

BAB II TINJAUAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian terhadap las gesek telah banyak dilakukan pada saat ini. Beberapa penelitian tentang pengaruh variabel pengelasan terhadap kualitas sambungan las gesek sudah dilakukan. Eder dkk (2010), melakukan penelitian tentang pengaruh waktu gesek, tekanan gesek, waktu tempa dan tekanan tempa terhadap kekuatan Tarik dan kekerasan pada pengelasan aluminium 1050 dengan *stainless steel* AISI 304 dengan proses las gesek *rotary*. Dalam penelitiannya digunakan beberapa variasi yaitu : waktu gesek (7 detik, 17 detik, 32 detik), tekanan upset (0,7 MPa, 1,4 MPa, 2,1 MPa), dan waktu upset (1 detik, 2 detik). Dari beberapa variasi tersebut telah didapatkan hasil kekuatan tarik terbaik sebesar 80.08 MPa diperoleh pada tekanan gesek 2.1 (MPa) waktu gesek 32 detik, tekanan tempa 1.4 (MPa) dan waktu tempa 2 detik. Dari hasil penelitiannya disimpulkan bahwa penyambungan material silinder pejal antara AA1050 aluminium dan AISI 304 sangat efisien dilakukan menggunakan *rotary friction welding*. Hal tersebut dibuktikan oleh hasil pengujian kekuatan tarik yang tidak diperoleh menggunakan *fusion welding*.

Sahin (2009) meneliti tentang kekuatan tarik hasil pengelasan bahan aluminium dan tembaga dengan las gesek. Parameter yang digunakan ialah waktu pengelasan, tekanan gesekan, waktu tempa dan tekanan tempa. Dalam penelitiannya didapatkan parameter terbaik dalam penelitian *friction welding* dengan bahan aluminium dan tembaga yaitu, 60 MPa untuk tekanan gesek, 120 MPa untuk tekanan tempa dan 2,5 detik untuk waktu yang diperlukan dalam gesekan. Dari parameter tersebut telah didapatkan hasil peningkatan kekerasan didaerah pengelasan dan hasil kekuatan tarik dari kedua logam ialah 140 MPa.

Sugianto (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh waktu gesek dan sudut *chamfer* pada hasil kekuatan tarik dan kekerasan hasil pengelasan gesek

pada bahan aluminium 6061. Dalam penelitiannya menggunakan beberapa variabel waktu dan sudut yaitu waktu 60 detik sudut 0° , 60° dan 120° dan waktu 120 detik 0° , 60° , 120° . Dari hasil pengujian yang dilakukan telah didapatkan hasil kekuatan tarik terbaik pada $30^\circ/120$ detik dengan hasil kekuatan 155.58 MPa dan hasil kekerasan yang terbaik ialah 91 BHN. Variasi parameter yang dipakai ternyata mempengaruhi hasil pengelasan gesek, terlihat pada hasil kekuatan tarik dan meningkatnya kekerasan pada hasil pengelasan.

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan terdapat beberapa parameter penting yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan gesek yaitu: waktu gesek, tekanan gesek, waktu tempa dan tekanan tempa. Dengan kata lain, hasil pengelasan yang didapatkan bergantung pada parameter yang digunakan. Penelitian aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304 dengan variasi waktu gesek belum dilakukan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan variasi waktu gesek pada bahan aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304.

2.2 Dasar Teori

Perkembangan penggunaan pengelasan dalam bidang konstruksi sangat pesat, meliputi bidang perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, saluran pipa, pembuatan bodi kendaraan, pembangunan rel dan lain sebagainya. Las dapat juga digunakan untuk reparasi, misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada coran, mempertebal bagian yang aus dan macam-macam reparasi lainnya, (Wiryosumarto dan Okumura, 1981). Berdasarkan pengertian dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan (*welding*) adalah salah satu proses penyambungan dua buah logam sampai titik lebur logam baik menggunakan bahan tambahan maupun tidak menggunakan bahan tambahan, energi panas sebagai pencair bahan yang dilas.

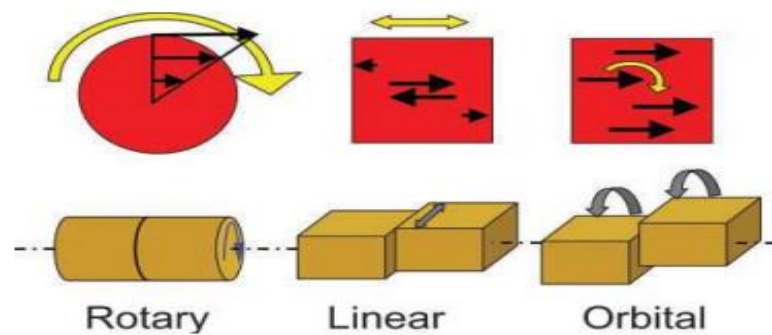
Berdasarkan kondisinya pengelasan dibagi menjadi dua yaitu las fusi (*fusion welding*) dan las padat (*solid state welding*). Metode pengelasan fusi yaitu mencairkan bahan dasar bersamaan dengan bahan tambahan menggunakan panas sebagai sumbernya. Jenis pengelasan fusi yang paling banyak digunakan pada saat ini seperti *Shield Metal Arc Welding (SMAW)*, *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*, *Metal Inert Gas (MIG)*, dan sebagainya. *Solid state welding* merupakan metode penggabungan dua logam pada temperatur di bawah titik lebur. Material disambung tanpa pemberian bahan tambahan. Jenis-jenis *solid state welding* di antaranya adalah : *explosion welding*, *forge welding* dan *friction welding*.

2.2.1 Pengertian Pengelasan Gesek (Friction Welding)

Elmer dan Kautz (1983) menyatakan bahwa pengelasan gesek (*Friction Welding*) adalah proses pengelasan keadaan padat di mana panas untuk pengelasan dihasilkan oleh gerakan relatif dari dua antarmuka yang tersambung. Gesekan antara kedua permukaan menghasilkan panas yang dapat melelehkan kedua ujung benda kerja lalu menyambungkan benda kerja tersebut. Proses pengelasan ini bergantung pada konversi energi mekanik ke energy thermal untuk membuat pengelasan tanpa ada sumber panas lain. Pada kondisi normal tidak ada peleburan terjadi pada *interface*. Putaran rpm, tekanan upset, dan waktu pengelasan adalah variabel yang mempengaruhi hasil pengelasan. Pengelasan gesek dilakukan dengan cara salah satu komponen dipertahankan stasioner sementara yang lain diputar pada kecepatan konstan. Kedua komponen digesekkan secara bersama di bawah tekanan gesek pada waktu gesekan yang telah ditentukan. Kemudian cengkam dipisahkan dari kemudi, dan putaran komponen dibawa untuk menghentikan waktu pengereman. Sedangkan tekanan gesek pada bagian stasioner meningkat ke yang lebih tinggi pada tekanan tempa untuk waktu tempa yang telah ditentukan.

Proses pengelasan gesek adalah sebagai berikut:

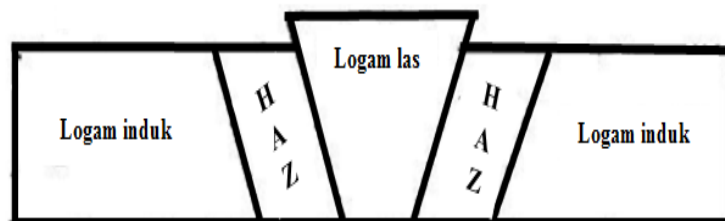
- a. Salah satu logam poros diputar, bersamaan dengan logam poros yang satunya di tekan dengan tekanan aksial
- b. Kedua logam poros satu sama lain disinggungkan sehingga timbul panas akibat gesekan.
- c. Akibat gesekan yang menimbulkan panas, sampai mendekati titik lebur logam tersebut sehingga terjadi *flash*
- d. Kemudian mesin dimatikan, setelah mesin berhenti secara langsung diberikan tekanan aksial. Terbentuklah sambungan las gesek antara dua poros logam tersebut.



Gambar 2.1. Varian pengelasan gesek (Purnomo, 2012)

2.2.2 Daerah Pengelasan

A. Daerah Pengelasan Fusi

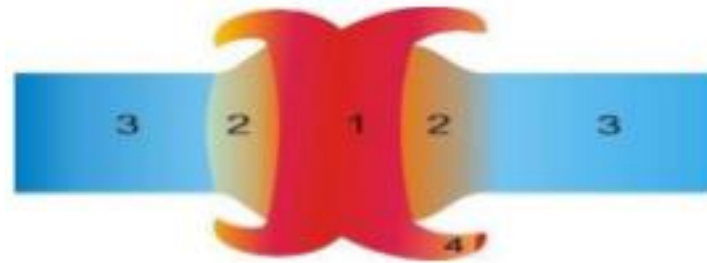


Gambar 2.2 Daerah pengelasan fusi.(ASME.2015)

Daerah pengelasan fusi dibagi menjadi tiga yaitu:

- a. Logam tambahan (*weld metal*), adalah daerah endapan las (*weld deposit*) dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las (*weld deposit*) berasal dari logam pengisi (*filler metal*).
- b. HAZ (*Heat Affected Zone*), adalah daerah pengaruh panas atau daerah dimana logam dasar yang berdekatan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus thermal atau pemanasan dan pendinginan dengan cepat.
- c. Logam dasar (*base metal*), adalah bagian logam yang tidak terpengaruh oleh panas karena proses pengelasan. Temperatur yang terjadi selama proses pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat-sifat dari logam induk. Hal ini disebabkan karena temperatur yang terjadi pada logam induk belum mencapai temperatur kritis.

B. Daerah pengelasan gesek (*Friction Welding*)



Gambar 2.3 Daerah pengelasan gesek (Purnomo.2016)

1. Daerah inti adalah daerah utama pengelasan yang mengalami peleburan.
2. *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah daerah yang mengalami perubahan sifat mekanis dan metalurgi akibat pengaruh panas yang dihasilkan pada daerah inti karena proses gesekan

3. Logam Induk adalah daerah dimana panas dan temperatur pengelasan tidak menyebabkan perubahan sifat mekanik dan metalurgi.
4. *Flash* adalah lelehan yang keluar dari pusat bidang gesekan karena adanya proses penempaan.

Jika dibandingkan dengan metode las fusi hasilnya sangat berbeda terlihat pada gambar 2.2 Menunjukkan profil daerah pengelasan dimana terlihat daerah-daerah seperti daerah fusi, *partially melted zone* (PMZ), daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam dasar (*Base Metal*).

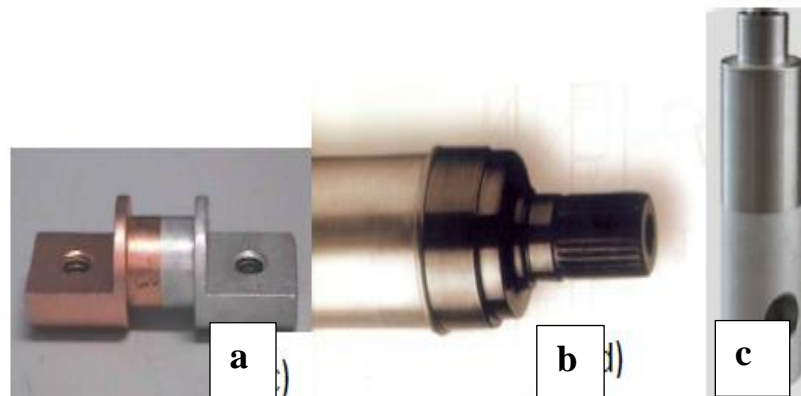
2.2.3 Keuntungan Las Gesek

Keuntungan las gesek adalah sebagai berikut:

- a. Proses yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan gas atau asap
- b. Cocok untuk jumlah produksi yang banyak
- c. Kemungkinan terjadinya porositas dan inklusi terak dapat dihindarkan
- d. Bahan berbeda karakteristiknya dapat disambung dengan las gesek
- e. Konsumsi energi rendah
- f. Tidak ada bahan tambahan yang dibutuhkan

2.2.4 Aplikasi Las Gesek

Berbagai macam hasil sambungan dari pengelasan las gesek, dengan menggunakan dua logam yang berbeda (*dissimilar*). Contoh penyambungan hasil pengelasan gesek dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hasil sambungan-sambungan las gesek (a) (Copier Fuser Roller), (konektor Cu-Al), (b) poros baling-baling (Al-Steel), (c) peralih penghubung pada reaktor nuklir (Al Alloy-Steel)

Sumber : (www.mtiwelding.com)

2.3 Klasifikasi Logam Aluminium dan Stainles Steel

A. Klasifikasi Aluminium

Aluminium adalah unsur terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon yang terdapat di bumi. Aluminium pertama kali ditemukan sebagai unsur pada tahun 1809 oleh Sir Humphrey Davy. Beberapa tahun sesudahnya, yaitu pada tahun 1886 secara bersamaan Paul Heroult dari Perancis dan Charles Martin Hall dari Ohio memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa (Surdia, T dan Saito, 1999). Aluminium (99,99%) memiliki berat jenis sebesar 2,7 g/cm³, densitas 2,685 kg/m³, dan titik leburnya pada suhu 660⁰C, aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium dari permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, serta stabil (tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya) sehingga melindungi bagian dalam. Paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu aluminium *wronglt alloy* (lembaran) dan aluminium *costing alloy* (batang cor).

Unsur paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium adalah tembaga, mangan, silikon, magnesium, nikel dan lain sebagainya. Dimana paduan aluminium tersebut dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu Al-murni, Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn dan jenis paduan Al yang lainnya.

Nama aluminium yang paling dikenal adalah :

- 1) Avional, Material ini sering digunakan pada bidang penerbangan
 - 2) Chitonal 24, Material ini hanya digunakan pada bidang penerbangan
 - 3) Duralumin atau Duralite, Digunakan untuk membuat konstruksi mobil dan motor
 - 4) Ergal 55 dan ergal 65, Digunakan pada bidang penerbangan
 - 5) Silafond, Memiliki ketahanan korosi
 - 6) Silumin, Memiliki ketahanan korosi yang cukup
 - 7) Anticorodal, Memiliki ketahanan korosi dan ketahanan mekanis yang baik serta lebih mudah dilas
 - 8) Corrofond, Memiliki ketahanan mekanis dan ketahanan korosi yang sedang
- a) Sifat-sifat Teknis Aluminium
- Kekuatan: Kekuatan dan kekerasan aluminium tidak begitu tinggi, tetapi dengan adanya pemuatan dan *heat treatment* dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya
 - Modulus Elastisitas: Aluminium memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan baja maupun besi, tetapi dari sisi *strength to weight ratio*, aluminium lebih baik. Aluminium yang elastis memiliki titik lebur yang lebih rendah dan kepadatan yang rendah.
 - Keuletan (*Ductility*): Semakin tinggi tingkat kemurnian aluminium semakin tinggi tingkat keuletannya.

- Kelelahan (*Fatigue*): Bahan alumunium tidak menunjukkan batas kepenatan, karena alumunium akan gagal jika ditekan.

Alumunium 6061 T6 mengandung magnesium dan silica. Karena adanya kedua unsur ini terbentuklah karbida Mg₂Si yang menyebabkan seri 6061 dapat diberikan perlakuan panas untuk memperbaiki sifat mekanisnya. Hal ini karena paduan Mg₂Si berkelakuan panas murni dan membuat keseimbangan dari sistim biner semu dari Al (Sugianto, 2016). Perlakuan panas pada alumunium dibedakan menjadi tiga yaitu:

- Keadaan O adalah Paduan dengan perlakuan panas yang dianil penuh bertujuan untuk menghasilkan kekuatan rendah dan memperbaiki keuletannya.
- Kondisi T4 adalah Perlakuan dengan penuaan alamiah, dimana material dibiarkan pada udara terbuka sehingga menyerap panas dari udara luar dan mengalami penuaan.
- Kondisi T6 adalah Kondisi ini prosesnya hampir sama dengan T4, yang membedakan hanya proses penuannya yang menggunakan panas untuk membantu proses penuaan, dengan kata lain perlakuan T6 sama halnya dengan proses buatan.

Gambar 2.5. Tabel sifat Alumunium Al-Mg-Si seri 6061
(Surdia,2000)

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan	Kekuatan geser (kgf/mm ²)	Kekerasan	Paduan
6061	O	12,6	5,6	30	8,4	30	6,3
	T4	24,6	14,8	28	16,9	65	9,5
	T6	31,6	28,0	15	21,0	95	9,5

B. Klasifikasi Stainles Steel

Paduan besi-kromium (Fe-Cr) dengan penambahan nikel (Ni) disebut sebagai baja tahan karat yang tidak karat di air laut, tahan terhadap asam pekat,

dan memiliki titik lebur sampai 1100°C . *Stainless steel* memiliki sifat mekanik yang baik dan mudah dilakukan pengerjaan, sehingga baja tahan karat sangat diperlukan untuk *designer*. Penggunaan didominasi oleh beberapa bidang seperti: produk konsumen, peralatan untuk industri minyak dan gas, industri kimia, dan industri makanan dan minuman. *Stainless steel* terdiri atas beberapa tingkatan. *Stainless steel* yang paling banyak digunakan adalah *austenitic* Cr-Ni 18-8 jenis baja, yang merupakan lebih dari 50% dari produk global *stainless steel*. Nilai yang lebih banyak digunakan berikutnya adalah *feritic* Cr-Steels, diikuti oleh *molybdenum-Alloyed* Cr-Ni-Mo *austenitic steels* (Outokumpu, 2013).

ANSI 304 merupakan jenis austenite *stainless steel* yang mempunyai sifat non magnetic dan bisa dikeraskan dengan metode *cold working*. Tipe 304 ini paling banyak mengandung 18% Cr dan 8% Ni (iron and steel society, 1999). Daya tahan *stainless steel* terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% (dari berat) krom. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif *kromium* (III) oksida (Cr_2O_3) ketika bertemu oksigen. Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara melindungi logam yang ada dibawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut *Passivaton* dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada aluminium dan titanium.

Kategori *stainless steel* tidak sama seperti baja lainnya berdasarkan presentase karbon tapi, berdasarkan struktur metalurginya. Terdapat lima golongan *stainless steel* yaitu: Austenitic, Feritik, Martensitic, Duplex dan Precipitation hardening.

1) **Stainless steel austenitic**

Stainless Steel austenitik mengandung sedikitnya 16% Krom dan 6% Nikel (grade standar untuk 304), sampai ke grade super *stainless steel* austenitik seperti 804L (dengan kadar Krom dan Nikel lebih tinggi serta unsur tambahan Molibdenum sampai 6%). Molibdenum (Mo), Titanium (Ti), Copper (Co) berfungsi untuk meningkatkan ketahanan temperatur

serta korosi. Austenitik cocok juga untuk aplikasi temperatur rendah yang disebabkan oleh unsur Nikel membuat *stainless steel* tidak menjadi rapuh pada temperatur rendah. Tipe yang termasuk austenitik adalah 201, 303, 308, dan lainnya.

2) **Stainless steel ferritik**

Stainless steel ferritik kadar Krom bervariasi antara 10,5 – 18 % seperti grade 430 dan 409. Ketahanan korosi tidak begitu istimewa dan relatif lebih sulit difabrikasi / *machining*. Tetapi kekurangan ini telah diperbaiki pada grade 434 dan 444 dan secara khusus pada grade 3Cr12.

3) **Stainless steel martensitic**

Stainless Steel jenis ini memiliki unsur utama Krom (masih lebih sedikit jika dibanding *stainless steel* ferritik) dan kadar karbon relatif tinggi misalnya grade 410 dan 416. Grade 431 memiliki Krom sampai 16% tetapi mikrostrukturnya masih martensitik disebabkan hanya memiliki Nikel 2%. Grade *stainless steel* lain misalnya 17-4PH/ 630 memiliki tensile strength tertinggi dibandingkan *stainless steel* lainnya. Kelebihan dari grade ini, jika dibutuhkan kekuatan yang lebih tinggi maka dapat di hardening. Tipe lain yang termasuk martensitik adalah 420, 422,440A, dan lainnya.

4) **Stainless Steel Duplex**

Stainless steel duplex seperti 2304 dan 2205 (dua angka pertama menyatakan persentase Krom dan dua angka terakhir menyatakan persentase Nikel) memiliki bentuk mikrostruktur campuran austenitik dan ferritik. Duplex memiliki kombinasi sifat tahan karat dan temperatur relatif tinggi atau secara khusus tahan terhadap *stress corrosion cracking*.

Meskipun *stress corrosion cracking*-nya tidak sebaik ferritik tetapi ketangguhannya jauh lebih baik (*superior*) dibanding ferritik dan lebih buruk dibanding austenitik. sementara kekuatannya lebih baik dibanding austenitik (yang di anil) kira-kira 2 kali lipat. Duplex ketahanan korosinya sedikit lebih baik dibanding 304 dan 316 tetapi, ketahanan terhadap *pitting corrosion* jauh lebih baik (*superior*) dibanding 316. Ketangguhan duplex akan menurun pada temperatur di bawah 50°C dan di atas 300°C

5) Stainless Steel Precipitation Hardening

Stainless steel precipitation hardening adalah *stainless steel* yang keras dan kuat akibat dari dibentuknya suatu presipitat (endapan) dalam struktur mikro logam. Sehingga gerakan deformasi menjadi terhambat dan memperkuat material *stainless steel*. Pembentukan ini disebabkan oleh penambahan unsur Tembaga (Cu), Titanium (Ti), Niobium (Nb), dan Aluminium (Al). Proses penguatan umumnya terjadi pada saat dilakukan pengerjaan dingin (*cold working*).