

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat Penelitian

Alat-alat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu alat utama dan alat bantu. Alat utama merupakan peralatan yang pada proses penelitian ini digunakan sebagai batasan dan parameter penelitian, sedangkan alat bantu merupakan peralatan yang digunakan untuk membantu kelancaran proses penelitian.

3.1.1 Alat Utama

a. *Semi Automatic Welding Base* (Meja Las Semi Otomatis)

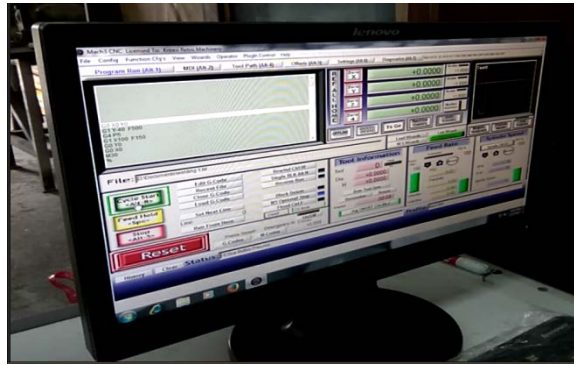
Meja las semi otomatis merupakan salah satu peralatan utama dalam penelitian ini karena digunakan sebagai landasan pada proses pengelasan, pengatur kecepatan dan panjang busur las (jarak elektroda ke logam las).



Gambar 3.1 *Semi Automatic Base Welding*

Prinsip kerja alat ini yaitu operator memasukkan parameter penelitian berupa kecepatan dan panjang busur las ke dalam software *MACH3 CNC* dalam bentuk *G-Code*. Kemudian setelah teknisi las telah menyatakan proses pengelasan siap dimulai maka program pun dijalankan dan *torch holder* pada *welding base*

akan bergerak turun (sumbu y) dan maju (sumbu x) sesuai dengan parameter kecepatan las (arah sumbu x) dan panjang busur las (arah sumbu y) yang telah ditentukan. Tampilan muka software *MACH3 CNC* dapat dilihat pada gambar 3.2





Gambar 3.2 *User Interface Software MACH3 CNC*

b. Mesin Las TIG dan MIG

Mesin las yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin Las TIG AOTAI ATIG315PAC dan mesin Las MIG TENJIMA MIG200S. Spesifikasi dan gambar dari mesin las TIG dan MIG yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Las TIG dan MIG

Gambar		
Model	TENJIMA MIG200S	AOTAI ATIG315PAC
Power Voltage (V)	220V+15%	380V+20%,3Ph
Input Current (A)	29	22
Current Range (A)	50-200	5-315
Output Range (V)	15-26	Up to 22,6
Weight (kg)	27	43
Wire Diameter (mm)	0,8/1,0	-

c. Gas Pelindung Argon

Gas pelindung yang digunakan pada penelitian ini adalah Gas Argon Grade C. Gas argon dipilih karena memiliki keunggulan, antara lain yaitu memberikan perlindungan yang lebih baik karena memiliki berat jenis yang lebih tinggi daripada Helium dan cenderung tetap eksis (tidak mudah menguap) pada saat proses pengelasan, serta inisiasi busur listrik yang lebih mudah.

3.1.2 Alat Bantu

Alat bantu yang digunakan dalam penelitian ini memegang peranan penting karena sangat membantu kelancaran proses pengelasan. Detail foto dan fungsi dari alat bantu dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Detail foto dan fungsi alat bantu proses pengelasan

Nama	Foto	Fungsi
Tanggem		Untuk mencekam logam las agar tidak bergerak selama proses pengelasan
Topeng Las		Untuk melindungi mata peneliti dan teknisi dari sinar silau las.
Sarung Tangan Las		Untuk melindungi tangan teknisi dari percikan spatter dan panas logam las
Dial Indikator		Untuk mengukur distorsi yang terjadi selama proses pengelasan
Jangka Sorong		Untuk mengatur jarak antar elektroda pada proses pengelasan

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat aluminium dengan seri AA5083H116. AA5083H116 merupakan aluminium paduan dengan unsur Magnesium (Mg) sebagai paduan utamanya. Pelat aluminium yang digunakan memiliki dimensi panjang 300 mm, lebar 75 mm, dan tebal 3 (gambar 3.3). Arah pengelasan searah dengan panjang material tersebut.



Gambar 3.3 Bahan aluminium AA5083H116

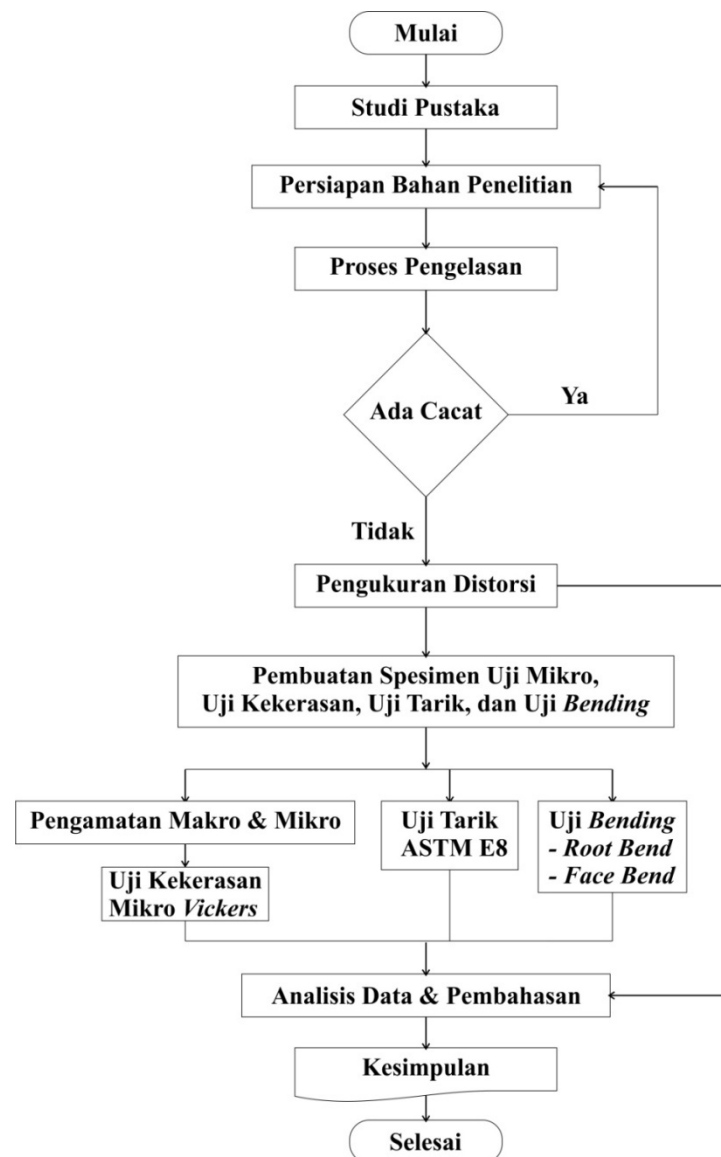
Sifat mekanik dari aluminium paduan AA5083H116 disajikan dalam table 3.3

Tabel 3.3 Sifat mekanik aluminium paduan AA5083H116 (Alcoa, 2015)

Properti	AA5083H116
Kekuatan tarik (MPa)	330
Kekuatan luluh (MPa)	252
Pertambahan panjang saat patah (%)	10
Masa jenis (g/cc)	2,69

3.3 Skema Penelitian

Skema dalam penelitian ini dilaksanakan dengan diagram alir penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.

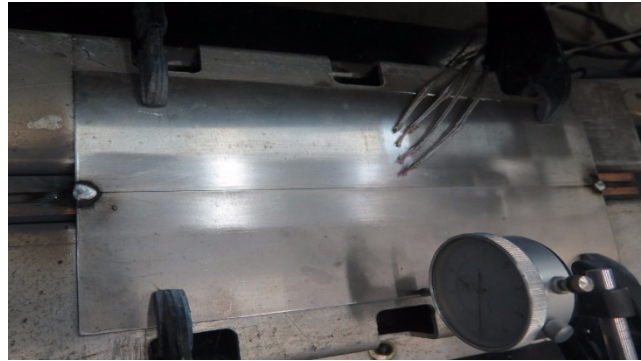


Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

3.3.1 Persiapan Bahan Penelitian

Proses persiapan bahan penelitian dimulai dengan pembuatan spesimen dari raw material berdimensi 2400 mm x 1200 mm x 3 mm yang dipotong-potong menjadi spesimen dengan dimensi akhir 300 mm x 75 mm x 3 mm. Proses pemotongan dilakukan di UPT Logam Yogyakarta dengan menggunakan mesin *CNC milling*. Spesimen yang telah dipotong kemudian dibersihkan dengan cairan aseton menggunakan lap halus lalu dihaluskan bagian yang akan dilas (bagian tepi memanjang) menggunakan amplas. Spesimen dipasang menjadi 3 pasang lalu

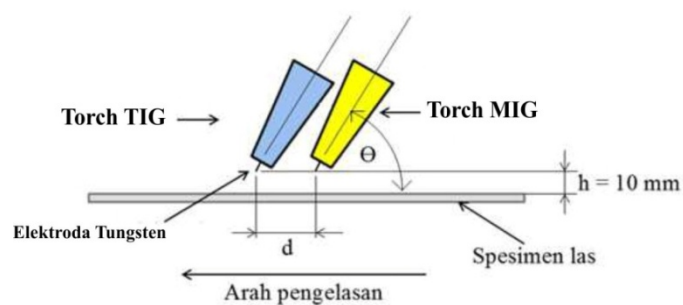
masing-masing pasangan di las *tack weld* pada setiap ujungnya. Spesimen yang siap untuk di las dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Persiapan Spesimen las

3.3.2 Proses pengelasan Tandem TIG-MIG

Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan dua buah mesin las yang dijalankan bersamaan. Mesin las yang digunakan adalah mesin las TIG dan MIG. Pada proses ini jarak dan sudut elektroda pada kedua torch las diatur seperti pada Gambar 4.6 menggunakan meja las semi otomatis. Proses pengelasan ini dilakukan dalam pengawasan teknisi bersertifikat dengan parameter yang disajikan pada Tabel 3.4.



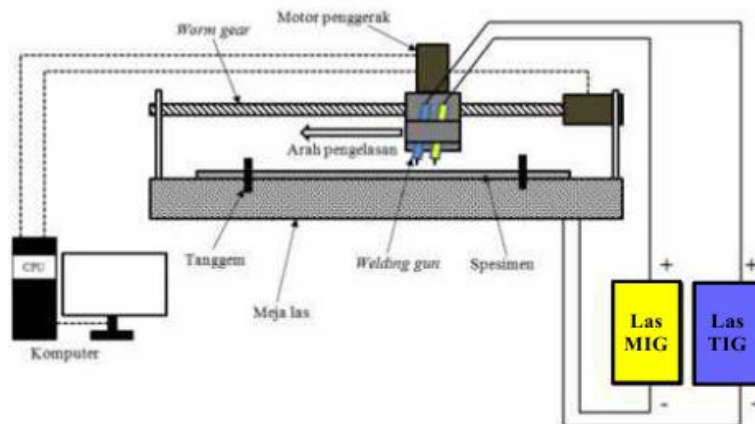
Gambar 3.6 Skema posisi elektroda pengelasan

Tabel 3.4 Parameter pengelasan

Parameter	TIG	MIG
Jarak antar elektroda (d)	15 mm	
Panjang busur las (h)	10 mm	10 mm
Kecepatan pengelasan (v)	12 mm/s, 16 mm/s, 20 mm/s	
Sudut pengelasan (Θ)	80°	80°
Tegangan las rata-rata (V)	19 V	19 V
Arus las rata-rata (I)	85 A	120 A
<i>Filler rate</i>	-	27 mm/s
<i>Filler diameter</i>	-	0,8 mm
<i>Argon flow</i>	15 liter/menit	15 liter/menit

Langkah-langkah pada proses pengelasan ini dapat diurutkan sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilas.
2. Menghidupkan mesin las MIG dan mesin las TIG
3. Menghidupkan meja las semi otomatis
4. Mengatur parameter kedua mesin las sesuai Tabel 4.2.
5. Memasang spesimen yang akan dilas pada meja kerja pengelasan.
6. Menanggem spesimen agar tidak berubah posisi saat pengelasan berlangsung.
7. Mengatur posisi spesimen agar bagian spesimen yang akan dilas lurus dengan jalur las.
8. Operator mengatur kecepatan las dan panjang busur las pada meja las semi otomatis
9. Teknisi menggunakan alat keselamatan yaitu topeng dan sarung tangan las.
10. Operator menjalankan alat pengelas semi otomatis sesuai intruksi dari teknisi las.
11. Setelah pengelasan selesai, spesimen didiamkan sejenak hingga temperaturnya turun menjadi sekitar 50°C - 60°C.
12. Melepas tanggem pada spesimen.
13. Pengelasan selesai.

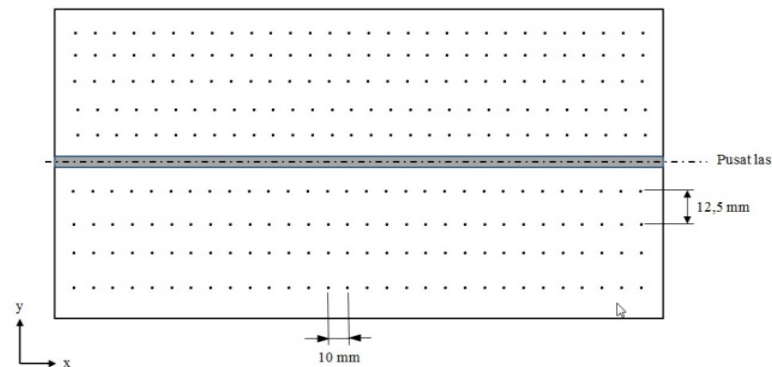


Gambar 3.7 Skema proses pengelasan

3.3.3 Pengukuran Distorsi

Pengukuran distorsi dilakukan untuk mengetahui besarnya distorsi yang terjadi dan bentuk akhir dari hasil pengelasan. Pengukuran distorsi merupakan pengukuran sederhana dengan menggunakan dial indikator dan *magnetic base* diatas permukaan statis. Hasil pengukuran ini berupa log ketinggian di tiap titik pada permukaan plat hasil lasan yang kemudian disajikan dalam grafik *surface 3D plot*. Cara pengukuran adalah dengan mengukur perbedaan ketinggian pada tiap-tiap titik permukaan spesimen yang telah dilas. Permukaan spesimen diasumsikan sebagai sumbu x-y dan ketinggian permukaan yang diukur oleh *dial indikator* sebagai sumbu z. Kemudian data distorsi sumbu x-y-z dikonversi menjadi grafik *3D surface plot*. Pada proses pengukuran ini digunakan alat bantu yaitu mesin *milling*. Spesimen diletakkan pada permukaan yang datar dan statis yaitu meja *milling* dan *magnetic base dial indikator* ditempelkan sesuai kebutuhan.

Pemberian tanda pada permukaan hasil las bertujuan untuk mendapatkan titik distorsi yang lebih presisi. Pemberian tanda dilakukan dengan menandai jarak antar titik sebesar 10 mm pada sisi panjang (sumbu y) dan sebesar 12,5 mm pada sisi lebar (sumbu x). Skema pemberian ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Pemberian tanda pada hasil las

Proses pengukuran menggunakan dial indikator metrik (mm) ditunjukkan oleh gambar 3.9. Jarum panjang pada *indicator pointer* menunjukkan skala 0,01 mm tiap strip, sedangkan jarum pendek menunjukkan skala 1 mm tiap strip. Hasil akhir pengukuran diperoleh dengan cara menambahkan nilai yang ditunjukkan jarum pendek (skala 1 mm) dengan nilai yang ditunjukkan jarum panjang (skala 0,01 mm).



Gambar 3.9 Pengukuran distorsi dengan dial indikator pada meja *milling*

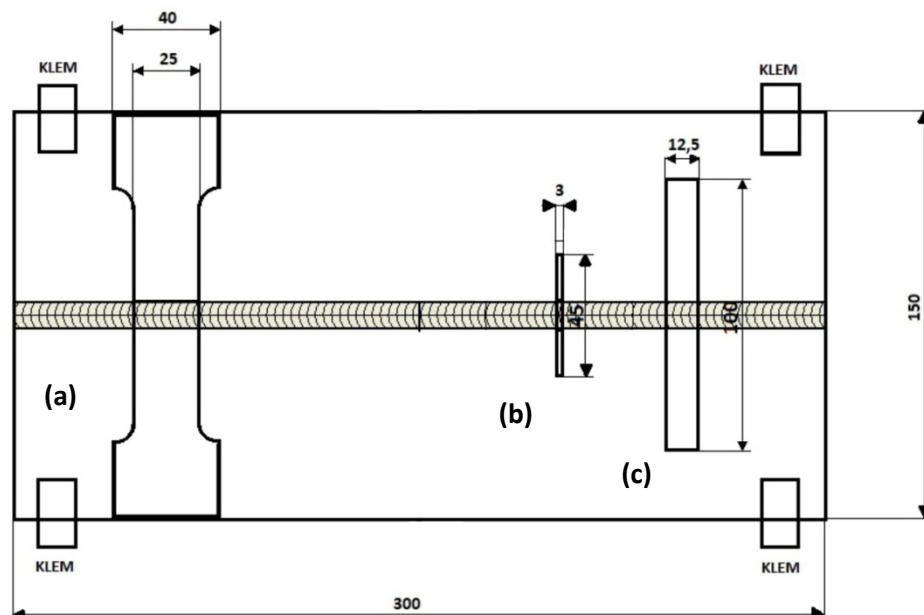
Proses pengukuran distorsi menggunakan dial indikator pada penelitian ini dapat diurutkan sebagai berikut:

1. Memasang spesimen hasil las pada meja *milling* dengan tanggem
2. Merangkai komponen dial indikator dan *magnetic base* pada mesin *milling*

3. Menempelkan *sensor button* pada benda kerja yang akan diukur.
4. Mengkalibrasi dial indicator agar jarum skala menunjukkan angka nol
5. Menggerakkan meja *milling* agar *sensor button* mengenai titik benda uji
6. Membaca nilai pengukuran pada skala dan mencatatnya pada log sheet.
7. Mengulangi langkah 5-6 untuk tiap titik pada permukaan spesimen.
8. Mengulangi langkah-langkah diatas untuk spesimen selanjutnya.
9. Data yang dicatat dalam log sheet kemudian dimasukkan ke dalam software Microsoft Excel dan selanjutnya digunakan untuk membuat grafik *3D surface plot*.

3.5 Pengujian

Pengujian hasil pengelasan merupakan proses yang dilakukan untuk mengetahui sejauh mana sifat fisis dan sifat mekanis dari logam las mengalami perubahan. Beberapa pengujian yang dapat dilakukan untuk menunjukkan perubahan tersebut antara lain pengujian tarik, pengujian bending, pengujian kekerasan mikro *Vickers*, dan pengamatan struktur mikro. Pembuatan spesimen untuk pengujian ditunjukkan oleh gambar 3.10.



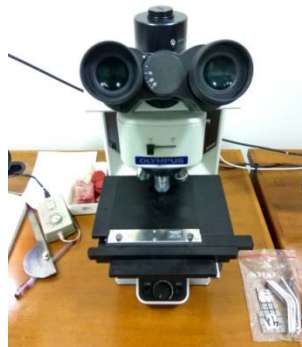
Gambar 3.10 Skema pembuatan spesimen untuk pengujian;
 (a) Uji Tarik, (b) Uji Mikro dan Kekerasan, (c) Uji Bending.

3.5.1 Pengamatan Struktur Makro dan Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara struktur mikro yang terbentuk berdasarkan variasi kecepatan las yang digunakan. Spesimen yang sudah disiapkan kemudian dilakukan proses pengetsaaan pada bagian permukaan yang akan dilihat struktur mikronya. Larutan etsa yang digunakan adalah Larutan NaOH konsentrasi 10%.

Proses etsa yang dilakukan dengan cara penetesan larutan etsa di atas spesimen lalu didiamkan selama 90 detik. Kemudian dibilas dengan air bersih dan dikeringkan dengan *hair-drier*. Selanjutnya diletakkan dibawah *mikroskop optic* untuk dilihat apakah batas butir sudah terkorosi dengan baik. Apabila batas butir belum terlihat dengan jelas maka spesimen dipoles lagi menggunakan autosol dan kain beludru dan ulangi kembali proses pengetsaaan seperti semula.

Daerah pengelasan yang perlu diamati struktur mikronya adalah *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM). Proses pengamatan struktur mikro menggunakan Mikroskop Optik *Olympus BX53M* seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Mikroskop Optik *Olympus BX53M*

Selain struktur mikro, pengamatan struktur makro pun perlu dilakukan untuk mengetahui cacat las pada bagian sambungan las Tandem TIG-MIG. Melalui foto struktur makro ini dapat diketahui bentuk cacat las yang terjadi pada sambungan las ini. Proses pengamatan struktur makro sama dengan struktur mikro namun menggunakan *mikroskop optic* yang berbeda, yaitu Mikroskop optik

Olympus SLZ61 (Gambar 3.12) dengan waktu etsa yang lebih lama hingga mencapai 10 menit.



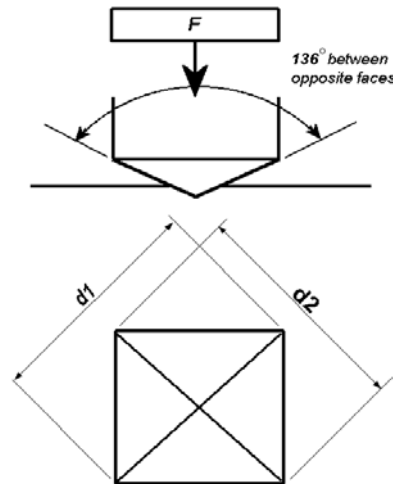
Gambar 3.12 Mikroskop Optik *Olympus SLZ61*

3.5.2 Uji Kekerasan Mikro *Vickers*

Kekerasan adalah kemampuan suatu material untuk menahan deformasi plastis lokal dan permukaan material karena tekanan atau goresan dari material lain. Pengujian kekerasan yang sering digunakan adalah dengan metode indentasi yaitu penekanan indenter ke permukaan benda uji dengan beban dan waktu penekanan yang telah diatur. Bekas pijakan indenter pada permukaan benda uji kemudian diukur dimensinya. Ukuran pijakan tersebut digunakan untuk mengetahui besarnya nilai kekerasan (*hardness number*) benda uji.

Pada benda uji dengan material metal, metode pengujian kekerasan yang dilakukan adalah uji kekerasan mikro *Vickers*. Pengujian ini menggunakan indenter berupa intan berbentuk piramida beralas bujur sangkar dengan sudut puncak 136° . Pengujian ini sering disebut juga uji kekerasan piramida intan karena bentuk penumbuknya yang berupa piramida. Uji kekerasan mikro *Vickers* menghasilkan bekas pijakan indenter berupa bujur sangkar berdiagonal pada permukaan benda uji. Panjang diagonal diukur berdasarkan skala pada mikroskop pengukur pijakan. Bentuk pijakan indenter *Vickers* pada benda uji yang dihasilkan saat pengujian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13. Data hasil pengujian berupa ukuran diameter pijakan yang kemudian dimasukkan ke persamaan 3.5

dengan parameter pengujian yang digunakan sehingga akan diperoleh nilai *Vickers Hardness Number* (VHN).



Gambar 3.13 Skema pembebanan *Vickers*.

Besarnya nilai kekerasan Vickers dapat dihitung dengan persamaan 3.1 dan 3.2 sebagai berikut:

$$d = (d_1 + d_2) / 2 \quad (3.1)$$

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.854 P}{d^2} \quad (3.2)$$

Dimana, VHN = *Vickers Hardness Number* (kg/mm²)

P = beban yang diterapkan (kg)

d_1 = diameter pijakan 1 (mm)

d_2 = diameter pijakan 2 (mm)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan sambungan las Tandem TIG-MIG pada bahan AA5083H116. Pengujian yang dilakukan menggunakan mesin uji kekerasan *Buehler* dengan jenis indenter *Vickers* (Gambar 3.14). Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Parameter yang digunakan saat uji kekerasan ditunjukkan pada Tabel 3.5.



Gambar 3.14 Mesin uji kekerasan *Buehler*

Tabel 3.5 Parameter mesin uji kekerasan *Vickers*

Spesifikasi	Keterangan
Merek	<i>Buehler</i>
Jenis Indentor	<i>Vickers</i>
Beban Uji	100 gram
Waktu Pembebanan	10 detik

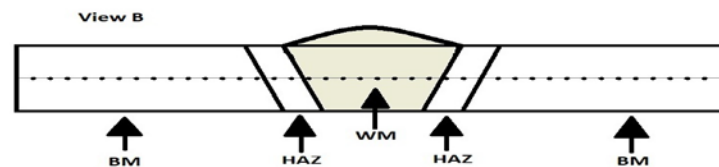
Spesimen uji kekerasan diambil pada sumbu las seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10 dengan dimensi 4 mm x 40 mm x 3 mm. Spesimen yang telah dipotong sesuai dengan ukuran yang ditentukan selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan resin. Hal ini bertujuan untuk memudahkan proses penekanan indentor pada spesimen dan bekas pijakan yang didapat memiliki bentuk bujur sangkar. Spesimen uji kekerasan yang telah dimasukkan dalam cetakan resin dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Spesimen uji kekerasan dan uji struktur mikro

Langkah-langkah pengujian kekerasan dalam penelitian dapat diurutkan sebagai berikut :

1. Menghidupkan mesin uji kekerasan *Buehler hardness tester*.
2. Mengatur pembebanan sebesar 100 gram dan lama waktu pijakan selama 10 detik.
3. Memasang spesimen uji kekerasan pada meja pengujian.
4. Mengatur letak pijakan pertama indenter agar tepat berada pada pusat las (titik tengah daerah WM).
5. Menjalankan mesin *Buehler hardness tester* dengan menekan tombol *start*.
6. Mengubah seting mesin pada opsi mikroskop pengamatan.
7. Mengamati hasil pijakan lalu mencatat ukuran diameter pijakan pada log sheet.
8. Mengulangi langkah 5-7 untuk pijakan selanjutnya sejumlah 20 titik ke arah kanan dan kiri dari titik pertama pijakan, dengan jarak antar titik pijakan sejauh 1000 mikron. Skema bekas pijakan pada benda uji dapat dilihat pada gambar 3.16



Gambar 3.16 Skema pijakan indenter

3.5.3 Uji Tarik

Uji tarik merupakan proses pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu benda terhadap beban tarik. Dari hasil pengujian tarik akan didapatkan kekuatan luluh dan kekuatan tarik dari benda tersebut. Dalam pengujian tarik terdapat tiga variabel penting yaitu beban tarik, tegangan dan regangan. Beban tarik adalah gaya yang dikenakan pada suatu benda yang diuji tarik. Pembebanan pada uji tarik dilakukan dengan konstan dan perlahan-lahan sampai benda uji mengalami patah.

Tegangan adalah gaya yang diterima persatuan luas penampang benda kerja. Untuk mengetahui tegangan pada benda uji digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (3.3)$$

Dimana :

σ = Tegangan (kg/mm²)

P = Beban (kg)

A₀ = Luas penampang mula-mula (mm²)

Pada saat pengujian tarik, benda uji akan mengalami pertambahan panjang. Perbandingan antara pertambahan panjang dari benda yang ditarik dibagi dengan panjang mula-mula disebut dengan regangan. Untuk menghitung besarnya regangan digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3.4)$$

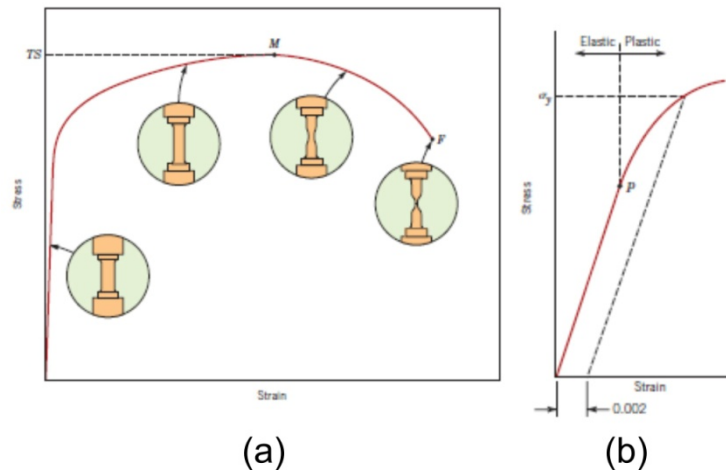
Dimana :

ε = Regangan (%)

ΔL = Selisih panjang ukur sebelum dan sesudah patah (mm)

L₀ = Panjang ukur mula-mula (mm)

Hasil uji tarik yang didapat berupa sebuah grafik pada kertas *millimeter blok* atau berupa kurva regangan - tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.17. Titik yang menjadi perhatian pada grafik atau kurva hasil pengujian yaitu titik elastisitas benda yang diuji tersebut (*yield strength*) dan kemampuan maksimum benda tersebut menahan beban tarik (*ultimate tensile strength*).

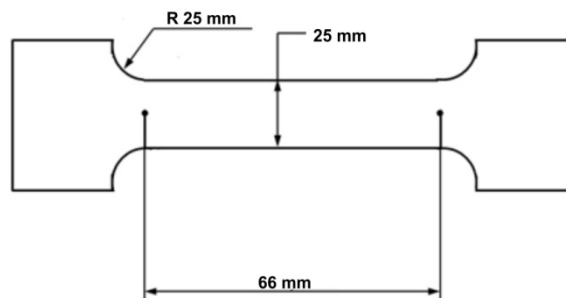


Gambar 3.17 Ilustrasi kurva tegangan-regangan; (a) Menentukan nilai *Tensile Strength* (TS) dan (b) Menentukan nilai *Yield Strength* (YS) (Callister, 2013)

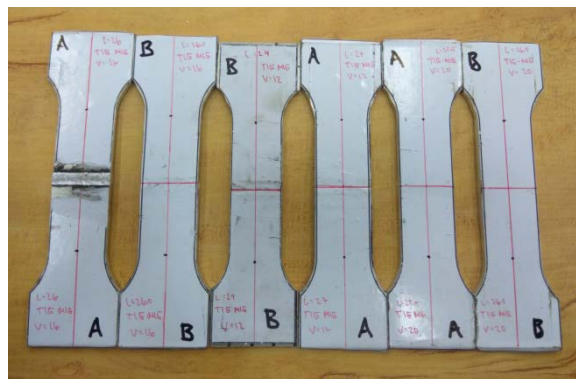


Gambar 3.18 Mesin Uji Tarik *Servopulser*

Pengujian tarik menggunakan mesin *Servopulser* di Laboratorium Bahan Teknik, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Pada penelitian ini ada tiga variabel spesimen yang diuji tarik yaitu spesimen dengan kecepatan las 12 mm/s, 16 mm/s dan 20 mm/s. Masing-masing variabel spesimen yang diuji sebanyak 2 buah. Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standar ASTM E8 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.19. Hasil akhir spesimen uji tarik yang telah dipotong ditunjukkan pada Gambar 3.20. Parameter beban tarik pada mesin uji tarik yang digunakan sebesar 4 ton force.



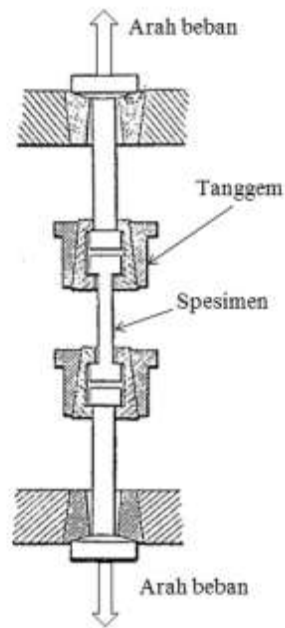
Gambar 3.19 Spesimen uji tarik berdasarkan ASTM E8



Gambar 3.20 Spesimen uji tarik

Langkah-langkah pengujian tarik dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

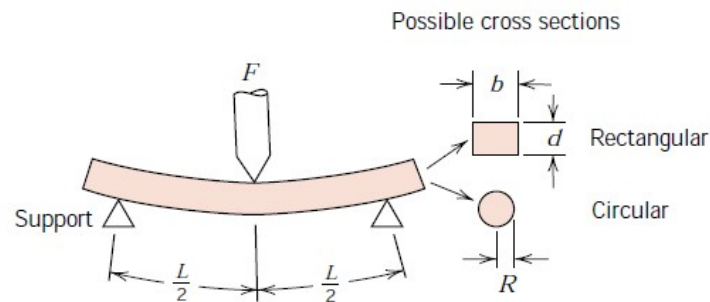
1. Memberi label pada spesimen uji tarik yang telah disiapkan
2. Menyalakan mesin uji tarik *Servopulser*.
3. Memasang spesimen uji tarik pada bagian pencekam mesin uji tarik *Servopulser* seperti yang ditunjukkan gambar 3.18.
4. Mengatur besar beban tarik yang digunakan dan mesin uji tarik ke mode pembebanan uji tarik.
5. Memasang kertas *milimeter blok* pada bagian pengeplot grafik.
6. Menjalankan mesin uji tarik *Servopulser*.
7. Mencatat angka yang ditunjukkan pada indicator saat spesimen luluh dan saat spesimen patah.
8. Mengulangi langkah 4-6 untuk spesimen berikutnya.
9. Menghitung kekuatan tarik tiap spesimen berdasar data hasil pengujian dengan menggunakan persamaan 3.3.



Gambar 3.21 Skema Uji Tarik

3.5.4 Uji Bending

Pengujian *bending* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan kualitas hasil las. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan las dalam menahan beban lengkung. Prinsip kerja dari pengujian *bending* yaitu pembebanan perlahan yang dikenakan pada benda uji yang ditumpu pada kedua ujungnya. Pembebanan perlahan yang dilakukan akan berhenti saat benda uji mengalami retak atau beban yang diberikan mulai menurun. Pengujian *bending* yang dilakukan menggunakan metode *three point bending* yaitu pengujian *bending* dengan dua buah tumpuan dan satu buah indenter seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.22. Posisi indenter pada pengujian *bending* hasil las berada tepat di atas daerah *weld zone*.



Gambar 3.22 Skema uji *three point bending* (Callister, 2013).

Pengujian *bending* yang dilakukan adalah *transversal bending*. Berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan pengujian *transversal bending* ini dibagi menjadi *Face Bend* (*Bending* pada permukaan las) dan *Root Bend* (*Bending* pada akar las). Pada pengujian *face bend*, permukaan las akan mengalami tegangan tekan dan akar las akan mengalami tegangan tarik. Sedangkan pada *Root Bend*, akar las akan mengalami tegangan tekan dan permukaan las akan mengalami tegangan tarik.

Perhitungan kekuatan *bending* untuk hasil uji *bending* menggunakan persamaan 3.5 dengan standar ASTM E190 berikut ini:

$$\sigma_b = \frac{3 PL}{2 bd^2} \quad (3.5)$$

dimana :

σ_b = Tegangan *bending* (MPa)

P = Beban (N)

L = Panjang tumpuan (mm)

b = Lebar (mm)

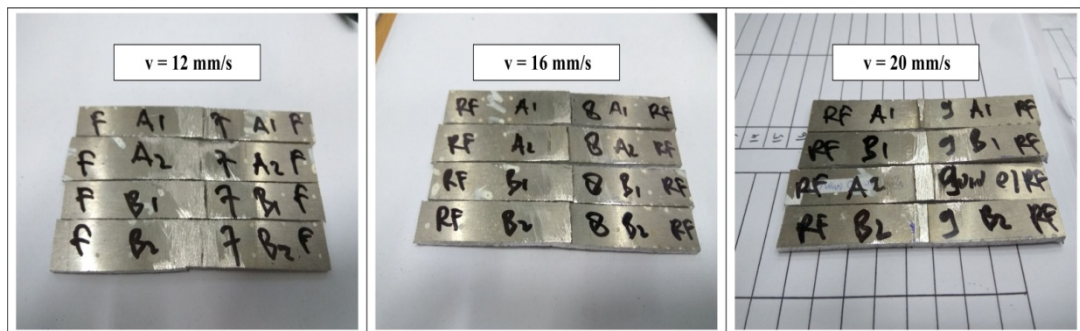
d = Tebal (mm)



Gambar 3.23 *Torsee Universal Testing Machine*

Pengujian *bending* dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada menggunakan *Torse Universal Testing Machine*. Terdapat tiga variabel spesimen yang diuji yaitu spesimen dengan kecepatan las 12 mm/s, 16 mm/s dan 20 mm/s. Masing-masing variable spesimen yang diuji sebanyak 4 buah, terdiri dari 2 spesimen untuk uji *face bending* dan 2 spesimen untuk uji *root bending*.

Pembuatan spesimen uji *bending* berdasarkan standar ASTM E190 dengan dimensi panjang 100 mm, lebar 12,5 mm, dan tebal 3 mm. Spesimen uji bending dapat dilihat pada gambar 3.24.



Gambar 3.24 Spesimen uji *bending*

Tabel 3.6 Spesifikasi mesin uji *bending*

Spesifikasi	Keterangan
Merek	<i>Torse Testing Machine</i>
Metode pengujian	<i>Three point bending</i>
Jarak tumpuan <i>roller</i>	60 mm
Beban Uji	<i>5 ton force</i>

Langkah-langkah pengujian *bending* yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Memberi label pada spesimen yang telah disiapkan.
2. Menyalakan mesin uji bending *Torse Universal Testing Machine*.
3. Mengatur jarak tumpuan *roller* dan posisi *indenter*.

4. Meletakkan spesimen uji *bending* diatas *roller* dan memastikan indentor mengenai garis tengah spesimen uji.
5. Mengatur besar beban *bending* yang digunakan dan mesin uji *bending* ke mode pembebanan *bending*.
6. Menjalankan mesin uji *bending Torsee Testing Machine*.
7. Mencatat beban maksimum dan panjang pergerakan (*strike*) indentor pada indikator.
8. Mengulangi langkah-langkah 4-7 untuk spesimen berikutnya.
9. Menghitung kekuatan *bending* tiap spesimen menggunakan persamaan 3.5 berdasarkan data hasil pengujian.