

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian dengan menggunakan penyambungan las gesek (*friction welding*) masih sedikit di lakukan, karena penelitian ini masih relatif baru. Variasi material yang digunakan untuk penelitian juga masih relatif sedikit dan kebanyakan menggunakan material yang sama (*similar*). Tetapi ada beberapa penelitian yang sudah melakukan pengujian terkait kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro dengan menggunakan metode sambungan las gesek.

Nugroho, dkk (2016), meneliti tentang mikrostruktur dan kekerasan sambungan Pipa Tembaga/Kuningan (Cu/Cu-Zn) dengan metode las gesek. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan butiran di daerah TMAZ pada waktu gesek 25-30 detik semakin mengecil, sehingga kekerasan paling tinggi (93,6 VHN pada Cu-Zn dan 57 VHN pada Cu), pada waktu gesek 60 detik, terjadi rekristalisasi sehingga butirannya membesar dan mempunyai kekerasan terendah (62,4 VHN di Cu-Zn dan 36,3 VHN di Cu). Sedangkan pada daerah HAZ butirannya lebih besar dan hampir sama dengan struktur mikro *base metal*-nya, dengan kekerasan 40-50 VHN di Cu dan 69-80 VHN di Cu-Zn.

Moghaddam, dkk (2011), melakukan penelitian terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik dari sambungan gesek (*Friction Stir Welding*) dengan material paduan kuningan Cu-30Zn. Dengan menggunakan kecepatan putaran tetap pada 950 rpm dan kecepatan umpan bervariasi pada kisaran 190-375 mm / menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa profil ukuran butir tidak bergantung pada kecepatan umpan dan nilai kekerasan menurun dengan kenaikan kecepatan umpan. Peningkatan kecepatan umpan menyebabkan sedikit peningkatan kekuatan luluh dan kekuatan tarik akhir.

Namun, keuletan sangat berkurang dari 57% menjadi 27%. Selain itu, diamati bahwa selama uji tarik, fraktur retakan berasal persis di sebelah samping pengaduk.

Chen, dkk (2015), melakukan penelitian dengan menggunakan material Pipa Al3003 dan pipa tembaga murni dengan ketebalan (Al: 1,5 mm; Cu: 1 mm) dan diameter (19 mm) berhasil digabungkan dengan metode pengelasan yang dikembangkan dengan sistem pengelasan gesekan aduk (FSW). Dari hasil penelitian tersebut didapatkan suhu pengelasan terus meningkat pada suhu 220°C pertama dari pengelasan melingkar dan relatif stabil untuk rotasi 140°C berikut. Untuk rotasi 40° terakhir pengelasan, suhu pengelasan menurun karena penurunan ketebalan yang disebabkan oleh lasan pengelasan pertama. Pada spesimen uji tarik juga tidak ditemukan retak di daerah patahan Al / Cu, terdapat fraktur getas di dekat permukaan Al / Cu yang mengarah ke sisi permukaan Al dan keuletan menurun sebesar 3%.

Kimura, dkk (2016), melakukan penyambungan logam pipa berdinding tipis antara aluminium AA6063 (A6063) dan AISI 304 *stainless steel* (SUS304) dengan ketebalan pipa 1,5 mm, kecepatan putaran 27,5 rps dan tekanan gesek 30 MPa. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa pipa aluminium AA6063 dan *stainless steel* A304 dapat menempel. Sambungan dengan tekanan gesek 30 MPa dan waktu 0,4 detik tidak memiliki lapisan intermetalik (IMC) layer (*interlayer*) pada antarmuka las, sedangkan untuk variasi waktu gesekan 1,6 detik memiliki lapisan intermetalik (IMC) layer (*interlayer*). Namun, sambungan dengan tekanan tempa 150 Mpa memiliki flash dengan bagian dalam A6063 menempel ke permukaan bagian dalam dari sisi SUS304.

Arivazhagan, dkk (2011). Mempelajari struktur mikro dan sifat mekanis baja AISI 304 dan AISI 4140 sendi baja paduan rendah oleh Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Elektron Beam Welding (EBW) dan Gesekan Welding (FRW). Untuk masing-masing lasan, analisis rinci dilakukan pada komposisi fasa, karakteristik struktur mikro dan sifat mekanik. Hasil analisis menunjukkan bahwa sambungan yang dibuat oleh EBW memiliki kekuatan tarik tertinggi (681 MPa) dibandingkan sambungan yang dibuat oleh GTAW (635 Mpa) dan FRW (494 Mpa).

Dari fraktograf, dapat diamati bahwa daktilitas EBW dan GTA lebih tinggi dengan elongasi 32% dan 25% masing-masing bila dibandingkan dengan friction weldment (19%). Selain itu, kekuatan dampak lasan yang dibuat oleh GTAW lebih tinggi dibandingkan dengan EBW dan FRW

Nugroho, dkk (2015), meneliti sifat mikrostruktur dan kekuatan pengelasan dari sambungan las gesek dengan menggunakan material austenitic stainless (AISI 304). Pengelasan dilakukan dengan mengatur tekanan gesek sebesar 1.38 - 4.14 Mpa dan tekanan 6.90 - 8.27 Mpa. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terjadi porositas di daerah sambungan/ikatannya, ketika tekanan gesek meningkat daerah yang berubah bentuk sepenuhnya plastis mengalami peningkatan. Dari hasil pengujian tarik juga didapatkan kekuatan sambungan las lebih rendah dari pada logam induk.

Park, dkk (2004), Melakukan penelitian tentang karakteristik struktur mikro dan sifat mekanis dengan menggunakan metode sambungan las gesek (*Friction Stir Welding*) dengan bahan paduan Cu-Zn (60/40 kuningan). Dari penelitian tersebut didapatkan hasil daerah sambungan lasan bebas cacat, hasil ini diperoleh dalam kondisi pengelasan yang relatif lebar. Kecepatan putaran alat berkisar antara 1000 - 1500 rpm dengan kecepatan pengelasan dari 500 hingga 2000 mm / menit, dan 500 rpm — 500 mm / menit. Struktur mikro dari sambungan lasan menghasilkan butiran yang sangat halus dengan beberapa butir yang terdeformasi di zona sambungan. Nilai kekerasan pada daerah sambungan pengelasan jauh lebih tinggi dari pada logam dasar, meningkat dengan penurunan input panas. Penurunan input panas sendiri menjadi faktor utama yang menyebabkan peningkatan kekerasan.

Meran, dkk (2007), melakukan penelitian untuk menunjukkan kelayakan pengelasan friction stir welding (FSW) AISI 304 austenitic stainless steel. Alat yang digunakan dibentuk dari paduan berbasis tungsten. Spesimen dilas pada mesin penggilingan vertikal 11 kW. Cacat bebas las diproduksi pada pelat 2,5 mm baja Austan australitik austenitik panas AISI 304 pada kecepatan perjalanan berkisar antara 40 hingga 100 mm / menit dengan kecepatan putar konstan 1000 rpm.

Kekuatan tarik dan nilai kekerasan antarmuka las ditentukan dan fitur struktur mikro dari sampel ini diselidiki. Kecepatan standar 1 180 menit – 1, gaya perkakas tekan 7 kN dan dengan sudut kemiringan alat 2,0 °.

Dari beberapa parameter penelitian yang telah dilakukan, masih sedikit penelitian dengan menggunakan pengujian tarik pada sambungan pipa atau material pejal dengan menggunakan metode sambungan pengelasan gesek, selain itu material yang dipakai juga masih sedikit dan belum banyak variasi. Penggunaan material sambungan pipa *stainless steel* dan pipa kuningan juga belum pernah digunakan pada penelitian terdahulu.

2.2 Dasar Teori

Sejarah pengelasan menurut Wiryosumarto (2000) berdasarkan dari benda-benda sejarah yang telah ditemukan dapat disimpulkan bahwa teknik penyambungan logam telah digunakan sejak zaman prasejarah, misal pembrasingan logam paduan emas-tembaga dan pematian paduan antara logam timbal-timah, berdasarkan dari keterangan tersebut dapat diketahui praktek penyambungan logam sudah dilakukan dalam rentang waktu antara tahun 4000 sampai 3000 S.M. Sumber energi panas yang digunakan pada waktu itu berasal dari pembakaran kayu atau arang. Karena suhu yang diperoleh dari pembakaran kayu dan arang kurang maksimal maka teknik penyambungan logam pada waktu itu tidak dikembangkan lagi.

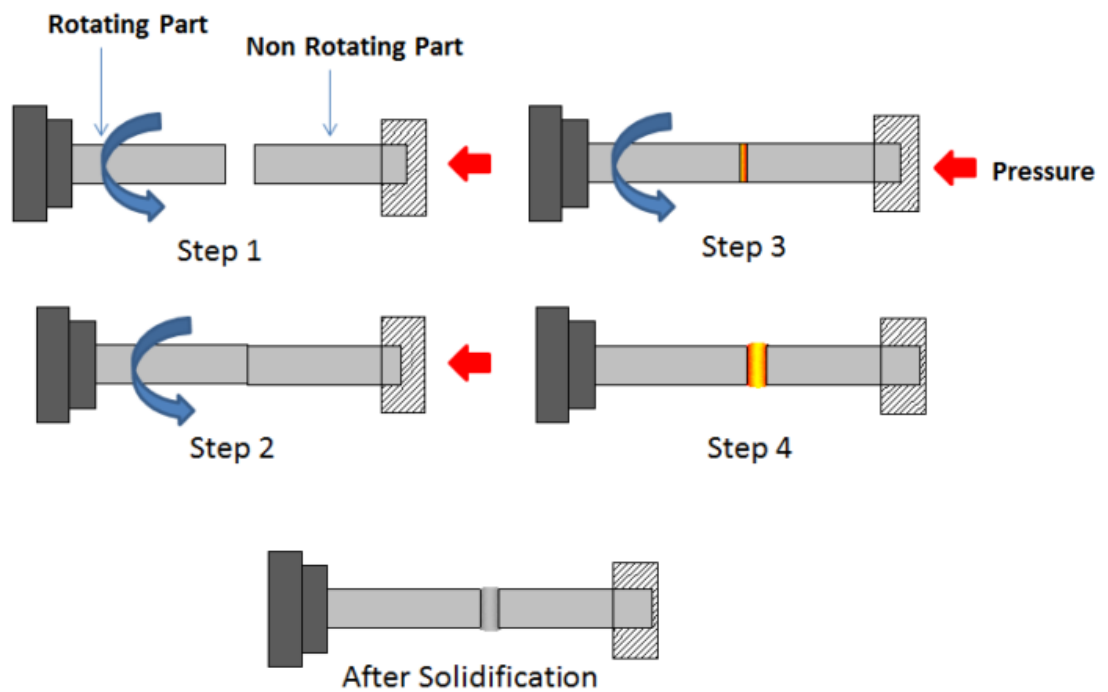
Berdasarkan cara kerjanya pengelasan digolongkan menjadi :

- a. Pengelasan Cair, yaitu proses pengelasan atau penyambungan logam dengan menggunakan cara melelehkan bagian logam yang akan disambung dengan menggunakan energi listrik atau api.
- b. Pengelasan tekan, yaitu adalah proses pengelasan atau penyambungan logam dengan menggunakan cara material dipanaskan terlebih dahulu kemudian ditekan sehingga kedua permukaan material logam tersebut dapat tersambung menjadi satu.

- c. Pematrian adalah sebuah metode penyambungan dua logam dengan menggunakan bahan tambahan, bahan tambahan tersebut biasanya mempunyai titik cair yang lebih rendah dsri logam induk, pada saat proses pematrian berlangsung logam induk tidak ikut meleleh.

2.3 Pengertian Las Gesek

Seiring perkembangan zaman, metode pengelasan sekarang semakin maju dan mempunyai banyak jenis pengelasan, salah satunya adalah las gesek. Menurut Nur Husodo, dkk (2013) Teknologi las gesek (*friction welding*) adalah salah satu metode proses pengelasan jenis solid state welding. Panas yang dihasilkan pada pengelasan gesek berasal dari gesekan permukaan kedua material. Dengan mengkombinasikan panas dan tekanan tempa maka dua buah logam akan tersambung. Teknologi las gesek sekarang sudah mulai banyak dikembangkan. Las gesek ini mudah dioperasikan karena mesin las gesek menyerupai mesin bubut, proses penyambungan cepat, tidak memerlukan logam pengisi, dan hasilnya baik.



Gambar 2.1. Pengelasan Gesek. (www.theweldingmaster.com)

2.4 Kelebihan Pengelasan Gesek

- a) Penyambungan dapat dilakukan untuk logam yang berbeda.
- b) Sambungan yang terjadi rata di semua bagian.
- c) Tidak perlu memakai logam tambahan.
- d) Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) sempit.
- e) Proses pengelasannya relatif cepat.

2.5 Stainless Steel

Definisi ” *Stainless Steel* ” , adalah paduan besi yang mengandung minimal 12 % kromium. Material stainless steel mempunyai daya tahan yang sangat tinggi terhadap korosi dan memiliki sifat keras dan kuat. *Stainless steel* juga memiliki permeabilitas magnetis dan juga mampu mempertahankan kekuatan serta tahanan oksidasi. Material ini banyak digunakan di beberapa bidang baik di dalam bidang industri maupun di bidang yang lainnya (Ramadhan, S, 2017).

Outokumpu (2013), menyatakan bahwa paduan besi-kromium (Fe-Cr) dengan penambahan nikel (Ni) disebut sebagai baja tahan karat (*Stainless Steel*). *Stainless steel* memiliki sifat tahan terhadap konsentrasi asam, tidak mudah berkarat jika terkena air laut, dan memiliki titik lebur sampai 1100°C.

2.6 Klasifikasi Stainless Steel

Stainless steel didasarkan pada kandungan krom (Cr) yang ada pada besi, unsur paduan yang lain juga ditambahkan yang bertujuan untuk memperbaiki sifat *stainless steel*. Kategori stainless steel bukan hanya didasarkan pada presentase kromnya, tetapi juga pada struktur metalurginya.

Ditinjau dari kadar kandungan kromnya, *stainless steel* dapat dibagi menjadi empat macam yaitu :

1. *Martensitic*

Yaitu besi yang memiliki campuran *chrome* sebanyak 12% sampai 14%, serta *carbon* antara 0,08-2,0%. Kandungan *carbon* yang tinggi dapat merespon panas dengan baik serta berbagai kekuatan mekanis, seperti kekerasan baja. Logam ini mempunyai sifat yang bagus dari ketahanan korosi dan perlakuan panas, sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Baja tahan karat ini bersifat *magnetis*.

Tabel 2.1 Jenis *stainless steel martensitic* (<http://www.teknikmesin.org>)

AISI Type	Carbon %	Chromium %	Other %
410	0.15 max	12	-
414	0.15 max	12	2.0 Nikel
416	0.15 max	13	0.3 Sulphur
420	0.15 max	13	-
431	0.20 max	16	2.0 Nikel

2. Ferritic

Stainless steel ferritic mempunyai kandungan *chrome* sebanyak 17% dan *carbon* antara 0,08-0,2%. Mempunyai sifat tahan korosi yang dapat meningkat pada yang suhu tinggi, tetapi sulit dilakukan perlakuan panas pada *stainless steel* jenis ini sehingga aplikasinya tidak terlalu banyak dan terbatas, logam jenis ini juga bersifat *magnetis*.

Tabel 2.2 Jenis *stainless steel ferritic* (<http://www.teknikmesin.org>)

AISI Type	Carbon %	Chromium %	Other %
429	0.12 max	15	-
430	o.12 max	17	-
434	0.12 max	17	1.0 Molybdenum
442	0.20 max	20	-
446	0.20 max	25	0.15 Nitrogen

3. Austenitic

Austenitic mempunyai kandungan *chrome* antara 17-25% dan *Nikel* pada kisaran 8-20% serta beberapa unsur tambahan untuk mendapatkan sifat yang diinginkan. Baja tahan karat ini bersifat *non magnetic*.

Tabel 2.3 kelompok *stainless steel austenitic* (<http://www.teknikmesin.org>)

AISI Type	Carbon %	Chromium %	Nikel %	Other %
201	0.15	16 – 18	3.5 – 5.5	N 0.25 ; Mn 5.5 – 7.5
202	0.15	17 – 19	4.0 – 6.0	P 0.06
301	0.15	16 – 18	6.0 – 8.0	N 0.25 ; Mn 7.5 - 10
302	0.15	17 – 19	8.0 – 10.0	P 0.06
304	0.08	18 – 20	8.0 – 12.0	-
304 L	0.03	18 – 20	8.0 – 12.0	-
308	0.08	19 – 21	10.0 – 12.0	-
309	0.20	22 – 24	12.0 – 15.0	-
310	0.25	24 – 26	19.0 – 22.0	-
316	0.08	16 – 18	10.0 – 14.0	-
316 L	0.03	16 -18	10.0 – 14.0	-
317	0.08	18 - 20	11.0 – 15.0	Si 1.50

Untuk *stainless steel* 304 sendiri memiliki modulus elastisitas kurang lebih sebesar 28 GPa.

4. Duplex

Adalah baja tahan karat jenis baru yang mempunyai keseimbangan campuran antara *chromium*, *nikel*, *molibdenum* dan *nitrogen* dengan campuran yang sama antara kelompok *austenite* dan kelompok *ferritic*. Duplex mempunyai kekuatan yang bagus, serta tahan terhadap korosi , biasanya disebut UNS untuk merk dagang.

Kelompok *stainless steel* duplex

- a) UNS S31803
- b) UNS S3275

2.7 Kuningan

Kuningan adalah logam paduan antara tembaga (Cu) dengan seng (Zn) dengan kandungan seng (Zn) yang memiliki variasi antara 10% - 40% , semakin banyak campuran kuningan maka seng itu akan menjadi semakin kuat. Kadar kandungan seng (Zn) juga mempengaruhi warna dari kuningan, kuningan biasanya berwarna coklat kemerahan sampai kuning cerah.

Wirjosumarto, Harsono (2000) Unsur paduan tembaga biasanya menggunakan Zn, Sn, Si, Al, Ni, dan lainnya. Paduan antara Cu-Zn, biasa disebut kuningan, untuk paduan Cu-Sn biasa disebut perunggu. Jenis paduan yang lain biasanya juga disebut perunggu, misal paduan tersebut memiliki kandungan fosfor maka dapat disebut perunggu fosfor, sedangkan untuk paduan Cu-Si dapat disebut perunggu silikon dan paduan Cu-Al biasa disebut dengan perunggu aluminium. Kuningan memiliki nilai modulus elastisitas kurang lebih 50 GPa.

Keunggulan logam kuningan antara lain :

1. Logam yang tahan terhadap korosi dan air laut.
2. Penghantar panas yang bagus (banyak diaplikasikan untuk onderdil kendaraan).
3. Memiliki keuletan yang tinggi dan bisa dibentuk.
4. Kekerasannya lebih bagus daripada tembaga.

Karena keunggulan tersebut kuningan biasanya di aplikasikan pada alat musik, radiator, pipa dan *casting cadridge* untuk senjata api.

2.8 Pengujian Tarik

Untuk dapat mengetahui sifat mekanik pada suatu material, maka material tersebut harus dilakukan pengujian,yaitu dengan cara menarik spesimen material tersebut dengan perlahan, kita dapat mengetahui reaksi dari material tersebut dengan

memberikan pembebanan serta melihat seberapa panjang material itu dapat bertahan dan sampai akhirnya material tersebut putus.

Menurut Setiawan (2013), pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu material yang dapat digunakan untuk data pendukung bagi spesifikasi material tersebut. Tujuan dari pengujian tarik yaitu untuk mengetahui tegangan luluh, tegangan tarik maksimum, serta regangan material melalui kurva tegangan-regangan. Pada pengujian ini yang menjadi pusat perhatian adalah kemampuan maksimum material tersebut dalam menahan beban tarik atau biasa disebut tegangan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength*).

2.8.1 Hukum Hooke (*Hooke's Law*)

Hampir semua logam pada tahap awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva penambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut :

rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan

$$\text{Stress: } \sigma = F/A \quad \dots(2.1)$$

F: gaya tarikan, A: luas penampang

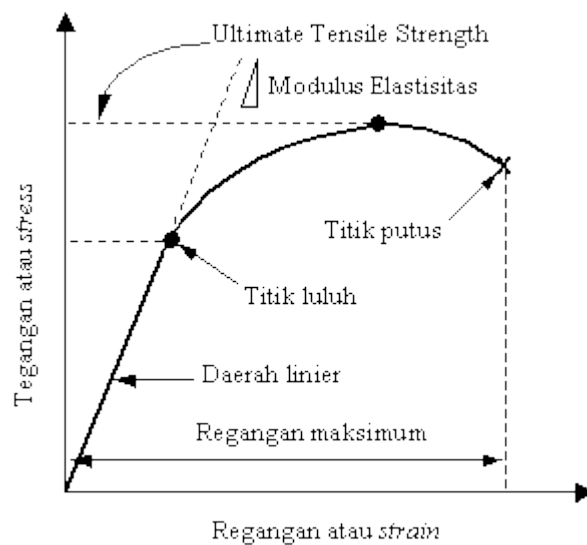
$$\text{Strain: } \varepsilon = \Delta L/L \quad \dots(2.2)$$

ΔL : pertambahan panjang, L: panjang awal

Hubungan antara stress dan strain dirumuskan

$$E = \sigma / \varepsilon \quad \dots(2.3)$$

Selanjutnya , yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. E merupakan gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ε) tetap. E diberi nama “*Modulus Elastisitas Young*” atau “*Young’s Modulus*”. Kurva yang menggambarkan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini biasa disebut kurva SS (*SS curve*).



Gambar 2.2 Kurva tegangan dan regangan (<http://www.infometrik.com>)

Di dalam pengujian tarik biasanya terdapat istilah sebagai berikut :

- a. Deformasi plastis (*plastic deformation*)
Adalah perubahan bentuk pada spesimen yang tidak dapat kembali ke keadaan semula. Yaitu apabila spesimen ditarik hingga melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.
- b. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)
Yaitu tegangan maksimum sebelum spesimen memasuki daerah *landing* peralihan antara deformasi elastis ke plastis.

- c. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)
Yaitu tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum memasuki fase deformasi plastis. Jika hanya disebut dengan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.
- d. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*)
Adalah regangan permanen saat spesimen mulai memasuki fase deformasi plastis.
- e. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)
Adalah regangan yang diakibatkan dari perubahan elastis spesimen. Ketika beban dilepas regangan ini akan kembali pada posisi semula.
- f. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)
Yaitu regangan akibat adanya perubahan plastis. Pada saat beban dilepas, regangan ini tetap ada sebagai perubahan permanen pada spesimen.
- g. Regangan total (*total strain*)
Adalah gabungan antara regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$.
- h. Tegangan tarik maksimum TTM (*UTS, ultimate tensile strength*)
Adalah besar tegangan maksimum yang diperoleh dari pengujian tarik.
- i. Kekuatan patah (*fracture strength*)
Adalah besar tegangan di mana spesimen uji patah atau putus.
- j. Tegangan luluh pada data tanpa batas jelas antara perubahan elastis dan plastis
Untuk hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan *landing* yang jelas, tegangan luluh biasanya didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini disebut *offset-strain*.
- k. Kelenturan (*ductility*)
Merupakan sifat mekanik bahan yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik. Bahan disebut lentur (*ductile*) bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu suatu bahan disebut getas (*brittle*).
- l. Derajat kelentingan (*resilience*)

Derajat kelentingan didefinisikan sebagai kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase perubahan elastis. Sering disebut dengan Modulus Kelentingan (*Modulus of Resilience*), dengan satuan *strain energy per unit volume* (Joule/m³ atau Pa).

m. Derajat ketangguhan (*toughness*)

Kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus. Sering disebut dengan Modulus Ketangguhan (modulus of toughness).

n. Pengerasan regang (*strain hardening*)

Sifat kebanyakan logam yang ditandai dengan naiknya nilai tegangan berbanding regangan setelah memasuki fase plastis.

o. Tegangan sejati, regangan sejati (*true stress, true strain*)

Untuk beberapa kasus definisi tegangan dan regangan seperti yang sudah dijelaskan diawal tidak dapat digunakan. Maka digunakan definisi tegangan dan regangan sejati, dengan cara tegangan dan regangan berdasarkan luas penampang bahan secara *real time*.

2.9 Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan suatu material sebagai ukuran ketahanan terhadap deformasi plastis dan kekerasan, dinyatakan dalam angka kekerasan menggunakan skala vickers. Kekerasan pada suatu bahan bisa dijadikan parameter sebagai ketahanan bahan tersebut terhadap gaya penekanan dari bahan yang lebih keras. Penekanan dapat berupa mekanisme pantulan, penggoresan (*stratching*), ataupun indentasi dari material terhadap suatu permukaan benda uji.

Mekanisme penekanan dibagi menjadi 3 metode kekerasan, yaitu :

1. Metode Gores

Metode ini diperkenalkan oleh Fredrich Mohs yang membagi skala kekerasan material di dunia ini dengan menggunakan skala Mohs. Skala Mohs juga bervariasi mulai dari skala 1 untuk kekerasan yang paling lunak, contoh kekerasan ini dimiliki oleh material talk, sampai kekerasan tertinggi yaitu skala 10, contoh kekerasan ini adalah intan.

2. Metode elastic/pantul (*rebound*)

Ukuran kekerasan pada suatu bahan ditentukan dengan alat *Scleroscope* yaitu alat yang digunakan mengukur tinggi pantulan dari suatu pemukul (*hammer*) dengan berat yang sudah ditentukan kemudian dijatuhkan dari ketinggian yang sudah ditentukan terhadap material uji. Tingginya pantulan (*rebound*) akan menjadi parameter kekerasan spesimen uji tersebut. Jika pantulan yang terjadi semakin tinggi, yang ditunjukkan oleh dial pada alat pengukur, maka spesimen uji tersebut semakin keras.

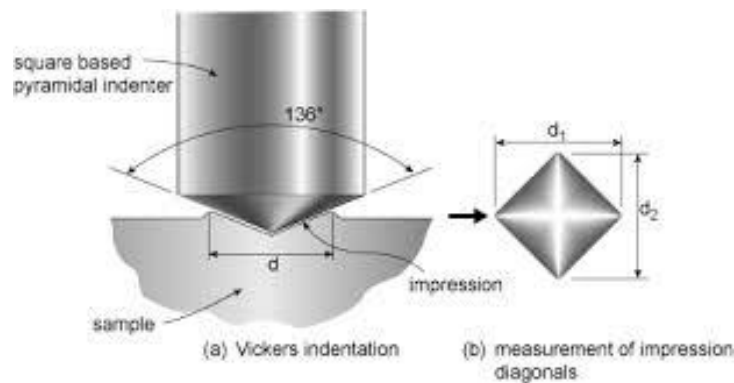
3. Metode Identasi

Metode pengujian kekerasan bahan ini adalah dengan cara mengukur tahanan plastis permukaan suatu bahan konstruksi mesin dengan spesimen standar menggunakan penetrator. Ada beberapa macam penetrator atau cara pengesanan ketahanan permukaan, yang biasa dipakai adalah:

- a. Ball indentation test (Brinell).
- b. Pyramida indentation (Vickers).
- c. Cone indentation test (Rockwell).
- d. Uji kekerasan mikro.

Untuk uji kekerasan yang dipakai adalah menggunakan metode Pyramida Indentation (Vickers). Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berbentuk piramida dengan sudut puncak 136° , berbeda dengan pengujian

kekerasan brinell atau rockwell yang menggunakan lebih dari satu jenis indenter, pengujian ini hanya menggunakan satu indenter yang ditekan pada bagian permukaan spesimen uji



Gambar 2.4 Uji Kekerasan Vickers (<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-27289-6308030041-Presentation.pdf>)

2.10 Pengujian Struktur Mikro

Setiap logam memiliki sifat mekanik yang berbeda, bukan dikarenakan komposisi kimia atau paduan logam tersebut, tapi juga struktur mikronya. Logam dengan campuran kimia yang sama bisa mempunyai struktur mikro yang berbeda, dan sifat mekaniknya juga berbeda. Metalografi adalah metode pemeriksaan atau pengamatan yang bertujuan mempelajari hubungan antara struktur dengan sifat logam atau paduan.

Menurut Setiawan (2013), Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dan diamati dengan menggunakan mikroskop. Metalografi adalah ilmu yang mempelajari tentang bentuk struktur mikro pada suatu logam. Sifat mekanik serta fisik suatu logam dapat diketahui dengan menggunakan gambar struktur mikronya.

Pengujian secara metalografi dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

- a. Pengujian struktur makro: adalah pengujian spesimen dengan menggunakan mata terbuka, bertujuan untuk meneliti celah atau lubang pada permukaan spesimen serta perubahan bentuk dan ukuran butir karena deformasi. Spesimen dapat dilihat menggunakan mata tanpa perlu alat bantu setelah dilakukan pemolesan dan etsa. Pengujian makro biasanya digunakan untuk spesimen yang mempunyai struktur kristal besar atau kasar
- b. Pengujian struktur mikro: adalah pengujian untuk mengetahui bentuk fase spesimen, ukuran kristal logam dan perbandingan komposisi. Untuk melakukan pengujian struktur mikro diperlukan mikroskop dengan perbesaran tertentu setelah spesimen dipoles dan dietsa.