

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh A. Kurt, dkk. (2011) tentang pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik dan mikro pada sambungan AISI 1010-ASTM dengan B22. Penelitian ini menggunakan proses *continuous drive friction welding* dengan kapasitas mesin 250 kN dan kecepatan konstan 2500 rpm. Parameter dalam penelitian ini menggunakan tekanan gesek 10, 15, 20 MPa dengan waktu gesekan 3 detik. Lalu tekanan tempa 22, 25, 30 MPa dengan waktu tempa 1, 5, 7, 8 detik. Pada pengujian kekerasan, nilai kekerasan maksimum diperoleh diperoleh pada sisi baja didekat garis tengah sambungan. Nilai kekerasan umumnya meningkat dengan meningkatnya tekanan gesek dan tekanan tempa, tetapi pada penelitian ini dapat diamati bahwa nilai kekerasan menurun dengan meningkatnya waktu tempa. Selanjutnya pada pengujian tarik, secara umum kekuatan tarik meningkat dengan meningkatnya tekanan gesekan. Kekuatan tarik yang diperoleh sebesar 217 MPa pada variasi tekanan 20 MPa dan kekuatan sambungan las mencapai 70% dari kekuatan logam dasar.

Penelitian lain sambungan tembaga dengan baja pernah dilakukan oleh Yanni dan Sun, (2018). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur dan sifat mekanik sambungan tembaga dengan baja dengan metode *continuous drive friction welding*. Kecepatan rotasi yang digunakan untuk menyambung tembaga dengan baja adalah 1900 rpm. Sementara parameter lain yang digunakan yaitu tekanan gesek 20, 28, 36, dan 44 MPa dengan waktu gesek selama 5 detik. Setelah tersambung sampel-sampel dari berbagai parameter pengelasan akan dianalisa karakteristik metalografinya dan diuji tarik. Hasil dari analisa metalografi didapatkan tidak ada perbedaan yang terlihat dalam morfologi antarmuka penyambungan beda jenis tembaga dengan baja pada tekanan gesek pengelasan yang berbeda. Gambar 2.1 menunjukkan morfologi antarmuka dari sambungan tembaga dengan baja pada tekanan gesek 36 MPa. Analisis lebih lanjut yang diperoleh dari foto TEM menunjukkan bahwa tembaga dengan baja dapat saling

berdifusi meskipun tembaga dengan baja memiliki suhu leleh yang berbeda jauh. Pengujian tarik menunjukkan kekuatan tarik meningkat dengan meningkatnya tekanan gesek. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada tekanan gesek 36 MPa sebesar 222 MPa atau 95,2% dari raw materialnya. Sementara pada tekanan gesek 20 dan 28 MPa mengalami kegagalan pada matrix tembaga saat pengujian tarik. Nilai kekerasan meningkat didekat antarmuka sambungan, hal ini disebabkan karena pengaruh panas yang mempengaruhi area butir sehingga menaikkan kekerasannya.

Dalip, dkk (2013) melakukan pengamatan terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik sambungan baja ringan dengan tembaga menggunakan *friction welding*. Selama proses pengelasan kecepatan rotasi dijaga konstan pada 900 rpm dan menggunakan kekuatan up-set sebesar 120 KN. Setelah hasil lasan diperoleh pengujian dilakukan untuk memperoleh sifat mekanik dan metalurgi dari sambungan las. Hasilnya kekerasan sisi baja ringan lebih tinggi dibandingkan dengan tembaga. Kekerasan baja ringan meningkat didaerah HAZ sementara peningkatan kekerasan didaerah HAZ tembaga kurang. Tetapi disekitar antarmuka kekerasan tembaga sedikit meningkat. Kekerasan yang tinggi disemua lasan berkaitan dengan pengerasan regangan akibat tekanan tempa. Sambungan las menunjukkan kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan logam induknya. Struktur mikro menunjukkan sambungan las antara baja ringan dengan tembaga, difusi tembaga terhadap baja ringan bagus karena titik leleh tembaga jauh lebih rendah dibandingkan dengan baja ringan.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Sahin, (2009) bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi mekanik pada sambungan austenitic-stainless steel dan tembaga. Parameter yang digunakan pada *friction welding* ini adalah putaran mesin 1410 rpm, waktu gesek 8,5 detik, tekanan gesek 75 MPa, waktu tempa 25 detik, dan tekanan tempa 160 MPa. Hasil pengujian mikro yang didapat stainless steel hampir tidak pernah cacat karena suhu leleh tembaga lebih rendah dari stainless steel. Struktur mikro dari logam dasar terdiri dari austenitik. Lebar zona leleh dan zona yang terkena panas adalah 0,2 mm dan 4.5 mm. Variasi kekerasan pada bagian yang disambung dapat dilihat bahwa kekerasan tembaga meningkat.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Subianto, dkk (2016) membahas tentang pengaruh durasi gesek, tekanan gesek, dan tekanan tempa terhadap kekuatan tarik dan *impact* dari sambungan baja Aisi 105. Parameter yang digunakan pada penelitian ini meliputi waktu gesekan 50 detik, 70 detik, 90 detik selanjutnya tekanan gesek 6 MPa, 12 MPa, 18 MPa dan yang terakhir adalah tekanan tempa sebesar 24 MPa, 34 MPa, 53 MPa. Hasil yang didapat dari penelitian ini kekuatan tarik yang paling tinggi dengan lokasi patahan dilogam induk diperoleh dari kombinasi parameter tekanan gesek 18 MPa, tekanan tempa 53 MPa, dan waktu gesek 90 detik yaitu 730 MPa. Lalu kekuatan tarik terendah dengan lokasi patahan pada logam las diperoleh dari kombinasi parameter tekanan gesek 6 MPa, dengan waktu gesek 50 detik, dan tekanan tempa 24 MPa sebesar 282 MPa. Dapat dilihat dari daerah patahan menunjukkan kekuatan sambungan meningkat dengan meningkatnya tekanan gesek, tekanan tempa, dan waktu gesek. Kekuatan *impact* juga akan semakin meningkat dengan kenaikan tekanan gesek, tekanan tempa, dan waktu gesek.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan kekuatan tarik 89,5 % dibandingkan dengan logam induknya tembaga dan 55% dibandingkan dengan logam induk baja. Secara umum kekuatan tarik meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan gesek kemudian menurun sedikit setelah mencapai nilai variasi parameter yang optimal Kurt, dkk. (2011). Penurunan mungkin disebabkan oleh deformasi plastis saat terkena tekanan tempa dan ini dapat dikaitkan dengan difusivitas baja yang lebih tinggi daripada tembaga. Kekerasan akan meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan gesek dan tekanan tempa. Tetapi kekerasan juga akan menurun seiring naiknya waktu tempa. Struktur mikro menunjukkan sambungan las antara baja ringan dengan tembaga, difusi tembaga terhadap baja ringan bagus dengan meningkatnya waktu dan tekanan gesek. Oleh karena itu perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai parameter yang tepat untuk menyambung silinder pejal tembaga dengan baja menggunakan metode *continuous drive friction welding* agar kekuatan sambungan lebih meningkat

2.2 Dasar Teori

Pengelasan merupakan proses yang dilakukan untuk menyambung dua buah logam atau lebih (sejenis dan tidak sejenis) sampai mencapai titik rekristalisasi logam menggunakan energi panas. Pengelasan bisa dilakukan dengan atau tanpa bahan tambah (*filler*). Berdasarkan uraian dari *Deutch Industrie Normen* (DIN) pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Kedua ujung logam yang akan dilas dilumerkan atau dilelehkan dengan logam itu sendiri atau dengan busur nyala sehingga kedua ujung atau bidang logam menjadi bidang masa yang kuat dan tidak mudah dipisahkan (Arifin, 1997). Dalam proses pengerjaannya pengelasan dapat digolongkan menjadi beberapa jenis :

1. Pengelasan cair adalah metode pengelasan dimana proses penyambungan logam dipanaskan dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas hingga logam mencair. Las busur elektroda terumpun, tak terumpun, dan las busur fluks adalah bagian dari jenis pengelasan cair.
2. Pengelasan tekan adalah proses pengelasan dengan cara memanaskan sambungan kemudian ditekan sehingga menjadi satu. Las titik, las gesek, las tempa merupakan bagian dari las tekan.
3. Pematrian adalah proses pengelasan dengan cara kedua logam yang disambung diikat dengan menggunakan logam yang titik cairnya lebih rendah dari logam yang disambungkan. Dalam proses pematrian ini logam yang disambungkan tidak ikut mencair dan hanya logam pengikatnya saja yang mencair. Contoh dari pematrian adalah pembrasingan dan penyolderan.

2.3 Pengelasan Gesek

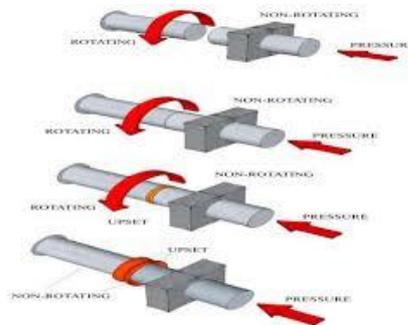
Pengelasan gesek adalah proses pengelasan dalam kondisi lumer dimana panas yang digunakan untuk menyambung logam dihasilkan dari gesekan mekanis antarmuka logam tersebut tanpa logam pengisi. Menurut Sigied dan Hari, (2012) pengelasan gesek termasuk pengelasan *solid-state* tanpa menggunakan logam pengisi dengan menggunakan tekanan dimana dua benda kerja yang akan dilas

ditempatkan dalam kontak dan diatur gerakan relatif dalam tekanan, maka gesekan akan menghasilkan panas disekitar permukaan kontak dan logam akan tersambung. Padaan pengelasan gesek penyambungan logam terjadi tanpa melewati proses pencairan logam yang mana proses penyambungan terjadi akibat kontak dari salah satu benda kerja yang berputar. Berdasarkan metode penggesekannya, pengelasan gesek (*friction welding*) memiliki beberapa jenis diantaranya :

1. *Continuous Drive Friction Welding* (CDFW)
2. *Friction Stir Welding* (FSW)
3. *Linear Friction Welding* (LFW)

2.3.1 *Continuous Drive Friction Welding* (CDFW)

Continuous drive friction welding (CDFW) adalah jenis penyambungan dua logam yang prosesnya terjadi pada saat benda kerja yang berputar dikontakkan dengan benda kerja yang tidak berputar dibawah tekanan konstan sampai kedua benda kerja mencapai suhu pengelasan kemudian putaran dihentikan dan diberi tekanan tempa.



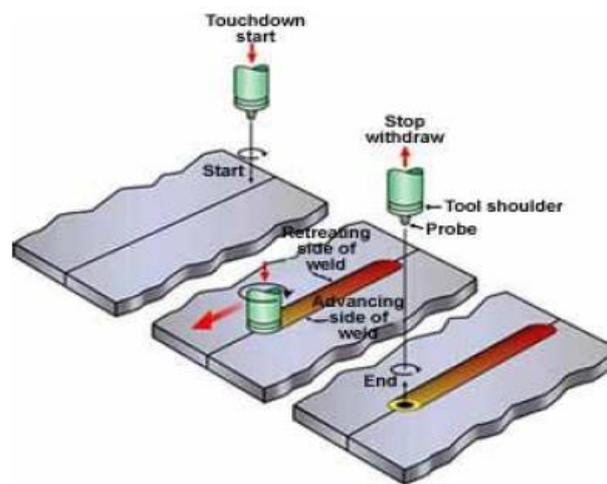
Gambar 2.1 Skema *continuous drive friction welding*

(http://www.fpe.co.uk/_images/content/Friction_welding_process_copy.png)

Gambar 2.4 menunjukkan skema pengelasan gesek, dua buah benda kerja yang akan disambung dengan proses pengelasan gesek, benda kerja yang satu berputar dan yang lain diam. Gesekan akan terjadi jika benda kerja ditempelkan dengan cara benda kerja yang diam diberi tekanan aksial. Panas yang terjadi akibat gesekan akan terus meningkat selama gaya tekan diberikan hingga mencapai termoplastis (titik leleh) dan terjadi ikatan antara kedua permukaan yang bergesekan.

2.3.2 Friction Stir Welding (FSW)

Proses *friction stir welding* (FSW) memanfaatkan gesekan antara benda kerja yang diam dengan tool yang bergerak dan berputar. Proses pengelasan ini beroperasi pada suhu yang relatif rendah. Panas yang dihasilkan dari benda kerja dan tool yang dilengkai dengan pin berputar dan diberi tekanan aksial pada daerah pengelasan. Temperatur panas yang ada pada tool tidak membuat tool leleh dan menyatu dengan benda kerja.



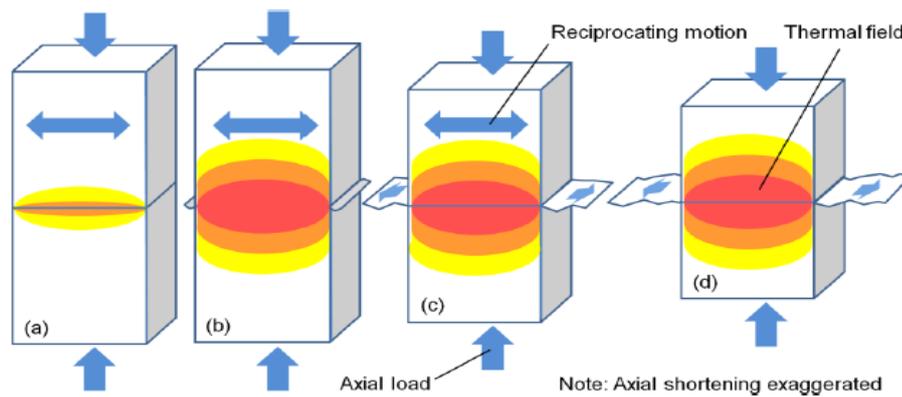
Gambar 2.2 Prinsip *friction stir welding* (Wijayanto, 2012)

FSW merupakan metode pengelasan fasa padat, sehingga sambungan yang dihasilkan kuat dan memiliki sifat mekanis bagus. Panjang pin lebih rendah dari pada tebal benda kerja yang di sambung agar pin tidak bersentuhan dengan alas. *Tool* akan menempa benda kerja sehingga terbentuklah fasa padat yang menghasilkan struktur mikro lebih kompleks dibandingkan logam induk.

2.3.3 Linear Friction Welding (LFW)

Definisi *Linear friction welding* (LFW) menurut Jedrasiak, dkk (2018) adalah metode penyambungan logam solid state yang mana komponen digerakkan secara melintang resiproaktif ditekan terhadap komponen stasioner atau komponen yang diam. Panas dihasilkan melalui gesekan, dan hanya sedikit aksial ‘*burn-off*’ atau pemendekan yang dihasilkan. Panas dan plastisitas gesekan pada antarmuka

melunakkan material sehingga berdifusi dan membentuk flash lalu *thermo mechanically affected zone* (TMAZ) dan *heat-affected zone* (HAZ) meluas. Akhirnya amplitudo dengan cepat berkurang menjadi nol, dan tekanan tempa memperkuat sambungan atarmuka.

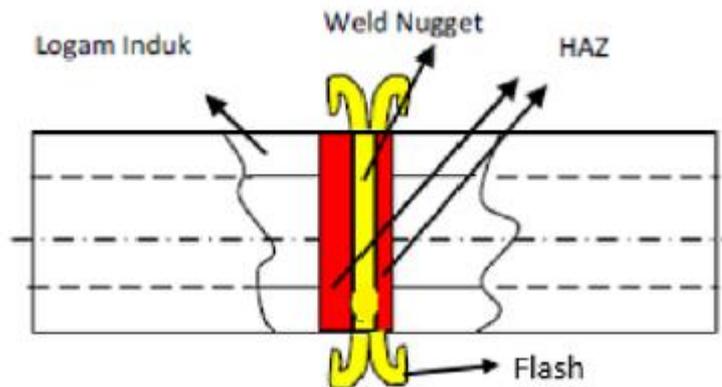


Gambar 2.3 Proses *linear friction welding* (LFW): (a) Fase awal, (b) Fase transisi, (c) Fase equilibrium, (d) Perlambatan dan fase tekanan tempa (Jedrasiak, dkk. 2018)

Seperti metode las gesek lainnya, proses ini memiliki keunggulan dibandingkan pengelasan fusi seperti menghindari pembekuan dan kerusakan batas butir, porositas, mikrosegregasi, dan penggiliran butir. Proses ini sangat cepat dan dapat diulang, mudah dikendalikan, hemat energi, tanpa gas pelindung dan logam pengisi.

2.3.4 Daerah Pengelasan pada Las Gesek

Definisi dari daerah pengelasan adalah daerah yang terkena pengaruh panas pada saat proses pengelasan sehingga menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik. Tetapi tidak semua pengaruh panas pada las gesek merubah struktur mikro dan sifat mekanik logam.



Gambar 2.4 Daerah pengelasan pada *friction welding* (Sanyoto, dkk. 2012)

Menurut gambar diatas daerah pengelasan dibagi menjadi 4 bagian :

1. Daerah inti pengelasan (*weld nugget*) adalah daerah yang mengalami pelelehan dan pembekuan. Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro pada logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang. Struktur ini berawal dari logam induk yang tumbuh ke arah daerah inti.
2. *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah daerah yang mendapat pengaruh panas yang dihasilkan dari daerah inti. Sehingga struktur mikro dan sifat mekanisnya berubah. HAZ adalah daerah yang paling kritis pada sambungan las, selain terjadi perubahan sifat strukturnya juga berubah. Namun, secara umum sifat dan struktur panas efektif dipengaruhi lamanya pendinginan dan komposisi dari logam induk.
3. Logam induk adalah daerah yang terkena pengaruh panas dan suhu pengelasan tetapi tidak menyebabkan sifat mekanik dan struktur mikro.
4. *Flash* merupakan lelehan yang keluar dari pusat bidang gesekan dan tempaan.

2.3.5 Aplikasi Pengelasan Gesek

Komponen dibawah ini merupakan contoh dari aplikasi pengelasan gesek :



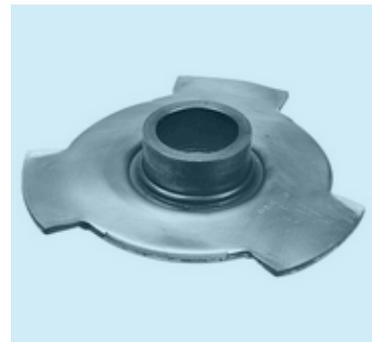
b. Gardan mobil (Hermawan dan Sugiyanto, 2014)



a. Katup isap (Subiyanto, dkk. 2016)



d. Turbocharger (www.mtiwelding.com, 2018)



c. Turbocharger (www.mtiwelding.com, 2018)



e. Electricals connector (Mehmet, dkk. 1980)

Gambar 2.5 Aplikasi pengelasan gesek

2.3.6 Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan Gesek

Pengelasan gesek memiliki kelebihan sebagai berikut:

1. Hemat energi dan biaya.
2. Cocok untuk produksi skala besar.
3. Tidak memerlukan logam pengisi.
4. Tidak menghasilkan uap.
5. Dpat dilakukan pada logam yang berbeda jenis.
6. Peleburan pengelasan merata antara tepi dan tengah.
7. Waktu pengelasan relatif singkat.
8. Daerah HAZ yang sempit.

Adapun kekurangan dari las gesek adalah sebagai berikut:

1. Pengelasan untuk pipa memungkinkan terjadinya flash di dalam pipa.
2. Benda yang disambung harus simetris.
3. Permukaan badan yang akan disambung harus halus.

2.4 Tembaga

Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki sifat korosif yang cepat sekali. Tembaga murni memiliki sifat yang lunak dan halus, selain itu permukaannya berwarna jingga kemerahan. Ion tembaga dapat terlarut dalam air. Tembaga mempunyai satu elektron orbital-s pada kulit atom d dengan sifat konduktivitas listrik yang baik. Penggunaan tembaga terbesar adalah untuk kabel listrik, atap, dan perpipaan serta mesin industri. Tembaga biasanya digunakan dalam bentuk logam murni, tetapi jika ingin kekerasannya lebih tinggi maka biasanya dipadukan dengan elemen lain.

Tabel 2.1 Ciri-ciri tembaga

Nama, Lambang, Nomor atom	Tembaga, Cu, 29
Jenis Unsur	Logam transisi
Golongan, Periode, Blok	11, 4, d
Massa Atom Standar	63, 546(3)
Konfigurasi elektron	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹
Konfigurasi elektron	2, 8, 18, 1

Fase	Solid
Massa jenis	8.94 g cm ⁻³
Massa jenis cairan pada t.i.	8.02 g cm ⁻³
Titik lebur	1357.77 K, 1084.62 °C
Titik didih	4643 °F, 2562 °C, 2835 K
Kalor peleburan	13.26 kJ.mol ⁻¹
Kalor penguapan	300.4 kJ.mol ⁻¹
Kapasitas kalor	24.440 J.mol ⁻¹ .K ⁻¹

Sumber : Wikipedia. 2018. Tembaga

2.5 Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Carbon steel atau baja adalah logam paduan yang memiliki unsur besi (Fe) sebagai unsur utama dan *carbon* (C) sebagai unsur paduannya. Pada pembuatan baja juga ditambahkan unsur lain seperti: fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn) dan juga sulfur (S). Penambahan unsur lain dapat diberikan sesuai dengan kebutuhan. Baja karbon mengandung unsur karbon sekitar 0.2-2.14%. Fungsi dari unsur karbon tersebut adalah untuk mendapatkan struktur baja yang keras dan meningkatkan kekuatan tariknya. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dapat dibagi menjadi tiga diantaranya baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*), baja karbon sedang dan baja karbon tinggi.

a. *Low Carbon Steel*

Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) adalah baja yang mengandung 0,25%-0,30% karbon. Baja karbon rendah memiliki sifat lunak dan lemah akan tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat tinggi, mudah dilakukan proses permesinan. Aplikasi baja karbon rendah biasanya digunakan untuk pipa, komponen bodi mobil, rangka jembatan dan lain sebagainya.

b. *Medium Carbon Steel*

Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) adalah baja yang mengandung 0,30%-0,60% karbon. Baja karbon menengah memiliki sifat sebagai berikut: memiliki struktur martensite, sulit dilakukan proses permesinan, memiliki sifat lebih kuat dari baja karbon rendah tetapi keuletan dan ketangguhannya menurun. Aplikasi baja karbon sedang biasanya digunakan untuk rel kereta api, roda kereta api, *crank shaft* dan komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi.

c. *High Carbon Steel*

Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*) adalah baja yang mengandung 0,60%-1,4% karbon. Baja karbon tinggi ini memiliki sifat paling keras dan paling kuat, akan tetapi keuletannya paling rendah. aplikasi baja karbon tinggi biasanya digunakan untuk alat perkakas, mata bor, mata gergaji, pisau dan obeng.

Sifat mekanik baja adalah kemampuan baja untuk menahan beban yang dikenakan pada baja tersebut. Beban yang dikenakan antara lain adalah beban tarik, beban bengkok, puntir, geser dll. Baja memiliki sifat mekanik sebagai berikut (Murtiono, 2012):

1. Kekuatan (*strength*) merupakan kemampuan baja menerima tegangan tanpa terjadi patahan.
2. Kekerasan (*hardness*) merupakan kemampuan material menahan goresan, pengikisan dan penetrasi.
3. Elastisitas (*elasticity*) merupakan kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan terjadinya perubahan bentuk secara permanen setelah tegangan dihilangkan.
4. Kekakuan (*stiffness*) merupakan kemampuan material untuk menerima beban tanpa terjadi deformasi plastis atau perubahan bentuk dan defleksi.
5. Kekenyalan (*ductility*) merupakan kemampuan material mengalami deformasi plastis tanpa terjadi kerusakan.
6. Ketangguhan (*toughness*) merupakan kemampuan material untuk menyerap energi yang diberikan tanpa terjadi kerusakan.

7. Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan material untuk terjadi kerusakan/patah akibat adanya beban yang berulang-ulang yang besarnya dibawah batas kekuatan elastisnya.
8. Kerekatan (*creep*) merupakan kecenderungan material untuk terjadi deformasi plastis dalam jangka waktu tertentu.

Baja banyak digunakan untuk material pembuatan pipa industri. Salah satu pipa baja yang banyak digunakan dalam bidang industri adalah pipa *Carbon Steel* ASTM A53 Gr.A.

2.6 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian mikro dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik, fasis, dan struktur dalam material. Struktur mikro adalah gabungan struktur kristal yang terdiri dari banyak kristal dan fasa-fasa didalam logam. Kondisi dari suatu logam dapat diketahui dengan mengamati struktur mikronya. Pengamatan struktur mikro logam menggunakan mikroskop dengan perbesaran yang bervariasi. Pengujian mikro dapat menunjukkan perubahan struktur setelah adanya perlakuan terhadap material tersebut. Spesimen dari hasil pengelasan gesek dipotong melintang lalu diolah agar struktur mikronya terlihat. Berikut adalah langkah pengujian mikro (Syarifuddin, 2017):

1. Pemotongan spesimen

Pemotongan dilakukan untuk memperkecil ukuran spesimen sehingga pengujian mikro fokus pada satu penampang melintang. Pemotongan spesimen menggunakan gergaji agar struktur mikronya tidak berubah.

2. Pengamplasan spesimen

Pengamplasan dilakukan untuk mendapatkan permukaan penampang yang halus dan mampu memantulkan cahaya keatas. Pada saat pengamplasan spesimen, digunakan cairan pendingin agar struktur mikronya tidak berubah akibat gesekan antara amplas dengan permukaan spesimen.

3. Pemolesan spesimen

Pemolesan dilakukan untuk membersihkan sisa kotoran setelah proses pengamplasan. Pemolesan dilakukan dengan autosol.

4. Etsa

Etsa adalah penghalusan butir secara selektif dan terkendali pada permukaan spesimen. Penghalusan ini bertujuan untuk memperjelas struktur mikro spesimen.

2.7 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap beban yang dihasilkan dari penekanan. Beban dari penekanan akan menyebabkan material mengalami deformasi plastis. Deformasi plastis adalah sesuatu hal yang terjadi pada material yang mengalami perubahan struktur mikro secara permanen akibat adanya pembebanan dan pemberian gaya. Sementara kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material yang harus diketahui apabila material mengalami gesekan dan deformasi plastis.

Penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan *vickers*. Pengujian kekerasan dengan metode *vickers* bertujuan untuk menentukan kekerasan material, daya tahan material terhadap indentor. Pengujian kekerasan *vickers* menggunakan indentor berbentuk piramida dan beralaskan bujursangkar. Prosedur pengujiannya hampir sama dengan pengujian *brinell*. Tapak tekan dari pengujian ini berbentuk bujursangkar dan pengukurannya diukur dari kedua diagonal tapak tekannya. Nilai kekerasan *vickers* dapat dicari dengan persamaan berikut.

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

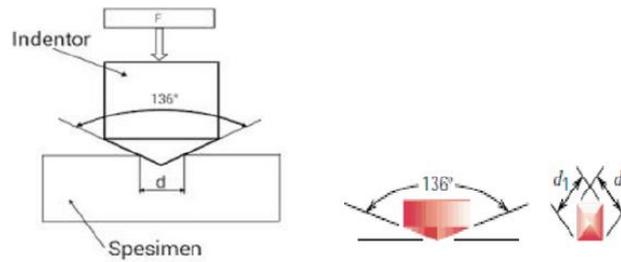
Keterangan:

P = Beban yang digunakan (kg)

L = Panjang diagonal rata-rata

θ = Sudut diantara permukaan intan = 136°

Pengujian kekerasan *vickers* dilakukan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indentor intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136° . Penekanan indentor pada material akan menghasilkan suatu jejak pada permukaan material uji.



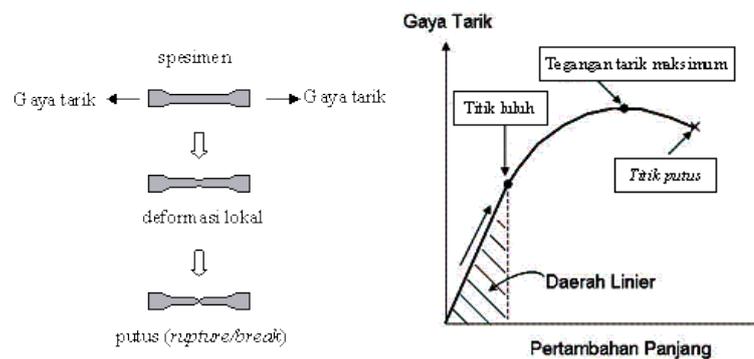
Gambar

2.6 Skema uji

kekerasan dan brntuk indenter *vikers* (Callister, 2001)

2.8 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang dilakukan untuk dapat mengetahui sifat mekanik suatu material terhadap gaya tarik yang diberikan. Pada pengujiannya material akan ditarik hingga putus. Pengujian tarik memiliki standarisasi yang ditentukan oleh *ASTM* (*American Society for Testing and Material*), *JIS* (*Japan International Standar*) dan *DIN* (*Deutch Industrie Normen*). Untuk ukuran spesimen pada setiap standar memiliki ukuran spesimen yang bermacam-macam. Pemberian gaya tarik pada material yang akan diuji mengakibatkan material spesimen mengalami deformasi lokal hingga putus. Hubungan antara gaya tarik dengan pertambahan panjang spesimen ditunjukkan seperti gambar berikut. Melalui sifat mekanik suatu bahan bisa diketahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarik dan mengetahui material yang bertambah panjang (Sastranegara, 2010)



Gambar 2.7 Grafik pengujian tarik (Sastranegara, 2009)

Dalam pengujian tarik kemampuan maksimum material untuk menahan beban yang diberikan disebut *Ultimate Tensile Strength*. Dari pengujian tarik yang dilakukan akan didapatkan data sebagai berikut:

1. Batas proporsionalitas (*proportionality limit*)
Batas proporsionalitas merupakan batas tegangan dan regangan yang memiliki hubungan proporsional satu dengan lainnya. Apabila tegangan bertambah maka regangan juga akan bertambah.
2. Batas elastis (*elastic limit*)
Batas elastis adalah daerah dimana pertambahan panjang suatu bahan material akan kembali apabila tegangan luar dihilangkan. Apabila tegangan terus bertambah maka material akan mengalami deformasi plastis.
3. Titik luluh (*yield point*)
Titik luluh merupakan daerah dimana material akan terus mengalami deformasi walaupun tanpa adanya beban tambahan.
4. Tegangan luluh (*yield stress*)
Tegangan luluh adalah tegangan yang mengakibatkan material menunjukkan fenomena luluh.
5. Kekuatan luluh (*yield strength*)
Kekuatan luluh merupakan kekuatan material untuk menahan deformasi plastis apabila suatu bahan diberikan beban tarik, puntir dan bending.
6. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)
Kekuatan tarik maksimum adalah kekuatan suatu material menahan beban maksimal yang diberikan sebelum terjadinya patah.
7. Kekuatan putus (*breaking strength*)
Kekuatan putus dapat ditentukan dengan cara membagi beban saat material mengalami putus dengan luas penampang awal.
8. Keuletan (*ductility*)
Keuletan adalah fenomena material logam untuk menahan deformasi sebelum terjadi patahan.
9. Elongasi (presentase perpanjangan)

Elongnasi adalah pertambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang awal. Elongnasi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\varepsilon = \left[\frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

L_f = panjang akhir material pengujian (mm)

L_0 = panjang awal material pengujian (mm)

10. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas adalah kekuatan dari suatu material tertentu. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas material maka material tersebut akan semakin kaku. Modulus elastisitas hanya dapat dirubah dengan merubah struktur suatu material.

11. Modulus kelentingan

Modulus kelentingan adalah kemampuan suatu material menyerap energi dari luar tanpa terjadi kerusakan.

12. Modulus ketangguhan

Modulus ketangguhan adalah kemampuan suatu material menyerap energi dari luar hingga terjadi perpatahan. Modulus ketangguhan yang tinggi akan mengakibatkan distorsi terlebih dahulu apabila suatu material diberikan pembebanan berlebih sebelum terjadi patahan. Apabila modulus ketangguhan suatu material rendah dan material tersebut diberikan beban berlebih maka material akan mengalami patahan tanpa adanya peringatan.