

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pengelasan gesek telah banyak dilakukan penelitian oleh para peneliti. Beberapa penelitian yang terkait dengan pengaruh variasi terhadap kekuatan tarik, kekerasan permukaan, kekuatan impak dan struktur mikro sudah mulai banyak dilakukan oleh beberapa peneliti.

Sigid, (2012), dalam penelitiannya menganalisis pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap kekuatan impak. Proses yang dilakukan adalah dengan durasi gesek 70 detik dan 90 detik pada tekanan gesek 5,98 MPa, 11,96 MPa, 17,94 MPa dan tekanan tempa 23,93 MPa, 33,5 MPa, 52,64 MPa. Dihasilkan fenomena yang terjadi yaitu tekanan gesek dan tempa mempengaruhi kekuatan impak. Semakin tinggi tekanan yang diberikan maka akan berpengaruh pada kekuatan impak yang semakin tinggi. Hasil yang didapatkan pada durasi gesek 90 detik kekuatan impak yang didapatkan masih lebih tinggi dibandingkan dengan pada durasi gesek 70 detik.

Yudhastian, (2016), melakukan penelitian pengaruh variasi kecepatan putar dan tekanan tempa terhadap sifat mekanik dari aluminium 6061 dengan metode *friction welding*. Dalam prosesnya menggunakan variasi kecepatan putar 600 Rpm, 800 Rpm, 1000 Rpm dan tekanan tempa 50 MPa dan 60 MPa. Dihasilkan bahwa kecepatan putar dan tekanan tempa sangat berpengaruh terhadap meningkatnya kekuatan tarik hasil sambungan pengelasan *friction welding* bahan aluminium 6061. Hasil yang didapatkan pada pengujian tarik terendah diperoleh pada variasi kecepatan putar 600 Rpm dan tekanan tempa 50 MPa sebesar 16,22 N/mm². Sementara pada hasil tertinggi diperoleh dengan variasi kecepatan putar 1000 Rpm dan tekanan tempa 60 MPa dengan nilai sebesar 126,80 N/mm².

Husodo, dkk, (2014), menganalisa pengaruh tekanan tempa terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja ST 41 sebagai dasar komponen pengunci pintu mobil box. Dalam penelitiannya tekanan gesek dan waktu gesek sama yaitu 7,33 MPa dan 45 detik namun dengan tekanan tempa yang berbeda 36,56 MPa, 45,70 MPa dan 55,04 MPa dihasilkan bahwa semakin besar tekanan tempa yang diberikan maka berpengaruh pada struktur mikro dengan batas butir kristalnya semakin kecil. Tekanan tempa tersebut juga berpengaruh pada terbentuknya *flash* sehingga apabila tekanan tempa yang diberikan semakin besar maka *flash* yang terbentuk juga semakin besar dan berpengaruh pada ukuran panjang benda kerja yang semakin pendek.

Kimura, (2009), mempelajari fenomena sambungan dan kekuatan sambungan pada pengelasan gesek logam aluminium paduan dan baja karbon rendah pada beberapa variasi parameter. Untuk mendapatkan nilai efisiensi sambungan yang sama pada kedua material yang akan disambung, permukaan dasar logam aluminium paduan 5052 harus tanpa retak pada permukaan hasil pengelasan. Hal tersebut disambung dengan tekanan gesek yang tinggi dan waktu gesek yang tepat. Dalam penelitiannya dihasilkan bahwa nilai efisiensi yang paling tepat adalah dengan menggunakan durasi waktu gesek 3 detik dan tekanan tempa yang diberikan sebesar 150 MPa.

Fitriyanto, (2013), melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan gesek aksial 1,38 – 4,14 MPa terhadap waktu lebur dan pengaruh tekanan tempa 8,96 – 10,32 MPa terhadap kekuatan tarik pada pengelasan gesek bahan *stainless steel 304*. Dihasilkan bahwa pada tekanan gesek 2,07 semakin besar tekanan tempa maka kekuatan tarik semakin tinggi. Sedangkan pada tekanan gesek 2,76 MPa dan 3,45 MPa terdapat kekuatan tarik yang menurun pada tekanan tempa 9,65 MPa hal yang sama juga terjadi pada tekanan gesek 4,14 MPa dengan tekanan tempa 9,65 MPa dan 10,32 MPa hal tersebut dikarenakan adanya porositas pada hasil sambungan. Semakin besar porositas yang terjadi maka kekuatan tarik semakin rendah. Sementara kekuatan tarik tertinggi pada variasi tekanan tempa 10,32 MPa sebesar 549,3 MPa dan kekuatan tarik terendah pada variasi tekanan tempa 8,96 MPa sebesar 234,2 MPa

dapat diartikan bahwa pada penelitian ini tekanan tempa yang diberikan semakin besar menghasilkan kekuatan tarik semakin tinggi terlepas dari adanya porositas yang terjadi.

Dari hasil beberapa penelitian yang dilakukan oleh peneliti terdahulu dapat dikatakan bahwa variasi waktu gesek, tekanan gesek, tekanan tempa sangat berpengaruh dalam meningkatnya kekuatan sifat mekanis dari hasil pengelasan gesek tersebut.

2.2 Dasar Teori

Dalam perkembangannya teknik pengelasan semakin banyak dengan adanya kemajuan teknologi khususnya pada bidang konstruksi semakin luas, hal tersebut meliputi pembuatan rangka kapal, penyambungan pipa saluran, pembuatan pesawat terbang, pembangunan jembatan dan lain sebagainya. Definisi sederhana dari pengelasan adalah proses penyambungan dua buah logam hingga mencapai titik lebur baik yang menggunakan bahan tambahan atau tanpa bahan tambah dengan menggunakan energi panas untuk mencairkan benda yang akan disambung.

Berdasarkan definisi menurut DIN (*deutsche industrie normen*) pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain pengelasan dijabarkan sebagai cara penyambungan dari beberapa bagian logam secara setempat dengan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan adalah salah satu proses penyambungan logam menggunakan energi panas dengan cara mencairkan pada sebagian logam induk dan atau logam pengisi dengan memberikan atau tanpa tekanan dan dengan logam tambahan atau tanpa logam tambahan sehingga menghasilkan sambungan yang kontinyu. (Wiryosumarto dan Okumura, 2008).

Berdasarkan cara kerjanya pengelasan diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu :

1. Pengelasan cair adalah proses pengelasan dengan cara mencairkan sambungan logam yang akan disambung menggunakan sumber panas dari busur listrik atau sumber apa dari gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah proses pengelasan dengan cara menyambungkan dua logam yang di panaskan dan kemudian setelah tersambung kedua logam tersebut diberi tekanan hingga menyambung menjadi satu.
3. Pematian adalah proses pengelasan dimana logam yang akan disambung disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair lebih rendah dari logam induk yang akan disambung dan logam yang akan disambung tidak ikut mencair.

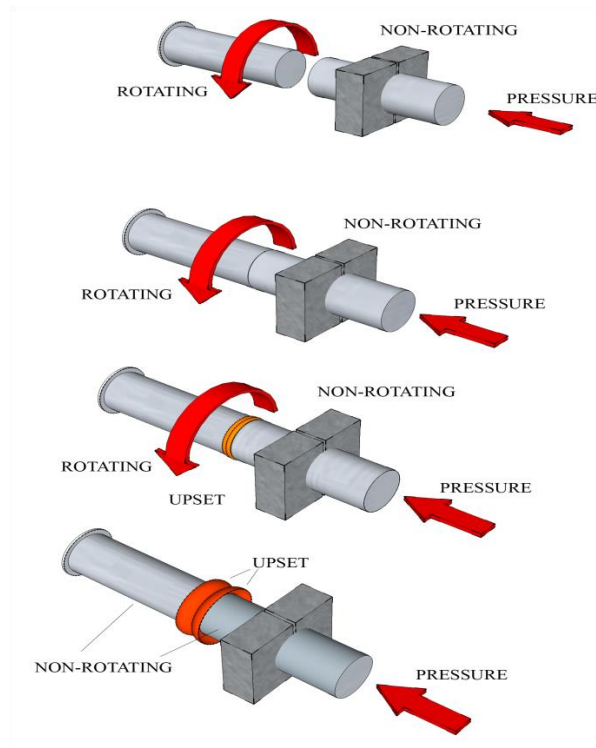
2.2.1 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah suatu proses penyambungan logam dalam keadaan padat. Dalam prosesnya panas yang terjadi dihasilkan oleh gesekan relatif dari dua permukaan yang kontak. Sehingga panas yang ditimbulkan akibat dari gesekan tersebut dikonversi sebagai energi pengelasan tanpa aplikasi dari sumber panas yang lain. Berdasarkan metode penyambungannya, pengelasan gesek (*friction welding*) dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis antara lain : *continuous drive friction welding (CDFW)*, *friction stir welding (FSW)*, *linear friction welding (LFW)*.

2.2.1.1 *Continuous Drive Friction Welding (CDFW)*

Continuous drive friction welding merupakan jenis penyambungan dua buah logam dalam keadaan padat (*solid state process*). Proses dari *continuous drive friction welding* adalah proses pengelasan gesek silinder pejal di mana dua buah benda di gesekkan dengan satu material berputar dan material yang lain diam. Penyambungan yang terjadi di sebabkan oleh panas yang timbul dari gesekan akibat dari material yang berputar dan material yang diam diberikan tekanan aksial sehingga

saling bergesekan. Dalam gambar 2.1 ditunjukkan tahapan dari proses pengelasan gesek *continuous drive friction welding*.



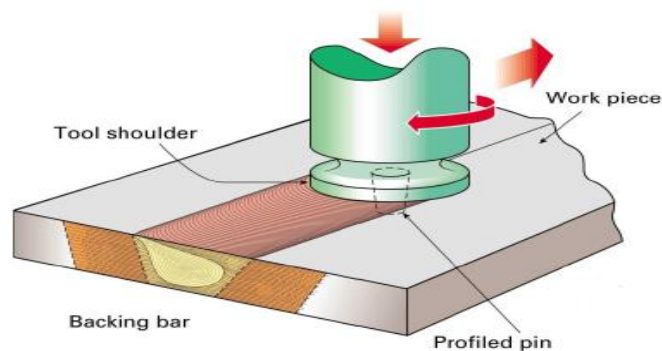
Gambar 2.1 Proses *Continuous Drive Friction Welding* (Gatwick Technologies, 2017)

Tahap proses dari *continuous drive friction welding* adalah sebagai berikut :

1. Kedua buah benda dicekam pada ragum untuk specimen berputar dan ragum untuk specimen diam.
2. Kemudian saling di gesekan, dari gesekan yang terjadi akan timbul panas yang akan menyambungkan kedua ujung benda tersebut.
3. Dari panas yang ditimbulkan akibat dari gesekan, pada kedua ujung benda kerja tersebut akan timbul *flash*.
4. Setelah timbul panas yang cukup putaran di hentikan kemudian secara langsung tekanan ditingkatkan menjadi tekanan *upset* sehingga menyambung kedua benda tersebut.

2.2.1.2 Friction Stir Welding (FSW)

Friction stir welding merupakan metode pengelasan gesek dengan sumber panas hasil dari gesekan dua buah benda kerja yang dipasang sejajar dengan sebuah tool yang berputar diatas permukaan yang di sejajarkan tersebut. Gesekan dari tool yang berputar dengan diberi tekanan tersebut mengakibatkan pemanasan pada daerah sambungan sehingga dapat melelehkan kedua benda kerja. Proses pengelasan gesek ini digunakan untuk menyambung benda kerja yang berbentuk plat. Pada gambar 2.2 adalah proses dari *friction stir welding*.



Gambar 2.2 Proses *Friction Stir Welding* (Elbanhawwy, 2013)

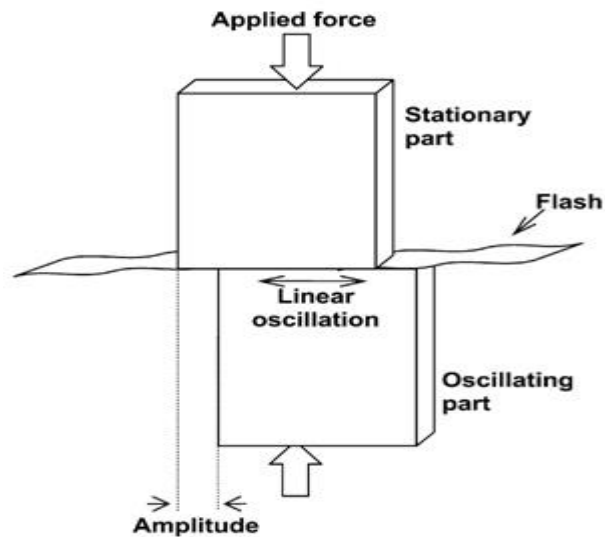
Proses dari *friction stir welding* adalah sebagai berikut :

1. Kedua buah benda kerja berbentuk plat yang akan disambung disejajarkan, kemudian posisikan tool diantara tengah bagian yang akan di las.
2. Memulai dengan memutar tool dan menggesekan pada permukaan dari ujung benda yang di las.
3. Menggeser tool sampai ujung permukaan sehingga daerah yang di las selesai.
4. Proses pengelasan gesek *friction stir welding* selesai.

2.2.1.3 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 2.3 berikut merupakan proses dari *linear friction welding*.



Gambar 2.3 Proses *Linear Friction Welding* (Bhamji, 2010)

Proses dari pengelasan gesek *linear friction welding* sebagai berikut :

1. Kedua benda kerja yang akan disambung diletakan pada chuck yang bergerak bolak-balik.
2. Kemudian chuck digerakan dengan bergerak berisolasi dengan waktu yang ditentukan.
3. Setelah timbul panas yang cukup gerakan dihentikan kemudian diberi tekanan pada kedua benda yang tersambung.
4. Proses *linear friction welding* selesai.

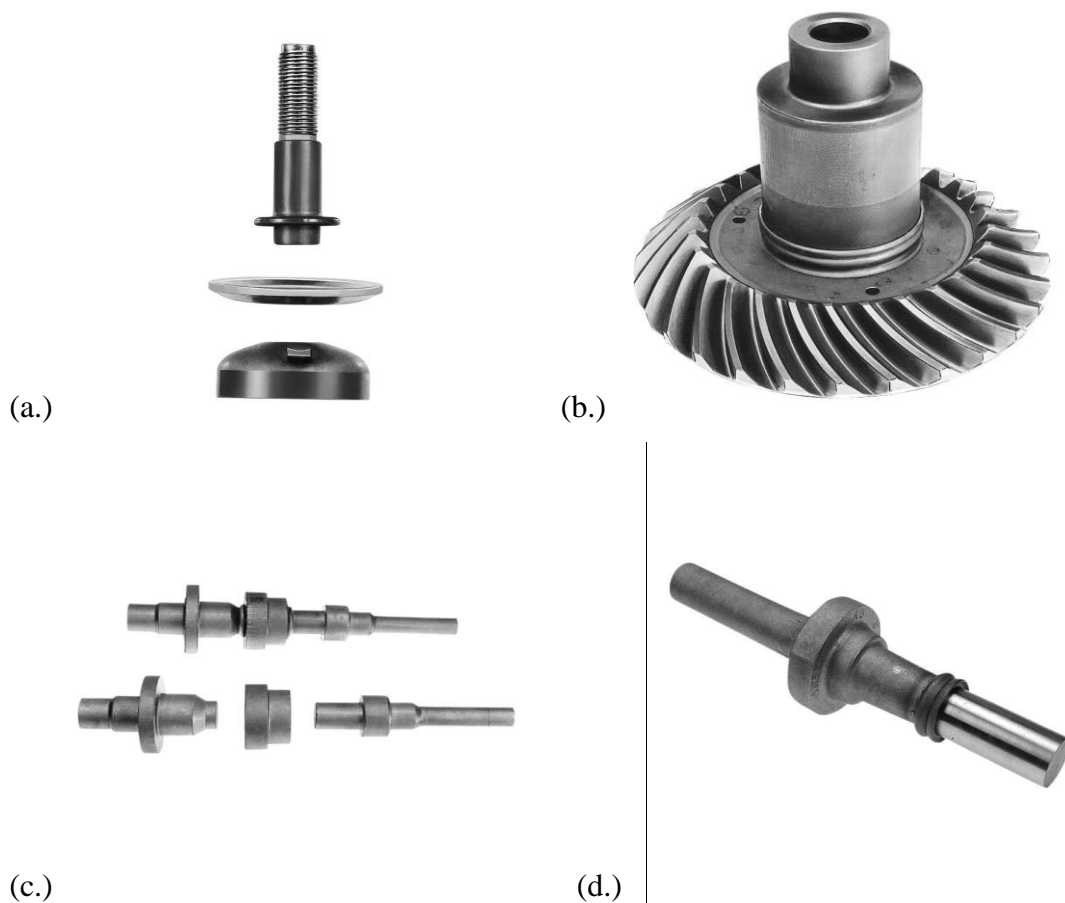
2.2.2 Kelebihan Pengelasan Gesek *Continuous Drive Friction Welding*

- a. Dapat dilakukan pada logam yang berbeda jenis.
- b. Daerah *Heat Effected Zone* (HAZ) sempit.
- c. Tidak memerlukan bahan tambahan.
- d. Dapat menyambungkan bahan yang berbentuk silinder.
- e. Kemungkinan terjadinya porositas dan inklusi terak dapat dihindari.

2.2.3 Aplikasi Pengelasan Gesek Metode *Rotary*

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 (2017)

2.2.4 Klasifikasi Logam Stainless Steel AISI 304

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sekitar 12% Cr yang menunjukkan ketahanan korosi yang tinggi karena pembentukan lapisan film kromium oksida. Selain itu logam ini tahan terhadap korosi dan oksidasi karena terdapat unsur yang ditambahkan pada paduan besi seperti nikel, mangan, molybdenum, nitrogen dan elemen lain yang sangat berpengaruh terhadap sifat material. *Stainless steel* memiliki sifat mekanik yang baik dan mudah dalam pengerjaan, penggunaannya didominasi oleh berbagai bidang antara lain :

petrochemical, industri makanan dan minuman, farmasi, produk konsumen. Menurut kandungan prosentase dari Cr-Ni *stainless steel* terdiri atas beberapa tingkatan antara lain : *austenitic*, *martensitic*, *ferritic* dan *duplex*. (M Fawaid dkk, 2012).

Menurut paduan dari besi-kromium (Fe-Cr) dengan penambahan nikel (Ni) logam ini disebut sebagai baja tahan karat yang tidak karat dengan air laut dan tahan terhadap asam pekat serta memiliki titik lebur mencapai 1100⁰C. logam *stainless steel* AISI 304 merupakan logam baja tahan karat yang berdasarkan fasanya adalah jenis *austenitic*. Baja tahan karat *stainless steel austenitic* 304 ini merupakan salah satu jenis logam paduan Fe-Cr-Ni yang telah digunakan secara luas di berbagai dunia industri. Beberapa peneliti menggunakan AISI 304 sebagai material penelitian untuk disambung dengan material jenis lain yaitu aluminium menggunakan metode *friction welding*. Material jenis ini mempunyai sifat tahan korosi, *non magnetic* dan *weldability* yang baik. Tipe AISI 304 paling banyak digunakan karena memiliki kandungan 18% Cr dan 8% Ni. Sifat dari *austenitic stainless steel* dapat dikeraskan dengan *cold working* tetapi material ini tidak dapat dikeraskan dengan *heat treatment*. Selain itu AISI 304 memiliki sifat keuletan yang baik dan kemampuan las yang baik dalam pengerjaannya.

Berdasarkan fasanya, baja tahan karat dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis antara lain :

1. Baja Tahan Karat *Feritic*

Feritic memiliki kandungan *chrome* sekitar 17% dan karbon 0.08-0.2%. *stainless steel feritic* memiliki sifat ketahanan korosi yang baik pada suhu tinggi, namun jenis ini sulit dikeraskan pada perlakuan panas. Selain itu *feritic* berifat magnetic dan mampu menerima pengelasan dibagian tipis. Jenis baja tahan karat ini antara lain : 409, 446, 434

2. Baja Tahan Karat *Austenitic*

Stainless steel austenitic mengandung sekitar 18% *chrome* dan 8% nikel serta beberapa unsure tambahan untuk mencapai sifat yang diinginkan. Baja tahan karat *austenitic* ini memiliki karakteristik umumnya *non magnetic*, tahan terhadap korosi dan suhu tinggi. jenis ini merupakan yang mudah dibentuk karena memiliki sifat *ductility* (ulet) yang baik dan juga mempunyai sifat mampu las yang baik. Tipe baja tahan karat ini antara lain : 304, 316, 317, 321, 347

3. Baja Tahan Karat *Martensitic*

Tipe baja tahan karat *martensitic* memiliki kandungan karbon yang tinggi sedangkan *chrome* yang rendah sekitar 35% karbon dan 11-13% *chrome*. Karakteristik dari *martensitic* ini bersifat *magnetic* dan dapat dikerjakan dengan perlakuan panas namun memiliki ketahanan korosi sedang dan kemampuan las yang kurang baik atau terbatas karena *hardenability*. Jenis dari baja tahan karat ini antara lain : 410, 416, 420, 431

4. Baja Tahan Karat *Duplex*

Duplex stainless steel merupakan kombinasi antara *austenitic* dan *feritic* karena memiliki keseimbangan yang sama campuran antar paduannya. Karakteristik dari *duplex stainless steel* tahan terhadap tekanan korosi dan kekuatan yang tinggi. *Duplex* mudah dilas dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Jenis dari tipe ini antara lain : UNS S31803, UNS S32750

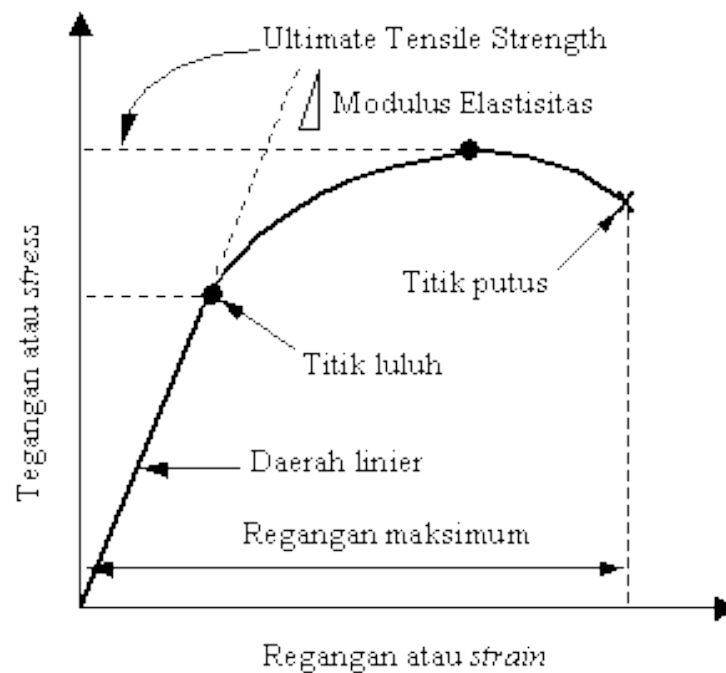
5. Baja tahan karat pengerasan pengendapan, *precipitation-hardening stainless steel* mempunyai struktur *martensitic* dan *austenitic* dengan penambahan unsur didalamnya antara lain Tembaga, Titanium, Aluminium, Molibdenum, Niobium dan Nitrogen.

Unsur paduan yang terkandung dalam stainless steel semakin tinggi kadar *chrome* maka akan semakin tahan besi terhadap korosi. Hal ini karena terbentuknya lapisan film oksida pada permukaan. Di lain sisi kekurangan *chrome* akan menyebabkan berkurangnya jumlah lapisan film oksida. Hal ini kadar karbon didalam *stainless steel* perlu dijaga dalam keadaan rendah. Jika tidak, maka akan terbentuk

karbida *chrome* sehingga *chrome* yang ada tidak dapat kepermukaan untuk membentuk film oksida.

2.2.5 Pengujian Tarik

Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar dari kekuatan suatu bahan sebagai data kekuatan bahan tersebut. Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya. Dalam pengujiannya bahan yang dilakukan uji tarik akan ditarik sampai putus, hal ini bertujuan mendapatkan hasil perpanjangan benda uji yang lengkap sesuai dengan kurva tegangan-regangan. Kurva ini melibatkan hubungan antara gaya tarik dengan perubahan panjang yang didapatkan selama proses pengujian tarik.



Gambar 2.5 Regangan-Tegangan (Sastranegara, 2009)

Hukum *hooke* (*hooke's law*) hamper semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan dari beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut, daerah ini disebut *linear zone*. Didaerah ini kurva penambahan panjang dengan beban mengikuti aturan *hooke* yaitu rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan. *Stress* adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* adalah penambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

Tegangan : $\sigma = F/A$persamaan(2.1)

F : gaya tarikan, A : luas penampang

Regangan : $\varepsilon = \Delta L/L$persamaan(2.2)

ΔL : penambahan panjang, L : panjang awal bahan

Hubungan antara *stress/strain* dirumuskan dengan hukum *hooke* : $E = \sigma/\varepsilon$

2.2.6 Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

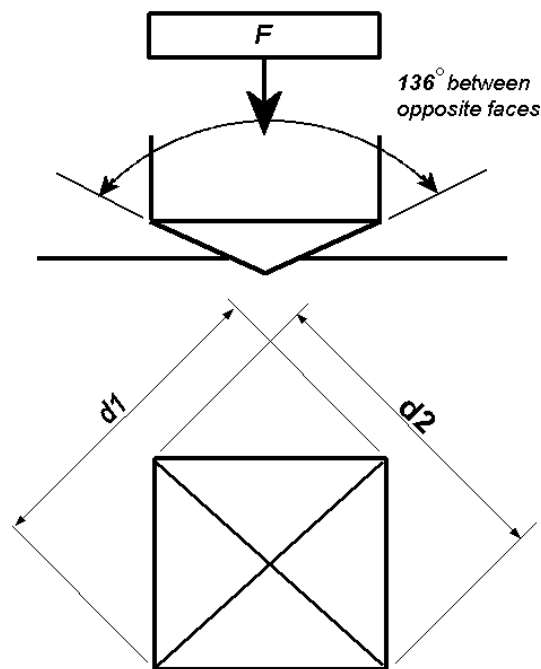
Prinsip pengujian kekerasan ini sama dengan kekerasan *brinell*. Namun perbedaannya dapat diketahui pada bentuk indentor yang ditekan pada materialnya. Pada kekerasan mikro vickers memakai indentor berbentuk pyramid yang beralas bujur sangkar dan sudut puncak 136° yang menekan material pada pembebanan tertentu. Pada penekanannya yang diukur adalah panjang diagonalnya, pada arah horizontal ditandai sebagai d-1 dan diagonal jejak arah vertical ditandai sebagai d-2 kemudian diambil rata-rata sebagai panjang diagonal jejak. Prinsip kerjanya benda uji ditekan beberapa detik dengan beban, bekas tekanan diukur dengan mikroskop optik. Nilai kekerasan vickers (VHN) dapat diketahui berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$\frac{2.P.\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} \dots \dots \dots \text{persamaan}(2.3)$$

P = beban yang diberikan (Newton)

d = panjang diagonal rata-rata : $\frac{d_1+d_2}{2}$ (mm)

θ = sudut puncak indenter (136°)



Gambar 2.6 Proses Indentasi *Hardness Vickers*

Sumber : www.gordonengland.co.uk (2017)

Dalam uji kekerasan dengan metode *vickers* pada suatu material biasanya memilih satu diantara sejumlah beban indentasi sesuai dengan material yang diuji. Kesalahan pemilihan beban akan berdampak pada keakurasian data kekerasan suatu material dan menimbulkan salah interpretasi terhadap sifat material yang diuji. Besar gaya yang digunakan tergantung pada kekerasan atau ketebalan benda yang akan diuji agar diperoleh tapak tekan yang mudah diukur.

2.2.7 Pengujian *Metallografi*

Metallografi merupakan ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur dan temperature logam tersebut menggunakan

mikroskop optic. Pengamatan menggunakan mikroskop optic tersebut dilakukan terhadap specimen yang telah diproses dan dengan pembesaran tertentu. Dalam *metallografi* dikenal pengujian makro (*macroscopic test*) dan pengujian mikro (*microscopic test*).

Pengujian makro (*macroscopic test*) merupakan proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar 0,5 sampai 50 kali. Pengujian ini biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur Kristal yang tergolong besar dan kasar. Misalnya, logam hasil coran (tuang) dan bahan yang termasuk non-metal (bukan logam). Pengujian mikro (*microscopic test*) merupakan pengujian bahan dengan pembesaran dengan menggunakan mikroskop karena bentuk Kristal logam yang tergolong halus. Pada pengujiannya menggunakan mikroskop optic bahkan mikroskop electron yang memiliki kualitas pembesaran antara 50 hingga 3000 kali. Bahan dan perlengkapan dalam pengujian ini yaitu :

1. *Grinding belt machine*
2. Kertas amplas
3. *Metal polishing*
4. *Etching reagent*
5. Mikroskop optic
6. Kamera film
7. Specimen atau benda uji

Dalam suatu logam yang digunakan ada macam-macam logam berbeda yang terdapat didalam logam tersebut, adapun logam tersebut antara lain :

1) *Ferit*

Adalah larutan padat karbon dan paduan lain dalam besi kubus pusat badan ($Fe\alpha$). *Ferit* terbentuk pada proses pendinginan, selain itu *ferit* juga memiliki

sifat sangat lunak, ulet dan memiliki kekerasan sekitar 50-100 BHN serta sifat konduktifitas yang tinggi.

2) *Perlit*

Merupakan campuran antara *sementit* dan *ferit* dengan kekerasan sekitar 10-30 HRC. *Perlit* terbentuk dibawah temperature *eutectoid* yang memiliki kekerasan lebih rendah dan waktu inkubasi yang lebih banyak.

3) *Bainit*

Dengan nama lain E.C.Bain merupakan fasa yang kurang stabil diperoleh dari *austenite* pada temperature rendah dari temperature transformasi ke *perlit* dan lebih tinggi transformasi ke *martensit*. Kekerasan pada *bainit* bervariasi sekitar 45-55 HRC sesuai temperature transformasinya.

4) *Martensit*

Merupakan larutan pada karbon yang lewat jenuh pada besi alfa, sifatnya sangat keras. Penyebab tingginya kekerasan karenan latis besi mengalami regangan yang tinggi akibat atom-atom karbon. Kekerasan *martensit* sekitar 20-65 HRC, makin tinggi kadar karbon maka semakin besar distorsi yang dialami.

5) *Sementit*

Adalah senyawa besi dengan karbon yang dikenal secara umum sebagai karbida besi dengan prosentase karbon sekitar 6.65%. *sementit* bersifat keras dengan harga kekerasan sekitar 65-68 HRC.