

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kajian Pustaka

Penelitian terhadap las gesek telah banyak dilakukan oleh 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*).

Hazman dkk (2010) meneliti baja ringan dan aluminium dilas untuk mengetahui efek termal, dan metode satu dimensi beda hingga eksplisit digunakan untuk mendekati pemanasan dan pendinginan distribusi temperatur dari sambungan. Mengamati efek termal dari gesekan pada pengelasan gesek disimular aluminium dan mild steel. Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji tarik. Parameter yang digunakan adalah temperatur. Pemanasan dan pendinginan suhu profil diprediksi dari pengelasan gesek yang sesuai dengan profil suhu eksperimental. Dihitung suhu pemanasan puncak di  $x = 2$  mm dari *interface*  $434$  °C untuk pendinginan waktu  $t = 3,15$  s. pada waktu  $3,244$  s, suhu masih meningkat hingga  $436$  °C dan kemudian turun secara bertahap menjadi  $292$  °C setelah  $6,3$  s. Proses pemanasan dan pendinginan yang kira-kira dihitung sekitar  $138$  °C / s dan  $45$  °C / s, masing-masing. Sementara di lokasi  $x = 10$  mm dari *interface*, dihitung suhu pemanasan puncak  $112$  °C.

Wenya dan Feifan (2011) mengembangkan model dua dimensi dikembangkan untuk pengelasan gesek secara konstan (CDFW) dari baja ringan berdasarkan software ABAQUS. Pengaruh tekanan aksial dan kecepatan pada suhu *interface* dan penyusutan aksial diperiksa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatkan tekanan aksial, *interface* las dapat mencapai suhu kuasi-stabil lebih cepat dan penyusutan aksial akan lebih besar. Temuan serupa diamati dengan meningkatkan kecepatan putar. Selain itu, dengan meningkatnya waktu gesek, suhu *interface* tetap stabil dan penyusutan aksial meningkat secara linear dengan bertambahnya waktu. Percobaan dengan baja ringan juga dilakukan. Hasil

simulasi yang dibandingkan dengan eksperimen. Hasil simulasi yang diperoleh di bawah kecepatan putar, tekanan aksial, tekanan tempa, waktu gesek dan waktu tempa 1200 rpm, 200 MPa, 400 MPa, 3,5 dan 0,1 s, masing-masing. Dilihat bahwa suhu *interface* meningkat tajam sampai sekitar 1000 °C dalam waktu 0,1 s ( $t = 0,1$  s). Dengan meningkatnya waktu pengelasan, tinggi zona suhu melebar dari *interface* las karena konduksi panas dalam spesimen. Selain itu, suhu maksimum *interface* menunjukkan peningkatan cepat untuk suhu kuasi-stabil platform dengan fluktuasi kecil saat suhu mencapai sekitar 1200 °C. Hal ini berdasarkan flash yang tidak cukup besar pada waktu 1,5 s, tetapi volume flash mulai membesar pada waktu pengelasan 1,5 s sampai 3,5 s dan flash terbesar diperoleh setelah proses penempaan ( $t = 3,6$  s). Selanjutnya pemendekan aksial terbesar (sekitar 7.7mm). Selama proses penempaan, suhu *interface* menurun drastis dengan ekstrusi bahan termoplastik bersuhu tinggi.

Uday dkk (2012) membangun sebuah analisis data untuk peningkatan panas akibat gesekan, berdasarkan parameter yang berbeda dari kondisi kontak antara dua bahan berbeda. Komposit keramik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-YSZ dan 6061 Al alloy, yang merupakan contoh sambungan logam akibat gesekan yang digunakan dalam eksperimen. Logam alumina mengandung 0, 25 dan 50% berat yttria stabil zirkonia diproduksi oleh pengecoran pada cetakan Plaster Paris dan selanjutnya disinter pada 1600 ° C. Diameter kedua keramik dan batang logam adalah 16 mm. Kecepatan rotasi untuk pengelasan gesekan adalah antara 630 dan 2500 rpm. Sebagai hasilnya, data yang berbeda dievaluasi untuk memperoleh sifat sambungan dan kondisi operasi, dan memperoleh hasil berarti dalam pemodelan proses pengelasan dan kekuatan sambungan dalam berbagai kondisi. Pengelasan gesek menghasilkan gradien suhu yang dekat dengan proses penyambungan. Suhu pada gesekan *interface* meningkat tajam karena variasi gesek dan sifat plastis. Hal ini terbukti dengan menjaga gaya gesek (5000 N) konstan, dengan meningkatnya kecepatan rotasi, suhu puncak ikut meningkat. Namun untuk mencapai kekuatan sambungan yang baik, suhu operasi terbaik untuk alumina / 6061 Al alloy sekitar 125,4 °C pada kecepatan putar 2.500 rpm. Sedangkan suhu operasi terbaik untuk

komposit alumina-YSZ /6061 Al alloy berkisar 129,1 °C sampai 139.4 °C pada kecepatan putar yang lebih rendah (630-900 rpm). Koefisien gesek dan beban gesek yang konstan untuk penelitian saat ini, peningkatan kecepatan putar harus dikaitkan dengan sifat material dan jumlah konduktivitas termal untuk bahan pada penelitian ini.

## 2.2. Dasar Teori

Perkembangan penggunaan teknik pengelasan dalam bidang konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, 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; 2008). Secara sederhana dapat diartikan bahwa pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambahan maupun tidak dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas.

*Deutche 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 (Wiryosutomo dan Okumura 2008). Selain untuk menyambung, proses pengelasan dapat juga digunakan untuk memperbaiki, misalnya untuk mengisi atau menambal lubang-lubang pada bagian-bagian coran yang sudah aus.

Berdasarkan kerjanya, pengelasan digolongkan menjadi :

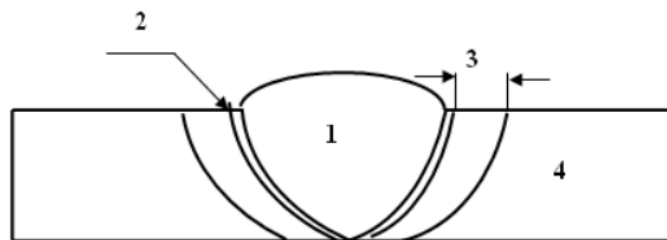
1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas yang terbakar.

2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam hal ini logam induk tidak turut mencair.

### 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/](http://www.teknikmesin.org/daerah-pengaruh-panas-haz/)

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

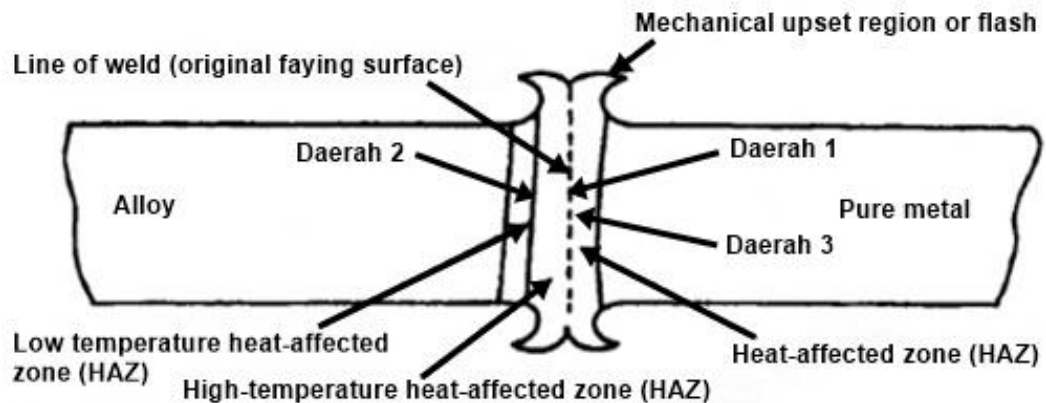
1. Logam lasan (*weld metal*), adalah daerah endapan las (*weld deposit*) dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las (*weld deposit*) berasal dari logam pengisi (*filler metal*).
2. Garis gabungan (*fusion line*), adalah garis gabungan antara logam lasan dan HAZ, 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 temperatur 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 *interface*. Metode las gesek bergantung pada perubahan langsung dari energi mekanik ke energi termal untuk membentuk lasan, tanpa aplikasi panas dari sumber yang lain. Dibawah kondisi normal pengelasan gesek tidak terjadi pencairan pada kedua permukaan logam.



**Gambar 2.2.** Daerah les gesek.

Sumber: [www.slideshare.net/surajaggarwal094/welding-lectures-1-3](http://www.slideshare.net/surajaggarwal094/welding-lectures-1-3)

Berdasarkan daerah pada pengelasan gesek di bagi menjadi 3 daerah pengelasan yaitu : Daerah 1 : daerah gesekan (*friction phase*), Daerah 2 : daerah berhenti (*breaking phase*), Daerah 3 : daerah penempaan / 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 berhenti dimana pada daerah ini durasi waktu harus secepat mungkin supaya temperatur panas tidak hilang. Daerah 3 merupakan daerah penempaan / 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 bahan pejal di mana panas untuk pengelasan diproduksi oleh gerak relatif dari dua permukaan yang kontak. Metode ini bergantung langsung pada konversi energi mekanik ke energi termal untuk membentuk pengelasan, tanpa aplikasi dari sumber panas lain.

Penyambungan terjadi oleh panas gesek akibat perputaran logam satu terhadap logam lainnya dibawah pengaruh tekan aksial. Kedua permukaan yang bersinggungan terjadi panas mendekati titik cair sehingga permukaan yang bersinggungan menjadi plastis. Berikut ini tahap proses pegelasan

Proses pengelasan gesek

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

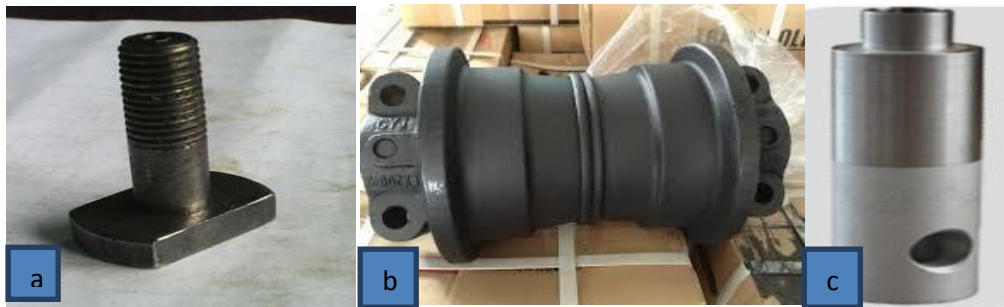
#### **2.4.1. Keuntungan Pengelasan Gesek**

Keuntungan dari las gesek adalah sebagai berikut:

- a. Proses yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap, gas atau asap
- b. Cocok untuk jumlah produksi yang banyak
- c. Kemungkinan terjadinya porositas dan inklusi terak dapat dihindarkan
- d. Pengelasan berpenampang yang tidak sama dapat dilakukan dengan proses pengelasan ini
- e. Bahan berbeda karakteristiknya dapat dilakukan dengan las gesek ini
- f. Proses las gesek ini konsisten dan berulang-ulang
- g. Mengonsumsi energi yang rendah dan tegangan las rendah
- h. 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

### 2.4.2. Aplikasi Las Gesek

Berbagai macam hasil sambungan dari pengelasan las gesek, dengan menggunakan dua logam yang berbeda (*dissimilar*). Seperti ditunjukkan pada gambar 2.3



**Gambar 2.3.**Contoh aplikasi pengelasan gesek metode rotary.a). Bentuk baut klem b). Cylinder c). Peralih penghubung pada reaktor nuklir (Al Alloy-Steel)

Sumber : Materials Asso. 2016. Friction Welding in the Manufacturing of OME Chemical Processing Equipment – A Case Study by American Friction Welding.

<http://www.azom.com/articleID=4606>. 20 April 2016.

## 2.5. Logam Aluminium 2024 T4

### 2.5.1. Klasifikasi Logam Aluminium 2024 T4

Menurut Surdia, T dan Saito, 1999 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. 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 *wrongt 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. Salah satu paduan aluminium yang banyak digunakan adalah jenis Al-Cu atau paduan seri 2XX.X yang memiliki nama dipasaran duralumin. Aluminium Alloy 2024 atau Duralumin merupakan sistem paduan aluminium-tembaga diperkaya dengan silikon, magnesium dan bersifat *heattreatable* khususnya akibat *natural andartificially aging*. Pada suhu atmosfer, duralumin mempunyai *strength-to-eightratio* yang lebih tinggi dari *steel*. Duralumin tempa mempunyai kekuatan yang tinggi, umumnya digunakan untuk *heavy-dutyforging, 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, *ortopedic, 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).

## **2.6. Stainless Steel AISI 420**

### **2.6.1. 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 korosi, 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 kekurangannya telah diperbaiki pada grade 434 dan 444 dan secara khusus pada grade 3Cr12.

#### 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 feritik. 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*).

### **2.7. Distribusi Temperatur Selama Pengelasan Gesek**

Temperatur adalah suatu penunjukan nilai panas atau nilai dingin yang dapat diperoleh / diketahui dengan menggunakan suatu alat yang dinamakan termometer. Termometer adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur dan menunjukkan besaran temperatur. Tujuan pengukuran temperatur adalah untuk :

1. Mencegah kerusakan pada alat-alat tersebut
2. Mendapatkan mutu produksi/kondisi operasi yang di inginkan
3. Pengontrolan jalannya proses

### **2.7.1. Metode pengukuran temperatur**

Ada 2 (dua) cara mengukur temperatur yaitu :

1. Metoda 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. Metoda Elektris, yaitu panas yang diukur menghasilkan gaya gerak listrik (Emf). Gaya gerak listrik kemudian dikalibrasi kedalam skala angka-angka yang menunjukkan nilai panas (temperatur) yang diukur.

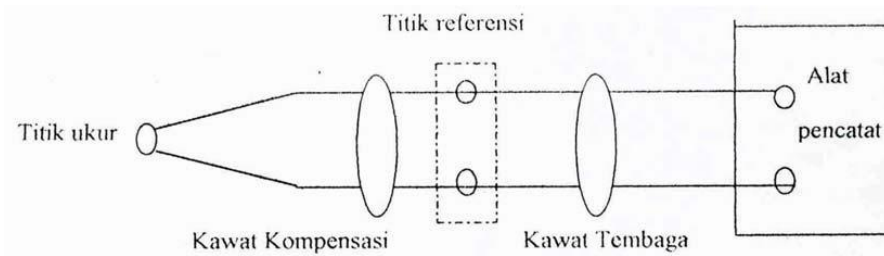
### **2.7.2. Jenis – jenis Alat Ukur Temperatur**

Secara sederhana, alat ukur temperatur dapat dibagi dalam dua kelompok besar yaitu :

1. Alat ukur temperatur dengan metoda pemuaian, terdiri dari :
  - a. Termometer tabung gelas
  - b. Termometer Bi-metal
  - c. Filled thermal termometer
2. Alat ukur temperatur dengan metode elektrik, terdiri dari :
  - a. Termokopel
  - b. Resistance termometer

### **2.7.3. Prinsip kerja termokopel**

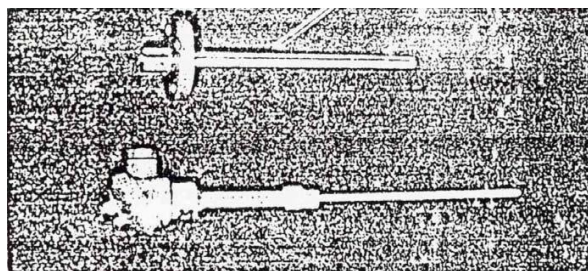
Termokopel bekerja berdasarkan pembangkitan tenaga listrik pada titik sambung dua buah logam yang tidak sama (titik panas/titik ukur). Ujung lain dari logam tersebut sering disebut titik referensi (titik dingin) dimana temperaturnya konstan, seperti pada Gambar 2.4 :



**Gambar2.4** Rangkaian Dasar Termokopel

Sumber: Dewi, J. (2010)

Umumnya termokopel digunakan untuk mengukur temperatur berdasarkan perubahan temperatur menjadi sinyal listrik. Bila antara titik referensi dan 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).



**Gambar2.5** Bentuk Fisik Termokopel

Sumber: Dewi, J. (2010)

Pada Gambar 2.6 dapat dilihat bentuk fisik dari sebuah termokopel. Bagian luar termokopel berupa tabung logam pelindung yang berguna untuk menjaga kondisi termokopel agar tidak terpengaruh banyak oleh lingkungan dimana alat tersebut ditempatkan,

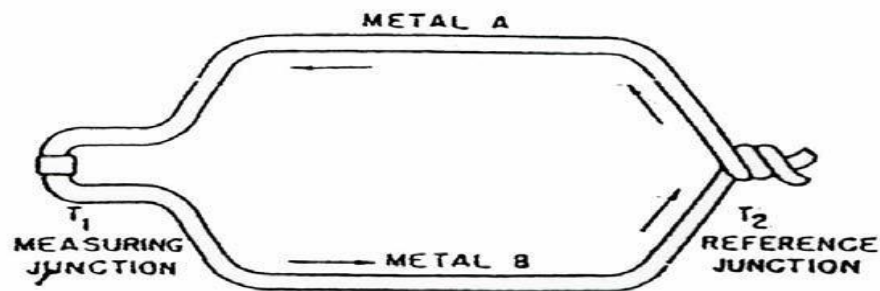
#### 2.7.4. Fungsi Termokopel

Termokopel pada proses ini berfungsi sebagai pendeteksi temperatur pada *Holding furnace*. Termokopel berupa transducer yang mendeteksi temperatur padadapur dan mengubahnya ke besaran listrik yaitu tegangan. Kemudian mengirim sinyal tersebut ke *Thermocontroller* menerima sinyal tersebut dalam

besaran temperatur. Termokopel ini bekerja setiap waktu selama proses berjalan, untuk memberi tahu setiap perubahan ataupun kondisi temperatur pada  *Holding furnace*.

#### 2.7.5. Termokopel sebagai sensor panas

Termokopel pada dasarnya adalah dua logam penghantar arus listrik dari bahan yang berbeda. Salah satu ujung-ujungnya dilas mati dan ujung yang satunya dibiarkan terbuka untuk sambungan ke lingkaran pengukuran. Sambungan yang di las mati disebut *measuring junction* sedangkan ujung yang satunya disebut *reference junction*. Seperti dapat kita lihat pada Gambar 4.7 sebagai berikut.



**Gambar2.6** Termokopel

Sumber: Dewi, J. (2010)