

## **BAB II**

### **TINJUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Penelitian terhadap las gesek (*friction welding*) sejauh ini telah banyak dilakukan oleh para peneliti, dengan tujuan yaitu mengetahui dan juga membahas mengenai sifat material kekuatan tarik, nilai kekerasan, dan juga struktur mikro pada suatu logam. Husodo dkk (2013), melakukan penelitian las gesek dua buah logam baja karbon ST 41 pada produk *back spring pin*. Dalam penelitian ini parameternya menggunakan variasi waktu, yaitu 35, 45, 55 dan 65 detik, dengan putaran mesin 4215 rpm, tekanan geseknya sebesar 127,27 kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan tempa sebesar 1018,18 kgf/cm<sup>2</sup>. Penelitian ini menggunakan pengujian struktur mikro, tarik dan kekerasan pada hasil penyambungannya. Hasil uji struktur mikro menunjukkan hasil penyambungan dengan waktu 45 detik menghasilkan panas tertinggi, pengujian yang lebih dari 45 detik menghasilkan panas yang cenderung menurun, karena efek gesekan baja ST 41 menurun. Hasil pengujian tarik menunjukkan hasil yang tertinggi sebesar 414,54 N/mm<sup>2</sup> dengan waktu gesek sebesar 45 detik. Hasil kekerasan *rockwell* menunjukkan nilai yang terbaik pada waktu gesek 45 detik, dengan nilai kekerasan pada logam las sebesar 45,5 HRA dan HAZ sebesar 43 HRA, nilai efisiensi terhadap RAW material 97,27%.

Penelitian juga telah dilakukan oleh Sahin dan Misirli, (2013), tentang sifat mekanis dan metalurgi dari sambungan material yang berbeda jenis dengan menggunakan Continuous Drive Friction Welding. Dalam penelitiannya yang dilakukan tersebut, peneliti melakukan penyambungan antara alumunium dengan stainless steel 304 dan juga alumunium dengan tembaga. Pada penyambungan alumunium-stainless steel, parameter yang digunakan adalah parameter yang 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 alumunium-tembaga, parameter yang digunakan adalah parameter

dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Sahin, 2010), yaitu tekanan gesek 60 MPa, tekanan upset 120 MPa, waktu gesek 4 detik, dan waktu upset 12 detik.

Hakim (2013), telah melakukan penelitian yaitu tentang pengaruh tekanan gesek terhadap kekuatan tarik, struktur mikro dan kekerasan pada pengelasan gesek berbahan silinder pejal logam *stainless steel* 304. Parameter tekanan gesek yang digunakan adalah 20,30,40,50,60,70,80,90,100,110 dan 120 MPa. Hasil dari penelitian tersebut adalah, kekuatan tarik yang memiliki kekuatan tertinggi merupakan variasi tekanan 120 MPa sebesar 685 MPa, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah merupakan variasi tekanan 20 MPa sebesar 402 MPa. Pada hasil pengujian struktur mikro tersebut menunjukkan bahwa tekanan gesek sangat berpengaruh pada perubahan struktur mikro pada daerah *stainless steel* 304. Pada variasi tekanan 120 MPa struktur mikro daerah las berfasa austenit berbutir kecil, daerah HAZ berfasa austenit lebih besar dan daerah *base metal* berbutir besar dengan fasa austenit. Sedangkan pada variasi tekanan 20 MPa tidak mengalami perubahan struktur mikro antara HAZ dengan *base metal*. Pada hasil nilai kekerasan, variasi tekanan juga mempengaruhi. Pada variasi tekanan 120 MPa nilai kekerasan pada base metal lebih tinggi dibandingkan dengan variasi tekanan 20 MPa, namun pada daerah sambungan las nilai kekerasan variasi tekanan 20 MPa lebih tinggi dibandingkan variasi tekanan 120 MPa. Nilai efisiensi terhadap RAW material 70,81 %

Frayudi (2013), juga telah melakukan penelitian mengenai pengaruh waktu gesek terhadap kekuatan tarik dan kekerasan mikro pada material baja karbon rendah. Hasil dari penelitian ini adalah, nilai kekuatan tarik tertinggi terjadi pada pengelasan dengan waktu 8 menit sebesar 305,15 N/mm<sup>2</sup>. Untuk nilai kekerasan vickers tertinggi terdapat pada daerah las sebesar 212,8 VHN, untuk daerah HAZ rata-rata kekerasannya adalah 174,08 VHN, sedangkan daerah logam induk memiliki rata-rata kekerasannya sebesar 158,96 VHN, nilai efisiensi terhadap RAW material 66,07%

Dari sekian banyaknya peneliti melakukan penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat parameter penting yang dalam pelaksanaan proses penyambungannya

dengan metode *friction welding*, yaitu tekanan gesek, tekanan tempa dan waktu gesek . Hal tersebut dapat membuat hasil sambungan menjadi lebih kuat. Maka dari itu penelitian selanjutnya akan menggunakan parameter yang sesuai dengan proses penyambungan pejal antara baja karbon sedang *JIS S45C* dan baja karbon rendah *S20C* perlu dilakukan agar hasil penyambungan menjadi maksimal.

## **2.2 Dasar Teori**

Pengelasan sangat banyak digunakan dalam dunia industri terutama manufaktur. Metode penyambungan dengan cara dilas akan menghasilkan sambungan yang kuat. Contoh penerapan pengelasan adalah sebagai berikut: perkapalan, rangka baja dan jembatan, bejana tekan, saluran pipa, mesin-mesin konstruksi dan kendaraan rel. Menurut DIN (*Deutch Industrie Normen*) pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair atau lumer. Wiryosumarto (2000) Pengelasan merupakan penyambungan dua buah logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi sehingga menghasilkan sambungan yang kontinyu.

Secara umum pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian. Pengelompokan ini berdasarkan cara pengelasannya:

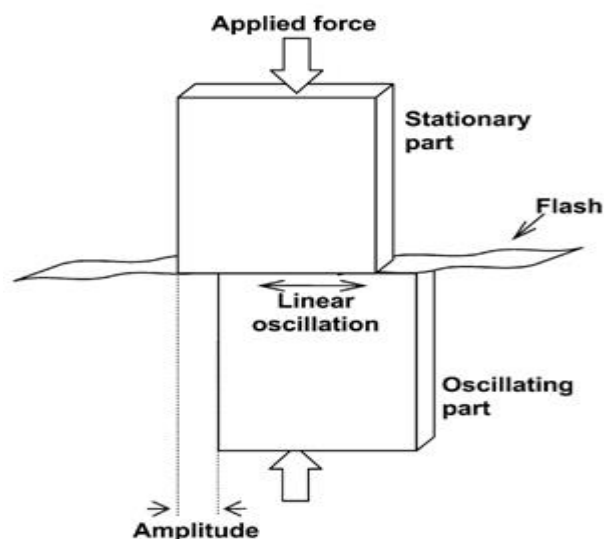
1. Pengelasan cair adalah pengelasan yang dilakukan dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api dari gas yang dibakar. Contoh pengelasan cair: SMAW, GTAW, GMAW, dll.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan yang dilakukan dengan cara memanaskan sambungan dan kemudian diberikan penekanan hingga sambungan terbentuk. Contoh pengelasan tekan: las gesek, las ledakan, las resistansi listrik, las tempa, dll.
3. Pematrian adalah penyambungan dengan cara mencairkan logam pengisi (titik lebur logam pengisi dibawah titik lebur logam induk) sehingga terbentuk sambungan logam. Contoh pematrian: pembrasingan dan penyolderan.

### 2.2.1 Las Gesek (*Friction welding*)

Pengelasan gesek (*Friction welding*) adalah pengelasan yang dilakukan dalam kondisi padat (*solid state*) dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan logam yang akan disambung. Pada pengelasan gesek, logam yang akan disambung tidak mencapai titik leburnya dan tidak memerlukan logam pengisi. Pengelasan gesek banyak diaplikasikan dalam industri otomotif dan manufaktur. Pengelasan gesek dapat diklasifikasikan menjadi 3 yaitu: *Linear friction welding (LFW)*, *Friction stir welding (FSW)* dan *Continuous drive friction welding (CDFW)*.

### 2.2.2 *Linear Friction Welding (LFW)*

*Linear friction welding* adalah merupakan metode pengelasan gesek dari gerakan relatif yang diberikan dimana chuck bergerak berisolasi bolak-balik sehingga terjadi gesekan dan timbul panas dari gerakan gesek tersebut. Pada pengelasan gesek *linear friction welding* ini memiliki keuntungan bahwa bentuk dari benda kerja apapun dapat disambung menggunakan metode ini. Pada gambar 2.1 berikut merupakan proses dari *linear friction welding*.

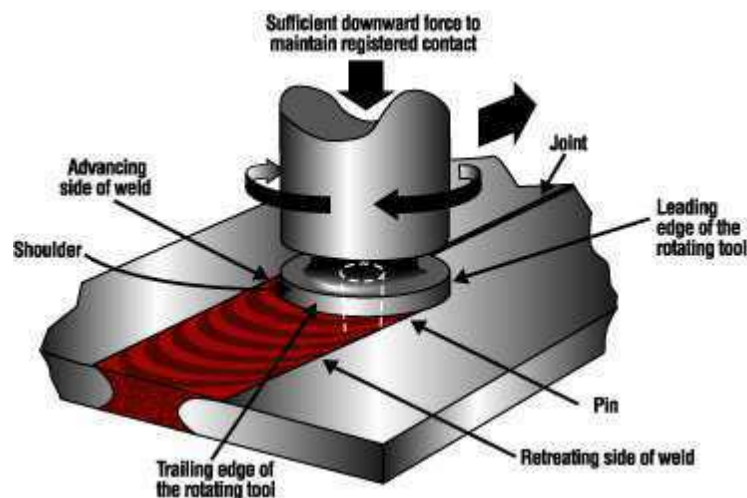


Gambar 2.1 Proses *Linear Stir Welding*

Sumber : Bhamji (2010).

### 2.2.3 *Friction Stir Welding (FSW)*

*Friction stir welding* merupakan metode pengelasan gesek yang memanfaatkan gerakan *tool* yang berputar dan digesekkan diantara dua benda kerja yang akan disambung. Panas yang dihasilkan gesekan antara tool dan benda kerja akan menghasilkan sambungan lasan. Proses penyambungan ini terjadi dibawah titik lebur benda kerja. Metode pengelasan ini biasanya digunakan pada industri *aerospace*.



Gambar 2.2 Proses *Friction Stir Welding* (Singh, 2012).

### 2.2.4 **Kelebihan dan Kelemahan *Friction Welding***

*Friction welding* sama seperti halnya dengan metode pengelasan lainnya yang memiliki kelebihan dan kelemahan, yaitu:

#### 2.2.4.1 *Kelebihan friction welding*

- a. Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi kebagian luar.
- b. Tidak memerlukan logam pengisi, pelindung flux dan gas pelindung selama proses *friction*.
- c. Tidak terdapat cacat akibat fenomena pencairan dan pembekuan.

- d. Dimungkinkan untuk menyambung dua jenis material logam yang berbeda.

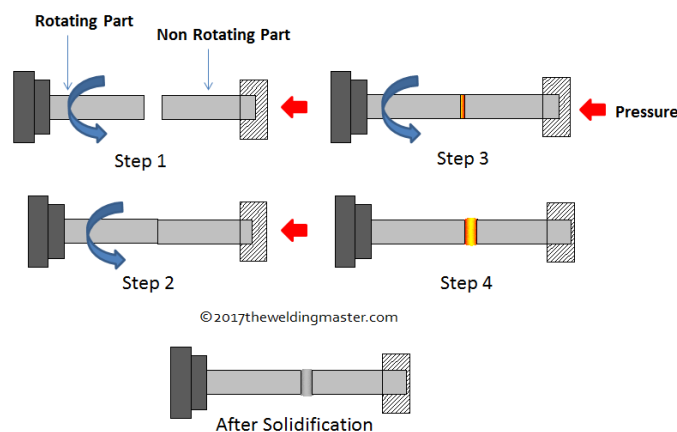
#### 2.2.4.2 Kelemahan *friction welding*

- a. Benda yang disambung harus simetris, jika tidak simetris maka hasilnya kurang bagus.
- b. Salah satu material yang akan disambung harus memiliki sifat yang mampu dideformasi secara plastis.

#### 2.2.5 *Continuous Drive Friction Welding (CDFW)*

*Continuous Drive Friction welding* adalah metode pengelasan yang memanfaatkan energi panas yang ditimbulkan antara dua permukaan benda yang saling bergesekan. Gesekan terjadi karena salah satu benda berputar dan benda yang lainnya diberi gaya aksial sehingga dua permukaan saling bergesekan.

Terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk menghasilkan sambungan *CDFW* yang baik (Ozdemir, 2005). Parameter yang biasa digunakan dalam metode pengelasan *CDFW* adalah waktu gesek, tekanan gesek, waktu *upset*, tekanan *upset* dan kecepatan putaran. Skema pengelasan *CDFW* ditunjukkan pada gambar 2.3.

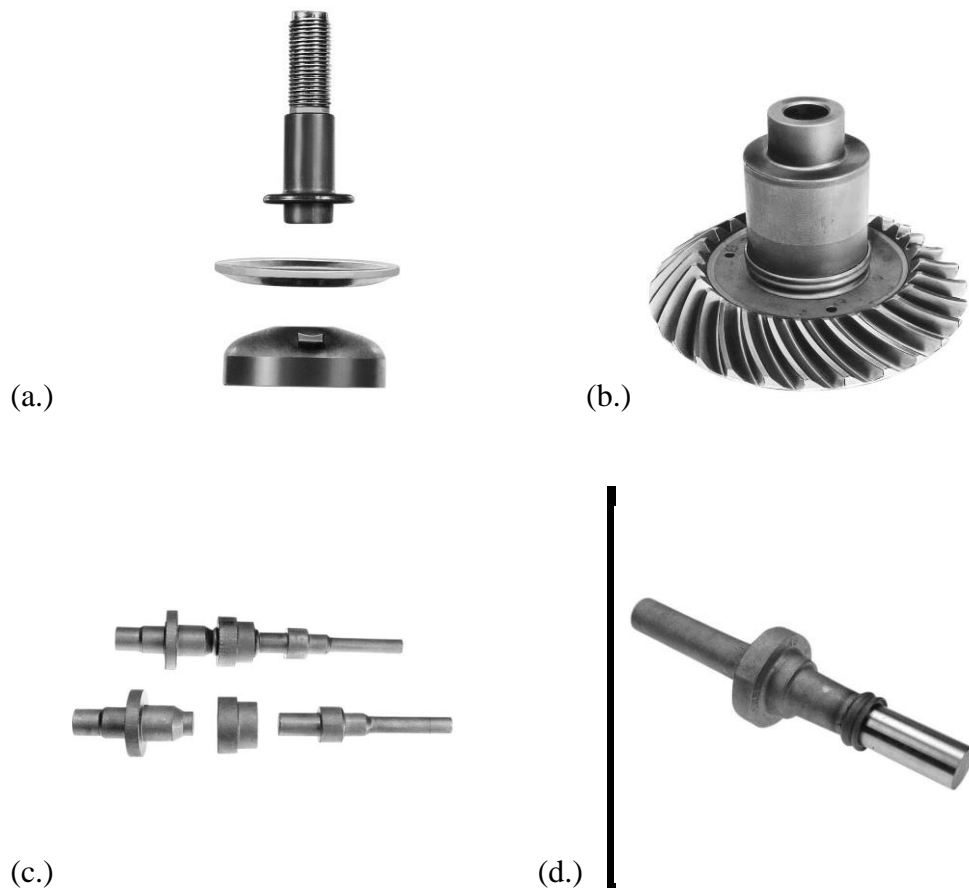


Gambar 2.3 Skema *Continuous Drive Friction Welding* (*The welding master* <http://www.theweldingmaster.com/friction-welding/>).

### 2.2.6 Aplikasi Pengelasan Gesek dalam Kehidupan Sehari-hari

Ada beberapa produk atau komponen yang dihasilkan melalui proses pengelasan gesek dengan metode *rotary* dengan berbagai bahan yang digunakan antara lain :

- a. *Shock absorber (steel – low carbon)*
- b. *Transmission gear (steel – medium carbon)*
- c. *Transmission input shaft (steel – low carbon alloy)*
- d. *Water pump – as welded (stainless steel – martensitic / steel – low carbon)*



Gambar 2.4 Aplikasi pengelasan gesek metode rotary

Sumber : [www.mtiwelding.com](http://www.mtiwelding.com) (2017).

### 2.2.7 Baja Karbon

Baja karbon merupakan jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon merupakan unsur paduan utamanya. Didalam proses pembuatannya, baja juga ditambahkan paduan seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si) dan mangan (Mn). Baja karbon memiliki beberapa kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2% hingga 2,14%, dimana kandungan karbon berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja. Menurut definisi ASM *handbook* vol.1:148 (1993), baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase komposisi kimia karbon yang terkandung didalam struktur baja, berikut adalah tiga macam karakteristik dari baja karbon yaitu:

#### 1. Baja Karbon Rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan serta keuletan yang tinggi, namun baja jenis ini memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Baja karbon rendah biasanya diaplikasikan untuk komponen struktur bangunan, pipa gedung dan lain sebagainya. Baja S20C sendiri termasuk jenis baja karbon rendah, kadar karbon mencapai 0,30%. Strukturnya terdiri dari *ferrite* dan sedikit *perlite*, sehingga baja jenis ini kekuatannya rendah, namun keuletannya tinggi. Komposisi baja S20C ditunjukkan dalam tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi paduan baja S20C  
(PT Gunung Garuda Steel Group)

Baja Karbon Rendah ST-42				
C	N	Mn	P	Si
0.21	0.009	1.35	0.040	0.040



Tabel 2.2 Sifat mekanis baja ST 42

([www.matweb.com/ASTM A572 Steel](http://www.matweb.com/ASTM A572 Steel))

<b>Tensile Strength (MPa)</b>	<b>490</b>
<b>Yield Strength (MPa)</b>	<b>290</b>
<b>Hardness Brinell</b>	<b>123</b>
<b>Elongation (%)</b>	<b>20</b>

2. Baja Karbon Sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon sedang merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja sekitar 0,3% hingga 0,59%. Baja karbon sedang memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah, yaitu memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dan kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon rendah. Baja karbon sedang biasanya diaplikasikan untuk pembuatan poros, rel kereta api, baut dan lain sebagainya. Baja karbon jenis *JIS S45C* merupakan jenis baja karbon sedang, baja ini memiliki kekerasan sehingga cocok untuk komponen yang membutuhkan kekerasan, keuletan maupun ketahanan terhadap gesekan. Baja *S45C* memiliki kadar karbon sekitar 0,42-0,48%, dan tergolong baja karbon menengah atau sedang. Baja *S45C* banyak digunakan sebagai alat-alat perkakas, poros engkol, dan roda gigi. Berikut adalah mechanical composite atau komposisi yang terdapat pada baja *S45C* :

Tabel 2.3 komposisi paduan baja *S45C*  
(PT Gunung Garuda Steel Group 2018)

<b>Baja Karbon Sedang S45C</b>				
<b>C</b>	<b>N</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>Si</b>
<b>0.44</b>	<b>0.002</b>	<b>0.64</b>	<b>0.01</b>	<b>0.21</b>

Tabel 2. 4 Sifat mekanis baja S45C  
([www.matweb.com/ASTM A572 Steel](http://www.matweb.com/ASTM A572 Steel))

<b>Tensile Strength (MPa)</b>	<b>569</b>
<b>Yield Strength (MPa)</b>	<b>343</b>
<b>Hardness Brinell</b>	<b>160</b>
<b>Elongation (%)</b>	<b>20</b>

### 3. Baja Karbon Tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja sekitar 0,6% hingga 1,4%. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi namun baja ini memiliki sifat keuletan yang rendah sehingga menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi biasanya diaplikasikan untuk pembuatan alat-alat perkakas seperti palu, kikir, gergaji dan lain sebagainya.

#### 2.2.8 Pengujian Struktur Mikro

Ilmu logam terdapat dua macam, yaitu metalurgi dan metallografi. Metalurgi merupakan ilmu yang mempelajari tentang cara pemisahan logam dari unsur-unsur yang dikandung dalam logam tersebut. Sedangkan metallografi ilmu yang mempelajari mengenai cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan persentase campuran yang ada pada logam tersebut. Dalam metallografi terdapat dua cara pengujian untuk mengetahui struktur logam tersebut, yaitu dengan pengujian mikro dan juga pengujian makro.

Pengujian mikro yaitu proses pengujian logam yang bentuk kristalnya sangat halus, sehingga didalam pengujiannya menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran yang mencapai 500 kali.

Pengujian makro yaitu merupakan proses pengujian bahan menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa lubang atau celah pada permukaan material pada logam. Angka kevalidan pengujian makro berkisar diantara 0,5 hingga 50 kali. Pengujian ini biasanya digunakan untuk menguji bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong kasar.

Tahapan untuk melakukan pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan

Proses pemotongan material menggunakan gergaji dan dilakukan secara manual. Material yang akan dipotong juga tidak seluruhnya, melainkan hanya bagian-bagian yang diperlukan untuk pengujian saja.

2. Pengamplasan

Proses pengamplasan dilakukan setelah proses pemotongan selesai. Pengamplasan dilakukan untuk menghaluskan permukaan benda yang dipotong untuk diamati dalam pengujian struktur mikro, tujuan lain pengamplasan adalah agar cahaya dapat memantul keatas dengan baik. Dalam proses pengamplasan juga dilakukan pendinginan secukupnya. Cara pengamplasan ini dimulai dari penggunaan amplas yang paling kasar sampai dengan amplas yang paling halus.

3. Pemolesan

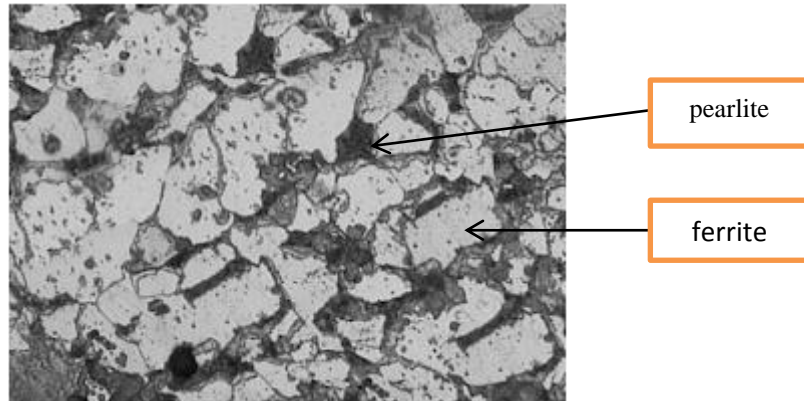
Pemolesan tujuannya untuk membuat material berkilau serta membersihkan kotoran yang ada pada permukaan material. Bahan yang digunakan dalam pemolesan ini biasanya menggunakan autosol.

4. Etsa

Etsa yaitu proses pengikisan batas butir secara efektif dan terkendali pada permukaan material dengan bantuan senyawa kimia. Proses etsa ini bertujuan agar material yang akan diamati nantinya dapat terlihat lebih jelas dan detail strukturnya pada saat proses pengujian.

Dalam pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui kondisi dari suatu logam. Pengujian ini melibatkan batas butir dan fasa-fasa yang ada didalam logam paduan tersebut. Dalam gambar 2.5

ditunjukkan batas butir dan fasa-fasa yang terdapat pada suatu logam paduan.



Gambar 2.5 Struktur mikro pada suatu logam paduan (Nizam, 2014)

Berikut adalah fasa-fasa yang terdapat pada suatu logam, yaitu:

1. *Ferrite*

Merupakan Fase larutan padat yang memiliki struktur BBC (*Body Centered Cubic*). Secara umum fase ini bersifat lunak dan ulet.

2. *Pearlite*

*Pearlite* merupakan campuran *lamellar* dari *ferrite* dan *cementite*. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras dibandingkan dengan *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fase *cementite* atau *carbide* dalam bentuk *lamellar*.

3. *Austenite*

Fase *austenite* memiliki struktur atom FFC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang, *austenite* ditemukan pada temperatur yang tinggi. Fase ini bersifat *non-magnetic* dan ulet pada temperatur tinggi.

4. *Cementite*

Fase *cementite* dalam sistem paduan berbasis besi adalah *stoichiometric inter-metallic compound*  $Fe_3C$  yang keras dan getas. *Cementite* sangat berperan dalam pembentukan sifat-sifat mekanik akhir baja.

5. *Martensite*

*Martensite* adalah mikro konsituen yang dapat terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konsituen ini terbentuk dalam proses pendinginan

*austenite* secara cepat. Misal melalui proses quenching dalam medium air. *Martensite* terbentuk dalam bentuk seperti jarum yang memiliki sifat sangat keras dan getas.

### 2.2.9 Pengujian Nilai Kekerasan

Prinsip dari pengujian ini sama dengan pengujian kekerasan *brinell*. Namun perbedaan dari pengujian ini dapat diketahui pada bentuk indentor yang ditekan pada material yang akan diuji. Pada pengujian mikro vickers memakai indentor berbentuk piramid yang beraturan dengan sudut pucuk  $136^\circ$  yang menekan material yang diuji pada pembebanan tertentu. Pemilihan pengujian kekerasan menggunakan metode vickers dikarenakan pengujian ini bekas indentasi pengujian yang sangat kecil dan juga luasan permukaan yang dibutuhkan untuk pengujian juga kecil. Pada penekanannya yang diukur adalah panjang diagonalnya, pada arah horizontal ditandai sebagai d-1 dan diagonal jejak arah vertikal ditandai sebagai d-2 kemudian diambil rata-rata sebagai panjang diagonal jejak. Prinsip kerjanya material pengujian ditekan beberapa detik dengan beban, bekas tekanan diukur dengan menggunakan mikroskop optik. Nilai kekerasan vickers (VHN) dapat diketahui berdasarkan rumus sebagai berikut: Nilai kekerasan *vickers* dapat dicari dengan persamaan 2.1 berikut.

Persamaan 2.1 Nilai kekerasan *vickers*

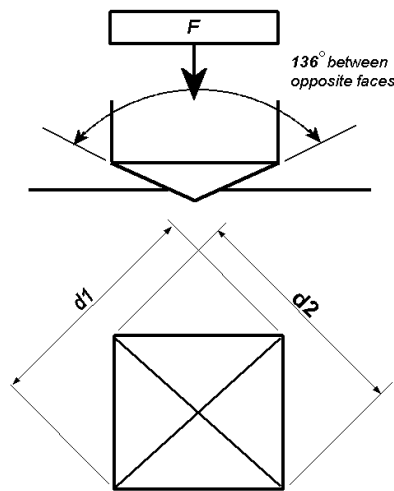
$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

P = Beban yang digunakan (kg)

L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = Sudut antara permukaan intan



Gambar 2.6 Proses *Indentasi* Hardness Vickers

Sumber : [www.gordonengland.co.uk](http://www.gordonengland.co.uk) (2017)

### 2.2.10 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan metode yang paling sering digunakan untuk menentukan sifat mekanik dari suatu material seperti kekuatan, keuletan, ketangguhan dan juga modulus elastisitas. Spesimen yang biasa dipakai dalam pengujian tarik biasanya berbentuk pejal, pipa dan juga plat. Dalam melakukan pengujian tarik sebelumnya harus menyiapkan standart untuk menentukan berapa ukuran material yang akan digunakan dalam pengujian tarik. Standart yang biasa digunakan dalam pengujian tarik diantaranya ada ASTM, JIS dan DIN. Proses uji tarik dilakukan dengan cara menjepit dua ujung benda, salah satu dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan juga ujung yang lain dihubungkan dengan perangkat peregangan (Djaprie, 2000:214).

Benda uji diberikan beban gaya tarik satu sumbu yang semakin bertambah secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan juga pengamatan perpanjangan yang sedang dialami oleh benda uji. Data yang didapat dari pengujian berupa perubahan panjang dan beban yang ditampilkan berbentuk

grafik tegangan–regangan. Grafik tegangan–regangan ditunjukkan oleh gambar 2.7



Gambar 2.7 Grafik tegangan - regangan (Sastranegara, 2010)

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari suatu material yang diuji. Sifat mekanis yang dapat diketahui setelah melakukan pengujian diantaranya adalah kekuatan tarik material, kekuatan luluh material, modulus elastisitas material dan ketangguhan material. Adapun persamaan untuk mencari nilai kekuatan tarik ini adalah sebagai berikut:

$$\tau = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

- Keterangan:
- $\tau$  : Kekuatan tarik ( $N/mm^2$ )
  - $P$  : Gaya tarik / beban (N)
  - $A$  : luas penampang ( $mm^2$ )

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari suatu material yang diuji. Sifat mekanis yang dapat diketahui setelah melakukan pengujian diantaranya adalah kekuatan tarik material, kekuatan luluh material, modulus elastisitas material dan ketangguhan material.

#### A. Sifat mekanis material

Pengujian tarik pada suatu material logam ataupun non logam akan memberikan hasil yang hampir lengkap mengenai material tersebut

terhadap pembebanan mekanis. Data yang dapat dihasilkan dari pengujian tarik adalah:

1. Batas elastis ( $\sigma_E$ )

Batas elastis merupakan batas tegangan. Bila benda uji diberikan beban sampai tegangan sesuai batas yang ditentukan dan kemudian bebannya dihilangkan maka benda uji akan kembali seperti bentuk awal.

2. Batas proporsional ( $\sigma_p$ )

Batas proporsional merupakan batas tegangan – regangan dimana batas tersebut memiliki proporsionalitas antara satu dengan yang lainnya. Dengan bertambahnya tegangan, maka akan bertambah juga regangan proporsionalnya.

3. Deformasi plastis

Deformasi plastis merupakan keadaan benda uji yang mengalami perubahan bentuk akibat adanya regangan dan tidak bisa kembali seperti bentuk awalnya.

4. Titik luluh (*yield point*) dan kekuatan luluh (*yield strength*)

Titik tersebut merupakan batas benda uji yang terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan luluh (*yield stress*) merupakan tegangan (*stress*) dimana akan mengakibatkan benda uji menunjukkan mekanisme luluh. Titik luluh atau kekuatan luluh adalah kemampuan benda uji untuk menahan deformasi jika digunakan pada struktural. Titik luluh juga harus dilewati oleh benda uji jika benda uji digunakan pada proses manufaktur. Nilai (*Yield strength*) atau titik luluh didapatkan dari penjelasan berikut :

$$S_y = P_y / A_o \text{ (tegangan luluh)}$$

$P_y$  = gaya pada titik luluh

$A_o$  = luas penampang uji sampel



5. Kekuatan tarik maksimum

Kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength*) adalah kekuatan benda uji untuk menampung tegangan maksimal sampai sebelum benda uji tersebut patah.

6. Kekuatan putus

Kekuatan putus (*breaking strength*) adalah proses ketika benda uji melewati beban maksimum dan terus mengalami deformasi sehingga benda uji putus. Cara menentukan kekuatan putus adalah dengan cara beban saat benda uji putus dibagi luas penampang awal benda uji. Pada bahan yang bersifat getas, kekuatan putus dengan kekuatan tarik maksimum memiliki nilai besaran yang sama. Sedangkan pada bahan yang bersifat lebih ulet, kekuatan putus memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kekuatan tarik maksimum.

7. Keuletan

Keuletan adalah fenomena yang terjadi ketika benda uji menahan deformasi sampai benda uji tersebut mengalami patahan. Bahan dalam bidang manufaktur yang nantinya akan melewati proses pembentukan harus memiliki sifat ini.

Mengukur nilai keuletan melalui pengujian tarik bisa menggunakan persamaan 2.2 seperti berikut

*Elongasi* (persentasi perpanjangan)

$$\varepsilon (\%) = \left[ \frac{(L_f - L_o)}{L_o} \times 100\% \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

$L_o$  = panjang awal benda uji

$L_f$  = panjang akhir benda uji

8. Modulus elastisitas (E)

Modulus elastisitas adalah nilai kekakuan dari suatu material. Disini menunjukkan bahwa semakin besar nilai modulus elastisitas, maka semakin besar juga nilai kekakuan dari benda uji tersebut. Nilai modulus elastisitas tidak dapat dirubah kecuali dengan mengubah struktur paduan dari benda ujinya, karena modulus elastisitas terbentuk dari ikatan atom-atom yang terdapat di struktur benda uji.

9. Modulus ketangguhan

Modulus ketangguhan adalah kemampuan dari benda uji untuk menyerap energi sampai benda uji mengalami patahan. Sebuah benda uji yang memiliki nilai modulus ketangguhan yang tinggi jika mengalami pembebanan yang berlebihan maka akan mengalami distorsi, namun hal ini merupakan sebuah kelebihan dari suatu benda uji karena benda uji yang memiliki ketangguhan yang lebih kecil jika akan terjadi patahan tidak akan ada peringatan terlebih dahulu.

10. Modulus kelentingan

Modulus kelentingan adalah kemampuan benda uji untuk menyerap energi yang berasal dari luar tanpa benda uji tersebut mengalami kerusakan. Nilai kelentingan didapat dari luas segitiga bentukan dari daerah elastis.