

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian mengenai las gesek saat ini telah mulai banyak dilakukan. Beberapa penelitian yang telah meneliti mengenai las gesek membahas mengenai struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarik pada jenis logam yang berbeda-beda dan juga dengan parameter yang bervariasi.

Purnomo (2016), melakukan penelitian tentang pengaruh variasi putaran mesin terhadap kualitas sambungan pengelasan gesek pada bahan pipa kuningan dan tembaga. Parameter yang digunakan menggunakan variasi putaran pada mesin 1000 Rpm, 1600 Rpm, dan 2000 Rpm. Tekanan gesek yang digunakan 1471,68 MPa dan tekanan tempanya 1962,24 MPa. Didapatkan hasil struktur mikro pada kuningan daerah sambungan ukuran butirannya halus dan rapat. Sedangkan pada pipa tembaga daerah sambungan tidak mengalami perubahan struktur mikro. Pada hasil uji kekerasan didapatkan kekerasan tertinggi daerah sambungan terjadi pada variasi putar mesin 2000 Rpm, jarak 1 mm pada pipa kuningan yaitu sebesar 87,6 VHN. Sedangkan kekerasan terendah daerah sambungan terjadi pada variasi putar mesin 1000 Rpm pada pipa tembaga yaitu sebesar 51,5 VHN. Semakin tinggi putaran mesin yang diberikan maka nilai kekerasannya juga semakin tinggi, dan semakin rendah putaran mesin yang diberikan maka nilai kekerasannya juga rendah.

Serena, dkk. (2015), meneliti tentang pengaruh waktu gesek pada pengelasan gesek terhadap struktur mikro dan kekerasan pada sambungan pipa tembaga dan kuningan. Parameter yang digunakan menggunakan variasi waktu 25 detik, 30 detik, 40 detik, 60 detik, dan 70 detik dengan tekanan gesek 1962,24 N dan putaran mesin 2000 Rpm. Didapatkan hasil pada pipa kuningan mempunyai tingkat kekerasan tinggi dibanding tembaga, kuningan kekerasannya 93,6 VHN dan tembaga kekerasannya 60,2 VHN. Lamanya waktu gesekan memengaruhi kekerasan hasil pengelasan. Jika waktu gesek terlalu lama maka nilai uji kekerasan

pada las akan menurun kembali, hal ini dikarenakan *weld nugget* sudah mulai dingin dan proses difusi antar atom kurang.

Nugroho, dkk. (2014), melakukan penelitian tentang sifat mekanis dan struktur mikro pengelasan gesek *similar* stainless steel AISI 304. Parameter yang digunakan adalah putaran mesin las gesek 1000 rpm, dengan variasi tekanan gesek 1,38-4,14 MPa, dan tekanan tempa 6,90-8,27 MPa. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian struktur mikro dan pengujian tarik. Pada penelitiannya tidak melakukan pengujian kekerasan. Hasil dari penelitiannya didapatkan semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka waktu gesek akan semakin cepat. Struktur mikro daerah las berfasa austenit berbutir kecil, daerah HAZ berfasa austenit berbutir besar, dan daerah logam induk berfasa austenit berbutir besar. Pada hasil kekuatan tarik didapatkan kekuatan tarik akan menurun seiring dengan penurunan tekanan tempa. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada variasi tekanan tempa 8,27 MPa sebesar 378 MPa, dan kekuatan tarik terendah terdapat pada tekanan tempa 6,58 MPa sebesar 225,8 MPa.

Kolbi (2015) melakukan penelitian tentang struktur mikro dan kekerasan pada logam pipa kuningan. Parameter yang digunakan adalah variasi waktu gesekan 65 detik, 90 detik, 100 detik, 130 detik dan 150 detik dengan tekanan gesek 31,230 Mpa, tekanan tempa 46,845 Mpa dan putaran mesin 2000 Rpm. Hasilnya kuningan mempunyai tingkat kekerasan tertinggi pada pengelasan dengan waktu gesek 65 detik dengan pengujian kekerasan pada daerah *interface* yaitu 49 VHN, sedangkan nilai kekerasan terkecil terjadi pada waktu gesek 150 detik dengan pengujian kekerasan pada daerah HAZ yaitu 33 VHN. Lamanya waktu gesek memengaruhi kekerasan hasil las dikarenakan *weld nugget* sudah mulai dingin dan proses difusi antar atom kurang.

Sanyoto, dkk. (2012) meneliti tentang penerapan teknologi las gesek dalam proses penyambungan dua buah pipa logam baja karbon rendah. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi waktu gesek 15 detik, 20 detik, 25 detik, 30 detik dan 35 detik, tekanan gesek 1,47 MPa, tekanan tempa 6,86 MPa dengan putaran mesin 4125 Rpm. Spesimen diuji dengan pengujian metallografi

dan kekerasan. Hasilnya didapatkan semakin tinggi waktu gesek maka panas yang dihasilkan juga semakin meningkat. Semakin meningkatnya temperatur maka nilai upset yang terjadi akan semakin besar sehingga menyebabkan spesimen benda ujinya semakin pendek. Struktur mikro pada sambungan tidak banyak mengalami perubahan, yang artinya tidak banyak terjadi perubahan sifat mekanik.

Dari penelitian yang telah dilakukan, sebelumnya, penelitian mengenai sifat mekanis pada pengelasan gesek logam pipa kuningan masih tergolong jarang dilakukan. Pada penelitian sebelumnya, mekanisme pada pengelasan geseknya masih menggunakan pegas sebagai pemberian tekanan gesek, sehingga tekanan yang diberikan tidak konstan. Namun, pada penelitian ini mekanisme mesin las gesek telah menggunakan hidrolik yang membuat pemberian tekanan gesek menjadi lebih konstan dibandingkan dengan menggunakan pegas. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik struktur mikro dan sifat mekanis pada sambungan logam pipa kuningan menggunakan metode pengelasan gesek.

2.2 Dasar Teori

Saat ini, teknik las sudah banyak dipergunakan secara luas dalam penyambungan batang logam pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi pengelasan disebabkan karena bangunan dan hasil yang dibuat dengan menggunakan teknik pengelasan ini menjadi lebih ringan dan prosesnya juga lebih sederhana, sehingga untuk biaya yang dibutuhkan juga menjadi jauh lebih murah. Perkembangan aplikasi teknik pengelasan di dalam bidang konstruksi sangatlah luas, meliputi: teknik perkapalan, pembangunan jembatan, pembuatan rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel, dan lain sebagainya. Pemanfaatan las juga dapat digunakan untuk sarana reparasi, misalnya: untuk mengisi lubang-lubang pada coran, mempertebal bagian yang aus, dan macam-macam reparasi lainnya (Wiryosumarto dan Okumura, 2004).

DIN (*Deutch Industrie Normen*) mendefinisikan las sebagai sebuah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan adalah salah satu proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi menggunakan bahan tambahan maupun tidak (Wiryosutomo dan Okumura, 2008). Selain untuk menyambung, proses pengelasan dapat juga digunakan sebagai sarana perbaikan. Seperti misalnya untuk mengisi atau menambal lubang-lubang pada bagian-bagian coran yang sudah aus.

Berdasarkan kondisinya, terdapat beberapa penggolongan jenis las, yakni antara lain sebagai berikut:

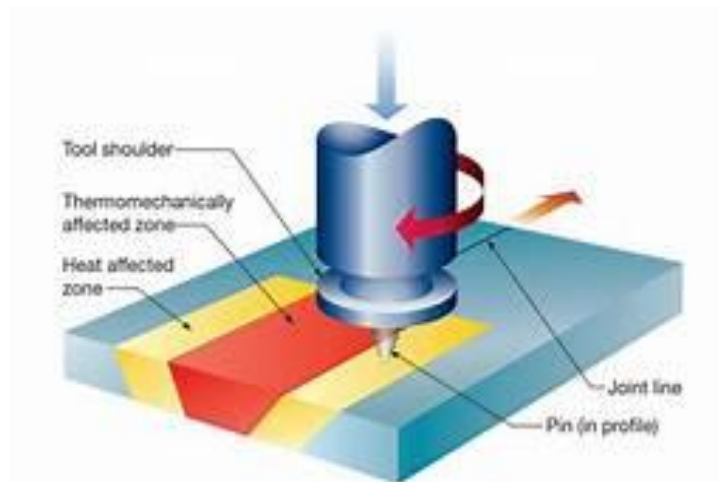
1. Pengelasan cair (*fusion welding*), yakni cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan (*pressure welding*), yakni merupakan proses pengelasan yang dilakukan dalam kondisi padat.
3. Pematrian (*brazing*), yakni merupakan pengelasan dengan cara memanaskan logam pengisi (*filler metal*) di bawah titik leleh dari logam induknya.

2.3 Friction Welding

American Welding Society (AWS) mendefinisikan *friction welding* sebagai sebuah metode pengelasan padat (solid state). Proses penyambungan pada *friction welding* dilakukan pada suhu yang lebih rendah dari titik leleh logam induknya. Terdapat beberapa jenis *friction welding* berdasarkan metode penggesekannya, yakni antara lain: *Friction Stir Welding*, *Linier Friction welding*, dan *Continuous Drive Friction welding*.

2.3.1 Friction Stir Welding (FSW)

Friction Stir Welding merupakan sebuah metode pengelasan gesek dengan memanfaatkan putaran *tool* yang berfungsi untuk menyambung dua buah logam dan menghasilkan sambungan yang kontinyu.

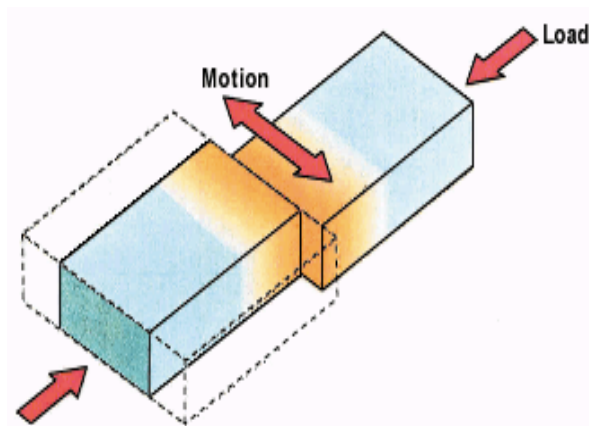


Gambar 2.1 Proses *Friction Stir Welding*

www.neimagazine.com (2018)

2.3.2 Linear Friction Welding (LFW)

Linear Friction Welding merupakan sebuah metode penyambungan jenis padat. 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.



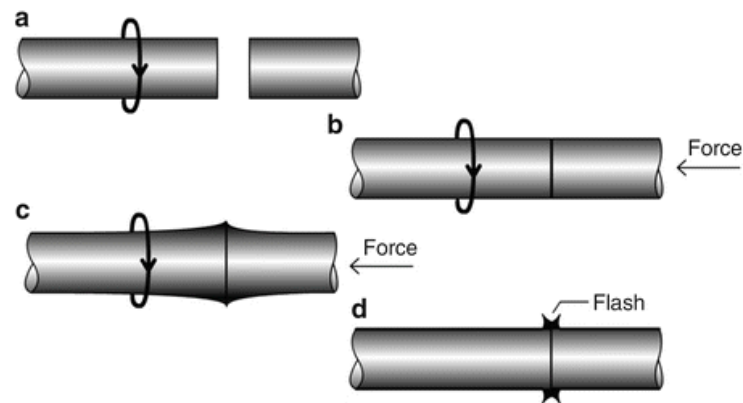
Gambar 2.2 Proses *Linear Friction Welding*

www.twi-global.com (2018)

2.3.3 Continuous Drive Friction Welding (CDFW)

Continuous Drive Friction Welding (CDFW) merupakan metode pengelasan jenis padat yang menggunakan kombinasi fenomena fisik, yakni: panas gesekan, deformasi plastis, siklus panas dan pendinginan, serta perubahan kondisi padat. CDFW merupakan 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).

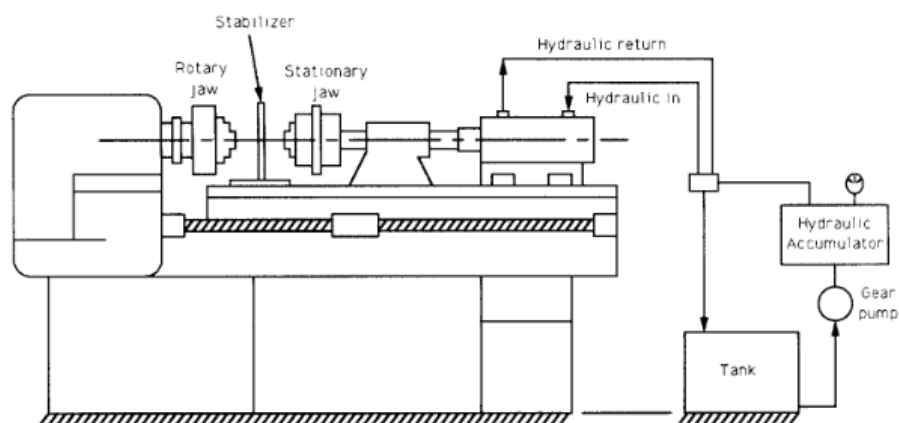
Pada proses penyambungan CDFW, ada beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan. Hal ini berkaitan dengan kualitas dan kekuatan sambungan yang diperoleh. Kualitas dan kekuatan sambungan bergantung pada pemilihan parameter yang digunakan (Ozdemir, 2005). Parameter yang digunakan pada proses penyambungan CDFW adalah tekanan gesek (P_f), waktu gesek (t_f), tekanan upset (P_u), waktu upset (t_u), dan kecepatan putaran (n).



Gambar 2.3 Proses Penyambungan *Continuous Drive Friction Welding*

<https://link.springer.com> (2018)

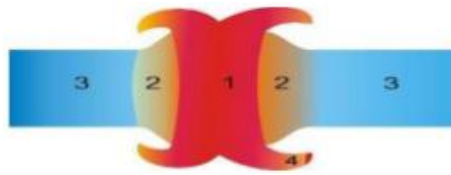
Selanjutnya pada proses pemasangan benda kerja pada mesin, salah satu benda kerja dipasang pada tempat yang berputar sementara benda kerja yang lain ditempatkan pada kondisi diam (A). Apabila kecepatan putar telah sesuai, kedua benda kerja disatukan dengan gaya aksial, seperti yang terlihat pada gambar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



Gambar 2.4 Skema Persiapan Pengelasan Gesek

Yilbas. (1995)

Proses penyambungan CDFW menimbulkan suhu panas yang tinggi akibat gesekan dari kedua permukaan material. Panas tersebut dapat memengaruhi sifat mekanis dan metalurgi dari material (Sahin, 1998). Daerah yang terkena pengaruh saat pengelasan disebut daerah pengelasan. Daerah pengelasan dibagi menjadi 4 daerah, yakni:



Gambar 2.5 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. Daerah HAZ merupakan daerah paling kritis dari sambungan las, karena selain berubah strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah tersebut.
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.

2.3.4 Kelebihan Pengelasan Gesek

1. Dapat menyambung logam yang berbeda jenis.
2. Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) sempit.
3. Tidak membutuhkan logam pengisi.
4. Sambungan merata pada bagian *interface*.
5. Waktu pengelasan relatif cepat.

2.3.5 Aplikasi Pengelasan Gesek



a. Axle Kendaraan



b. Universal Joint



c. Engine Valve



d. Transmission input shaft

Gambar 2.6 Aplikasi Pengelasan Gesek
(www.gatwicktechnologies.com, 2018)

2.4 Logam Kuningan

Kuningan merupakan paduan logam tembaga dan logam seng dengan kadar tembaga antara 60-96% massa. Kuningan merupakan logam yang merupakan campuran dari tembaga dan seng. Tembaga merupakan komponen utama dari kuningan. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap, hingga ke cahaya kuning kepekaan yang bergantung pada jumlah kadar seng. Dalam perdagangan dikenal 3 jenis kuningan, yaitu:

1. Kawat kuningan (*brass wire*), dengan kadar tembaga antara 62-95%.
2. Pipa kuningan (*seamless brass tube*), dengan kadar tembaga antara 60-90%.
3. Plat kuningan (*brass sheet*), dengan kadar tembaga antara 60-90%.

Seng lebih banyak memengaruhi warna kuning tersebut. Kuningan lebih kuat dan lebih keras daripada tembaga, tetapi tidak sekuat atau sekeras baja.

Kuningan sangat mudah untuk dibentuk ke dalam berbagai bentuk, sebuah konduktor panas yang baik, dan umumnya tahan terhadap korosi dan air garam. Karena sifatnya tersebut, kuningan kebanyakan digunakan untuk membuat pipa, tabung, sekrup, radiator, alat musik, aplikasi kapal laut dan *casting cartridge* untuk senjata api.

➤ Jenis-Jenis Kuningan:

- a. Kuningan Admiralty, Mengandung 30% seng, dan 1% timah.
- b. Kuningan Aich, Mengandung 60,66% tembaga, 36,58% seng, 1,02% timah, dan 1,74% besi. Dirancang untuk digunakan dalam pelayanan laut karena sifatnya yang tahan korosi, keras, dan tangguh.
- c. Kuningan Alpha, Memiliki kandungan seng kurang dari 35%. Bekerja dengan baik pada suhu dingin.
- d. Kuningan Alpha-beta (Muntz), sering juga disebut sebagai kuningan dupleks, mengandung 35-45% seng. Bekerja baik pada suhu panas.
- e. Kuningan Aluminium, Mengandung aluminium yang menghasilkan sifat peningkatan ketahanan korosi.
- f. Kuningan dari arsenikum, Berisi penambahan arsenik dan aluminium.
- g. Kuningan Cartridge, mengandung 30% seng, memiliki sifat kerja yang baik pada suhu dingin.
- h. Kuningan umum atau kuningan paku keling, mengandung 37% seng, murah dan standar sifat kerja baik pada suhu dingin.
- i. Kuningan DZR atau dezincification, adalah kuningan dengan persentase kecil arsenik.
- j. Kuningan Tinggi, mengandung 65% tembaga dan 35% seng, memiliki kekuatan tarik tinggi, banyak digunakan untuk pegas, sekrup, dan paku keling.
- k. Kuningan Bertimbal.
- l. Kuningan Bebas Timbal.
- m. Kuningan Rendah, paduan tembaga-seng mengandung 20% seng, memiliki sifat warna keemasan.

- n. Kuningan Mangan, kuningan yang digunakan dalam pembuatan koin dolar emas di Amerika Serikat. Mengandung 70% tembaga, 29% seng, dan 1,3% mangan.
- o. Kuningan nikel, terdiri dari 70% tembaga, 24,5% seng, dan 5,5% nikel. digunakan untuk membuat koin mata uang Poundsterling.
- p. Kuningan Angkatan Laut, mirip dengan kuningan admiralty, mengandung 40% seng dan 1% timah.
- q. Kuningan Merah, mengandung 85% tembaga, 5% timah, 5% timbal, dan 5% seng.
- r. Kuningan Tombac, mengandung 15% seng. Sering digunakan dalam aplikasi produk perhiasan.
- s. Kuningan Tonval (Juga disebut dengan CW617N atau CZ122 atau OT58), paduan tembaga-timbal-seng.
- t. Kuningan Putih, mengandung seng lebih dari 50%. Sifatnya sangat rapuh untuk penggunaan umum.
- u. Kuningan Kuning, adalah istilah Amerika untuk kuningan yang mengandung 33% seng.

Tabel 2.1 Titik Leleh Standar Kuningan (Indra, 2013)

<u>Komposisi Bahan</u>	<u>Titik Cair (oC)</u>
85% Cu – 15% Zn	1150-1200
70% Cu – 20%Zn	1080-1130
60% Cu – 40% Zn	1030-1080

2.5 Pengujian Mikro Struktur

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) ditunjukkan dengan besar, bentuk, dan orientasi butirannya, jumlah fasa, dan juga proporsi 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:

1. Pemotongan (*Cutting*)

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

2. Pengamplasan (*Grinding*)

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

3. Pemolesan (*Polishing*)

Pemolesan bertujuan untuk mengkilapkan permukaan serta membersihkan kotoran-kotoran pada permukaan. Pada proses pemolesan, bahan yang dipakai biasanya yakni berupa autosol, kit, atau braso.

4. Etsa (*Etching*)

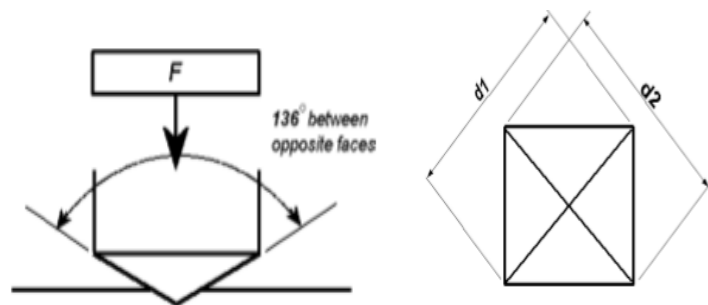
Etsa merupakan proses pengkorosian atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali pada permukaan benda uji dengan bantuan senyawa kimia, baik menggunakan listrik maupun tidak. Etsa bertujuan agar permukaan benda uji yang akan diamati dapat dilihat secara jelas detail strukturnya.

5. Pemotretan

Proses pemotretan dilakukan dengan menggunakan *inverted metallurgical microscope*.

2.6 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 indenter intan berbentuk piramida dengan dasar persegi dan sudut puncak 136° yang ditekan dengan beban (F) terhadap material yang akan diuji.



Gambar 2.7 Indentasi Micro Vickers

(Gordonengland, 2014)

Perhitungan nilai kekerasan vickers (VHN) dapat dilakukan dengan cara mengukur diagonal goresan yang terjadi pada bahan. Rumus perhitungan VHN adalah sebagai berikut:

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1.854)p}{d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

VHN = *vickers hardness number*

P = beban yang digunakan (kgf)

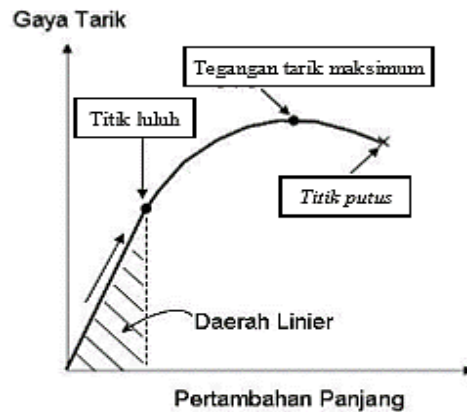
D = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antar permukaan intan yang beadapan 136°

2.7 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik merupakan metode pengujian yang paling sering dilakukan. Hal ini dikarenakan pengujian tarik 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 (Surdia, 1999). 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 2.8.



Gambar 2.8 Kurva Tegangan-Regangan
(Sastranegara, 2010)

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

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

Keterangan :

F : Gaya Tarik

A : Luas Penampang

$$\text{Strain: } \epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

ΔL : Pertambahan Panjang

L : Panjang Awal

Hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dapat dirumuskan

dengan hukum Hooke: $E = \sigma / \epsilon$.