

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Subhavardhan dan Surendran (2012) telah melakukan penelitian tentang pengaruh parameter tekanan gesek dan waktu gesek terhadap kekuatan sambungan dari dua jenis material yang berbeda yaitu *stainless steel* 304 dan aluminium 6082 menggunakan metode *continuous drive friction welding*. Pada penelitian digunakan beberapa variasi parameter tekanan gesek (65 MPa, 104 MPa, dan 156 MPa), dan waktu gesek (3 detik, 5 detik, dan 7 detik), sedangkan untuk parameter tekanan *upset*, waktu *upset*, dan kecepatan putar dibuat konstan, yaitu 210 MPa, 6 detik, dan 1400 rpm. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan mendapatkan nilai kekuatan tarik terbaik yaitu 188,40 MPa, pada parameter tekanan gesek 104 MPa dan waktu gesek 5 detik. Pada pengujian nilai kekerasan menggunakan beban 500 g. Pada daerah *stainless steel* nilai kekerasan tertinggi didapat pada jarak 0,2 mm dari sambungan yaitu 325 VHN, sedangkan untuk daerah *base metal* pada jarak 10 mm dari sambungan mendapatkan nilai kekerasan 305 VHN. Pada daerah aluminium, jarak 0,2 mm dari sambungan mendapatkan nilai kekerasan 60, sedangkan pada jarak 10 mm dari sambungan nilai kekerasannya hanya 50 VHN.

Sugianto (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh waktu gesek dan sudut *chamfer* terhadap sifat mekanik hasil lasan Aluminium 6061 dengan menggunakan metode *friction welding*. Pada penelitian tersebut menggunakan beberapa variasi sudut *chamfer* (0° , 30° , 60°), dan waktu gesek (60 detik dan 120 detik). Dari hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa variasi parameter $30^{\circ}/120$ detik memberikan hasil rata-rata yang paling baik. Sementara variasi parameter $60^{\circ}/60$ detik memberikan hasil rata-rata yang paling rendah. Pengujian tarik untuk variasi parameter $30^{\circ}/120$ detik menghasilkan kekuatan rata-rata tarik maksimal sebesar $15,86 \text{ N/mm}^2$, untuk variasi parameter $60^{\circ}/60$ detik menghasilkan rata-rata kekuatan tarik maksimal sebesar $5,16 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan pengujian kekerasan pada daerah *Zud*, *Zpd*, dan *Zpl* untuk variasi

parameter 30°/120 detik menghasilkan rata-rata kekerasan 92, 99, 91 BHN. Untuk variasi parameter 60°/60 detik menghasilkan rata-rata kekerasan 79, 80, 74 BHN.

Sahin (2009) telah melakukan penelitian tentang penyambungan dua jenis material yang berbeda dengan menggunakan metode *friction welding*. Pada penelitiannya bahan yang digunakan yaitu Aluminium dan *Stainless steel*. Adapun parameter yang digunakan dengan beberapa variasi pada tekanan gesek (18 MPa, 24 MPa, 30 MPa), tekanan *upset* (40 MPa, 45 MPa, 50 MPa, 60 MPa, 65 MPa), dan waktu gesek (3 detik, 4 detik, 5 detik, 6 detik, 7 detik, 9 detik), sedangkan waktu *upset* dan kecepatan putar dibuat konstan, yaitu 12 detik dan 1410 rpm. Dari hasil penyambungan dua jenis material yang berbeda tadi kemudian dilakukan pengujian kekuatan tarik dan kekerasan. Adapun dari hasil pengujian kekuatan tarik mendapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi 191 MPa, dengan menggunakan parameter tekanan gesek 30 MPa, tekanan *upset* 60 MPa, dan waktu gesek 4 detik. Sedangkan pengujian kekerasan dilakukan menggunakan beban 500 g pada semua titik. Pengujian dilakukan pada beberapa titik masing-masing material. Pada material *stainless steel* jarak 0,2 mm dari sambungan mendapatkan nilai kekerasan 290 VHN, jarak 1-2 mm 225 VHN, sedangkan untuk jarak 3-4 mm mendapatkan nilai kekerasan 230 VHN. Pada daerah aluminium, rata-rata memiliki nilai kekerasan 50 VHN.

Penelitian telah dilakukan oleh Septian, dkk. (2016) tentang pengaruh waktu gesek *friction welding* terhadap karakteristik baja AISI 1045 dengan sudut *chamfer*. Pada penelitian yang dilakukan bahan yang digunakan yaitu Baja AISI 1045 dengan diameter 16 mm, dan kedua ujung benda kerja dibentuk sudut *chamfer* 15°. Adapun parameter yang digunakan dengan beberapa variasi pada waktu gesek (25 detik, 35 detik, 45 detik, dan 55 detik). Sedangkan untuk tekanan gesek, kecepatan putar, tekanan *upset*, dan waktu *upset* dibuat konstan, yaitu 5 MPa, 3000 RPM, 35MPa, dan 30 detik. Dari hasil penyambungan baja AISI 1045 kemudian dilakukan pengujian kekuatan tarik dan kekerasan. Adapun dari hasil pengujian kekuatan tarik didapat kekuatan tarik tertinggi yaitu pada variasi waktu gesek 45 detik dengan nilai kekuatan tarik 708,835 N/mm², hasil tersebut hampir setara dengan kekuatan tarik logam induk yang mencapai 705 N/mm². Sedangkan

untuk kekuatan tarik terendah yaitu pada variasi waktu gesek 25 detik dengan nilai kekuatan tarik 429,671 N/mm². Adapun untuk hasil pengujian kekerasan didapat nilai kekerasan terbaik yaitu pada variasi waktu gesek 55 detik dengan nilai kekerasan logam las 270 BHN, kekerasan bagian kiri HAZ 252 BHN dan kekerasan bagian kanan HAZ 247,6 BHN. Sedangkan nilai kekerasan terendah di dapat pada variasi waktu gesek 25 detik dengan nilai kekerasan logam las 250 BHN, kekerasan bagian kiri HAZ 240,3 BHN, dan kekerasan bagian kanan HAZ 236,6 BHN.

Dari beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dapat disimpulkan bahwa, penyambungan logam silinder pejal dengan menggunakan metode *friction welding* dan parameter yang digunakan adalah : tekanan gesek 5-150 MPa, waktu gesek 3-120 detik, tekanan *upset* 35-210 MPa, waktu *upset* 2-30 detik, dan sudut *chamfer* 15°-60°. Nilai kekuatan tarik sambungan las gesek benda kerja dengan ditambah sudut *chamfer* lebih tinggi dari pada benda kerja dengan model permukaan kontak tanpa sudut *chamfer*. Parameter pada proses penyambungan material dengan metode *friction welding* ini dapat mempengaruhi hasil kekuatan tarik sambungan yang diperoleh. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai parameter yang tepat untuk bisa mendapatkan hasil kekuatan tarik yang maksimal pada penyambungan logam silinder pejal.

2.2. Dasar Teori

DIN (*Deutch Industrie Normen*) mendefinisikan pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan (*welding*) dapat juga diartikan sebagai sebuah proses penyambungan antara dua atau lebih material dalam keadaan plastis atau cair dengan menggunakan panas (*heat*) atau dengan tekanan (*pressure*) atau keduanya (Purwaningrum dan Fatchan, 2013). Pengelasan dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya : pengelasan fusi (*fusion welding*), pengelasan tekan (*pressure welding*), dan pematrian (*brazing*). Pengelasan fusi adalah penyambungan material dengan melibatkan proses pencairan dan pembekuan pada logam

induknya. Pengelasan tekan adalah proses pengelasan dimana sambungan dipanaskan kemudian ditekan hingga menjadi satu. Pematrian adalah pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, logam induk tidak ikut mencair.

2.2.1. Friction Welding

Friction welding diklasifikasikan sebagai proses pengelasan *solid-state* dimana ikatan logam terjadi pada suhu lebih rendah dari titik leleh logam dasar. Waktu gesek, tekanan gesek, waktu tempa, tekanan tempa dan kecepatan spindle adalah parameter yang paling penting dalam metode *friction welding* (Sahin dan Misirli, 2013). Berdasarkan cara penggesekannya, ada beberapa jenis *friction welding*, di antaranya adalah : *continuous drive friction welding*, *linier friction welding*, dan *friction stir welding*.

2.2.1.1. Continuous drive friction welding (CDFW)

Continuous drive friction welding (CDFW) merupakan proses penyambungan dua material dengan satu material berputar dan material yang satu tidak berputar. Pada material yang tidak berputar diberikan gaya aksial sehingga bergesekan dengan material yang berputar kemudian putaran dihentikan dan diberi tekanan tempa.

Pada proses penyambungan CDFW ada beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan yang bisa mempengaruhi kualitas dan kekuatan sambungan. Parameter yang digunakan pada proses penyambungan CDFW adalah tekanan gesek (P_f), waktu gesek (t_f), tekanan *upset* (P_u), waktu *upset* (t_u), dan kecepatan putaran (n).



Gambar 2.1. Tahapan penyambungan CDFW

Gambar 2.1. menunjukkan tahapan pengelasan, penyambungan dua buah material dengan proses *friction welding*, dimana material yang satu berputar dan material yang satunya diam. Gesekan akan terjadi jika material ditempelkan dengan cara material yang diam diberi gaya aksial. Panas yang terjadi akibat gesekan akan terus meningkat selama gaya tekan diberikan hingga mencapai titik leleh dan terjadi penyambungan antara kedua permukaan yang bergesekan.

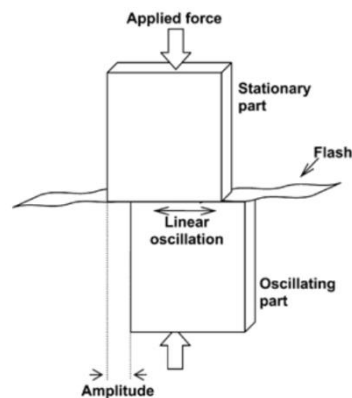
Ada beberapa faktor yang berhubungan dengan keberhasilan dilakukannya penyambungan *friction welding* (Tiwon dan Ardian, 2005), diantaranya adalah :

1. Kecepatan relatif antar permukaan.
2. Tekanan yang digunakan.
3. Temperatur yang terjadi pada antar permukaan benda kerja.
4. Sifat fisik dari material.
5. Bentuk permukaan dan kehadiran lapisan tipis pada permukaan.

Ketiga faktor yang pertama berhubungan dengan kondisi proses pelaksanaan *friction welding* . Sedangkan dua faktor yang terakhir tergantung dari sifat material logam yang disambung. Pada saat proses penyambungan *friction welding*, panas yang timbul pada permukaan dikontrol oleh kecepatan relatif antar permukaan, tekanan yang digunakan dan lamanya waktu penekanan. Kondisi temperatur permukaan merupakan parameter yang kritis untuk menghasilkan sambungan yang baik. Dan hal tersebut tergantung dari kondisi proses dan material yang disambung. Sifat fisik material dan kondisi permukaan mempengaruhi karakteristik gaya gesek dan tekan dari material yang disambung.

2.2.1.2. Linier Friction Welding (LFW)

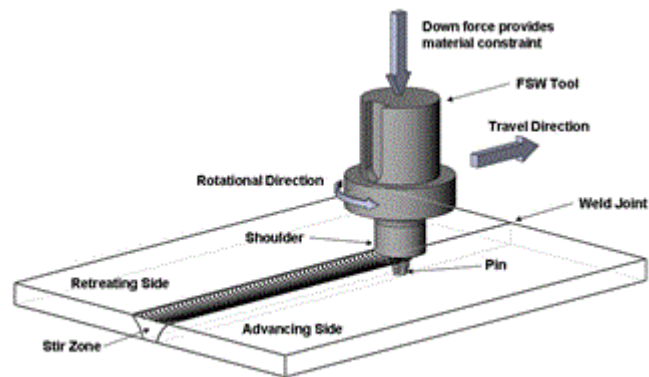
Friction welding yang sumber panasnya berasal dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri. Pada proses penyambungannya, satu benda kerja dipasang pada kondisi diam dan memberikan gaya pada benda kerja yang bergerak secara linear agar terjadi gesekan. Gesekan yang terjadi pada benda kerja yang bersentuhan tersebut akan menyebabkan terjadinya *deformasi plastis*. Akibat adanya gesekan dan gaya yang terjadi pada kedua permukaan maka sebagian dari material membentuk *flash*. Dengan adanya hal tersebut menyebabkan kedua benda kerja menyatu (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Proses penyambungan LFW (Bhamji dkk, 2012)

2.2.1.3. Friction Stir Welding (FSW)

Friction stir welding adalah proses pengelasan yang sumber panasnya berasal dari gesekan antara benda dan pahat. Metode *friction stir welding* memanfaatkan gesekan antara benda kerja dengan pahat (Gambar 2.3). Proses ini biasanya digunakan untuk penyambungan plat. Kedua plat dicekam berimpit, kemudian pahat berputar dan menekan atas himpitan tersebut sehingga terjadi gesekan dan menghasilkan panas yang dapat meluluhkan sambungan plat (Karunia, 2016).



Gambar 2.3. Metode *Friction Stir Welding* (www.ewi.org.com, 2012)

2.2.2. Kelebihan dan keterbatasan *friction welding*

Friction welding memiliki beberapa kelebihan apabila dibandingkan dengan las fusi. Adapun keunggulannya adalah sebagai berikut :

1. Tidak ada pencairan sehingga tidak ada cacat solidifikasi yang terjadi (misalnya gas *porositas*, *segregasi* atau *inklusi* terak).
2. Dapat menyambung material berbeda jenis.
3. Memerlukan waktu yang cepat untuk menyambungkan material.
4. Kekuatan sambungan sama atau lebih dari logam induknya.
5. Tidak menghasilkan asap dan garam.

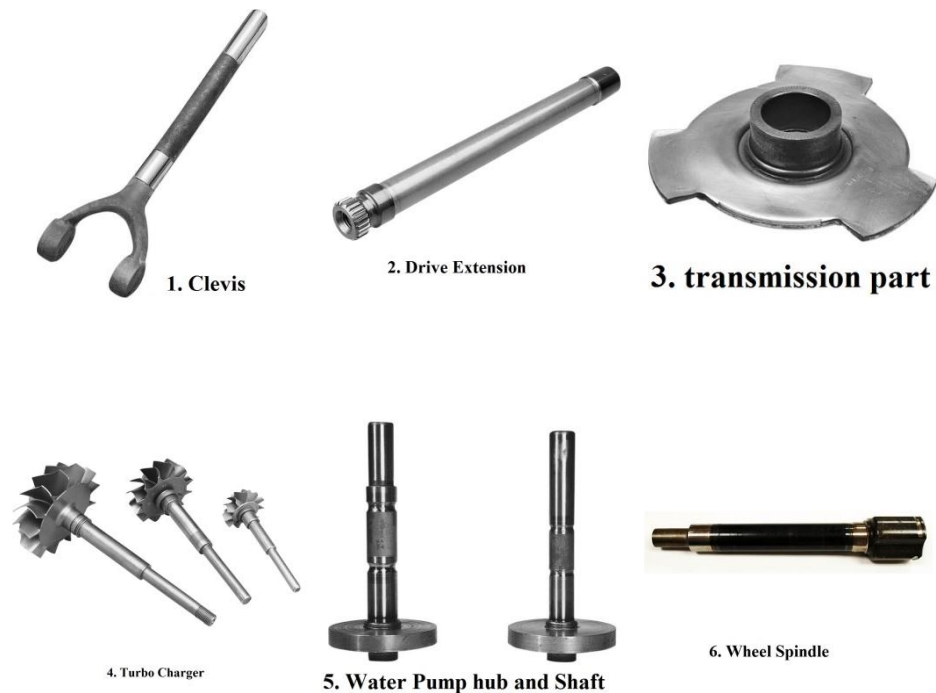
Namun *friction welding* juga memiliki keterbatasan yaitu ;

1. Benda yang disambung harus simetris
2. Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu deformasi secara plastis.
3. Proses umumnya terbatas pada permukaan plat dan bentuk batang bulat. (Tiwan dan ardian, 2005)

2.2.3. Aplikasi pada *friction welding*

Penggunaan penyambungan dua material beda jenis yang ringan mampu memberikan kekuatan mekanik yang tinggi, volume material yang rendah dan ketahanan korosi yang baik menjadi pilihan utama bagi industri.

Berbagai macam hasil sambungan dari pengelasan las gesek dengan menggunakan dua logam yang berbeda (*dissimilar*). Berikut contoh aplikasi penyambungan dua jenis material yang berbeda (Gambar 2.4)



Gambar 2.4. Aplikasi penyambungan friction welding (mtiwelding.com, 2017)

2.2.4. Paduan Aluminium-Magnesium-Silicon (Al 6061)

Aluminium merupakan unsur *non ferrous* yang paling banyak terdapat di bumi dan merupakan logam yang paling ringan. Selain itu unsur ini memiliki beberapa sifat diantaranya yaitu tahan terhadap korosi, penghantar listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik melalui pengecoran maupun pemesian, serta sifat-sifat baik lainnya sebagai sifat logam.

Sifat mekanik, ketahanan korosi, ketahanan aus dan koefisien pemuai rendah pada Aluminium akan meningkat apabila ditambah dengan unsur paduan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni (Purwaningrum dan Fatchan, 2013).

Pada Aluminium 6061 ini, magnesium dan silikon merupakan unsur paduan yang sangat penting pada paduan Aluminium 6061 (Al-Mg-Si), karena apabila magnesium dan silikon dipadukan bersama Aluminium maka akan membentuk magnesium silikat (Mg_2Si) yang menyebabkan paduan seri 6061 dapat diberikan

perlakuan panas untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Adapun sifat mekanis paduan aluminium 6061 dengan berbagai keadaan dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sifat Mekanis Aluminium paduan AL-Mg-Si seri 6061

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (Kg/mm ²)	Kekuatan murur (Kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kg/mm ²)	Kekerasan brinell	Batas leleh (Kg/mm ²)
6061	O	12,6	5,6	30	8,4	30	6,3
	T4	24,6	14,8	28	16,9	65	9,5
	T6	31,6	28,0	15	21,0	95	9,5

Aluminium seri 6061 mempunyai titik cair (*melting point*) 660°C, kekuatan tarik 12,6 kgf/mm, berat jenis (*density*) 2,70 g/cm³. Aluminium seri 6061 merupakan aluminium yang memiliki sifat ketangguhan yang baik, serta tahan korosi yang sangat baik pada suhu atmosfer. Aluminium seri ini juga mempunyai sifat mampu potong, dan mampu las yang baik, serta sangat mudah didapatkan di pasaran. Adapun keterbatasan pada paduan ini, yaitu sangat mudah meleleh pada daerah las yang disebabkan oleh panas yang terjadi pada saat pengelasan.

2.2.5. *Stainless steel 304 (AISI 304)*

Stainless steel merupakan baja paduan dengan kadar paduan tinggi (*high alloy steel*), dengan sifat istimewa yaitu tahan terhadap korosi dan temperature tinggi. Sifat tahan korosi diperoleh dari oksida (terutama krom) yang sangat stabil yang melekat pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan yang korosif. Efek perlindungan oksida krom tidak efektif pada baja paduan dengan kadar krom rendah, efek ini mulai nampak pada kadar krom diatas 11%. *Stainless steel* juga mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup. Secara garis besar *stainless steel* dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu *austenitic*, *martensitic*, dan *ferritic*. (Yakub dan Nofri, 2013)

Stainless steel 304 merupakan jenis *austenitic stainless steel* yang mempunyai sifat *non magnetic*. Memiliki titik leleh pada suhu 1400°C-1450°C dan konduktivitas thermal 16,2 W/m·K. Tipe *stainless steel 304* paling banyak digunakan dengan 18% Cr dan 8% Ni (Iron and Steel Society, 1999). Penggunaan

stainless steel 304 di industri antara lain: kimia, peralatan makan & minuman, aplikasi kelautan, peralatan operasi, dan *heat exchangers*.

Tabel 2.2. Komposisi kimia AISI 304 (Yakub dan Nofri, 2013)

C max	Mn max	Si max	Cr	Ni
0,08%	2,00%	1,00%	18,00-20,00%	8,00-12,00%

Komposisi kimia suatu material sangatlah berpengaruh terhadap sifat mekaniknya misalnya karbon (C) merupakan pembentuk struktur *austenite* yang kuat, oleh karena itu karbon secara substansi dapat meningkatkan kekuatan mekanik. Karbon mengurangi ketahanan terhadap korosi intergranular. Pada *ferritic stainless steel* karbon berpengaruh kuat mengurangi *toughness* dan ketahanan korosi. Karbon pada *martensitic* dan *martensitic-austenitic* meningkatkan kekerasan dan kekuatan. namun secara umum jika kekerasan dan kekuatan meningkat maka *toughnessnya* akan turun.

Tabel 2.3. Karakteristik AISI 304 (Yakub dan Nofri, 2013)

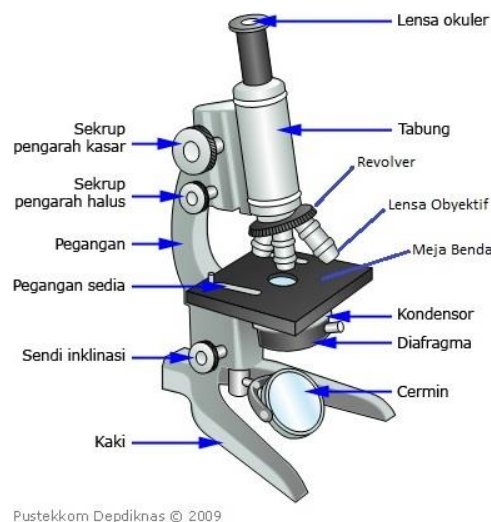
Kekuatan tarik (kg/mm²)	≥53
Kekuatan luluh (kg/mm²)	≥21
Kekerasan (kg/mm²)	≤140

Krom (Cr) merupakan unsur utama pada stainless steel. Sifat *corrosion resistance* dipengaruhi oleh besarnya atau prosentase krom *content*. Krom tahan terhadap korosi dan oksidasi temperatur tinggi. Penambahan unsur Nickel (Ni) adalah untuk menaikkan *ductility* and *toughness*. Nickel mampu mereduksi laju korosi sehingga bermanfaat pada lingkungan yang asam. Penambahan belerang (*Sulphur*) untuk meningkatkan sifat *machinability*. Pada kadar tertentu sulphur bisa berfungsi juga *corrosion resistance*, *ductility* serta mampu las (Fawaid, dkk. 2012).

2.2.6. Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah salah satu sifat fisis yang diamati dalam penelitian ini. Tujuan dari pengamatan struktur mikro adalah untuk mengetahui

struktur mikro *raw material* (Purwaningrum, 2006). Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. Mikroskop Optik (www.softilmu.com, 2015)

Berikut langkah-langkah persiapan benda uji sesuai dengan prosedur standar (Purwaningrum, 2006), diantaranya adalah:

a. Pemotongan (*Cutting*)

Pada proses pemotongan dilakukan dengan menggunakan gergaji tangan. Proses ini bertujuan agar material yang diamati tidak terlalu besar, karena hanya bagian tertentu material yang diamati.

b. Pengamplasan (*Grinding*)

Proses penghalusan dilakukan dengan menggunakan amplas yang halus. Proses ini bertujuan untuk memperkecil kerusakan permukaan yang terjadi akibat proses pemotongan, milling, atau penggerindaan. Selain itu juga bertujuan agar cahaya nantinya memantul ke atas dengan baik. Selama proses ini dilakukan proses pendinginan secukupnya, dengan menggunakan fluida yang tidak merusak, fluida yang dipakai untuk proses ini adalah air. Kertas amplas yang digunakan dimulai dari urutan yang kasar hingga halus.

c. Pemolesan (*Polishing*)

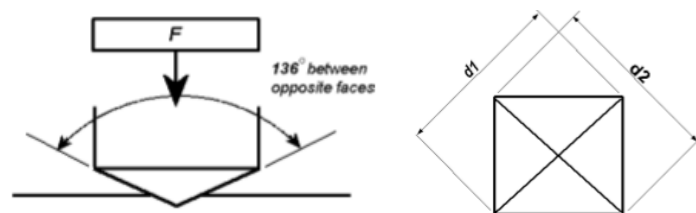
Pemolesan bertujuan untuk mengkilapkan permukaan serta membersihkan kotoran-kotoran pada permukaan, bahan yang dipakai bisaanya autosol, kit, atau braso.

d. Pengetsaan menggunakan HNO_3 (2,5%) (*Etching*)

Pengetsaan merupakan proses pengkorosian atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali pada permukaan benda uji dengan bantuan senyawa kimia HNO_3 (2,5%) . Pengetsaan bertujuan agar permukaan benda uji yang akan diamati dapat dilihat secara jelas detail strukturnya.

2.2.7. Pengujian Kekerasan Micro Vickers

Kekerasan material merupakan salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan pada suatu material akan mengalami deformasi plastis atau deformasi permanen pada material tersebut apabila diberikan beban atau gaya dari luar. Pada suatu material akan dilakukan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik/sifat dan kualitas suatu material. Salah satu cara untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material yaitu dengan menggunakan metode pengujian kekerasan *micro vickers*. Cara ini menggunakan indenter intan berbentuk piramida dengan dasar persegi dan sudut puncak 136° yang ditekan dengan beban (F) yang jauh lebih kecil disbanding dengan pengujian Rockwell dan brinel yaitu antara 1 sampai 1000 gram terhadap material yang akan diuji (Gambar 2.6).



Gambar 2.6. Indentasi micro Vickers (Gordonengland, 2014)

Nilai Kekerasan Vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi dengan luas penampang lekukan dari indenter (diagonalnya). Untuk luas penampang lekukan bekas indenter dihitung dari pengukuran panjang diagonalnya. Kekerasan dihitung dengan mengukur diagonal d_1 dan d_2 dari jejak yang ditinggalkan (Gambar 2.6). Nilai kekerasan vickers dapat dihitung sebagai berikut (Persamaan 2.1).

$$\begin{aligned} \text{VHN} &= \frac{F}{A} = \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.1.} \\ &= \frac{1.854 F}{d^2} \quad (F = \text{kgf, } d = \text{mm}) \\ &= \frac{1854 F}{d^2} \quad (F = \text{gf, } d = \mu\text{m}) \end{aligned}$$

Keterangan :

VHN : Vickers Hardness Number

F : Beban yang diberikan (kgf atau gf)

A : Luas penampang indentasi (mm^2 atau μm^2)

θ : Sudut indentor (136°)

d : Panjang diagonal rata-rata (mm atau μm)

Pengujian kekerasan vickers mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan dan kekurangan kekerasan vickers diantaranya sebagai berikut.

Kelebihan :

- Menggunakan hanya satu jenis indentor untuk menguji material yang lunak hingga yang keras.
- Pembacaan ukuran jejak dapat dilakukan lebih akurat.
- Jenis pengujian yang relative tidak merusak.

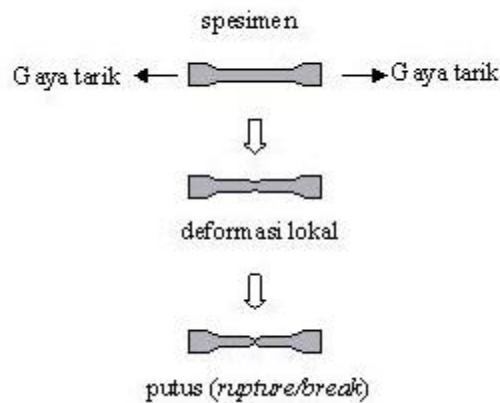
Kekurangan :

- Secara keseluruhan, waktu pelaksanaan pengujian lama.
- Memerlukan pengukuran diagonal jejak secara optic.
- Permukaan benda uji harus dipersiapkan dengan baik.

2.2.8. Pengujian kekuatan tarik

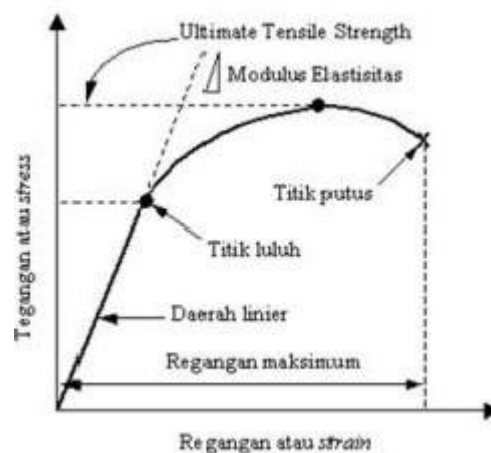
Uji tarik merupakan pengujian yang terpenting dalam pengujian statis. Penarikan dilakukan dengan diberi beban maksimum sampai benda uji putus. Sifat-sifat mekanik yang digunakan untuk mengetahui suatu material antara lain, seperti: kekuatan tarik, kekuatan luluh, regangan dan harga modulus elastisitas (Yakub dan Nofri, 2013). Bentuk spesimen untuk pengujian kekuatan tarik

biasanya berbentuk silinder pejal, pipa, dan juga plat. Ukuran spesimen uji tarik umumnya ditentukan berdasarkan standar ASTM, JIS atau DIN.



Gambar 2.7. Skema pengujian tarik dari awal pembebanan
(rudydwi.wordpress.com, 2010)

Untuk pelaksanaan pengujian, spesimen uji dijepit pada mesin uji dengan pencekram pada bagian ujung-ujungnya. Pembebanan dilakukan mulai dari nol, kemudian bertambah perlahan-lahan secara kontinyu hingga diperoleh beban maksimum dan akhirnya benda uji mengalami patahan. Bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat dari gaya tarik yang dialami benda uji. Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk kurva tegangan-regangan, seperti yang terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Kurva tegangan-regangan (rudydwi.wordpress.com, 2010)

Pada awal uji tarik, hubungan antara beban atau gaya akan berbanding lurus dengan pertambahan panjang benda uji. Daerah tersebut dinamakan daerah linier atau *linear zone* (Gambar 2.8). Pada *linear zone* berupa garis lurus, dalam hal ini berarti pada daerah tersebut pertambahan panjang sebanding dengan pertambahan beban yang bekerja. Pada daerah ini berlaku hukum Hooke. (Persamaan 2.2).

$$\Delta l = \frac{Pl_0}{AE} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.2.}$$

Keterangan :

- l_0 : Panjang batang mula-mula (cm)
 A : Luas penampang batang
 P : Beban
 E : Modulus *Young*

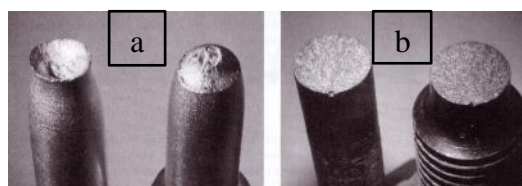
Pada pengujian ini hal yang paling utama adalah kemampuan maksimum material dalam menahan beban yang diberikan sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*) atau yang disebut sebagai *ultimate tensile strength* (UTS) atau kekuatan tarik maksimum. Tegangan tarik maksimum dapat dicari menggunakan persamaan 2.3.

$$\text{UTS} = \frac{F_{maks}}{A} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.3.}$$

Keterangan :

- UTS : Kekuatan tarik
 F_{maks} : Beban maksimum
 A : Luas penampang awal

Pada pengujian tarik yang telah dilakukan dapat diperoleh hasil patahan dari material yang diujikan. Berikut beberapa contoh bentuk patahan pengujian kekuatan tarik, diantaranya yaitu, patahan ulet dan patahan getas (Gambar 2.9).



Gambar 2.9. Bentuk patahan uji tarik (a. patah ulet, b. patah getas)