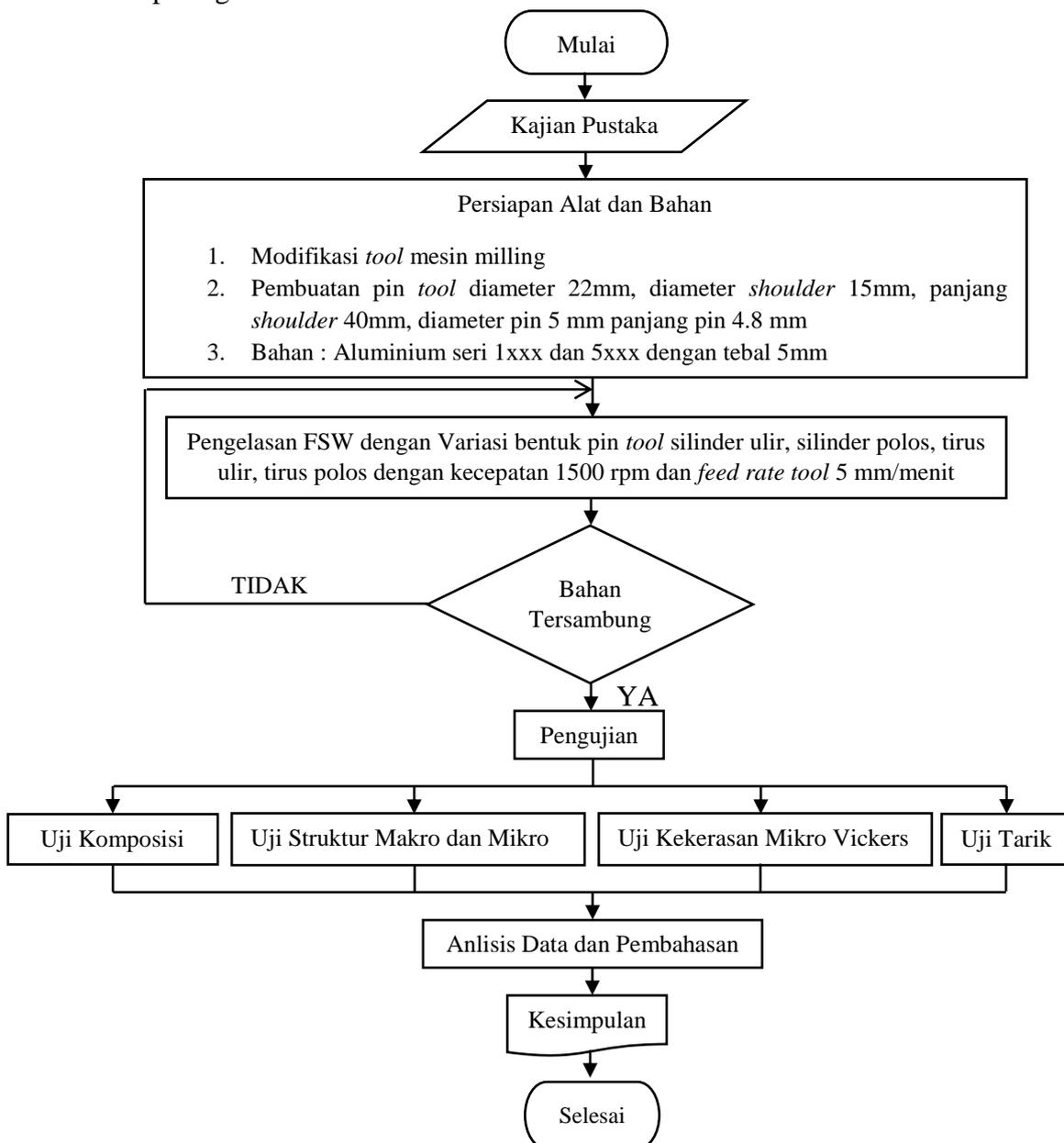


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah utama dalam proses pengelasan dengan metode FSW dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan FSW Pada Plat Aluminium

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang digunakan dalam penelitian

1. Mesin Milling

Tenaga pada mesin *milling* berasal dari energi listrik yang diubah menjadi gerak utama oleh sebuah motor listrik, selanjutnya gerakan utama tersebut akan diteruskan melalui suatu transmisi untuk menghasilkan gerakan putar pada spindel mesin milling. Spindel mesin milling adalah bagian dari sistem utama mesin milling yang bertugas untuk memegang dan memutar *tool* hingga menghasilkan putaran atau gerakan. Gerakan putar pada *tool* jika dikenakan pada benda kerja yang telah dicekam maka akan terjadi gesekan/tabrakan sehingga akan menghasilkan panas yang dapat melunakan plat yang akan disambung dalam proses FSW.



Gambar 3.2 Mesin Milling Vertikal

Mesin milling yang digunakan pada percobaan FSW adalah mesin milling merk CHEVALIER 3-PHASE (Gambar 3.2) yang ada di Laboratorium Proses Produksi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

2. Thermometer

Termometer digunakan untuk mengukur suhu yang terjadi pada saat proses pengelasan. Adapun jenis thermometer yang digunakan yaitu merk FLUKE 5722 (Gambar 3.3) di Laboratorium Proses Produksi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.



Gambar 3.3 Termometer

3. Tachometer

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



Gambar 3.4 Tachometer

4. Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan benda uji sebelum penelitian (khususnya untuk pengujian struktur mikro). Adapun nomor amplas yang digunakan yaitu grid 150, 450, 1000, 2000, 5000 dan ditambah autosol setelah proses pengamplasan selesai.

5. Alat Uji struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Bahan D-3 Universitas Gadjah Mada dengan mesin OLYMPUS model PME3-111B/312B Gambar 3.5 Fungsi alat ini untuk melihat struktur mikro pada specimen hasil pengelasan.



Gambar 3.5 Mesin Uji Struktur Mikro

6. Alat Uji Kekerasan Mikro Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Bahan D3- Universitas Gadjah Mada. Dengan mesin BUEHLER Higt Quality Micro Hardness Tester model MM0054 Gambar 3.6



Gambar 3.6 Mesin Uji Kekerasan Vickers

7. Alat Uji Tarik

Pengujian Tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Negeri Sebelas Maret. Dengan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) pembacaan 2 ton dengan beban 10 mm/menit, Gambar 3.7



Gambar 3.7 Mesin Uji Tarik UTM

3.2.2 Bahan Yang Digunakan Dalam Penelitian

1. Aluminium

Aluminium (Gambar 3.8) yang digunakan adalah aluminium 1xxx dan 5xxx yang memiliki ketebalan 5 mm, panjang 100 mm, dan lebar 60 mm. Pada seri 1xxx mempunyai kandungan aluminium 99%. aluminium seri ini memiliki kekuatan yang rendah tapi memiliki sifat tahan korosi, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik. Biasanya aluminium seri ini paling banyak digunakan pada bagian dunia kelistrikan, kimia, kapal dan sebagainya, karena aluminium 1xxx ini memiliki komposisi dan kekuatan mekanik yang cocok untuk dijadikan komponen-komponen bagian kapal laut dan kedirgantaraan. Adapun komposisi dari aluminium seri 1xxx dapat dilihat pada tabel 3.1-3.2

Tabel 3.1 Komposisi Aluminium 1100 (Chemical Composition for Copper Alloy CuZn20, 23 Juli 2018 www.matweb.com)

Unsur	Al	Cu	Fe	Mn	Si	Zn
Jumlah	99 -	0.050 -	Max	Max	Max	Max
(%)	99.95	0.2	1.0	0.05	1.0	0.1

Tabel 3.2 Komposisi Aluminium 1xxx Hasil Pengujian di CV. Karya Hidup Sentosa, Quick.

Unsur	Al	Cu	Fe	Mn	Si	Zn
Jumlah (%)	99.36	0.054	0.4	0.01	0.09	0.05

Sedangkan seri 5052 termasuk dalam golongan paduan aluminium seri 5xxx, yaitu paduan aluminium dengan magnesium (Mg). Paduan ini memiliki sifat tidak dapat diperlakukan panas sehingga pengaplikasiannya terbatas hanya pada temperatur rendah. Adapun komposisi dari aluminium seri 5xxx dapat dilihat pada tabel 3.3 dan 3.4

Tabel 3.3 Komposisi Aluminium 5052 (Chemical Composition for Copper Alloy CuZn20, 23 Juli 2018 www.matweb.com)

Unsur	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn
Jumlah	95.7 –	0.15 -	Max	Max	2.2-	Max	Max	Max
(%)	97.7	0.35	0.1	0.4	2.8	0.1	0.25	0.1

Tabel 3.4 Komposisi Aluminium 5xxx Hasil Pengujian di CV. Karya Hidup Sentosa, Quick.

Unsur	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn
Jumlah (%)	97.36	0.22	0.03	0.25	>1.95	0.4	0.09	0.03

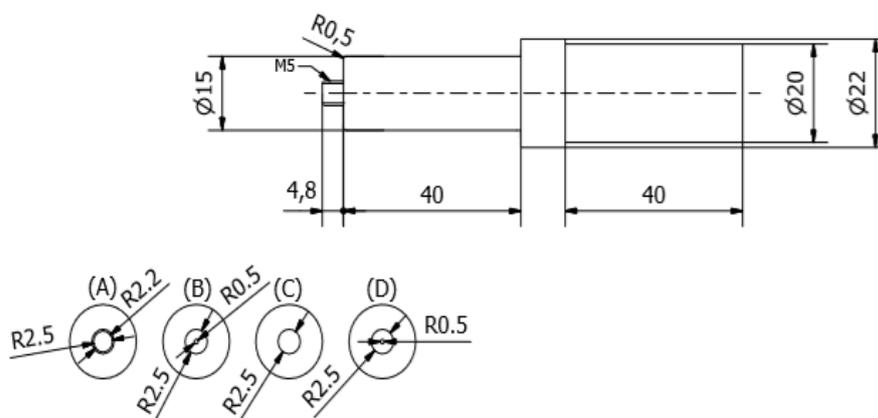
2. Baja

Baja yang digunakan ialah baja tahan karat (*Stainless Steel*) dengan diameter 25 mm dan panjang 100 mm. Fungsinya sebagai bahan baku pembuatan *tool* untuk pengelasan FSW. Pembuatan *tool* ini dilakukan di Jasatec.

3.3 Proses Penelitian

3.4.1 Proses Pembuatan Tool Pengelasan

1. Tool ini dibuat dari baja tahan karat (*Stainless Steel*) dan pembuatan dilakukan di *Jasatec* dengan ukuran *tool* diameter 22mm, diameter *shoulder* 15mm, panjang *shoulder* 40mm, diameter pin 5 mm panjang pin 4.8 mm terlihat seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Design Tool* Pengelasan (a) Silinder Berulir (b) Tirus Berulir (c) Silinder (d) Tirus (Nur dkk, 2017)

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 5xxx dengan tebal 5 mm.
2. Mempersiapkan mesin pengelasan dengan menggunakan mesin milling.
3. Mempersiapkan benda kerja dan alat cekam.
4. Menghidupkan mesin, sehingga pin berputar dan masuk kedalam material untuk mengaduk material yang panas karena gesekan lalu shoulder menekan material yang teraduk pin. feed rate yang digunakan 5mm/menit dan menggunakan kecepatan putar tool 1500 rpm.

5. Tool digerakan sepanjang jalur pengelasan antara ujung material dengan feed rate 5mm/menit dan terjadi proses penyatuan material aluminium *dissimilar* (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 bentuk pin (*probe*) tool yaitu silinder, silinder berulir, tirus, tirus berulir

3.4.3 Proses Pengujian

1. Pengujian Komposisi Logam

Pengujian uji komposisi logam dilakukan di Laboratorium Logam CV. Karya Hidup Sentosa. Proses pengujian logam adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur logam lain yang terdapat di dalamnya. Pengujian *Spectrometer* ini dilakukan dengan menggunakan mesin type Thermo ARL 3560 OES seperti gambar 3.9.



Gambar 3.9 Spectrometer Type Thermo ARL 3560
 (<http://www.speciation.net/Database/Instruments/Applied-Research-Laboratories-ARL/Model-3560--Sim>)

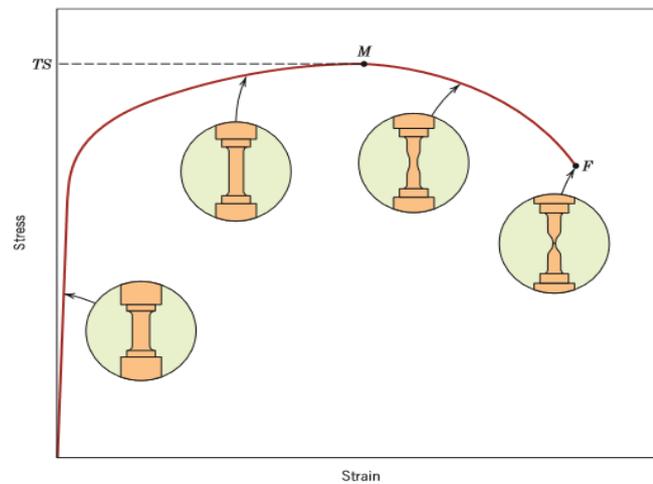
2. Pengujian Tarik

Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (UTM, *ultimate testing strength*) adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan, tentu kita harus mengadakan pengujian terhadap bahan

tersebut. Ada empat jenis uji coba yang biasa dilakukan, salah satunya yaitu uji tarik (*tensile test*). Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Sebuah spesimen yang cacat, biasanya terindikasi retak, dengan beban tarik secara bertahap hingga meningkatkan beban yang di berikan searah uniaksial sepanjang sumbu spesimen.

Uji tarik adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Struktur atau komponen yang telah berubah bentuk secara plastis, atau mengalami perubahan bentuk permanen, mungkin tidak mampu berfungsi sebagaimana dimaksud. Oleh karena itu untuk mengetahui tingkat *stress* di mana deformasi plastik dimulai, atau di mana fenomena *yielding occurs*. Untuk logam yang mengalami transisi elastis-plastik sedikit, titik hasil dapat ditentukan sebagai awal mula dari linearitas kurva tegangan-regangan, ini kadang disebut batas proporsional.

Elastis-plastik transisi sangat baik didefinisikan dan terjadi secara tiba-tiba yang disebut sebagai fenomena titik luluh. Pada titik luluh hasil atas, deformasi plastik dimulai dengan penurunan *stress* yang sebenarnya. Deformasi lanjutan berfluktuasi sedikit tentang beberapa nilai tegangan konstan, disebut titik hasil yang lebih rendah, *stress* kemudian meningkat dengan meningkatnya tegangan. Untuk logam yang menunjukkan efek ini, kekuatan luluh diambil sebagai tegangan rata-rata yang terkait dengan titik leleh yang lebih rendah, karena ia terdefinisi dengan baik dan relatif tidak sensitif terhadap prosedur pengujian. Oleh karena itu, tidak perlu menggunakan metode *strain offset*. untuk bahan-bahan ini. Besarnya kekuatan luluh untuk logam adalah ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastik. Kekuatan yang dihasilkan dapat berkisar dari 35 MPa (5000 psi) untuk aluminium dengan kekuatan rendah hingga lebih dari 1400 MPa (200.000 psi) untuk baja berkekuatan tinggi.

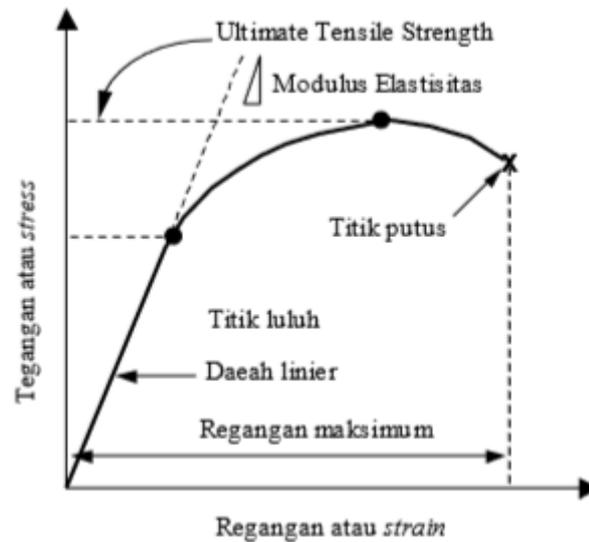


Gambar 3. 10 Proses Perilaku Tegangan-Regangan ke Patahan (Callister, 2007)

Setelah pengujian tarik, didapatkan hasil berupa grafik dimana tegangan yang diperlukan untuk melanjutkan deformasi plastik dalam logam meningkat menjadi maksimum, titik M pada Gambar 3.11, dan kemudian menurun ke fraktur akhir, titik F. Kekuatan tarik TS (MPa atau psi) adalah tegangan maksimum pada kurva tegangan-regangan (Gambar 3.11). Ini sesuai dengan tegangan maksimum yang dapat ditopang oleh struktur dalam tegangan, jika *stress* ini diterapkan dan dipertahankan, patahan akan terjadi. Semua deformasi hingga titik ini seragam di seluruh wilayah penyempitan dari spesimen tarik. Namun, pada tekanan maksimum ini, penyempitan kecil atau leher mulai terbentuk di beberapa titik, dan semua deformasi berikutnya terbatas pada leher, seperti yang ditunjukkan oleh insets skematik pada Gambar 3.11. Fenomena ini disebut "necking," dan patahan akhirnya terjadi di leher. Kekuatan patahan berhubungan dengan *stress* pada patahan.

Kekuatan tarik dapat bervariasi mulai dari 50 MPa (7000 psi) untuk aluminium hingga setinggi 3000 MPa (450.000 psi) untuk baja berkekuatan tinggi. Biasanya, ketika kekuatan logam yang digunakan untuk tujuan desain, kekuatan luluh digunakan. Hal ini karena pada saat tegangan yang sesuai dengan kekuatan tarik telah diterapkan, seringkali struktur telah

mengalami begitu banyak deformasi plastik sehingga tidak dapat digunakan. Selanjutnya, pada gambar 3.12 merupakan kurva standar ketika melakukan pengujian tarik.



Gambar 3. 11 Kurva Tegangan-Regangan (Purnomo, 2010)

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

Engineering strain (regangan) :

$$\epsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana : l_o = panjang mula – mula

l_i = panjang akhir

Δl = pertambahan panjang

ϵ = %

Engineering stress (tegangan teknik) :

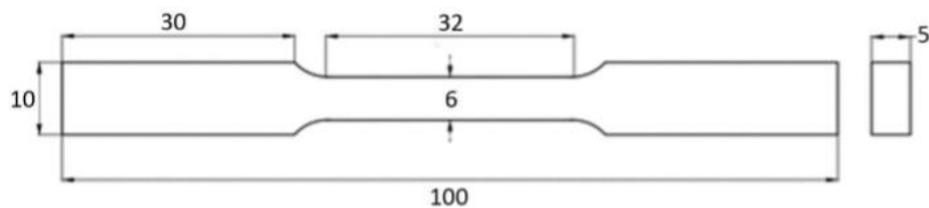
$$\sigma = \frac{F}{A_o} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana F = beban yang diberikan (lb atau N)

A_o = luas penampang bahan sebelum dibebani (in² atau m²)

σ = psi, MPa.

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 Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret. Skema spesimen tarik diperlihatkan pada Gambar 3.13



Gambar 3. 12 Skema Uji Tarik Menurut ASTM E8

3. Pengujian Kekerasan

Ada 2 Jenis Micro hardness test yaitu Knoop micro hardness dan Vickers micro hardness. Untuk penelitian kali ini menggunakan Vickers micro hardness. Vickers micro hardness menggunakan indenter piramidan beban yang diberikan jauh lebih kecil daripada untuk Rockwell dan Brinell, berkisar antara 1 dan 1000 g. Pengujian dengan Mikro hardness memiliki persiapan spesimen yang sama dengan persiapan spesimen untuk pengamatan mikrostruktur, pengamplasan dan pemolesan mungkin diperlukan untuk memastikan lekukan yang terdefinisi dengan baik yang dapat diukur secara akurat dan pengamatannya dilakukan dengan bantuan mikroskop. Setelah diukur hasil pengukuran kemudian diubah menjadi nomor kekerasan seperti gambar 3.14 Nomor kekerasan Knoop dan Vickers ditetapkan oleh HK dan HV, dan skala kekerasan untuk kedua teknik ini kira-kira setara. Knoop dan Vickers disebut sebagai metode pengujian microindentation atas dasar ukuran indenter. Keduanya sangat cocok untuk mengukur kekerasan daerah spesimen yang kecil dan terpilih.

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

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana : HVN = Angka kekerasan Vickers (kgf/mm²)

F = Beban (kgf)

d = Diagonal (mm)

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone; 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 in. diameter steel spheres			60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg }	

Keterangan : Untuk rumus kekerasan yang diberikan, P (beban yang diterapkan) adalah dalam kg, sedangkan D, d, dan l semuanya dalam mm

Gambar 3. 13 Teknik Pengujian Kekerasan (Calister, 2007)

4. Pengujian Struktur Mikro dan Makro

Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Bahan D-3 Universitas Gadjah Mada. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh FSW terhadap struktur mikro daerah las. Struktur mikro dalam logam di tunjukkan 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*)
5. Pemotretan.

5. Analisis Data

Setelah melakukan pengujian sifat mekanik, struktur mikro dan makro maka akan mendapatkan hasil untuk setiap pengujian. Nilai F_{max} yang didapat dari hasil uji tarik akan digunakan sebagai data perhitungan untuk mengetahui nilai tegangan tarik (*tensile strenght*). Dilanjutkan dengan pengujian tarik di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Negri Sebelas Maret. Dari hasil pengujian tarik akan didapat data berupa nilai kekuatan tarik kemudian data tersebut dianalisis menggunakan aplikasi Microsoft Excel dan grafik. Analisa grafik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik tertinggi dan akan dibandingkan dengan peneliti sebelumnya.

Pengujian kekerasan dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan, dari hasil pengujian kekerasan akan didapat data berupa nilai angka

kekerasan *Vickers* (HV) yang kemudian data tersebut dianalisis menggunakan aplikasi Microsoft Excel dan grafik kemudian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Pengujian struktur mikro dan makro dimana hasil yang akan didapatkan berupa foto struktur yang kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui daerah HAZ, TMAZ, WN, dan butiran struktur hasil pengelasan FSW.