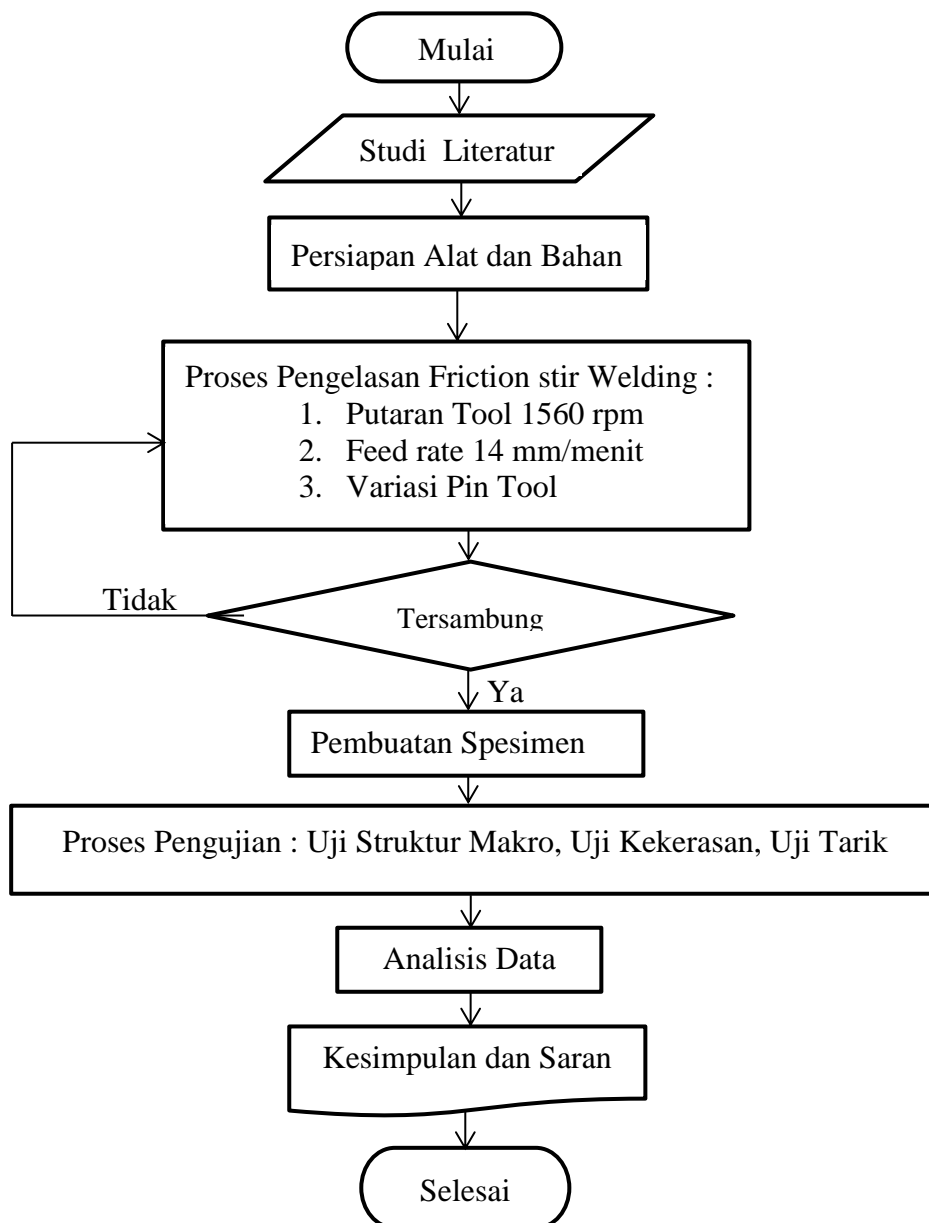


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini memiliki beberapa langkah yang dilakukan. Adapun langkah-langkah dalam proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian *Friction Stir Welding*

3.2. Pengadaan Alat dan Bahan

3.2.1. Alat Penelitian

1. Mesin Milling

Mesin milling vertikal model FM-2SK Chevalier alat mesin Falcon seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 digunakan untuk berjalannya proses pengelasan *friction stir welding*. Mesin ini memiliki fitur penggerak dan puli yang seimbang secara dinamis, memiliki 3 sumbu, 400 mm untuk ke Y, 370 mm untuk sumbu Z dan 901 mm untuk sumbu X. Pengoprasian mesin menggunakan energi listrik yang dirubah menjadi energi gerak berupa putaran oleh motor listrik yang kemudian diteruskan ke transmisi yang berupa puli untuk menyesuaikan putaran yang diinginkan. Penggunaan alat ini bertempat di Laboratorium Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.



Gambar 3.2 Mesin Milling Vertikal

2. Alat Uji Struktur Makro

Alat uji struktur makro yang digunakan pada penelitian ini menggunakan makroskop optik usb yang dihubungkan dengan komputer sebagai

penangkap gambar seperti yang terlihat pada Gambar 3.3. Penggunaan alat ini bertempat di Laboratorin Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan di kontrakan Mochamad Khalil.



Gambar 3.3 Mikroskop optik USB

3. Alat Uji Tarik

Alat uji tarik merupakan salah satu alat uji mekanik untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tarik. Pada penelitian ini menggunakan alat Z020 TN ProLine Materials Testing Machine dari pabrikan Jerman seperti pada Gambar 3.4. Penggunaan alat ini bertempat di Laboratorium Politeknik ATMI Surakarta.



Gambar 3.4 Alat uji tarik

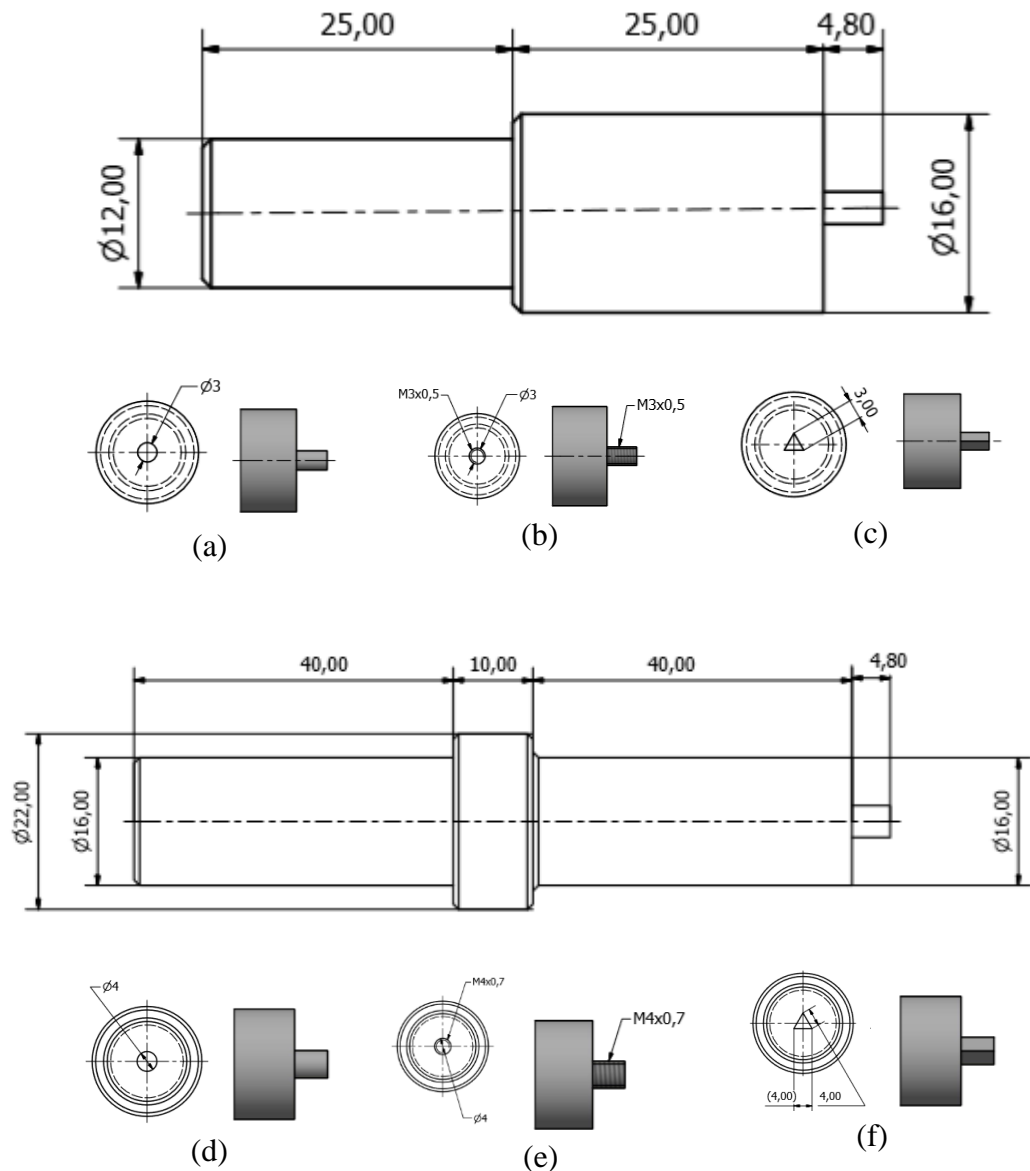
4. Pin Tool

Pin tool adalah sebuah alat yang dilengkapi dengan silinder yang menonjol yang disebut pin dengan silinder luar lebih besar yang disebut shoulder yang digunakan untuk mengaduk dua material sehingga tersambung. Pada penelitian ini menggunakan tiga bentuk pin tool yang berbeda (silinder, segitiga dan silinder) dan dua diameter pin yang berbeda (4 mm & 3 mm) Seperti yang terlihat pada Gambar 3.5 dibawah ini dan pada Gambar 3.6 menunjukkan Gambar teknik dari tiap-tiap pin tool yang menggunakan proyeksi amerika.



Gambar 3.5 Pin Tool

Proses pembuatan tool diawali dengan memilih bahan, pada penelitian ini dipilih bahan baja ST 42 Baja karbon rendah sebagai material utama pembuatan tool. Selanjutnya pembuatan desain tool dengan menggunakan software Autodesk Inventor 2017 seperti yang terlihat pada Gambar 3.6 kemudian diproses di Jasatec untuk proses pembuatan. Tool dibuat dengan tiga variasi bentuk berbeda (silinder, segitiga dan silinder berulir) dan dua variasi diameter pin yang berbeda(4 mm dan 3 mm). Adapun dimensi tool bisa dilihat pada Gambar 3.6. pada bagian shoulder sengaja dibuat panjang berguna sebagai tindakan antisipasi ketika ada kerusakan pada pin ketika proses pengelasan berlangsung.



Gambar 3.6 Sketsa pin tool (a) Silinder 3mm, (b) Silinder ulir 3mm, (c) Segitiga 3mm, (d) Silinder 4mm, (e) Silinder ulir 4mm dan (f) Segitiga 4mm.

Pada awal pengembangan FSW, disadari bahwa bentuk *pin tool* sangat penting dalam mencapai pengelasan dengan sifat mekanik yang baik. Secara umum *tool* terdiri dari *soulder* dan *pin*. *Soulder* memadatkan permukaan benda kerja dan mengisi daerah las yang dilapisi. Panas yang dihasilkan dipermukaan oleh gesekan antara *soulder* yang berputar dan permukaan benda kerja merupakan sumber utama panas ketika melakukan pengelasan pada material lembaran tipis.

Ketika ketebalan benda kerja meningkat, panas yang dibutuhkan juga meningkat, sedangkan fungsi utama dari *pin tool* adalah untuk memastikan kerja yang cukup dari material pada garis las untuk mengontrol aliran material di sekitar *tool* untuk membentuk sambungan yang baik. Hal-hal tersebut merupakan alasan mengapa pembuatan *tool* berulir diterapkan pada penelitian ini untuk memfasilitasi efek mengebor kebawah dan meningkatkan panas yang dihasilkan ketika pengelasan. Bentuk *pin tool* yang berulir memberikan efek *augering* dan jalur aliran yang signifikan. Gaya aksial pada material benda kerja dan aliran material dekat *tool* dipengaruhi oleh orientasi ulir pada permukaan *pin* atau *probe*.

5. Gerinda

Mesin gerinda merupakan salah satu mesin perkakas dengan mata potong yang berbentuk piringan yang digunakan untuk mengasah atau memotong suatu benda dengan tujuan tertentu. Pada penelitian ini gerinda yang terlihat pada Gambar 3.7 digunakan untuk memotong benda kerja dengan ukuran 100 x 80 mm sehingga bisa digunakan untuk proses pengelasan.



Gambar 3.7 Gerinda tangan

6. Tachometer

Tachometer merupakan sebuah alat pengujian yang didesain untuk mengukur kecepatan rotasi atau putaran per menit (RPM) dari sebuah benda yang berputar. Pada penelitian ini menggunakan tachometer digital yang menggunakan laser seperti pada Gambar 3.8 sebagai pembaca

putaran pada spindel mesin, yang digunakan sebagai pengukur putaran spindel pada mesin milling saat berjalannya proses pengelasan.



Gambar 3.8 Tachometer

7. Termometer

Termometer merupakan sebuah alat untuk mengukur temperatur atau perubahan suhu pada benda kerja yang diukur. Pada penelitian ini menggunakan termometer digital seperti pada Gambar 3.9 yang digunakan untuk mengukur panas dari pin tool pada saat akhir proses pengelasan.



Gambar 3.9 Termometer

8. Ampelas

Ampelas merupakan alat yang biasanya terbuat dari kertas atau kain yang ditambahkan material pengkilis seperti butiran pasir pada permukaan kertas atau kain. Pada penelitian ini menggunakan ampelas dengan kekasaran 150 dan 360 seperti pada Gambar 3.10 untuk menghaluskan potongan HDPE yang akan disambung.



Gambar 3.10 Ampelas

9. Kunci Kombinasi 19 dan kunci sock 14

Kunci kombinasi adalah gabungan dari dua kunci yaitu kunci pas dan kunci ring sedangkan kunci sock adalah kunci yang berbentuk silinder yang memiliki dua lubang, sisi sebelah berbentuk persegi sedangkan disisi yang lain berbentuk heksagonal untuk melepas baut atau mengencangkan mur. Pada penelitian ini menggunakan kunci kombinasi ukuran 19 seperti yang terlihat pada Gambar 3.11 untuk mengendorkan atau mengencangkan baut penjepit pada ragum pengelasan dan kunci sock ukuran 14 untuk mengencangkan atau mengendorkan baut pada penyetelan putaran spindel.



Gambar 3.11 Kunci Kombinasi dan Kunci sock

10. *Feeler Gauge*

Feeler gauge seperti pada Gambar 3.12 merupakan alat untuk mengukur celah diantara dua benda. Pada penelitian ini digunakan untuk mengukur *dept of plunge* pada proses pengelasan.



Gambar 3.12 *Feeler Gauge*

11. Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengukur ketebalan, kedalaman dan diameter dalam. Pada penelitian ini menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0.5 mm seperti pada Gambar 3.13 yang digunakan untuk mengukur ketebalan dari feeler gauge setelah mengukur dept of plunge dan untuk mengukur dimensi dari benda kerja sebelum dilakukan pemotongan.



Gambar 3.13 Jangka Sorong

12. Alat uji kekerasan

Alat uji kekerasan merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengetahui kekerasan suatu material dengan skala yang disesuaikan dengan material uji. Pada penelitian ini menggunakan alat uji dengan

Merek Zwick roell seperti pada Gambar 3.14 dari Jerman. Penggunaan alat ini bertempat di Laboratorium Politeknik ATMI Surakarta.



Gambar 3.14 Alat uji kekerasan

13. Stopwatch

Stopwatch merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mengukur lamanya waktu yang diperlakukan dalam sebuah kegiatan penelitian. Stopwatch yang digunakan pada penelitian ini adalah aplikasi stopwatch dari handphone atau gadget.

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan dasar yang digunakan pada penelitian ini adalah material polimer termoplastik yakni lembaran *high density polyethylene* (HDPE) dengan ketebalan 5 mm seperti pada Gambar 3.15. adapun sifat fisik dan kimia HDPE terlihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.15 HDPE Sheet

Tabel 3.1 Sifat Fisik dan Kimia Polietilen HDPE

No.	Sifat	Nilai
1	Unjuk kerja suhu dingin	Baik
2	Berat jenis ASTM D 792	0,94 – 0,96
3	Kuat dampak ASTM D 256 (J/12 mm)	1,02 – 8,15
4	Kuat tensile ASTM D 638, D 651 (MN m ^o)	21,4 – 38
5	Elongasi tegangan ASTM D 638 (%)	50 - 800
6	Modulus elastisitas tegangan ASTM D 747 (MN m ^o x 10 ^o)	5,53 – 10,4
7	Kuat flexural ASTM D 790 (MN m ^o)	13,8 – 20,3
8	Kuat kompresif ASTM D 695 (MN m ^o)	16,5
9	Tetapan dielektrik ASTM D 150 (10 ^o Hz)	2,25 – 2,35
10	Muai termal ASTM D 696 (mm mm' °C x 10 ^o)	11 - 13
11	Kalor jenis (k kg')	2,22 – 2,3
12	Titik leleh (lunak (°C)	120 - 130

3.3. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini melingkupi dua kegiatan utama yakni pembuatan dan pengujian benda kerja. Waktu penelitian dimulai pada tanggal 21 Maret 2018 sampai 15 juli 2018. Adapun tempat yang digunakan sebagai tempat penelitian adalah sebagai berikut :

1. Proses pemotongan bahan awal dilakukan di Laboratorium Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Proses pengelasan *friction stir welding* dilakukan di Laboratorium Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyahh Yogyakarta.
3. Pembuatan spesimen uji kekerasan dilakukan di Laboratorium Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
4. Pembuatan spesimen uji tarik dilakukan di Citra Jogja Kreasi.
5. Pengujian tarik dan kekerasan dilakukan di Laboratorium Politeknik ATMI Surakarta.


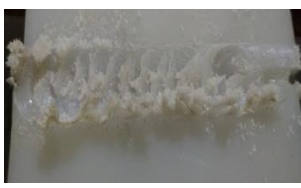







6. Pengujian struktur makro dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

3.4. Proses Penelitian

Proses penelitian diawali dengan melakukan optimasi parameter-parameter yang sesuai yang nantinya akan digunakan pada proses pengelasan, diantaranya adalah pemilihan kecepatan putaran spindel, kecepatan pengelasan dan *depth of plunge*. Kecepatan putar spindel dicari dengan dilakukan percobaan pada tiga kecepatan putar yakni 985, 1560 dan 2000, sedangkan pada kecepatan pengelasan yaitu 6 mm/menit, 14 mm/menit dan 25 mm/menit. Adapun hasilnya terdapat pada Tabel 3.2.

Pada proses optimasi seperti pada Tabel 3.2 dilakukan dengan tiga sampai empat kali percobaan dan diamati dari seberapa konstan dan baik hasil yang didapat dari penggunaan parameter yang diaplikasikan.

Tabel 3.2 Optimasi Kecepatan Putar dan Kecepatan Peengelasan

Rpm	Kecepatan Pengelasan		
	25 mm/menit	14 mm/menit	6 mm/menit
2000			
1560			
985			

Hasil penggunaan parameter proses seperti penggunaan putaran 985 rpm dan kecepatan pengelasan 25 mm/menit, memang mendapat hasil cukup baik

tetapi masih banyak terdapat flash yang dihasilkan pada sambungan dan pada saat proses awal pengelasan panas yang dihasilkan kurang panas sehingga sambungan tidak tersambung melainkan terpotong karena hasil adukan tidak meleleh. Pada saat kecepatan pengelasan diturunkan ke 14 mm/menit atau 6 mm/menit hasil lasan terlihat banyak terdapat flash dan hasil sambungan membentuk lembah.

Begitu juga dengan penggunaan putaran 2000, pada penggunaan kecepatan pengelasan 25 mm/menit mendapat hasil permukaan yang baik hampir tidak terdapat *flash*, namun hasil adukan yang terjadi pada saat proses pengelasan menghasilkan lelehan yang sangat cair samapai terlihat cairan bening karena panas yang dihasilkan cukup tinggi sehingga lelehan terdorong keluar dari daerah sambungan yang mengakibatkan hasil sambungan terlihat baik dari segi visual namun kurang baik dari segi kekuatan karena material yang teraduk didalam keluar ke permukaan sehingga yang didalam menghasilkan lasan yang rapuh. Ketika kecepatan diturunkan ke 14 atau 6 mm/menit maka menghasilkan sambungan yang banyak terdapat *flash* karena *heat input* yang terlalu panas.

Pada proses optimasi didapat penggunaan kecepatan putar 1560 Rpm dan kecepatan pengelasan 14 mm/menit yang menghasilkan sambungan yang cukup baik dan konstan pada tiap percobaan yang dilakukan. Dan pencarian *dept of plunge*, penelitian ini mengikuti dari hasil penelitian Mostafapour dan Azarsa (2012) dimana pada tes eksperimental nilai *dept of plunge* optimum sebesar 0,5 mm yang terdapat pada lasan berkualitas tinggi.

3.4.1 Proses Pengelasan

Parameter proses sangat mempengaruhi pada hasil lasan, pada penelitian ini parameter pengelasan *friction stir welding* yang digunakan dibuat konstan adalah ; kecepatan putaran spindel dibuat 1560 rpm, kecepatan *feed rate* sekitar 0,24 mm/s atau sekitar 14 mm/menit dan *dept of plunge* sekitar 0,5 mm.

Berikut ini merupakan rangkaian langkah dalam proses pengelasan FSW pada HDPE yaitu :

1. Menyalakan kontak arus listrik pada MCB dengan objek mesin *milling*.
2. Menyetel putaran spindel pada kecepatan 1560 rpm dengan cara memindahkan *v-belt* ke puli nomer tiga pada mesin *milling*. Memindahkan *v-belt* dengan cara mengendurkan baut pengunci motor. kemudian dorong motor sehingga *v-belt* bisa bergerak bebas.
3. Memasang cekam pada meja kerja dengan menggunakan kunci berukuran 17.
4. Memasang tool pada spindel dengan collet yang sesuai dengan ukuran tool yang akan dipakai, lalu dikencangkan dengan kunci collet.
5. Memasang benda kerja pada pencekam dan menyesuaikan kelurusan dengan pin tool dengan menggunakan baut pendorong dan penjepit pada pencekam.
6. Menyetel laju pengelasan di angka 0,24-0,33 mm/s pada gerak otomatis meja mesin *milling*.
7. Menjalankan mesin *milling* dan menekan *tool* secara perlahan ke lembaran HDPE dengan kedalaman terjun atau *dept of plunge* sebesar 0,5 mm.
8. Setelah proses pengelasan berlangsung dan hampir selesai seperti yang terlihat pada Gambar 3.16 maka matikan laju meja kerja pada mesin.
9. Mengangkat tool dengan keadaan masih berputar agar lelehan HDPE tidak menempel pada pin tool, kemudian matikan putarannya mesin.
10. Tunggu sekitar 5 menit agar lelehan mengeras sempurna dan kemudian lepas hasil lasan dari pencekam.
11. Mengulangi langkah-langkah di atas dengan mengganti bentuk tool sesuai parameter penelitian.



Gambar 3.16 Proses Pengelasan

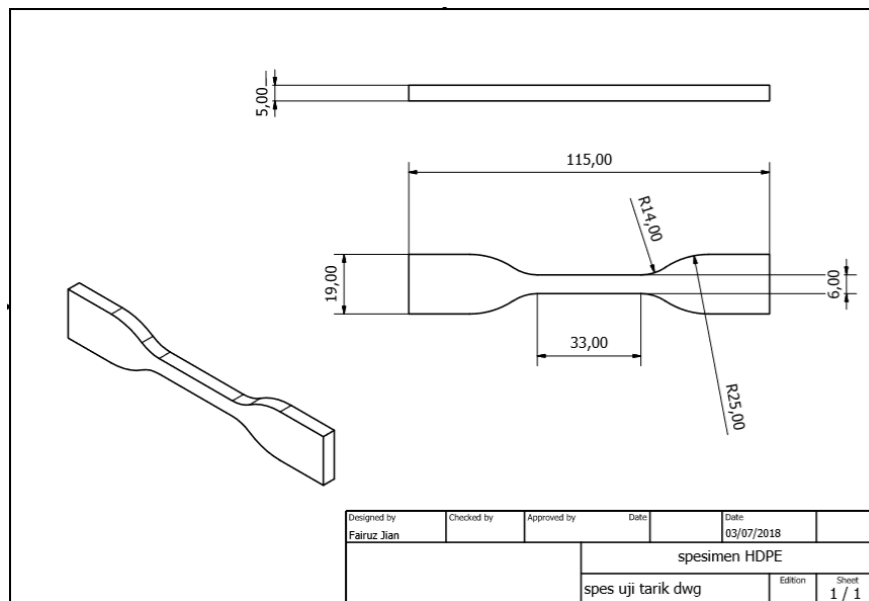
Hasil dari proses di atas selanjutnya akan menjadi bahan penelitian tentang pengaruh variasi bentuk pin tool terhadap sifat mekanik pada hasil dari pengelasan FSW.

3.5. Persiapan dan Pengujian Spesimen

Tahap persiapan dilakukan setelah lembaran HDPE sudah dalam keadaan tersambung atau sudah melalui proses pengelasan FSW. Kemudian material yang sudah tersambung dipotong tegak lurus dengan dengan arah pengelasan sesuai dengan pola standar ASTM D 638 tipe IV seperti pada Gambar 3.17 dan 3.18 untuk pengujian tarik. Pemotongan dilakukan dengan water jet di Citra Jogja Kreasi dengan menyesuaikan gambar sketsa yang sudah ada. Persiapan ini bertujuan supaya mempermudah proses pengambilan data dan mendapatkan data yang bagus.



Gambar 3.17 Hasil potongan spesimen untuk uji tarik



Gambar 3.18 Sketsa pola spesimen uji tarik

3.5.1. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dimaksudkan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik suatu bahan. Kekuatan tarik adalah salah satu sifat bahan yang dapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik bahan ketika mengalami pembebanan. Sehingga dapat digunakan pada saat perencanaan dan pemilihan material untuk perhitungan kekuatan struktur dan keperluan lainnya.

Pada pelaksanaan pengujian, spesimen HDPE dijepit pada mesin uji kemudian ditarik perlahan-lahan sampai diperoleh beban maksimum dan akhirnya benda uji mengalami patah. Bagian tengah yang berpenampang mula-mula luas, akan menjadi ciut ketika dikenai beban tarikan dan terjadi perubahan panjang pada bahan uji.

Adapun langkah-langkah proses pengujian kuat tarik adalah sebagai berikut :

1. Menyesuaikan dimensi dari benda uji sesuai standar ASTM D 638.
2. Menyalakan unit komputer dan alat uji tarik untuk mengatur saat melakukan proses pengujian.
3. Mengatur kecepatan tarik ke 5 mm/menit.

4. Memasang benda uji ke pencekam pada alat uji tarik dengan menyesuaikan tanda *up* dan *down*.
5. Menjalankan program *Zwick Test Xpert 11.0* pada komputer.
6. Mengisi data material pada kolom *method windows*.
7. Membuat *report screen* yang terdiri dari nomer tes, tanggal tes, area, *yield point*, *yield strength*, *elongation*, *max* dan *break* dan nama material.
8. Memulai pengujian dengan mengklik *start* pada *tool box* dengan grafik tegangan-regangannya akan ditampilkan di layar, setelah benda uji patah, mesin akan berhenti otomatis.
9. Memilih data mana saja yang akan ditampilkan di lembaran hasil pengujian.
10. Mencetak hasil dari pengujian dengan mengklik *print*.
11. Melakukan pengujian berikutnya dengan benda uji yang berbeda.

Dari data yang diperoleh dari hasil pengujian dapat dibuat grafik tegangan-regangan, dengan nilai tegangan dan regangan dapat diperoleh dengan rumus :

1. Tegangan Tarik

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots \dots \dots (3.1)$$

2. Regangan Tarik

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (3.2)$$

3. Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0} = \frac{F.L_0}{A.\Delta L} \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana : E = modulus Young atau modulus elastisitas (Mpa)

Lo = panjang awal (mm)

ΔL = penambahan panjang (mm)

F = beban (N)

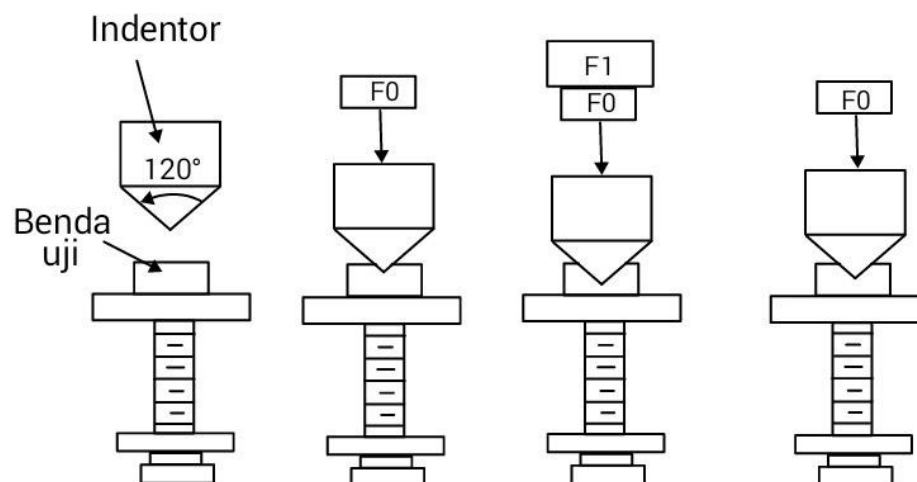
Ao = luas area awal (mm²)

Bentuk kurva hasil pengujian berbeda-beda tergantung pada karakteristik material yang ditentukan oleh jenis material dan perlakuan panasnya. Modulus elastisitas menjadi ciri khas kekuatan bahan dan dapat ditentukan dari kemiringan bagian linear grafik tegangan-regangan. Pada daerah ini berlaku hukum Hook.

3.5.2 Pengujian Kekerasan Rockwell

Kekerasan sering dinyatakan sebagai kemampuan untuk menahan indentasi atau penetrasi. Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang standar yang digunakan untuk menguji kekerasan seperti ; pengujian kekerasan brinell, pengujian kekerasan rockwell, pengujian kekerasan vickers, dan sebagainya. Pada pengujian kekerasan penelitian ini menggunakan pengujian dengan cara rockwell, pengukuran langsung dilakukan oleh mesin dan mesin menunjukkan angka kekerasan dari bahan yang diuji, cara ini lebih cepat dan akurat.

Pelaksanaan pengujian kekerasan rockwell dengan cara menekan permukaan spesimen dengan suatu indentor seperti yang terlihat pada Gambar 3.19. Penekanan indentor kedalam spesimen dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan atau beban minor (F_0), kemudian ditambah dengan beban utama atau beban mayor (F_1), kemudian beban utama dilepaskan dan beban minor tetap dipertahankan.



Gambar 3.19 Proses pengujian kekerasan rockwell

Penerapan beban minor dimaksudkan untuk membantu mendudukan indenter pada benda uji dan menghilangkan pengaruh dari penyimpangan permukaan sehingga menciptakan permukaan benda uji yang siap untuk menerima beban utama. Dengan demikian permukaan benda uji tidak perlu dibuat dengan perlakuan khusus.

Pada pengujian kekerasan rockwell dikenal ada beberapa skala, Tabel 3.2 dibawah ini memperlihatkan berbagai skala pada pengujian kekerasan rockwell.

Tabel 3.3 Skala pengujian kekerasan rockwell

Skala	Indenter	Beban Minor F_0 (kgf)	Beban Mayor F_1 (kgf)	Beban Total F (kgf)
A	Kerucut Intan	10	50	60
B	Bola Baja 1/16"	10	90	100
C	Kerucut Intan	10	140	150
D	Kerucut Intan	10	90	100
E	Bola Baja 1/8"	10	90	100
F	Bola Baja 1/16"	10	50	60
G	Bola Baja 1/16"	10	140	150
H	Bola Baja 1/8"	10	50	60
K	Bola Baja 1/8"	10	140	150
L	Bola Baja 1/4"	10	50	60
M	Bola Baja 1/4"	10	90	100
P	Bola Baja 1/4"	10	140	150
R	Bola Baja 1/2"	10	50	60
S	Bola Baja 1/2"	10	90	100
V	Bola Baja 1/2"	10	140	150

Pada penelitian ini menggunakan skala H dengan indenter 1/8" dimana dalam kekhasan aplikasi skala kekerasan rockwell skala H digunakan untuk

material lembaran tipis yang lunak seperti plastik dan timah. Adapun dalam cara penulisan nilai kekerasannya dengan menulis angka kekerasannya lalu diikuti dengan huruf HR yang artinya Hardness Rockwell dan penambahan nama skala yang dipakai dalam pengujian, seperti HRH yang artinya pengujian dilakukan pada skala H dari pengujian rockwell.

3.5.3 Pengujian Struktur Makro

Pengujian makro atau makroscope test adalah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan suatu material. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian dengan cara ini biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Seperti, logam hasil coran dan material yang termasuk non metal.

Alat yang digunakan pada pengujian ini menggunakan microscope optic usb yang hasil fotonya terintegrasi dengan komputer seperti pada Gambar 3.20. spesifikasi dari alat akan dijelaskan pada tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.4 Spesifikasi mikroskop optik usb

Warna	Hitam
Resolusi gambar/video	640*480 pixels
Kontroler	16 bit DSP
Pembesaran	50 kali – 1600 kali (manual)
Format foto	JPEG
Lampu LED	8
Penghubung	USB 2.0
Format video	AVI

Adapun langkah pengujian makro pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Menempelkan optik padaudukan yang sudah menempel di meja kerja.
2. Menyalakan komputer dan menghubungkan optik dengan komputer.
3. Membuka aplikasi optik yang sebelumnya sudah terinstall di komputer.

4. Meletakkan spesimen uji di bawah kamera optik dan memfokuskan kamera optik.
5. Mengambil gambar pada daerah awal pengelasan dan akhir pengelasan seperti pada Gambar 3.20.
6. Mengkalibrasi dan memberi ukuran pada gambar yang sudah ada dengan software micam.
7. Mengulangi langkah-langkah diatas dengan mengganti spesimen pada setiap variasi.



Gambar 3.20 Pengambilan gambar menggunakan mikroskop optik usb