

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Sahin (2009) telah melakukan sebuah penelitian tentang penyambungan material *stainless steel* dan aluminium dengan menggunakan metode *Continuous Drive friction welding*. Pada penelitiannya digunakan parameter dengan beberapa variasi pada tekanan gesek (18 MPa, 24 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 untuk waktu *upset* dan kecepatan putar dibuat konstan, yaitu 12 detik dan 1410 rpm. Dari hasil sambungan kemudian dilakukan pengujian kekuatan tarik dan kekerasan. Pengujian kekuatan tarik mendapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi 191 MPa, dengan menggunakan parameter tekanan gesek 30 MPa, tekanan *upset* 60 MPa, dan waktu gesek 4 detik. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan beban 500 g pada semua titik. Pengujian dilakukan pada beberapa titik 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 aluminium, rata-rata memiliki nilai kekerasan 50 VHN.

Sigid, (2012) dalam penelitiannya menganalisis pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap kekuatan impact. Proses yang dilakukan adalah dengan durasi gesek 70 detik dan 90 detik pada tekanan gesek 5,98 MPa, 11,96 MPa, 17,94 MPa dan tekanan tempa 23,93 MPa, 33,5 MPa, 52,64 MPa. Dihasilkan fenomena yang terjadi yaitu tekanan gesek dan tempa mempengaruhi kekuatan impact. Semakin tinggi tekanan yang diberikan maka akan berpengaruh pada kekuatan impact yang semakin tinggi. Hasil yang didapatkan pada durasi gesek 90 detik kekuatan impact yang didapatkan masih lebih tinggi dibandingkan dengan pada durasi gesek 70 detik.

Yudhistian, (2016), melakukan sebuah penelitian pengaruh variasi kecepatan putar dan tekanan tempa terhadap sifat mekanik dari aluminium 6061 dengan metode *friction welding*. Dalam prosesnya menggunakan variasi kecepatan

putar 600 Rpm, 800 Rpm, 1000 Rpm dan tekanan tempa 50 MPa dan 60 MPa. Dihasilkan bahwa kecepatan putar dan tekanan tempa sangat berpengaruh terhadap meningkatnya kekuatan tarik hasil sambungan pengelasan *friction welding* bahan aluminium 6061. Hasil yang didapatkan pada pengujian tarik terendah diperoleh pada variasi kecepatan putar 600 Rpm dan tekanan tempa 50 MPa sebesar 16,22 N/mm². Sementara pada hasil tertinggi diperoleh dengan variasi kecepatan putar 1000 Rpm dan tekanan tempa 60 MPa dengan nilai sebesar 126,80 N/mm².

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 beberapa variasi parameter tekanan gesek (65 MPa, 104 MPa, 156 MPa), dan waktu gesek (3 detik, 5 detik, 7 detik), sedangkan untuk parameter tekanan *upset*, waktu *upset*, dan kecepatan putar dibuat konstan, yaitu 210 MPa, 6 detik, dan 1400 rpm. Dari hasil penelitian mendapatkan nilai kekuatan tarik terbaik 188,40 MPa, pada parameter tekanan gesek 104 MPa dan waktu gesek 5 detik. Pada pengujian nilai kekerasan menggunakan beban 500 g. Pada daerah *stainless steel* nilai kekerasan tertinggi didapat pada jarak 0,2 mm dari sambungan yaitu 325 VHN, sedangkan untuk daerah *base metal* pada jarak 10 mm dari sambungan mendapatkan nilai kekerasan 305 VHN. Pada daerah aluminium, jarak 0,2 mm dari sambungan mendapatkan nilai kekerasan 60, sedangkan pada jarak 10 mm dari sambungan nilai kekerasannya hanya 50 VHN.

Husodo, dkk, (2014), menganalisa pengaruh tekanan tempa terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja ST 41 sebagai dasar komponen pengunci pintu mobil box. Dalam penelitiannya tekanan gesek dan waktu gesek sama yaitu 7,33 MPa dan 45 detik namun dengan tekanan tempa yang berbeda 36,56 MPa, 45,70 MPa dan 55,04 MPa dihasilkan bahwa semakin besar tekanan tempa yang diberikan maka berpengaruh pada struktur mikro dengan batas butir kristalnya semakin kecil. Tekanan tempa tersebut juga berpengaruh pada terbentuknya *flash* sehingga apabila tekanan tempa yang diberikan semakin besar maka *flash* yang

terbentuk juga semakin besar dan berpengaruh pada ukuran panjang benda kerja yang semakin pendek.

Kimura, (2009), mempelajari fenomena sambungan dan kekuatan sambungan pada pengelasan gesek logam aluminium paduan dan baja karbon rendah pada beberapa variasi parameter. Untuk mendapatkan nilai efisiensi sambungan yang sama pada kedua material yang akan di sambung, permukaan dasar logam aluminium paduan 5052 harus tanpa retak pada permukaan hasil pengelasan. Hal tersebut disambung dengan tekanan gesek yang tinggi dan waktu gesek yang tepat. Dalam penelitiannya dihasilkan bahwa nilai efisiensi yang paling tepat adalah dengan menggunakan durasi waktu gesek 3 detik dan tekanan tempa yang diberikan sebesar 150 MPa.

Sahin dan Misirl (2013) melakukan sebuah penelitian tentang sifat mekanis dan metalurgi dari sambungan material beda jenis menggunakan *continuous drive friction welding*. Pada penelitian ini, peneliti menyambungkan antara aluminium dengan *stainless steel* 304 dan aluminium dengan tembaga. Pada penyambungan aluminium-*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 aluminium-tembaga parameter yang digunakan adalah tekanan gesek 60 MPa, tekanan *upset* 120 MPa, waktu gesek 4 detik, dan waktu *upset* 12 detik (Sahin, 2010). Dari sambungan aluminium-*stainless steel* mendapatkan nilai kekuatan tarik 191 MPa, sedangkan untuk sambungan aluminium-tembaga 148 MPa.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dapat disimpulkan bahwa, penyambungan aluminium dan *stainless steel* menggunakan metode *continuous drive friction welding* parameter yang digunakan adalah : tekanan gesek 18-100 MPa, waktu gesek 3-10 detik, tekanan *upset* 60-210 MPa, waktu *upset* 2-12 detik. Parameter proses yang digunakan pada pengelasan ini dapat mempengaruhi hasil kekuatan tarik sambungan yang diperoleh. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai parameter yang tepat untuk

penyambungan logam silinder pejal aluminium dan *stainless steel* agar dapat menghasilkan kekuatan tarik yang maksimal.

2.2 Dasar Teori

Dalam era perkembangan teknologi yang semakin maju, teknik pengelasan semakin banyak, dengan adanya kemajuan teknologi khususnya pada bidang konstruksi semakin luas, hal tersebut meliputi pembuatan penyambungan pipa saluran, rangka kapal, pembuatan pesawat terbang, pembangunan jembatan dan lain sebagainya. Definisi sederhana dari pengelasan adalah proses penyambungan dua buah logam hingga mencapai titik lebur baik yang menggunakan bahan tambahan atau tanpa bahan tambah dengan menggunakan energi panas untuk mencairkan benda yang akan disambung.

Berdasarkan definisi menurut DIN (*deutsche industrie normen*) pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain pengelasan dijabarkan sebagai cara penyambungan dari beberapa bagian logam secara setempat dengan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan adalah salah satu proses penyambungan logam menggunakan energi panas dengan cara mencairkan pada sebagian logam induk dan atau logam pengisi dengan memberikan atau tanpa tekanan dan dengan logam tambahan atau tanpa logam tambahan sehingga menghasilkan sambungan yang kontinyu. (wiryosumarto dan okumura, 2008).

Berdasarkan cara kerjanya pengelasan diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu :

1. Pengelasan cair adalah proses pengelasan dengan cara mencairkan sambungan logam yang akan disambung menggunakan sumber panas dari busur listrik atau sumber apa dari gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah proses pengelasan dengan cara menyambungkan dua logam yang di panaskan dan kemudian setelah tersambung kedua logam tersebut diberi tekanan hingga menyambung menjadi satu.
3. Pematiran adalah proses pengelasan dimana logam yang akan disambung disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair

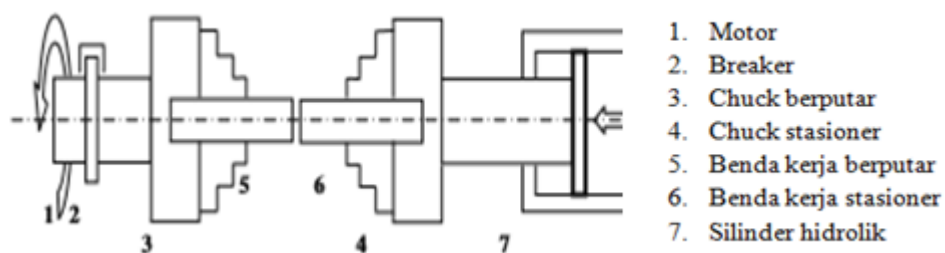
lebih rendah dari logam induk yang akan disambung dan logam yang akan di sambung tidak ikut mencair.

2.2.1 Friction Welding

Friction welding atau las gesek merupakan salah satu jenis pengelasan yang dilakukan dalam kondisi padat. Proses penyambungannya dilakukan pada suhu yang lebih rendah dari titik leleh logam induknya. *Friction welding* diklasifikasikan oleh *American Welding Society* (AWS) sebagai pengelasan *solid state*. Berdasarkan cara penggesekannya, ada beberapa jenis *friction welding*, di antaranya adalah : *continuous drive friction welding*, *friction stir welding*, dan *linier friction welding*.

2.2.1.1 Continuous drive friction welding (CDFW)

Continuous drive friction welding merupakan jenis penyambungan dua buah logam dalam keadaan padat (*solid state process*). Proses dari *continuous drive friction welding* adalah proses pengelasan gesek silinder pejal di mana dua buah benda di gesekkan dengan satu material berputar dan material yang lain diam. Penyambungan yang terjadi di sebabkan oleh panas yang timbul dari gesekan akibat dari material yang berputar dan material yang diam diberikan tekanan aksial sehingga saling bergesekan. Dalam gambar 2.1 ditunjukkan tahapan dari proses pengelasan gesek *continuous drive friction welding*.

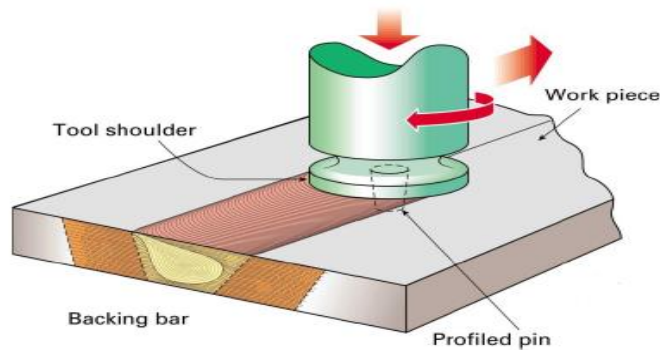


Gambar 2.1 Skema *continuous drive friction welding*

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.



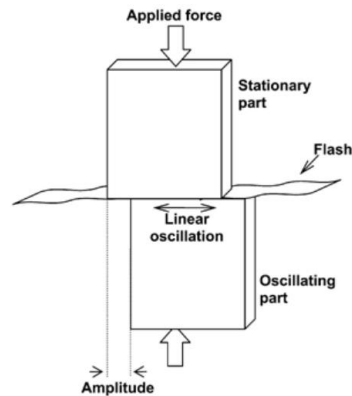
Gambar 2.2 Proses *Friction Stir Welding*

Pada penyambungannya FSW menggunakan *tool* dengan atau tanpa profil pada *probe*. *Tool* bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua material yang disambung. Benda kerja yang disambung dicekam pada ragum untuk menahan gaya yang terjadi pada saat penyambungan. *Shoulder* dari *tool* harus bersentuhan dengan permukaan benda kerja, dan panjang *probe* harus lebih pendek dari benda kerja. *Probe* dan *shoulder* dari *tool* yang bergesekan dengan benda kerja menyebabkan timbulnya panas pada saat penyambungan. Panas yang ditimbulkan menyebabkan material melunak tanpa melewati titik leburnya, hal ini memungkinkan *tool* bergerak sepanjang jalur sambungan dan membentuk alur sambungan (Gambar 2.2).

2.2.1.3 *Linier Friction Welding (LFW)*

Linier friction welding merupakan penyambungan yang termasuk jenis *solid state*. Pada proses penyambungannya satu benda kerja dipasang pada kondisi diam dan memberikan gaya pada benda kerja yang bergerak secara linear agar terjadi gesekan. Gesekan yang terjadi pada benda kerja menyebabkan terjadinya *deformasi plastis* pada permukaan benda kerja yang bersentuhan. Sebagian dari material membentuk *flash* akibat gesekan dan gaya yang terjadi pada kedua permukaan.

Dengan adanya hal tersebut menyebabkan kedua benda kerja menyatu (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Proses penyambungan LFW

2.2.2 Keunggulan dan keterbatasan *friction welding*

Bila dibandingkan dengan proses penyambungan secara fusi dan *brazing*, ada beberapa keunggulan yang dimiliki *friction welding*. Adapun keunggulannya adalah sebagai berikut :

1. Tidak memerlukan logam pengisi
2. Tidak terdapat cacat akibat fenomena pencairan dan pembekuan.
3. Dimungkinkan untuk menyambung dua material logam yang berbeda.
4. Hemat biaya.
5. Ramah lingkungan.

Namun *friction welding* juga memiliki keterbatasan yaitu ;

1. Benda yang disambung harus simetris
2. Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu deformasi secara plastis. (Tiwan dan ardian, 2005).

2.2.3 Aplikasi *friction welding* penyambungan material beda jenis

Ada beberapa produk atau komponen yang dihasilkan melalui proses pengelasan gesek dengan metode *rotary* dengan berbagai bahan yang digunakan pada berbagai komponen dan dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 aplikasi pengelasan gesek metode *rotary* (a) klep sepeda motor, (b) *Transmission gear* (*steel – medium carbon*), (c) *Transmission input shaft* (*steel – low carbon alloy*), (d) poros baling-baling.

2.2.4 Paduan Aluminium-Magnesium-Silicon (Al 6061)

Wiryo Sumarto, H dan Okumura, T (2000) Paduan jenis Al-Mg-Si (seri 6000) termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan-panaskan dan mempunyai sifat mampu-potong, mampu las dan daya tahan korosi yang cukup. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul. Aluminium seri 6061 merupakan logam ringan dengan berat jenis 2.79 g/cm^3 dengan titik leleh (*Melting point*) pada temperature 660°C , dan konduktivitas thermal $173 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Aluminium jenis ini banyak diaplikasikan pada komponen pesawat, rangka sepeda, *drive shaft*, peralatan kelistrikan, komponen rem, katup, dan kopleng (Azom.com, 2006). Aluminium seri

6061 merupakan aluminium yang memiliki sifat ketangguhan yang baik, serta tahan korosi yang sangat baik pada suhu atmosfer. Aluminium seri ini juga mempunyai sifat mampu potong, dan mampu las yang baik, serta tersedia secara luas dipasaran. Adapun keterbatasan pada paduan ini, yaitu mudah terjadinya pelunakan pada daerah las akibat panas yang ditimbulkan saat pengelasan. Pada paduan aluminium jenis ini, magnesium dan silikon merupakan unsur paduan yang sangat penting pada paduan aluminium 6061 (AL-Mg-Si), karena magnesium dan silikon akan membentuk karbida Mg_2Si yang menyebabkan paduan seri 6061 dapat diberikan perlakuan panas untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Perlakuan panas yang digunakan pada aluminium seri 6061 dibedakan menjadi tiga keadaan, di antaranya yaitu keadaan O, T4, dan T6. Keadaan O adalah paduan dengan perlakuan panas dianil penuh yang bertujuan untuk menghasilkan kekuatan rendah dan memperbaiki keuletannya. Kondisi T4 adalah perlakuan dengan penuan (aging) alamiah, dimana material dibiarkan pada udara terbuka sehingga menyerap panas dari udara luar dan mengalami penuaan. Sedangkan kondisi T6 adalah hampir sama dengan perlakuan T4, yang membedakan hanya proses penuaannya yang menggunakan temperature dan waktu tertentu untuk membantu proses penuaan, dengan kata lain perlakuan T6 sama halnya dengan proses *artificial aging*.

2.2.5 Stainless steel 304 (AISI 304)

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

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sekitar 12% Cr yang menunjukkan ketahanan korosi karena pembentukan lapisan film kromium oksida (Cr_2O_3). *Stainless steel* tahan terhadap korosi dan oksidasi karena adanya unsur yang ditambahkan pada paduan besi karbon seperti nikel, mangan, *molybdenum*, nitrogen dan elemen lain yang sangat mempengaruhi properties material. Menurut kandungan prosentase Cr-Ni *stainless steel* dibagi menjadi *austenitic*, *martensitic*, *ferritic* dan *duplex*.

Stainless steel 304 merupakan jenis *austenitic stainless steel* yang mempunyai sifat *non magnetic*. Memiliki titik leleh pada suhu 1400°C - 1450°C dan konduktivitas thermal $16,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Tipe *stainless steel 304* paling banyak digunakan dengan 18% Cr dan 8% Ni (Iron and Steel Society, 1999). Penggunaan *stainless steel 304* di industri antara lain: kimia, pengolahan makanan & minuman, farmasi, dan *heat exchangers*.

Tabel 2.1 Paduan Logam Pejal *Stainless 304* (Sahin, 2007)

| Alloy | C | P | S | Mn | Si | Cr | Ni |
|------------|------|-------|-------|-----|-----|-------|----------|
| Weight (%) | 0.07 | 0.045 | 0.030 | 2.0 | 1.0 | 17-19 | 8.5-10.5 |

Komposisi kimia suatu material berpengaruh terhadap sifat mekaniknya misalnya karbon (C) merupakan pembentuk struktur *austenite* yang kuat, oleh karena itu karbon secara substansi dapat meningkatkan kekuatan mekanik. Karbon mengurangi ketahanan terhadap korosi intergranular. Pada *ferritic stainless steel* karbon berpengaruh kuat mengurangi *toughness* dan ketahanan korosi. Karbon pada *martensitic* dan *martensitic-austenitic* meningkatkan kekerasan dan kekuatan. namun secara umum jika kekerasan dan kekuatan meningkat maka *toughnessnya* akan turun.

Mangan (Mn) digunakan untuk peningkatan sifat *ductility*. Pada suhu rendah mangan merupakan *austenite stabiliser* tetapi pada suhu tinggi berubah menjadi penyetabil *ferrite*. Mangan menaikkan kelarutan nitrogen dan digunakan untuk memperoleh kandungan nitrogen yang tinggi di dalam *austenitic steels*. Silicon (Si) berfungsi menaikkan *resistance to oxidation*, pada suhu tinggi dan rendah.

Krom (Cr) unsur yang sangat penting bagi stainless steel. Sifat *corrosion resistance* dipengaruhi oleh besarnya atau prosentase krom *content*. Krom tahan terhadap oksidasi suhu tinggi. Penambahan unsur Nickel (Ni) adalah untuk menaikkan *ductility* and *toughness*. Nickel mampu mereduksi laju korosi sehingga bermanfaat pada lingkungan yang asam. Penambahan belerang (*Sulphur*) untuk meningkatkan sifat *machinability*. Pada kadar tertentu sulphur bisa berfungsi juga *corrosion resistance*, *ductility* serta mampu las. (Tabel 2.1).

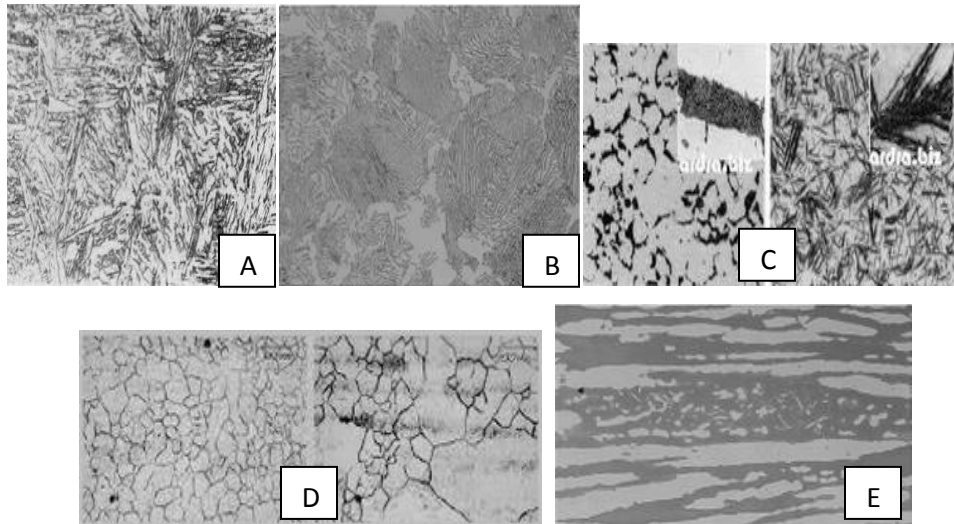
2.2.6 Pengujian Struktur Mikro

Suatu logam mempunyai sifat mekanik yang tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda, dan sifat mekaniknya pun akan berbeda. Ini tergantung pada proses pengerjaan dan proses perlakuan panas yang diterima selama proses pengerjaan.

Struktur mikro adalah gambaran dari fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksi dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*. Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan melalui diagram fasa, kita dapat memprediksi struktur mikronya dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat ukuran dan bentuk butir, Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam, Pengotor yang terdapat dalam material.

Pengamatan struktur mikro terlihat fase-fase suatu material. Fase adalah diaman pada rentang tertentu komposisi mempunyai sifat yang sama. Dalam struktur mikro ada istilah butir dan batas butir. Butir merupakan kumpulan sel satuan yang mempunyai arah dan orientasi gerak yang sama dilihat dari arah dua dimensi, sementara batas butir adalah daerah perbatasan antara butir yang satu dengan butir

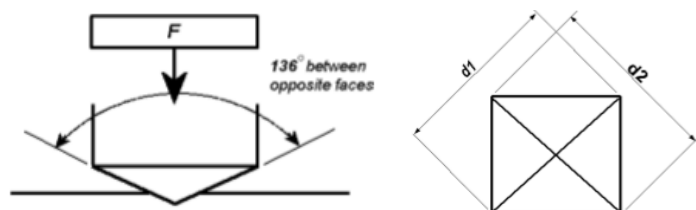
yang lain. Dimana pada daerah batas butir ini merupakan daerah yang tidak stabil. Laju pendinginan yang cepat akan menghasilkan martensit sedangkan laju pendinginan yang lambat akan membentuk perlit. (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Hasil sreuktur mikro, (A) *Martensit*, (B) *Perlit*, (C) *Bainit*, (D) *Austenit*, (E) *Ferit*

2.2.7 Pengujian Kekerasan Micro Vickers

Kekerasan material merupakan ketahanan material terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen pada material tersebut apabila diberikan beban atau gaya dari luar. Salah satu cara untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material yaitu dengan menggunakan metode pengujian kekerasan *micro vickers*. Cara ini menggunakan indentor intan berbentuk piramida dengan dasar persegi dan sudut puncak 136° yang ditekan dengan beban (F) terhadap material yang akan diuji (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Indentasi micro Vickers

Nilai Kekerasan Vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas penampang lekukan atau luas bekas piramida. Variasi beban yang biasanya digunakan pada pengujian mikro vickers adalah 25, 50, 100, 200, 300, 500, dan 1000 *gram force*, tergantung pada tingkat kekerasan material yang akan di uji. Untuk luas penampang lekukan bekas indentor dihitung dari pengukuran mikroskopis panjang diagonalnya. Kekerasan dihitung dengan mengukur diagonal d_1 dan d_2 dari jejak yang ditinggalkan (Gambar 2.6). Nilai kekerasan vickers dapat dihitung sebagai berikut (Persamaan 2.1) :

$$\begin{aligned} \text{VHN} &= \frac{F}{A} = \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} && \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.1} \\ &= \frac{1.854 F}{d^2} && (F = \text{kgf}, d = \text{mm}) \\ &= \frac{1854 F}{d^2} && (F = \text{gf}, d = \mu\text{m}) \end{aligned}$$

Keterangan :

- VHN : Vickers Hardness Number
- F : Beban yang diberikan (kgf atau gf)
- A : Luas penampang indentasi (mm^2 atau μm^2)
- θ : Sudut indentor (136°)
- d : Panjang diagonal bekas indentasi (mm atau μm)

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

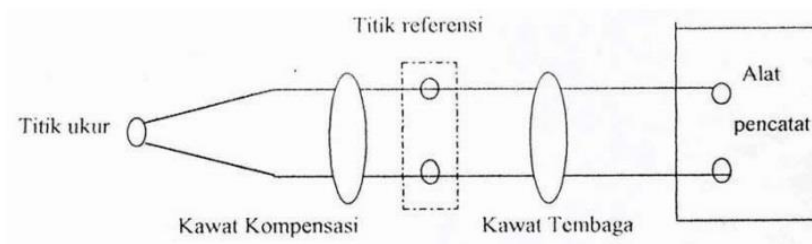
Terdapat dua cara pengukuran temperatur :

1. Metode pemuian, yaitu panas yang diukur menghasilkan pemuian, pemuian dirubah kedalam bentuk gerak-gerak mekanik kemudian dikalibrasi dengan skala angka-angka yang menunjukkan nilai panas (temperatur) yang diukur.

2. Metode listrik, 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.

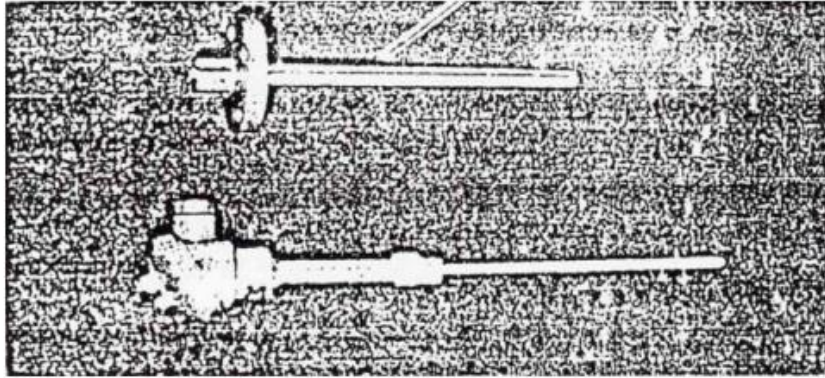
2.2.8.2 Prinsip Kerja Termokopel

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 2.7 :



Gambar 2.7 Rangkaian Dasar Termokopel

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 2.8 Bentuk Fisik Termokopel

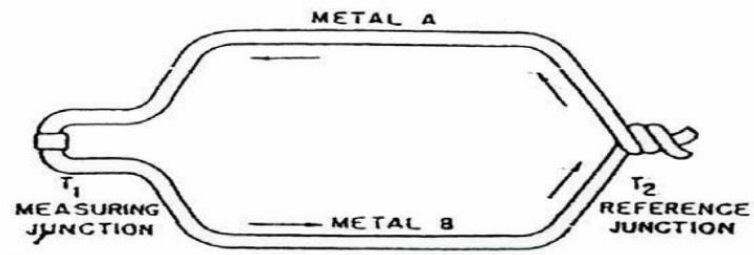
Pada Gambar 2.8 dapat dilihat bentuk fisik dari termokopel. Bagian luar termokopel berupa tabung logam pelindung yang berfungsi untuk menjaga termokopel agar tidak terpengaruh oleh suhu lingkungan dimana alat ditempatkan.

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 2.9 dibawah dapat kita lihat bahwa sambungan yang dilas mati disebut *measuring junction* sedangkan dengan ujung yang satunya disebut *reference junction*.



Gambar 2.9 Termokopel