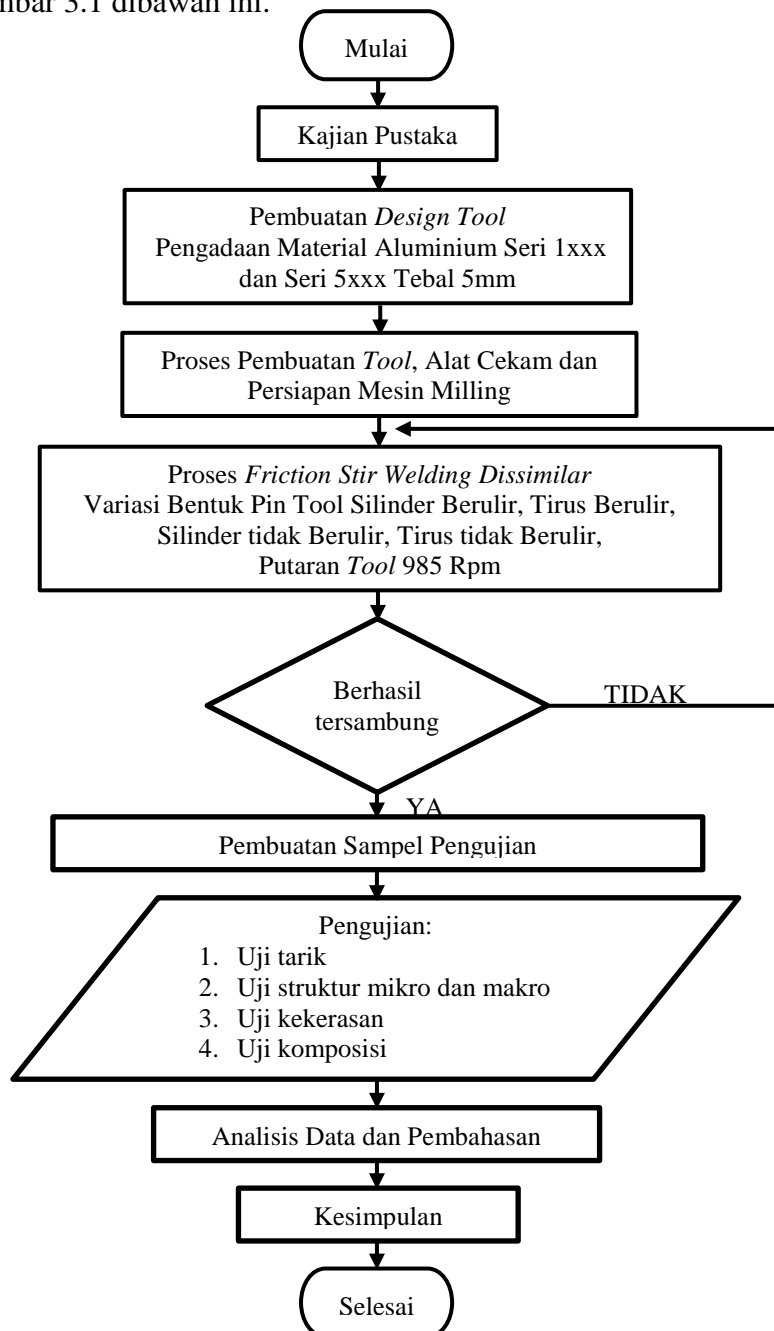


BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah utama dari pengelasan dengan metode FSW *dissimilar* aluminium seri 1xxx dengan aluminium seri 5xxx dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian FSW *Dissimilar* Aluminium Seri 1xxx dan Aluminium seri 5xxx

3.2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat, sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen dan proses pengelasan dengan metode FSW dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Negeri Sebelas Maret.
3. Pengujian struktur mikro dan makro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada.
4. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada.
5. Pengujian komposisi logam dilakukan di Laboratorium Logam CV. Karya Hidup Sentosa (Quick).

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Alat yang digunakan dalam penelitian

1. Mesin *Milling* (*Milling Machine*)

Mesin *Milling* pada (Gambar 3.2) adalah suatu mesin perkakas konvensional yang digunakan untuk menyelesaikan atau mengerjakan penyayatan pada suatu benda kerja dengan mempergunakan pisau *milling* (*milling cutter*) sebagai pahat penyayat yang akan berputar pada sumbu mesin. Akan tetapi dalam penelitian ini pisau *milling* diganti dengan *welding tool* FSW.

Welding tool untuk pengelasan FSW akan dipasang pada spindel mesin *milling*. Spindel ini dapat berputar searah jarum jam (*clock wise*) atau berlawanan arah jarum jam (*counter clock wise*) disesuaikan dengan arah gerakan dari *bed* mesin untuk melakukan proses pengelasan FSW, sedangkan putaran spindel dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.2 Mesin *Milling*

2. Mesin Bubut

Mesin bubut pada (Gambar 3.3) adalah suatu mesin perkakas yang berguna untuk membentuk benda kerja dengan cara menyayat dengan gerakan utamanya berputar. Proses kerja mesin bubut menggunakan pahat dengan satu mata potong untuk menyayat/membuang material dari permukaan benda kerja yang berputar. Pahat bergerak pada arah linier sejajar dengan sumbu putar benda kerja. Dalam penelitian ini mesin bubut digunakan untuk membuat *welding tool* FSW.



Gambar 3.3 Mesin Bubut

3. Gerinda

Gerinda merupakan salah satu mesin perkakas untuk memotong/menghaluskan benda kerja dengan tujuan tertentu (Gambar 3.4). Prinsip kerja mesin gerinda adalah ketika batu gerinda berputar dan bersentuhan dengan benda kerja sehingga akan terjadi pengikisan, penajaman, atau pemotongan. Gerinda yang digunakan pada penelitian ini adalah gerinda tangan yang digunakan untuk memotong plat aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx.



Gambar 3.4 Gerinda

4. Tachometer

Tachometer berfungsi untuk mengukur putaran *spindle* pada mesin *milling* yang akan digunakan pada FSW (Gambar 3.5).



Gambar 3.5 *Tachometer*

5. *Thermometer*

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



Gambar 3.6 *Infrared Thermometer*

6. Amplas

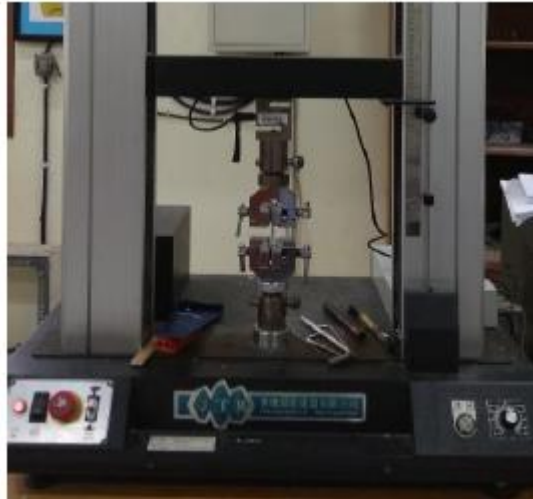
Amplas pada (Gambar 3.7) digunakan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji sebelum penelitian (khususnya untuk pengujian struktur mikro). Adapun nomor amplas yang digunakan yaitu *grid* 100, 400, 1000, 3000, 5000 dan ditambah autosol.



Gambar 3.7 Amplas

7. Alat Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret menggunakan mesin UTM (*Universal Tensile Machine*) dengan *Load Force* Sebesar 2 ton. Alat untuk pengujian tarik dapat dilihat pada (Gambar 3.8) dibawah ini.



Gambar 3.8 Mesin Uji Tarik UTM

8. Alat Uji Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada menggunakan mesin OLYMPUS PME3 (*metallurgical microscope inverted type*) yang dapat dilihat pada (Gambar 3.9). Fungsi alat ini untuk melihat struktur mikro hasil lasan pada spesimen uji.



Gambar 3.9 Mesin Uji Struktur Mikro

9. Alat Uji Struktur Makro

Pengujian struktur makro dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada menggunakan mesin OLYMPUS SZ STEREO ZOOM MICROSCOPE yang dapat dilihat pada (Gambar 3.10). Fungsi alat ini untuk melihat struktur makro hasil lasan pada spesimen uji.



Gambar 3.10 Mesin Uji Struktur Makro

10. Alat Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan (*Hardness Tester*) hasil sambungan lasan aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada menggunakan mesin SHIMADZU HMV-M3 *Hardness Tester* yang dapat dilihat pada (Gambar 3.11) dibawah ini.



Gambar 3.11 Mesin *Hardness Tester*

11. Alat Uji Komposisi Logam

Pengujian komposisi logam dilakukan di Laboratorium Logam CV. Karya Hidup Sentosa (Quick) menggunakan mesin *Spectrometer Type ARL 3560* (Gambar 3.12).

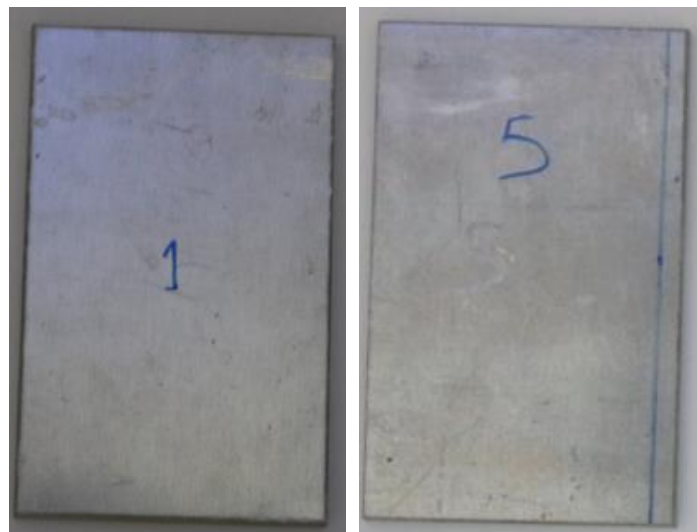


Gambar 3.12 Mesin Uji Komposisi Logam

3.3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

1. Aluminium

Aluminium yang digunakan adalah aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx (Gambar 3.13) yang memiliki ketebalan 5 mm, lebar 60 mm, dan panjang 100 mm.



Gambar 3.13 Plat Aluminium seri 1xxx dan 5xxx

Adapun komposisi dari aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.1 Komposisi aluminium seri 1xxx hasil pengujian di Laboratorium CV. Karya Hidup Sentosa (Quick)

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
%	0.09	0.40	0.054	0.014	0.011	0.053	0.014	0.0012	0.0003	0.0038	0.0043	99.36

Tabel 3.2 Komposisi aluminium seri 5xxx hasil pengujian di Laboratorium Cv. Karya Hidup Sentosa (Quick)

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
%	0.09	0.25	0.03	0.04	1.9	0.033	0.02	0.28	0.0003	0.0011	0.004	97.36

2. Baja pejal

Baja yang digunakan ialah SS 304 dengan diameter 22 mm dan panjang 100 mm (Gambar 3.14). Fungsi baja pejal sebagai bahan baku pembuatan *tool* untuk pengelasan FSW. Proses pembuatan *tool* ini dilakukan di Jasatec.



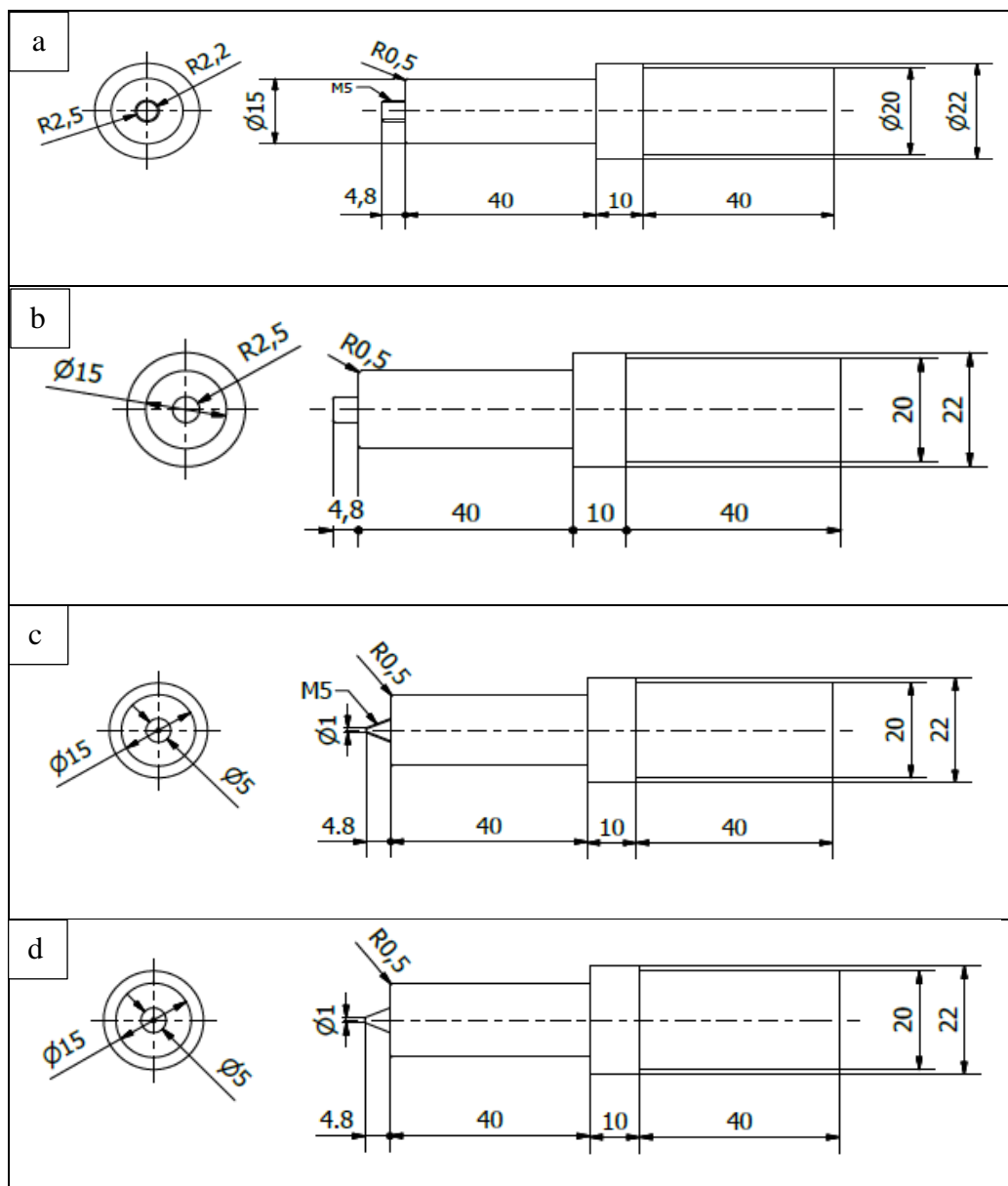
Gambar 3.14 Bahan Baku *Tool* FSW

3.4. Proses Penelitian

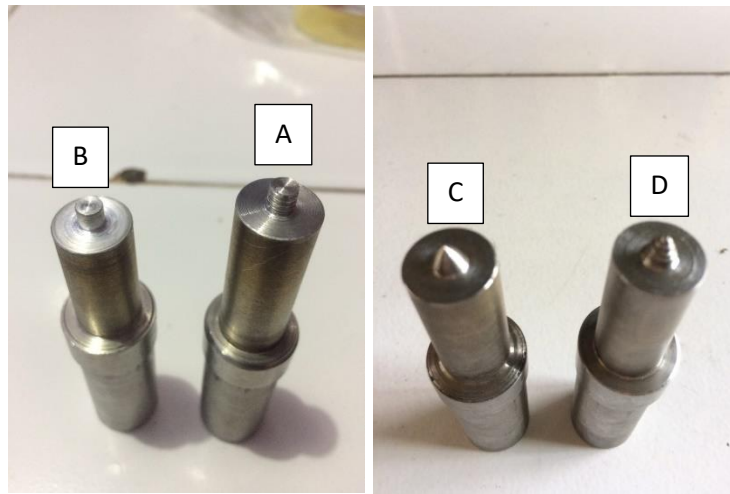
3.4.1. Proses Pembuatan *Tool* Pengelasan

Tool pengelasan dibuat dari baja pejal tipe SS 304 dan pembuatan dilakukan di Jasatec dengan menggunakan mesin bubut manual. Proses

pembuatan *tool* dikerjakan pengurangan diameter *tool* dari 22 mm menjadi 20 mm, setelah itu dilakukan pengerjaan pembuatan *shoulder* dengan cara memperkecil diameter *tool* dari 20 mm menjadi 15 mm dan membentuk *pin tool* dengan memperkecil diameter *shoulder* dari 15 mm menjadi 5 mm dengan panjang pin 5 mm, dengan panjang keseluruhan *tool* 94,8 mm. Desain dan bentuk *pin tool* pengelasan FSW dapat dilihat pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16.



Gambar 3.15 Desain *tool* pengelasan FSW a) silinder berulir, b) silinder tidak berulir, c) tirus berulir, d) tirus tidak berulir (Helmi, 2017)



Gambar 3.16 Bentuk *pin* yang digunakan untuk proses FSW (a) silinder berulir, (b) silinder tidak berulir, (c) tirus berulir, (d) tirus tidak berulir

3.4.2. Proses Pengelasan

Proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan dengan metode *Friction Stir Welding*, dengan menggunakan parameter-parameter yang telah ditentukan.

1. Bahan menggunakan aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dengan ketebalan 5 mm.
2. Mempersiapkan mesin pengelasan dengan menggunakan mesin *milling*.
3. Mempersiapkan alat cekam (ragum) dan benda kerja.
4. Menghidupkan mesin, sehingga *tool* berputar dan *pin tool* dapat dimasukan kedalam material untuk mengaduk material aluminium yang panas karena gesekan. Kemudian *shoulder* menekan material yang teraduk *pin*. *Feed rate* yang digunakan 5 mm/menit dan menggunakan kecepatan putaran *tool* 985 rpm.
5. *Tool* bergerak secara horizontal dengan *feed rate* 5 mm/menit dan terjadi proses penyatuan material aluminium seri 1xxx dan 5xxx (*joining process*).

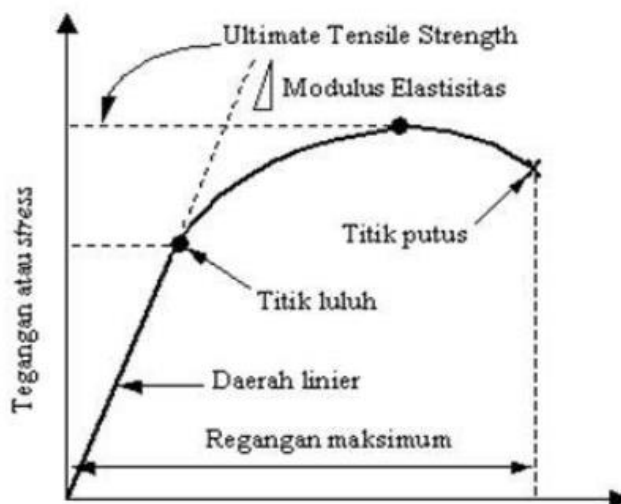
6. Setelah pengelasan sepanjang jalur lasan plat selesai, *tool* diangkat, matikan mesin dan benda kerja dipindahkan dari mesin *milling*.
7. Proses 1-6 dilakukan dengan menggunakan 4 variasi bentuk *pin tool* berbeda. *Pin tool* silinder tanpa alur, silinder beralur, tirus tanpa alur dan tirus beralur.

3.4.3. Proses Pengujian

1. Pengujian Tarik

Kekuatan tarik (*tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum material tersebut patah. Kebalikan dari kekuatan tarik adalah kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Material yang meregang dan mengalami deformasi sebelum patah disebut material elastis (*ductile*). Beberapa material dapat patah begitu saja tanpa mengalami proses deformasi, hal tersebut menandakan material tersebut bersifat rapuh atau getas (*brittle*).

Nilai kekuatan tarik pada umumnya dapat dicari dengan melakukan pengujian tarik dan mencatat perubahan tegangan dan regangan. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) merupakan titik tertinggi yang terdapat pada kurva tegangan-regangan. Jenis material adalah faktor yang dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik, bukan bergantung pada ukuran materialnya. Terdapat juga faktor lain yang bisa mempengaruhi nilai kekuatan tarik seperti penyiapan spesimen, keberadaan zat pengotor dalam material, temperature dan kelembaban lingkungan pengujian.



Gambar 3.17 kurva tegangan tarik

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

Kekuatan tarik pada umumnya digunakan dalam mendesain bagian dari suatu struktur yang bersifat elastis (*ductile*) dan getas (*brittle*) yang sifatnya tidak statis, artinya selalu menerima gaya dalam jumlah yang besar, meski material tersebut tidak bergerak. Kekuatan tarik dapat digunakan juga untuk mengetahui jenis material yang belum diketahui, misal dalam forensik dan paleotologi. Kekuatan tarik memiliki hubungan dengan kekerasan material. Salah satu pengujian kekerasan material yang bersifat non-destruktif adalah dengan menggunakan metode *rockwell*, yang dapat digunakan ketika pengujian tarik tidak dapat dilakukan karena bersifat destruktif.

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

Keterangan: L_0 = panjang daerah pengujian (mm)
 ΔL = panjang spesimen setelah pengujian tarik (mm)
 A = luas daerah pengujian tarik (mm^2)
 ε = regangan (tanpa satuan)
 σ = tegangan (N/mm^2)

2. Pengujian struktur mikro dan makro

Pengujian struktur mikro dan makro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh FSW terhadap struktur mikro daerah las. Struktur mikro dalam logam ditunjukkan dengan ukuran, 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 dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisiensi pembesaran dan metode kerja yang bervariasi.

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

1. Pemotongan (*sectioning*).
2. Pengamplasan (*grinding*).
3. Pemolesan (*polishing*).
4. Etsa (*etching*), menggunakan standar ASTM E407-07.
5. Pemotretan.

3. Pengujian kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan material harus diketahui khususnya untuk material yang pada penggunaannya akan mengalami gaya gesek (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis adalah suatu keadaan dari material ketika diberikan gaya, struktur mikro dari material tersebut mengalami perubahan

dan sudah tidak bisa kembali ke bentuk semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam daya tahan material terhadap indenter intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri piramida seperti ditunjukkan pada Gambar 3.19. Beban yang digunakan untuk pengujian kekerasan yaitu antara 1 sampai 1000 gram, jauh lebih kecil dibandingkan dengan pengujian rockwell dan brinell.

Angka kekerasan *vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil pembagian koefisien benda uji (F) dengan luas permukaan penekanan dari indenter (diagonal) yang kemudian dikalikan dengan $\sin(136^\circ/2)$. Persamaan untuk menentukan besar nilai kekerasan dengan metode *vickers* yaitu:

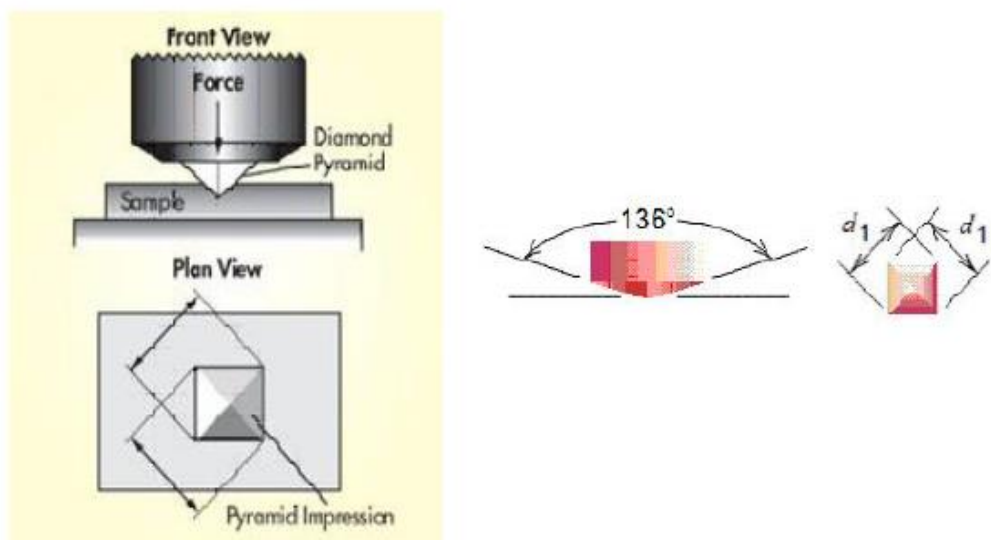
$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

HV = Angka kekerasan *vickers*

F = Beban (kgf)

d = diagonal (mm)



Gambar 3.19 Pengujian vickers (callister, 2001)

4. Pengujian komposisi logam

Pengujian komposisi logam dilakukan di Laboratorium Logam CV. Karya Hidup Sentosa (Quick). Pengujian komposisi logam bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur logam yang terkandung pada material tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin *spectrometer Type ARL 3560* sebagai alat pengujinya.

3.5. Analisa Data

1. Pengujian tarik

Setelah dilakukan proses pengujian tarik didapat nilai beban maksimal atau F_{max} untuk setiap spesimen uji. Besaran nilai F_{max} yang telah didapat digunakan sebagai data perhitungan untuk mengetahui nilai tegangan tarik (*tensile strenght*). Selanjutnya dilakukan pengambilan data pada setiap spesimen uji meliputi dimensi spesimen dan hasil perhitungan nilai tegangan tarik. Data yang sudah didapat kemudian diolah dan dilakukan analisis menggunakan Ms.Excel dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk melihat perbandingan antara kekuatan tarik dari material awal (*raw material*) dan material setelah proses pengelasan.

2. Pengujian kekerasan

Setelah dilakukan proses pengujian kekerasan dengan metode *vickers* didapat nilai kekerasan (VHN) untuk setiap spesimen uji. Selanjutnya dilakukan pengambilan data meliputi jarak pengujian dan hasil nilai kekerasan. Data yang sudah didapat kemudian diolah menggunakan Ms.Excel dan dilakukan analisis untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan di daerah *base metal*, *heat affected zone* (HAZ), *thermomechanically affected zone* (TMAZ) dan *stir zone*.

3. Pengujian struktur makro dan mikro

Setelah dilakukan proses pengujian struktur makro dan mikro didapatkan hasil foto makro dan mikro untuk setiap spesimen uji. Foto makro dan mikro yang sudah didapat kemudian dianalisa untuk mengetahui ukuran, bentuk butir dan struktur kristal logam yang terdapat pada daerah *base metal*, HAZ dan daerah las (*stir zone*).

