

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Parameter yang sering digunakan dalam pengelasan gesek (*friction welding*) antara lain tekanan gesek, waktu gesek, tekanan tempa, waktu tempa dan kecepatan putar. Penelitian tentang pengelasan gesek (*friction welding*) dengan material aluminium 6061-T6 dan *stainless steel 304* telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Irwansyah, (2015), telah melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur panjang *upset* dan bentuk *flash* terhadap kekuatan tarik pada penyambungan aluminium dengan metode pengelasan gesek. Pada penelitian tersebut menggunakan parameter kecepatan putar 1650 Rpm, tekanan gesek 300 dan 400 Psi dan waktu gesek 2 detik. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan tekanan gesek 400 Psi dan waktu gesek 2 detik menghasilkan temperatur 137,7°C memperoleh kekuatan tarik sambungan terbaik sebesar 289 MPa dalam penyambungan *similar* aluminium. Namun kekuatan tarik yang diperoleh belum mencapai kekuatan tarik dari logam induknya yaitu sebesar 313 Mpa. Tinggi dan rendahnya temperatur dipengaruhi seberapa besar tekanan gesek yang diperoleh dan lama waktu selama gesekan, namun peningkatan temperatur yang diperoleh tidak akan semakin meningkatkan hasil kekuatan tarik.

Iswar dan Syam, (2012), menganalisa pengaruh variasi parameter pengelasan (putaran dan temperatur) terhadap kekuatan sambungan las *Friction welding* pada baja karbon rendah ST.42. proses pengelasan gesek menggunakan parameter 3 jenis putaran yang berbeda yaitu: 550 Rpm, 1020 Rpm, dan 1800 Rpm pada temperatur berbeda yaitu: 750°C, 800°C, dan 850°C. Dari analisa tersebut dihasilkan bahwa proses pengelasan yang berlangsung lama mengakibatkan daerah permukaan yang dilas menjadi lebih rapuh karena terjadi pemanasan yang berlebihan begitu juga dengan daerah HAZ akan semakin besar sehingga mempengaruhi sifat mekanis dari material tersebut. Pada 850°C dan kecepatan putar 1800 Rpm merupakan temperatur yang paling stabil dimana atom semakin

padat dan seragam. sehingga regangan yang terjadi semakin kecil hal ini menandakan material tersebut menjadi keras dan kuat.

Sahin, (2009), telah melakukan penelitian tentang penyambungan *stainless steel* dan alumunium dengan menggunakan *friction welding*. Pada penelitiannya digunakan parameter dengan beberapa variasi pada tekanan gesek (18 MPa, 24 MPa, 30 MPa, 30 MPa), tekanan *upset* (40 MPa, 45 MPa, 50 MPa, 60 MPa, 65 MPa), dan waktu gesek (3 detik, 4 detik, 5 detik, 6 detik, 7 detik, 9 detik), sedangkan waktu *upset* dan kecepatan putar konstan, yaitu 12 detik dan 1410 Rpm. Dari hasil sambungan material dilakukan pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan beban 500 g masing-masing material. Pada material *stainless steel* jarak 0,2 mm dari sambungan mendapatkan nilai kekerasan 290 VHN, jarak 1-2 mm 225 VHN, sedangkan untuk jarak 3-4 mm mendapatkan nilai kekerasan 230 VHN. Pada daerah alumunium, rata-rata memiliki nilai kekerasan 5 VHN.

Penelitian telah dilakukan oleh Sahin dan Misirli, (2013), tentang sifat mekanis dan metalurgi dari sambungan material beda jenis menggunakan *continuous drive friction welding*. Dalam penelitiannya yang dilakukan, peneliti melakukan penyambungan antara alumunium dengan *stainless steel 304* dan alumunium dengan tembaga. Pada penyambungan alumunium-*stainless steel*, parameter yang digunakan adalah parameter terbaik dari hasil penelitian sebelumnya (Sahin, 2009), yaitu tekanan gesek 30 MPa, waktu gesek 4 detik, tekanan *upset* 60 MPa, dan waktu *upset* 12 detik. Pada penyambungan alumunium-tembaga, parameter yang digunakan adalah parameter dari hasil penelitian sebelumnya (Sahin, 2010), yaitu tekanan gesek 60 MPa, tekanan *upset* 120 MPa, waktu gesek 4 detik, dan waktu *upset* 12 detik.

Subhavardhan dan Surendran, (2012), melakukan penelitian tentang pengaruh parameter tekanan gesek dan waktu gesek terhadap kekuatan sambungan dari material silinder pejal beda jenis *stainless steel 304* dan aluminium 6082 menggunakan metode *continuous drive friction welding*. Pada penelitiannya menggunakan variasi parameter tekanan gesek (65 MPa, 104 MPa, 156 MPa), dan waktu gesek (3 detik, 5 detik, 7 detik), sedangkan pada parameter yang lain dibuat

konstan yaitu tekanan upset 210 Mpa, waktu gesek 6 detik, dan kecepatan putar mesin 1400 Rpm. Dari hasil penelitian yang dilakukan pada pengujian nilai kekerasan menggunakan beban 500 g. Pada daerah *stainless steel* nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada jarak 0,2 mm dari sambungan 325 VHN, sedangkan daerah pada jarak 10 mm dari sambungan nilai kekerasannya 305 VHN. Pada daerah aluminium jarak 0,2 mm dari sambungan nilai kekerasannya 60 VHN, sedangkan jarak 10 mm nilai kekerasannya 50 VHN. Sementara itu nilai kekerasan tertinggi pada sambungan diperoleh pada variasi tekanan gesek 104 MPa dan waktu gesek 5 detik dengan nilai kekerasan 100 VHN.

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa, penyambungan aluminium dan *stainless steel* menggunakan metode *continuous drive friction welding* parameter yang dilakukan adalah: tekanan gesek 18-100 MPa, waktu gesek 3-10 detik, tekanan *upset* 40-210 Mpa, dan waktu *upset* 2-12 detik. Parameter proses yang digunakan ini memiliki pengaruh terhadap distribusi temperatur yang diperoleh. Oleh karena itu perlunya penelitian lebih lanjut mengenai parameter yang tepat untuk penyambungan silinder pejal aluminium dan *stainless steel* terhadap distribusi temperatur, struktur mikro, dan kekerasan material.

2.2 Dasar Teori

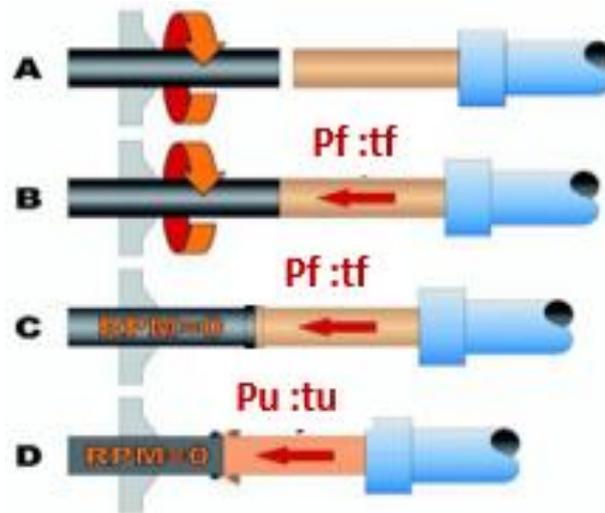
Pengelasan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari pertumbuhan industri, karena pengelasan merupakan peranan penting dalam rekayasa produksi logam. Berdasarkan cara kerjanya pengelasan diklasifikasikan menjadi tiga jenis, diantaranya: pengelasan cair (*fusion welding*), pengelasan tekan (*pressure welding*), dan pematrian (*brazing*). Pengelasan cair adalah proses pengelasan dua buah logam dengan cara mencairkan sambungan logam menggunakan sumber panas dari busur listrik. Pengelasan tekan adalah proses penyambungan dua logam yang dipanaskan dan kemudian setelah tersambung diberi tekanan hingga tersambung menjadi satu. Sedangkan pematrian adalah pengelasan dengan cara memanaskan logam pengisi (*filler metal*) yang mempunyai titik cair lebih rendah dari logam induknya.

2.2.1 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesek merupakan salah satu proses penyambungan logam dalam kondisi padat. Penyambungan dilakukan pada suhu yang relatif rendah, dibawah titik lebur logam yang disambung. Pengelasan gesek (*friction welding*) dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis diantaranya, yaitu: *continuous drive friction welding* (CDFW), *friction stir welding* (FSW), dan *linear friction welding* (LFW).

2.2.1.1 *Continuous Drive Friction Welding* (CDFW)

Continuous drive friction welding adalah jenis penyambungan dua buah logam padat (*solid state proses*). *Continuous drive friction welding* merupakan proses penyambungan pengelasan gesek dengan cara dua buah material digesekan, satu material berputar sedangkan material yang satunya diam. Pada material yang diam diberikan tekanan aksial sehingga saling bergesekan.



Gambar 2.1 Proses *Continuous Drive Friction Welding*

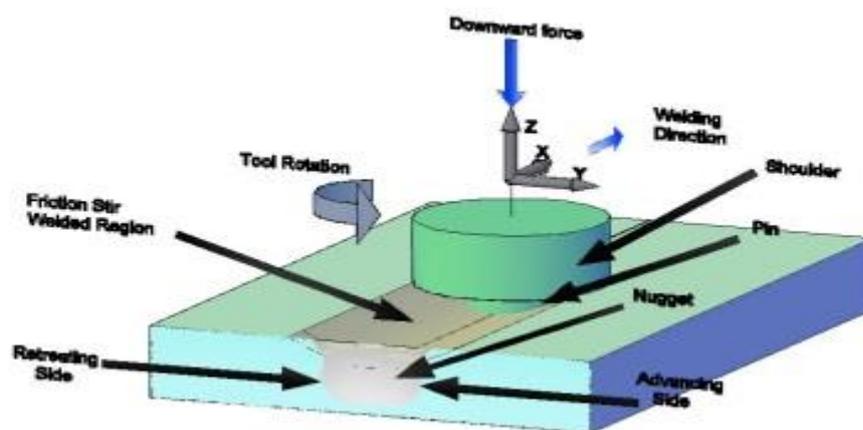
Sumber: Subhavardhan (2012).

Berikut ini adalah proses penyambungan *continuous drive friction welding* :

1. Dua spesimen dipasang pada cekam yang berputar dan dipasang pada cekam yang diam pada mesin *continuous drive friction welding*.
2. Kedua buah spesimen digesekan, dari hasil gesekan akan timbul panas yang akan menyambungkan ujung kedua spesimen.
3. Panas hasil gesekan tersebut akan memunculkan *flash*.
4. Hentikan putaran mesin kemudian secara langsung tekanan ditingkatkan menjadi tekanan *upset* sehingga tersambung kedua spesemen tersebut.
5. Proses penyambungan *friction welding* dengan metode *continuous drive friction welding* selesai.

2.2.1.2 Friction Stir Welding (FSW)

Friction stir welding merupakan metode penyambungan dua buah material yang akan digesekan disejajarkan kemudian diatas permukaan material yang akan disambung digesekan dengan menggunakan sebuah *tool* yang berputar dan diberi tekanan sehingga mengakibatkan panas pada daerah sambungan dan dapat melelehkan kedua buah material. Pada proses ini hanya dipergunakan untuk menyambung material yang berbentuk plat saja.



Gambar 2.2 Proses *Friction Stir Welding*

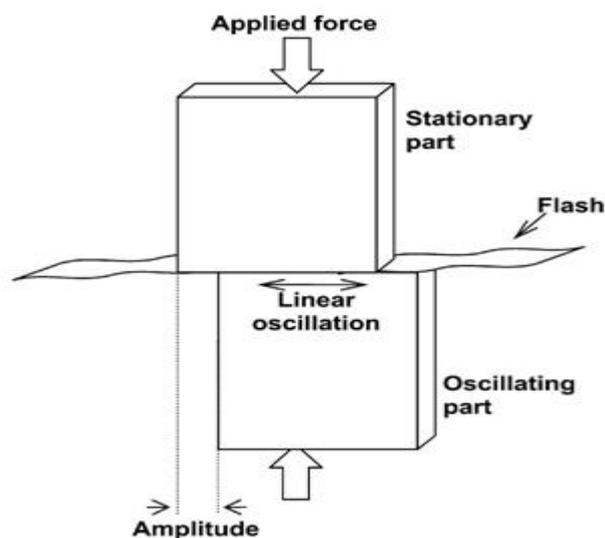
Sumber: G. Gopala Krishna, dkk, (2015).

Berikut ini adalah proses friction stir welding :

1. Sejajarkan material berbentuk plat yang akan disambung pada meja mesin *friction stir welding*.
2. Kemudian posisikan *tool* diantara tengah bagian yang akan dilas.
3. Gesekan putaran *tool* pada permukaan dari ujung material yang dilas.
4. Menggeser *tool* dari ujung muka hingga ujung belakang material sehingga daerah yang dilas selesai.
5. Hentikan mesin dan proses penyambungan *friction stir welding* selesai.

2.2.1.3 Linear Friction Welding (LFW)

Pada metode *linear stir welding (LFW)* kedua material disejajarkan dan kemudian diberikan gerakan bolak-balik yang berlawanan arah antara material yang satu dengan material yang lainnya hingga menimbulkan panas dari gesekan tersebut. Keuntungan dari proses pengelasan ini bahwa jenis material apapun dapat disambungkan dengan menggunakan metode pengelasan *linear friction welding* ini.



Gambar 2.3 Proses *Linear Friction Welding*

Sumber: Bhamji (2010).

Berikut ini adalah proses penyambungan *Linear Friction Welding* :

1. Pasang spesimen pada *chuck* yang bergerak bolak-balik.
2. Gerakan *chuck* sehingga kedua spesimen saling bergesekan.
3. *Chuck* bergerak berisolasi dengan waktu yang sudah ditentukan.
4. Hintikan mesin setelah timbul panas yang cukup pada sambungan kemudian diberikan tekanan pada kedua benda yang tersambung.
5. Proses penyambungan dengan metode *linear friction welding* selesai.

2.2.2 Keunggulan dan Keterbatasan *Friction Welding*

Pada proses penyambungan *friction welding* ada beberapa keunggulan yang dimiliki bila dibandingkan dengan proses penyambungan dengan metode *fusi* dan *brazing*. Adapun keunggulannya adalah sebagai berikut:

1. Proses untuk melakukan *friction welding* dibutuhkan waktu yang relatif singkat dibanding dengan metode pengelasan lainnya.
2. Dalam metode *friction welding* tidak memerlukan bahan tambahan.
3. Metode *friction welding* ini ramah lingkungan karena pada saat pengelasan tidak menimbulkan polusi atau asap seperti metode pengelasan lainnya.
4. Dapat dilakukan pada logam yang berbeda jenis.
5. Hemat biaya.

Namun pada metode *friction welding* juga memiliki beberapa kekurangan yaitu:

1. Pada proses pengelasan gesek ini tidak semua material dapat digunakan karena hanya bentuk silinder atau plat yang dapat diproses.
2. Tidak semua material atau logam mudah dilakukan proses penyambungan dengan metode *friction welding* ini.

2.2.3 Aplikasi Penyambungan *Continuous Drive Friction Welding*

Contiuous drive friction welding biasanya digunakan untuk penyambungan produk atau komponen silinder dengan bermacam-macam logam yang digunakan. Berikut adalah hasil pengaplikasian penyambungan *contiuous drive friction welding*.

- a. *Transmission Input Shaft*
- b. *Transmission Gear*
- c. *Water pump-as (Stainless Steel-Martensitic, Steel-Medium Carbon)*
- d. *Water pump-as welded (Aluminum Alloys, Stainless Steel-Austenitic)*



(A.)



(B.)



(C.)



(D.)

Gambar 2.4 Hasil Sambungan *Continuous Drive Friction Welding*

Sumber: www.mtiwelding.com (2018)

2.2.4 Klasifikasi Aluminium 6061-T6

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan. Aluminium mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang sangat bagus. Aluminium dipakai dalam berbagai bidang yang sangat luas seperti bidang listrik, kimia, bangunan, dan transportasi. Kemajuan teknik pengelasan menyebabkan pengelasan aluminium dan paduannya menjadi sederhana dan dapat dipercaya. Paduan aluminium diklasifikasikan dengan tiga cara yaitu : berdasarkan pembuatan dengan klasifikasi paduan cor dan paduan tempa. berdasarkan perlakuan panas dengan klasifikasi tidak dapat dipanaskan. Dan cara ke tiga berdasarkan unsur-unsur paduan. Berdasarkan klasifikasi ke tiga ini aluminium dapat dibagi tujuh jenis yaitu : jenis Al murni, Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Mg-Si dan jenis Al-Zn. Paduan yang dapat dipanaskan adalah paduan yang dimana kekuatannya dapat diperbaiki dengan pengerasan dan penemperan. Sedangkan paduan yang tidak dapat dipanaskan kekuatannya hanya dapat diperbaiki dengan pengerjaan dingin. Pengerasan pada paduan aluminium yang dapat dipanaskan tidak adanya transformasi martensit seperti dalam baja karbon tetapi karena adanya pengendapan halus fase kedua dalam butir kristal. Karena proses ini, pengerasan pada paduan aluminium disebut pengerasan endap atau pengerasan persipitasi.

Sifat-sifat pengerasan persipitasi dari paduan aluminium tergantung pada unsur-unsur paduannya. Logam paduan aluminium yang termasuk pada kelompok yang tidak dapat dipanaskan adalah jenis Al murni, Al-Mn, Al-Si, dan Al-Mg. Sedangkan kelompok yang dapat dipanaskan masih dibagi lagi dalam jenis perlakuan panasnya yaitu : anil-temper (O-temper), pengaruh regang (H-temper), pengaruh alamiah dan pengaruh buatan. Paduan aluminium yang dapat dikeraskan secara alamiah adalah jenis Al-Cu dimana cara pengerasannya karena terjadinya pengendapan fasa ke dua pada suhu kamar dalam waktu beberapa hari setelah perlakuan panas pelarutan pada fase ke dua. Sedangkan yang termasuk dalam kelompok pengerasan buatan antara lain jenis Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si dan jenis Al-Zn-Mg. Proses pengerasan ini pengendapan fasa kedua terjadi pada suhu diatas

suhu kamar sampai 160 atau 185 C dalam waktu 6 sampai 20 jam. (Wirosumarto dan Okumura, 2002)

2.2.4.1 Jenis-jenis Alumunium

Menurut irawan (2013), ada bebragai macam alumunium antara lain yaitu:

1. Alumunium 1XXX

Jenis alumunium ini kemurniannya antara 99,0% dan 99,9%. Alumunium seri ini disamping sifatnya yang baik dalam tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik juga memiliki sifat yang memuaskan dalam pengelasan dan pemotongan. Hal yang kurang menguntungkan dalam alumunium jenis ini adalah kekuatannya yang rendah.

2. Alumunium 2XXX

Alumunium seri 2XXX adalah jenis yang dapat diperlaku panaskan. Dengan melalui proses pengerasan endap atau penyepuhan sifat mekanik, paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak. Paduan dari alumunium ini adalah Al-Cu. Tapi daya tahan korosinya rendah bila dibanding dengan jenis paduan yang lainnya, sifat pengelasannya juga kurang baik karena paduan jenis ini biasanya digunakan pada kontruksi keling dan banyak juga untuk kontruksi pada kerangka pesawat.

3. Alumunium 3XXX

Alumunium jenis ini tidak dapat diperlaku panaskan. Sehingga kenaikan kekuatannya hanya dapat melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Paduan alumunium seri 3XXX yaitu Al-Mn. Bila dibandingkan dengan alumunium 1XXX paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi. Namun dalam hal kekuatan alumunium jenis ini lebih unggul dari pada dengan alumunium murni.

4. Alumunium 4XXX

Alumunium 4XXX termasuk dalam jenis yang tidak dapat diperlaku panaskan. Jenis alumunium ini dalam keadaan cair dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi keretakan. Karena sifat-sifatnya jenis alumunium ini banyak digunakan sebagai logam las dalam pengelasan paduan baik paduan cor ataupun paduan tempa. Paduan alumunium jenis ini antara lain Al-Si.

5. Alumunium 5XXX

Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlaku panaskan. Paduan dari alumunium 5XXX adalah Al-Mg. Alumunium jenis ini mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu lasnya. Paduan alumunium 5XXX banyak digunakan tidak hanya untuk kontruksi umum saja, namun digunakan juga untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Alumunium 6XXX

Paduan alumunium ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku panaskan. Mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang cukup. Kandungan pada paduan alumunium ini yaitu Al-Mg-Si. Sifat yang kurang baik dari alumunium 6XXX adalah terjadi pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul.

7. Alumunium 7XXX

Jenis alumunium ini termasuk jenis yang dapat diperlaku panaskan. Biasanya paduan pokok alumunium ini ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dicapai lebih dari 50 kg/mm, sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin. Berlawanan dengan kekuatan tariknya sifat mampu las dan daya tahan terhadap korosi kurang menguntungkan. Dalam akhir-akhir ini paduan Al-Zn mulai banyak digunakan dalam kontruksi las karena jenis Al-Zn

mempunyai sifat mampu las dan daya tahan korosinya yang lebih baik dari paduan Al-Ze. Disamping itu juga pelunakan daerah las dapat mengeras kembali secara alami.

2.2.5 Klasifikasi *Stainless Steel* 304 (AISI 304)

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung 12% Cr yang menunjukkan ketahanan korosi yang sangat tinggi dikarenakan pembentukan lapisan film kromium oksida. Selain itu *stainless steel* ini juga terdapat unsur yang ditambahkan pada paduan besi seperti nikel, mangan, molybdenum, nitrogen dan elemen lainnya yang sangat berpengaruh terhadap sifat material. Logam ini memiliki sifat mekanik yang baik dan mudah dalam pengerjaan, penggunaannya didominasi oleh berbagai bidang diantaranya: *petrochemical*, industri makanan dan minuman, farmasi, produk konsumen. Dengan kandungan prosentase dari Cr-Ni *stainless steel* terdiri atas beberapa tingkatan diantaranya yaitu: *austenitic*, *martensitic*, *ferritic* dan *duplex*. (M Fawaid dkk, 2012).

Menurut paduan besi-kromium (Fe-Cr) dengan penambahan nikel (Ni) logam ini disebut sebagai baja tahan karat yang tidak akan korosi dengan air laut dan tahan terhadap asam pekat serta mempunyai titik lebur mencapai 1100°C. Logam AISI 304 ini mempunyai merupakan logam baja tahan karat yang berdasarkan fasanya adalah jenis *austenitic*. Logam baja tahan karat *stainless steel austenitic* 304 ini adalah salah satu jenis logam paduan Fe-Cr-Ni yang telah digunakan secara luas diberbagai dunia industri. Beberapa peneliti menggunakan *stainless steel* 304 sebagai material penelitian untuk disambungkan dengan logam jenis lain seperti aluminium menggunakan metode pengelasan gesek (*friction welding*). Logam ini mempunyai sifat tahan korosi, *non magnetic* dan *weldability* yang baik. Tipe AISI 304 ini banyak digunakan karena memiliki kandungan 18% Cr dan 8% Ni. Sifat dari *stainless steel* ini dapat dikeraskan dengan *cold working* akan tetapi logam ini tidak dapat dikeraskan dengan *heat treatment*. Selain itu AISI 304 mempunyai sifat keuletan dan kemampuan las yang baik dalam pengerjaannya. Akan tetapi konduktivitas pada logam *stainless steel* ini sangat buruk dibandingkan dengan kebanyakan logam lainnya.

Berdasarkan dengan fasanya, baja tahan karat dapat klasifikasikan menjadi beberapa jenis antara lain:

1. Baja Tahan Karat *Feritic*

Feritic mempunyai kandungan *chrome* sekitar 17% dan karbon 0.08-0.2%. *Stainless steel feritic* memiliki sifat ketahanan korosi yang sangat baik pada suhu tinggi, namun jenis ini sulit untuk dikeraskan dengan perlakuan panas. Selain itu *feritic* bersifat *magnetic* dan mampu menerima pengelasan dibagian tipis. Tipe dari logam ini diantaranya: 409, 446, 434.

2. Baja Tahan Karat *Austenitic*

Logam *stainless steel austenitic* ini memiliki kandungan sekitar 18% *chrome* dan 8% nikel serta beberapa unsur tambahan untuk mencapai sifat material yang diinginkan. Baja tahan karat *austenitic* ini memiliki karakteristik umumnya *non magnetic*, tahan terhadap karat dan suhu yang tinggi. Logam ini merupakan logam yang mudah dibentuk karena memiliki sifat *ductility* (ulet) yang baik dan memiliki sifat kemampuan las yang baik. Tipe dari logam ini diantaranya: 304, 316, 317, 321, 347.

3. Baja Tahan Karat *Martensitic*

Baja tahan karat jenis *martensitic* ini memiliki kandungan karbon yang tinggi sedangkan *chrome* lebih rendah sekitar 35% karbon dan 11-13% *chrome*. *Martensitic* ini bersifat *magnetic* yang dapat dikerjakan dengan perlakuan panas namun memiliki ketahanan korosi sedang dan kemampuan las kurang baik atau terbatas karena *hardenability*. Tipe logam ini diantaranya: 410, 416, 420, 431.

4. Baja Tahan Karat *Duplex*

Baja tahan karat jenis *duplex* merupakan kombinasi antara *austenitic* dan *feritic* karena memiliki keseimbangan yang sama campuran dari setiap paduannya. Karakteristik dari *duplex stainless steel* tahan terhadap korosi dan kekuatan yang tinggi. Logam ini memiliki kemampuan las yang baik dan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Tipe logam ini diantaranya: UNS S31803, UNS S32750.

5. Baja tahan karat penguatan pengendapan, *precipitation-hardening stainless steel* memiliki struktur *martensitic* dan *austenitic* dengan penambahan unsur didalamnya diantaranya seperti Tembaga, Titanium, Aluminium, Molibdenum, Niobium, dan Nitrogen.

Unsur paduan yang terdapat dalam *stainless steel* semakin tinggi kadar dari *chrome* maka akan semakin tahan besi dari korosi. Hal ini terjadi dikarenakan terbentuknya lapisan film oksida pada permukaan. Disisi lain kekurangan kadar *chrome* maka akan menyebabkan berkurangnya jumlah dari lapisan film oksida. Dengan hal ini maka kadar karbon didalam *stainless steel* perlu dijaga dalam keadaan rendah. Jika tidak, maka akan terbentuknya karbida *chrome* sehingga *chrome* yang ada tidak dapat kepermukaan untuk membentuk film oksida.

2.2.6 Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

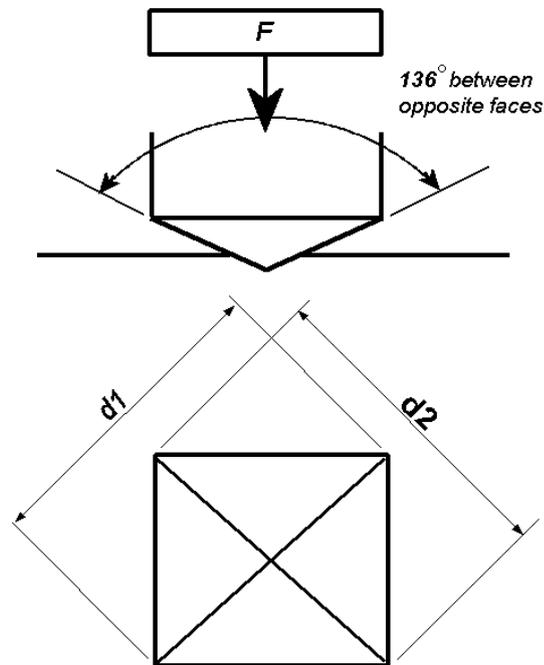
Prinsip dari pengujian ini sama dengan pengujian kekerasan *brinell*. Namun perbedaan dari pengujian ini dapat diketahui pada bentuk indikator yang ditekan pada material yang akan diuji. Pada pengujian mikro vickers memakai indikator berbentuk pyramid yang ber alas bujur sangkar dengan sudut pucuk 136° yang menekan material yang diuji pada pembebanan tertentu. Pada penekanannya yang diukur adalah panjang diagonalnya, pada arah horizontal ditandai sebagai d-1 dan diagonal jejak arah vertical di tandai sebagai d-2 kemudian diambil rata-rata sebagai panjang diagonal jejak. Prinsip kerjanya material pengujian ditekan beberapa detik dengan beban, bekas tekanan diukur dengan menggunakan mikroskop optik. Nilai kekerasan vickers (VHN) dapat diketahui berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\frac{2.F.Sin(\frac{\alpha}{2})}{d^2} \dots \dots \dots \text{persamaan}(2.1)$$

F = beban yang diberikan (Newton)

d = panjang diagonal rata-rata : $\frac{d1+d2}{2}$ (mm)

α = sudut puncak indenter (136°)



Gambar 2.5 Proses Indentasi *Hardness Vickers*

Sumber : www.gordonengland.co.uk (2017)

Pada pengujian kekerasan dengan metode *vickers* pada suatu material biasanya memilih salah satu diantaranya sejumlah beban indentasi sesuai dengan material yang akan diuji. Kesalahan pada saat pemilihan beban akan berdampak pada keakuratan data kekerasan suatu material dan akan menimbulkan salah interpretasi terhadap sifat material yang diuji. Besar gaya yang akan digunakan tergantung pada kekerasan atau ketebalan benda yang akan diuji agar diperoleh tapak tekan yang mudah diukur.

2.2.7 Pengujian *Metallografi*

Metallografi merupakan ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur dan temperatur logam dengan menggunakan mikroskop optik. pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik tersebut dilakukan terhadap material yang telah diproses dan dengan pembesaran tertentu.

Dalam *metallografi* dikenal dengan pengujian makro (*macroscope test*) dan pengujian mikro (*mikroscope test*).

Pengujian makro (*macroscope test*) adalah proses pengujian yang hanya dilakukan dengan menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa lubang dan celah pada permukaan material. Angka kevalidan pada pengujian makro hanya berkisaran 0,5-50 kali. Pengujian ini biasanya dilakukan untuk material yang berstruktur kristal yang tergolong besar dan kasar. Misalnya, logam coran (tuang) dan bahan yang termasuk *non-metal* (bukan logam). Pengujian mikro (*microscope test*) merupakan pengujian material dengan pembesaran menggunakan mikroskop optik karena bentuk kristal logam yang tergolong lembut dan halus. Pada pengujiannya menggunakan mikroskop optik bahkan mikroskop elektron yang mempunyai kualitas pembesaran mencapai 50 hingga 3000 kali.

Dalam suatu logam yang digunakan terdapat macam-macam logam berbeda yang terdapat pada logam tersebut, berikut logam tersebut antara lain:

1.) *Ferit*

Ferit merupakan larutan padat karbon dan paduan lain dalam besi kubus pusat badan ($Fe\alpha$). *Ferit* terbentuk pada saat proses pendinginan, selain itu *ferit* juga memiliki sifat sangat lunak, ulet dan memiliki kekerasan sekitar 50-100 BHN serta sifat konduktifitas yang tinggi.

2.) *Perlit*

Perlit adalah campuran antara *sementit* dan *ferit* dengan kekasaran 10-30 HRC. *Perlit* ini terbentuk pada saat dibawah temperatur *eutectoid* yang memiliki kekasaran lebih rendah dan waktu inkubasi yang lebih tinggi.

3.) *Bainit*

Dengan nama lain E.C.Bain merupakan fasa yang kurang stabil diperoleh dari *austenite* pada temperatur rendah dari temperatur transformasi ke *perlit* dan lebih tinggi transformasi ke *martensit*. Kekerasan pada *bainit* bervariasi sekitar 45-55 HRC sesuai temperatur transportasinya.

4.) *Martensit*

Martensit adalah larutan pada karbon yang lewat jenuh pada besi alfa, sifatnya sangat keras. Penyebab tingginya kekerasan dikarenakan latis besi mengalami regangan yang tinggi akibat atom-atom karbon. Kekerasan *martensit* sekitar 20-65 HRC, makin tinggi kadar karbon maka besar distorsi yang dialami.

5.) *Sementit*

Sementit merupakan senyawa besi dengan karbon yang dikenal secara umum sebagai kaberida besi dengan presentase karbon sekitar 6.65%. *Sementit* bersifat keras dengan harga kekerasan sekitar 65-68 HRC.

2.2.8 Distribusi Temperatur Selama Pengelasan Gesek

Temperatur merupakan suatu penunjukan nilai panas atau nilai dingin yang diperoleh dari penggunaan alat yang dinamakan termometer. Termometer adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengukur besaran temperatur.

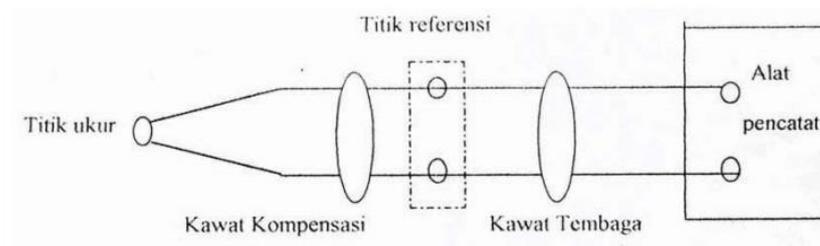
2.2.8.1 Metode Pengukuran Temperatur

Terdapat dua cara pengukuran temperatur :

1. Metode pemuaian, yaitu panas yang diukur menghasilkan pemuaian, pemuaian dirubah kedalam bentuk gerak-gerak mekanik kemudian dikalibrasi dengan skala angka-angka yang menunjukkan nilai panas (temperatur) yang diukur.
2. Metode elektris, yaitu panas yang diukur menghasilkan gaya gerak listrik (Emf). Gaya gerak listrik kemudian dikalibrasikan dengan skala angka-angka yang menunjukkan nilai panas (temperatur) yang diukur.

2.2.8.2 Prinsip Kerja Termokopel

Termokopel bekerja berdasarkan dengan pembangkit tenaga listrik pada titik sambungan dua logam yang tidak sama (titik panas/titik ukur). Ujung lain dari logam tersebut biasanya sering disebut dengan titik referensi (titik dingin) dimana temperatur konstan, seperti pada gambar 2.6 :



Gambar 2.6 Rangkaian Dasar Termokopel

Sumber: Dewi, J. (2010)

Umumnya termokopel digunakan untuk mengukur suhu temperatur berdasarkan perubahan temperatur menjadi sinyal listrik. Bila antara titik referensi dengan titik ukur terdapat perbedaan temperatur, maka akan timbul GGL yang menyebabkan adanya arus pada rangkaian. Bila titik referensi ditutup dengan cara menghubungkannya dengan sebuah alat pencatat maka penunjukan alat ukur akan sebanding dengan selisih temperatur antara ujung panas (titik ukur) dan ujung dingin (titik referensi).



Gambar 2.7 Bentuk Fisik Termokopel

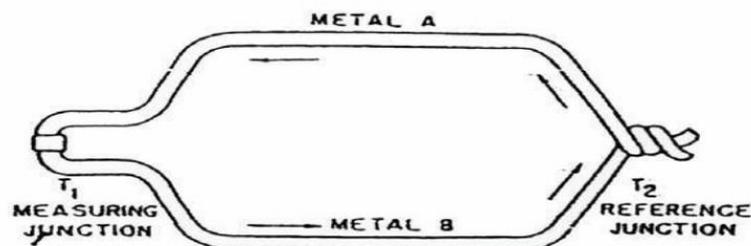
Pada Gambar 2.7 dapat dilihat bentuk fisik dari termokopel. Bagian luar termokopel berupa tabung logam pelindung yang berfungsi untuk menjaga termokopel agar tidak terpengaruh oleh suhu lingkungan dimana alat ditempatkan.

2.2.8.3 Fungsi Termokopel

Termokopel pada proses ini sebagai pendeteksi temperatur pada *Holding Furnace*. Termokopel berupa transducer yang mendeteksi temperatur pada dapur dan mengubahnya ke besaran listrik yaitu tegangan. Kemudian mengirimkan sinyal tersebut ke *Thermocontroller* menerima sinyal tersebut dalam besaran temperatur. Termokopel ini bekerja selama proses berjalan, untuk memberikan informasi setiap perubahan dan kondisi temperatur pada *Holding Furnace*.

2.2.8.4 Termokopel Sebagai Sensor Panas

Termokopel pada dasarnya adalah dua logam penghantar arus listrik dari bahan yang berbeda. Salah satu ujung-ujungnya dilas mati menggunakan alat *thermocouple welder* sedang ujung satunya dibiarkan terbuka untuk sambungan ke lingkaran pengukuran. Pada Gambar 2.8 dibawah dapat kita lihat bahwa sambungan yang dilas mati disebut *measuring junction* sedangkan dengan ujung yang satunya disebut *reference junction*.



Gambar 2.8 Termokopel

Sumber: Dewi, J. (2010)