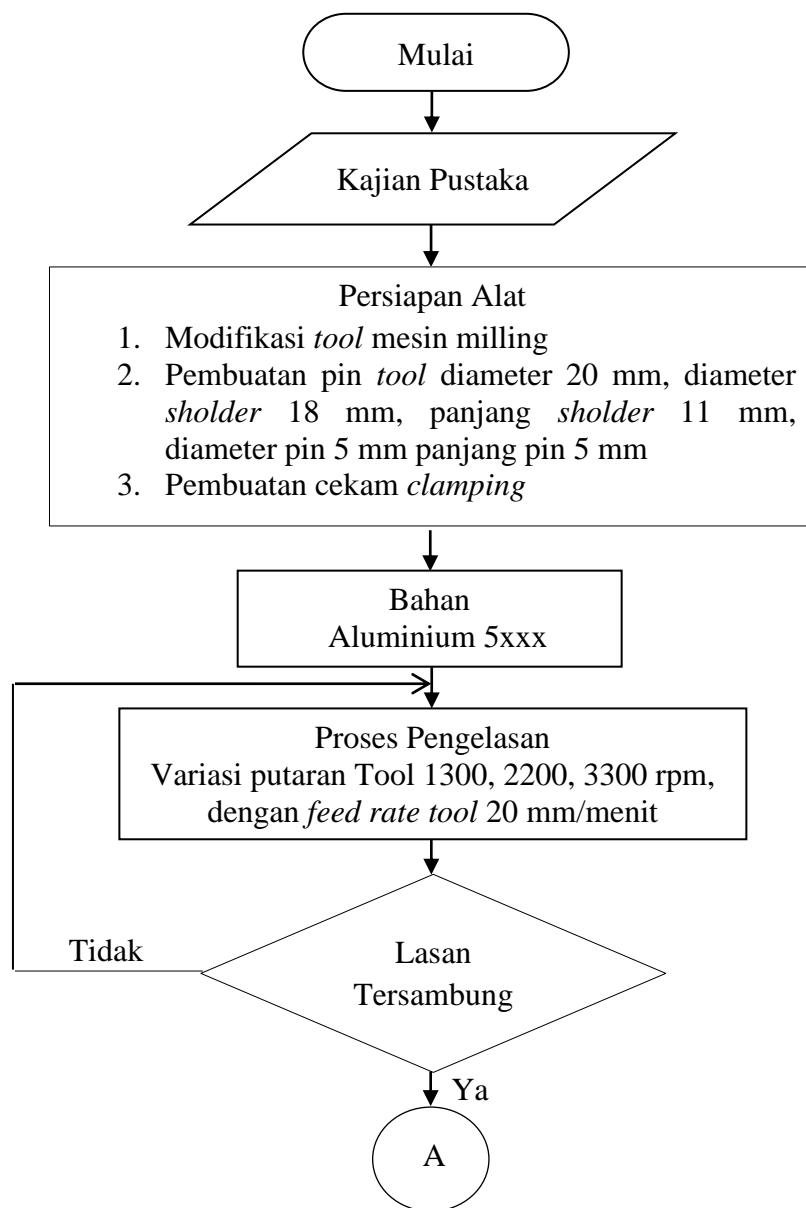


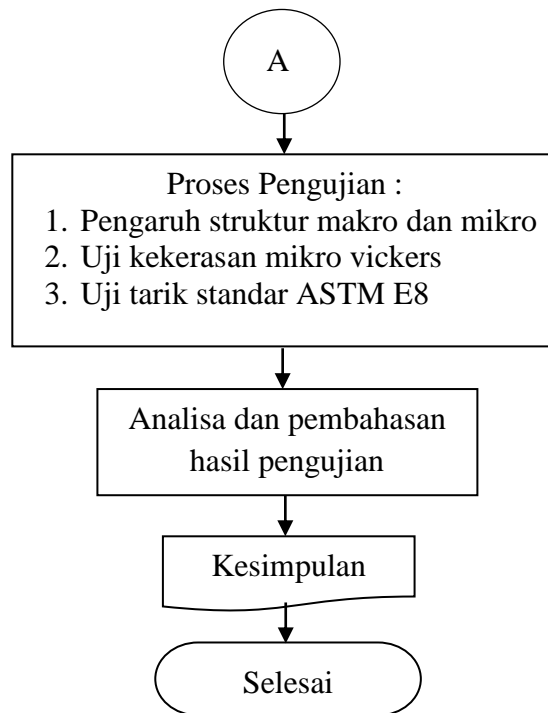
BAB III

METODE 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. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan specimen dan proses pengelasan FSW dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada.
3. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Negeri Surakarta.
4. Pengujian struktur mikro dan makro dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada.

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Alat yang digunakan dalam penelitian

1. Modifikasi Tool Mesin Milling Vertikal

Prinsip kerja dari mesin milling berasal dari energi listrik yang diubah menjadi energi gerak oleh motor listrik, selanjutnya energi gerak tersebut akan diteruskan melalui suatu transmisi untuk menghasilkan gerakan putar pada spindel mesin milling. Spindel mesin milling adalah bagian utama dari mesin milling yang berfungsi untuk memegang dan memutar *tool*. Gerakan putar pada *tool* jika dikenakan pada benda kerja yang telah dicekam maka akan terjadi gesekan/tabrakan sehingga akan menghasilkan pengelasan pada bagian benda kerja.



Gambar 3.2 Mesin milling vertikal

Gambar 3.2 adalah mesin milling vertikal jenis *3-phase induction* motor yang digunakan pada percobaan FSW, dengan spesifikasi dibawah ini:

- 1). Berat motor 26 kg
- 2). Tegangan minimum 220 volt dan tegangan maksimum 380 volt
- 3). Arus minimum 3,64 Ampere dan arus maksimum 6,3 Ampere
- 4). Putaran minimum 980 rpm dan putaran maksimum 3600 rpm

2. Gerinda



Gambar 3.3 Gerinda (depoktoolshop.indonetwork.co.id)

Gambar 3.3 adalah Mesin 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, dan pemotongan.

3. Tachometer



Gambar 3.4 Tachometer

Gambar 3.4 adalah *Tachometer* merk *Tecklock* 33435 berfungsi untuk mengukur putaran *tool* pada mesin milling yang akan digunakan pada FSW.

4. Thermometer



Gambar 3.5 Thermometer Laser Infrared

Gambar 3.5 adalah Thermometer laser infrared AMF 005 berfungsi untuk mengukur suhu pada benda kerja sebelum, ketika berjalan, dan saat terakhir pengelasan pada putaran tool.

5. Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan benda uji sebelum penelitian (khususnya untuk pengujian struktur mikro).

6. Gergaji

Gergaji digunakan untuk memotong plat (benda kerja) sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

7. Kikir

Kikir digunakan untuk meratakan permukaan agar rata setelah digergaji

8. Isolasi

Isolasi digunakan untuk merekatkan benda kerja ke cekam bertujuan untuk memperapatkan sambangan

9. Penggaris

Penggaris digunakan untuk alat bantu mengukur kecepatan *feed rete* dan mengukur benda kerja

10. Palu

Palu digunakan untuk melepaskan benda kerja dari cekam karena lengket setelah pengelasan.

11. Alat Uji Foto Makro



Gambar 3.6 Alat uji foto makro

Gambar 3.6 adalah alat uji foto makro berfungsi untuk mengetahui struktur makro pada aluminium setelah proses pengelasan. Terletak di laboratorium bahan teknik D3 UGM dengan merek OLYMPUS mikroskop dengan pembesaran seimbang SZ404STR-SZ6045TR-SZ1145TR.

12. Alat Uji Foto Mikro



Gambar 3.7 Alat uji foto mikro

Gambar 3.7 adalah alat uji foto mikro berfungsi untuk mengetahui struktur mikro pada aluminium setelah proses pengelasan. Terletak di laboratorium D3 bahan teknik UGM dengan merek OLYMPUS model PME3-111B/-312B.

13. Alat Uji Tarik



Gambar 3.8 Alat uji tarik

Gambar 3.8 adalah *Universal Testing Machine* berfungsi untuk melakukan pengujian tarik sambungan las gesek material aluminium 5xxx. Terletak di laboratorium material teknik UNS.

14. Alat Uji Kekerasan Mikro *Vickers*



Gambar 3.9 Alat uji kekerasan

Gambar 3.9 adalah alat uji kekerasan mikro *vickers* berfungsi untuk mengetahui kekerasan mikro pada aluminium 5XXX setelah proses pengelasan. Terletak di laboratorium bahan teknik S1 teknik mesin UGM, merek *buehler Higt Quality Micro Hardness Tester* model MM 0054.

3.3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

1. Aluminium

Aluminium (Gambar 3.10) yang digunakan adalah aluminium 5051 yang memiliki ketebalan 5 mm dipotong lebar 170 mm, dan panjang 100 mm. aluminium seri ini banyak digunakan pada bagian-bagian pesawat, kapal dan lain-lain, karena aluminium 5051 ini memiliki komposisi dan kekuatan mekanik yang cocok untuk dijadikan komponen-komponen bagian pesawat dan kapal laut. Adapun komposisi dan kekuatan mekanik dari aluminium 5051 dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut ini.



Gambar 3.10 Plat Aluminium

Tabel 3.1 Sifat mekanik aluminium 5051 (ASM aluminium 5051A-H112 tahun 2016)

PENGUJIAN	
Massa jenis	2.7 g/cm ³ (170 lb/ft ³)
Modulus elastisitas	71 Gpa (10 x 10 psi)
Perpanjangan putus	18 - 21%
Kapasitas panas	900 j/kg-k
Kekuatan rasio berat	63 KN-m/kg
Kekuatan tarik	170 MPa (25000 Psi)
Tegangan luuh	58 Mpa (8400 psi)
Ekspansi termal	22 μm/m-K

Table 3.2. Kandungan unsur 5051 (Aluminium *Composition Spech Matweb* 2016)

Unsur	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn
-------	----	----	----	----	----	----	----	----

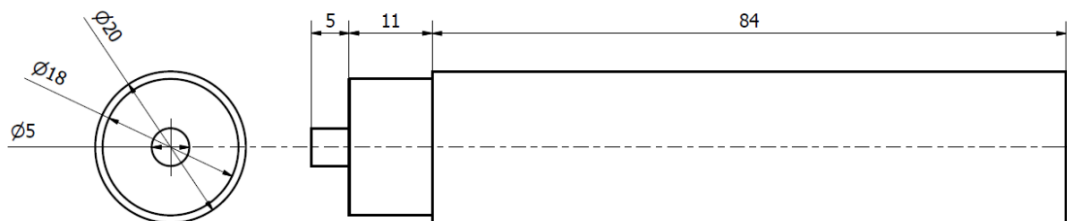
Jumlah (%)	95,6 - 98,3	0,10	Max 0,25	Max 0,70	1,7 - 2,2	Max 0,40	Max 0,10	Max 0,25
------------	-------------	------	----------	----------	-----------	----------	----------	----------

2. Besi

Besi yang digunakan ialah besi pejal dengan diameter 22 mm dan panjang 100 mm. Fungsinya sebagai bahan baku pembuatan *tool* pada pengelasan FSW. Pembuatan *tool* ini dilakukan di laboratorium Teknim Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

3.4. Proses Penelitian

3.4.1. Proses Pembuatan *Tool*



Gambar 3.11 Desain *Tool*

Tool ini dibuat besi pejal dan pembuatan dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menggunakan mesin bubut manual yang pengerjaannya dilakukan sendiri, kecuali *heat treatment* dilakukan oleh tukang las setelah pembentukan *tool* tersebut selesai. Apabila melakukan *heat treatment* sendiri dikhawatirkan tidak mendapatkan hasil yang maksimal karena panas yang diinginkan tidak tercapai. Proses pembuatan *tool* mulai dari pengurangan diameter *tool* dari 25 mm ke 20 mm, kemudian pembuatan *shoulder* 20 mm ke 18 mm, panjang 11 mm, dan pembuatan pin dengan cara memperkecil diameter *tool* dari 18 mm menjadi 5 mm dan panjang 5 mm, dengan panjang keseluruhan *tool* 100 mm (Gambar 3.11)

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 5051 dengan tebal 5 mm.
2. Mempersiapkan mesin las
3. Mempersiapkan benda kerja pada mesin las
4. Menghidupkan mesin, sehingga pin memutar dan menekan material lalu *shoulder* terkena benda kerja sampai *probe* atau *pin tool* berada di dalam permukaan benda kerja dengan *feed rate* 20 mm/menit dan kecepatan putar *tool* 3300 rpm.
5. *Probe* berada di dalam benda kerja (benda kerja berada pada kondisi plastis karena pemanasan akibat dari sentuhan gesekan antara *shoulder* dengan permukaan benda kerja)
6. *Pin tool* berputar kecepatan konstan pada benda kerja dan terjadi proses penyatuan material aluminium 5051 (*joining process*).
7. Proses selesai, *tool* diangkat dan specimen dipindahkan dari mesin.
8. Proses 1-2 dengan *feed rate* 20 mm/menit, dengan kecepatan putar *tool* yang 1200 dan 2200 rpm.

3.4.3 Proses Pengujian

Setelah *specimen*, *tool* dan pengelasan dan mesin milling siap makan langkah selanjutnya adalah persiapan proses pengujian. Persiapan proses pengujian meliputi.

1. Pengujian Mikro

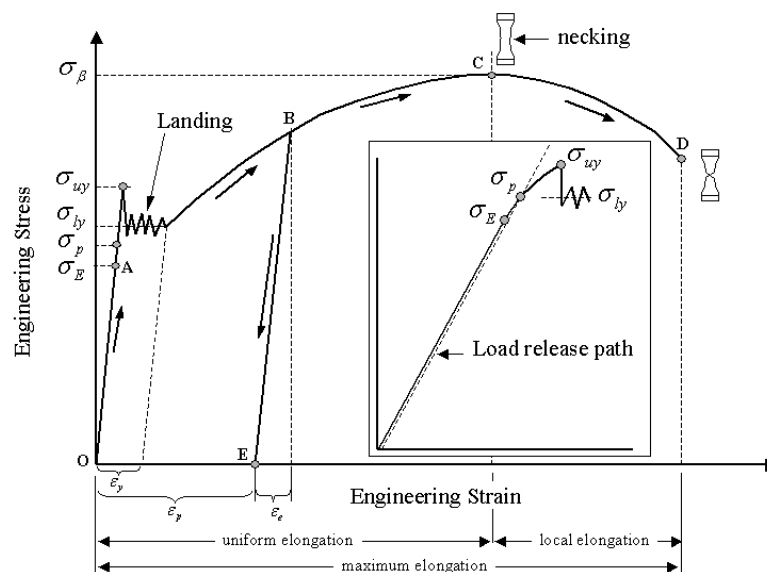
Pengujian struktur mikro ini bertujuan untuk melihat struktur mikro ketebalan lapisan oksida aluminium setelah proses *anodizing* maupun proses *dieying*. Fungsi dari *mounting* adalah untuk memudahkan melakukan pengamatan foto struktur mikro pada saat pengujian berlangsung. Selanjutnya spesimen diamati menggunakan mikroskop maka akan terlihat struktur mikro ketebalan lapisan oksida yang ada pada daerah permukaan aluminium bagian samping setelah proses *anodizing* tersebut.

2. Pengujian Makro

Pengujian struktur makro ini bertujuan untuk melihat struktur makro permukaan aluminium setelah proses *anodizing* maupun proses *dyeing*. pada pengujian ini murni hasil dari proses *anodizing* tanpa *dimounting* dan *dipreparasi* pada bagian permukaan aluminiumnya. Selanjutnya spesimen diamati menggunakan mikroskop maka akan terlihat struktur makro yang ada pada daerah permukaan aluminium setelah proses *anodizing* tersebut.

3. Pengujian Tarik

Uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Dieter, 1987). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1955). Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji.



Gambar 3.12 Profil Singkat Uji Tarik

Sumber :(Sastranegara, A., 2009).

Batas elastis σ_e (*elastic limit*) dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan “nol” pada titik O.

- Batas proporsional σ_p (*proportional limit*) Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
- Deformasi plastis (*plastic deformation*) Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada gambar yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.
- Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*) Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.
- Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*) Tegangan rata-rata daerah landing sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.
- Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*) Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.
- Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*) Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.
- Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*) Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.
- Regangan total (*total strain*) Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis. $\epsilon_t = \epsilon_e + \epsilon_p$ Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

- Tegangan tarik maksimum TTM (UTS, *ultimate tensile strength*) ditunjukkan dengan titik C ($\sigma\beta$), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
- Kekuatan patah (*breaking strength*) ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

Hukum Hooke (*Hooke's Law*) Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah *linier* atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva penambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut : rasio tegangan (*stress*) rumus persamaan 3.1. dan regangan (*strain*) rumus persamaan 3.2. adalah konstan. *Stress* adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* adalah penambahan panjang dibagi panjang awal bahan. Tegangan dirumuskan dengan:

$$\text{Stress: } \sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (3.1.)$$

Dimana

σ = tegangan (MPa)

F: gaya tarikan (N)

A: luas penampang (m²)

$$\text{Strain: } \epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (3.2.)$$

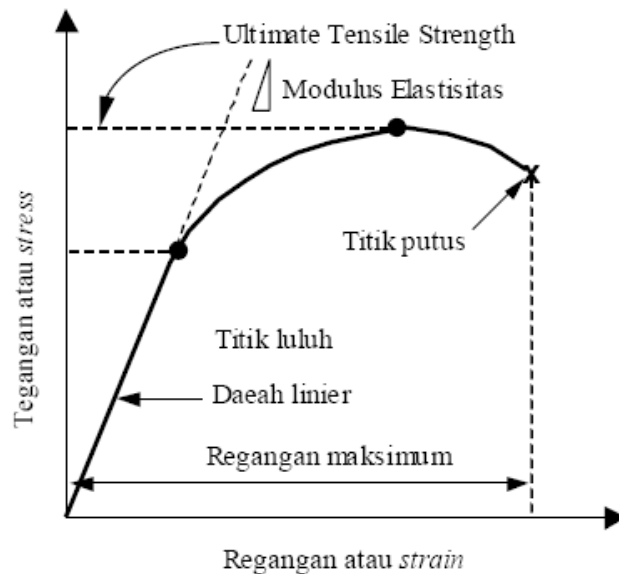
Diamana

ϵ = regangan (%)

ΔL : penambahan panjang (mm)

L: panjang awal (mm)

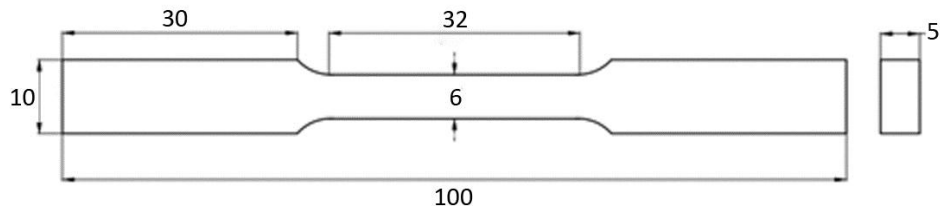
Hubungan antara *stress* dan *strain* dirumuskan dengan hukum Hooke: $e = \sigma / \epsilon$



Gambar 3.13 Kurva Tegangan-Regangan
 Sumber : (Sastranegara, A., 2009)

Untuk memudahkan pembahasan, kita modifikasi sedikit dari hubungan antara gaya tarikan dan pertambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*). Selanjutnya kita dapatkan, yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap. E diberi nama "*Modulus Elastisitas*" atau "*Young Modulus*". Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini sering disingkat kurva SS (*SS curve*).

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 3.14. Sedangkan rancangan perhitungan uji tarik dapat dilihat pada Tabel 3.3.



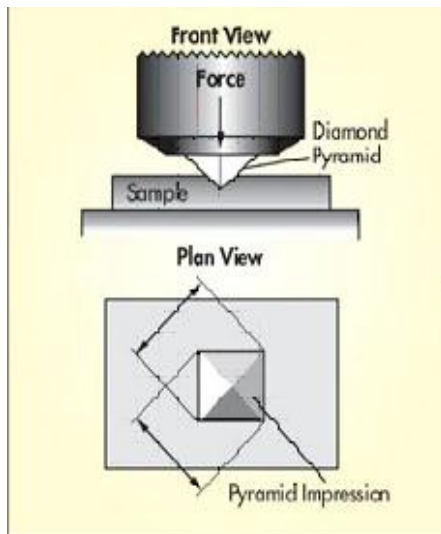
Gambar 3.14 Skema uji tarik menurut ASTM E8

4. Pengujian Kekerasan

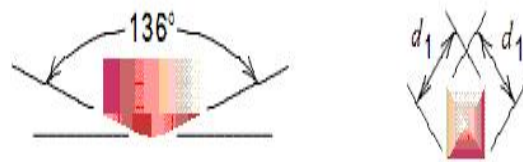
Kekerasan (Hardness) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat 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 3.15, 3.16. 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 :



Gambar 3.15 Pengujian Vickers
(William, D., Callister, Jr, 1985)



Gambar 3.16 Bentuk Indentor
Vickers (William, D., Callister, Jr, 1985)

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \dots VHN$$

Dimana :

HV = Angka kekerasan Vickers

F = Beban (kgf)

d = diagonal (mm)