

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian telah dilakukan oleh Sahin (2009) tentang penyambungan material *stainless steel* dan aluminium dengan menggunakan *friction welding*. Pada penelitiannya digunakan parameter 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 untuk waktu *upset* dan kecepatan putar dibuat konstan, yaitu 12 detik dan 1410 rpm. Dari hasil sambungan kemudian dilakukan pengujian kekuatan tarik dan kekerasan. 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. 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.

Eder *et al* (2010) telah melakukan penelitian tentang penyambungan aluminium 1050 dan *stainless steel* 304 menggunakan *rotary friction welding*. Proses penelitian menggunakan mesin *GATWIK*, dengan parameter kecepatan putar dan tekanan gesek dibuat konstan, yaitu 3200 rpm dan 2.1 MPa. Parameter proses yang lain dibuat bervariasi, seperti : waktu gesek (7 detik, 17 detik, 32 detik), tekanan *upset* (0,7 MPa, 1,4 MPa, 2,1 MPa), dan waktu *upset* (1 detik, 2 detik). Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik tertinggi 80 MPa pada parameter proses tekanan gesek 2,1 MPa, waktu gesek 32 detik, tekanan *upset* 1.4 MPa, dan waktu *upset* 2 detik. Dari hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa penyambungan material silinder pejal antara aluminium 1050 dan *stainless steel* 304 sangat efisien dilakukan menggunakan *rotary friction welding*.

Subhavardhan dan Surendran (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter tekanan gesek dan waktu gesek terhadap kekuatan sambungan dari material silinder pejal beda jenis *stainless steel* 304 dan aluminium 6082 menggunakan metode *continuous drive friction welding*. Pada penelitiannya menggunakan beberapa variasi parameter tekanan gesek (65 MPa, 104 MPa, 156 MPa), dan waktu gesek (3 detik, 5 detik, 7 detik), sedangkan untuk parameter tekanan *upset*, waktu *upset*, dan kecepatan putar dibuat konstan, yaitu 210 MPa, 6 detik, dan 1400 rpm. Dari hasil penelitian mendapatkan nilai kekuatan tarik terbaik 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.

Sahin dan Misirl (2013) melakukan sebuah penelitian tentang sifat mekanis dan metalurgi dari sambungan material beda jenis menggunakan *continuous drive friction welding*. Pada penelitian ini, peneliti menyambungkan antara aluminium dengan *stainless steel* 304 dan aluminium dengan tembaga. Pada penyambungan aluminium-*stainless steel*, parameter yang digunakan adalah parameter terbaik dari hasil penelitian sebelumnya (Sahin, 2009), yaitu tekanan gesek 30 MPa, waktu gesek 4 detik, tekanan *upset* 60 MPa, dan waktu *upset* 12 detik. Pada penyambungan aluminium-tembaga parameter yang digunakan adalah tekanan gesek 60 MPa, tekanan *upset* 120 MPa, waktu gesek 4 detik, dan waktu *upset* 12 detik (Sahin, 2010). Dari sambungan aluminium-*stainless steel* mendapatkan nilai kekuatan tarik 191 MPa, sedangkan untuk sambungan aluminium-tembaga 148 MPa.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dapat disimpulkan bahwa, penyambungan aluminium dan *stainless steel* menggunakan metode *continuous drive friction welding* parameter yang digunakan adalah : tekanan gesek 18-100 MPa, waktu gesek 3-10 detik, tekanan *upset* 60-210 MPa,

waktu *upset* 2-12 detik. Parameter proses yang digunakan pada pengelasan ini dapat mempengaruhi hasil kekuatan tarik sambungan yang diperoleh. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai parameter yang tepat untuk penyambungan logam silinder pejal aluminium dan *stainless steel* agar dapat menghasilkan kekuatan tarik yang maksimal.

2.2 Dasar Teori

Menurut *Japan Welding Engineer Society (JWES)* mendefinisikan pengelasan adalah proses penyambungan secara metalurgi dengan mengaplikasikan beberapa jenis sumber panas. Pengelasan (*welding*) dapat juga diartikan sebagai sebuah proses penyambungan logam agar dapat menggabungkan dua buah material atau lebih dengan cara memanaskannya sampai mencapai temperatur pengelasan, baik menggunakan logam pengisi maupun tidak, atau menggunakan tekanan, atau tanpa adanya tekanan. Pengelasan dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya : pengelasan fusi (*fusion welding*), pengelasan tekan (*pressure welding*), dan pematrian (*brazing*). Pengelasan fusi adalah pengelasan yang melibatkan proses pencairan dan pembekuan pada logam induknya. Pengelasan tekan adalah proses pengelasan yang dilakukan dalam kondisi padat. Pematrian adalah pengelasan dengan cara memanaskan logam pengisi (*filler metal*) dibawah titik leleh dari logam induknya.

2.2.1 Friction Welding

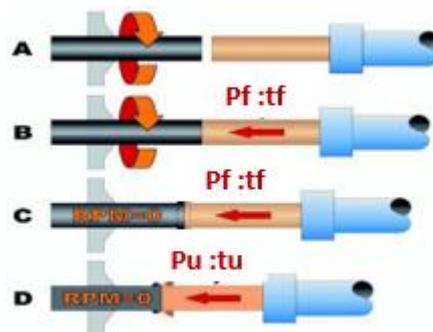
Friction welding diklasifikasikan oleh *American Welding Society (AWS)* sebagai pengelasan *solid state*. *Friction welding* atau las gesek merupakan salah satu jenis pengelasan yang dilakukan dalam kondisi padat. Proses penyambungannya dilakukan pada suhu yang lebih rendah dari titik leleh logam induknya. Berdasarkan cara penggesekannya, ada beberapa jenis *friction welding*, di antaranya adalah : *continuous drive friction welding*, *friction stir welding*, dan *linier friction welding*.

2.2.1.1 Continuous drive friction welding (CDFW)

Continuous drive friction welding atau *rotary friction welding (RFW)* merupakan pengelasan jenis *solide state* yang menggunakan kombinasi fenomena fisik, seperti : panas gesekan, deformasi plastis, siklus panas dan pendinginan, serta

perubahan kondisi padat. CDFW adalah proses penyambungan dua material dengan satu material berputar dan material yang lain diam. Pada material yang diam diberikan gaya aksial sehingga bergesekan dengan material yang berputar. Gesekan dan penekanan yang diberikan membuat kedua benda kerja menyatu. CDFW tidak bergantung pada titik leleh dari logam induk, sehingga cocok digunakan pada penyambungan material beda jenis (Wysocki et al, 2007).

Pada proses penyambungan CDFW ada beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan. Hal ini berkaitan dengan kualitas dan kekuatan sambungan yang diperoleh. Kualitas dan kekuatan sambungan bergantung pada pemilihan parameter yang digunakan (Ozdemir, 2005). 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). Tahapan penyambungan CDFW (Gambar 2.1) berawal dari penentuan parameter dan persiapan benda kerja.

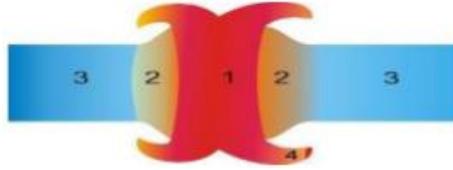


Gambar 2.1. Tahapan penyambungan CDFW (Subhavardhan, 2012)

Selanjutnya pemasangan benda kerja pada mesin, salah satu benda kerja dipasang pada tempat yang berputar, benda kerja yang lain ditempatkan pada kondisi diam (A). Apabila kecepatan putar telah sesuai, kedua benda kerja disatukan dengan gaya aksial, seperti yang terlihat pada gambar B (Aplikasi P_f dan t_f). Setelah mencapai waktu gesek (t_f) yang diinginkan putaran mesin dihentikan (C). Terakhir, tekanan *upset* (P_u) diberikan selama waktu *upset* yang direncanakan (t_u) (D).

Proses penyambungan CDFW timbul panas yang tinggi akibat gesekan dari kedua permukaan material. Panas tersebut dapat mempengaruhi sifat mekanis dan metalurgi dari material (Sahin, 2009). Daerah yang terkena pengaruh saat

pengelasan disebut daerah pengelasan. Daerah pengelasan dibagi menjadi 4 (Gambar 2.2), yaitu :



Gambar 2.2 Daerah pengelasan (Purnomo, 2016)

1. Daerah inti atau yang berwarna merah adalah daerah utama pengelasan yang mengalami pembekuan.
2. *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah daerah yang mengalami perubahan sifat mekanis dan metalurgi akibat pengaruh dari panas yang dihasilkan pada daerah inti.
3. Logam Induk adalah daerah dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan sifat mekanik dan metalurgi.
4. *Flash* adalah lelehan yang keluar dari pusat bidang gesekan dan tempaan.

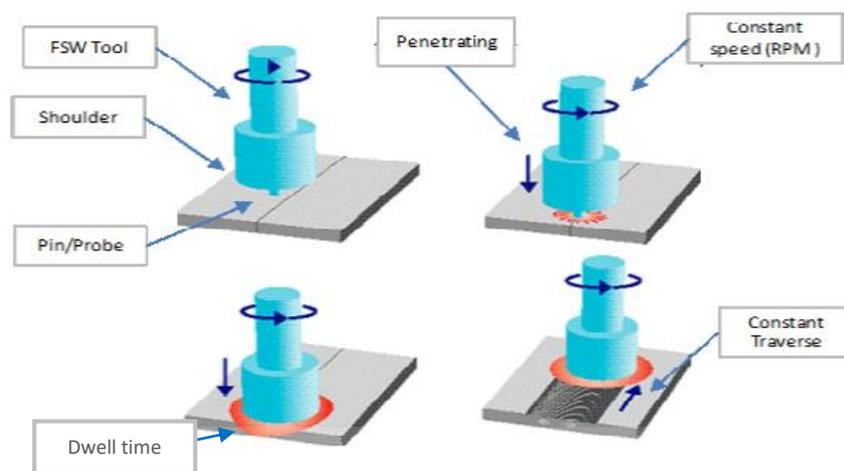
Ada beberapa faktor yang berhubungan dengan keberhasilan dilakukannya penyambungan *friction welding* (Tiwan dan Ardian, 2005), diantaranya adalah :

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 Friction Stir Welding (FSW)

Friction stir welding adalah proses pengelasan *solid state* dengan *tool* berputar yang dimakamkan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja. *Tool* yang berputar menghasilkan panas secara mekanis dan membuat logam membentuk sambungan las. Proses penyambungan FSW merupakan *solid state joining process*, karena material yang dilas tidak benar-benar mencair pada saat proses penyambungan (temperature kerja tidak melewati titik lebur benda kerja) (Thomas, 1991).

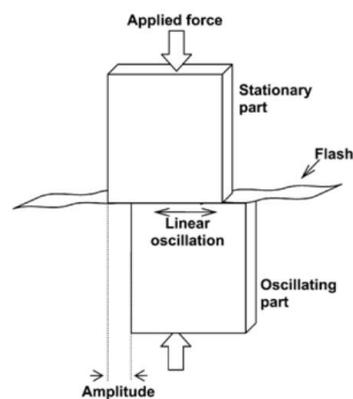


Gambar 2.3 Prinsip kerja FSW (Rahayu, 2012)

Pada penyambungannya FSW menggunakan *tool* dengan atau tanpa profil pada *probe*. *Tool* bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua material yang disambung. Benda kerja yang disambung dicekam pada ragum untuk menahan gaya yang terjadi pada saat penyambungan. *Shoulder* dari *tool* harus bersentuhan dengan permukaan benda kerja, dan panjang *probe* harus lebih pendek dari benda kerja. *Probe* dan *shoulder* dari *tool* yang bergesekan dengan benda kerja menyebabkan timbulnya panas pada saat penyambungan. Panas yang ditimbulkan menyebabkan material melunak tanpa melewati titik leburnya, hal ini memungkinkan *tool* bergerak sepanjang jalur sambungan dan membentuk alur sambungan (Gambar 2.3).

2.2.1.3 Linier Friction Welding (LFW)

Linier friction welding merupakan penyambungan yang termasuk jenis solid state. 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 menyebabkan terjadinya *deformasi plastis* pada permukaan benda kerja yang bersentuhan. Sebagian dari material membentuk *flash* akibat gesekan dan gaya yang terjadi pada kedua permukaan. Dengan adanya hal tersebut menyebabkan kedua benda kerja menyatu (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Proses penyambungan LFW (Bahmji *et al*, 2013)

2.2.2 Keunggulan dan keterbatasan *friction welding*

Bila dibandingkan dengan proses penyambungan secara fusi dan *brazing*, ada beberapa keunggulan yang dimiliki *friction welding*. Adapun keunggulannya adalah sebagai berikut :

1. Tidak memerlukan logam pengisi
2. Tidak terdapat cacat akibat fenomena pencairan dan pembekuan.
3. Dimungkinkan untuk menyambung dua material logam yang berbeda.
4. Hemat biaya.
5. Ramah lingkungan.

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. (Tiwana dan Ardian, 2005).

2.2.3 Aplikasi *friction welding* penyambungan material beda jenis

Dalam pengembangan teknologi baru, penggunaan penyambungan material yang berbeda telah meningkat secara signifikan (Shubhavardhan, 2012). Penggunaan material yang tepat sangat diperhatikan untuk menekan nilai ekonomis yang didapatkan. Penggunaan material yang lebih ringan, mampu memberikan kekuatan mekanik yang tinggi, volume material yang rendah dan ketahanan korosi yang baik menjadi pilihan utama bagi industri. Berikut adalah aplikasi penyambungan dua jenis material yang berbeda (Gambar 2.5) :



Gambar 2.5 Aplikasi penyambungan friction welding (mtiwelding.com, 2017)

2.2.4 Paduan Aluminium-Magnesium-Silicon (Al 6061)

Aluminium seri 6061 merupakan logam ringan dengan berat jenis 2.79 g/cm³ dengan titik leleh (*Melting point*) pada temperature 660°C, dan *konduktifitas thermal* 173 W/m·K. Aluminium jenis ini banyak diaplikasikan pada komponen pesawat, rangka sepeda, *drive shaft*, peralatan kelistrikan, komponen rem, katup, dan kopleng (Azom.com, 2006).

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 tersedia secara luas dipasaran. Adapun keterbatasan pada paduan ini, yaitu

mudah terjadinya pelunakan pada daerah las akibat panas yang ditimbulkan saat pengelasan.

Pada paduan aluminium jenis ini, magnesium dan silikon merupakan unsur paduan yang sangat penting pada paduan aluminium 6061 (AL-Mg-Si), karena magnesium dan silikon akan membentuk karbida Mg_2Si yang menyebabkan paduan seri 6061 dapat diberikan perlakuan panas untuk memperbaiki sifat mekaniknya.

Perlakuan panas yang digunakan pada aluminium seri 6061 dibedakan menjadi tiga keadaan, di antaranya yaitu keadaan O, T4, dan T6. Keadaan O adalah paduan dengan perlakuan panas dianil penuh yang bertujuan untuk menghasilkan kekuatan rendah dan memperbaiki keuletannya. Kondisi T4 adalah perlakuan dengan penuaan (aging) alamiah, dimana material dibiarkan pada udara terbuka sehingga menyerap panas dari udara luar dan mengalami penuaan. Sedangkan kondisi T6 adalah hampir sama dengan perlakuan T4, yang membedakan hanya proses penuaanya yang menggunakan temperature dan waktu tertentu untuk membantu proses penuaan, dengan kata lain perlakuan T6 sama halnya dengan proses *artificial aging*. 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 (Surdia, 2000).

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (Kg/mm ²)	Kekuatan muhur (Kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kg/mm ²)	Kekerasan brinell	Batas lelah (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

2.2.5 *Stainless steel 304 (AISI 304)*

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sekitar 12% Cr yang menunjukkan ketahanan korosi karena pembentukan lapisan film kromium oksida (Cr_2O_3). *Stainless steel* tahan terhadap korosi dan oksidasi karena adanya unsur yang ditambahkan pada paduan besi karbon seperti nikel, mangan, *molybdenum*, nitrogen dan elemen lain yang sangat mempengaruhi properties material. Menurut kandungan prosentase Cr-Ni *stainless steel* dibagi menjadi *austenitic*, *martensitic*, *ferritic* dan *duplex*. (W.Martin, 2006).

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, pengolahan makanan & minuman, farmasi, dan *heat exchangers*.

Tabel 2.2 Paduan *stainless steel 304* (Iron and steel society, 1999)

Element	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
Weight%	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03

Komposisi kimia suatu material 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.

Mangan (Mn) digunakan untuk peningkatan sifat *ductility*. Pada suhu rendah mangan merupakan *austenite stabiliser* tetapi pada suhu tinggi berubah menjadi penyetabil *ferrite* (Fawaid *et al*, 2012). Mangan menaikkan kelarutan nitrogen dan digunakan untuk memperoleh kandungan nitrogen yang tinggi di dalam *austenitic steels*. Silicon (Si) berfungsi menaikkan *resistance to oxidation*, pada suhu tinggi dan rendah.

Krom (Cr) unsur yang sangat penting bagi *stainless steel*. Sifat *corrosion resistance* dipengaruhi oleh besarnya atau prosentase krom *content*. Krom tahan terhadap oksidasi suhu 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 *et al*, 2012).

2.2.6 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur dalam material serta sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tersebut. Struktur mikro dalam logam (paduan) di tunjukkan dengan besar, bentuk dan orientasi butirannya, jumlah fasa, proporsi dan dimana mereka tersusun atau terdistribusi (Fitriyanto, 2014). Pengujian struktur mikro dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan pembesaran dan metode kerja yang bervariasi.

Ada beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro, diantaranya adalah:

a. Pemotongan (*Cutting*)

Proses pemotongan dilakukan dengan menggunakan mesin gergaji. Proses ini bertujuan agar material yang diamati tidak terlalu besar, hanya sample atau bagian tertentu material yang diamati.

b. Pengamplasan (*Grinding*)

Proses penghalusan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas. 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. Etsa (*Etching*)

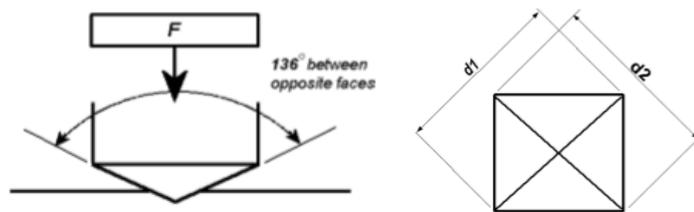
Etsa merupakan proses pengkorosian atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali pada permukaan benda uji dengan bantuan senyawa kimia baik menggunakan listruk maupun tidak. Etsa bertujuan agar permukaan benda uji yang akan diamati dapat dilihat secara jelas detail strukturnya.

e. Pemotretan.

Pemotretan dilakukan dengan menggunakan *inverted metallurgical microscope*.

2.2.7 Pengujian Kekerasan Micro Vickers

Kekerasan material merupakan ketahanan material terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen pada material tersebut apabila diberikan beban atau gaya dari luar. Salah satu cara untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material yaitu dengan menggunakan metode pengujian kekerasan *micro vickers*. Cara ini menggunakan indentor intan berbentuk piramida dengan dasar persegi dan sudut puncak 136° yang ditekan dengan beban (F) terhadap material yang akan diuji (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Indentasi micro Vickers (Gordonengland, 2014)

Nilai Kekerasan Vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas penampang lekukan atau luas bekas piramida. Variasi beban yang biasanya digunakan pada pengujian mikro vickers adalah 25, 50, 100, 200, 300, 500, dan 1000 *gram force*, tergantung pada tingkat kekerasan material yang akan di uji. Untuk luas penampang lekukan bekas indentor dihitung dari pengukuran mikroskopis 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) :

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

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 bekas indentasi (mm atau μm)

2.2.8 Pengujian kekuatan tarik

Pengujian tarik merupakan metode pengujian yang paling sering dilakukan, karena digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material, seperti : kekuatan, keuletan, ketangguhan, *modulus elastisitas*, dan kemampuan *strain-hardening* (Rahmanto, 2016). Bentuk spesimen uji tarik biasanya berbentuk silinder pejal, pipa, dan juga plat. Spesimen uji tarik umumnya disiapkan berdasarkan standar ASTM, JIS atau DIN.

Proses uji tarik berawal dari kedua benda dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan ujung lainnya dihubungkan dengan perangkat peregang. Benda uji diberi beban gaya tarik yang bertambah besar secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan 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 2.7.



Gambar 2.7 Kurva tegangan-regangan (Sastranegara, 2010)

Pada tahap awal uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan pertambahan panjang benda uji. Daerah tersebut dinamakan daerah linier atau *linear zone* (Gambar 2.7). Pada daerah ini, kurva pertambahan panjang dengan beban yang diberikan mengikuti aturan hukum hooke, yaitu rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan. *Stress* adalah

beban dibagi luas penampang bahan (Persamaan 2.2) dan *strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan (Persamaan 2.3).

$$\text{Stress: } \sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.2}$$

$$\text{Strain: } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.3}$$

Dimana :

F : Gaya tarik

A : Luas penampang

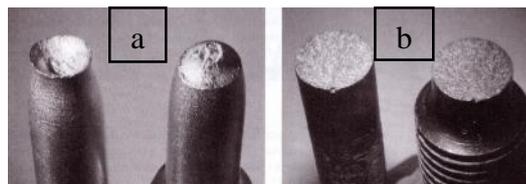
ΔL : Pertambahan panjang

L : panjang awal

Pada pengujian ini biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum material dalam menahan beban yang diberikan atau yang disebut sebagai *ultimate tensile strength* (UTS) atau tegangan tarik maksimum. Untuk mencari tegangan tarik maksimum dapat menggunakan persamaan 2.4.

$$\text{UTS} = \frac{F_{maks}}{A} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.4}$$

Setelah dilakukan pengujian tarik, dapat diperoleh hasil patahan dari material pengujian. Ada beberapa macam bentuk patahan pengujian kekuatan tarik, diantaranya yaitu, patahan getas dan patahan ulet (Gambar 2.8)



Gambar 2.8 Bentuk patahan uji tarik (a). patah ulet, b) patah getas)

2.2.9 Faktografi

Fraktografi adalah ilmu yang mempelajari ciri-ciri patahan. Sehingga dengan mengenal ciri-ciri tersebut dapat diketahui bentuk patahan yang terjadi dan menganalisa penyebab terjadinya patahan. Pemeriksaan fraktografi dilakukan untuk mengkaji dan meneliti permukaan patahan secara kasat mata atau dengan bantuan stereo mikroskop, dan bila diperlukan juga dapat digunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) atau *Transmission Electron Microscope* (TEM) (Hatta, 2013).