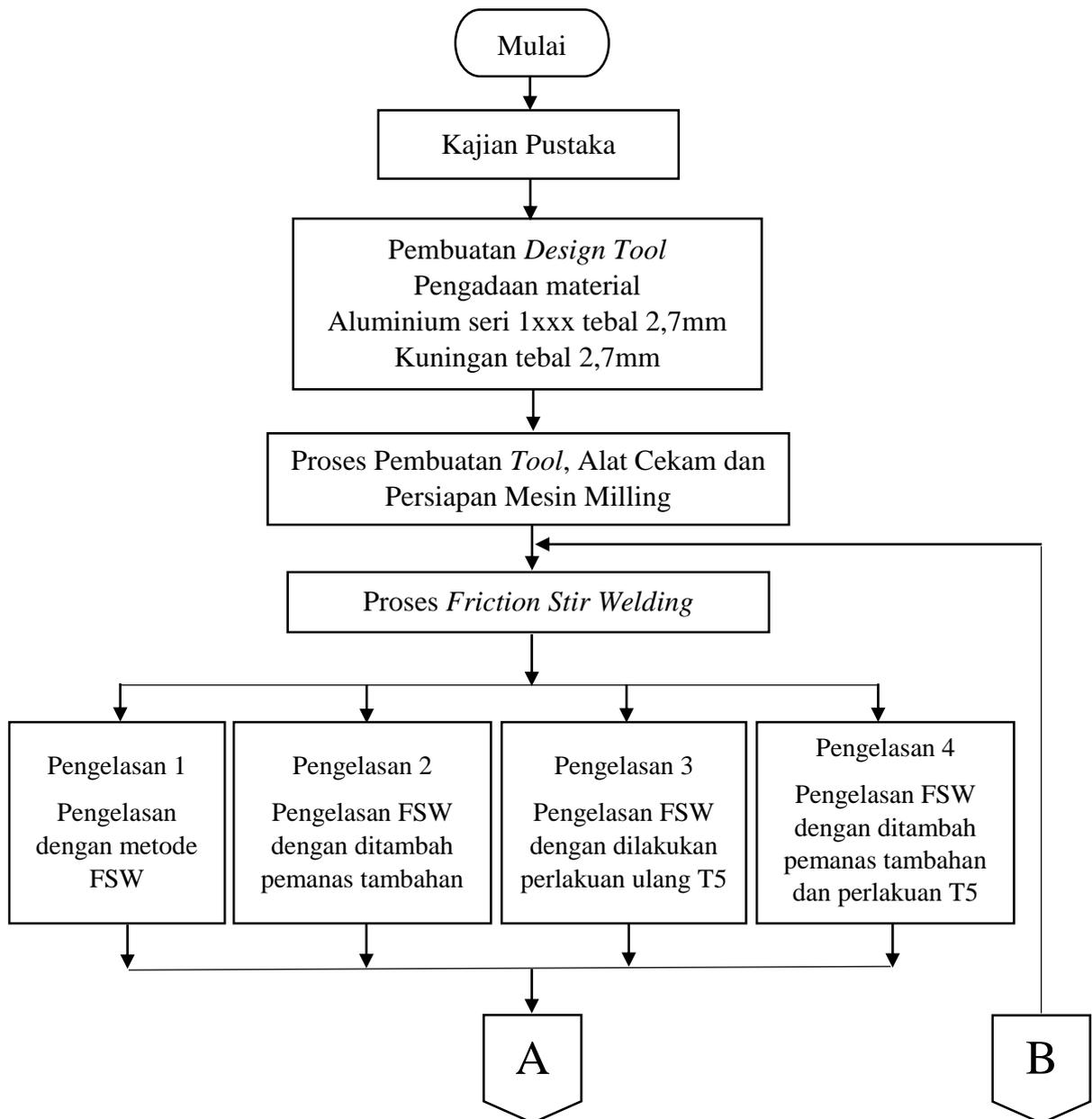


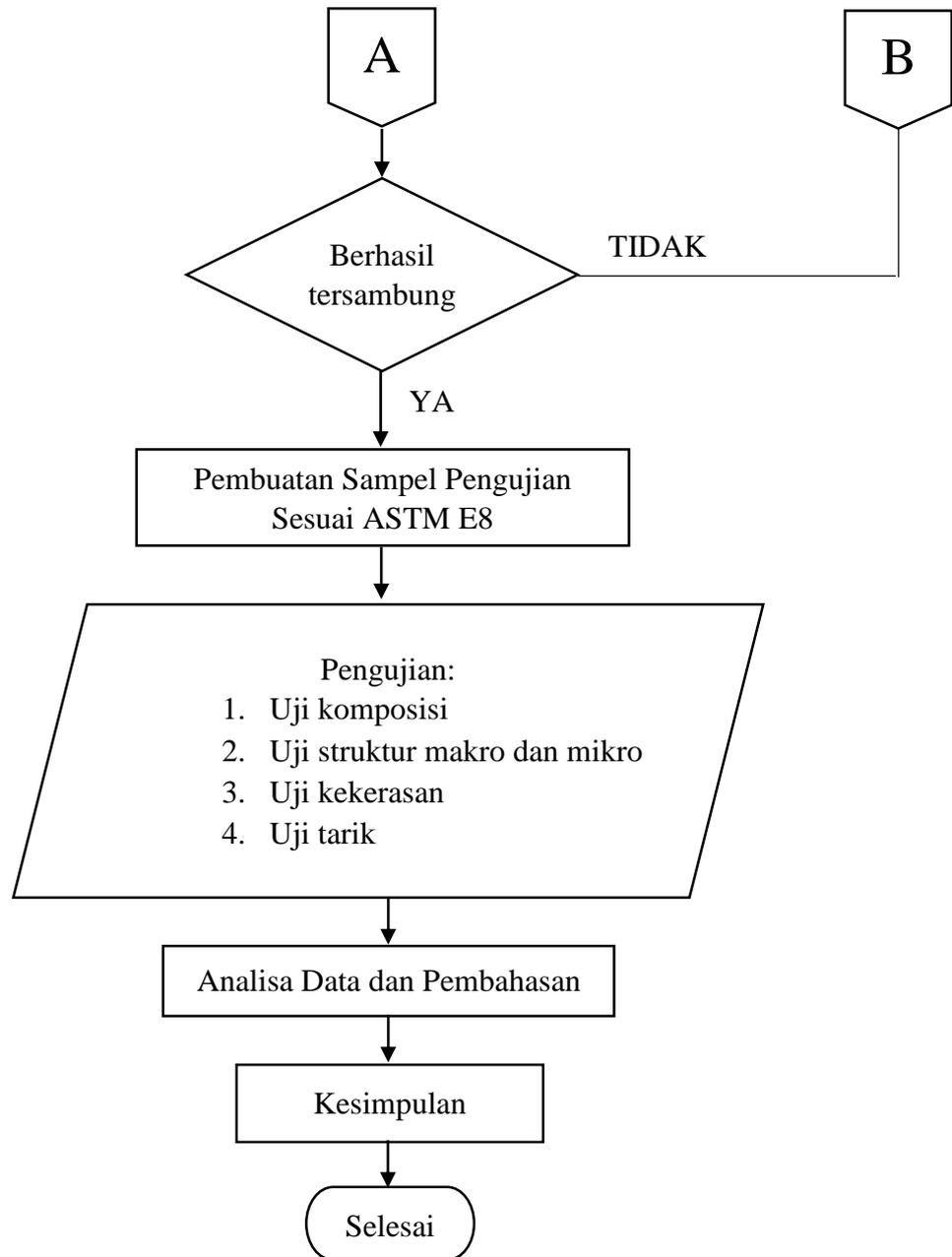
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah utama dari pengelasan dengan metode *Friction Stir Welding* dapat dilihat dalam diagram alir di bawah ini.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian FSW Pada Aluminium dan Kuningan

3.2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen dan proses pengelasan FSW dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

2. Pengujian komposisi logam dilakukan di Laboratorium Logam CV. Karya Hidup Sentosa (Quick) dan di Laboratorium Logam Politeknik Manufaktur Ceper.
3. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada.
4. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Negeri Sebelas Maret.
5. Pengujian struktur mikro dan makro dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Yang Digunakan Dalam Penelitian

1. Milling Machine

Milling Machine (Gambar 3.2) adalah suatu mesin yang digunakan untuk mengerjakan/menyelesaikan suatu benda kerja dengan mempergunakan pisau frais (*cutter*) sebagai pahat penyayat yang berputar pada sumbu mesin. Tetapi dalam penelitian ini pisau frais diganti dengan *Tool* pengelasan.

Milling Machine termasuk salah satu mesin yang gerak utamanya berputar, dimana pahat potong (pisau frais) *tool* pengelasan dipasang pada spindel. Spindel ini dapat berputar searah jarum jam (*clock wise*) atau berlawanan arah jarum jam (*counter clock wise*) disesuaikan dengan arah mata potong dari pisau freis atau sesuai yang dikehendaki untuk melakukan pengelasan FSW, sedang putarannya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.2 *Milling Machine*

2. Mesin Bubut

Adalah salah satu proses pemesinan yang menggunakan pahat dengan satu mata potong untuk membuang material dari permukaan benda kerja yang berputar (Gambar 3.3). Pahat bergerak pada arah linier sejajar dengan sumbu putar benda kerja. Dalam penelitian ini mesin bubut digunakan untuk membuat *tool* pengelasan.



Gambar 3.3 Mesin Bubut

3. Gerinda

adalah salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda kerja dengan tujuan tertentu. Prinsip kerja mesin gerinda adalah batu gerinda berputar bersentuhan dengan benda kerja sehingga terjadi pengikisan, penajaman, pengasahan, atau pemotongan.

4. Oven Material

Oven ini berfungsi sebagai pemanas material yang akan dilakukan proses perlakuan ulang (*Heat Treatment*) (gambar 3.4) seperti: *Artificial Aging, Anealin, Tempering, Normalizing, Hardening* dan lain-lain.



Gambar 3.4 Oven

5. Tachometer

Tachometer berfungsi untuk mengukur putaran *Spindle* pada mesin *milling* yang akan digunakan pada FSW.



Gambar 3.5 *Tachometer*

6. *Thermometer*

Thermometer digunakan untuk mengukur suhu yang terjadi pada saat proses pengelasan. Adapun jenis *thermometer* yang digunakan yaitu merk FLUKE 572-2 (Gambar 3.6) di Laboratorium Proses Produksi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.



Gambar 3.6 *Infrared Thermometer*

7. *Gas Torch*

Adalah alat yang berfungsi untuk pengelasan *brazing* dan *soldering* (Gambar 3.7). Dalam penelitian ini *Gas Torch* digunakan untuk membantu pemanasan pada saat pengelasan metode FSW.



Gambar 3.7 *Gas Torch*

8. Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan benda uji sebelum penelitian (khususnya untuk pengujian struktur mikro). Adapun nomor amplas yang digunakan yaitu grid 1000, 3000, 5000 dan ditambah autosol.

9. Alat Uji Tarik

Pengujian Tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Negeri Sebelas Maret. Dengan mesin UTM (*Universal Tensile Machine*) dengan *Load Force* sebesar 2 ton (Gambar 3.8).



Gambar 3.8 Mesin Uji Tarik UTM

10. Alat Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan (*Hardness Tester*) dilakukan di Laboratorium Bahan D3 Universitas Gadjah Mada. Dengan mesin SHIMADZU HMV-M3 *Hardness Tester* (Gambar 3.9).



Gambar 3.9 *Hardness Tester*

11. Alat Uji Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, dengan mesin OLYMPUS model U-MSSP4 (Gambar 3.10). Fungsi alat ini untuk melihat struktur mikro pada spesimen hasil pengelasan.



Gambar 3.10. Mesin Uji Struktur Mikro

3.3.2 Bahan Yang Digunakan Dalam Penelitian

1. Aluminium

Aluminium (Gambar 3.11) yang digunakan adalah aluminium seri 1xxx yang memiliki ketebalan 2,7 mm, lebar 60 mm, dan panjangnya 100 mm. aluminium seri ini banyak digunakan pada bagian-bagian pesawat, kapal dan lain-lain, karena aluminium 1xxx ini memiliki komposisi dan kekuatan mekanik yang cocok untuk dijadikan kompone-kompone bagian pesawat dan kapal laut. Adapun komposisi dari aluminium 1xxx dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.



Gambar 3.11 Plat Aluminium

Tabel 3.1 Komposisi aluminium 1xxx hasil pengujian di CV. Karya Hidup Sentosa, Quick.

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Sn	Al
(%)	0,14	0,47	0,097	0,065	0,0084	0,041	0,0136	0,0053	99,16

Tabel 3.2 Komposisi aluminium 1050 (*Chemical Composition for Aluminum Alloy 1050*, 18 november 2016 www.matweb.com)

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Sn	Al
(%)	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	99,50

2. Kuningan

Kuningan (Gambar 3.12) yang digunakan adalah yang memiliki ketebalan 2,7 mm, lebar 60 mm, dan panjangnya 100 mm. Adapun komposisi dari kuningan ini dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut:



Gambar 3.12 Plat Kuningan

Tabel 3.3 Komposisi Kuningan hasil pengujian di Laboratorium Logam Politeknik Manufaktur Ceper.

unsur	Cu	Sn	Pb	Zn	Mn	Fe	Ni	Si	Al	Cr
(%)	82,72	0,852	2,00	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	*0,33	*14,0

Tabel 3.4 Komposisi Kuningan CuZn20 (*Chemical Composition for Copper Alloy CuZn20*, 18 november 2016 www.matweb.com)

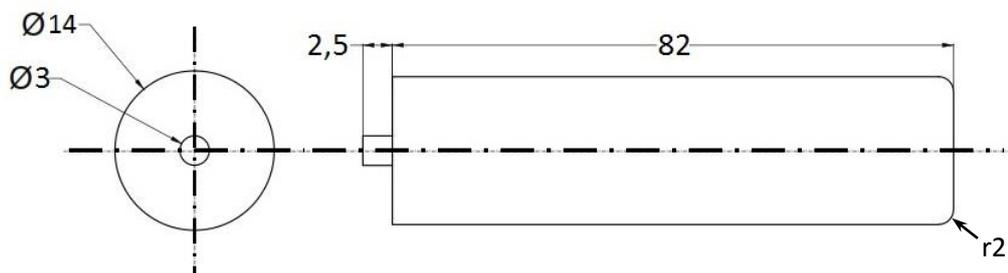
unsur	Cu	Sn	Pb	Zn	Mn	Fe
(%)	78,5-81,5	0,1	0,05	20	0,05	0,05

3. Baja Pejal

Besi yang digunakan ialah besi pejal dengan diameter 25 mm dan panjang 82 mm. Fungsinya sebagai bahan baku pembuatan *tool* untuk pengelasan FSW. Pembuatan *tool* ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

3.4. Proses Penelitian

3.4.1. Proses Pembuatan *Tool* Pengelasan



Gambar 3.13 *Design Tool* Pengelasan

Tool ini dibuat dari besi pejal dan pembuatan dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menggunakan mesin bubut manual yang pengerjaannya dilakukan sendiri. Proses pembuatan *tool* dikerjakan dari pengurangan diameter *tool* dari 25mm menjadi 20mm, setelah itu dilakukan pengerjaan membentuk *shoulder* dengan cara memperkecil diameter *tool* dari 20mm menjadi 14mm dan membentuk pin dengan memperkecil diameter *shoulder* dari 14mm menjadi 3mm dengan panjang 2,5mm, dengan panjang keseluruhan *tool* 82 mm (Gambar 3.13).

3.4.2 Proses Pengelasan

Proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan dengan metode FSW, dengan menggunakan parameter-parameter yang telah ditentukan.

1. Bahan menggunakan aluminium 1xxx dan Kuningan dengan tebal 2.7 mm.
2. Mempersiapkan mesin pengelasan dengan menggunakan mesin *milling*.
3. Mempersiapkan benda kerja dan alat cekam.
4. Menghidupkan mesin, sehingga pin berputar dan masuk ke dalam material untuk mengaduk material yang panas karena gesekan lalu *shoulder*

menekan material yang teraduk pin. *feed rate* yang digunakan 20 mm/menit dan menggunakan kecepatan putar *tool* 1550 rpm.

5. *Tool* bergerak ke samping dengan *feed rate* 20 mm/menit dan terjadi proses penyatuan material aluminium dan kuningan (*joining process*).
6. Setelah pengelasan sepanjang plat selesai, *tool* diangkat, matikan mesin dan *specimen* dipindahkan dari mesin *miilling*.
7. Proses 1-6 diulang dengan variasi pengelasan FSW biasa, Pengelasan FSW dengan ditambah pemanas, Pengelasan FSW dengan dilakukan proses perlakuan *Artificial Aging* setelah pengelasan selesai, dan pengelasan FSW dengan ditambah pemanas lalu dilakukan perlakuan *Artificial Aging* setelah pengelasan selesai.

3.4.3. Proses Pengujian

1. Pengujian Komposisi logam

Pengujian uji komposisi logam dilakukan di Laboratorium Logam CV. Karya Hidup Sentosa dan Politeknik Manufaktur Logam Ceper. Proses pengujian logam adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur logam lain yang terdapat di dalamnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin *Spectrometer* sebagai alat pengujinya.



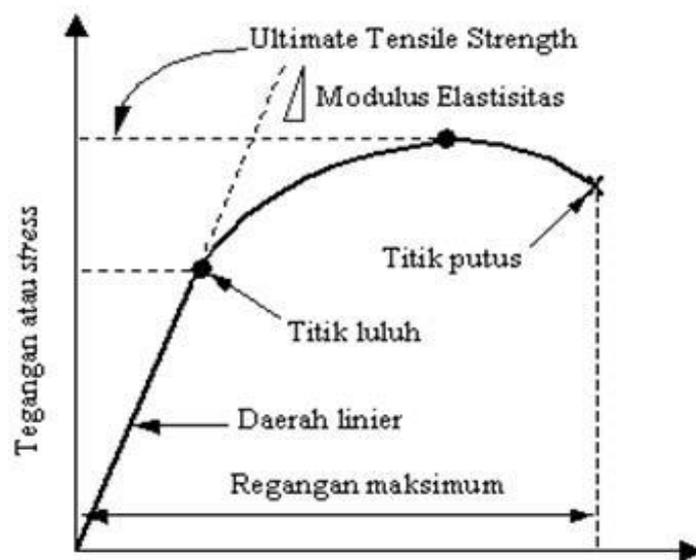
Gambar 3.14 *Spectrometer Type ARL 3560*

(<http://www.speiciation.net/Database/Instruments/Applied-Research-Laboratories-ARL/Model-3560--Simultaneous-ICPOES-;i2942>)

2. Pengujian Tarik

Kekuatan tarik (*tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik adalah kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (*brittle*). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda *elastis (ductile)*.

Kekuatan tarik umumnya dapat dicari dengan melakukan uji tarik dan mencatat perubahan regangan dan tegangan. Titik tertinggi dari kurva tegangan-regangan (Gambar 3.15) disebut dengan kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Nilainya tidak bergantung pada ukuran bahan, melainkan karena faktor jenis bahan. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi seperti keberadaan zat pengotor dalam bahan, temperatur dan kelembaban lingkungan pengujian, dan penyiapan spesimen.



Gambar 3.15 Kurva Tegangan Tarik (Endartyana, 2013)

Tegangan tarik adalah gaya per satuan luas. Dalam satuan SI, digunakan pascal (Pa) dan kelipatannya (seperti MPa, megapascal). Pascal ekuivalen dengan Newton per meter persegi (N/m^2). Satuan imperial diantaranya pound-gaya per inci persegi (lbf/in^2 atau psi), atau kilo-pound per inci persegi (ksi, kpsi).

Kekuatan tarik umumnya digunakan dalam mendesain bagian dari suatu struktur yang bersifat *ductile* dan *brittle* yang bersifat tidak statis, dalam arti selalu menerima gaya dalam jumlah besar, meski benda tersebut tidak bergerak. Kekuatan tarik juga digunakan dalam mengetahui jenis bahan yang belum diketahui, misal dalam forensik dan paleontologi. Kekerasan bahan memiliki hubungan dengan kekuatan tarik. Pengujian kekerasan bahan salah satunya adalah metode *Rockwell* yang bersifat non-destruktif, yang dapat digunakan ketika uji kekuatan tarik tidak dapat dilakukan karena bersifat destruktif.

Dalam pengujian tarik, *specimen* uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga *specimen* tersebut patah, kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan:

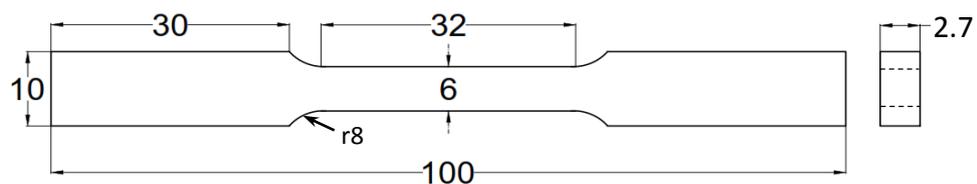
Tegangan: $\sigma = \frac{F}{A}$ (N/mm²).....(3.1)

Dimana: F = beban (kgf)
A = luas mula dari penampang batang uji (mm²)

Regangan: $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$(3.2)

Dimana: ΔL = panjang *specimen* setelah uji tarik (mm)
 L_0 = panjang mula dari batang uji (mm)

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan. Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standard ASTM E8/E8M-09 (*Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products (Metric)*). Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Negeri Surakarta. Skema pengujian tarik diperlihatkan pada Gambar 3.16 Sedangkan rancangan perhitungan uji tarik dapat dilihat pada Tabel 3.3



Gambar 3.16 Skema uji tarik menurut ASTM E8

Tabel 3.5 Rancangan Perhitungan Data Uji Tarik

L_0 (mm)	A (mm ²)	ΔL (mm)	F yeild (N)	F max (N)	$\sigma_y = F_{yeild}/A$ (N/mm ²)	$\sigma_s = F_{max}/A$ (N/mm ²)	$\epsilon = \Delta L/L_0$ (%)
			-		-		
			-		-		
			-		-		

Keterangan : L_0 : panjang daerah uji (mm)

ΔL : panjang spesimen setelah uji tarik (mm)

A : luas daerah uji tarik (mm²)

ϵ : regangan (tanpa satuan)

σ : tegangan (N/mm²)

3. Pengujian Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid seperti ditunjukkan pada Gambar 3.17 dan Gambar 3.18. Beban yang dikenakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian rockwell dan brinell yaitu antara 1 sampai 1000 gram.

Angka kekerasan Vickers (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indentor (diagonalnya) (A) yang dikalikan dengan $\sin(136^\circ/2)$. Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode vickers yaitu :

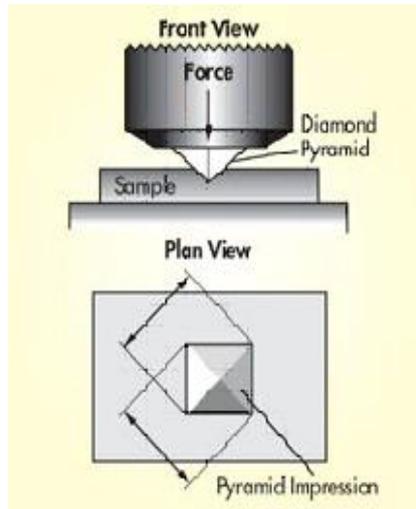
$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

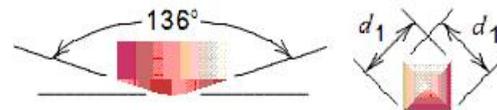
HV = Angka kekerasan Vickers

F = Beban (kgf)

d = diagonal (mm)



Gambar 3.17 Pengujian Vikers (Callister, 2001)



Gambar 3.18 Bentuk Indentor Vickers (Callister, 2001)

4. Pengujian Setruktur Mikro dan Makro

Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Bahan D3 Universitas Gadjah Mada. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh FSW terhadap struktur mikro daerah las. Struktur mikro dalam logam ditunjukkan dengan besar, bentuk dan orientasi butirannya, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tergantung dari struktur mikro material yang diuji. Pengujian Struktur mikro atau mikrografi dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi.

Adapun beberapa tahapan yang perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah:

1. Pemotongan (*Sectioning*)

2. Pengamplasan (*Grinding*).
3. Pemolesan (*Polishing*).
4. Etsa (*Etching*), menggunakan standar ASTM E407-07
5. Pemotretan.