

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui dan membahas tentang sifat material dan struktur mikro sambungan pengelasan gesek. Riesandy (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan gesek terhadap sifat tarik, struktur mikro dan kekerasan pada sambungan logam pipa *stainless steel* 304 dengan metode pengelasan gesek (*Friction Welding*). Penelitian ini memiliki parameter variasi tekanan gesek sebesar 30; 32,5 dan 35 MPa. Putaran mesin yang digunakan sebesar 1000 rpm. Hasil pengelasan dilakukan pengujian tarik, struktur mikro dan kekerasan. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan gesek maka ukuran butir semakin halus dan kekerasan semakin meningkat pada daerah sambungan. Hasil kekerasan tertinggi pada daerah sambungan sebesar 270,9 VHN yang dihasilkan dari tekanan gesek 35 MPa. Kekerasan terendah sambungan sebesar 226,01 VHN yang dihasilkan dari tekanan 30 MPa. Hasil kekuatan tarik tertinggi pada tekanan gesek 30 MPa sebesar 503 MPa, akan tetapi kekuatan tarik ini masih dibawah kekuatan tarik dari logam induknya sebesar 645 MPa.

Sanyoto dkk (2012) dalam penelitiannya tentang penerapan teknologi las gesek (*friction welding*) dalam proses penyambungan dua buah pipa logam baja karbon rendah dengan parameter variasi waktu gesek 15, 20, 25, 30 dan 35 detik. Parameter proses lain dianggap konstan, kecepatan putar mesin 4125 rpm, tekanan gesek sebesar 1,47 MPa dan tekanan tempa sebesar 6,86 MPa. Pengujian yang digunakan adalah pengujian metallografi dan pengujian kekerasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama waktu gesek maka temperatur pengelasan yang terjadi juga semakin tinggi yang mengakibatkan nilai upset semakin besar dan spesimen pengelasan semakin pendek. Nilai kekerasan pada sambungan akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya waktu gesek pengelasan. Nilai kekerasan terendah didapatkan pada sambungan dengan waktu gesek selama 15

detik sebesar 38 HRA. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada sambungan dengan waktu gesek selama 35 detik sebesar 47,5 HRA.

Vinoth dan Balasubramanian (2014) meneliti tentang struktur mikro dan sifat tarik sambungan pengelasan gesek pipa SUS 304 HCu *Austenitic Stainless Steel*. Ukuran dimensi pipa diameter luar 57.1 mm dengan tebal 3.5 mm. Pengelasan dilakukan pada kecepatan putaran sebesar 2110 rpm, tekanan gesek sebesar 32 MPa, tekanan tempa sebesar 47 MPa, waktu gesekan selama 24 detik dan waktu tempa selama 55 detik. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil struktur mikro yang terbagi menjadi 4 daerah, yakni *Dynamically Recrystallized Zone (DRX)*, *Fully Plasticized Zone (FPZ)*, *Partially Plasticized Zone (PPZ)* dan *Unaffected Parent Material (UPM)*. Daerah DRX yang terbentuk sangat sempit dan terdiri dari butiran halus yang mengalami rekristalisasi selama proses pengelasan. Pada daerah FPZ memiliki butir yang kasar dibandingkan dengan daerah DRX, hal ini ditunjukkan bentuk butir yang besar saat dilakukan uji mikro. Daerah PPZ memiliki bentuk butir yang lebih kecil dari FPZ dan daerah UPM merupakan daerah material induk. Hasil uji kekerasan yang didapatkan pada daerah DRX sebesar 187 HV dan titik kekerasan terendah berada pada daerah FPZ sebesar 157 HV. Hasil kekuatan tarik sambungan sebesar 286 MPa dengan kekuatan tarik utama sebesar 599 MPa dan elongasi panjang 30 mm sebesar 25%. Kesimpulan dari penelitian ini adalah material SUS 304 Hcu dapat dilas dengan metode *Continuous Drive Friction Welding (CDFW)* tanpa cacat makro ataupun mikro, kekuatan sambungan las yang dihasilkan tinggi mencapai 98% dari logam induk dan pembentukan daerah dinamis rekristalisasi (DRX) pada *interface* sambungan disebabkan oleh laju regangan yang tinggi.

Kimura dkk (2012) meneliti tentang sifat sambungan dan perbaikan sambungan pada *stainless steel austenitic* AISI 310S pipa berdinding tipis dengan menggunakan las gesek. Penyambungan pipa dilakukan pada kecepatan putar sebesar 1650 rpm dengan variasi tekanan gesek sebesar 60 MPa dan 120 MPa. Pengelasan dilakukan pada lima variasi ketebalan dinding pipa mulai dari 1,50 mm; 1,00 mm; 0,80 mm; 0,65 mm dan 0,50 mm. Pada sambungan pipa dengan ketebalan 1,50 mm sampai 0,50 mm dilas pada tekanan gesek 60 MPa menghasilkan

sambungan yang baik. Pada sambungan pipa dengan ketebalan 1,50 mm; 1,00 mm dan 0,80 mm dilas pada tekanan gesek 120 MPa menghasilkan sambungan yang baik. Pada sambungan pipa dengan ketebalan 0,65 mm dan 0,50 mm dilas pada tekanan 120 MPa menghasilkan kegagalan sambungan. Kegagalan tersebut terjadi akibat terlalu tipis dinding pipa dan terlalu besar tekanan gesek yang diberikan saat pengelasan. Untuk mendapatkan sambungan yang baik pada pipa berdinding tipis pengelasan harus dilakukan pada tekanan gesekan rendah dan waktu gesekan hanya setelah puncak awal torsi gesekan.

Husodo dkk (2015) juga melakukan penelitian tentang analisis kekuatan sambungan pipa baja karbon dan besi cor berbasis teknologi las gesek (*friction welding*). Penelitian ini digunakan dalam pembuatan stang sepeda motor. Pada penelitian ini memvariasi tekanan tempa sebesar 375; 437,5 dan 49,03 MPa. Parameter tekanan gesek sebesar 6,13 MPa dan waktu gesek selama 120 detik. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian struktur mikro, kekerasan dan pengujian tarik. Hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi tekanan tempa maka semakin tinggi kekuatannya. Pada variasi tekanan tempa 49,03 MPa menghasilkan kekuatan tarik sebesar 549,66 MPa. Nilai kekerasannya juga semakin naik seiring naiknya tekanan tempa. Kekerasan pada variasi tekanan gesek 49,03 MPa menghasilkan kekerasan sebesar 56,5 HRA. Kesimpulan dari penelitian ini adalah semakin besar tekanan tempa maka sifat mekaniknya akan semakin baik.

Laksono dan Sugiyanto (2017) melakukan penelitian tentang pengujian sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan pengelasan gesek sama jenis baja ST 60, sama jenis AISI 201 dan beda jenis baja ST 60 dengan AISI 201. Dari penelitian tersebut menunjukkan hasil pengujian tarik maksimal pengelasan sama jenis baja ST 60 terjadi pada kecepatan putar sebesar 3350 rpm, waktu gesek 10 detik, waktu tempa 2 detik, tekanan gesek 2,757 MPa dan tekanan tempa 4,136 MPa menghasilkan temperatur pengelasan sebesar 530,7°C dengan kekuatan tarik 670,78 MPa dan kekuatan luluh sebesar 417,99 MPa atau 102,97% dari logam induk baja ST 60 sebesar 651,39 MPa. Pada pengelasan sama jenis AISI 201 menghasilkan parameter optimal pada kecepatan putaran sebesar 3350 rpm, waktu

gesekan 10 detik, waktu tempa 2 detik, tekanan gesek 3,447 MPa dan tekanan tempa 4,136 MPa menghasilkan temperatur pengelasan sebesar 781°C dengan kekuatan tarik sebesar 915,31 MPa dan kekuatan luluh sebesar 581,89 MPa atau 97,91% dari logam induk AISI 201 sebesar 934,81 MPa. Pada pengelasan beda jenis baja ST 60 dengan AISI 201 didapatkan parameter pengelasan gesek yang optimal pada kecepatan putaran sebesar 3350 rpm, waktu gesekan 10 detik, waktu tempa 2 detik, tekanan gesek 3,447 MPa dan tekanan tempa 4,136 MPa menghasilkan temperatur pengelasan sebesar 663°C dengan kekuatan tarik sebesar 598,31 MPa dan kekuatan luluh sebesar 446,84 MPa atau 91,85% dari logam induk baja ST 60 sebesar 651,39 MPa. Hasil pengujian kekerasan sama jenis baja ST 60 menunjukkan pada titik sambungan memiliki kekerasan sebesar 243,8 HVN sedangkan pada daerah HAZ masing-masing sebesar 231,8 HVN dan 210 HVN, pada daerah logam induk nilai kekerasannya lebih kecil yakni 200,6 HVN dan 191,6 HVN. Hasil pengujian kekerasan sama jenis AISI 201 menunjukkan pada titik sambungan memiliki kekerasan sebesar 220,6 HVN sedangkan pada daerah HAZ masing-masing sebesar 179,1 HVN dan 189,4 HVN, pada logam induk nilai kekerasannya lebih tinggi yakni 226,1 HVN dan 250,2 HVN. Hasil pengujian kekerasan beda jenis baja ST 60 dengan AISI 201 menunjukkan pada titik sambungan memiliki kekerasan sebesar 593,4 HVN sedangkan pada daerah HAZ masing-masing sebesar 243,8 HVN dan 220,6 HVN, pada logam induk baja ST 60 kekerasannya lebih rendah yakni 198,3 HVN sedangkan pada logam induk AISI 201 kekerasannya tinggi mencapai 302,8 HVN. Berdasarkan pengujian mikro pada daerah sambungan sama jenis baja ST 60, sama jenis AISI 201 dan beda jenis baja ST 60 dengan AISI 201 menunjukkan butir yang lebih halus dibandingkan dengan butir pada logam induknya, hal ini disebabkan karena adanya pengaruh panas akibat gesekan pada saat pengelasan.

Nugroho dkk (2016) meneliti tentang mikrostruktur dan kekerasan sambungan pengelasan gesek *disimilar* pipa tembaga/kuningan (Cu/Cu-Zn). Didapatkan hasil pada sambungan las tembaga/kuningan menghasilkan *flash*. Kuningan menghasilkan *flash* lebih banyak dari tembaga dikarenakan titik lebur kuningan 900°C lebih rendah dari tembaga 1084.62°C. *Flash* juga terjadi pada bagian dalam pipa, akan tetapi tidak terlalu besar dikarenakan adanya gaya sentrifugal saat

pengelasan gesek sedang berlangsung. Pada daerah *Weld Centre Zone* (WCZ) rekristalisasi butiran sangat halus dan tidak terlihat perubahan struktur mikro akibat gesekan saat pengelasan berlangsung. Ukuran butir semakin mengecil pada daerah *Thermomechanically Affected Zone* (TMAZ) 25-30 detik dan menghasilkan kekerasan yang tinggi sebesar 93.6 VHN pada kuningan dan 57.1 VHN pada tembaga. Rekristalisasi dan pembesaran butir terjadi pada variasi waktu gesekan 60 detik yang menghasilkan kekerasan sebesar 62.4 VHN pada kuningan dan 36.3 VHN pada tembaga. Pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) butiran cenderung mirip dengan struktur logam induknya dengan nilai kekerasan 40-50 VHN pada tembaga dan 69-80 VHN pada kuningan.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, maka didapatkan kesimpulan bahwa pada pengelasan gesek terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hasil kekuatan sambungan. Parameter tersebut adalah sebagai berikut: tekanan gesek, tekanan tempa, waktu gesek, waktu tempa dan kecepatan putar mesin. Apabila parameter tersebut dikontrol secara maksimal maka akan menghasilkan kualitas sambungan yang maksimal.

## **2.2 Dasar Teori**

Berdasarkan penjelasan Wiryosumarto & Okumura (2000), pengelasan sangat banyak digunakan dalam industri manufaktur. Metode penyambungan dengan cara pengelasan akan menghasilkan sambungan yang kuat. Contoh penerapan pengelasan adalah pada bidang-bidang perkapalan, rangka baja dan jembatan, bejana tekan, saluran pipa, mesin-mesin konstruksi dan kendaraan. Menurut DIN (*Deutch Industrie Normen*) pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair atau lumer. Pengelasan merupakan penyambungan dua buah logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi sehingga menghasilkan sambungan yang kontinyu. Secara umum pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian. Pengelompokan ini berdasarkan cara pengelasannya:

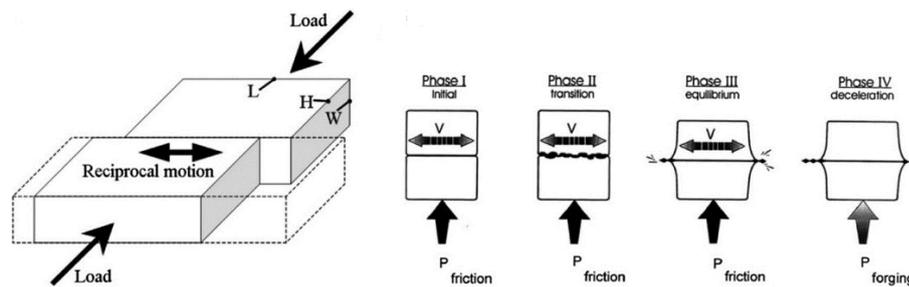
1. Pengelasan cair adalah pengelasan yang dilakukan dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api dari gas yang dibakar. Contoh pengelasan cair: SMAW, GTAW, GMAW, dll.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan yang dilakukan dengan cara memanaskan sambungan dan kemudian diberikan penekanan hingga sambungan terbentuk. Contoh pengelasan tekan: las gesek, las ledakan, las resistansi listrik, las tempa, dll.
3. Pematrian adalah penyambungan dengan cara mencairkan logam pengisi (titik lebur logam pengisi dibawah titik lebur logam induk) sehingga terbentuk sambungan logam. Contoh pematrian: pembrasingan dan penyolderan.

### **2.2.1 Las Gesek (*Friction welding*)**

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah pengelasan yang dilakukan dalam kondisi padat (*solid state*) dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan logam yang akan disambung. Pada pengelasan gesek, logam yang akan disambung tidak mencapai titik leburnya dan tidak memerlukan logam pengisi (Setyawan, dkk., 2014). Pengelasan gesek banyak diaplikasikan dalam industri otomotif dan manufaktur. Pengelasan gesek dapat diklasifikasikan menjadi 3 yaitu: *Linier Friction Welding* (LFW), *Friction Stir Welding* (FSW) dan *Continuous Drive Friction Welding* (CDFW).

### **2.2.2 Linier Friction Welding (LFW)**

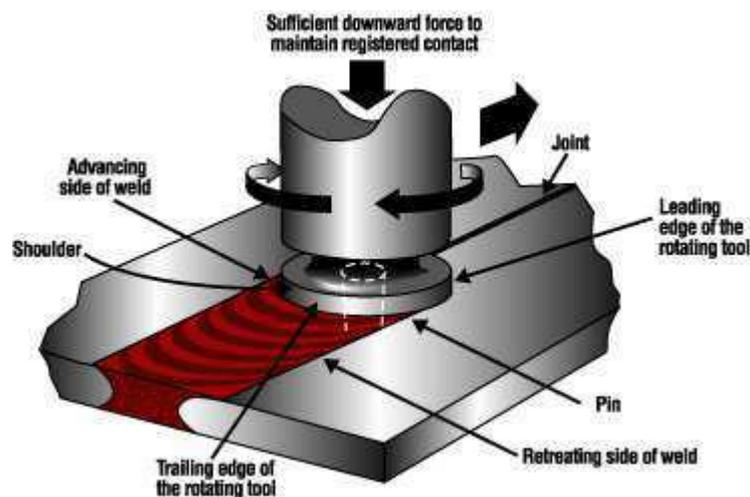
*Linier friction welding* merupakan salah satu metode penyambungan *solid state*. Dalam proses pengelasan linier salah satu logam yang akan disambung dipasang dalam posisi diam dan logam lainnya digesekkan secara linier pada logam yang diam. Penekanan diberikan pada saat gesekan terjadi, sehingga menghasilkan *flash* dan kedua logam akan tersambung.



Gambar 2. 1 Proses Linear Friction Welding (Wenya dkk, 2016)

### 2.2.3 Friction Stir Welding (FSW)

*Friction stir welding* merupakan metode pengelasan gesek yang memanfaatkan gerakan *tool* yang berputar dan digesekkan diantara dua benda kerja yang akan disambung. Panas yang dihasilkan gesekan antara tool dan benda kerja akan menghasilkan sambungan lasan. Proses penyambungan ini terjadi dibawah titik lebur benda kerja. Metode pengelasan ini biasanya digunakan pada industri *aerospace*.

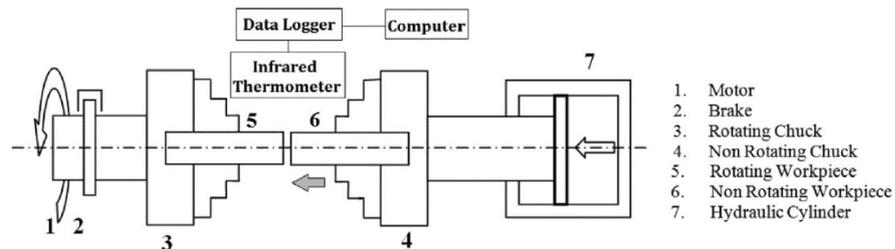


Gambar 2. 2 Proses Friction Stir Welding (Singh, 2012)

### 2.2.4 Continuous Drive Friction Welding (CDFW)

*Continuous drive friction welding* adalah metode pengelasan gesek yang memanfaatkan panas hasil gesekan dari kedua benda kerja. Benda kerja dipasang pada *chuck* berputar dan *chuck* diam. Pada *chuck* berputar benda kerja diputar dalam kecepatan konstan dan pada *chuck* diam benda kerja ditekan secara aksial sehingga bergesekan dengan benda kerja yang berputar. Gesekan akan

menghasilkan panas dan panas tersebut menghasilkan sambungan lasan. Sambungan terjadi dibawah titik lebur benda kerja.



Gambar 2. 3 Proses Continuous Drive Friction Welding (Sahin, 2009)

Pada pengelasan CDFW terdapat beberapa variabel *input* yang dapat dikendalikan. Variabel tersebut meliputi: waktu gesekan (TF), tekanan gesekan (PF), tekanan *upset* (PU) dan waktu *upset* (UT). Sedangkan variabel *output* adalah lebar *flash* (FW), tinggi *flash* (FH) dan tebal *flash* (FT). Untuk menghasilkan sambungan yang baik variabel tersebut harus dioptimalkan (Sathiya dkk, 2006).

Keberhasilan pengelasan CDFW dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni: tekanan yang digunakan saat proses pengelasan, temperatur yang terjadi pada saat benda kerja bergesekan, kecepatan relatif antar permukaan yang akan disambung, kondisi dari permukaan yang akan disambung dan sifat dari material yang akan disambung. Untuk mendapatkan sambungan yang baik maka material yang akan disambung harus memiliki sifat mampu tempa dan mampu menimbulkan gesekan pada *interface* (Tiwan, 2005).

### 2.2.5 Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan Gesek

Pengelasan gesek memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan pengelasan gesek adalah sebagai berikut:

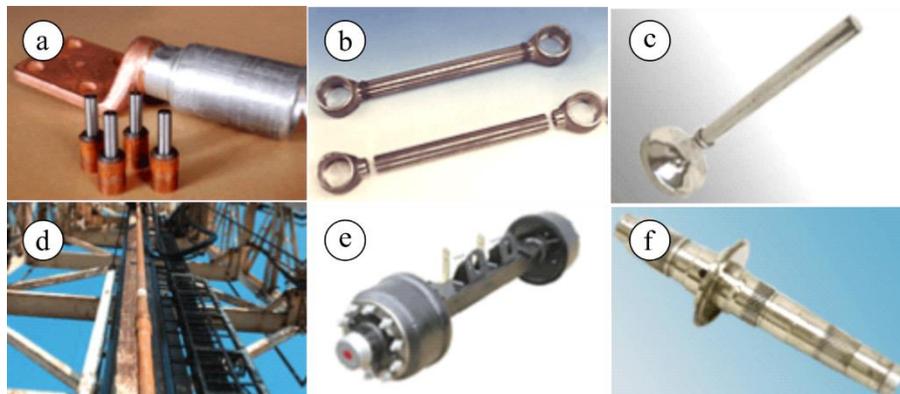
1. Proses pengelasan membutuhkan waktu yang relatif singkat.
2. Mampu mengelas dalam jumlah banyak.
3. Mampu menyambung jenis material yang berbeda.
4. Tidak memerlukan logam pengisi.
5. Tidak menimbulkan inklusi terak dan porositas.
6. Tidak menimbulkan banyak asap.
7. Pengelasan mudah dilakukan dan otomatis.

Selain itu pengelasan gesek juga memiliki kekurangan. Kekurangan pengelasan gesek adalah sebagai berikut:

1. Material yang akan dilas harus memiliki sifat mampu tempa.
2. Benda kerja yang akan disambung bentuknya terbatas.

### 2.2.6 Aplikasi *Continuous Drive Friction Welding*

Pengelasan gesek dapat diaplikasikan dalam industri manufaktur dan juga otomotif. Berikut ini adalah contoh hasil pengelasan gesek dalam industri manufaktur dan otomotif.



Gambar 2. 4 Aplikasi *Continuous Drive Friction Welding* (Mehmet dkk, 1980). a. *Electrical conector*; b. *Piston rods*; c. *Engine valve*; d. *API drill pipe*; e. *Truck axle*; f. *Gear cluster*

### 2.2.7 Logam *Stainless Steel* dan *Carbon Steel*

#### 1. *Stainless Steel*

*Stainless steel* merupakan material paduan yang berasal dari besi karbon rendah yang mengandung minimal 12% *Chromium* dan 30% nikel. Unsur yang membuat *stainless steel* tahan terhadap korosi adalah *chromium*. Unsur *chromium* sebesar minimal 12% mampu membentuk lapisan film oksida pada permukaan besi yang dapat melindungi logam dari korosi. Unsur tambahan selain *chromium* yang digunakan dalam pembuatan *stainless steel* adalah nikel, molybdenum dan tembaga. Penambahan unsur tersebut disesuaikan dengan kebutuhan. *Stainless steel* dibagi menjadi empat jenis (Davis, 2000) yakni:

a. *Austenitic Stainless Steel*

*Austenitic stainless steel* merupakan baja tahan karat dengan 16-26% *chromium* dan 10-22% nikel. Baja tahan karat *austenitic* memiliki beberapa seri yang berada dipasaran, seperti: 301, 304, 304L, 316, 316L, 312 dan 310. Sifat dari baja tahan karat *austenitic* adalah sebagai berikut: penguatan baja tahan karat *austenitic* melalui proses pengerjaan dingin, mudah dilas, duktilitas tinggi, ketangguhan korosi yang baik, tidak bersifat magnetis, cocok untuk suhu tinggi dan rendah.

b. *Ferritic Stainless Steel*

*Ferritic stainless steel* merupakan baja tahan karat yang mengandung 11-27% *chromium*, 0.08-20% *carbon* dan beberapa unsur lain seperti: aluminium, neobium dan titanium. Baja tahan karat *ferritic* memiliki beberapa seri seperti: 409, 430, 3CR12 dll. Sifat dari baja tahan karat *ferritic* adalah sebagai berikut: ketahanan korosi rendah, mampu las dengan perlakuan khusus, bersifat magnetis, mudah dibengkokkan dan dipotong.

c. *Martensitic Stainless Steel*

*Martensitic stainless steel* adalah baja tahan karat yang mengandung 12-18% *chromium* dan lebih dari 1% *carbon*. Baja tahan karat ini dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Kegunaan dari baja tahan karat ini adalah untuk kekuatan mekanik tinggi misalnya piasu.

d. *Duplex Stainless Steel*

*Duplex stainless steel* adalah baja tahan karat yang struktur kimianya hampir sama dengan *austenitic* dan *ferritic*. Baja tahan karat *duplex* mengandung 22-25% *chromium*, 5-7% nikel dan sampai 4% *molybium* serta unsur tambahan lain seperti tembaga dan nitrogen.

*Stainless steel* yang berada dipasaran memiliki berbagai macam bentuk dari *stainless steel* pejal, plat hingga berbentuk pipa. Karena ketahanannya terhadap korosi, *stainless steel* banyak digunakan dalam industri manufaktur, otomotif, pembangkit energi serta industri kimia dan gas.

*Stainless steel* yang sering digunakan untuk bahan pembuatan pipa yang berada dipasaran adalah *austenitic stainless steel*. Pipa *stainless steel* ini digunakan untuk

keperluan industri karena ketahanan korosi yang baik dan cocok digunakan dalam suhu tinggi maupun rendah. Salah satu jenis pipa *stainless steel* ini adalah ASTM A312 TP304.

## 2. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja Karbon atau *carbon steel* 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 (Davis, 1996):

### 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.

Murtiono (2012) memaparkan, 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:

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 baja ASTM A53 Gr.A.

### **2.2.8 Pengujian Struktur Mikro**

Pengujian mikro dilakukan untuk dapat mengetahui sifat mekanis dan struktur dalam material yang terbentuk. Dalam pengujian ini butiran yang terbentuk akan

ditunjukkan dengan ukuran yang diperbesar. Pengamatan struktur mikro material pengujian menggunakan mikroskop dengan perbesaran yang bervariasi. Pengujian struktur mikro dapat menunjukkan perubahan struktur setelah dilakukan perlakuan pada suatu material. Spesimen hasil pengelasan akan dipotong melintang untuk dilihat perubahan struktur mikronya. Pengujian struktur mikro ini memiliki langkah sebagai berikut (Syaifudin, 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. Pengetsaan pipa *stainless steel* menggunakan cairan *aquaregia* yang terbuat dari larutan  $\text{HNO}_3$  +  $\text{HCl}$  dengan perbandingan 1:3. Sedangkan pengetsaan pipa baja menggunakan  $\text{HNO}_3$  dengan konsentrasi sebesar 2,5%.

### 2.2.9 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah pengujian untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap beban penekanan. Beban penekanan akan mengakibatkan material mengalami deformasi plastis. Deformasi plastis adalah keadaan dimana

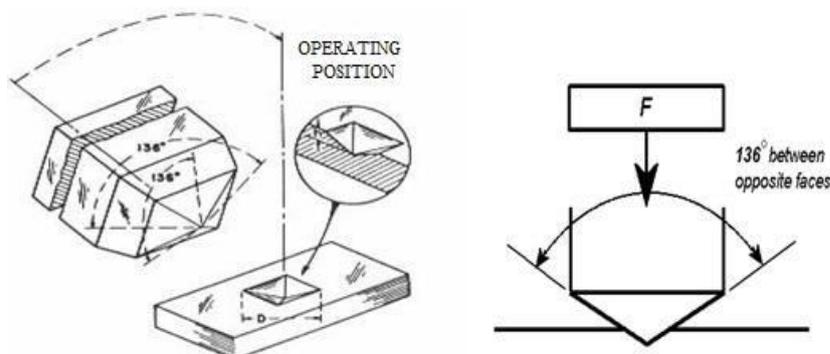
suatu material akan mengalami perubahan struktur mikro secara permanen akibat adanya pembebanan atau pemberian gaya. Dengan pengujian kekerasan maka dapat diketahui sifat mekanis suatu material.

Pada penelitian ini digunakan pengujian kekerasan *vickers*. Pengujian dengan metode ini menggunakan identor berbentuk piramida dan beralaskan bujursangkar. Cara 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 2.1.

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

Keterangan:

- P = Beban yang digunakan (Kgf)
- d = Panjang diagonal rata-rata (mm)
- $\theta$  = Sudut antara permukaan intan ( $136^\circ$ )

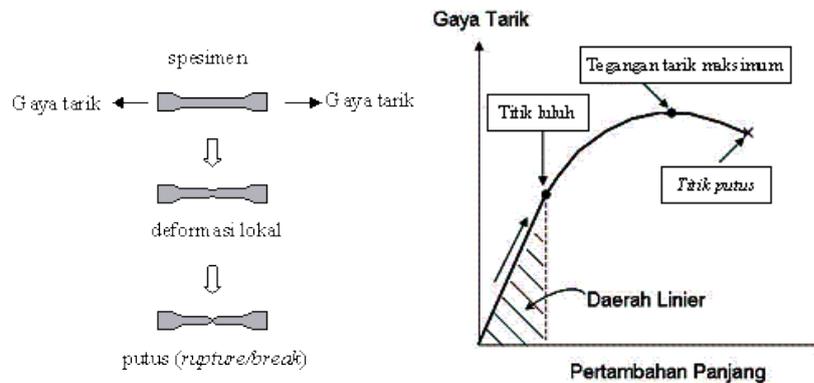


Gambar 2. 5 Metode Pengujian Vickers (Syarifudin, 2017)

### 2.2.10 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang dilakukan untuk dapat mengetahui sifat mekanik suatu material terhadap gaya tarik yang diberikan. Pada pengujian tarik material akan ditarik hingga putus. Pengujian tarik memiliki standarisasi yang ditentukan oleh *ASTM* (*American Standard 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 2.6.



Gambar 2. 6 Grafik Pengujian Tarik (Syarifudin, 2017)

Salindeho, dkk (2013) menjelaskan, dalam pengujian tarik kemampuan maksimum material untuk menahan beban yang diberikan disebut *Ultimate Tensile Strength* (UTS). Dari pengujian tarik yang dilakukan akan didapatkan data sebagai berikut:

1. Batas proporsionalitas (*proposionality 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.

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

Keterangan:

$\sigma$  = Kekuatan tarik maksimum (MPa)

F = Gaya maksimum (N)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

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. Regangan

Regangan adalah pertambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang awal. Regangan dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$\varepsilon = \left[ \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$\varepsilon$  = Regangan (%)

$L_f$  = Panjang ukur akhir material pengujian (mm)

$L_0$  = Panjang ukur awal material pengujian (mm)

10. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas adalah kekuatan dari suatau material tertentu. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas material maka material tersebut

akan semakin kaku. Modulus elastisitas hanya dapat dirubah dengan merubah struktur suatu material.

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas (MPa)

$\Delta\sigma$  = Selisih tegangan (MPa)

$\Delta\varepsilon$  = Selisih regangan

#### 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.