

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian pustaka

Prasetyono dan Subiyanto (2012), meneliti pengaruh durasi gesek, tekanan gesek, dan tekanan tempa terhadap *impact strength* sambungan las gesek baja karbon AISI 1045. Pengelasan dilakukan menggunakan tekanan gesek 5,98 MPa, 11,96 MPa dan 17,94 MPa dengan waktu gesek selama 70 detik dan 90 detik. Variasi tekanan tempa yang diberikan: 23,93 MPa, 33,5 MPa, 52,64 MPa dengan putaran mesin sebesar 4124 Rpm. Sambungan lasan material AISI 1045 memiliki kekuatan impak yang semakin meningkat seiring dengan penambahan tekanan gesek dan tekanan tempa, sehingga dapat menghasilkan sambungan lebih baik. Sifat kekerasan memiliki nilai kekerasan tertinggi 296HV terdapat pada daerah *weld metal*, sedangkan kekerasan terendah terdapat pada daerah *base metal*, dengan nilai 246 HV. Struktur mikro pada *base metal* tidak terjadi banyak perubahan, sedangkan untuk daerah HAZ yang dekat dengan *weld metal* struktur mikronya berupa ferrit dan pearlit dengan dominasi perlit *grain size* kasar.

Yeon (2003), meneliti pengaruh parameter *friction welding* pada sifat mekanis dan metalurgi pada logam beda jenis aluminium 5052 – baja A36. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan parameter tekanan gesek, waktu gesek dan tekanan *upset*. Pengujian dilakukan dengan uji tarik, mikrostruktur, uji kekerasan. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil Aluminium alloy 5052 mengalami deformasi dan berwarna abu-abu, namun baja tidak mengalami kerusakan. Dengan bertambahnya waktu gesek daerah ketebalan lapisan reaksi intermetalik meningkat. Kekuatan pada sambungan meningkat seiring bertambahnya tekanan dan waktu gesek.

Shubhavardhan (2012) meneliti tentang *Friction Welding to Join Dissimilar Metals* pada logam baja tahan karat austenitik (AISI 304) dan aluminium 6082. Proses yang dilakukan menggunakan parameter tekanan

gesek, waktu gesek, tekanan upset, waktu upset. Dari penelitian tersebut di peroleh kekuatan tarik terbaik 192,4 MPa pada vareasi tekanan gesek 80 MPa, waktu gesek 5 detik, tekanan upset 180 MPa, waktu upset 6 detik. Struktur mikro menunjukkan bahwa alumunium sangat cacat dengan butiran memanjang dan di sempurnakan didekat antar permukaan pengelasan. Baja tahan karat sedikit cacat dan sebagian ditransformasikan di permukaan faying dari austenit ke situs marten karena adanya gesekan keras.

Berdasarkan beberapa penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwasannya durasi gesek, tekanan gesek, dan tekanan upset berpengaruh terhadap proses pengelasan. Semakin lama waktu gesek dan tekanan yang digunakan, maka kekuatan pada sambungannya akan semakin meningkat.

2.2. Dasar teori

Pengelasan merupakan penyambungan dua buah logam dengan menggunakan panas. Teknik penyambungan logam di lakukan dengan cara memanaskan sebagian logam yang akan di sambung, kemudian dibiarkan dingin dan membeku, sehingga akan terjadi ikatan metalurgi. Menurut DIN (Deutch Industrie Normen) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pada waktu ini telah banyak cara penyambungan logam termasuk penyambungan logam yang dilakukan dengan cara menekan dua buah logam sehingga terjadi ikatan atom dari logam yang disambungkan. Las menurut cara kerjanya dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas yang terbakar. Pengelasan cair meliputi las busur, las gas, las listrik, las termit.
2. Pengelasan tekan adalah pcara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu. Pengelasan tekan meliputi las

resistansi listrik, las tekan gas, las gesek, las ledakan, las induksi, dan las ultrasonik.

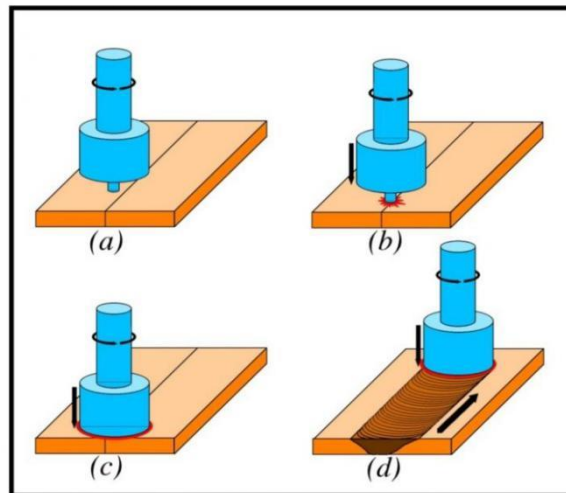
3. Pematrian merupakan cara untuk melakukan pengelasan, dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah namun logam induk tidak ikut mencair. Las pematrian dibagi menjadi dua yaitu pembrasingan dan penyolderan.

2.3. Friction welding

Friction welding merupakan pengelasan jenis tekan, yaitu pengelasan yang dilakukan pada keadaan padat, tanpa mencairkan benda kerja. Penyambungan ini dilakukan dibawah titik lebur. *Friction welding* yang sering digunakan di dunia industri manufaktur. *Friction welding* dibagi menjadi 3 yaitu : *Friction stir welding* (FSW), *linier friction welding* dan *Continuous drive friction welding* (CDFW)

2.3.1 Friction stir welding

Friction stir welding (FSW) merupakan proses pengelasan solid state dengan cara menggabungkan dua benda kerja yang menghadap tanpa mencairkan benda kerja dengan memutarakan sebuah *tool* yang dimakamkan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja. Tool yang berputar dan dimakamkan pada garis tersebut akan menimbulkan panas sehingga terjadi sambungan. Berikut ini proses *friction stir welding* (FSW) digambarkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Proses *stir welding*

Sumber : <http://ericsahrmann.com/friction-stir-welding-of-aluminum>

- a. Tool berputar
- b. Panas dihasilkan oleh kontak antara tool yang berputar dan benda kerja.
- c. Tool masuk ke benda kerja
- d. Tool berputar dan bergerak sepanjang garis benda kerja.

1. Kelebihan dan kekurangan penggunaan *Friction stir welding*

Berikut ini beberapa kelebihan dan kekurangan penyambungan logam dengan menggunakan metode las gesek (*Friction stir welding*):

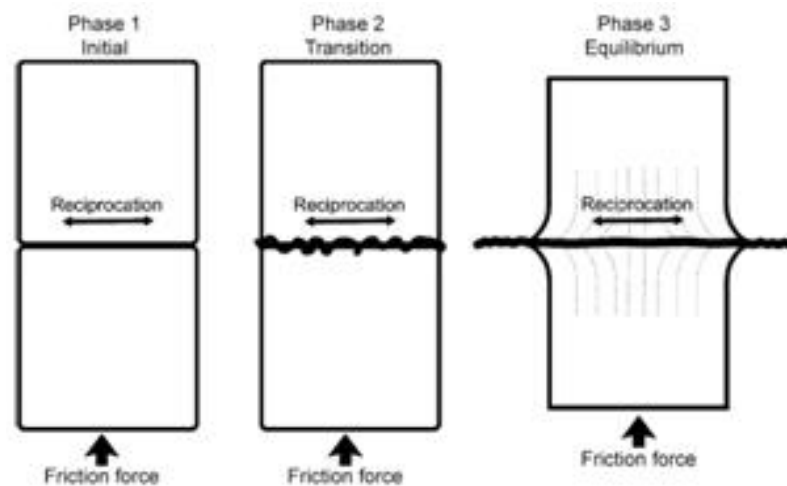
- a. Tidak memerlukan bahan tambah.
- b. Penyambungan sangat mudah dilakukan.
- c. Proses penyambungan cepa.
- d. Tidak ada fluks atau filler logam atau gas yang diperlukan dalam kasus las gesek.
- e. Cocok digunakan untuk produksi massal.
- f. Hemat biaya, mengurangi biaya peralatan yang mudah rusak.

Namun *friction welding* memiliki keterbatasan yaitu:

- a. Stabilitas mekanis alat pada suhu operas.
- b. Pengelasan hanya bisa dilakukan untuk logam suhu rendah.

2.3.2. *Friction linear welding (FLW)*

Friction Linear Welding adalah proses penggabungan solid state dimana proses pengelasan gesek yang mendapat panas dari gesekan linier dari salah satu benda kerja dan benda kerja yang lain diberi tekanan secara konstan seperti ditunjukkan gambar 2.2.

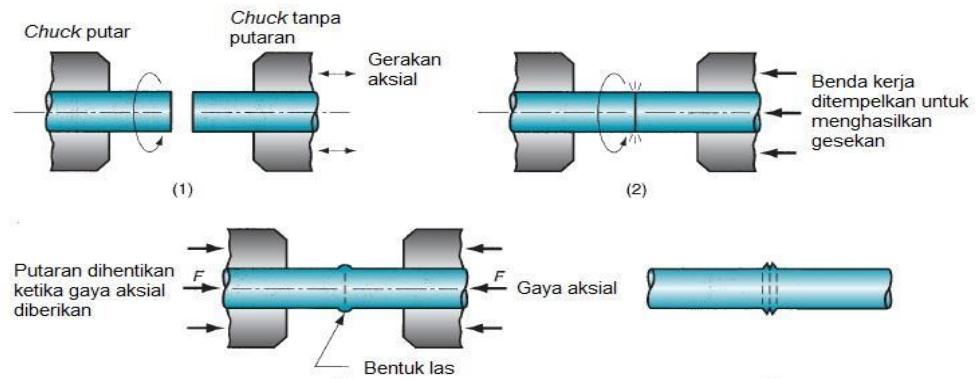


Gambar 2.2 *Friction Linier Welding* (Bhamji, 2010)

2.3.3. *Continuous drive friction welding*

Continuous drive Friction welding merupakan jenis pengelasan solid state dimana panas yang di timbulkan berasal dari gesekan dua buah logam yang di putar dengan diberikan tekanan. Dengan mengkombinasikan panas dan tekanan maka logam akan tersambung. Gesekan terjadi pada dua permukaan logam yang berputar yang diberi tekanan tempa. Friction welding biasanya digunakan di dunia industri untuk menyambung logam

silinder atau pipa. Berikut ini proses *friction welding CDFW* digambarkan pada gambar 2.3 :

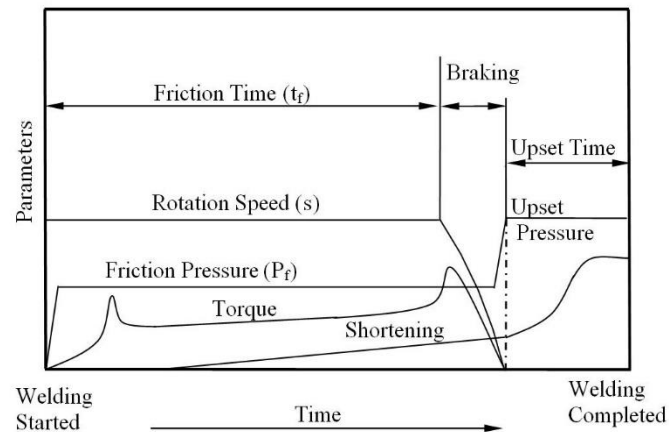


Gambar 2.3. Proses *friction welding* CDFW

Sumber : www.kullabs.com

1. Salah satu *chuck* di putar bersamaan benda kerja.
2. Benda kerja yang berada di *chuck* yang tidak berputar di beri tekan sampai menempel untuk menghasilkan gesekan.
3. Akibat gesekan logam yang menimbulkan panas akan terjadi terjadi flash.
4. Putaran di hentikan ketika benda kerja sudah diberi tekanan sehingga terjadi sambungan.

Dalam proses pengelasan *Friction welding* CDFW ada parameter penting yang mempengaruhi hasil sambungan lasan. Berikut ini parameter psroses *Friction welding* CDFW digambarkan pada gambar 2.4 :



Gambar 2.4. Parameter friction welding

Sumber : (Manideep and Balochander, 2012)

1. Kelebihan dan kekurangan penggunaan las gesek (CDFW)

Berikut ini beberapa kelebihan dan kekurangan penyambungan logam dengan menggunakan metode las gesek (*Friction welding CDFW*) :

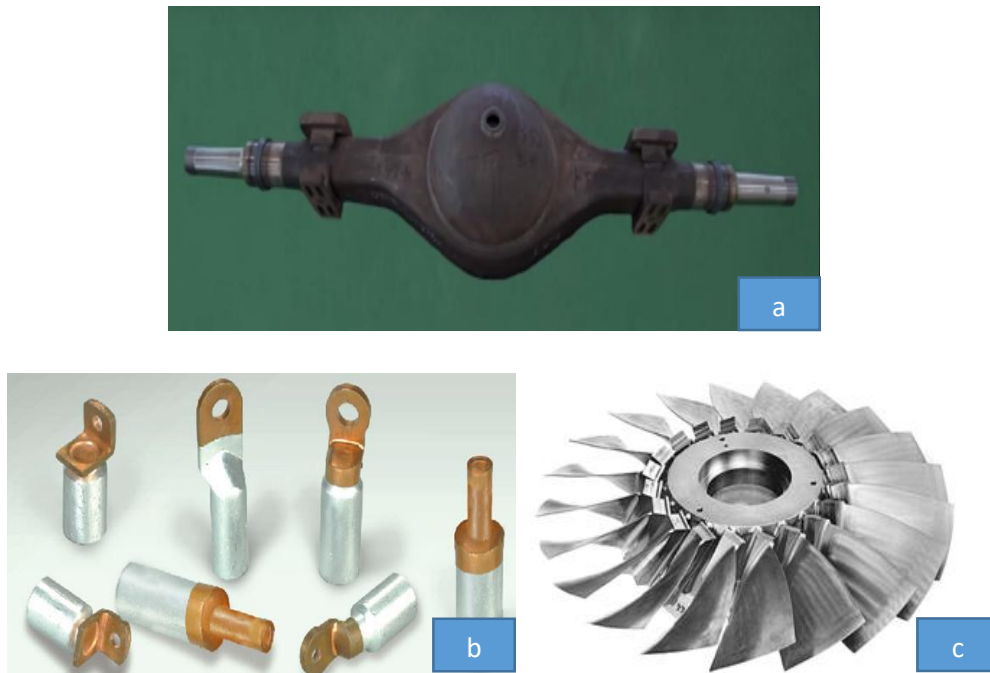
- a. Tidak memerlukan bahan tambah.
- b. Penyambungan sangat mudah dilakukan.
- c. Proses penyambungan cepat.
- d. Tidak ada fluks atau filler logam atau gas yang diperlukan dalam kasus las gesek.
- e. Cocok digunakan untuk produksi massal.
- f. Hemat biaya, mengurangi biaya peralatan yang mudah rusak.
- g. Bisa digunakan untuk penyambungan logam beda jenis.
- h. Konsumsi energi dan tegangan yang rendah.

Namun friction welding memiliki keterbatasan yaitu

- a. Benda yang di sambung harus simetris.
- b. Proses terbatas pada permukaan plat.

2.4. Aplikasi las gesek (*Friction welding*)

Berikut merupakan pengaplikasian hasil sambungan dari pengelasan las gesek, dengan menggunakan dua logam yang berbeda (dissimilar) ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2.5. Hasil sambungan-sambungan las gesek meliputi (a) gardan mobil, (b) konektor Cu-Al, (c) *fan blades*.

Sumber : (www.mtiwelding.com)

2.5. Aluminium 6061 T6

Aluminium merupakan logam yang ringan, tahan karat dan konduktor panas yang baik. Aluminium bukan hanya digunakan untuk pembuatan alat rumah tangga tapi aluminium juga digunakan untuk keperluan material mobil, kapal, konstruksi dan sebagainya. Aluminium (99,99%) memiliki titik cair sebesar 660 °C. Aluminium pertama kali ditemukan oleh De Morveau Pada tahun 1761, kemudian pada tahun 1808, Sir Humphry Davy berhasil menunjukkan eksistensi logam ini.

Seiring berjalanya waktu seorang ahli fisika Denmark dan ahli kimia bernama Henry Christian Oersted, berhasil mensintesis aluminium murni pada tahun 1927.

Alumunium seri 6061 merupakan alumunium yang sering digunakan pada industri otomotif dan alat-alat konstruksi. Alumunium 6061 mempunyai beberapa perlakuan panas seperti perlakuan O, T4, dan T6. Perlakuan O merupakan perlakuan logam yang dianil penuh. Perlakuan T4 merupakan proses perlakuan panas yang penuaanya secara alamiah setelah perlakuan pelarutan yang dilakukan dengan udara terbuka. Sedangkan untuk perlakuan T6 hampir sama dengan T4 namun yang membedakanya penuanya dilakukan secara tiruan atau langsung agar mendapatkan kekuatan tarik dan kekerasan yang bertambah seperti yang di tunjukan pada tabel 2.1. Komposisi paduan alumunium ini terdiri dari 0,58%Si, 0,46%Fe, 0,19%Cu, 0,1%Mn, 0,91%Mg, 0,12%Zn, 0,001%Ni, 0,03%Cr, 0,02%Pb, 0,01%Ti, dan Al<97,49. Alumunium ini memiliki sifat, mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup. Kekuatan tarik lebih dari 309,8901 MPa, dan memiliki elongasi 25-30% dengan titik lebur pada suhu 660⁰C.

Tabel 2.1. Perlakuan alumunium 6061 (Surdia, 2009)

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (Kg/mm ²)	Kekuatan mulur (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

2.6. Stainless Steel 304

Satainless steel adalah senyawa besi yang mengandung 10,5% kromium. Kromium yang terkandung dalam stainless steel berfungsi untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Dalam ilmu metalurgi, baja tahan karat biasa disebut inox steel atau inox yang berasal dari bahasa perancis (*inoxydable*) (Mukshsen, 2012).

Berdasarkan fasanya, baja tahan karat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu :

1. Baja Tahan Karat Ferritic

Ferritic memiliki kandungan Chrome sebanyak 17% dan Carbon antara 0.080.2%. Memiliki sifat ketahanan korosi yang meningkat pada suhu tinggi. Namun sulit dilakukan perlakuan panas pada kelompok stainless steel ini sehingga penggunaannya menjadi terbatas. Jenis dari baja tahan karat ferritic antara lain adalah jenis 409, 446

2. Baja Tahan Karat Austenitic

Austenitic memiliki kandungan Chrome sekitar 17-25% dan Nikel sekitar 820% dan beberapa unsur tambahan dalam upaya mencapai sifat yang diinginkan. Baja tahan karat jenis ini adalah nonmagnetic. Jenis dari baja tahan karat martensitic antara lain adalah jenis 304, 321, 347, 316, 317, L Grade.

3. Baja Tahan Karat Martensitic

Martensitic memiliki kandungan Chrome sebesar 12% sampai maksimal 14 dan Carbon pada kisaran 0.08-2,0%. Kandungan karbon yang tinggi merupakan hal yang baik dalam merespon panas untuk memberikan berbagai kekuatan mekanis, ketahanan korosi, dan perlakuan permukaan sehingga bagus untuk berbagai aplikasi. Jenis dari baja tahan karat martensitic antara lain adalah jenis 410, 416, 420, 431.

4. Baja Tahan Karat Duplex

Merupakan kelompok terbaru yang memiliki keseimbangan Chromium, Nikel, Molybdenum, dan Nitrogen pada campuran yang sama antara jenis austenite dan jenis ferit. Hasilnya adalah sebuah kekuatan yang tinggi, sangat tahan terhadap korosi. Direkomendasikan pada suhu -50°C sampai 300° . Jenis dari 15 baja tahan karat martensitic antara lain adalah jenis UNS S31803, UNS S32750, UNS S32750.

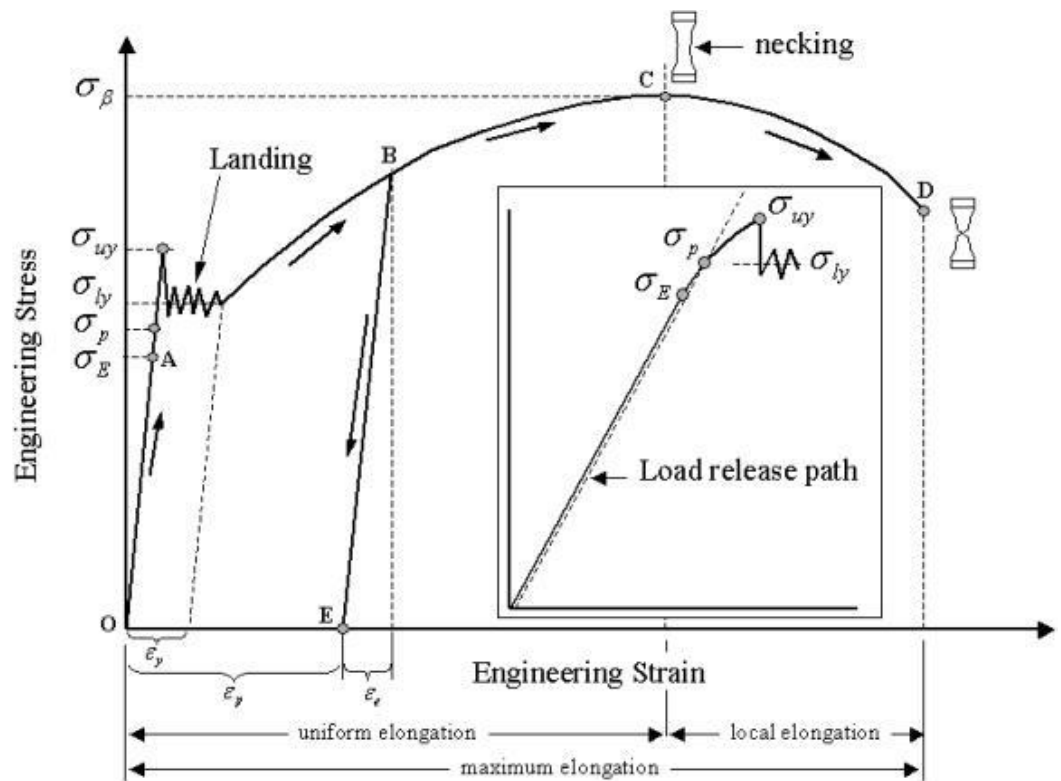
5. Baja tahan karat pengerasan pengendapan, PH, precipitation hardening, mempunyai struktur martensit atau austenite dengan penambahan unsure Tembaga, Titanium, Alumunium, Molibdenum, Niobium, atau Nitrogen.

Stainles Steel 304 merupakan baja tahan karat jenis austenitic. *Stainless Steel 304* memiliki komposisi paduan logam sebagai berikut 0.042% C, 1.19% Mn, 0.034%P, 0.006%S, 0.049%Si, 18.24%Cr, 8.15%Ni, dan Fe. Baja karbon tipe 304 ini memiliki beberapa sifat, yaitu kekuatan tarik sebesar 646 MPa, *yield strength* 270 MPa, *elongation* 50%, kekerasan 82 HR_B. *Stainless Steel 304* merupakan baja tahan karat yang memiliki banyak manfaat dengan harga yang relatif terjangkau (Sumarji, 2011).

Stainless Steel merupakan baja paduan tinggi. *Stainless Steel* memiliki sifat yang berbeda dengan baja karbon maupun baja paduan rendah, sehingga sangat mempengaruhi kemampuan lasnya. Paduan utama dari baja tahan karat ini adalah Cr dan Ni, selain itu ditambahkan juga unsur seperti Mo, Cu dan Mn (Setiawan, 2016).

2.7. Pengujian tarik

Uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujianya, bahan uji tarik diberi pembebanan dan di tarik sampai putus, dengan tujuan untuk memperoleh profil tarikan berupa kurva. Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Profil singkat uji tarik.

Sumber: Sastranrgara (2009).

Batas elastis σ_E (elastic limit) dinyatakan dengan titik A. Apabila sebuah bahan diberikan beban hingga titik A, kemudian beban dihilangkan maka bahan secara otomatis akan kembali ke kondisi semula semula yaitu regangan “nol” pada titik O.

1. Batas proporsional σ_p (proportional limit) merupakan titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
2. Deformasi plastis (plastic deformation) merupakan berubahnya suatu bentuk yang tidak bisa kembali ke bentuk semula. Pada gambar yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.

3. Tegangan luluh atas σ_{uy} (upper yield stress) merupakan tegangan maksimum yang didapatkan sebelum bahan masuk kedalam fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.
4. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (lower yield stress) adalah tegangan rata-rata daerah landing sebelum benar-benar masuk dalam fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (yield stress), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.
5. Regangan luluh ϵ_y (yield strain) merupakan regangan yang menetap saat bahan akan masuk kedalam fase deformasi plastis.
6. Regangan elastis ϵ_e (elastic strain) adalah regangan yang diakibatkan oleh perubahan elastis bahan. Saat beban dilepaskan maka regangan yang terjadi akan kembali ke posisi semula.
7. Regangan plastis ϵ_p (plastic strain) merupakan regangan yang diakibatkan oleh adanya perubahan plastis. Saat beban dilepaskan regangan plastis tetap menetap, hal ini terjadi sebagai perubahan permanen bahan.
8. Regangan total (total strain) merupakan perpaduan antara regangan plastis dan regangan elastis. $\epsilon_t = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Saat beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.
9. Tegangan tarik maksimum TTM (UTS, ultimate tensile strength) ditunjukkan dengan titik C (σ_β), merupakan besar tegangan maksimum yang diperoleh dari uji tarik.
10. Kekuatan patah (breaking strength) ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan yang didapat ketika bahan yang dilakukan pengujian putus atau patah.

Di daerah ini, kurva pertambahan panjang dengan beban mengikuti aturan Hooke yaitu rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan. Dengan rumusan Stress (Tegangan Mekanis):

$\sigma = F/A$, F = gaya tarikan, A = luas penampang dan Strain (Regangan): $\varepsilon = \Delta L/L$, ΔL = Pertambahan panjang, L = Panjang awal.

2.8. Pengujian Metallografi

Metallography merupakan ilmu yang mempelajari karakteristik, struktur dari suatu logam. Pengujian metallografi merupakan suatu metode untuk mengetahui struktur suatu logam menggunakan mikroskop. Struktur mikro yang terlihat di mikroskop disebut mikrostruktur. Pengujian struktur mikro dilakukan terhadap bendakerja yang telah di proses sehingga bisa diamati dengan perbesaran lensa tertentu. Dalam metallografi terdapat dua pengujian, yakni pengujian makro (macroscopic test) dan pengujian mikro (microscopic test).

Pengujian makro merupakan pengujian yang dilakukan tanpa menggunakan alat bantu dengan tujuan untuk memeriksa lubang dan cela dalam permukaan bahan. Angka kevalidan dalam pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian ini digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang besar atau kasar seperti logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk non-metal (bukan logam).

Pengujian mikro (microscopic test) merupakan pengujian terhadap bahan logam yang bentuknya sangat halus. Sehingga proses pengujiannya membutuhkan suatu alat yaitu mikroskop optis bahkan mikroskop elektron yang memiliki kualitas pembesaran antara 50 hingga 3000 kali.

2.8.1. Macam- Macam struktur yang ada pada logam

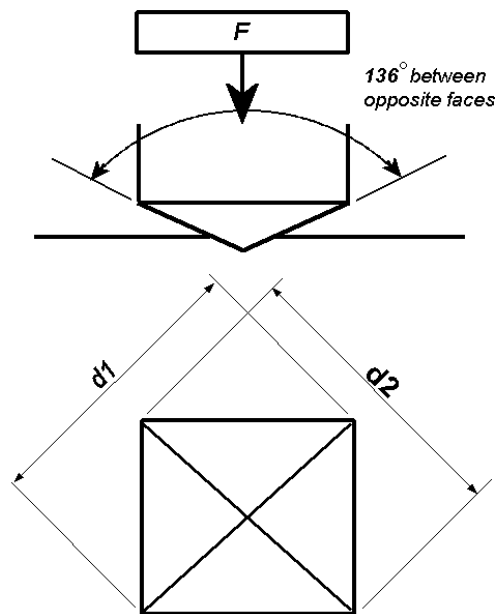
Dalam suatu logam mempunyai macam-macam struktur logam yang berbeda seperti berikut:

1. Ferit merupakan larutan padat karbon dan unsur paduan lainnya pada besi kubus pusat badan (Fe). Ferit terbentuk dari proses pendinginan. Ferit memiliki sifat yang sangat lunak, ulet dan memiliki kekerasan sekitar 70 - 100 BHN serta memiliki konduktivitas yang tinggi.

2. Sementit adalah senyawa besi dengan karbon yang umum dikenal sebagai karbida besi dengan prosentase karbon 6,67%C. Sementit ini memiliki sifat yang keras sekitar 5 – 68 HRC.
3. Perlit adalah campuran sementit dan ferit yang memiliki kekerasan sekitar 10-30HRC . Perlit yang terbentuk sedikit dibawah temperatur eutektoid memiliki kekerasan yang lebih rendah dan memerlukan waktu inkubasi yang lebih banyak.
4. Bainit merupakan fasa yang kurang stabil yang diperoleh dari austenit pada temperatur yang lebih rendah dari temperature transformasi ke perlit dan lebih tinggi dari transformasi ke martensit.
5. Martensit merupakan larutan padat dari karbon yang lewat jenuh pada besi alfa sehingga latis-latis sel satunya terdistorsi. Karbon adalah unsur yang digunakan sebagai penyetabil austenit. Kelarutan maksimum dari karbon pada austenit adalah sekitar 1,7% pada 1140 0C, Sedangkan kelarutan karbon pada ferit naik dari 0% pada 910 0C menjadi 0,025% pada 723 0C.

2.9. Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekerasan suatu material. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan uji vickres, metode ini menggunakan indentor intan berbentuk piramid dengan sudut 136° , seperti yang ditunjukkan gambar 2.7.



Gambar 2.7. Skematis prinsip indentasi

Sumber: <http://www.gordonengland.co.uk> 13 juni 2017

Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinell, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material diberikan oleh:

Rumus untuk mencari nilai kekerasan:

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2}$$

Dengan :

P = beban yang digunakan (kg)

d = panjang diagonal rata – rata

Θ = sudut antara permukaan inta