

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

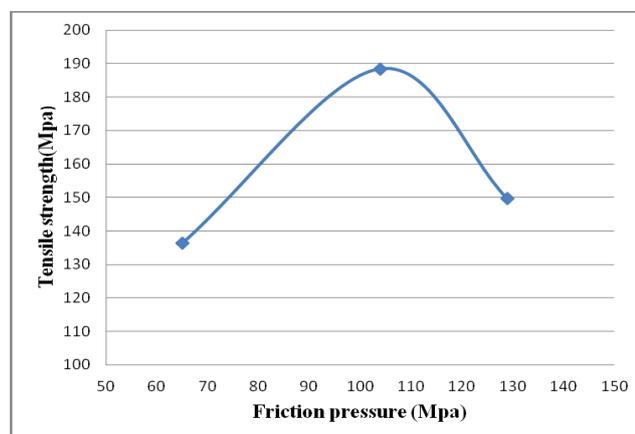
Sampai saat ini penelitian yang membahas tentang pengelasan gesek (*friction welding*) telah banyak dilakukan. Bahan yang digunakan dalam penelitian juga berbeda-beda dan dengan parameter yang bervariasi. Penelitian yang terkait pada pengujian tarik, stuktur mikro dan nilai kekerasan hasil las yang telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Oleh karena itu pembahasan dalam kajian pustaka ini difokuskan pada hasil data pengujian tarik, struktur mikro dan nilai kekerasan hasil sambungan las dengan metode las gesek (*friction welding*).

Dey, dkk. (2009), melakukan penelitian tentang penyambungan disimilar titanium dan *stainless steel* 304L menggunakan pengelasan gesek. parameter yang digunakan adalah putaran mesin las gesek 1500 rpm dengan variasi tekanan gesek 100 MPa dan 200 MPa. Hasil pengujian kekerasan pada titanium di bagian sambungan memiliki kekerasan tertinggi, daerah base metal memiliki kekerasan terendah. Pada *Stainless steel* 304 di bagian base metal memiliki kekerasan tertinggi, daerah TMAZ memiliki kekerasan terendah. Pada tekanan gesek 100 MPa didapatkan kekuatan tarik 400 MPa, tekanan gesek 200 MPa didapatkan kekuatan tarik 360 MPa. Peningkatan tekanan gesek menyebabkan meningkatnya suhu pada proses pengelasan, meningkatnya tekanan gesek juga menyebabkan kekuatan sambungan berkurang karena terjadi pembentukan fase rapuh pada sambungan *interface*.

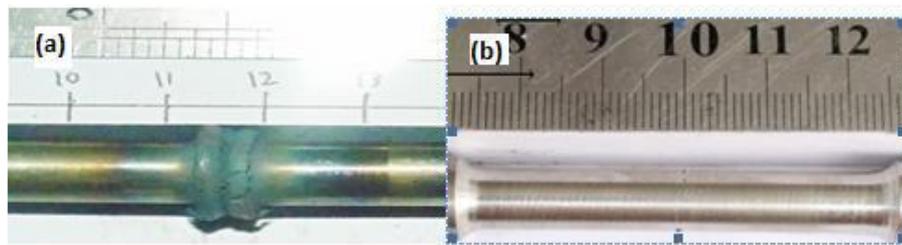
Husodo, dkk (2015), melakukan penelitian tentang kekuatan sambungan disimilar pipa baja karbon dan besi cor berbasis teknologi las gesek (*friction welding*). Paramter yang digunakan adalah variasi tekanan tempa sebesar 275-500 kgf/cm², tekanan gesek 62,5 kgf/cm², waktu gesek 120 detik. Sampel diuji dengan pengujian struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarik. Kesimpulan yang didapatkan adalah Kekuatan las akan meningkat ketika tekanan tempa juga meningkat. Kekuatan sambungan tertinggi sebesar 546,66 N/mm² yaitu pada tekanan tempa 500 kgf/cm².

Nugroho, dkk. (2016), melakukan pengujian tentang mikrostruktur dan kekerasan sambungan pengelasan gesek dissimilar bahan pipa tembaga dan kuningan. Parameter yang digunakan putaran mesin 2000 rpm, tekanan gesek 14,71 MPa, tekanan tempa 19,62 MPa. Pengelasan dilakukan dengan variasi waktu gesek 25, 30, 40, 60, 70 detik. Sampel diuji dengan pengujian struktur mikro dan kekerasan. Kesimpulan yang didapatkan adalah pada daerah yang terpengaruh tekanan dan panas pengelasan (TMAZ) ukuran dan bentuk butir semakin mengecil pada waktu gesek 25-30 detik sehingga menghasilkan kekerasan paling tinggi (93,6 VHN pada kuningan dan 57.1 VHN pada tembaga), pada waktu gesek 60 detik, terjadi rekristalisasi dan ukuran butir membesar sehingga kekerasan terendah (62.4 VHN di kuningan dan 36.3 VHN di tembaga).

Shubhsvardhan, dkk. (2012), melakukan penelitian tentang pengelasan gesek sambungan disimilar aluminium dan *stainless steel* AISI 304. Parameter dalam penelitian ini menggunakan variasi tekanan gesek 65, 104, 156 MPa, waktu gesek 3, 5, 7 detik dan tekanan tempa 310 MPa, waktu tempa 6 detik dengan putaran mesin las gesek 1400 rpm. Sampel diuji dengan uji metallografi dan uji sifat mekanik. Kesimpulan yang didapatkan adalah pada tekanan gesek 104 MPa, waktu gesek 5 detik didapatkan kekuatan tarik tertinggi yaitu 188,40 MPa. Pada tekanan gesek 156 MPa, waktu gesek 7 detik didapatkan kekuatan tarik 149,6 MPa. Kekuatan tarik meningkat dan kemudian menurun setelah mencapai nilai maksimum dengan meningkatnya tekanan gesekan.



Gambar 2.1. Grafik kekuatan tarik terhadap tekanan gesek (Shubhsvardhan, dkk. 2012)



Gambar 2.2. (a). Hasil pengelasan gesek baja tahan karat austenitik AISI 304
(b) pembubutan spesimen uji tarik (Nugroho, dkk. 2014)

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 100 rpm, dengan variasi tekanan gesek 1,38-4,14 MPa, dan tekanan tempa 6,90-8,27 MPa. Sampel uji diuji dengan pengujian struktur mikro, uji tarik. Penelitian ini tidak melakukan pengujian kekerasan pada sampel uji. Kesimpulan yang didapatkan adalah semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka waktu gesek akan semakin cepat. Kekuatan tarik pengelasan gesek lebih kecil dari kekuatan tarik *stainless steel* tanpa sambungan (*raw*) dimana kekuatan tarik akan menurun seiring dengan penurunan tekanan tempa. Kekuatan tarik tertinggi pada variasi tekanan tempa 8,27 dengan tekanan sebesar 378 MPa dan kekuatan tarik terendah pada tekanan tempa 6,58 MPa sebesar 225,8 MPa. Struktur mikro daerah las berfasa austenit berbutir kecil, daerah HAZ berfasa austenit berbutir lebih besar, dan daerah *base metal* berbutir besar dengan fasa austenit. Cacat las berupa porositas teramati pada seluruh hasil pengelasan terbentuknya porositas diduga karena permukaan interface yang menempel secara tidak merata, yang ditunjukkan dengan garis sambungan antar muka tidak lurus namun bergelombang, akibat getaran berlebih pada mesin las sehingga udara atau gas terjebak di dalamnya.



Gambar 2.3. Struktur makro daerah las pada pengelasan gesek
(Nugroho, dkk. 2014)

Menurut Sanyoto, dkk. (2012), dalam penelitiannya yang berjudul penerapan teknologi las gesek dalam proses penyambungan dua buah pipa logam baja karbon rendah. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi waktu gesek 15, 20, 25, 30, dan 35 detik, tekanan gesek 1,47 MPa dan tekanan tempa 6,86 MPa, dengan putaran mesin 4125 rpm. Sampel diuji dengan pengujian metallografi dan uji kekerasan. Kesimpulan yang didapatkan adalah semakin tinggi waktu gesek maka panas yang dihasilkan akan semakin tinggi, dari temperatur 402 °C, 418 °C, 437 °C, 470 °C, 490 °C. Semakin meningkatnya temperatur maka nilai upset yang terjadi akan semakin besar sehingga mengakibatkan sempel benda ujinya semakin pendek. Struktur mikro pada sambungan tidak banyak mengalami perubahan, yang artinya tidak banyak terjadi perubahan sifat mekanik. Hasil kekerasan terendah pada sambungan adalah 38 HRA yaitu pada waktu segek 15 detik dan hasil kekerasan tertinggi pada sambungan adalah 47,5 HRA yaitu pada waktu gesek 35 detik. Waktu gesek yang direkomendasikan dalam peneltian ini ialah 35 detik.

Dari beberapa penelitian yang telah disebutkan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa kekuatan tarik akan menurun setelah mencapai nilai kekuatan maksimum dengan meningkatnya tekanan gesekan yang diberikan, meningkatnya tekanan gesek akan menyebabkan kekuatan pada sambungan berkurang karena terjadinya pembentukan fase rapuh di daerah sambungan *interface*. Terbentuknya porositas diduga karena permukaan *interface* yang menempel secara tidak merata yang ditunjukkan dengan garis sambungan antar muka tidak lurus namun bergelombang, akibat getaran yang berlebih pada mesin las sehingga udara atau gas terjebak di dalamnya. Butir struktur mikro pada pengelasan *stainless steel* 304 dari logam induk hingga pada sambungan semakin mengecil.

2.2. Dasar Teori

Pengelasan adalah suatu metode penyambungan dua bahan atau lebih dengan menggunakan energi panas, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las ialah konstruksi ringan, sanggup menahan kekuatan yang tinggi, mudah dalam pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro dan perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang terkena panas pengelasan. Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Proses pengelasan (*welding*) merupakan salah satu teknik penyambungan logam dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan sehingga menghasilkan sambungan yang kuat (Wiryosutomo dan Okumura, 2000).

Menurut *Deutch Industrie Normen* (DIN) las ialah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat diartikan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan dua buah logam sampai titik deformasi plastis menggunakan bahan tambahan maupun tidak (Wiryosutomo dan Okumura, 2000). Fungsi pengelasan selain untuk penyambungan ialah dapat digunakan untuk perbaikan, contohnya untuk menutup lubang-lubang pada pipa akibat korosi.

Penyambungan logam pada zaman dahulu dilakukan dengan cara dua buah logam yang dipanaskan dan menyatukannya secara bersama. Logam yang telah menyatu dikenal dengan istilah fusi. Las listrik merupakan salah satu yang menggunakan prinsip tersebut. Pada zaman sekarang pemanasan logam yang akan disambung berasal dari pembakaran gas atau arus listrik. Beberapa gas dapat digunakan, tetapi yang sangat populer adalah gas *Acetylene* yang lebih dikenal dengan gas Karbit. Selama pengelasan, gas *Acetylene* dicampur dengan gas Oksigen murni. Kombinasi campuran gas tersebut memproduksi panas yang paling tinggi diantara campuran gas lain.

Penggunaan sambungan las memiliki beberapa keuntungan yaitu hasil dari pengelasan memiliki sambungan yang permanen dan sambungan las juga sangat kuat jika teknik pengelasannya yang tepat. Sambungan las juga memiliki beberapa kelemahan yaitu hasil dari sambungan las sulit dibongkar dan proses pengelasan membutuhkan energi yang besar dan cenderung berbahaya.

Pengelasan dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan cara kerjanya yaitu jenis pengelasan tekan, pengelasan cair, dan pengelasan pematrian.

1. Pengelasan tekan

Pengelasan tekan ialah pengelasan dengan cara benda yang akan disambungkan dipanaskan dahulu kemudian ditekan hingga berdempet, setelah itu jika benda tersebut telah dingin maka akan menjadi satu. Berikut ini adalah contoh dari pengelasan tekan:

- Las gesek
- Las tempa
- Las tekan gas

2. Pengelasan cair

Pengelasan cair ialah sebuah proses pengelasan dengan cara memanaskan bagian yang akan disambung hingga mencair dengan menggunakan sumber panas dari energi listrik atau api dari pembakaran gas baik menggunakan bahan tambahan maupun tidak menggunakan bahan tambahan (filler/elektroda). Contoh dari pengelasan cair adalah sebagai berikut:

- Las busur
- Las gas
- Las termit

3. Pengelasan pematrian

Pengelasan pematrian ialah suatu cara penyambungan dua logam dengan sumber panas menggunakan bahan tambahan yang mempunyai titik cair lebih rendah, dalam proses pematrian ini logam induk tidak ikut mencair.

Contoh dari pengelasan pematrian adalah sebagai berikut:

- Pembrasingan
- Penyolderan

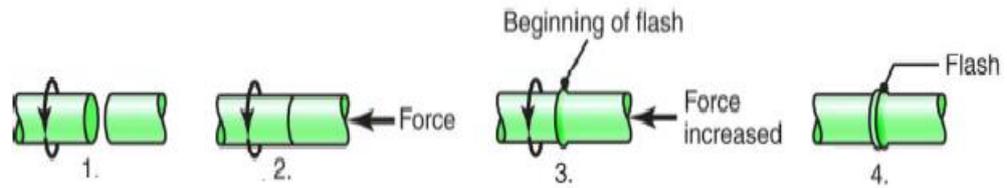
2.3. Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesek merupakan salah satu metode proses penyambungan logam dalam keadaan padat. Gesekan pada kedua permukaan logam yang disambungkan dalam proses pengelasan mengakibatkan terjadinya panas. Proses pengelasan dengan memanfaatkan panas dan tekanan menjadikan kedua logam dapat tersambung. Pengelasan gesek (*friction welding*) memiliki beberapa jenis pengelasan berdasarkan metode penggesekannya yaitu *Rotary Friction Welding* (RFW), *Friction stir welding* (FSW), dan *Linier friction welding* (LFW).

2.3.1. *Rotary Friction Welding*

Rotary Friction Welding (RFW) adalah proses pengelasan *solid state* dimana penyambungannya diperoleh dari kombinasi gesekan dan tekanan sehingga menimbulkan panas. Putaran dari salah satu benda kerja yang didekatkan kearah benda kerja yang diam hingga bersentuhan mengakibatkan terjadinya panas pada kedua ujung benda kerja, sehingga kedua benda kerja dapat tersambung. Pengelasan gesek dalam prosesnya tidak memerlukan Logam pengisi, fluks, dan gas pelindung (*Manufacturing Technology, Inc. 1976*). Proses penyambungan yang memerlukan putaran untuk menghasilkan panas maka, mesin *rotary friction welding* didesain mirip dengan mesin bubut. Mesin *rotary friction welding* memerlukan *spindle* yang bertenaga untuk memutar salah satu benda kerja pada kecepatan tinggi. Mesin ini juga harus bisa menggeser benda kerja secara aksial baik pada chuck yang berputar maupun pada chuck yang tidak berputar.

Keunggulan dari teknologi las gesek adalah mudah dioperasikan, proses operasinya cepat, tidak memerlukan logam pengisi, dan hasil penyambungannya baik. Proses pengoperasiannya mudah dan cepat karena bentuk mesin las gesek menyerupai mesin bubut dan hanya memerlukan waktu gesek yang relatif cepat. Daerah pengaruh panas biasa disebut *heat affected zone* (HAZ) pada logam yang disambung relatif pendek karena adanya tekanan tempa dan panas yang ditimbulkan tidak mencapai temperatur cair logam pada proses pengelasan.



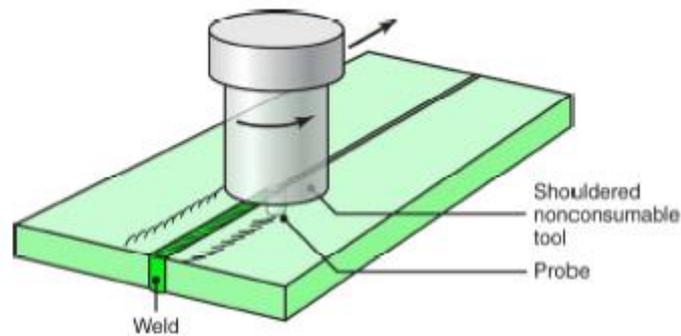
Gambar 2.4. Proses pengelasan *rotary friction welding*
(Kalpakjian dan Schmid. 2009)

Pada gambar 2.4 menjelaskan operasi dalam proses pengelasan gesek: (1) salah satu *chuck* beserta benda kerjanya yang berputar dengan kecepatan tinggi, (2) Benda kerja ditempelkan sehingga menghasilkan gesekan dan panas, (3) putaran dihentikan dan gaya aksial diberikan supaya terjadi penyambungan, (4) Las telah terbentuk dan panjang benda kerja akan berkurang. *Rotary friction welding* biasanya digunakan untuk mengelas bermacam-macam poros dan komponen tubular. *Rotary friction welding* dapat dijumpai di bidang otomotif, pesawat terbang, peralatan pertanian, dan migas.

2.3.2. *Friction Stir Welding*

Friction stir welding (FSW) adalah salah satu proses pengelasan solid-state dengan menggunakan sebuah tool yang berputar dimakamkan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja. Tool yang berputar dan dimakamkan pada garis sambungan tersebut menghasilkan panas, sehingga dapat membentuk sambungan las. Perbedaan *friction stir welding* dengan *rotary friction welding* adalah pada *friction stir welding* panas gesekan dihasilkan oleh tool tahan aus, sedangkan pada *rotary friction welding* berasal dari benda kerja yang akan disambung itu sendiri.

Friction Stir Welding (FSW) juga merupakan metode pengelasan yang sangat efisien dan aman karena tanpa memerlukan biaya logam pengisi atau *Filler Metal*. Kualitas hasil pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) memiliki permukaan yang lebih halus. Metode pengelasan ini juga ramah terhadap lingkungan karena tidak ada uap atau percikan dan tidak ada silauan busur nyala pada fusion.

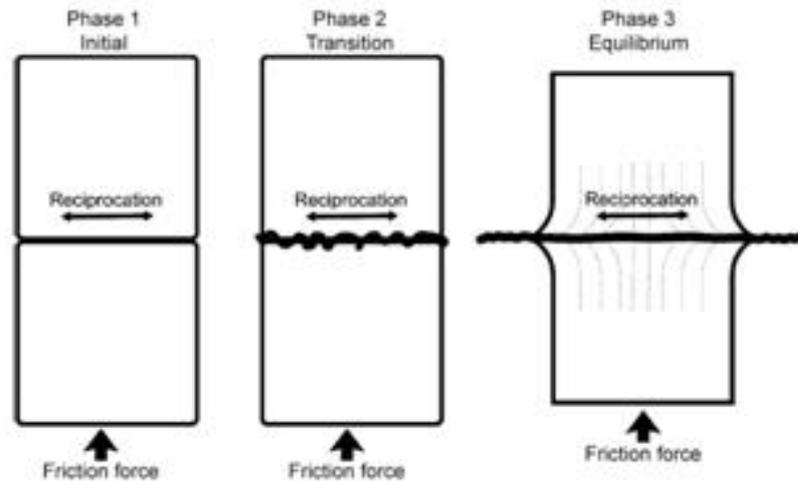


Gambar 2.5. Proses pengelasan *friction stir welding* (Kalpakjian dan Schmid, 2009)

Pada gambar 2.5 menjelaskan operasi *Friction Stir Welding*. *Shoulder* dan *probe* merupakan komponen atau bagian dari tool. *Shoulder* berfungsi untuk menggesek benda kerja supaya menjadi panas dan memaksa logam yang sudah menjadi plastis untuk mengalir di sekitar probe. Probe berfungsi untuk mengaduk logam sepanjang permukaan ujung (*butt*). *Friction stir welding* biasa digunakan di bidang otomotif, kereta, dan perkapalan. Logam yang dapat dilas dengan FSW antara lain: aluminium, baja (steel), titanium, dan tembaga. Selain logam ada material lain yang dapat dilas dengan FSW yaitu polimer dan komposit.

2.3.3. *Linier Friction Welding*

Linier friction welding (LFW) adalah salah satu proses pengelasan solid-state dimana chuck yang bergerak berosilasi lateral tidak berputar. Gesekan antara permukaan kedua logam akan menimbulkan terjadinya panas dan memaksa logam yang sudah menjadi plastis saling menyatu, sehingga memungkinkan sambungan terbentuk. *Linier friction welding* (LFW) mampu mengelas komponen yang berbentuk persegi atau persegi panjang yang terbuat dari logam maupun plastik (Kalpakjian dan Schmid, 2009). *Linier friction welding* menggunakan mesin yang lebih kompleks dibandingkan mesin pada *rotary friction welding*.



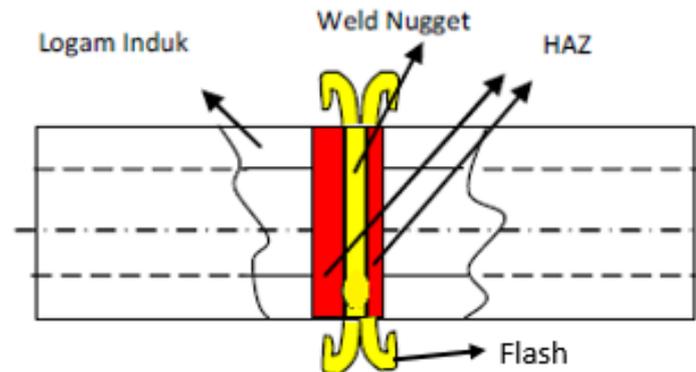
Gambar 2.6. Fase proses *Linier friction welding* (Bhamji, dkk. 2011)

Terdapat 3 fase dalam proses pengelasan *Linier friction welding* yaitu:

1. Fase awal adalah fase dimana pada bagian kedua logam saling bergesekan sehingga menimbulkan panas. Sedikit pemendekan pada bagian logam yang terkena gesekan.
2. Fase transisi adalah fase dimana suhu permukaan antara kedua logam mengalami peningkatan oleh karena itu pada bagian tersebut menjadi plastis.
3. Fase ekuilibrium adalah fase dimana bagian permukaan logam yang menjadi plastis dikeluarkan sehingga membentuk flash dan terjadi proses penyambungan.

2.3.4. Daerah Pengelesan

Daerah pengelasan yaitu daerah yang terpengaruh pemanasan akibat proses pengelasan. Daerah yang terkena panas akan mengalami perubahan struktur mikro sehingga dapat menyebabkan perubahan sifat mekanik pada material. Berikut adalah gambar daerah pengelasan yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 2.7. Daerah pengelasan pada *friction welding*
(Sumber: Sanyoto, 2012)

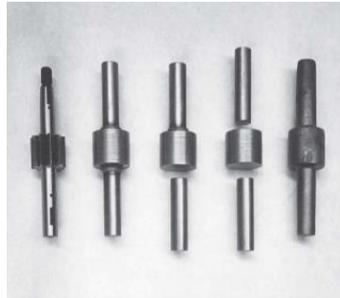
Daerah pengelasan dibagi menjadi empat bagian adalah sebagai berikut:

1. Daerah inti pengelasan *Weld Nugget* (WN) yaitu daerah dimana terjadi pencairan logam dan dengan cepat kemudian membeku.
2. Daerah *heat affected zone* (HAZ) yaitu daerah yang dipengaruhi panas akibat pengelasan sehingga menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik pada material.
3. *Flash* adalah logam yang terdeformasi plastis keluar dari daerah gesekan dan tempaan.
4. Logam induk (*parent metal*) merupakan logam dasar dimana pengaruh panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro dan sifat mekanis pada material.

Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ merupakan daerah yang kritis dari sambungan las. Logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Di samping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las (Wiryosutomo dan Okumura, 2000).

2.3.5. Aplikasi Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Berikut adalah contoh hasil dari komponen yang menggunakan metode pengelasan gesek (*friction welding*).



a. Oil pump gears



b. Piston rods



c. Universal joint



d. Engine valve

Gambar 2.8. Aplikasi pengelasan gesek
(*Manufacturing Technology, Inc. 1976*)

2.3.6. Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesek (*friction welding*) memiliki beberapa kelebihan yaitu:

1. Pengelasan ini dapat dilakukan pada jenis logam yang berbeda.
2. Pengelasan ini tidak memerlukan logam pengisi.
3. Proses pengelasan ini relatif cepat.
4. Pengelasan ini cocok untuk produksi secara besar.
5. Bagian *interface* memiliki sambungan yang merata.
6. Daerah yang terkena panas (HAZ) sempit.
7. Pengelasan ini tidak menyebabkan polusi udara

Pengelasan gesek (*friction welding*) juga memiliki beberapa kelemahan yaitu:

1. Keterbatasan dalam bentuk benda yang dapat di las.
2. Pengelasan bentuk pipa memungkinkan terjadi *flash* dibagian dalam pipa.

2.4. *Stainless Steel*

Baja tahan karat atau biasa disebut dengan *stainless steel* terbuat dari biji besi, silikon, krom, karbon, nikel, mangan dan nitrogen. Pembuatan baja *stainless* terdiri dari berbagai proses. Bahan baku yang pertama mencair dalam tungku listrik setidaknya dikenakan panas selama 12 jam. Selanjutnya campuran dilemparkan ke balik lempeng mekar atau billet, sebelum mengambil suatu bentuk semi-padat. Bentuk awal dari baja ini kemudian diproses melalui operasi yang mencakup hot-rolling ke bar, kabel, lembaran dan lempengan.

Stainles steel adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% Kromium untuk mencegah terjadinya proses korosi. Komposisi ini membentuk *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil dari oksidasi oksigen terhadap Krom yang terjadi secara spontan. Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida Kromium, dimana lapisan oksida tersebut menghalangi proses oksidasi besi (Masduki. 2011). Paduan besi-kromium (Fe-Cr) dan penambahan nikel (Ni) disebut sebagai baja tahan karat di air laut, tahan terhadap asam pekat, dan memiliki titik lebur hingga 1100 °C (Outokumpu. 2013).

Stainless steel yang dikenal dengan nama lain seperti cres atau baja tahan korosi, baja Inox ini memiliki beberapa sifat fisik penting yaitu memiliki zat yang keras, kekuatan ulet yang tinggi, mudah dibentuk, dan pada suhu yang sangat tinggi *stainless steel* mampu mempertahankan kekuatan dan tahanan terhadap oksidasi dan korosi. *Stainless steel* atau baja paduan dengan kandungan kromium membuat logam non-korosif dan mengkilap. Logam anti karat dan logam bebas noda ini digunakan secara luas dalam industri penerbangan, peralatan instalasi perpipaan industri minyak, dan merupakan bagian tak terpisahkan dari kehidupan sehari-hari kita melalui penggunaannya dalam alat-alat makan dan barang rumah tangga.

Berdasarkan jenisnya, *stainless steel* dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam yaitu sebagai berikut:

1. *Stainless steel martensitic*

Martensitic mempunyai kandungan krom sebesar 12% sampai maksimal 14% dan karbon pada kisaran 0,08-2,0%. Kandungan karbon yang tinggi merupakan hal yang baik dalam merespon panas untuk memberikan

berbagai kekuatan mekanis misalnya kekerasan baja. Baja tahan karat kelas *martensitic* menunjukkan kombinasi baik terhadap ketahanan korosi dan sifat mekanis mendapat perlakuan panas pada permukaannya sehingga bagus untuk berbagai aplikasi. *Stainless steel* kelompok ini bersifat magnetik. *Stainless steel martensic* di kelompokkan dalam beberapa tipe yang antara lain adalah tipe 410, 414, 431.

2. *Stainless steel ferritic*

Ferritic mempunyai kandungan krom sebanyak 17% dan karbon sekitar 0,08-0,2%. *Stainless steel* jenis ini pada suhu yang tinggi akan meningkatkan sifat ketahanan korosi. Namun sulit di lakukan perlakuan panas kepada kelompok *stainless steel* ini sehingga penggunaan menjadi terbatas, *stainless steel* kelompok ini bersifat magnetik. *stainless steel ferritic* di kelompokkan dalam beberapa tipe yang antara lain adalah tipe 430, 409, 446.

3. *Stainless steel austenitic*

Austenitic memiliki kandungan krom pada kisaran 17-25% dan nikel pada kisaran 8-20% dan beberapa unsur tambahan dalam upaya mencapai sifat yang di inginkan. *Stainless steel* kelompok ini adalah non magnetik. *Stainless steel austenitic* di kelompokkan dalam beberapa tipe yang antara lain adalah tipe 304, 316, 317, 321, 347.

4. *Stainless steel duplex*

Duplex merupakan kelompok terbaru yang memiliki keseimbangan Kromium, Nikel, Molibdenum dan Nitrogen pada campuran yang sama antara kelompok *austenite* dan kelompok ferit. Hasilnya adalah sebuah kekuatan yang tinggi, sangat tahan terhadap korosi. Direkomendasikan pada suhu -50 sampai dengan +300 ° C. Biasanya disebut UNS, sebagai merk dagang. Beberapa tipe antara lain adalah tipe UNS S32750, UNS S31803.

5. *Stainless steel precipitation hardening*

Stainless steel dengan tambahan titanium, boron atau berilium pada paduan besi, krom, nikel sebagai penguat. Karakteristik *stainless steel* kelas kekuatan tariknya akan meningkat sangat tinggi jika dengan perlakuan

panas. Tipe 630 adalah kelompok *Stainless steel precipitation hardening* yang umumnya memiliki komposisi 17% krom, 4% nikel, 4% tembaga, dan 0,3 niobium. *Stainless steel precipitation hardening* biasa digunakan untuk komponen mekanik, peralatan industri, dan baling-baling turbin.

Stainless steel tipe 304 yang termasuk jenis *stainless steel* austenitic mengandung sekitar 0,05 % karbon, 18 % kromium, dan 8 % nikel. *stainless steel* Jenis ini memiliki sifat fisik yang paling mudah dibentuk dari jenis *Stainless Steel* lainnya, dan memiliki sifat mampu las yang baik. *Stainless steel* tipe 304 cocok digunakan untuk peralatan pengolahan kimia, industri makanan, susu, minuman, untuk penukar panas, dan untuk bahan kimia ringan.

Tabel. 2.1. Komposisi kimia *stainless steel* 304 (Alves, dkk. 2010).

AISI 304 stainless steel	Elements (wt %)						
	Silicon (Si)	Sulfur (S)	Phosphorus (P)	Manganese (Mn)	Carbon (C)	Chromium (Cr)	Nickel (Ni)
	0.38	0.024	0.036	1.67	0.054	18.2	8.0

Sifat kimia pada *stainless steel* dapat ditingkatkan menggunakan paduan lainnya. Titanium, vanadium dan tembaga adalah paduan yang membuat *stainless steel* lebih cocok untuk keperluan tertentu. Tidak hanya logam, tetapi juga non-logam seperti Nitrogen, Karbon dan Silikon yang digunakan untuk membuat *stainless steel*. Sifat kimia bertanggung jawab atas ketahanan korosi dan struktur mekanik dari baja stainless yang penting untuk memilih nilai sempurna untuk aplikasi yang diperlukan. Dalam perdagangan *stainlees steel* memiliki beberapa beberapa bentuk yaitu *stainlees steel* bar (pejal), lembaran, kawat, dan pipa.

Stainless Steel bentuk pipa adalah salah satu material yang paling banyak dipakai dalam pembuatan konstruksi bangunan. Tidak hanya dipakai pada bangunan rumah atau gedung-gedung bertingkat, jenis pipa *stainless steel* juga dipakai dalam kebutuhan alat rumah tangga, dan ada juga yang dipakai untuk *spear part* kendaraan seperti *shock breaker*, hingga dalam bidang industri seperti teknik laut, pembuatan kapal, *boiler heat exchanger*, peralatan perlindungan lingkungan, obat, PLTA, daya nuklir, dan pupuk kimia. Meskipun bisa dikatakan

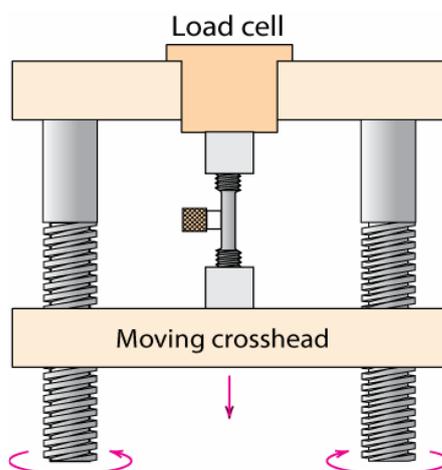
harganya cukup mahal pipa stainless banyak diminati karna sifatnya yang anti karat dan sangat tahan terhadap korosi.



Gambar 2.9. Pipa *stainless steel* 304

2.5. Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah cara pengujian pada bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan standar ASTM E8 dan Jepang dengan standar JIS Z 2201. Melalui proses menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang (Sastranegara. 2010). Pengujian tarik juga banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi suatu bahan. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkaman yang kuat dan kekakuan yang tinggi. *Brand* terkenal untuk alat uji tarik antara lain adalah Shimadzu, Instron dan Dartec.



Gambar 2.10. Skema pengujian tarik (Callister. 2001)

Tegangan yang didapatkan dari kurva tegangan teoritik adalah tegangan yang membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang lintang benda uji itu. Dapat dituliskan dalam persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$\sigma = F/A \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

σ = Tegangan maksimal

F = Gaya tarik

A = Luas penampang

Regangan yang diperoleh adalah regangan linier rata-rata, yang didapatkan dengan cara membagi perpanjangan (*length gauge*) benda uji dengan panjang awal benda uji. Dapat dituliskan dalam persamaan 2.2 sebagai berikut.

$$\epsilon = \Delta L/L \dots\dots\dots(2.2)$$

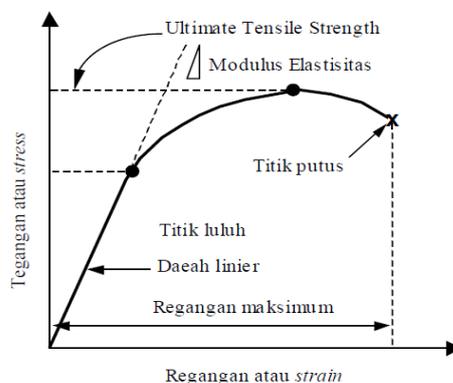
Keterangan:

ϵ = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang

L = Panjang awal

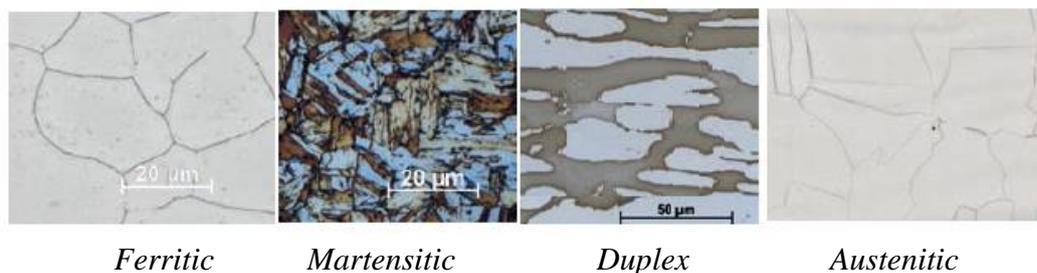
Hubungan tegangan dan regangan (*stress vs strain*) yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. *E* adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap. *E* diberi nama "*Modulus Elastisitas*" atau "*Young Modulus*". Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurva SS (*SS curve*). Kurva tegangan dan regangan dapat ditunjukkan pada gambar 2.11 sebagai berikut.



Gambar 2.11. Kurva tegangan dan regangan (Sastranegara. 2010)

2.6. Struktur Mikro

Struktur mikro adalah penggabungan dari satu atau lebih struktur kristal yang pada umumnya terdiri dari banyak kristal dan fasa-fasa di dalam logam walaupun ada diantaranya hanya terdiri dari satu kristal saja. Kondisi dari suatu logam bisa diketahui dengan pengamatan struktur mikro. Berikut ini adalah gambar 2.12 yang memperlihatkan jenis-jenis kristal dan fasa yang terkandung pada logam.



Gambar 2.12. Struktur mikro *stainless steel* (Outokumpu. 2013)

Stainless steel memiliki beberapa perbedaan struktur mikro yang disebabkan oleh konsentrasi karbon fasa masing masing campuran, fasa-fasa padat yang ada didalam baja :

1. Ferit (alpha) : merupakan sel satuan (susunan atom-atom yang paling kecil dan teratur) berupa Body Centered Cubic (BCC= kubus pusat badan), Ferit ini mempunyai sifat magnetis, agak ulet, dan agak kuat.
2. Martensit : merupakan mikro konstituen yang terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konstituen ini terbentuk saat austenit didinginkan secara sangat cepat, seperti melalui proses *quenching* pada medium air. Martensit yang terbentuk berbentuk seperti jarum dan memiliki sifat sangat keras dan getas.
3. Sementid (besi karbida) : merupakan sel satuan yang berupa orthorombik, Sementid dapat berada di dalam sistem besi baja dalam berbagai bentuk seperti: bentuk bola (*sphere*), bentuk lembaran (berselang seling dengan *alpha-ferrite*). Sementid ini mempunyai sifat keras dan getas.
4. Perlit : merupakan campuran fasa ferit dan sementid sehingga mempunyai sifat lebih kuat dari pada ferit.

5. Austenit : merupakan sel satuan yang berupa Face Centered Cubic (FCC = kubus pusat muka), dalam keadaan setimbang fase austenit ditemukan pada temperatur tinggi. Austenit ini mempunyai sifat non magnetis dan ulet.

2.7. Pengujian Kekerasan Vickers

Kekerasan (*Hardness*) merupakan salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan pada suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan dan deformasi plastis. Deformasi plastis dari suatu keadaan material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal yang artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Pada aplikasi manufaktur, material dilakukan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik suatu material baru dan melihat mutu untuk memastikan suatu material memiliki spesifikasi kualitas tertentu. Untuk mengetahui nilai kekerasan pada suatu logam, maka dilakukan pengujian. Salah satu pengujian kekerasan yaitu dengan cara uji kekerasan vickers. Pengujian kekerasan dengan metode vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indenter intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid. Beban yang dikenakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian rockwell dan brinell yaitu antara 1 sampai 1000 gram.

Angka kekerasan pada vickers didefinisikan sebagai beban dibagi dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indenter (diagonalnya). Nilai VHN dapat ditentukan dari persamaan 2.3 sebagai berikut.

$$VHN = \frac{2P \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854) \cdot P}{d^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

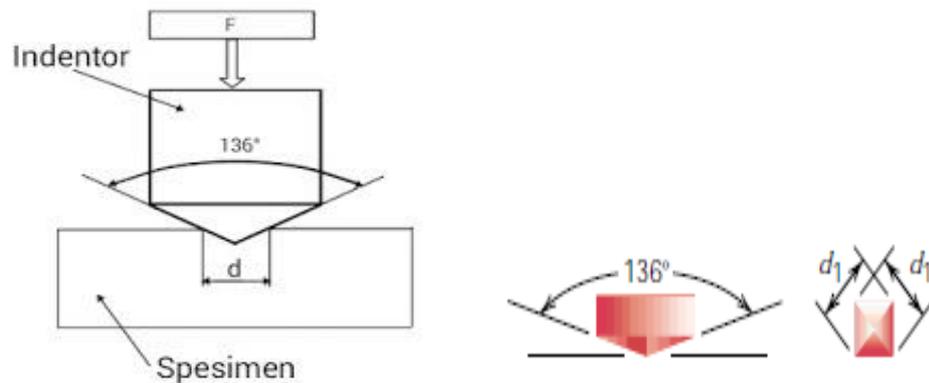
Keterangan:

P = Beban yang digunakan (kgf)

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan = 136°

Metode pengujian kekerasan vickers dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136° . Penekanan oleh indenter akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda yang uji.



Gambar 2.13. Skema uji kekerasan dan bentuk indenter vikers (Callister, 2001)

Pengujian kekerasan vickers mempunyai beberapa keuntungan dan juga kerugian (kekurangan), seperti berikut.

Keuntungan :

- Menggunakan hanya satu jenis indenter untuk menguji material yang lunak hingga yang keras.
- Pembacaan ukuran jejak dapat dilakukan lebih akurat.
- Jenis pengujian yang relatif tidak merusak.
- Metode vickers dapat digunakan pada hampir semua logam.

Kekurangan :

- Secara keseluruhan, waktu pelaksanaan pengujian lama.
- Memerlukan pengukuran diagonal jejak secara optik.
- Permukaan benda uji harus dipersiapkan dengan baik.