.
8. Variasi *dwell time* untuk proses *Spot Welding* yaitu 0s, 1s, 2s.

1.5. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Study literatur

Merupakan pengumpulan data-data atau informasi yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal-jurnal yang berasal dari dosen, perpustakaan maupun internet.
2. Pengadaan benda kerja

Material yang digunakan merupakan plat aluminium dengan tebal 0,4 mm sebagai benda kerjanya.

3. Pembuatan *tool*

Material yang digunakan merupakan *High Grade Steel* dari Bohler dengan tipe K110 sebagai *tool*. Untuk proses pembuatan *tool* meliputi proses perancangan dimulai dari dimensi hingga bentuk yang akan digunakan kemudian dilanjutkan dengan proses permesinan dan juga *heat treatment* untuk mendapatkan kekerasan dari *tool* yang diinginkan.

4. Persiapan mesin

Proses ini meliputi :

- a. Setting mesin (memasukkan kode-kode ke computer CNC)
- b. Pembuatan alat cekam benda kerja
- c. Kalibrasi kedataran landasan alat cekam supaya tidak miring

5. Proses FSW

Proses ini dilakukan secara bertahap dan sistematis untuk setiap parameter yang diinginkan yaitu kecepatan putaran *tool*, *feeding*, bentuk *tool*, dan kemiringan *tool*.

6. Uji mekanik bahan

Proses yang dilakukan pada tahap ini diawali dengan persiapan sampel untuk pengkodean / penandaan dari tiap parameter dan foto sampel kemudian dilanjutkan dengan pengujian material yang meliputi uji kekasaran permukaan dan uji tarik.

7. Analisis data

Data yang telah diolah kemudian dianalisis terhadap grafik yang diperoleh. Dari analisis tersebut dapat diperoleh suatu kesimpulan terhadap proses pengujian bahan hasil pengelasan dengan metode *Friction Stir Welding (FSW)*.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika laporan tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa bab supaya maksud dan tujuan yang ingin disampaikan oleh penulis dapat tercapai dengan baik.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendasari penelitian ini. Dasar teori ini meliputi dasar teori *friction stir welding*, pengujian mekanik, dan analisis hasil percobaan FSW. Dasar teori yang ada dikutip dari beberapa buku dan referensi lain yang mendukung dalam penulisan ini.

BAB III METODE PENELITIAN

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

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

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

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil data pengujian serta analisis pengujian dan saran yang diberikan untuk percobaan penelitian selanjutnya.

BAB 2

LANDASAN TEORI

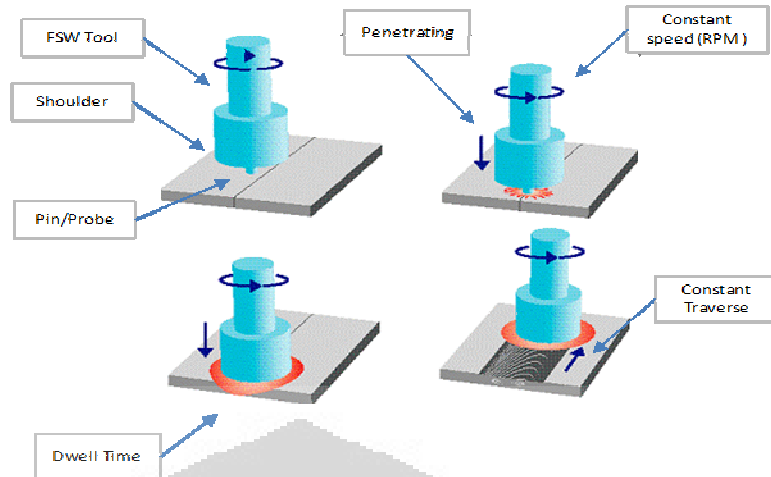
2.1. PENGERTIAN FRICTION STIR WELDING

Friction Stir Welding (FSW) adalah suatu teknologi pengelasan yang merupakan proses *solid-state joining* yang bisa digunakan untuk menyambungkan material yang berbeda. Pada proses FSW, material yang dilas tidak benar-benar mencair pada saat proses berlangsung (temperatur kerjanya tidak melewati titik lebur benda kerja) sehingga FSW termasuk *unconsumable solid-state joining process* [1].

2.1.1. Prinsip Kerja *Friction Stir Welding*

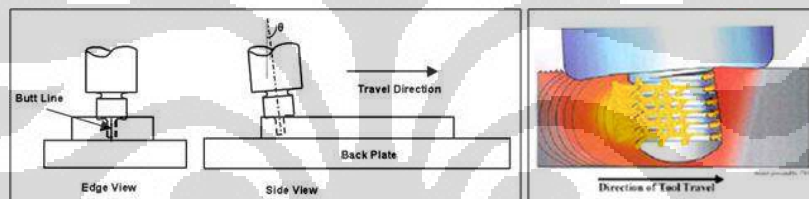
Dalam FSW, *tool* pengelasan dengan atau tanpa profil pada *probe* berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua material yang dilas. Benda kerja harus dicekam dengan kuat pada fixture atau ragam untuk mempertahankan posisinya akibat gaya yang terjadi pada waktu pengelasan. Panjang dari *probe* harus lebih pendek daripada tebal benda kerja dan *shoulder* dari *tool* harus bersentuhan dengan permukaan benda kerja.

Gesekan panas (*Frictional Heat*) pada FSW dihasilkan oleh gesekan antara *probe* dan *shoulder* dari *welding tool* dengan material benda kerja. Panas ini bersama dengan panas yang dihasilkan dari proses pengadukan mekanik (*mechanical mixing*) akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya (*melting point*), hal inilah yang memungkinkan *tool* pengelasan bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan. Ketika *pin welding tool* bergerak sepanjang jalur pengelasan, permukaan depan *pin* akan memberikan gaya dorong plastis terhadap material ke arah belakang *pin* sambil memberikan gaya tempa yang kuat untuk mengkonsolidasikan logam las.



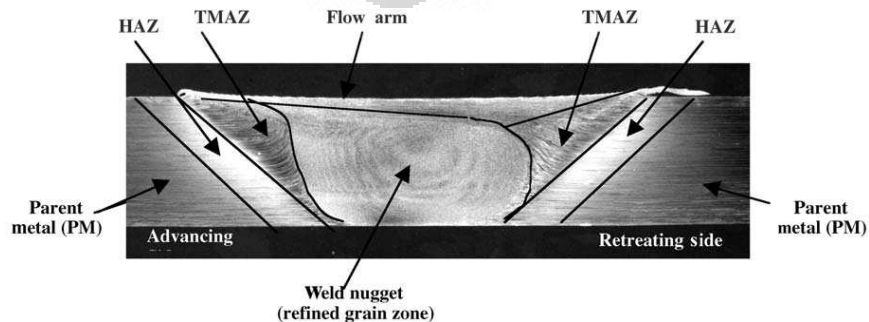
Gambar 2.1 Prinsip Dasar Proses FSW [3]

Part yang akan dilas harus dicekam dengan baik dan ditempatkan di atas backing plat sehingga beban yang diberikan pada *tool* dan diteruskan ke benda kerja tidak menyebabkan bagian bawah plat yang dilas terdeformasi.



Gambar 2.2 Skema Kerja FSW [3]

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



Gambar 2.3 Heat Zone pada FSW [2]

Akibat adanya panas yang terjadi, maka terjadi perubahan struktur mikro pada area yang di las, dan dapat dibagi menjadi 4 zona yaitu (gbr 2.3):

1. **Base metal**, merupakan bagian base material yang tidak terkena pengaruh panas yang dihasilkan selama proses FSW berlangsung.
2. **Heat-Affected Zone (HAZ)**, area ini merupakan area yang paling dekat dengan center dari lokasi pengelasan, material pada area ini sudah mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari base material, tetapi pada area ini tidak terjadi deformasi plastis akibat pengelasan.
3. **Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)**, pada area ini *tool* mendeformasi material secara plastis dan tentunya panas yang dihasilkan pada saat proses pengelasan juga membawa pengaruh terhadap material. Pada material aluminium panas tersebut memungkinkan untuk menghasilkan regangan plastis tanpa adanya proses rekristalisasi. Dan biasanya ada batas yang jelas yang membedakan antara area rekristalisasi (*weld nugget*) dan area TMAZ yang terdeformasi.
4. **Weld Nugget**, adalah area yang secara utuh mengalami rekristalisasi atau terkadang disebut juga *Stir Zone*. Area ini merupakan area yang menghasilkan sambungan akibat gerakan *tool* [2].

2.1.2. Siklus Proses *Friction Stir Welding*

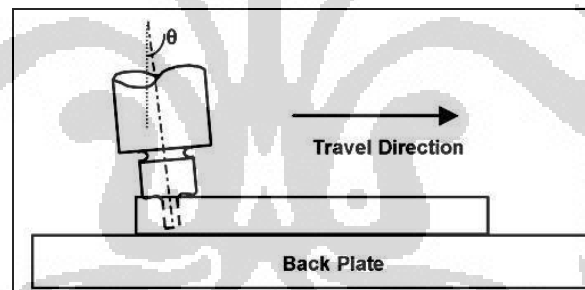
Siklus dari proses FSW dapat dibagi-bagi menjadi beberapa langkah dimana pada masing-masing langkah memiliki aliran panas dan *thermal profile* yang berbeda, siklus-siklus tersebut adalah [5]:

1. **Dwell Time**, Pada langkah proses pemanasan awal dilakukan pada benda kerja dengan cara membiarkan *tool* berputar tanpa gerak translasi (*stationery*). Pada langkah ini material yang ada dibawah *tool* dipanaskan hingga benar-benar melunak dan *tool* siap untuk bergerak

translasi sepanjang joint line. Biasanya pada langkah ini juga proses penetrasi *pin/nib* dimulai.

2. ***Transient Heating***, pada saat *tool* mulai untuk bergerak translasi biasanya ada saat pemanasan sementara dimana pada saat itu panas yang diciptakan dan suhu pada sekitar *tool* menjadi tidak stabil dan bergerak hingga menjadi *steady-state* pada saat *tool* sudah mulai bergerak.
3. ***Pseudo steady-state***, walaupun pada saat proses berlangsung terjadi fluktuasi suhu pada area sekitar *tool* tetapi secara termal pada area tersebut sudah konstan paling tidak secara mikrostruktur.
4. ***Post Steady State***, pada saat menjelang akhir dari proses pengelasan, panas akan meningkat pada sekitar *tool*.

2.1.3. *Depth Of Weld* dan Kemiringan *Tool*



Gambar 2.4 Skema *Stir Welding* [3]

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

2.1.4. 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*, koefisien gesek, dan pembangkitan heat. Oleh karena itu *tool* design merupakan hal yang sangat penting dari FSW.

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

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

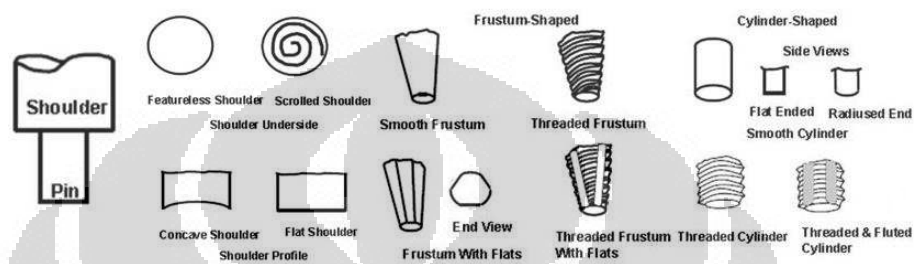
Tabel 2.1 Contoh Material *Tool* FSW dan Aplikasinya [2]

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

(a) PCBN, polycrystalline cubic boron nitride

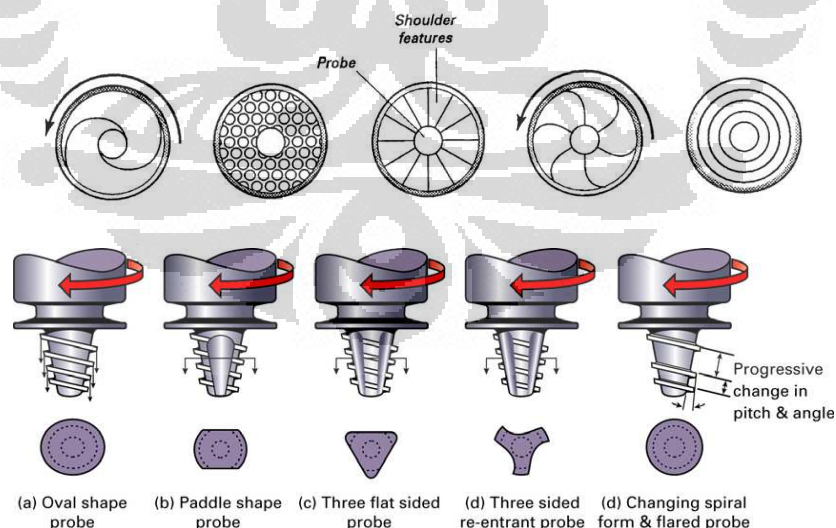
Hal yang kedua adalah bentuk dari *shoulder* dan *pin* dari *tool*, dua bagian utama dari sebuah *tool* yang digunakan dalam FSW adalah :

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



Gambar 2.5 Konfigurasi Desain Tool FSW [1]

Pin/ Nib/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*, sehingga dapat menciptakan suatu sambungan antara dua material.



Gambar 2.6 Contoh Desain Pin pada Tool FSW[4]

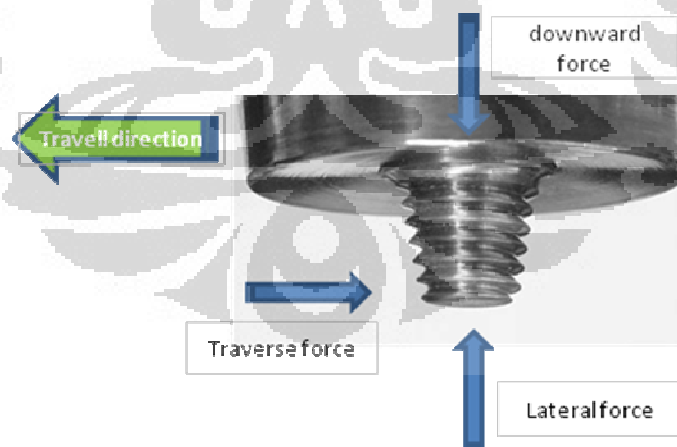
Yang selanjutnya adalah ukuran dari *tool*, diameter *shoulder*, diameter *pin*, panjang *pin* dan panjang *tool* secara keseluruhan diatur sesuai

dengan process yang diinginkan yaitu ketebalan benda kerja, kemiringan *tool* pada saat proses, kekuatan sambungan dan *clearence* antar benda kerja.

2.1.5. Gaya Pada *Friction Stir Welding*

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

- Downward force*, merupakan gaya utama yang dipakai untuk mempertahankan posisi *tool* pada atau dibawah permukaan material benda kerja.
- Traverse force*, gaya yang sejajar dengan arah pergerakan *tool*. Peningkatan gaya transversal merupakan wujud resistansi material terhadap pergerakan *tool* dan sejalannya proses gaya ini akan berkurang sejalan dengan naiknya temperatur kerja.
- Lateral force*, adalah gaya yang tegak lurus dengan arah dari pergerakan *tool* dan merupakan reaksi gaya dari *downward force*.
- Torsi dibutuhkan untuk memutarakan *tool*, besarnya tergantung dari *downward force* dan nilai koefisien gesek atau *flow strength* dari material.

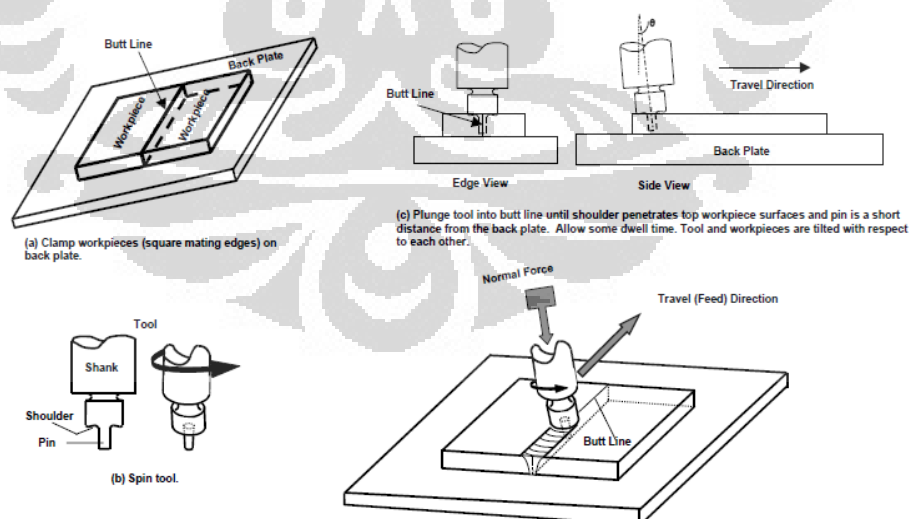


Gambar 2.7 Gaya-Gaya pada *Friction Stir Welding*

2.2. JENIS SAMBUNGAN PADA PROSES FSW

2.2.1. Sambungan *Butt* (*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 dan atau terangkat ketika proses las berlangsung [2]. *Tool* pengelasan yang terdiri dari *shank*, *shoulder* dan *probe* berputar dengan kecepatan dan kemiringan yang telah ditentukan. *Tool* secara perlahan turun dan masuk ke dalam ruas pertemuan benda kerja sampai *shoulder* dari *tool* menyentuh permukaan benda kerja dan ujung *pin* sedekat mungkin dengan *backplate*. *Dwell time* yang singkat dapat membangkitkan panas untuk *preheating* dan pelunakan material sepanjang garis sambungan. Sampai di akhir pengelasan, *tool* ditarik/diangkat ketika *tool* masih dalam kondisi berputar. Seperti *pin* yang ditarik, *tool* akan meninggalkan lubang (*keyhole*) di ujung pengelasan. *Tool shoulder* yang bersentuhan dengan benda kerja pun meninggalkan bekas *semi circular ripple* di jalur pengelasan seperti pada ilustrasi di bawah.

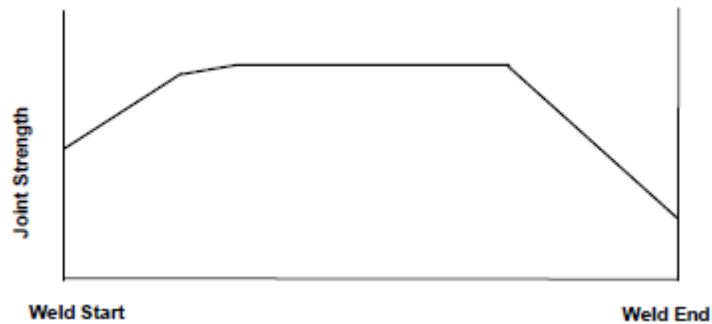


Gambar 2.8 Deskripsi Proses FSW pada Sambungan *Butt*

Tool FSW yang berputar bergerak searah dengan alur pengelasan, permukaan depan dari *probe tool*, (dibantu oleh feature pada *probe* jika ada), memaksa *plasticed material* dari kedua sisi material yang akan dilas

ke arah belakang *probe*. Akibatnya material dipindahkan dari permukaan depan *tool* ke belakang *probe tool* (ketika material sedang diaduk) dan ditempa oleh permukaan *shoulder* yang bersentuhan dengan bidang benda kerja. Beberapa orang percaya bahwa gerakan berputar (*stirring*) bisa memecah oksigen pada permukaan *faying*, sehingga ikatan antar sambungan menghasilkan permukaan yang bersih [2]. Perlu dicatat bahwa untuk menghasilkan sambungan yang penuh (*closure of root*) maka *pin* harus sedekat mungkin dengan *backplate* dan *shoulder* harus menyentuh permukaan benda kerja. *Open root* (kurangnya penetrasi) berpotensi besar untuk mengalami kegagalan pada sambungan. Pada gambar di atas bisa dilihat bahwa sumbu dari *spindle* dan benda kerja tidak benar-benar tegak lurus 90° , ada kemiringan sekitar $0-3^\circ$, kemiringan ini bisa didapat dengan cara memiringkan *spindle* mesin atau memiringkan benda kerja. Hal ini dapat membantu pepadatan material pada bagian belakang *tool*, tetapi juga mempunyai kelemahan yaitu berkurangnya kemampuan (*ability*) untuk eksekusi proses pengelasan non-linear dan juga bisa mengurangi kecepatan pengelasan (*travel speed weld*) [5].

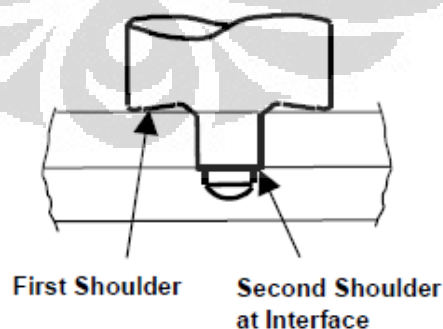
Konsekuensi dari metode FSW adalah adanya lubang (*key hole*) yang terjadi diakhir pengelasan. Terlebih lagi untuk pengelasan baja dan material alloy lainnya, pelubangan awal (*pre-drill*) berdiameter kecil diperlukan di area butt line yang bertujuan untuk mengurangi gaya yang terjadi ketika *tool* berpenetrasi ke dalam benda kerja. Sangat disarankan adanya finishing dari benda kerja (pemotongan/milling) pada awal dan akhir sambungan karena strength pada posisi ini memiliki nilai yang paling rendah dibanding posisi lain [6]. Proses finishing bisa dilakukan dengan menghilangkan benda kerja kira-kira setebal benda kerja atau lebih.



Gambar 2.9 Variasi Kekerasan Sepanjang Sambungan *Butt* [2]

2.2.2. Sambungan Tumpuk (*Lap Joint*)

Prinsip operasional dari sambungan tumpuk tidak berbeda jauh dengan sambungan butt kecuali tidak adanya butt line, dimana *tool* berada diantara benda kerja sehingga *tool* harus menembus benda kerja teratas. Hal ini merupakan perbedaan yang mendasar antara *butt joint* dengan *lap joint* [7]. Pada *butt joint*, putaran utama terjadi di permukaan antar sambungan, berbeda dengan *lap joint* yang sambungannya tidak berada di permukaan sambungan, tetapi berada diantara permukaan tumpukan sambungan. Dari desain *tool*-nya pun berbeda, jika pada *butt joint tool* FSW hanya memiliki satu *shoulder*, maka pada *lap joint weld tool* FSW memiliki dua *shoulder* yang lokasinya berada di permukaan benda kerja bawah.



Gambar 2.10 *Tool* untuk Sambungan Tumpuk [2]

Pada sambungan tumpuk, ujung *probe* dari *tool* FSW harus menembus benda kerja bagian atas, dan harus menembus sebagian pada

benda kerja di bawahnya. Oleh karena itu, ujung *pin* tidak perlu sampai mendekati permukaan bawah benda kerja bagian bawah, karena berbeda dengan *butt joint*, pada *lap joint* sambungan las tidak terfokus pada pembentukan penutupan akar (*root closure*) [2]. Namun demikian, kita tetap harus memperhitungkan efek dari faktor kedalaman penetrasi terhadap mekanikal properties sambungan. Takikan pada kedua sisi dari sambungan merupakan bagian potensial dari retakan dan berpengaruh besar dalam sifat mekanik. Secara umum, biasanya sambungan *lap joint* tidak sekuat *butt joint* yang kekuatannya bisa menggantikan fungsi dari fasteners [8].

2.3. KETETAPAN DAN TERMINOLOGI FSW

Berdasarkan ketentuan yang dikemukakan oleh Colligan, benda kerja FSW dibagi menjadi 2 bagian, yaitu sisi *advancing* dan sisi *retreating* [9]. Sisi dari *welding tool* yang searah dengan arah pengelasan disebut sisi *advancing*. Dan sisi lawannya dimana permukaan bergerak berlawanan dengan arah pengelasan disebut sisi *retreating*. Seperti kita ketahui sebelumnya, posisi benda kerja dan FSW *tool* mempunyai kemiringan sebesar Θ° . Colligan dan Hirano [9] mengindikasikan bahwa kemiringan sudut berpengaruh pada menjauhnya permukaan sambungan (*face and toe*) dari permukaan benda kerja. Kemiringan pun menambah kedalaman dari (*P*) *shoulder plunge*, dimana;

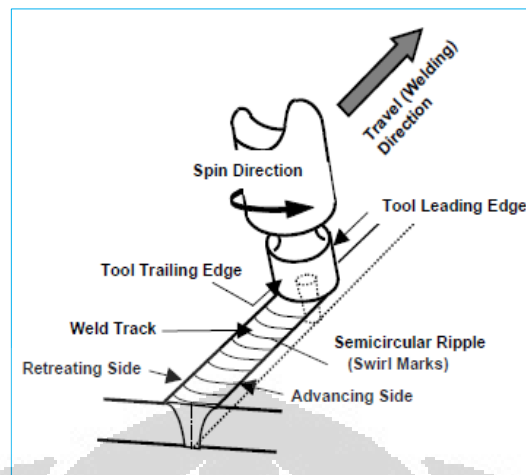
$$P = 0.5 D \sin \Theta$$

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

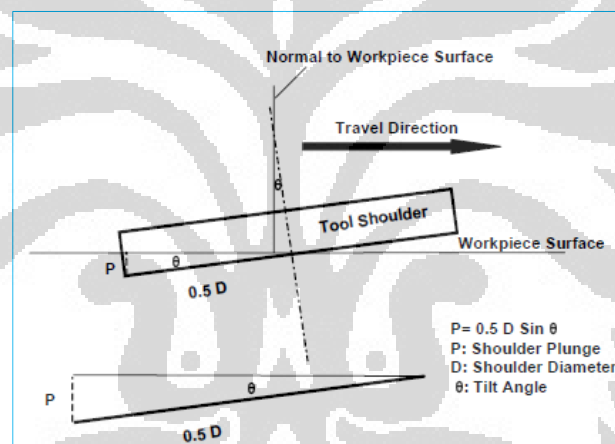
D = diameter *shoulder*

Θ = kemiringan *tool*

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



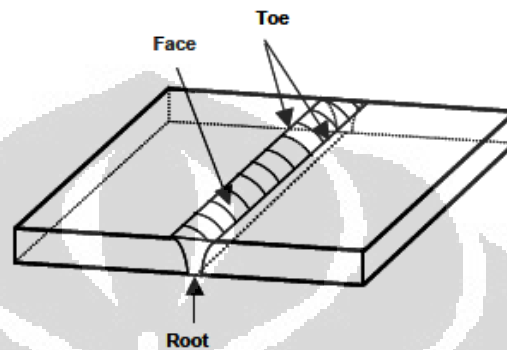
Gambar 2.11 Terminologi FSW [2]



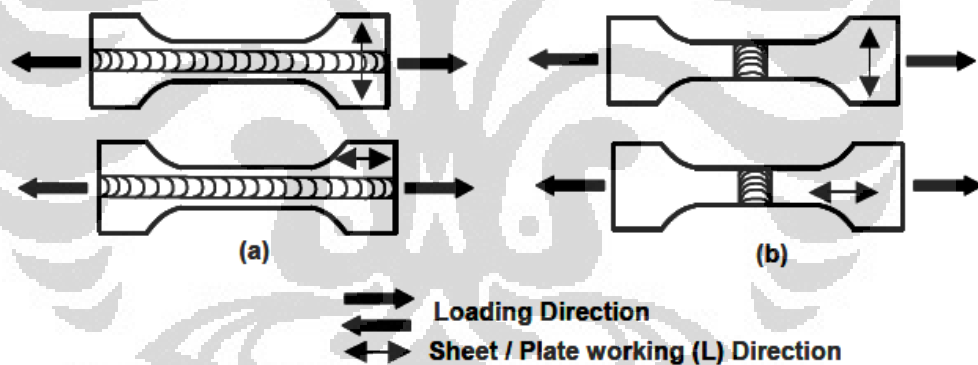
Gambar 2.12 Kedalaman *Shoulder* (*Shoulder Plunge*) [2]

Face, *root* dan *toe* merupakan istilah yang biasa digunakan pada sambungan *butt*. Istilah *undermatching* dan *overmatching*, masing-masing mengindikasikan jika kekuatan sambungan FSW lebih rendah dibanding material induk (*base material*) dan jika kekuatan sambungan FSW lebih tinggi dibandingkan dengan *base material*. Istilah lainnya adalah *joint efficiency*, yang didefinisikan sebagai ratio dari $(F_{tu})_{joint}/(F_{tu})_{base\ metal}$, dan biasa dituliskan dalam persentase [1]. Nilai kekuatan maksimal dari *base material* berdasarkan pada pengujian sambungan pada arah yang sama. Lebih jauh lagi, jika sambungan diuji pada arah longitudinal dari produk, maka

nilai itulah yang menjadi nilai kekuatan maksimum dari base metal pada arah longitudinal. Begitu juga dengan nilai kekuatan maksimum *traverse* dari *base metal* harus digunakan jika sambungan diuji dengan arah transversal dari produk.



Gambar 2.13 Face, Toe dan Root pada FSW [2]



Gambar 2.14 Arah Uji Tarik Berdasarkan Orientasi Pengelasan. a. Orientasi Longitudinal (sambungan lasa sejajar arah pembebanan), b. Orientasi Transverse (sambungan tegak lurus arah pembebanan) [2]

2.4. VARIABEL PROSES

Profil sambungan, struktur mikro, dan sifat material ditentukan oleh ketebalan dan jenis material yang dilas serta pemilihan variabel proses pengelasan [2].

Adapun variable proses yang mempengaruhi proses FSW sebagai berikut [1]:

1. Kecepatan gerak translasi *tool*, berpengaruh terhadap heat input
2. Kecepatan putar *tool*, berpengaruh terhadap heat input
3. *Tool design*, meliputi dimensi & bentuk *shoulder*, bentuk, jenis dan ukuran *pin*.
4. Kemiringan *Tool*, bergantung pada bentuk dan ukuran *shoulder* dari *tool*, tapi biasanya 0° - 3° .
5. Ketebalan material, mempengaruhi tingkat pendinginan dan temperatur gradien dari material.
6. Paduan material, parameter FSW tidak bisa disamakan untuk semua material, masing masing material memiliki parameter berbeda-beda.

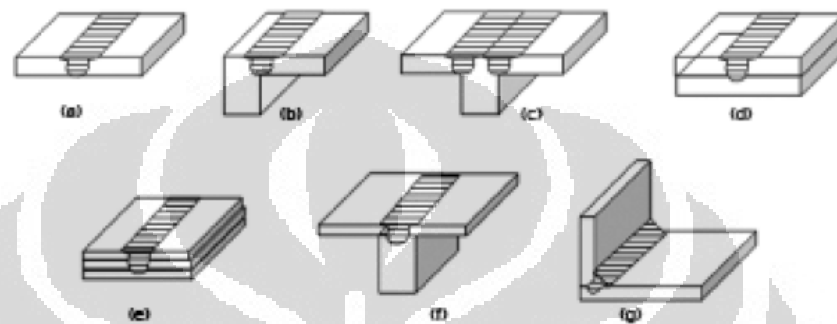
2.5. KEUNTUNGAN DAN APLIKASI FSW

Adapun keuntungan dari proses pengelasan dengan metode FSW :

- Tidak terjadi pelelehan selama pengelasan
- Bisa mengelas semua jenis Aluminum alloys
- Kekuatan las lebih baik dibandingkan dengan *fusion welding*
- Distorsi lebih rendah dari pada *fusion welding*
- Tidak memerlukan bahan pengisi
- Tidak memerlukan gas pelindung
- *Tool* welding dapat digunakan berulang ulang
- Ramah lingkungan
- Energi yang dibutuhkan untuk pengelasan lebih rendah dari *fusion welding*

FSW bisa digunakan untuk mengelas material aluminum (casting maupun alloy) baik satu atau berbeda series, baja, titanium, tembaga, magnesium alloy, logam paduan dan komposit matrik logam [2]. FSW dapat digunakan untuk menghasilkan sambungan butt, sudut, bertumpuk (lap), T,

spot, dan fillet serta dapat digunakan pula untuk menyambung benda berongga, seperti tanki, tabung dan pipa dengan kontur 3 dimensi. Selain untuk membuat sambungan, FSW juga cocok digunakan untuk memperbaiki sambungan yang ada.



Gambar 2.15 Konfigurasi Sambungan FSW. a. Square Butt, b. Edge Butt, c. T-butt joint, d. Lap joint, e. Multiple lap joint, f. T-lap joint, g. Fillet joint [3]

Aluminium adalah logam non-besi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Produksi global dunia pada tahun 2005 mencapai 31,9 juta ton, melebihi produksi semua logam non-besi lainnya (Hetherington et al, 2007).

Aluminium memiliki rasio kekuatan terhadap massa yang paling tinggi, sehingga banyak digunakan sebagai bahan pembuat pesawat dan roket. Aluminium juga dapat menjadi reflektor yang baik; lapisan aluminium murni dapat memantulkan 92% cahaya .

Aluminium murni, saat ini jarang digunakan karena terlalu lunak. Penggunaan aluminium murni yang paling luas adalah aluminium foil (92-99% aluminium).

Paduan aluminium-magnesium umumnya digunakan sebagai bahan pembuat badan kapal. Paduan lainnya akan mudah mengalami korosi ketika berhadapan dengan larutan alkali seperti air laut.

Paduan aluminium-tembaga-lithium digunakan sebagai bahan pembuat tangki bahan bakar pada pesawat ulang-alik milik NASA.

Uang logam juga terbuat dari aluminium yang diperkeras. Hingga saat ini, sulit dicari apa bahan paduan uang pembuat uang logam berwarna putih keperakan ini, kemungkinan dirahasiakan untuk mencegah pemalsuan uang logam.

Velg mobil juga menggunakan bahan aluminium yang dipadu dengan magnesium, silicon, atau keduanya, dan dibuat dengan cara ekstrusi atau dicor.

Beberapa jenis roda gigi menggunakan paduan Al-Cu. Penggunaan paduan Cu untuk mendapatkan tingkat kekerasan yang cukup dan memperpanjang usia benda akibat *fatigue* [12].



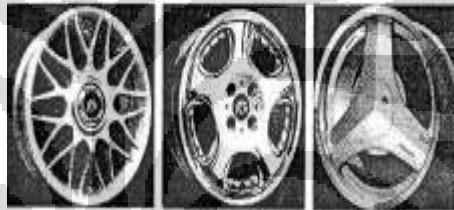
Gambar 2.16 Uang Logam



Gambar 2.17 Aluminium Foil



Gambar 2.18 Aluminium Foam



Gambar 2.19 Velg Mobil



Gambar 2.20 Roda Gigi



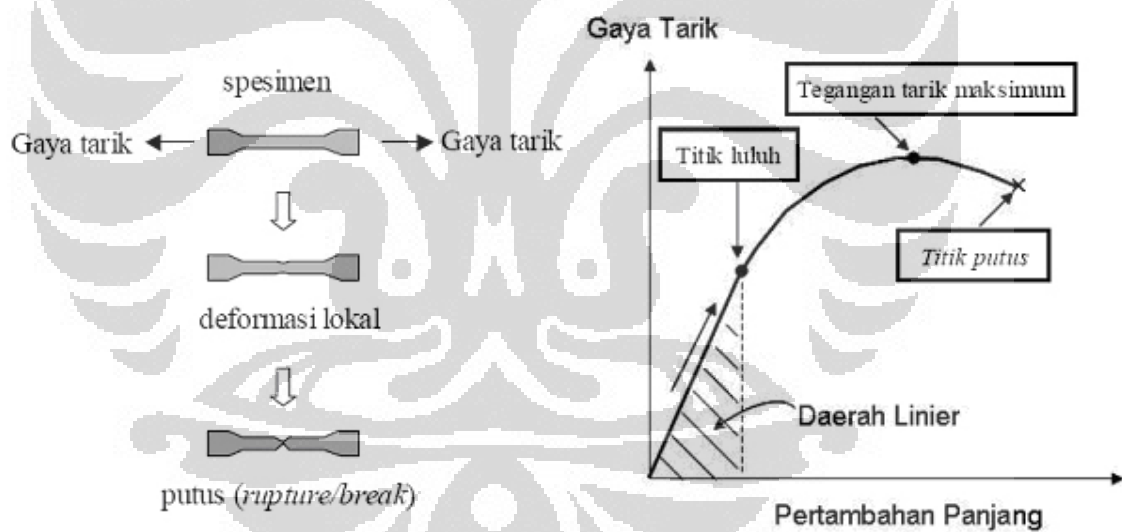
Gambar 2.21 Pesawat terbang

2.6. UJI MEKANIK (*MECHANICAL TESTING FSW*)

2.6.1. Uji Tarik

Uji Tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

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



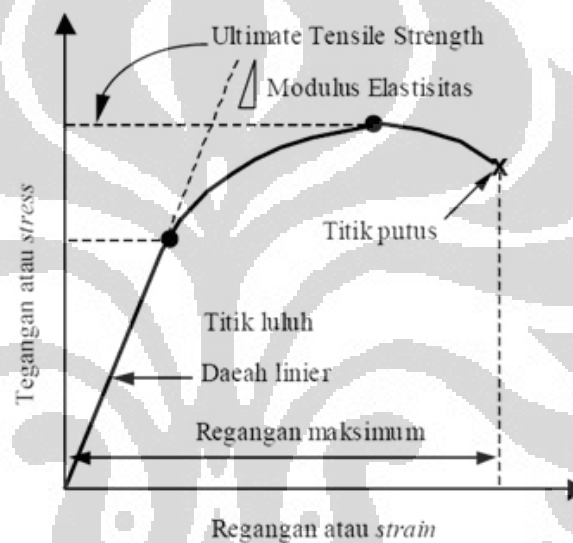
Gambar 2.22 Gambaran Singkat Uji Tarik

Menurut Hukum Hooke (*Hooke's Law*) bahwa hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau linear zone. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke yaitu rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan.

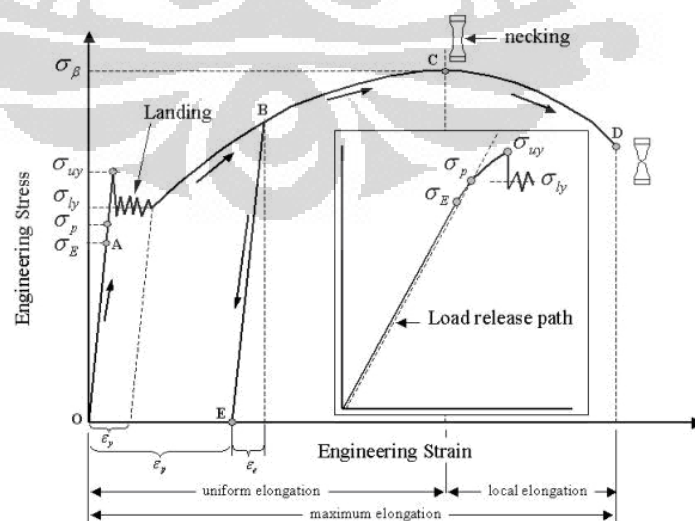
Dibawah ini hubungan antara stress dan strain:

- Stress (Tegangan Mekanis): $\sigma = F/A$, F = gaya tarikan, A = luas penampang
- Strain (Regangan): $\epsilon = \Delta L/L$, ΔL = Pertambahan panjang, L = Panjang awal

$$E = \sigma/\epsilon$$



Gambar 2.23 Kurva Tegangan-Regangan



Gambar 2.24 Profil Data Hasil Uji Tarik

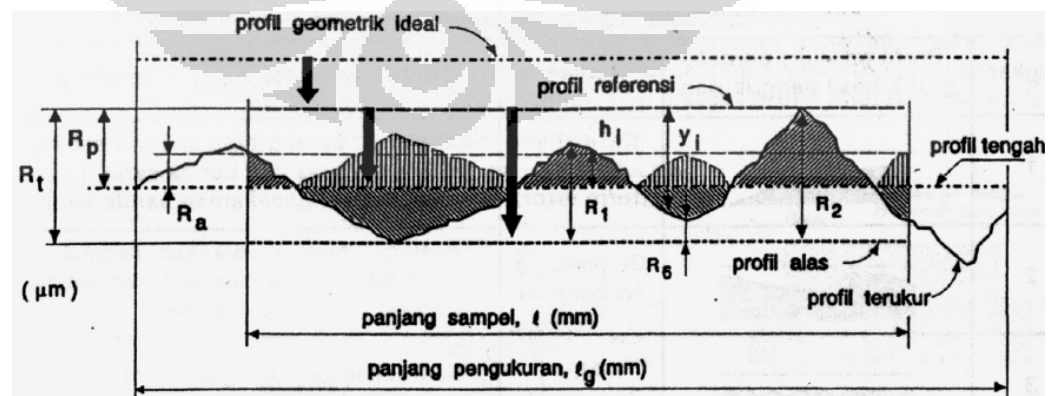
Dibawah ini istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan berpedoman pada hasil uji tarik seperti pada Gambar 2.24:

- a. Batas elastic σ_E (*elastic limit*), Pada Gambar 2.24 dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat Gambar 2.24). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku.
- b. Batas proporsional σ_p (*proportional limit*). Titik di mana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
- c. Deformasi plastis (*plastic deformation*). Perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada Gambar 2.24 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.
- d. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*). Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.
- e. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*). Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan mekanis pada titik ini.
- f. Regangan luluh ϵ_v (*yield strain*). Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.
- g. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*). Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

- h. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*). Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.
- i. Regangan total (*total strain*). Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastic ($\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$). Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.
- j. Tegangan tarik maksimum (UTS, *Ultimate Tensile Strength*). Pada Gambar 2.24 ditunjukkan dengan titik C (σ_B), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
- k. Kekuatan patah (*breaking strength*). Pada Gambar 2.24 ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

2.6.2. Kekasaran Permukaan (R_a)

Harga kekasaran aritmatik (R_a) yaitu sebagai standar kualitas permukaan dari hasil pemotongan maksimum yang diijinkan. Posisi R_a dan parameter kekasaran yang lain, bentuk profil, panjang sampel, dan panjang pengukuran yang dilakukan oleh mesin ukur kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 2.25 Parameter-Parameter dalam Profil Permukaan

Pada tabel 2.2 angka kekasaran menurut ISO atau DIN 4763:1981 [11]:

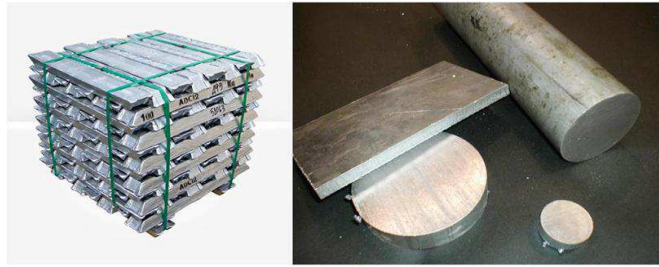
Tabel 2.2 Angka Kekasaran Permukaan

Kekasaran Ra (μm)	Kelas kekasaran	Panjang Sampel (μm)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2.5
6,3	N9	
3,2	N8	0.8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0.25
0,1	N3	
0,05	N2	
0,025	N1	0.08

2.7 MATERIAL ALUMINIUM

Aluminium paduan adalah paduan material dimana Aluminium menjadi bahan utamanya sedangkan pemuatan yang biasanya sering digunakan adalah Tembaga(Cu), Silikon(Si), Magnesium(Mg), Mangan (Mn) dan Zinc(Zn).

Aluminium dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu Aluminium Tuang (*Cast*) dan Aluminium Tempa (*Wrought*), dan keduanya dibagi lagi kedalam sub kelompok menjadi *Heat Treatable* dan *Non-Heat Treatable*. 85% dari material diatas biasanya digunakan untuk material tempa dalam bentuk rolled plate, kertas (sheet) dan material Extrusi. Aluminium tuang memiliki cost total yang lebih rendah bila dibandingkan dengan aluminium tempa karena aluminium jenis ini memiliki titik lebur yang rendah, sehingga energi yang dibutuhkan lebih rendah, tetapi memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah pula dibandingkan dengan *wrought product*.



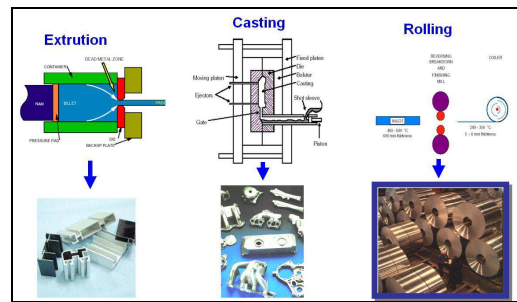
Gambar 2.26 Aluminium Casting dan Tempa [14]

Material ini banyak digunakan pada struktur atau part-part yang menginginkan beban yang ringan dan tahan karat, karena material ini memiliki berat jenis rendah dan ketahanan karat yang baik.

Pada dasarnya Aluminium memiliki beberapa karakter utama yaitu :

1. Ringan : berat jenis rendah ($2,7 \text{ gr/cm}^3$), hanya $1/3$ baja
2. Ratio strength to weight (kekuatan/berat) : sangat baik
3. Temperatur lebur rendah (660°C), sehingga peralatan peleburan lebih sederhana
4. Sifat mampu cor (castability) sangat baik
5. Sifat mampu mesin (machinability) baik
6. Sifat permukaan (surface finish) baik
7. Ketahanan korosi baik
8. Konduktor panas dan listrik yang baik
9. Mudah dipadu (alloying) dengan unsur lain untuk menghasilkan sifat yang diinginkan
10. BJ rendah, mudah tercampur dengan pengotor (dross) oksida misal Al_2O_3 yang BJ (2.1 gr/mm^3) nya hampir sama BJ Aluminium Cair (2.3 gr/mm^3)
11. Sangat mudah mengikat gas Hidrogen dalam kondisi cair

$$3\text{H}_2\text{O} + 2 [\text{AL}] \text{ ---- } 6 [\text{H}] + (\text{AL}_2\text{O}_3)$$
12. Sebaiknya menggunakan degasser atau GBF (Gas Bubble Floation = Argon Treatment)
13. Mengalami penyusutan (shrinkage) yang cukup Tinggi $3.5 - 8.5 \%$ (rata-rata 6%)



Gambar 2.27 Metode Pembentukan Aluminium [14]

Menurut standard yang digunakan di Dunia seperti JIS, ASM, ISI, ISO dll material aluminium dibagi kedalam beberapa kelas dengan penamaan sesuai dengan standard yang digunakan. Pengklasifikasian ini berdasarkan komposisi kimia paduannya dan juga mechanical propertiesnya.

Tabel 2.3 Pembagian Material Berdasarkan Komposisi Kimia [15]

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Sn	Ti	Pb	Cr	Simbol ter
Al2A	1,2 max	0,4 max	4,0-5,0	0,3 max	0,2 max	0,05 max	0,3 max	0,05 max	0,25 max	0,05 max	0,05 max	
Al2B	0,2 max	0,3 max	4,2-5,0	0,1 max	0,2-0,35	0,05 max	0,1 max	0,05 max	0,05-0,3	0,05 max	0,05 max	Al-21100, Z1100
Al2A	4,0-6,0	0,7 max	3,0-4,5	0,55 max	0,25 max	0,3 max	0,55 max	0,05 max	0,2 max	0,15 max	0,15 max	Al-45100 / Al-45200
Al2B	5,0-7,0	0,8 max	2,0-4,0	0,5 max	0,5 max	0,35 max	1,0 max	0,1 max	0,2 max	0,2 max	0,2 max	Al-45200, 318,0 / 319,0, Z1107
Al3A	10,0-13,0	0,7 max	0,25 max	0,35 max	0,15 max	0,1 max	0,3 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,15 max	Al-44200 / Al-44300 / Al-44200 / Al-47000, Z1102
Al4A	8,0-10,0	0,4 max	0,25 max	0,3-0,6	0,35-0,6	0,1 max	0,25 max	0,05 max	0,2 max	0,1 max	0,15 max	Al-49200 / Al-49300, 359,0, Z1104
Al4B	7,0-10,0	0,8 max	2,0-4,0	0,5 max	0,5 max	0,35 max	1,0 max	0,1 max	0,2 max	0,2 max	0,2 max	Al-46200, 332,0
Al4C	6,5-7,5	0,4 max	0,25 max	0,35 max	0,25-0,45	0,4 max	0,35 max	0,05 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	Al-40200 / Al-40300, 316,0 / 315,0 / 315,0 / 316,0 / 315,0 / 316,0
Al4C	6,5-7,5	0,17 max	0,2 max	0,1 max	0,3-0,45	0,05 max	0,1 max	0,05 max	0,2 max	0,05 max	0,05 max	Al-42100, Z1103 / Z1103A / Z1104A
Al4D	4,5-5,5	0,5 max	1,0-1,5	0,5 max	0,45-0,6	0,2 max	0,3 max	0,05 max	0,2 max	0,1 max	0,15 max	Al-45300, 355,0, Z1105 / Z1105A
Al5A	0,6 max	0,7 max	3,5-4,5	0,35 max	1,3-1,8	1,7-2,3	0,15 max	0,05 max	0,2 max	0,05 max	0,15 max	242,0
Al7A	0,2 max	0,25 max	0,1 max	0,6 max	3,6-5,5	0,05 max	0,15 max	0,05 max	0,2 max	0,05 max	0,15 max	Al-51300
Al8A	11,0-13,0	0,7 max	0,8-1,3	0,15 max	0,8-1,3	0,8-1,5	0,15 max	0,05 max	0,2 max	0,05 max	0,1 max	Al-48000, Z1108 / Z1109
Al28B	8,5-10,5	0,8 max	2,0-4,0	0,5 max	0,6-1,5	0,1-1,0	0,5 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	
Al28C	8,5-10,5	0,8 max	2,0-4,0	0,5 max	0,6-1,5	0,5 max	0,5 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	
Al29A	22,0-24,0	0,7 max	0,5-1,6	0,5 max	0,6-1,5	0,5-1,5	0,2 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	
Al29B	18,0-22,0	0,7 max	0,5-1,6	0,5 max	0,6-1,5	0,5-1,5	0,2 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	

Tabel 2.4 Pembagian Material berdasarkan Sifat Mekanik [11]

Alloy type		Temper	Tensile strength (min) [ksi] ([MPa])	Yield strength (min) [ksi] ([MPa])	Elongation in 2 in [%]
ANSI	UNS				
201.0	A02010	T7	60.0 (414)	50.0 (345)	3.0
204.0	A02040	T4	45.0 (310)	28.0 (193)	6.0
242.0	A02420	O	23.0 (159)	N/A	N/A
		T61	32.0 (221)	20.0 (138)	N/A
A242.0	A12420	T75	29.0 (200)	N/A	1.0
295.0	A02950	T4	29.0 (200)	13.0 (90)	6.0
		T6	32.0 (221)	20.0 (138)	3.0
		T62	36.0 (248)	28.0 (193)	N/A
		T7	29.0 (200)	16.0 (110)	3.0
319.0	A03190	F	23.0 (159)	13.0 (90)	1.5
		T5	25.0 (172)	N/A	N/A
		T6	31.0 (214)	20.0 (138)	1.5
328.0	A03280	F	25.0 (172)	14.0 (97)	1.0
		T6	34.0 (234)	21.0 (145)	1.0
355.0	A03550	T6	32.0 (221)	20.0 (138)	2.0
		T51	25.0 (172)	18.0 (124)	N/A
		T71	30.0 (207)	22.0 (152)	N/A
C355.0	A33550	T6	36.0 (248)	25.0 (172)	2.5
356.0	A03560	F	19.0 (131)	9.5 (66)	2.0
		T6	30.0 (207)	20.0 (138)	3.0
		T7	31.0 (214)	N/A	N/A
		T51	23.0 (159)	16.0 (110)	N/A
		T71	25.0 (172)	18.0 (124)	3.0
A356.0	A13560	T6	34.0 (234)	24.0 (165)	3.5
		T61	35.0 (241)	26.0 (179)	1.0
443.0	A04430	F	17.0 (117)	7.0 (48)	3.0
B443.0	A24430	F	17.0 (117)	6.0 (41)	3.0
512.0	A05120	F	17.0 (117)	10.0 (69)	N/A
514.0	A05140	F	22.0 (152)	9.0 (62)	6.0
520.0	A05200	T4	42.0 (290)	22.0 (152)	12.0
535.0	A05350	F	35.0 (241)	18.0 (124)	9.0
705.0	A07050	T5	30.0 (207)	17.0 (117) [†]	5.0
707.0	A07070	T7	37.0 (255)	30.0 (207) [†]	1.0
710.0	A07100	T5	32.0 (221)	20.0 (138)	2.0
712.0	A07120	T5	34.0 (234)	25.0 (172) [†]	4.0
713.0	A07130	T5	32.0 (221)	22.0 (152)	3.0
771.0	A07710	T5	42.0 (290)	38.0 (262)	1.5
		T51	32.0 (221)	27.0 (186)	3.0
		T52	36.0 (248)	30.0 (207)	1.5
		T6	42.0 (290)	35.0 (241)	5.0
		T71	48.0 (331)	45.0 (310)	5.0

Pengkodean aluminium tempa berdasarkan International Alloy Designation System adalah sebagai berikut:

- Seri 1xxx merupakan aluminium murni dengan kandungan minimum 99,00% aluminium berdasarkan beratnya.
- Seri 2xxx adalah paduan dengan tembaga. Terdiri dari paduan bernomor 2010 hingga 2029.
- Seri 3xxx adalah paduan dengan mangan. Terdiri dari paduan bernomor 3003 hingga 3009.
- Seri 4xxx adalah paduan dengan silikon. Terdiri dari paduan bernomor 4030 hingga 4039
- Seri 5xxx adalah paduan dengan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 5050 hingga 5086.
- Seri 6xxx adalah paduan dengan silikon dan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 6061 hingga 6069
- Seri 7xxx adalah paduan dengan seng. Terdiri dari paduan dengan nomor 7070 hingga 7079.
- Seri 8xxx adalah paduan dengan lithium.

Perlu diperhatikan bahwa pengkodean aluminium untuk keperluan penempatan seperti di atas tidak berdasarkan pada komposisi paduannya, tetapi berdasarkan pada sistem pengkodean terdahulu, yaitu sistem Alcoa yang menggunakan urutan 1 sampai 79 dengan akhiran S, sehingga dua digit di belakang setiap kode pada pengkodean di atas diberi angka sesuai urutan Alcoa terdahulu. Pengecualian ada pada paduan magnesium dan lithium.

Pengkodean untuk aluminium cor berdasarkan Aluminium Association adalah sebagai berikut:

- Seri 1xx.x adalah aluminium dengan kandungan minimal 99% aluminium
- Seri 2xx.x adalah paduan dengan tembaga
- Seri 3xx.x adalah paduan dengan silikon, tembaga, dan/atau magnesium
- Seri 4xx.x adalah paduan dengan silikon
- Seri 5xx.x adalah paduan dengan magnesium
- Seri 7xx.x adalah paduan dengan seng
- Seri 8xx.x adalah paduan dengan lithium

Perlu diperhatikan bahwa pada digit kedua dan ketiga menunjukkan persentase aluminiumnya, sedangkan digit terakhir setelah titik adalah keterangan apakah aluminium dicor setelah dilakukan pelelehan pada produk aslinya, atau dicor segera setelah aluminium cair dengan paduan tertentu. Ditulis hanya dengan dua angka, yaitu 1 atau 0.

Klasifikasi aluminium pada Standar Nasional Indonesia tidak berdasarkan pada konsentrasi paduan maupun perlakuannya. Klasifikasi aluminium paduan pada Standar Nasional Indonesia didasarkan pada aplikasi aluminium tersebut. Berikut ini adalah contoh penomoran aluminium pada Standar Nasional Indonesia:

- 03-2583-1989 aluminium lembaran bergelombang untuk atap dan dinding
- 07-0417-1989 ekstrusi aluminium paduan
- 03-0573-1989 jendela aluminium paduan
- 07-0603-1989 aluminium ekstrusi untuk arsitektur
- 07-0733-1989 ingot aluminium primer
- 07-0734-1989 aluminium ekstrusi untuk arsitektur, terlapis bahan anodisasi
- 07-0828-1989 ingot aluminium sekunder
- 07-0829-1989 ingot aluminium paduan untuk cor
- 07-0851-1989 plat dan lembaran aluminium
- 07-0957-1989 aluminium foil dan paduannya
- 04-1061-1989 kawat aluminium untuk penghantar listrik

Terdapat 84 produk aluminium yang terdaftar dalam Sistem Informasi Standar Nasional Indonesia, berupa aluminium murni dan paduannya, senyawa aluminium, bahkan petunjuk teknis pembuatan aluminium dan aplikasinya juga merupakan produk terdaftar di SNI.

2.8 METODE ANALISIS

Ada 2 metode analisis yang kami gunakan untuk analisis dari hasil percobaan pengelasan dengan metode *Friction Stir Welding (FSW)* yaitu *Chi Square* dan *Response Surface Methodology (RSM)*.

2.8.1 *Chi Square* [14]

Uji hipotesis *chi square* banyak digunakan untuk dua tujuan yaitu uji keselarasan fungsi (*goodness-of-fit test*) dan uji tabel kontingensi (*contingency table test*).

Uji keselarasan fungsi bertujuan untuk mengetahui apakah distribusi dari hasil-hasil yang teramati pada suatu percobaan terhadap sampel mendukung suatu distribusi yang telah dihipotesiskan pada populasi.

Sedangkan uji tabel kontingensi yang sering disebut sebagai uji tabel independensi yang bertujuan untuk mengetahui apakah data terklasifikasi silang (*cross-classified*) secara independen (tidak saling terikat) atau tidak.

Prosedur pengujian dari *Chi Square* adalah :

1. Pernyataan hipotesis H_0 dan H_1 . Dimana H_0 dan H_1 merupakan hipotesis yang bertolak belakang.
2. Pemilihan tingkat kepentingan (*level of significance*) α . Biasanya menggunakan tingkat kepentingan 0.05 atau 0.01.
3. Penentuan Distribusi yang digunakan.

Dalam *Chi Square* ini yang digunakan adalah distribusi probabilitas *Chi Square*, X^2 . Nilai-nilai dari distribusi X^2 telah disajikan dalam bentuk tabel yang dapat ditentukan dengan mengetahui tiga hal sebagai berikut:

- a. Tingkat kepentingan (*level of confidence*)
- b. Derajat kebebasan /*degree of freedom* (df)
 - Pada uji keselarasan fungsi : $df = v = k-1$. (k : jumlah observasi)
 - Pada uji tabel kontingensi : $df = v = (r-1)(c-1)$
Dimana : r = jumlah baris dalam tabel

c = jumlah kolom dalam tabel

4. Pendefinisian daerah-daerah penolakan atau kritis

Daerah penerimaan dan penolakan dibatasi oleh nilai kritis X^2

5. Pernyataan aturan keputusan

Tolak H_0 dan terima H_1 jika $RU X^2 > X^2$ jika tidak demikian maka terima H_0 .

6. Perhitungan rasio uji (test ratio)

$$RU X^2 = X^2_{test} = \sum \left[\frac{(O - E)^2}{E} \right]$$

Dimana:

O = Frekuensi yang teramati (sampel)

E = Frekuensi yang diperkirakan (hipotesis) jika H_0 benar

- Untuk uji keselarasan fungsi:

E = prosentase hipotesis x banyaknya data teramati

- Untuk uji tabel kontingensi:

$$E = \frac{(\sum \text{baris}) \times (\sum \text{kolom})}{\sum \text{total}}$$

$$RUF = \frac{\sigma^2_{\text{antara}}}{\sigma^2_{\text{dalam}}}$$

7. Pengambilan keputusan secara statistik.

Jika nilai rasio uji berada didaerah penerimaan maka hipotesis nol diterima sedangkan jika berada didaerah penolakan maka hipotesis nol ditolak.

2.8.2 Response Surface Methodology (RSM) [15]

Response Surface Methodology (RSM) dapat didefinisikan sebagai metode statistik yang digunakan untuk data kuantitatif dari suatu hasil penelitian untuk menghitung dan memecahkan suatu persamaan multi varians.

Variable yang dimasukkan untuk mengukur performa dan karakteristik kualitas dinamakan response sedangkan variable dikatakan variable bebas jika variable input untuk mengontrol ilmu kedokteran dan ilmu teknik. RMS tergantung pada strategi penelitian yang menggali suatu

ruang pada proses atau variable bebas, model statistik empiris supaya model statistik dapat berkembang sampai menemukan suatu hubungan yang sangat sesuai antara *yield* dengan variable proses.

$$y = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) + \varepsilon; \quad (2.1)$$

$$E(y) = \eta = E[f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)] + E(\varepsilon) = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k); \quad (2.2)$$

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k); \quad (2.3)$$

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2; \quad (2.4)$$

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2;$$

$$(2.5) \eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2;$$

$$(2.6) \eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$$

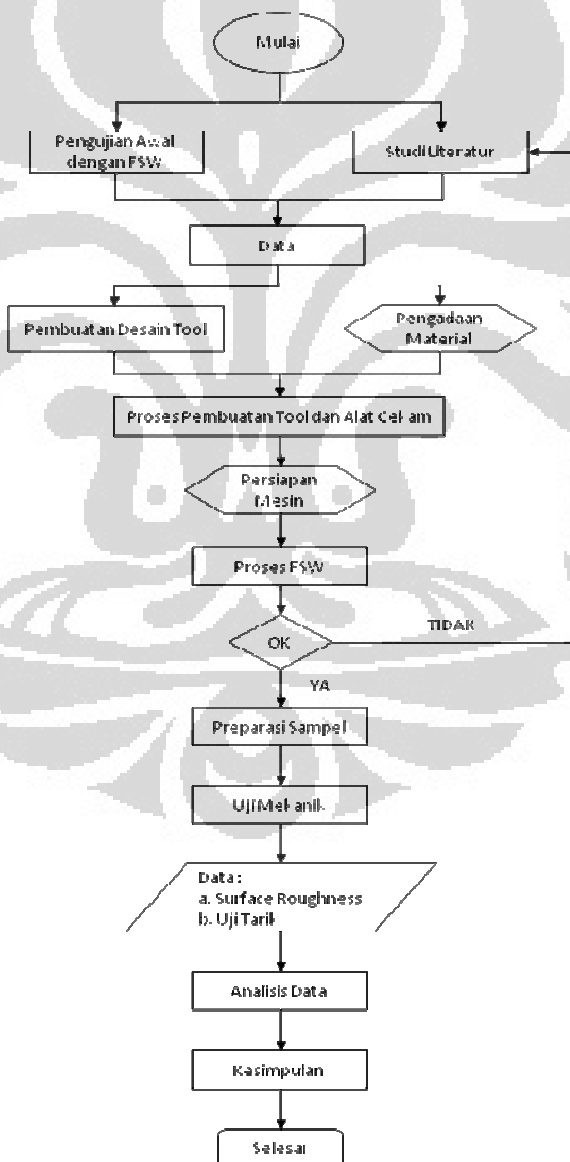
$$(2.7) \eta = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i < j=2}^k \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (2.8)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.9)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Langkah-langkah utama dari percobaan pengelasan dengan metode FSW dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan FSW pada Plat Tipis Aluminium

3.2 ALAT DAN MATERIAL PENGUJIAN

Secara garis besar alat dan material pengujian yang harus disiapkan adalah benda kerja pengelasan, *tool* pengelasan, mesin milling beserta asesorisnya.

3.2.1 ALAT / MESIN PEMBUATAN PERCOBAAN PENGLASAN

Mesin yang digunakan untuk percobaan pengelasan dengan metode FSW yaitu mesin CNC dengan tipe *adjustable vertical machine (Milling)* model EMCO VMC-200. Dibawah ini gambar dari mesin CNC:



Gambar 3.2 Mesin CNC

Alat pencekam benda kerja pada percobaan ini adalah dengan menggunakan ragam dan pencekam spesimen. Ragam yang digunakan adalah ragam meja datar yang berfungsi untuk mencekam pencekam spesimen sedangkan pencekam spesimen yang berfungsi untuk mencekam spesimen.



Gambar 3.3 Ragum Meja Datar



Gambar 3.4 Pencekam Spesimen

3.2.2 Benda uji pengelasan (spesimen)

Spesimen uji yang akan digunakan adalah aluminium AA1050. Dalam dunia industri material ini banyak sekali digunakan Berikut adalah sifat dari material aluminium AA1050 :

Tabel 3.1 Sifat Mekanik dari Alumunium AA1050

Temper	H12	H14	H16	H18	0
Proof Stress 0.2% (MPa)	85	105	120	140	35
Tensile Strength (MPa)	100	115	130	150	80
Shear Strength (MPa)	60	70	80	85	50
Elongation A5 (%)	12	10	7	6	42
Hardness Vickers (HV)	30	36		44	20

Tabel 3.2 Property Mekanik dari Alumunium AA1050

Property	Value
Density	2.71 kg/m ³
Melting Point	650°C
Modulus of Elasticity	71 GPa
Electrical Resistivity	0.0282x10 ⁻⁶ Ω.m
Thermal Conductivity	222 W/m.K
Thermal Expansion	24x10 ⁻⁶ /K

Tabel 3.3 Kandungan dari Alumunium AA1050

Element	% Present
Cu	0-0.05
Mg	0-0.05%
Si	0-0.25%
Fe	0-0.4%
Mn	0-0.05%
Zn	0-0.07%
Ti	0-0.05%
Al	Balance

Tabel 3.4 Kemampuan Proses dari Alumunium AA1050

Process	Rating
Workability – Cold	Excellent
Machinability	Poor
Weldability – Gas	Excellent
Weldability – Arc	Excellent
Weldability – Resistance	Excellent
Brazability	Excellent
Solderability	Excellent

Lembaran plat dengan tebal 0,4 mm dipotong dengan menggunakan mesin potong dengan ukuran spesimen 90 mm x 60 mm seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.5 Spesimen untuk pengelasan

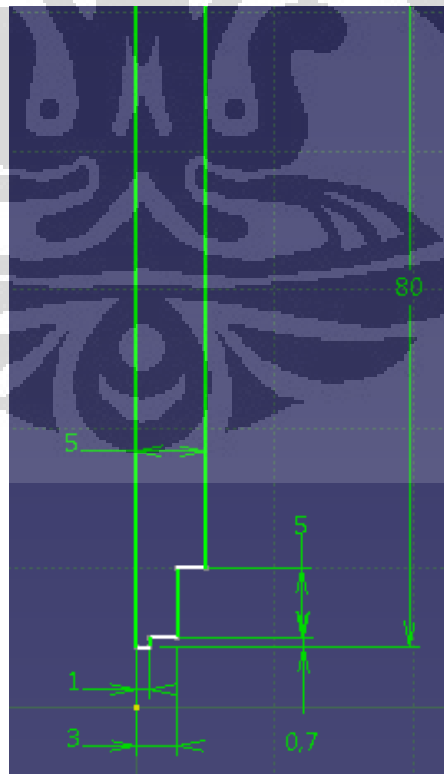


Gambar 3.6 Mesin Potong untuk Plat

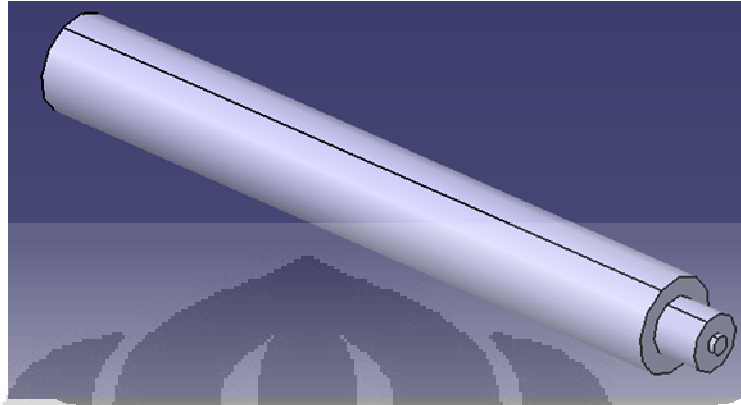
3.3 TOOL / PAHAT

Adapun tool yang digunakan untuk proses pengelasan dengan metode FSW:

1. Tool dengan probe lurus (90°)

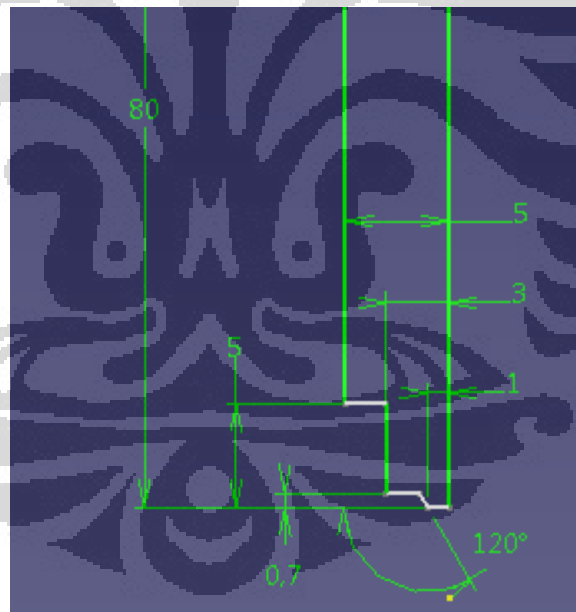


Gambar 3.7 Dimensi Tool #1 dengan Probe Lurus

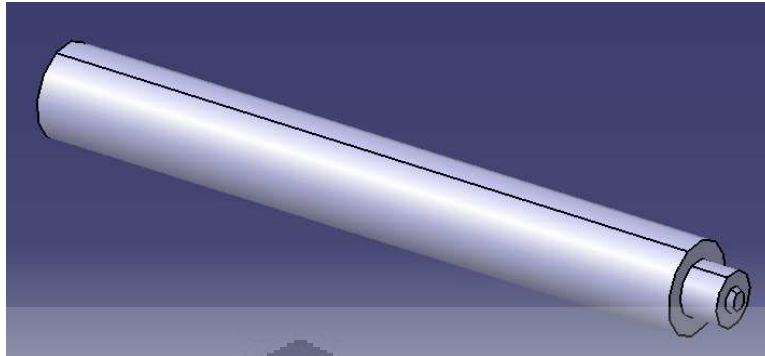


Gambar 3.8 Tool #1 dengan probe lurus

2. Tool dengan probe tirus (120°)



Gambar 3.9 Dimensi tool #2 dengan probe tirus (120°)



Gambar 3.10 Tool #2 dengan Probe Tirus (120°)

3.4 PROSES PENGELASAN

Setelah spesimen, tool pengelasan dan mesin siap maka langkah selanjutnya adalah persiapan proses pengujian. Persiapan proses pengujian meliputi :

1. Pemasangan alat pencekam (ragum) di mesin milling
2. Sebelum dilakukan pengelasan dengan metode FSW, pencekam spesimen dikalibrasi terlebih dahulu supaya hasil pengelasan benar-benar datar / tidak ada kemiringan.



Gambar 3.11 Proses Kalibrasi Pencekam Spesimen

3. Penyetingan mesin CNC dengan memasukan kode-kode program CNC



Gambar 3.12 Monitor untuk Programing CNC

Adapun parameter untuk proses percobaan pengelasan dengan metode *friction stir welding* adalah sebagai berikut:

a. *Lap Welding*

Tabel 3.5 Parameter untuk *Lap Welding*

Parameter	Tingkatan		
Pahat (Probe)	Lurus (90^0) & Tirus (120^0)		
Kecepatan Tool (Rpm)	2300	2600	2900
Feeding (mm/menit)	50	60	70
Angle (0)	0	1	2

b. *Spot Welding*

Tabel 3.6 Parameter untuk *Spot Welding*

Parameter	Tingkatan		
Pahat (Probe)	Lurus (90^0)		
Feeding (mm/menit)	30		
Kecepatan Tool (Rpm)	2300	2600	2900
Dweel Time (detik)	0	1	2
Angle (0)	0	1	2

4. Eksekusi percobaan pengelasan dengan metode FSW



Gambar 3.13 Proses Pengelasan

5. Penandaan spesimen hasil percobaan pengelasan



Gambar 3.14 Penandaan Spesimen Uji

BAB 4

ANALISIS DATA

4.1 KARAKTERISASI HASIL PERCOBAAN PENGELASAN

Pada percobaan ini ada dua parameter yang akan dianalisis yaitu uji tarik dan kekasaran permukaan. Dibawah ini beberapa hasil dari percobaan pengelasan dengan metode *friction stir welding*:

a. *Lap Welding*

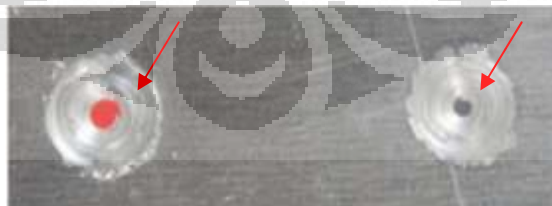


Gambar 4.1 Hasil Pengelasan pada Metode *Lap Welding* Terjadi Cacat



Gambar 4.2 Hasil Pengelasan pada Metode *Lap Welding* Tidak Terjadi Cacat

b. *Spot Welding*



Gambar 4.3 Hasil Pengelasan pada Metode *Spot Welding* Terjadi Lubang



Gambar 4.4 Hasil Pengelasan pada Metode *Spot Welding* Tidak Terjadi Lubang

4.2 DATA HASIL PENGUJIAN PERCOBAAN PENGELASAN

4.2.1 Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)

Pada pengujian ini hanya pada metode sambungan lap welding karena spot welding tidak dapat dilakukan pengujian. Adapun hasil dari pengujian kekasaran permukaan dengan metode sambungan lap welding:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan pada Sambungan *Lap Welding*

No.	Pahat	RPM	Feeding	Sudut	Kedalaman	Surface Roughness (μm)
1	1	2300	50	0	0,7	5,82
2	1	2600	50	0	0,7	2,76
3	1	2900	50	0	0,7	3,76
4	1	2300	60	0	0,7	6,02
5	1	2600	60	0	0,7	4,18
6	1	2900	60	0	0,7	4,4
7	1	2300	70	0	0,7	6,04
8	1	2600	70	0	0,7	4,12
9	1	2900	70	0	0,7	4,04
10	1	2300	50	1	0,7	8,58
11	1	2600	50	1	0,7	9,18
12	1	2900	50	1	0,67	10,88
13	1	2300	60	1	0,67	6,32
14	1	2600	60	1	0,67	5,76
15	1	2900	60	1	0,67	3,2
16	1	2300	70	1	0,67	6,14
17	1	2600	70	1	0,67	2,44
18	1	2900	70	1	0,67	5,18
19	1	2300	50	2	0,67	11,9
20	1	2600	50	2	0,67	22,16
21	1	2900	50	2	0,67	13,18
22	1	2300	60	2	0,67	12,68
23	1	2600	60	2	0,67	13,1

24	1	2900	60	2	0,67	11,06
25	1	2300	70	2	0,67	5,9
26	1	2600	70	2	0,67	8,76
27	1	2900	70	2	0,67	8,58
28	2	2300	50	0	0,7	7,96
29	2	2600	50	0	0,7	11,26
30	2	2900	50	0	0,7	9,82
31	2	2300	60	0	0,7	6,36
32	2	2600	60	0	0,7	11,24
33	2	2900	60	0	0,7	12,9
34	2	2300	70	0	0,7	7,96
35	2	2600	70	0	0,7	5,04
36	2	2900	70	0	0,7	9,98
37	2	2300	50	1	0,67	8,6
38	2	2600	50	1	0,67	12,44
39	2	2900	50	1	0,67	10,52
40	2	2300	60	1	0,67	11,52
41	2	2600	60	1	0,67	10,62
42	2	2900	60	1	0,67	13,98
43	2	2300	70	1	0,67	4,82
44	2	2600	70	1	0,67	11,4
45	2	2900	70	1	0,67	6,26
46	2	2300	50	2	0,67	12,8
47	2	2600	50	2	0,67	16,4
48	2	2900	50	2	0,67	9,86
49	2	2300	60	2	0,67	7,64
50	2	2600	60	2	0,67	11,1
51	2	2900	60	2	0,67	10,76
52	2	2300	70	2	0,67	4,54
53	2	2600	70	2	0,67	5,54
54	2	2900	70	2	0,67	12,56

Untuk data hasil pengujian *surface roughness* yang lebih detail dengan metode sambungan *lap welding* bisa dilihat pada lampiran A.

4.2.2 Hasil Pengujian Tarik

a. Hasil pengelasan dengan metode sambungan *lap welding*

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tarik pada Metode Sambungan *Lap Welding*

N o.	Pahat	Speed (rpm)	Feed (mm/menit)	Sudut (°)	Width (mm)	Thick (mm)	Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)
1	1	2300	50	0	50	0,4	120,5	0.1500	30.12	0.1
2		2600	50	0	50	0,4	197,8	0.2800	49.45	0.1867
3		2900	50	0	50	0,4	142,9	0.16	35.72	0.1067
4		2300	60	0	50	0,4	87,1	0.0800	21.77	0.0533
5		2600	60	0	50	0,4	104,8	0.1100	26.20	0.0733
6		2900	60	0	50	0,4	83,7	0.11	20.92	0.0733
7		2300	70	0	50	0,4	246,6	0.6900	61.65	0.46
8		2600	70	0	50	0,4	169,3	0.19	42.33	0.1267
9		2900	70	0	50	0,4	170,8	0.22	42.7	0.1467
10		2300	50	1	50	0,4	190,5	0.2	47.62	0.1333
11		2600	50	1	50	0,4	205,4	0.67	51.35	0.4467
12		2900	50	1	50	0,4	168,1	0.23	42.03	0.1533
13		2300	60	1	50	0,4	139,9	0.58	34.97	0.3867
14		2600	60	1	50	0,4	177,6	0.35	44.4	0.2333
15		2900	60	1	50	0,4	308,9	1.01	77.22	0.6733
16		2300	70	1	50	0,4	146,1	0.4	36.53	0.2667
17		2600	70	1	50	0,4	150,3	0.16	37.58	0.1067
18		2900	70	1	50	0,4	218,3	0.32	54.58	0.2133
19		2300	50	2	50	0,4	254	0.4	63.5	0.2667
20		2600	50	2	50	0,4	56,5	0.0900	14.12	0.0600
21		2900	50	2	50	0,4	121,5	0.3000	30.38	0.2000
22		2300	60	2	50	0,4	172,2	0.6000	43.05	0.4000
23		2600	60	2	50	0,4	181,6	0.58	45.4	0.3867
24		2900	60	2	50	0,4	430,2	0.6	107.55	0.4
25		2300	70	2	50	0,4	280,9	0.36	70.22	0.24
26		2600	70	2	50	0,4	67,2	0.17	16.8	0.1133
27		2900	70	2	50	0,4	196,4	0.26	49.1	0.1733

28		2300	50	0	50	0,4	375,4	1.77	93.85	1.18
29		2600	50	0	50	0,4	467,9	1.11	116.97	0.7400
30		2900	50	0	50	0,4	421,4	0.8600	105.35	0.5733
31		2300	60	0	50	0,4	350,1	0.6200	87.53	0.4133
32		2600	60	0	50	0,4	484,4	0.9400	121.10	0.6267
33		2900	60	0	50	0,4	371,6	0.6000	92.90	0.4000
34		2300	70	0	50	0,4	276,6	0.3100	69.15	0.2067
35		2600	70	0	50	0,4	578,7	1.36	144.68	0.9067
36		2900	70	0	50	0,4	339,1	0.8300	84.78	0.5533
37		2300	50	1	50	0,4	380,3	0.6500	95.07	0.4333
38		2600	50	1	50	0,4	84,3	0.1300	21.08	0.0867
39		2900	50	1	50	0,4	239,3	0.1800	59.83	0.1200
40		2300	60	1	50	0,4	55,5	0.0500	13.88	0.0333
41	2	2600	60	1	50	0,4	272,4	0.5400	68.10	0.3600
42		2900	60	1	50	0,4	471,6	1.06	117.90	0.7067
43		2300	70	1	50	0,4	486,3	1.24	121.57	0.8267
44		2600	70	1	50	0,4	387,5	0.5200	96.88	0.3467
45		2900	70	1	50	0,4	400,6	0.8600	100.15	0.5733
46		2300	50	2	50	0,4	98,4	0.1000	24.60	0.0667
47		2600	50	2	50	0,4	33,1	0.0700	8.27	0.0467
48		2900	50	2	50	0,4	501,7	0.6400	125.43	0.4267
49		2300	60	2	50	0,4	456,7	0.7300	114.18	0.4867
50		2600	60	2	50	0,4	78,1	0.1200	19.52	0.0800
51		2900	60	2	50	0,4	212,7	0.8400	60.67	0.5600
52		2300	70	2	50	0,4	444,5	0.8600	111.12	0.5733
53		2600	70	2	50	0,4	399,9	0.6900	99.97	0.4600
54		2900	70	2	50	0,4	281,6	0.2100	70.40	0.1400

Untuk data hasil pengujian uji tarik yang lebih detail dengan metode sambungan *lap welding* bisa dilihat pada lampiran A.

b. Hasil Pengelasan dengan metode sambungan *spot welding*:

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tarik pada Metode Sambungan *Spot Welding*

No.	Speed (rpm)	Dwell Time (detik)	Sudut (°)	Width mm	Thick mm	Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)
1	2300	0	0	30000	0,4	160.00	0.1300	25.48
2	2300	1	0	30000	0,4	413.60	0.3300	31.45
3	2300	2	0	30000	0,4	117.60	0.0900	20.73
4	2600	0	0	30000	0,4	197.50	0.1300	65.86
5	2600	1	0	30000	0,4	267.50	0.2200	42.60
6	2600	2	0	30000	0,4	636.60	0.5700	63.22
7	2900	0	0	30000	0,4	130.20	0.1600	18.73
8	2900	1	0	30000	0,4	397.00	0.3600	101.37
9	2900	2	0	30000	0,4	59.70	0.0400	9.51
10	2300	0	1	30000	0,4	82.40	0.0800	13.12
11	2300	1	1	30000	0,4	205.20	0.1300	9.00
12	2300	2	1	30000	0,4	81.80	0.0700	1.62
13	2600	0	1	30000	0,4	56.50	0.0600	32.68
14	2600	1	1	30000	0,4	175.40	0.1000	27.93
15	2600	2	1	30000	0,4	284.90	0.2200	2.45
16	2900	0	1	30000	0,4	10.20	0.0600	13.03
17	2900	1	1	30000	0,4	15.40	0.0200	45.37
18	2900	2	1	30000	0,4	392.30	0.3500	62.47
19	2300	0	2	30000	0,4	172.80	0.1300	47.52
20	2300	1	2	30000	0,4	115.50	0.1300	17.77
21	2300	2	2	30000	0,4	17.90	0.0200	24.41
22	2600	0	2	30000	0,4	111.60	0.0900	18.39
23	2600	1	2	30000	0,4	377.20	0.2800	60.06
24	2600	2	2	30000	0,4	280.40	0.2300	22.95
25	2900	0	2	30000	0,4	153.30	0.1200	2.85
26	2900	1	2	30000	0,4	144.10	0.1100	44.65
27	2900	2	2	30000	0,4	33.70	0.0300	5.37

Untuk data hasil pengujian uji tarik yang lebih detail dengan metode sambungan spot welding bisa dilihat pada lampiran B.

4.3 ANALISA HASIL PENGUJIAN PERCOBAAN FSW PADA SAMBUNGAN LAP WELDING (CHI SQUARE DAN GRAFIK)

4.3.1 Tool Dengan Probe Lurus Pada Pengujian Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)

- a. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi pada sudut 0° terhadap hasil pengujian kekasaran permukaan

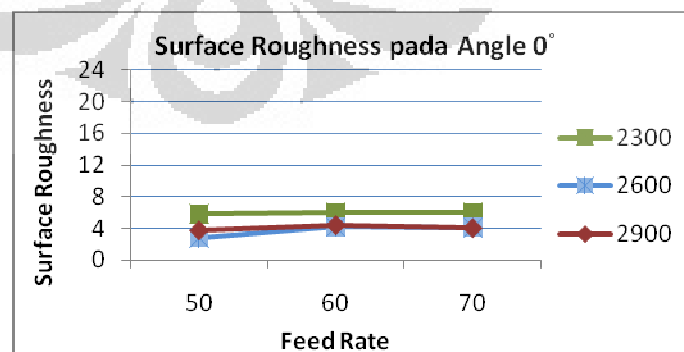
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.4 *Chi Square* Kekasaran Permukaan pada Sudut 0° untuk *Tool* Lurus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² / E
50 - 2300	5,820	5,363	0,457	0,209	0,001
50 - 2600	2,760	3,317	-0,557	0,311	0,001
50 - 2900	3,760	3,659	0,101	0,010	0,000
60 - 2300	6,020	6,345	-0,325	0,106	0,000
60 - 2600	4,180	3,925	0,255	0,065	0,000
60 - 2900	4,400	4,330	0,070	0,005	0,000
70 - 2300	6,040	6,172	-0,132	0,017	0,000
70 - 2600	4,120	3,818	0,302	0,092	0,000
70 - 2900	4,040	4,211	-0,171	0,029	0,000
Σ	41,140	41,140		RU X² =	0,003

$RU X^2 < 13,277$ maka H_0 diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 0° berpengaruh terhadap kekasaran permukaan material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.5 Grafik *Surface Roughness* pada Sudut 0° untuk *Tool* Lurus

Dari Gambar 4.5 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi 50 mm/menit tidak berpengaruh tapi parameter lain pada sudut 0^0 berpengaruh terhadap kekasaran permukaan

- b. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1^0 terhadap hasil pengujian kekasaran

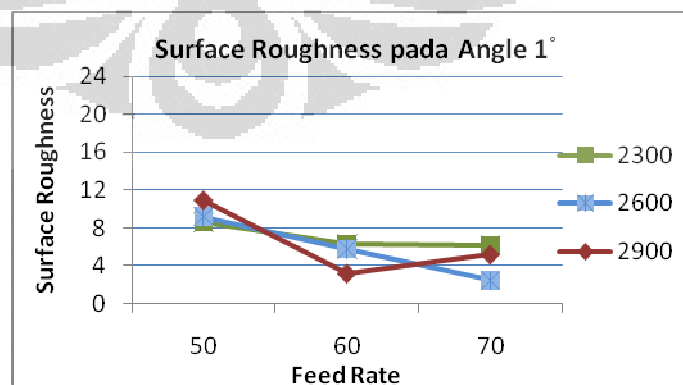
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.5 *Chi Square* Kekasaran Permukaan pada Sudut 1^0 untuk *Tool* Lurus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
50 - 2300	8,580	10,447	-1,867	3,486	0,011
50 - 2600	9,180	8,630	0,550	0,303	0,001
50 - 2900	10,880	9,563	1,317	1,734	0,005
60 - 2300	6,320	5,574	0,746	0,557	0,002
60 - 2600	5,760	4,604	1,156	1,336	0,004
60 - 2900	3,200	5,102	-1,902	3,618	0,011
70 - 2300	6,140	5,019	1,121	1,256	0,004
70 - 2600	2,440	4,146	-1,706	2,911	0,009
70 - 2900	5,180	4,595	0,585	0,343	0,001
Σ	57,680	57,680		$RU X^2 =$	0,047

$RU X^2 < 13,277$ maka H_0 diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1^0 berpengaruh terhadap kekasaran permukaan material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.6 Grafik *Surface Roughness* pada Sudut 1^0 untuk *Tool* Lurus

Dari Gambar 4.6 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1° berpengaruh terhadap kekasaran permukaan

- c. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2° terhadap hasil pengujian kekasaran permukaan

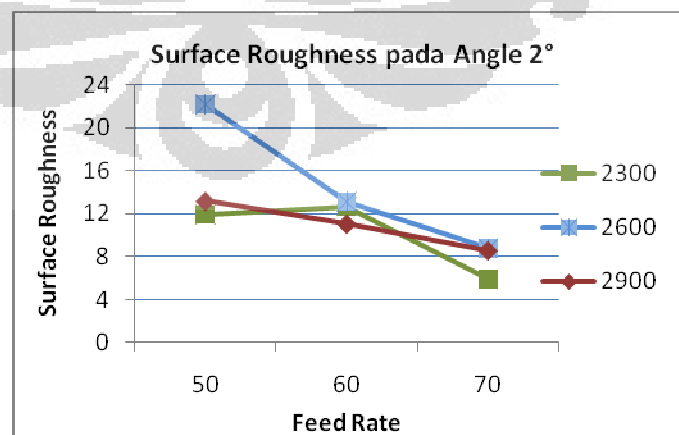
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.6 *Chi Square* Kekasaran Permukaan pada Sudut 2° untuk *Tool* Lurus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² / E
50 - 2300	11,900	13,417	-1,517	2,300	0,007
50 - 2600	22,160	19,377	2,783	7,747	0,023
50 - 2900	13,180	14,447	-1,267	1,604	0,005
60 - 2300	12,680	10,463	2,217	4,915	0,015
60 - 2600	13,100	15,111	-2,011	4,044	0,012
60 - 2900	11,060	11,266	-0,206	0,043	0,000
70 - 2300	5,900	6,600	-0,700	0,491	0,001
70 - 2600	8,760	9,532	-0,772	0,597	0,002
70 - 2900	8,580	7,107	1,473	2,169	0,007
Σ	107,320	107,320		RU X² =	0,072

$RU X^2 < 13,277$ maka H_0 diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2° berpengaruh terhadap kekasaran permukaan material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.7 Grafik *Surface Roughness* pada Sudut 2° untuk *Tool* Lurus

Dari Gambar 4.7 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2^0 berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

4.3.2 Tool Dengan Probe Tirus (120^0) Pada Pengujian Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)

a. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi pada sudut 0^0 terhadap hasil pengujian kekasaran permukaan.

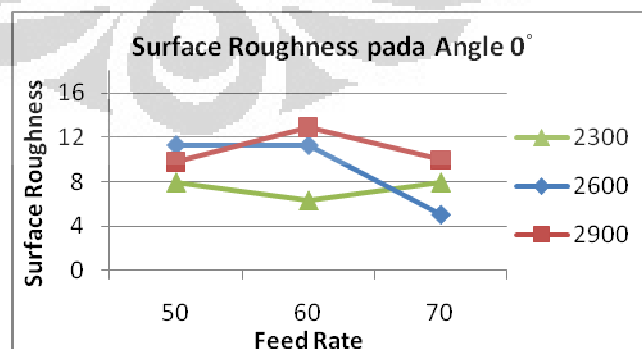
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.7 *Chi Square* Kekasaran Permukaan pada Sudut 0^0 untuk Tool Tirus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² / E
50 - 2300	7.960	7.841	0.119	0.014	0.000
50 - 2600	11.260	9.692	1.568	2.459	0.003
50 - 2900	9.820	11.508	-1.688	2.848	0.003
60 - 2300	6.360	8.235	-1.875	3.515	0.004
60 - 2600	11.240	10.179	1.061	1.126	0.001
60 - 2900	12.900	12.086	0.814	0.662	0.001
70 - 2300	7.960	6.204	1.756	3.082	0.003
70 - 2600	5.040	7.669	-2.629	6.913	0.008
70 - 2900	9.980	9.106	0.874	0.763	0.001
Σ	82.520	82.520		$RU X^2 =$	0.023

$RU X^2 < 13,277$ maka H_0 diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 0^0 berpengaruh terhadap kekasaran permukaan material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.8 Grafik *Surface Roughness* pada Sudut 0^0 untuk Tool Tirus

Dari gambar 4.8 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 0° berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

- b. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1° terhadap hasil pengujian kekasaran permukaan.

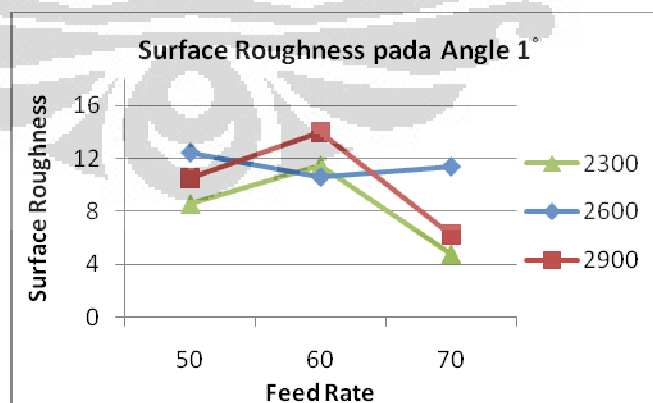
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.8 *Chi Square* Kekasaran Permukaan pada Sudut 1° untuk *Tool* Tirus

Baris - Kolom	O	E	O - E	$(O - E)^2$	$(O - E)^2 / E$
50 - 2300	8.600	8.730	-0.130	0.017	0.000
50 - 2600	12.440	12.063	0.377	0.142	0.000
50 - 2900	10.520	10.767	-0.247	0.061	0.000
60 - 2300	11.520	9.991	1.529	2.336	0.003
60 - 2600	10.620	13.805	-3.185	10.147	0.011
60 - 2900	13.980	12.323	1.657	2.745	0.003
70 - 2300	4.820	6.218	-1.398	1.956	0.002
70 - 2600	11.400	8.592	2.808	7.884	0.009
70 - 2900	6.260	7.670	-1.410	1.987	0.002
Σ	90.160	90.160		RU $X^2 =$	0.030

$RU X^2 < 13,277$ maka H_0 diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1° berpengaruh terhadap kekasaran permukaan material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.9 Grafik *Surface Roughness* pada Sudut 1° untuk *Tool* Tirus

Dari gambar 4.9 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1° berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

- c. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2° terhadap hasil pengujian kekasaran permukaan.

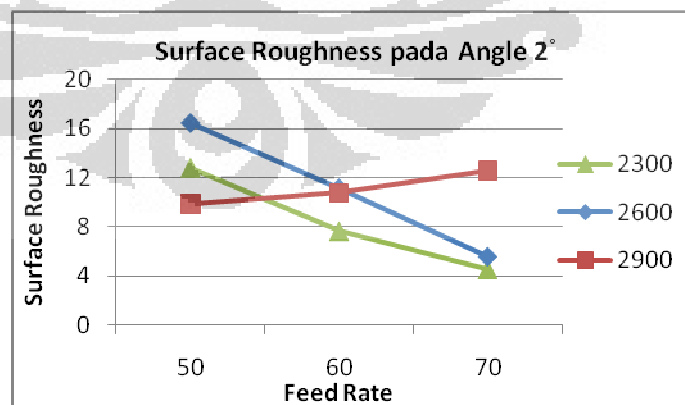
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.9 *Chi Square* Kekasaran Permukaan pada Sudut 2° untuk *Tool* Tirus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
50 - 2300	12.800	10.699	2.101	4.416	0.005
50 - 2600	16.400	14.151	2.249	5.059	0.006
50 - 2900	9.860	14.211	-4.351	18.928	0.021
60 - 2300	7.640	8.080	-0.440	0.194	0.000
60 - 2600	11.100	10.687	0.413	0.170	0.000
60 - 2900	10.760	10.733	0.027	0.001	0.000
70 - 2300	4.540	6.201	-1.661	2.760	0.003
70 - 2600	5.540	8.202	-2.662	7.086	0.008
70 - 2900	12.560	8.237	4.323	18.690	0.020
Σ	91.200	91.200		RU X² =	0.063

RU X² < 13,277 maka H₀ diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2° berpengaruh terhadap kekasaran permukaan material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.10 Grafik *Surface Roughness* pada Sudut 2° untuk *Tool* Tirus

Dari gambar 4.10 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2^0 berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

4.3.3 Tool Dengan Probe Lurus Pada Pengujian Tarik (*Tensile Stress*)

- a. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi (feeding) pada sudut 0^0 terhadap hasil Uji Tarik

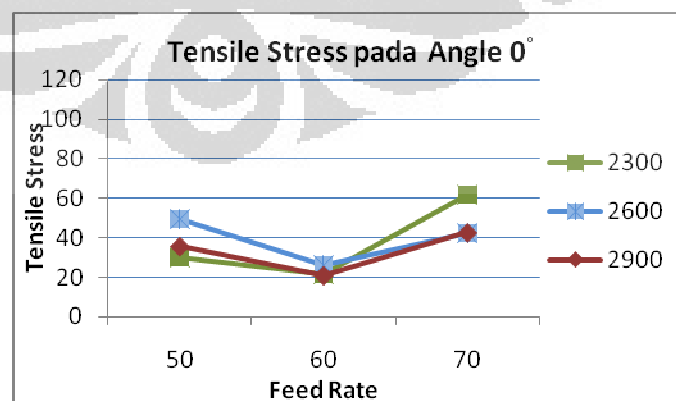
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.10 *Chi Square* Pengujian Tarik pada Sudut 0^0 untuk *Tool* Lurus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² / E
50 - 2300	30,120	39,564	-9,444	89,182	0,270
50 - 2600	49,450	41,111	8,339	69,543	0,210
50 - 2900	35,720	34,616	1,104	1,220	0,004
60 - 2300	21,770	23,641	-1,871	3,500	0,011
60 - 2600	26,200	24,565	1,635	2,673	0,008
60 - 2900	20,920	20,684	0,236	0,056	0,000
70 - 2300	61,650	50,336	11,314	128,015	0,387
70 - 2600	42,330	52,304	-9,974	99,481	0,301
70 - 2900	42,700	44,040	-1,340	1,797	0,005
Σ	330,860	330,860		RU X² =	1,195

RU X² < 13,277 maka H₀ diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 0^0 berpengaruh terhadap kekuatan mekanik material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.11 Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 0^0 untuk *Tool* Lurus

Dari Gambar 4.11 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 0° berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

- b. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi (feeding) pada sudut 1° terhadap hasil Uji Tarik

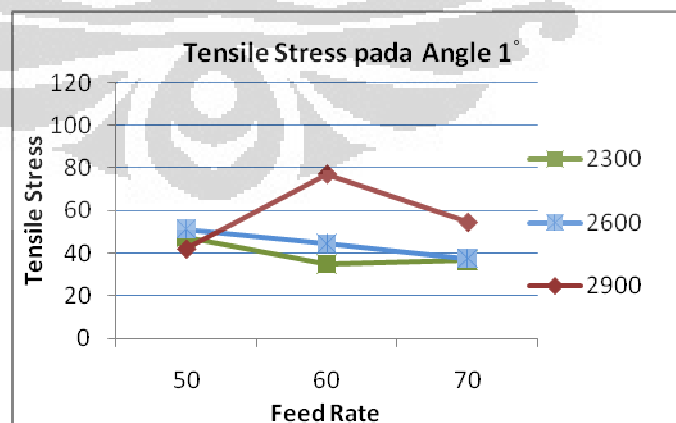
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.11 *Chi Square* Pengujian Tarik pada Sudut 1° untuk *Tool* Lurus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
50 - 2300	47,620	39,401	8,219	67,550	0,204
50 - 2600	51,350	44,101	7,249	52,543	0,159
50 - 2900	42,030	57,497	-15,467	239,243	0,723
60 - 2300	34,970	43,758	-8,788	77,222	0,233
60 - 2600	44,400	48,978	-4,578	20,954	0,063
60 - 2900	77,220	63,855	13,365	178,628	0,540
70 - 2300	36,530	35,961	0,569	0,324	0,001
70 - 2600	37,580	40,251	-2,671	7,135	0,022
70 - 2900	54,580	52,478	2,102	4,420	0,013
Σ	426,280	426,280		RU X² =	1,959

RU X² < 13,277 maka H₀ diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1° berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.12 Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 1° untuk *Tool* Lurus

Dari Gambar 4.12 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1° berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

- c. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi (feeding) pada sudut 2° terhadap hasil Uji Tarik

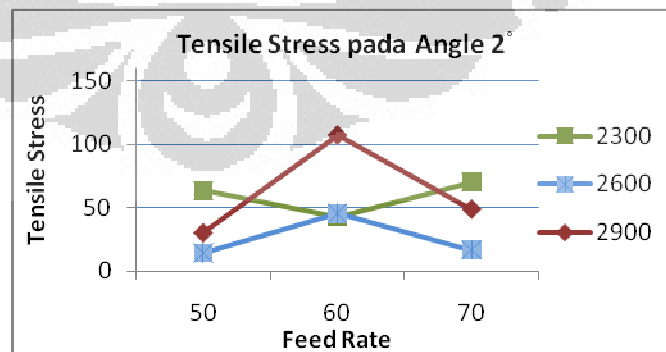
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.12 *Chi Square* Pengujian Tarik pada Sudut 2° untuk *Tool* Lurus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² / E
50 - 2300	63,500	43,377	20,123	404,928	1,224
50 - 2600	14,120	18,728	-4,608	21,234	0,064
50 - 2900	30,380	45,895	-15,515	240,710	0,728
60 - 2300	43,050	78,722	-35,672	1272,458	3,846
60 - 2600	45,400	33,988	11,412	130,238	0,394
60 - 2900	107,550	83,291	24,259	588,516	1,779
70 - 2300	70,220	54,671	15,549	241,762	0,731
70 - 2600	16,800	23,604	-6,804	46,297	0,140
70 - 2900	49,100	57,845	-8,745	76,466	0,231
Σ	440,120	440,120		RU X² =	9,136

$RU X^2 < 13,277$ maka H_0 diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2° berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.13 Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 2° untuk *Tool* Lurus

Dari Gambar 4.13 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2° berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

4.3.4 Tool Dengan Probe Tirus (120^0) Pada Pengujian Tarik (*Tensile Stress*)

- a. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi (feeding) pada sudut 0^0 terhadap hasil Uji Tarik

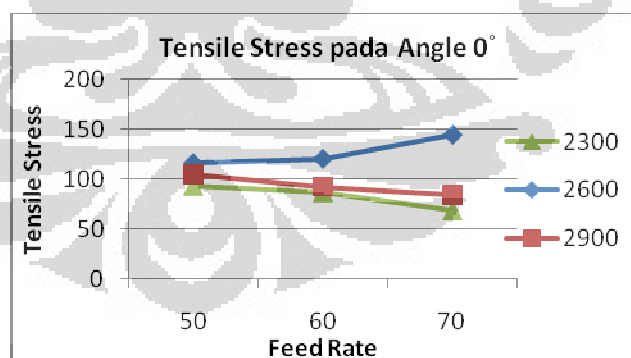
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.13 *Chi Square* Pengujian Tarik pada Sudut 0^0 untuk *Tool* Tirus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
50 - 2300	93.850	86.445	7.405	54.840	0.060
50 - 2600	116.970	132.067	-15.097	227.911	0.249
50 - 2900	105.350	97.659	7.691	59.157	0.065
60 - 2300	87.530	82.442	5.088	25.889	0.028
60 - 2600	121.100	125.951	-4.851	23.537	0.026
60 - 2900	92.900	93.137	-0.237	0.056	0.000
70 - 2300	69.150	81.644	-12.494	156.088	0.170
70 - 2600	144.680	124.732	19.948	397.931	0.434
70 - 2900	84.780	92.235	-7.455	55.573	0.061
Σ	916.310	916.310		RU $X^2 =$	1.092

RU $X^2 < 13,277$ maka H_0 diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 0^0 berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.14 Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 0^0 untuk *Tool* Tirus

Dari Gambar 4.14 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 0^0 berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

- b. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi (feeding) pada sudut 1^0 terhadap hasil Uji Tarik

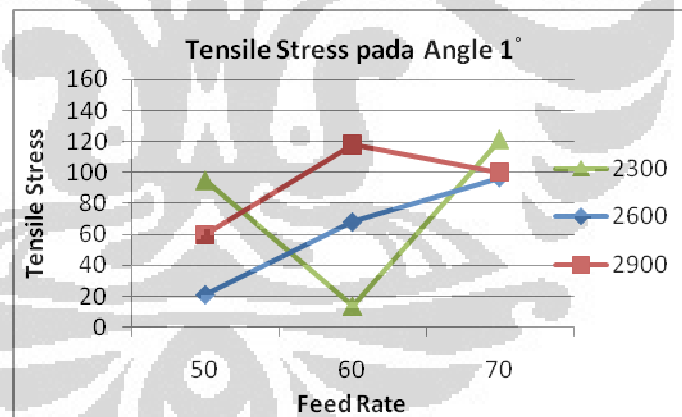
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.14 *Chi Square* Pengujian Tarik pada Sudut 1° untuk *Tool Tirus*

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
50 - 2300	95.070	58.415	36.655	1343.586	1.466
50 - 2600	21.080	47.149	-26.069	679.574	0.742
50 - 2900	59.830	70.416	-10.586	112.070	0.122
60 - 2300	13.880	66.348	-52.468	2752.937	3.004
60 - 2600	68.100	53.552	14.548	211.646	0.231
60 - 2900	117.900	79.980	37.920	1437.954	1.569
70 - 2300	121.570	105.757	15.813	250.066	0.273
70 - 2600	96.880	85.359	11.521	132.723	0.145
70 - 2900	100.150	127.484	-27.334	747.150	0.815
Σ	694.460	694.460		RU X² =	8.368

RU X² < 13,277 maka H₀ diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1° berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.15 Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 1° untuk *Tool Tirus*

Dari Gambar 4.15 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 1° berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

- c. Pengaruh kecepatan putar tool dengan kecepatan translasi (feeding) pada sudut 2° terhadap hasil Uji Tarik

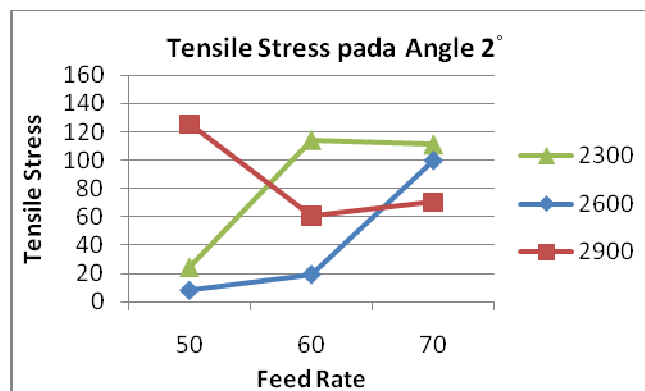
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.15 *Chi Square* Pengujian Tarik pada Sudut 2° untuk *Tool* Tirus

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
50 - 2300	24.600	62.380	-37.780	1427.360	1.558
50 - 2600	8.270	31.892	-23.622	557.982	0.609
50 - 2900	125.430	64.028	61.402	3770.215	4.115
60 - 2300	114.180	76.594	37.586	1412.682	1.542
60 - 2600	19.520	39.158	-19.638	385.668	0.421
60 - 2900	60.670	78.617	-17.947	322.103	0.352
70 - 2300	111.120	110.925	0.195	0.038	0.000
70 - 2600	99.970	56.710	43.260	1871.435	2.042
70 - 2900	70.400	113.855	-43.455	1888.323	2.061
Σ	634.160	634.160		RU X² =	12.699

$RU X^2 < 13,277$ maka H_0 diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2° berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

➤ Grafik

Gambar 4.16 Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 2° untuk *Tool* Tirus

Dari Gambar 4.16 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan kecepatan translasi pada sudut 2° berpengaruh untuk kekuatan mekanik material hasil FSW.

4.4 ANALISA HASIL PENGUJIAN PERCOBAAN FSW PADA METODE SAMBUNGAN *SPOT WELDING*

a. *Chi Square* perubahan kecepatan putar tool dengan Dwell Time pada sudut 0° terhadap hasil Uji Tarik

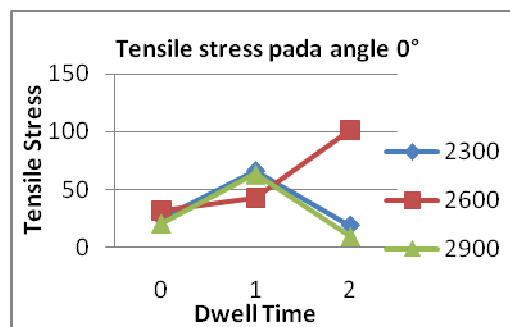
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.16 *Chi Square* Pengujian Tarik pada Sudut 0° untuk Proses *Spot Welding*

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
50 - 2300	25.478	22.557	2.921	8.533	0.023
50 - 2600	31.449	35.950	-4.501	20.256	0.053
50 - 2900	20.732	19.153	1.580	2.495	0.007
60 - 2300	65.860	49.863	15.997	255.891	0.675
60 - 2600	42.596	79.470	-36.874	1359.697	3.588
60 - 2900	63.217	42.339	20.877	435.870	1.150
70 - 2300	18.726	37.644	-18.918	357.877	0.944
70 - 2600	101.369	59.995	41.375	1711.865	4.518
70 - 2900	9.506	31.963	-22.457	504.319	1.331
Σ	378.933	378.933		RU X² =	12.289

RU X² < 13,277 maka H₀ diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dan dwell time pada sudut 0° berpengaruh terhadap kekuatan mekanik material hasil FSW.

➤ Grafik

Gambar 4.17 Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 0° untuk Proses *Spot Welding*

Dari gambar 4.17 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan *dwell time* pada sudut 0° berpengaruh kekuatan mekanik material hasil pengelasan dengan metode FSW.

b. *Chi Square* perubahan kecepatan putar tool dengan Dwell Time pada sudut 1° terhadap hasil Uji Tarik

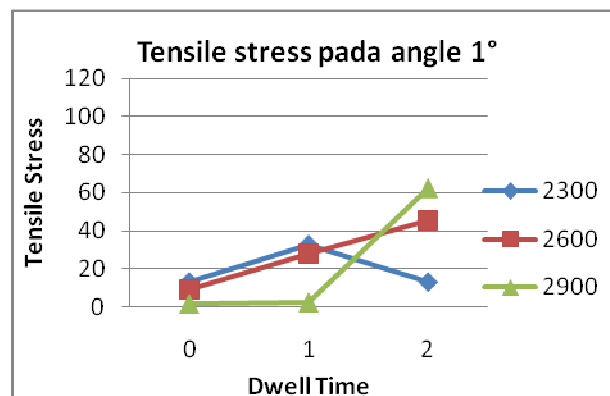
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.17 *Chi Square* Pengujian Tarik pada Sudut 1° untuk Proses *Spot Welding*

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
50 - 2300	13.121	6.725	6.396	40.907	0.108
50 - 2600	8.997	9.409	-0.412	0.170	0.000
50 - 2900	1.624	7.608	-5.984	35.808	0.094
60 - 2300	32.675	17.862	14.814	219.440	0.579
60 - 2600	27.930	24.989	2.941	8.650	0.023
60 - 2900	2.452	20.207	-17.755	315.224	0.832
70 - 2300	13.025	34.235	-21.209	449.836	1.187
70 - 2600	45.366	47.895	-2.529	6.397	0.017
70 - 2900	62.468	38.730	23.738	563.516	1.487
Σ	207.659	207.659		RU X² =	4.328

$RU X^2 < 13,277$ maka H_0 diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dan dwell time pada sudut 1° berpengaruh terhadap kekuatan mekanik material hasil FSW.

➤ Grafik



Gambar 4.18 Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 1° untuk Proses *Spot Welding*. Dari gambar 4.18 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan *dwell time* pada sudut 1° berpengaruh kekuatan mekanik material hasil pengelasan dengan metode FSW.

c. *Chi Square* perubahan kecepatan putar tool dengan Dwell Time pada sudut 2° terhadap hasil Uji Tarik

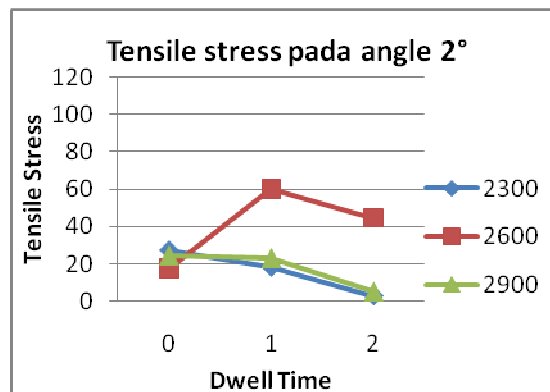
➤ *Chi Square* (Uji Tabel Kontingensi)

Tabel 4.18 *Chi Square* Pengujian Tarik pada Sudut 2° untuk Proses *Spot Welding*

Baris - Kolom	O	E	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
50 - 2300	27.516	15.173	12.343	152.338	0.402
50 - 2600	17.771	38.117	-20.346	413.964	1.092
50 - 2900	24.411	16.407	8.004	64.057	0.169
60 - 2300	18.392	22.075	-3.684	13.570	0.036
60 - 2600	60.064	55.455	4.608	21.237	0.056
60 - 2900	22.946	23.871	-0.925	0.855	0.002
70 - 2300	2.850	11.509	-8.659	74.976	0.198
70 - 2600	44.650	28.912	15.738	247.675	0.654
70 - 2900	5.366	12.445	-7.079	50.110	0.132
Σ	223.965	223.965		RU X² =	2.741

RU X² < 13,277 maka H₀ diterima, sehingga perubahan kecepatan tool dan dwell time pada sudut 2⁰ berpengaruh terhadap kekuatan mekanik material hasil FSW.

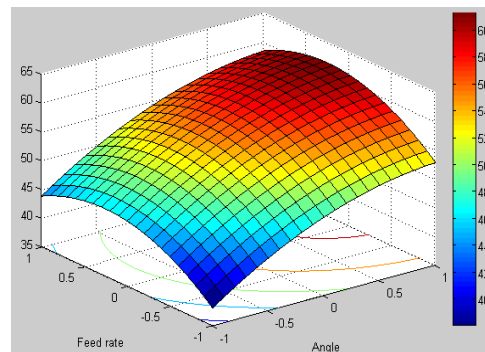
➤ Grafik



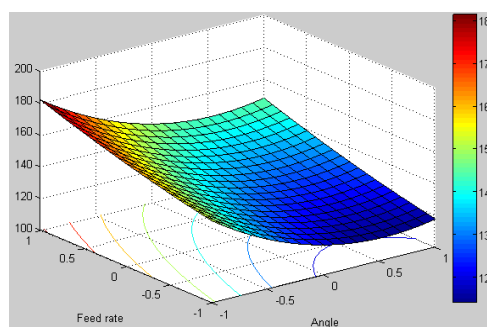
Gambar 4.19 Grafik Pengujian Tarik pada Sudut 2⁰ untuk Proses *Spot Welding*. Dari gambar 4.19 bisa disimpulkan bahwa variasi kecepatan tool dengan *dwell time* pada sudut 2⁰ berpengaruh kekuatan mekanik material hasil pengelasan dengan metode FSW.

4.5 ANALISA HASIL PENGUJIAN *SURFACE ROUGHNESS* DAN UJI TARIK MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)*

- Pengaruh kecepatan translasi (feed rate) dengan sudut (°) terhadap hasil Uji Tarik pada metode sambungan *Lap Welding*



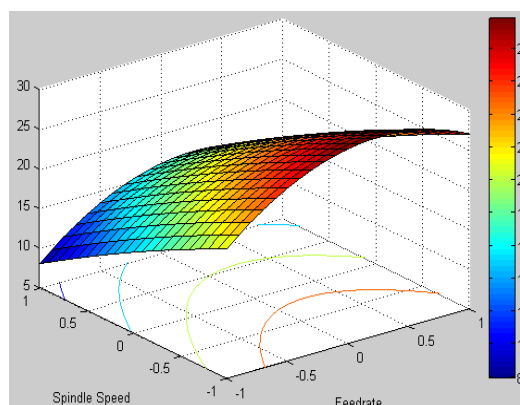
Gambar 4.20 RSM pada tool dengan probe lurus



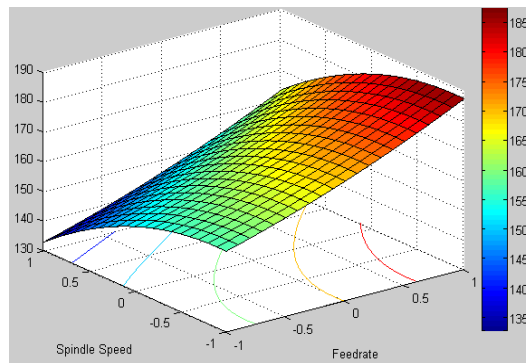
Gambar 4.21 RSM pada tool dengan probe tirus (120°)

Pada gambar 4.20 dan 4.21 menunjukkan bahwa kecepatan translasi (feed rate) dengan sudut berpengaruh terhadap kekuatan mekanik material hasil FSW.

- b. Pengaruh kecepatan translasi (feed rate) dengan kecepatan putar terhadap hasil Uji Tarik pada metode sambungan *Lap Welding*



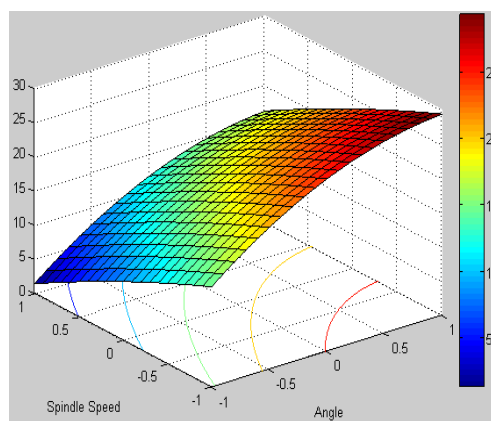
Gambar 4.22 RSM pada tool dengan probe lurus



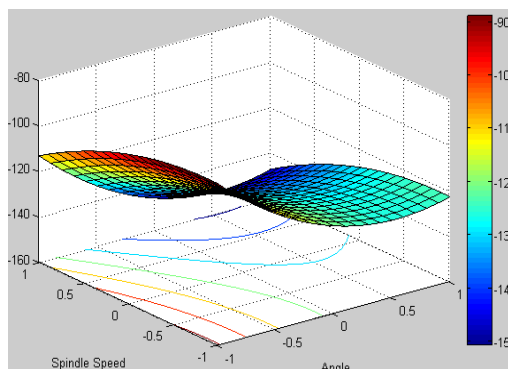
Gambar 4.23 RSM pada tool dengan probe tirus (120°)

Pada gambar 4.22 dan 4.23 menunjukkan bahwa kecepatan translasi (feed rate) dengan kecepatan putar berpengaruh terhadap kekuatan mekanik material hasil FSW.

- c. Pengaruh kecepatan translasi (feed rate) dengan sudut ($^\circ$) terhadap hasil Uji Tarik pada metode sambungan *Lap Welding*



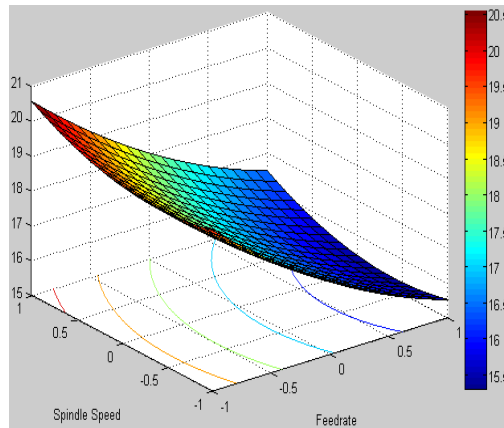
Gambar 4.24 RSM pada tool dengan probe lurus



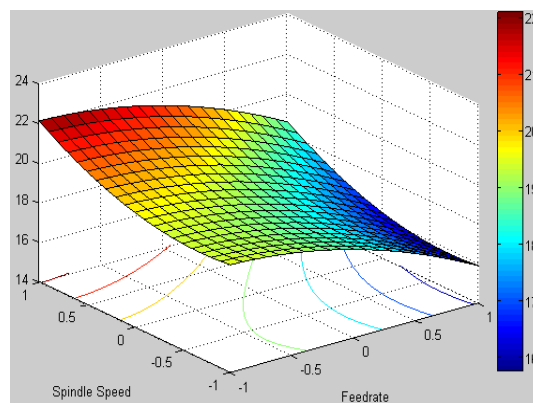
Gambar 4.25 RSM pada tool dengan probe tirus (120°)

Pada gambar 4.24 dan 4.25 menunjukkan bahwa kecepatan putar dengan sudut berpengaruh terhadap kekuatan mekanik material hasil FSW.

- d. Pengaruh kecepatan translasi (feed rate) dengan kecepatan putar tool terhadap hasil Uji Kekasaran Permukaan pada metode sambungan *Lap Welding*



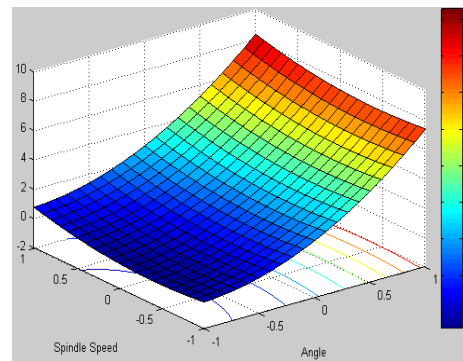
Gambar 4.26 RSM pada tool dengan probe lurus



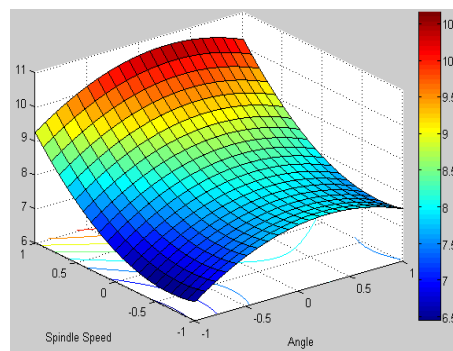
Gambar 4.27 RSM pada tool dengan probe tirus (120°)

Pada gambar 4.26 dan 4.27 menunjukkan bahwa kecepatan translasi (feed rate) dengan kecepatan putar tool berpengaruh terhadap hasil uji kekasaran permukaan

- e. Pengaruh kecepatan putar tool dengan sudut terhadap hasil Uji Kekasaran Permukaan pada metode sambungan *Lap Welding*



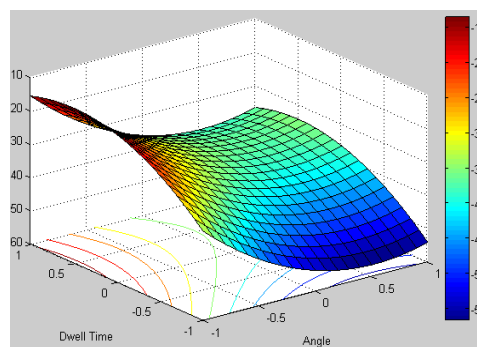
Gambar 4.28 RSM pada tool dengan probe lurus



Gambar 4.29 RSM pada tool dengan probe tirus (120°)

Pada gambar 4.28 dan 4.29 menunjukkan bahwa kecepatan putar tool dengan sudut berpengaruh terhadap hasil uji kekasaran permukaan

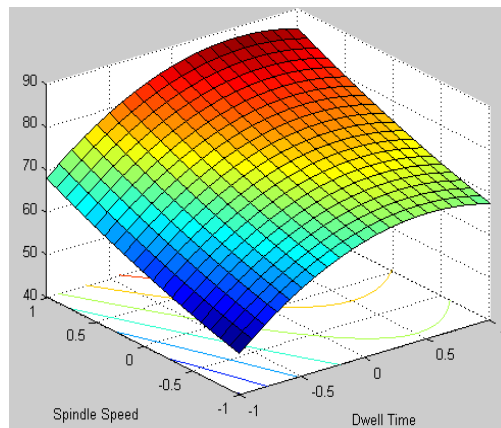
- f. Pengaruh kecepatan dwell time dengan sudut ($^{\circ}$) terhadap hasil Uji Tarik pada metode sambungan *Spot Welding*



Gambar 4.30 RSM pada tool dengan probe lurus

Pada gambar 4.30 menunjukkan bahwa kecepatan dwell time dengan sudut berpengaruh terhadap hasil uji tarik

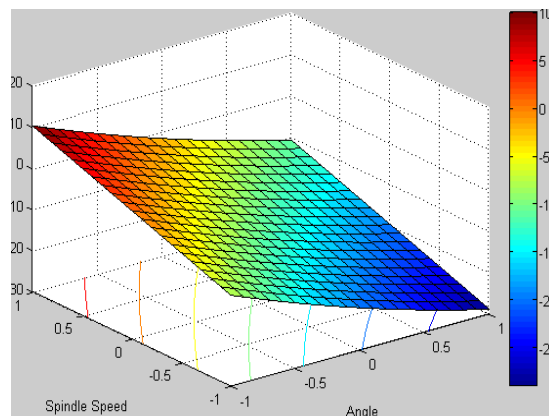
- g. Pengaruh kecepatan dwell time dengan kecepatan putar terhadap hasil Uji Tarik pada metode sambungan *Spot Welding*



Gambar 4.31 RSM pada tool dengan probe lurus

Pada gambar 4.31 menunjukkan bahwa kecepatan dwell time dengan kecepatan putar berpengaruh terhadap hasil uji tarik

- h. Pengaruh kecepatan putar dengan sudut ($^{\circ}$) terhadap hasil Uji Tarik pada metode sambungan *Spot Welding*



Gambar 4.32 RSM pada tool dengan probe lurus

Pada gambar 4.32 menunjukkan bahwa kecepatan putar dengan sudut berpengaruh terhadap hasil uji tarik

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

- a. Pada proses FSW dengan metode *Lap Welding* dan *spot welding*, perubahan parameter (kecepatan putar tool, feed rate, angle, dwell time) pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan mekanik dan kekasaran permukaan material hasil FSW
- b. Setiap perbedaan bentuk probe pada setiap tool maka hasil dari setiap parameter tidak akan sama.
- c. Sisa material bekas proses pengelasan yang menempel pada *tool* mengakibatkan hasil pengelasan menjadi berlubang atau cacat pada hasil FSW.

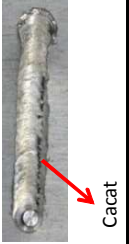


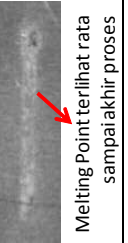


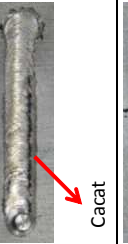
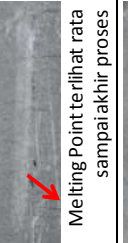


5.2. SARAN

- a. Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut untuk memperkuat hasil-hasil analisa diatas dengan variasi parameter yang sama tapi dilakukan jangan hanya sekali pada setiap parameternya karena bisa terjadi error yang sangat besar pada proses analisa.
- b. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bagaimana caranya supaya sisa material pengelasan tidak menempel pada tool sehingga mendapatkan hasil yang optimal
- c. Penggunaan analisa dengan menggunakan Grafik, *Chi Square*, dan RSM sangat penting dilakukan supaya bisa dijadikan pembandingan dan pelengkap dari kekurangan dalam parameter analisa.

LAMPIRAN















LAMPIRAN A : Data Hasil Pengujian Uji Tarik dan Surface Roughness Untuk Metode Sambungan Lap Welding

Date : 09-06-2012
 File : C:\web\TST0001.DAT
 Test Speed : 5 mm/min
 Sample Length : 150 mm
 Sample Type : RECTANGULAR
 Pre-Tension : OFF
 Width : 50 mm
 Thick : 0,4 mm


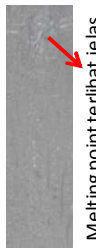






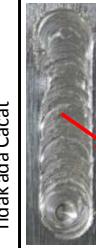

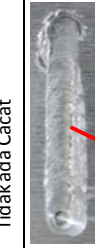



No.	Pahat	Foto		Speed (rpm)	Feed (mm/menit)	Angle (°)	Surface Roughness (µm)	UJI TARIK							
		Front	Back					Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm2)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm2)	Strain @ Yield (%)
1	Probe Lurus			2300	50	0	5.82	120.5	0.1500	30.12	0.1	120.50	0.1500	30.12	0.1
2	Probe Lurus			2600	50	0	2.76	197.8	0.2800	49.45	0.1867	197.80	0.2800	49.45	0.1867
3	Probe Lurus			2900	50	0	3.76	142.9	0.16	35.72	0.1067	142.9	0.16	35.72	0.1067
4	Probe Lurus			2300	60	0	6.02	87.1	0.0800	21.77	0.0533	87.10	0.0800	21.77	0.0533
5	Probe Lurus			2600	60	0	4.18	104.8	0.1100	26.20	0.0733	104.80	0.1100	26.20	0.0733

LAMPIRAN A (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik dan Surface Roughness Untuk Metode Sambungan Lap Welding															
No.	Pahat	Foto		Speed (rpm)	Feed (mm/menit)	Angle (°)	Surface Roughness (µm)	UJI TARIK							
		Front	Back					Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
6	Probe Lurus			2900	60	0	4.4	83.7	0.11	20.92	0.0733	83.7	0.11	20.92	0.0733
		Cacat	Melting Point terlihat rata sampaiakhir proses												
7	Probe Lurus			2300	70	0	6.04	246.6	0.6900	61.65	0.46	246.60	0.6900	61.65	0.46
		Cacat	Melting Point terlihat rata sampaiakhir proses												
8	Probe Lurus			2600	70	0	4.12	169.3	0.19	42.33	0.1267	169.3	0.19	42.33	0.1267
		Cacat	Melting Point terlihat rata sampaiakhir proses												
9	Probe Lurus			2900	70	0	4.04	170.8	0.22	42.7	0.1467	170.8	0.22	42.7	0.1467
		Cacat	Melting Point terlihat rata sampaiakhir proses												
10	Probe Lurus			2300	50	1	8.58	190.5	0.2	47.62	0.1333	190.5	0.2	47.62	0.1333
		Tidak ada Worm hole	Melting Point terlihat rata sampaiakhir proses												
11	Probe Lurus			2600	50	1	9.18	205.4	0.67	51.35	0.4467	205.4	0.67	51.35	0.4467
		Tidak ada Cacat	Melting Point terlihat jelas pada awal proses												
12	Probe Lurus			2900	50	1	10.88	168.1	0.23	42.03	0.1533	168.1	0.23	42.03	0.1533
		Tidak ada Cacat	Melting Point terlihat rata sampaiakhir proses												




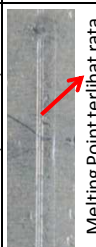










LAMPIRAN A (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik dan Surface Roughness Untuk Metode Sambungan Lap Welding








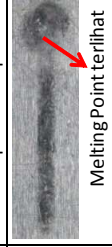



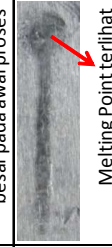


No.	Pahat	Foto		Speed (rpm)	Feed (mm/menit)	Angle (°)	Surface Roughness (µm)	UJI TARIK							
		Front	Back					Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
13	Probe Lurus			2300	60	1	6.32	139.9	0.58	34.97	0.3867	139.9	0.58	34.97	0.3867
		Terjadi Cacat pada akhir proses	Terjadi Cacat pada akhir proses												
14	Probe Lurus			2600	60	1	5.76	177.6	0.35	44.4	0.2333	177.6	0.35	44.4	0.2333
		Tidak ada Cacat	Melting Point terlihat rata sampai akhir proses												
15	Probe Lurus			2900	60	1	3.2	308.9	1.01	77.22	0.6733	308.9	1.01	77.22	0.6733
		Tidak ada Cacat	Melting Point terlihat rata sampai akhir proses												
16	Probe Lurus			2300	70	1	6.14	146.1	0.4	36.53	0.2667	146.1	0.4	36.53	0.2667
		Tidak ada Cacat	Melting Point terlihat rata sampai akhir proses												
17	Probe Lurus			2600	70	1	2.44	150.3	0.16	37.58	0.1067	150.3	0.16	37.58	0.1067
		Tidak ada Cacat	Melting Point terlihat rata sampai akhir proses												
18	Probe Lurus			2900	70	1	5.18	218.3	0.32	54.58	0.2133	218.3	0.32	54.58	0.2133
		Tidak ada Cacat	Melting Point terlihat rata sampai akhir proses												
19	Probe Lurus			2300	50	2	11.9	254	0.4	63.5	0.2667	254	0.4	63.5	0.2667
		Cacat	Melting point terlihat jelas pada awal proses												

LAMPIRAN A (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik dan Surface Roughness Untuk Metode Sambungan Lap Welding






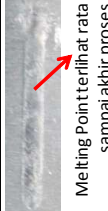



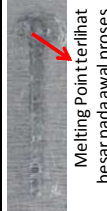
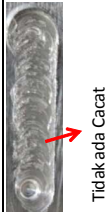

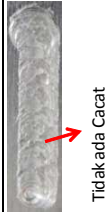



No.	Pahat	Foto		Speed (rpm)	Feed (mm/menit)	Angle (°)	Surface Roughness (µm)	UJI TARIK							
		Front	Back					Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
20	Probe Lurus	 Cacat	 Melting point terlihat jelas pada awal proses	2600	50	2	22.16	56.5	0.0900	14.12	0.0600	56.50	0.0900	14.12	0.0600
21	Probe Lurus	 Tidak ada Cacat	 Melting Point terlihat jelas	2900	50	2	13.18	121.5	0.3000	30.38	0.2000	121.50	0.3000	30.38	0.2000
22	Probe Lurus	 Tidak ada Cacat	 Melting Point terlihat jelas	2300	60	2	12.68	172.2	0.6000	43.05	0.4000	119.60	0.2000	29.90	0.1333
23	Probe Lurus	 Tidak ada Cacat	 Melting Point terlihat jelas	2600	60	2	13.1	181.6	0.58	45.4	0.3867	181.6	0.58	45.4	0.3867
24	Probe Lurus	 Tidak ada Cacat	 Melting Point terlihat jelas pada awal proses	2900	60	2	11.06	430.2	0.6	107.55	0.4	430.2	0.6	107.55	0.4
25	Probe Lurus	 Worm Cacat	 Melting Point terlihat rata sampai akhir proses	2300	70	2	5.9	280.9	0.36	70.22	0.24	280.9	0.36	70.22	0.24
26	Probe Lurus	 Worm hole line	 Melting Point terlihat rata sampai akhir proses	2600	70	2	8.76	67.2	0.17	16.8	0.1133	67.2	0.17	16.8	0.1133

LAMPIRAN A (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik dan Surface Roughness Untuk Metode Sambungan Lap Welding













No.	Pahat	Foto		Speed (rpm)	Feed (mm/menit)	Angle (°)	Surface Roughness (µm)	UJI TARIK							
		Front	Back					Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
27	Probe Lurus	 Cacat	 Melting Point terlihat rata sampai akhir proses	2900	70	2	8.58	196.4	0.26	49.1	0.1733	196.4	0.26	49.1	0.1733
28	Probe 30°	 Tidak ada Cacat	 Melting Point terlihat rata sampai akhir proses	2300	50	0	7.96	375.4	1.77	93.85	1.18	375.4	1.77	93.85	1.18
29	Probe 30°	 Cacat	 Melting Point terlihat rata sampai akhir proses	2600	50	0	11.26	467.9	1.11	116.97	0.7400	467.9	1.11	116.97	0.7600
30	Probe 30°	 Tidak ada Cacat	 Melting Point terlihat rata sampai akhir proses	2900	50	0	9.82	421.4	0.8600	105.35	0.5733	421.4	0.8600	105.35	0.5733
31	Probe 30°	 Cacat	 Melting Point terlihat rata sampai akhir proses	2300	60	0	6.36	350.1	0.6200	87.53	0.4133	350.1	0.6200	87.53	0.4133
32	Probe 30°	 Tidak ada Cacat	 Melting Point terlihat besar pada awal proses	2600	60	0	11.24	484.4	0.9400	121.10	0.6267	484.4	0.9400	121.10	0.6267
33	Probe 30°	 Tidak ada Cacat	 Melting Point terlihat besar pada awal proses	2900	60	0	12.9	371.6	0.6000	92.90	0.4000	371.6	0.6000	92.90	0.4000

LAMPIRAN A (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik dan Surface Roughness Untuk Metode Sambungan Lap Welding															
No.	Pahat	Foto		Speed (rpm)	Feed (mm/menit)	Angle (°)	Surface Roughness (µm)	UJI TARIK							
		Front	Back					Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
34	Probe 30°			2300	70	0	7.96	276.6	0.3100	69.15	0.2067	276.60	0.3100	69.15	0.2067
35	Probe 30°			2600	70	0	5.04	578.7	1.36	144.68	0.9067	578.10	1.28	144.52	0.8533
36	Probe 30°			2900	70	0	9.98	339.1	0.8300	84.78	0.5533	339.10	0.8300	84.78	0.5533
37	Probe 30°			2300	50	1	8.6	380.3	0.6500	95.07	0.4333	380.30	0.6500	95.07	0.4333
38	Probe 30°			2600	50	1	12.44	84.3	0.1300	21.08	0.0867	84.30	0.1300	21.08	0.0867
39	Probe 30°			2900	50	1	10.52	239.3	0.1800	59.83	0.1200	239.30	0.1800	59.83	0.1200
40	Probe 30°			2300	60	1	11.52	55.5	0.0500	13.88	0.0333	55.50	0.0500	13.88	0.0333

LAMPIRAN A (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik dan Surface Roughness Untuk Metode Sambungan Lap Welding









No.	Pahat	Foto		Speed (rpm)	Feed (mm/menit)	Angle (°)	Surface Roughness (µm)	UJI TARIK							
		Front	Back					Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
41	Probe 30°			2600	60	1	10.62	272.4	0.5400	68.10	0.3600	272.40	0.5400	68.10	0.3600
42	Probe 30°			2900	60	1	13.98	471.6	1.06	117.90	0.7067	471.60	1.06	117.90	0.7067
43	Probe 30°			2300	70	1	4.82	486.3	1.24	121.57	0.8267	486.30	1.24	121.57	0.8267
44	Probe 30°			2600	70	1	11.4	387.5	0.5200	96.88	0.3467	387.50	0.5200	96.88	0.3467
45	Probe 30°			2900	70	1	6.26	400.6	0.8600	100.15	0.5733	400.60	0.8600	100.15	0.5733
46	Probe 30°			2300	50	2	12.8	98.4	0.1000	24.60	0.0667	98.40	0.1000	24.60	0.0667
47	Probe 30°			2600	50	2	16.4	33.1	0.0700	8.27	0.0467	33.10	0.0700	8.27	0.0467
48	Probe 30°			2900	50	2	9.86	501.7	0.6400	125.43	0.4267	501.70	0.6400	125.43	0.4267













LAMPIRAN A (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik dan Surface Roughness Untuk Metode Sambungan Lap Welding

No.	Pahat	Foto		Speed (rpm)	Feed (mm/menit)	Angle (°)	Surface Roughness (µm)	UJI TARIK							
		Front	Back					Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
49	Probe 30°			2300	60	2	7.64	456.7	0.7300	114.18	0.4867	456.70	0.7300	114.18	0.4867
50	Probe 30°			2600	60	2	11.1	78.1	0.1200	19.52	0.0800	78.10	0.1200	19.52	0.0800
51	Probe 30°			2900	60	2	10.76	212.7	0.8400	60.67	0.5600	212.70	0.8400	60.67	0.5600
52	Probe 30°			2300	70	2	4.54	444.5	0.8600	111.12	0.5733	444.50	0.8600	111.12	0.5733
53	Probe 30°			2600	70	2	5.54	399.9	0.6900	99.97	0.4600	-25.8	0.8000	-6.45	0.5333
54	Probe 30°			2900	70	2	12.56	281.6	0.2100	70.40	0.1400	281.60	0.2100	70.40	0.1400












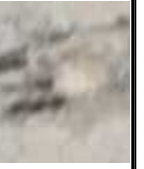
LAMPIRAN B : Data Hasil Pengujian Uji Tarik Untuk Metode Sambungan Spot Welding













Date : 15- 06 -2012
 File : C : SPOT1\TST0001.DAT
 Test Speed : 5 mm/min
 Sample Length : 150 mm
 Sample Type : Circle
 Pre-Tension : OFF
 Pahat : lurus (90°)
 Feeding : 30 mm/menit

No.	Foto		Speed (rpm)	Dwell Time (detik)	Angle (°)	Width mm	Thick mm	Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
	Front	Back													
1			2300	0	0	30000	0.4	160	0.1300	25.48	0.0867	160.00	0.1300	13,333	0.0867
2			2600	0	0	30000	0.4	197.5	0.1300	31.45	0.0867	197.50	0.1300	16,458	0.0867
3			2900	0	0	30000	0.4	130.20	0.1600	20.73	0.1067	130.20	0.1600	10,850	0.1067
4			2300	1	0	30000	0.4	413.6	0.3300	65.86	0.2200	413.60	0.3300	34,467	0.2200











LAMPIRAN B (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik Untuk Metode Sambungan Spot Welding															
No.	Foto		Speed (rpm)	Dwell Time (detik)	Angle (°)	Width mm	Thick mm	Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
	Front	Back													
5			2600	1	0	30000	0.4	267.50	0.2200	42.60	0.1467	267.50	0.2200	22,292	0.1467
6			2900	1	0	30000	0.4	397.00	0.3600	63.22	0.2400	397.00	0.3600	33,083	0.2400
7			2300	2	0	30000	0.4	117.60	0.0900	18.73	0.0600	117.60	0.0900	9,800	0.0600
8			2600	2	0	30000	0.4	636.60	0.5700	101.37	0.3800	636.60	0.5700	53,050	0.3800
9			2900	2	0	30000	0.4	59.70	0.0400	9.51	0.0267	59.70	0.0400	4,975	0.0267
10			2300	0	1	30000	0.4	82.40	0.0800	13.12	0.0533	82.40	0.0800	6,867	0.0533

LAMPIRAN B (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik Untuk Metode Sambungan Spot Welding

No.	Foto		Dwell Time (detik)	Angle (°)	Width mm	Thick mm	Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
	Front	Back												
11			0	1	30000	0.4	56.50	0.0600	9.00	0.0400	56.50	0.0600	4,708	0.0400
12			0	1	30000	0.4	10.20	0.0600	1.62	0.0400	10.20	0.0600	0.850	0.0400
13			1	1	30000	0.4	205.20	0.1300	32.68	0.0867	205.20	0.1300	17,100	0.0867
14			1	1	30000	0.4	175.40	0.1000	27.93	0.0667	175.40	0.1000	14,617	0.0667
15			1	1	30000	0.4	15.40	0.0200	2.45	0.0133	15.40	0.0200	1,283	0.0133
16			2	1	30000	0.4	81.80	0.0700	13.03	0.0467	81.80	0.0700	6,817	0.0467

LAMPIRAN B (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik Untuk Metode Sambungan Spot Welding															
No.	Foto		Speed (rpm)	Dwell Time (detik)	Angle (°)	Width mm	Thick mm	Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
	Front	Back													
17			2600	2	1	30000	0.4	284.90	0.2200	45.37	0.1467	284.90	0.2200	23,742	0.1467
18			2900	2	1	30000	0.4	392.30	0.3500	62.47	0.2333	392.30	0.3500	32,692	0.2333
19			2300	0	2	30000	0.4	172.80	0.1300	27.52	0.0867	172.80	0.1300	14,400	0.0867
20			2600	0	2	30000	0.4	111.60	0.0900	17.77	0.0600	111.60	0.0900	9,300	0.0600
21			2900	0	2	30000	0.4	153.30	0.1200	24.41	0.0800	153.30	0.1200	12,775	0.0800
22			2300	1	2	30000	0.4	115.50	0.1300	18.39	0.0867	115.50	0.1300	9,625	0.0867

LAMPIRAN B (LANJUTAN) : Data Hasil Pengujian Uji Tarik Untuk Metode Sambungan Spot Welding

No.	Foto		Dwell Time (detik)	Angle (°)	Width mm	Thick mm	Load @ Peak (N)	Elong @ peak (mm)	Stress @ peak (N/mm ²)	Strain @ peak (%)	Load @ Yield (N)	Elong @ Yield (mm)	Stress @ Yield (N/mm ²)	Strain @ Yield (%)
	Front	Back												
23			1	2	30000	0.4	377.20	0.2800	60.06	0.1867	377.20	0.2800	31,433	0.1867
24			1	2	30000	0.4	144.10	0.1100	22.95	0.0733	144.10	0.1100	12,008	0.0733
25			2	2	30000	0.4	17.90	0.0200	2.85	0.0133	17.90	0.0200	1,492	0.0133
26			2	2	30000	0.4	280.40	0.2300	44.65	0.1533	280.40	0.2300	23,367	0.1533
27			2	2	30000	0.4	33.70	0.0300	5.37	0.0200	33.70	0.0300	2,808	0.0200

DAFTAR PUSTAKA

1. Thomas, WM; Nicholas, ED; Needham, JC; Murch, MG; Temple-Smith, P; Dawes, CJ, 1991, *Friction-stir butt welding*, GB Patent No. 9125978.8, International patent application No. PCT/GB92/02203
2. Rowe, C E D; Thomas, Wayne, 2006, *advances in tooling materials for friction stir welding*, TWI & Cedar Metal, Cambridge.
3. I. J. Polmear, 1995, *Light Alloys*, Arnold
4. Frigaard, O; Grong, O; Midling, O T ,2001 . *A Process Model For Friction-Stir Welding Of Age Hardening Aluminium Alloys*. Metallurgical and Material Transactions 32A
5. Arifin, Bustanul; Suharno, Bambang; Harjanto, Sri, *Karakter Alumunium Casting*, Departemen Teknik Metalurgi, Universitas Indonesia, Depok.
6. www.gwp-ag.com (25 May 2012)
7. www.directindustry.com (25 May 2012)
8. www.matweb.com (18 May 2012)
9. JIS (Japan Industrial Standard)
10. www.thompson-friction-welding.co.uk/pages/rotary_friction_welding.html (8 Mei 2012)
11. Standar ISO 1302:1996 dan Standar DIN 4768:1981
12. Ahmad, Zaki. "*The properties and application of scandium-reinforced aluminum*". JOM, 2003.
13. www.alatuji.com (10 Mei 2012)
14. Harinaldi, *Prinsip-Prinsip Statistik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2005.
15. Monthgomery, D.C, *Design and Analisis of Experiments* (5th ed.), John Wiley and Sons, Inc., New York, 2001.