

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Penelitian terhadap las gesek telah banyak dilakukan beberapa peneliti terkait kekuatan tarik, kekerasan permukaan dan struktur mikro. Oleh karena itu pembahasan tentang pengkajian pustaka ini difokuskan pada perolehan data tekanan tempa dan waktu tempa dengan las gesek (*friction welding*).

Beberapa penelitian tentang las gesek paduan aluminium dengan baja telah dipublikasikan. Okita dkk (1995), menggunakan mikroskop transmisi electron (TEM) dengan lampiran analisis energi spektroskopi dispersif (EDS), meneliti interdifusi dari setiap elemen pada antarmuka las antara aluminium murni dan baja. Ochi dkk (1994), mempelajari gesekan dari baja karbon untuk paduan Al-Mg-Si menggunakan logam pengisi dari aluminium murni, dan juga meneliti efek parameter pengelasan pada sifat mekanik sambungan yang terdiri dari Al-Mg- Si alloy dan paduan Al-Cu dengan stainless steel dan baja karbon. Yashan dkk (1996), berpendapat bahwa kekuatan ikatan bagian dalam berbeda dibandingkan bagian luar pada las gesek antara aluminium murni dengan stainless steel. Penyebaran sifat antar setiap elemen pada antarmuka las dan proses las gesek aluminium murni dan 6061 paduan aluminium. Pada kasus paduan baja aluminium las gesek, mekanisme pengelasan didasarkan pada ikatan difusi dalam keadaan padat, pengelasan berkembang dari luar ke bagian dalam, dan lapisan reaksi terutama terdiri dari (Fe, Cr, Ni) $2Al_5$. Selain itu, kelebihan pembentukan senyawa intermetalik pada antarmuka las terdegradasi oleh kekuatan sambungan. Namun, perubahan dari proses las gesek dan perilaku pembentukan lapisan reaksi, dan hubungan antara keduanya, tidak sepenuhnya diklarifikasi.

Hasil percobaan yang dilakukan oleh Wahyu (2010), dalam penelitiannya yang berjudul Pengaruh Durasi Gesek Tekanan Gesek dan Tekanan Tempa Terhadap Kekuatan Sambungan Lasan Gesek *Direct-Drive* pada Baja Karbon AISI 1045 menjelaskan tentang pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa

terhadap kekuatan tarik las gesek pada material baja karbon AISI 1045, dimana didapatkan kekuatan tarik meningkat seiring dengan bertambahnya durasi gesek, tekanan gesek, dan tekanan tempa. Hal ini disebabkan tekanan gesek dan durasi gesekan yang dilakukan sudah mencapai temperatur tempa, sehingga tekanan tempa sebagai fungsi meningkatkan temperatur dan penyambungan dapat melakukan ikatan yang sangat baik. Sedangkan pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap kekuatan impak las gesek pada baja karbon AISI 1045 belum diteliti. Berkurangnya derajat penurunan tekanan di ruang tuang menyebabkan fluiditas duralumin cair bertambah dari 12 sampai 25 cm, kekuatan luluh dan kekuatan tarik berkurang masing-masing sebesar 16 sampai 10 kg/mm² dan 24 sampai 13 kg/mm², dan duktilitas batangan strip duralumin bertambah 7 sampai 11%. Secara statistik, penuangan duralumin cair kedalam cetakan tekanan rendah memberikan pengaruh linier positif terhadap fluiditas dan duktilitas, dan pengaruh linier negatif terhadap kekuatan luluh dan kekuatan tarik.

Alves, dkk, (2010), dalam penelitiannya memperhitungkan sambungan logam padat beda jenis Aluminium Alloy 1050 dan Stainless Steel AISI 304, yang digunakan pada pipa dari tangki propelan cair dan komponen lain dari *Satellite Launch Vehicle*. Sambungan diperoleh melalui proses *rotary friction welding* (RFW), dengan menggunakan panas yang dihasilkan dari gesekan antara dua permukaan dan deformasi plastis. Mesin las gesek yang digunakan untuk proses penyambungan merek Getwick. Pengujian dilakukan dengan parameter proses pengelasan yang berbeda. Parameter yang digunakan adalah tekanan gesek dan waktu gesek dengan kecepatan konstan 3200 rpm. Nilai tekanan gesek yang dipilih adalah 2,1 MPa dan 1,4 MPa. Nilai waktu gesek yang dipilih adalah 32 detik dan 2 detik. Hasil dianalisis dengan menggunakan uji tarik, vickers microhardness, tes metalografi dan SEM-EDX. Kekuatan sambungan bervariasi dengan bertambahnya waktu gesek dan tekanan gesek. Sambungan diperoleh menggunakan sifat mekanik tinggi dari Aluminium Alloy 1050, dengan patahan terjadi di Aluminium jauh dari sambungan. Berdasarkan analisis EDX pada sambungan menunjukkan bahwa interdifusi terjadi antara unsur kimia utama dari unsur-unsur yang terlibat. RFW

terbukti menjadi metode yang baik untuk memperoleh sambungan antara logam beda jenis, yang tidak mungkin dengan proses fusi pengelasan.

Shubhavardhan dan Surendran, (2012), tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggabungkan dan mengetahui perkembangan sambungan logam padat beda jenis AA6082 Aluminium Alloy dan Stainless Steel AISI 304, melalui proses continuous drive friction welding, yang menggabungkan panas hasil dari gesekan antara dua permukaan dan deformasi plastik. Pengujian dilakukan dengan parameter proses pengelasan yang berbeda yaitu gesekan dan tekanan tempa. Hasil dianalisis dengan menggunakan uji tarik, Vickers uji kekerasan mikro, uji kelelahan, Charpy dampak tes *v-notch*, dan SEM-EDX (*energy dispersif X-ray*) analisis untuk menentukan tahapan yang terjadi selama pengelasan. Kekuatan sambungan bervariasi dengan meningkatnya tekanan gesek dan waktu gesek mempertahankan tekanan tempa dan waktu tempa yang konstan. Kekuatan sambungan meningkat, dan kemudian menurun setelah mencapai nilai maksimum, dengan meningkatnya tekanan gesek dan waktu gesek. Proses pengelasan gesek antara paduan logam Aluminium dan Stainless Steel sebagai berikut: pengelasan berlangsung dari bagian luar ke bagian tengah; bagian yang tak terikat dipertahankan pada bagian tengah antarmuka las dengan waktu gesek yang lebih pendek; waktu gesek menyebabkan terbentuknya lapisan reaksi intermetalik pada antarmuka las dan lapisan reaksi semakin meningkat karena waktu gesek meningkat. Beberapa lasan memiliki kekuatan rendah karena akumulasi unsur paduan pada antarmuka sambungan. Ketika ketebalan lapisan reaksi meningkat di atas nilai kritis, sambungan rapuh dan retak pada antarmuka las. Sambungan kuat ketika tidak ada bagian tak terikat dan lapisan reaksi tipis yang terbentuk di sepanjang antarmuka las.

2.2. Dasar Teori

Perkembangan penggunaan teknik pengelasan dalam bidang konstruksi sangat pesat, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa saluran, kendaraan 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) mendefinisikan 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 rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambahan maupun tidak dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas.

Berdasarkan kerjanya pengelasan digolongkan menjadi:

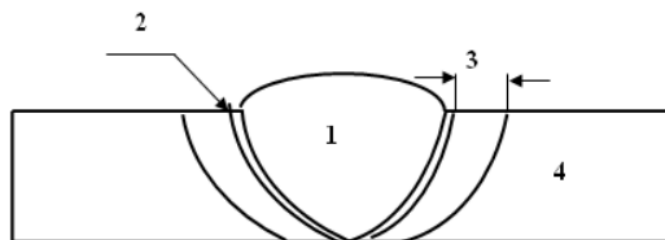
1. Pengelasan cair adalah pengelasan dengan cara mencair logam yang akan disambung dengan sumber panas busur listrik atau semburan api.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan dengan cara menyambungkan 2 logam yang dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian adalah pengelasan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair lebih rendah dari logam yang akan disambung dan logam yang akan disambung tidak ikut mencair.

(Wiryosumarto dan Okumura, 1981)

2.3. Daerah Lasan

a. Las Fusi

Daerah pengelasan adalah daerah yang terkena pengaruh panas pada saat pengelasan, pengaruh panas tersebut menyebabkan perubahan struktur mikro, sifat mekanik dan ada yang tidak merubah struktur mikro dan sifat mekanik. Daerah pengelasan dibagi menjadi 4 ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Daerah las fusi

Sumber: www.teknikmesin.org/daerah-pengaruh-panas-haz/

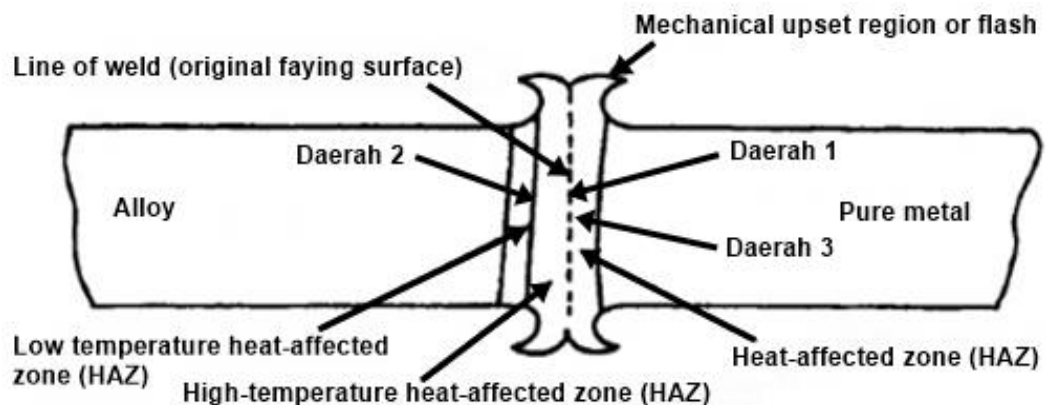
Daerah lasan terdiri dari empat bagian yaitu: (Wiryosumarto dan Okumura, 1981)

1. Logam lasan (*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*).
2. Garis gabungan (*fusion line*), adalah garis gabungan antara logam lasan dan HAZ, dapat dilihat dengan mengetsa penampang las. Daerah ini adalah batas bagian cair dan padat dari sambungan las.
3. HAZ (*Heat Affected Zone*), adalah daerah pengaruh panas atau daerah dimana logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama pengelasan mengalami siklus termal atau pemanasan dan pendinginan dengan cepat. Penyebaran panas pada logam induk dipengaruhi oleh temperatur panas dari logam cair dan kecepatan dari pengelasan. Pada batas HAZ dan logam cair temperatur naik sangat cepat sampai batas pencairan logam dan temperatur turun sangat cepat juga setelah proses pengelasan selesai. Hal ini dapat disebut juga sebagai efek *quenching*. Pada daerah ini biasanya terjadi transformasi struktur mikro. Struktur mikro menjadi austenit ketika temperatur naik (panas) dan menjadi martensit ketika temperatur turun (dingin). Daerah yang terletak dekat garis fusi ukuran butirnya akan cenderung besar yang disebabkan oleh adanya temperatur tinggi, menyebabkan austenit mempunyai kesempatan besar untuk menjadi homogen. Karena dengan keadaan homogen menyebabkan ukuran butir menjadi lebih besar. Sedangkan daerah yang semakin menjauhi garis fusi ukuran butirnya semakin mengecil. Hal ini disebabkan oleh temperatur yang tidak begitu tinggi menyebabkan austenit tidak mempunyai waktu yang banyak untuk menjadi lebih homogen. Transformasi struktur mikro yang terjadi akibat perubahan temperatur menyebabkan daerah HAZ sangat berpotensi terjadinya retak (*crack*) dalam hal ini sangat penting untuk diperhatikan untuk mendapatkan hasil lasan yang baik.
4. Logam induk (*parent metal*), adalah bagian logam yang tidak terpengaruh oleh pemanasan karena proses pengelasan dan temperatur yang disebabkan selamproses pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan

sifat-sifat dari logam induk. Hal ini disebabkan karena temperature atau suhu yang terjadi di logam induk belum mencapai temperatur kritis.

b. Las Gesek

Terlihat profil daerah las gesek dimana terdapat daerah tempa, sedikit daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk (Base Metal). Profil tersebut juga terdapat garis fusi, *flash*, dan deformasi plastis pada antarmuka. Metode las gesek bergantung pada perubahan langsung dari energi mekanik ke energi termal untuk membentuk lasan, tanpa aplikasi panas dari sumber yang lain. Di bawah kondisi normal pengelasan gesek tidak terjadi pencairan pada kedua permukaan logam.



Gambar 2.2. Daerah las gesek

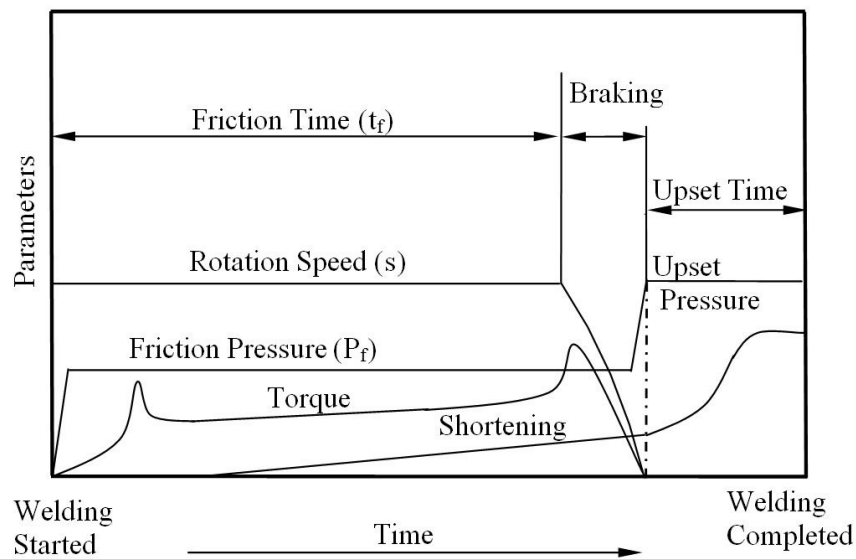
Sumber: www.slideshare.net/surajaggarwal094/welding-lectures-1-3

Berdasarkan waktu proses pada pengelasan gesek dibagi menjadi 3 daerah pengelasan yaitu: Daerah 1: daerah gesekan (*friction phase*). Daerah 2: daerah perubahan (*breaking phase*). Daerah 3: daerah tempa (*forging phase*). Daerah 1 adalah daerah gesekan merupakan daerah dimana dua buah logam di gesekan untuk meningkatkan temperatur. Waktu yang di butuhkan cukup besar dibandingkan daerah lainnya. Daerah 2 adalah daerah perubahan dimana pada daerah ini durasi waktu harus secepat mungkin supaya temperature panas tidak hilang. Daerah 3 merupakan daerah tempa dimana pada daerah ini diberi gaya tertentu dan diberi waktu saat penempaan berlangsung.

2.4. Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Elmer dan Kautz (1983), Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) adalah proses pengelasan keadaan padat di mana panas untuk pengelasan dihasilkan oleh gerakan relatif dari dua antarmuka yang tersambung. Metode ini bergantung langsung pada konversi energi mekanik ke energi termal untuk membentuk pengelasan, tanpa aplikasi dari sumber panas lain. Dalam kondisi normal tidak ada peleburan terjadi pada antarmuka. Kecepatan putar, tekanan aksial, dan waktu pengelasan adalah variabel utama yang dikendalikan dalam rangka memberikan kombinasi yang diperlukan dari panas dan tekanan untuk membentuk lasan. Parameter ini disesuaikan sehingga antarmuka yang dipanaskan ke suhu plastik dapat berlangsung pada proses pengelasan. Setelah antarmuka dipanaskan, tekanan aksial digunakan untuk memberikan kontak pada antarmuka las. Pada saat tahap terakhir dari proses pengelasan, difusi atom yang terjadi sesaat pada antarmuka melakukan kontak, sehingga ikatan metalurgi terbentuk antara kedua bahan. Las gesek mencakup energi panas melalui gesekan abrasi, panas disipasi, perubahan bentuk, dan interdifusi kimia.

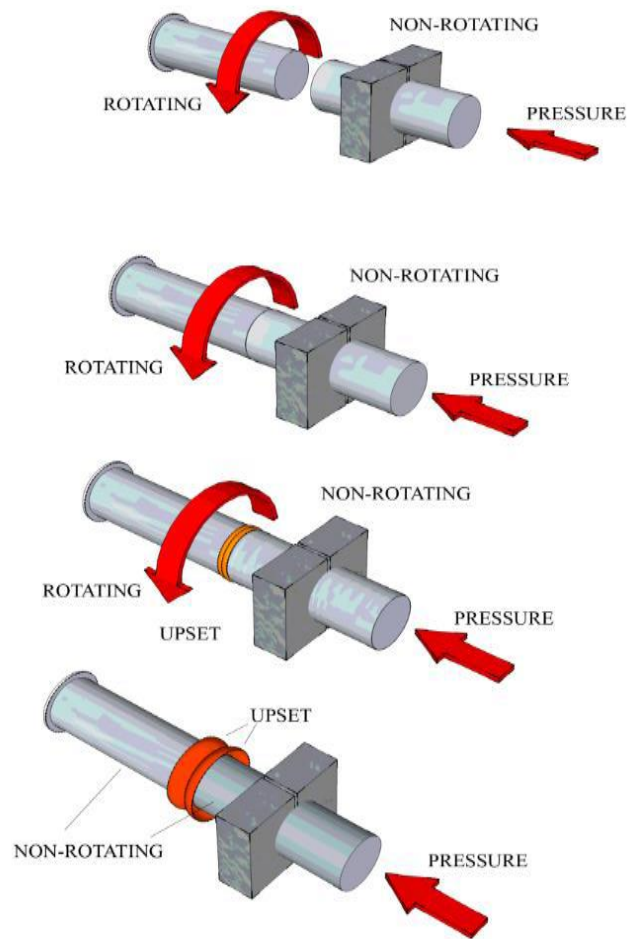
Dalam prakteknya, las gesek diklasifikasikan dalam dua cara; las gesek terus menerus dan las gesek inersia. Dalam metode las gesek terus menerus, salah satu komponen dipertahankan stasioner sementara yang lain diputar pada kecepatan konstan (s). Kedua komponen digesekan secara bersama di bawah tekanan gesek (P_f) pada waktu gesekan yang telah ditentukan (t_f). 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 (P_u) untuk waktu tempa yang telah ditentukan (t_u). Parameter dari metode ini adalah ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Parameter acuan las gesek.
Sumber: Sahin & Misilir, 2013

Berikut ini tahap proses pengelasan gesek adalah sebagai berikut:

1. Salah satu logam poros diputar, bersamaan dengan logam poros yang satunya ditekan dengan tekanan aksial.
2. Kedua logam poros satu sama lain disinggungkan sehingga timbul panas akibat gesekan.
3. Akibat gesekan yang menimbulkan panas, sampai temperatur termoplastis logam tersebut sehingga terjadi flash.
4. Kemudian mesin dimatikan, setelah mesin berhenti secara langsung diberi tekanan aksial. Terbentuklah sambungan las gesek antara dua poros logam tersebut.



Gambar 2.4. Proses pengelasan gesek 3 dimensi
Sumber: Kolbi, 2015

2.5. Keuntungan Pengelasan Gesek

Keuntungan dari las gesek adalah sebagai berikut:

- Proses yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap, gas atau asap
- Cocok untuk jumlah produksi yang banyak
- Kemungkinan terjadinya porositas dan inklusi terak dapat dihindarkan
- Pengelasan berpenampang yang tidak sama dapat dilakukan dengan proses pengelasan ini
- Bahan berbeda karakteristiknya dapat dilakukan dengan las gesek ini
- Proses las gesek ini konsisten dan berulang-ulang
- Mengonsumsi energi yang rendah dan tegangan las rendah
- Tidak ada bahan tambahan yang dibutuhkan

- i. Mengurangi biaya pemeliharaan, mengurangi tenaga kerja mesin, meningkatkan kapasitas dan mengurangi biaya perkakas yang mudah rusak
- j. Mengurangi biaya untuk tempa kompleks atau coran
- k. Memiliki kontrol yang akurat pada toleransi lasan
- l. Tidak ada fluks atau *filler* logam atau gas yang diperlukan dalam kasus las gesek

2.6. Aplikasi Las Gesek

Meskipun las gesekan telah ada selama lebih dari 50 tahun, terus menjadi salah satu bidang manufaktur yang menyimpan rahasia terbaik. Kemampuan pengelasan gesekan untuk memenuhi permintaan genting tanpa kehilangan kekuatan atau integritas struktur adalah pertimbangan yang kuat untuk menyasati biaya bagi produsen. Pengelasan gesek adalah salah satu proses pengelasan yang paling ekonomis yang tersedia, menyediakan peningkatan desain dan keleluasaan bidang manufaktur, kekuatan yang unggul, dan penghematan biaya yang signifikan. Di hampir setiap contoh, keputusan untuk menerapkan teknologi pengelasan gesek dapat menghasilkan manfaat besar.

Produsen silinder hidrolik ditantang dengan jadwal pengiriman ketat, ketentuan kekuatan material, dan penghematan biaya. Tantangan-tantangan ini memberikan lebih banyak lagi penegasan untuk penggunaan pengelasan gesek. Produsen percetakan, pengangkutan, dan peralatan pertanian membutuhkan cara untuk mengurangi biaya rol material, berat material dan biaya keseluruhan, dengan tetap menjaga kualitas rol. Produsen terkemuka pompa bahan kimia yang membutuhkan untuk mengurangi biaya dan meningkatkan kapasitas mesin tanpa mengorbankan ketahanan korosi dari sebagian atau integritas bagian.

Berbagai macam hasil sambungan dari pengelasan las gesek, dengan menggunakan dua logam yang berbeda (*dissimilar*).



Gambar 2.5. Contoh aplikasi pengelasan metode rotary. (a) Hydraulic Cylinder, (b) Roller, (c) OEM of chemical pump

Sumber: <http://www.azom.com/search.aspx?q=friction+welding&site=articles>

2.7. Logam Aluminium Alloy 2024-T4

2.7.1. Klasifikasi Logam Aluminium Alloy 2024-T4

Aluminium adalah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon. 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 *wrought alloy* (lembaran) dan aluminium *casting 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. Salah satu paduan aluminium yang banyak digunakan adalah jenis Al-Cu atau paduan seri 2XX.X yang memiliki nama dipasaran duralumin (Dilovazendu, F. L., 2012). Aluminium Alloy 2024 atau Duralumin merupakan sistem paduan aluminium-tembaga diperkaya dengan silikon, magnesium dan bersifat *heat treatable* khususnya akibat *natural and artificially aging*. Pada suhu atmosfer, duralumin mempunyai *strength-to-weight ratio* yang lebih tinggi dari *steel*. Duralumin tempa mempunyai kekuatan yang tinggi, umumnya digunakan untuk *heavy-duty forging, aircraft fitting, truck frame*, roda gigi dan poros, baut, *clock parts, computer part*, kopling, *fuse parts, hydraulic valve bodies, missile parts*, amunisi, *nuts*, piston, *rectifier parts, worm gear, fastening devices*, peralatan kedokteran hewan, *orthopedic, structures*. Konduktivitas duralumin yang tinggi direkomendasikan untuk memproduksi pengecoran *in line system* dengan cetakan permanen sampai cetakan tekan. Kualitas pengecoran pada umumnya ditentukan dari diskontinuitas *subsurface* seperti porositas dan struktur metalurgi akhir (Suprpto, 2012).

Aluminium Alloy 2024 dipilih dalam penelitian ini untuk pengelasan gesek. Ada beberapa seri untuk Aluminium Alloy 2024 diantaranya 2024-O, 2024-T3, 2024-T4, 2024-T351, 2024-T6, dan lainnya. Setiap seri memiliki makna dan kegunaan yang berbeda-beda. Dapat diambil salah satu sebagai contoh 2024-T4. T4 adalah perlakuan panas untuk mencapai penguatan dengan cara mempertahankan suhu secara konstan. Kondisi T4 dicapai pada pemanasan 920 F atau 493,33°C diikuti dengan proses

pendinginan menggunakan air dingin dan dipertahankan pada suhu kamar. Pembentukan panas yang berlebih harus dihindari karena dapat mengurangi tahanan korosi (Metal Suppliers Online. Hampstead, London).

Dalam jenisnya aluminium yang paling dikenal antara lain:

- a) *Avional*, material ini sering digunakan pada bidang penerbangan.
- b) *Chitonal 24*, material ini hanya digunakan pada bangunan di bidang penerbangan.
- c) *Duralumin* atau *Duralite*, digunakan untuk membuat konstruksi mobil dan pesawat.
- d) *Ergal 55* dan *Ergal 65*, digunakan pada bidang penerbangan.
- e) *Silafond*, memiliki ketahanan korosi.
- f) *Silumin*, memiliki ketahanan korosi yang cukup.
- g) *Anticorodal*, memiliki ketahanan korosi dan ketahanan mekanis yang baik serta lebih mudah dilas.
- h) *Corrofond*, memiliki ketahanan korosi yang baik dan ketahanan mekanis yang sedang.

Tabel 2.1. Beberapa Kodifikasi Aluminium Alloy

Alloy type		Temper
ANSI	UNS	
201.0	A02010	T7
204.0	A02040	T4
A242.0	A12420	T75
C355.0	A33550	T6
443.0	A04430	F
B443.0	A24430	F
514.0	A05140	F
520.0	A05200	T4
707.0	A07070	T7
713.0	A07130	T5
850.0	A08500	T5
851.0	A08510	T5
852.0	A08520	T5

(Sumber: Wikipedia)

2.8. Stainless Steel AISI 420

2.8.1. Klasifikasi Logam Stainless Steel AISI 420

Stainless steel adalah logam paduan dari beberapa unsur logam dengan komposisi tertentu. Sehingga didapatkan sifat baru dari logam tersebut yang lebih kuat, lebih tahan terhadap korosif, dan sifat unggul lainnya. Stainless merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Stainless mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Daya tahan Stainless Steel terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% (dari berat) krom.

Kategori Stainless Steel tidak sama seperti baja lainnya berdasarkan persentase karbon tetapi, berdasarkan pada struktur metalurginya. Terdapat lima golongan utama Stainless Steel yaitu austenitik, ferritik, martensitik, 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 904L (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 di fabrikasi / machining. Tetapi kekurangan ini telah diperbaiki pada grade 434 dan 444 dan secara khusus pada grade $3Cr_{12}$.

3. Stainless Steel martensitik

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 mikri 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*).

Tabel 2.2. Beberapa Kodifikasi Stainless Steel

AUSTENITIC STAINLESS STEELS		FERRITIC STAINLESS STEELS		MARTENSITIC STAINLESS STEELS	
TYPE	Equivalent UNS	TYPE	Equivalent UNS	TYPE	Equivalent UNS
201	S20100	405	S40500	403	S40300
202	S20200	409	S40900	410	S41000
205	S20500	429	S42900	414	S41400
301	S30100	430	S43000	416	S41600
302	S30200	430F	S43020	416Se	S41623
302B	S30215	430FSe	S43023	420	S42000
303	S30300	434	S43400	420F	S42020
303Se	S30323	436	S43600	422	S42200
304	S30400	442	S44200	431	S43100
304L	S30403	446	S44600	440A	S44002
302HQ	S30430			440B	S44003
304N	S30451			440C	S44004
305	S30500				
308	S30800				
309	S30900				
309S	S30908				
310	S31000				
310S	S31008				
314	S31400				
316	S31600				
316L	S31603				
316F	S31620				
316N	S31651				
317	S31700				
317L	S31703				
317LMN	S31726				
321	S32100				
330	NO8330				
347	S34700				
348	S34800				
384	S38400				

(Sumber: The Engineering Tool Box)