

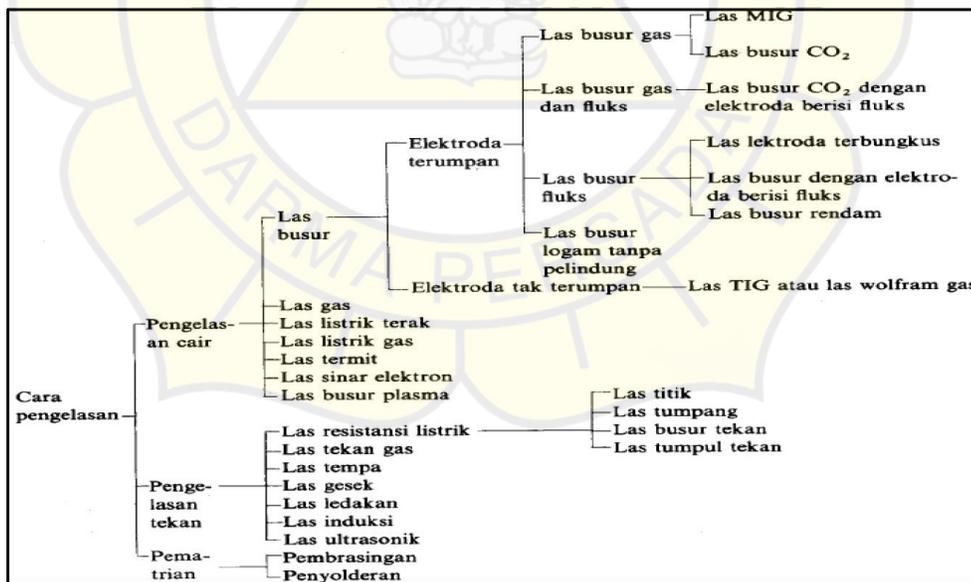
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengelasan

2.1.1 Definisi Pengelasan

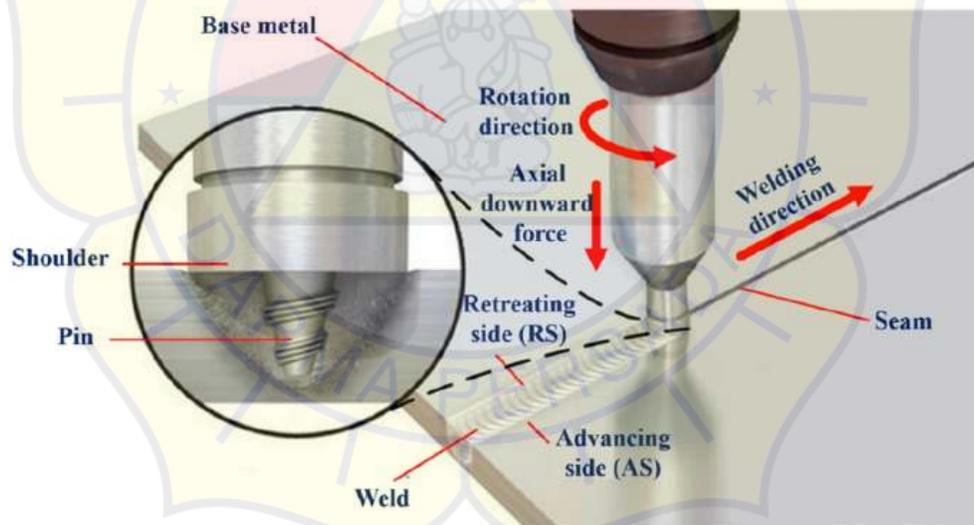
Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan bahwa proses pengelasan merupakan penyambungan satu logam atau lebih, dengan jenis logam yang sama ataupun berbeda jenis dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*). Berikut merupakan klasifikasi dari proses pengelasan :



Gambar 2.1 Klasifikasi proses pengelasan (Wiryo Sumarto, 2000).

2.1.2 Friction Stir Welding

Metode pengelasan *friction stir welding* ditemukan oleh Thomas dari *The Welding Institute* (TWI) pada tahun 1991. Pengelasan *friction stir welding* merupakan proses penyambungan logam tanpa *filler* dan tanpa meleleh. Proses penyambungan logam terjadi pada fase padat (*solid state welding*) karena berlangsung pada temperature di bawah titik lebur (maksimal 80% titik lebur) dari material yang akan disambung (Dawes dan Thomas, 1996). Metode ini digunakan agar karakteristik dari logam induk tidak banyak berubah. Pengelasan dengan metode *friction stir welding* banyak digunakan pada material aluminium yang biasanya harus dilakukan proses *heat treatment* terlebih dahulu sebelum melakukan pengelasan jika pengelasan dilakukan dengan metode lain.



Gambar 2.2 Skema pengelasan *friction stir welding* (Bahman Meyghani & Chuansong Wu, 2020).

Proses *friction stir welding* menggunakan *rotating cylindrical tool* dengan indenter untuk memanaskan material dengan gesekan. Perkakas berputar menggosok material dan berjalan sepanjang garis las. Akibat dari gesekan tersebut

maka material akan tersambung menjadi satu. Prinsip kerja temperature pengelasan metode ini adalah 80% dari titik lebur material. Dengan adanya temperature yang lebih rendah ini, maka akan menghasilkan daerah *heat affected zone* yang minim. Metode *friction stir welding* ini juga minim dengan distorsi atau penyimpangan bentuk oleh panas. Berikut ini adalah parameter atau batasan-batasan dalam pengelasan *friction stir welding* :

1. Kecepatan putar *tool*

Merupakan kecepatan putaran spindel per menit (rpm). Kecepatan putaran yang tinggi dapat meningkatkan *strain rate* (perubahan regangan suatu material sehubungan dengan waktu dan dapat mempengaruhi proses reksistalisasi (pemurnian suatu zat dari campuran).

2. Translasi material

Memiliki peranan vital dalam menghasilkan sambungan las yang baik. Kekuatan tarik maksimum dapat berkurang secara signifikan apabila translasi terlalu cepat, dengan translasi yang rendah akan menghasilkan sambungan dengan kekuatan tarik maksimum yang tinggi.

3. Desain *tool*

Desain bentuk dan dimensi *tool* sangat mempengaruhi hasil pengelasan, bentuk pin yang berada di ujung *tool* berperan sebagai pengaduk logam induk. Beberapa desain *tool* yang biasanya digunakan diantaranya adalah silinder berulir, segitiga berulir, dan meruncing berulir.

4. Material

Hal ini mempengaruhi tingkat pendinginan dan temperatur gradien dari material. Semakin tebal material maka akan menyimpan panas yang besar.

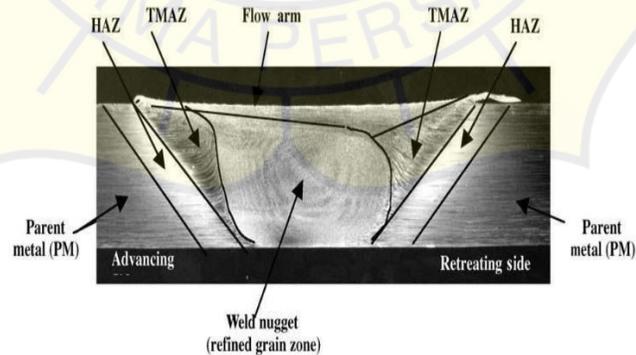
Hal ini akan berakibat pada waktu pendinginan yang semakin lama.

Pengelasan dengan menggunakan metode *friction stir welding* memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya, diantaranya adalah :

1. Mengurangi material *consumable* seperti electrode dan logam pengisi lainnya.
2. Saat proses pengelasan tidak menghasilkan emisi yang berbahaya.
3. Konsumsi energi yang lebih rendah karena tidak memerlukan gas pelindung cairan.

2.1.3 Siklus *Thermal Las*

Proses pengelasan menyebabkan siklus thermal yang tidak seragam pada daerah pengelasan yang merupakan pemicu masalah-masalah pada sambungan pengelasan seperti bentuk yang tidak sempurna, pengerutan benda kerja dan *hot cracking*. Berikut merupakan skema pembagian daerah pengelasan :



Gambar 2.3 Daerah pengelasan (ASM International, 2007).

1. Logam induk (*base metal/parent metal*)

Merupakan bagian yang tidak terpengaruh siklus *thermal* akibat proses pengelasan. Kenaikan suhu selama proses pengelasan tidak akan mengubah mikro struktur maupun sifat mekanik dari logam induk.

2. HAZ (*heat affected zone*)

Merupakan daerah yang paling dekat dengan pusat dari lokasi pengelasan. Material pada daerah ini sudah mengalami siklus *thermal* sehingga menyebabkan terjadinya perubahan sifat mekanik dan struktur mikro.

3. TMAZ (*thermomechanically affected zone*)

Merupakan daerah yang tidak mencair tetapi mengalami deformasi plastis yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro akibat pengaruh panas.

4. Daerah las (*weld nugget*)

Weld nugget adalah daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses pengelasan sehingga menghasilkan butiran halus di daerah pengadukan.

2.1.4 Heat Input

Pin pada *tool friction stir welding* berfungsi untuk penetrasi ke dalam material yang akan diaduk lalu menghasilkan aliran material. *Heat input* merupakan panas yang terjadi pada saat proses pengelasan akibat dari adanya gesekan antara *tool* dengan material benda kerja. Panas terbesar dihasilkan oleh akibat gesekan *tool* dengan benda kerja (Mishra, 2005). Panas tersebut sangat mempengaruhi transformasi fasa yang selanjutnya akan berpengaruh pada struktur mikro, sifat fisik

dan sifat mekanik pada daerah sekitar pengelasan. Dari penjabaran tersebut, maka terdapat persamaan *heat input* sebagai berikut :

$$Q = \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} (R_{shoulder}^3 + 3R_{pin}^3 H_{pin}) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

Q = Heat input (J/s)

$R_{shoulder}$ = Jari – jari shoulder (m)

R_{pin} = Jari – jari pin (m)

H_{pin} = Tinggi pin (m)

ω = Kecepatan putar tool (rpm)

$\tau_{contact}$ = Aluminium 20 MPa

2.1.5 Klasifikasi Sambungan Las

1. Sambungan sebidang (*Butt joint*)

Butt joint atau yang biasa dikenal dengan sambungan sebidang adalah jenis sambungan las berbentuk tumpul dimana penggunaannya dikhususkan untuk menyambung ujung-ujung plat datar yang memiliki ketebalan yang sama.

2. Sambungan tegak (*T joint*)

T joint adalah sambungan yang berupa groove *T*, jenis sambungan ini banyak diterapkan untuk pembuatan konstruksi atap, konveyor serta tipe arsitektur lainnya. Tipe sambungan ini digunakan untuk menciptakan penampang berbentuk profil *T*.

3. Sambungan sudut (*corner joint*)

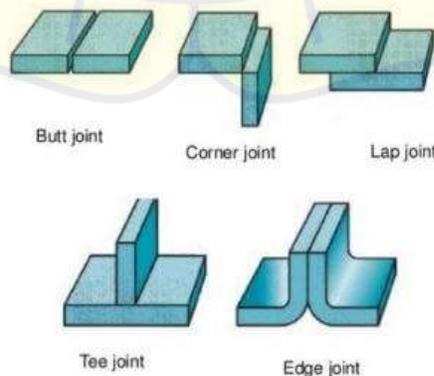
Sambungan sudut biasanya dikhususkan pada pembuatan penampang berupa *box* segi 4 seperti yang dipakai untuk kolom dan balok yang membawa momen puntir yang besar. *Corner joint* memiliki konsep sambungan yang nyaris serupa dengan *T joint*, tapi perbedaannya adalah pada letak dari materialnya. Pada sambungan ini material yang disambung adalah bagian ujung dengan ujung.

4. Sambungan sisi (*edge joint*)

Edge joint adalah sambungan sisi dimana kedua benda kerja sejajar satu sama lain dengan catatan salah satu ujung dari kedua benda kerja tersebut berada pada tingkat yang sama. *Edge joint* terbagi menjadi sambungan las bersudut alur dan sambungan las ujung.

5. Sambungan lewatan (*lap joint*)

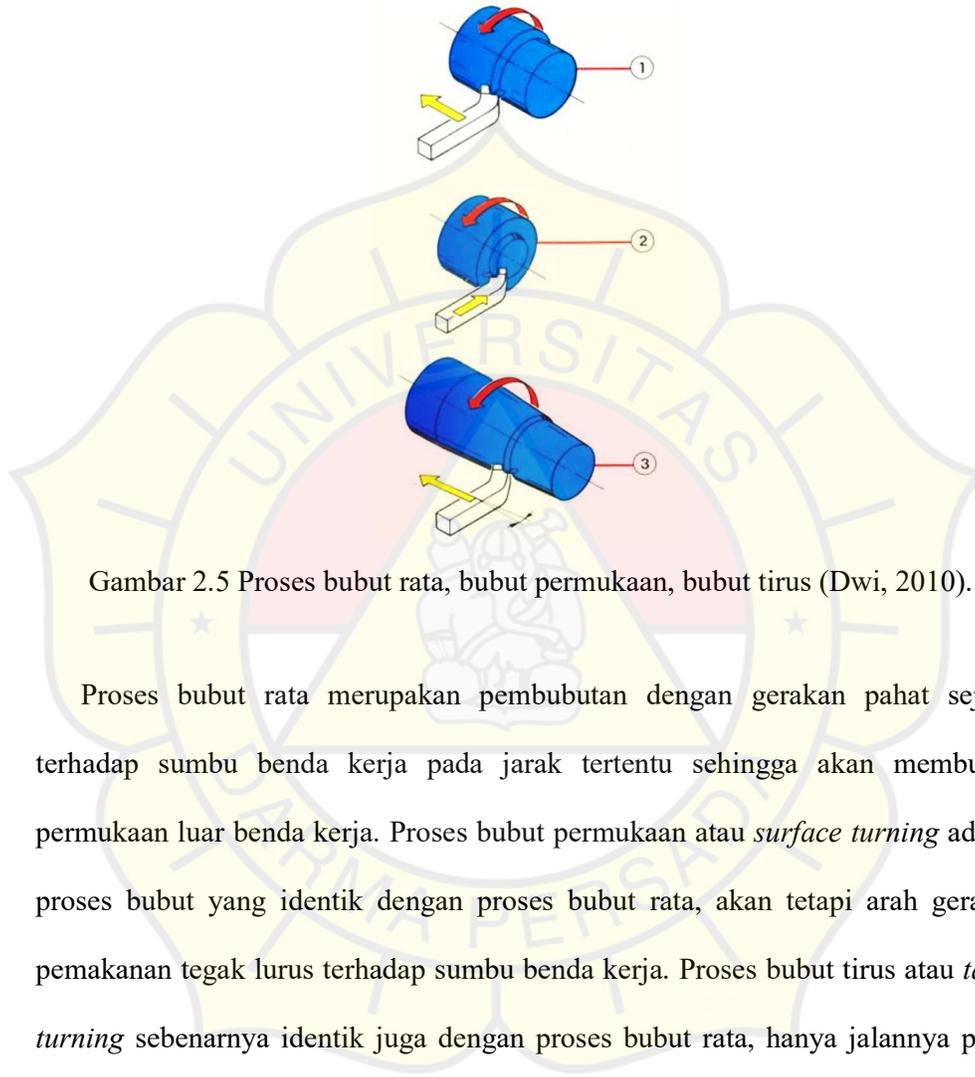
Sambungan lewatan biasa digunakan untuk pengelasan spot atau seam. Karena saat pembuatannya material las sering ditumpuk atau disusun. Jenis sambungan ini sering diaplikasikan pada bagian body kereta dan cenderung digunakan pada plat tipis.



Gambar 2.4 Jenis-jenis sambungan las.

2.2 Proses Bubut

Proses bubut adalah proses pemesinan untuk menghasilkan bagian-bagian mesin berbentuk silindris yang dikerjakan dengan menggunakan mesin bubut.



Gambar 2.5 Proses bubut rata, bubut permukaan, bubut tirus (Dwi, 2010).

Proses bubut rata merupakan pembubutan dengan gerakan pahat sejajar terhadap sumbu benda kerja pada jarak tertentu sehingga akan membuang permukaan luar benda kerja. Proses bubut permukaan atau *surface turning* adalah proses bubut yang identik dengan proses bubut rata, akan tetapi arah gerakan pemakanan tegak lurus terhadap sumbu benda kerja. Proses bubut tirus atau *taper turning* sebenarnya identik juga dengan proses bubut rata, hanya jalannya pahat membentuk sudut tertentu terhadap sumbu benda kerja.

Dalam proses pembubutan terdapat parameter-parameter yang dapat mempengaruhi hasil pembubutan dan parameter utama dalam proses pembubutan dapat diatur pada mesin bubut itu sendiri yaitu diantaranya :

1. Kecepatan putaran spindel (*speed*)

Gerakan berputar benda kerja.

$$n = \frac{1000 \cdot Cs}{\pi \cdot d} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

n = Kecepatan putar spindel (*rpm*)

d = Diameter benda kerja (*mm*)

Cs = Kecepatan potong (*m/menit*)

π = Konstanta

2. Kecepatan pemakanan (*feed*)

Jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali.

$$V_f = f \cdot n \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

V_f = Kecepatan pemakanan (*mm/menit*)

f = Besar pemakanan (*mm*)

n = Kecepatan putaran spindel (*rpm*)

3. Kecepatan Potong (*cutting speed*)

Kecepatan dimana pahat melintasi benda kerja untuk mendapatkan hasil yang paling baik pada kecepatan yang sesuai.

$$Cs = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

π = Konstanta

d = Diameter benda kerja (*mm*)

n = Kecepatan putar spindel (*rpm*)

2.3 Aluminium

Aluminium merupakan logam non ferrous yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Sifat tahan karat dari aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida pada permukaannya, lapisan oksida ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta stabil. Walaupun aluminium mempunyai kekuatan yang lebih rendah dari baja, namun aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dari baja. Oleh karena itu aluminium banyak digunakan pada konstruksi ringan, alat transportasi dan sebagainya. Jika aluminium dicampurkan dengan jenis logam lainnya seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Cr maka akan membentuk aluminium paduan yang akan meningkatkan sifat mekanik, sifat mampu las, sifat tahan terhadap karat dan sifat lainnya.

2.3.1 Klasifikasi Aluminium dan Paduannya

Paduan aluminium dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu berdasarkan pembuatannya dengan cara dicor atau ditempa, berdasarkan dapat atau tidak dapatnya mendapatkan perlakuan panas dan berdasarkan unsur-unsur paduannya. Berdasarkan dari tiga klasifikasi tersebut aluminium dibagi dalam tujuh jenis yaitu : Jenis Al-Murni, Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Mg-Si dan Al-Zn (Wiryosumarto, 2000). Berikut merupakan sifat umum dari beberapa jenis paduan :

1. Jenis Al-Murni (Seri 1000)

Jenis ini adalah aluminium yang memiliki kemurnian hingga 99,9%. Aluminium dengan seri ini memiliki sifatnya tahan karat, konduktifitas panas dan listrik yang baik serta memiliki sifat mampu las yang memuaskan. Sedangkan kekurangan dari aluminium jenis ini adalah memiliki kekuatan yang rendah.

2. Jenis paduan Al-Cu (Seri 2000)

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis aluminium yang dapat diperlakukan panas. Dengan melalui proses pengerasan endapan sifat mekanik paduan ini mampu menyamai sifat dari baja lunak. Akan tetapi paduan ini mempunyai ketahanan karat dan mampu las yang kurang baik.

3. Jenis paduan Al-Mn (Seri 3000)

Paduan ini adalah jenis aluminium yang tidak dapat diperlakukan panas, sehingga untuk meningkatkan kekuatannya hanya dapat dilakukan dengan proses pengerjaan dingin. Paduan ini memiliki ketahanan karat dan mampu las yang memuaskan seperti jenis Al-Murni, dan juga memiliki kekuatan yang lebih baik.

4. Jenis paduan Al-Si (Seri 4000)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlakukan panas. Jenis paduan ini jika dalam keadaan cair memiliki sifat mampu alir yang baik dan pada proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifatnya maka paduan jenis ini banyak digunakan sebagai bahan las dalam proses pengelasan.

5. Jenis paduan Al-Mg (Seri 5000)

Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlakukan panas. Tetapi mempunyai sifat mampu las dan daya tahan karat yang baik terutama karat oleh air laut. Oleh karena itu paduan jenis Al-Mg banyak digunakan untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Jenis paduan Al-Mg-Si (Seri 6000)

Paduan ini termasuk dalam jenis paduan yang dapat diperlakukan panas serta memiliki sifat mampu las dan daya tahan karat yang cukup. Kekurangan dari paduan jenis ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah pengelasan karena panas pengelasan yang timbul.

7. Jenis paduan Al-Zn (Seri 7000)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlakukan panas. Biasanya pada paduan ini ditambahkan dengan Mg, Cu dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat mencapai 50 kg/mm², sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahan terhadap karat kurang menguntungkan.

2.3.2 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam hal pengelasan, paduan aluminium mempunyai sifat mampu las yang kurang baik bila dibandingkan dengan logam lainnya. Berikut merupakan sifat-sifat yang menyebabkan sifat mampu las yang kurang baik terhadap aluminium :

1. Karena panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi maka sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja.
2. Paduan aluminium mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium Al_2O_3 yang memiliki titik cair yang tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Karena memiliki koefisien muai yang besar, maka mudah sekali terjadi deformasi sehingga paduan-paduan yang mempunyai sifat getas panas akan cenderung membentuk retak-panas.

4. Karena perbedaan yang tinggi antara kelarutan hidrogen dalam logam cair dan logam padat, maka dalam proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong-kantong hidrogen.
5. Paduan aluminium memiliki berat jenis rendah, karena itu banyak zat-zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan terkandungnya zat-zat yang tidak dikehendaki kedalamnya.
6. Karena titik cair dan viskositasnya rendah maka daerah yang terkena pemanasan mudah mencair dan jatuh menetes.

2.4 Heat Treatment

Heat treatment merupakan proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro nya melalui proses pemanasan serta pengaturan kecepatan pendinginan tanpa merubah komposisi kimia logam tersebut. Tujuan dari proses *heat treatment* adalah untuk mendapatkan sifat-sifat logam yang dibutuhkan. Perubahan sifat logam akibat proses *heat treatment* dapat mencakup keseluruhan maupun sebagian dari logam tersebut.

Adanya sifat *alotropik* dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari berbagai jenis logam. *Alotropik* itu sendiri merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Pada temperatur dibawah 910°C sel satuannya *Body Center Cubic* (BCC), temperatur antara 910°C dan 1392°C sel satuannya *Face Center Cubic* (FCC), sedangkan temperatur diatas 1392°C sel satuannya kembali menjadi BCC.

Terdapat dua kategori proses *heat treatment*, yaitu :

1. *Softening*

Merupakan usaha untuk menurunkan sifat mekanik suatu logam agar menjadi lunak dengan cara mendinginkan material yang sudah dipanaskan di dalam tungku (*annealing*) atau mendinginkan dalam udara terbuka (*normalizing*).

2. *Hardening*

Merupakan usaha untuk meningkatkan sifat material terutama kekerasan dengan cara celup cepat (*quenching*) material yang telah dipanaskan dicelupkan kedalam suatu media *quenching* berupa air, air garam, maupun oli.

2.4.1 *Hardening*

Hardening merupakan proses perlakuan panas terhadap logam dengan tujuan meningkatkan kekerasan alami logam. Pada proses *hardening* mengharuskan pemanasan logam menuju suhu pengerasan, *holding time* yang memadai pada suhu pengerasan dan pendinginan secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis. Akibat pendinginan secara cepat dari daerah suhu pengerasan, maka dapat dicapai suatu keadaan paksaan bagi struktur logam yang merangsang kekerasan, oleh sebab itu proses pengerasan ini disebut pengerasan kejut. Karena logam menjadi keras melalui perubahan bentuk struktur.

Hardening dilakukan agar mendapatkan sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan serta sifat mekanik lainnya yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam logam tersebut dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan (*temperature autenitising*), *holding*

time dan pendinginan yang dilakukan serta seberapa tebal bagian penampang yang akan menjadi keras tergantung pada *hardenability*.

Kekerasan yang dicapai dengan kecepatan pendinginan kritis (*martensit*) diikuti dengan kerapuhan yang tinggi, oleh karena itu pada umumnya dilakukan pemanasan kembali menuju suhu tertentu dengan pendinginan lambat.

2.4.2 Tampering

Perlakuan untuk menguatkan logam dari kerapuhan disebut dengan *tampering*. *Tampering* merupakan proses pemanasan logam setelah dikeraskan agar mendapatkan sifat yang lebih ulet dan tidak mudah patah. Logam yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tampering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan dan kekuatan tarik akan menurun sedangkan keuletan dan ketangguhan logam akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan logam yang lebih lunak, namun logam akan lebih stabil saat digunakan.

Menurut tujuannya proses *tampering* dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. *Tampering* pada suhu rendah (150° - 300° C) hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan pada logam. Biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.
2. *Tampering* pada suhu menengah (300° - 550° C) pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat. Misalnya palu, pahat, pegas.

3. *Tampering* pada suhu tinggi (550° - 650° C) suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar namun kekerasannya menjadi agak rendah. Pengaplikasiannya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.

2.4.3 Quenching

Proses *quenching* melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan, yang pertama adalah jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua adalah komposisi kimia dan *hardenability* dari logam tersebut. *Hardenability* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*.

2.4.4 Normalizing

Normalizing adalah perlakuan panas logam di sekitar 40° C kemudian ditahan pada temperatur tersebut untuk waktu yang cukup dan dilanjutkan dengan pendinginan pada udara terbuka. Tujuan dari proses *normalizing* sangat bervariasi, *normalizing* dapat meningkatkan atau menurunkan kekuatan dan kekerasan dari logam tergantung pada *heat treatment* sebelum dilakukannya *normalizing*.

2.5 Korosi

Menurut Shaw dan Kelly (2006), korosi didefinisikan sebagai degradasi sifat-sifat bahan selama berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya, dan korosi merupakan hal yang tak terelakkan bagi sebagian besar jenis logam. Artinya hampir semua logam rentan terhadap degradasi. Korosi juga dapat diartikan sebagai penurunan kualitas logam atau paduannya yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan dengan unsur-unsur lain yang terdapat di alam. Sumber lain menyebutkan bahwa korosi adalah proses “hilang termakan secara bertahap” atau rusaknya logam dan

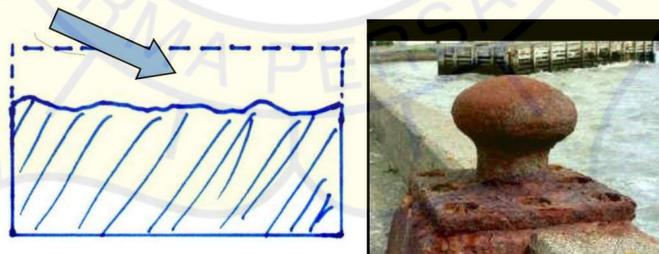
paduannya karena bahan kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi menyebabkan sifat-sifat yang berguna dari suatu logam seperti kelenturan, daktilitas dan konduktivitas listrik bisa hilang. Contoh korosi yang paling sering ditemukan adalah besi berkarat bila terkena kondisi atmosfer.

2.5.1 Klasifikasi Korosi

Klasifikasi korosi umumnya didasarkan pada penampilan (*appearance*) yang dapat dilihat atau diamati dari permukaan yang berkarat secara visual. Berdasarkan bentuk kerusakan permukaan yang ditimbulkannya, korosi dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Korosi merata

Korosi merata atau dikenal juga dengan korosi *uniform* merupakan tipe korosi paling umum dan merupakan bentuk kerusakan korosi paling besar dalam skala berat. Korosi *uniform* menunjukkan rusaknya seluruh atau sebagian lapisan pelindung logam sehingga ketebalan logam secara merata akan berkurang/aus.

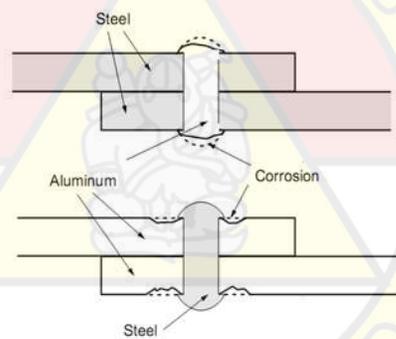


Gambar 2.6 Korosi merata (Agung Suprihatin, 2016).

2. Korosi galvanik

Korosi galvanik atau dikenal juga dengan istilah korosi bimetalik terjadi akibat perbedaan potensial yang timbul bila dua logam yang berbeda saling

berhubungan karena berada dalam cairan elektrolit yang sama. Korosi galvanik terjadi karena proses elektro kimiawi antara dua macam logam yang berbeda potensial dihubungkan langsung di dalam elektrolit yang sama. Pada kondisi ini elektron mengalir dari logam kurang mulia (disebut anodik) menuju logam yang lebih mulia (disebut katodik), akibatnya logam yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif logam akan bereaksi dengan ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam logam. Karena peristiwa tersebut, permukaan anoda kehilangan logamnya sehingga terbentuklah sumur - sumur karat (*surface attack*) atau serangan karat permukaan.

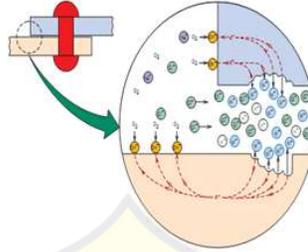


Gambar 2.7 korosi galvanik (Agung Suprihatin, 2016).

3. Korosi celah

Korosi celah merupakan korosi lokal pada tempat/bagian yang tertutup karena deposit atau terkena agen krosif. Korosi celah dikenal juga dengan istilah korosi kontak karena terjadi pada wilayah kontak antara logam dengan logam maupun logam dengan bahan lain. Logam dan material sering menimbulkan korosi celah. Aluminium juga mempunyai kecenderungan mengalami korosi

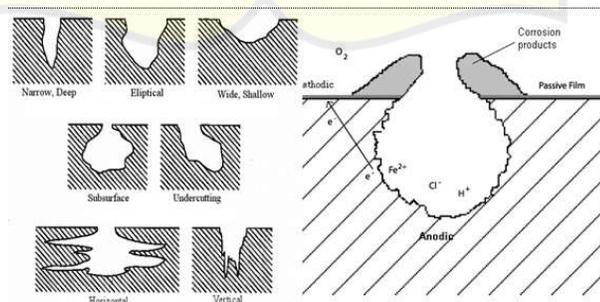
celah karena pengaruh air laut yang disebabkan oksida film yang terbentuk mudah rusak karena klorida.



Gambar 2.8 Korosi celah (Agung Suprihatin, 2016).

4. Korosi sumuran

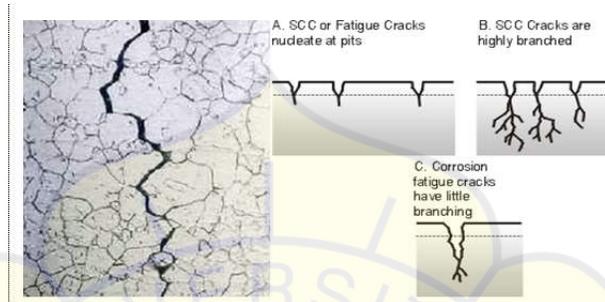
Korosi sumuran adalah korosi lokal yang terjadi pada cacat mikroskopis pada permukaan logam. Lubang-lubang yang sering ditemukan di bawah deposit permukaan yang disebabkan oleh akumulasi produk korosi. Pada daerah cacat ini akan lebih anodik dibandingkan permukaan material sehingga korosi akan menuju bagian dalam material. Korosi sumuran dikenal juga dengan korosi lubang karena merupakan korosi lokal berbentuk lubang-lubang kecil (*pit*) dengan kedalaman sebesar diameternya dan saling berdekatan. Bentuk ini sering tertutup oleh produk korosi. Bila dihitung dalam persentase kehilangan beratnya sangat kecil, tetapi akibat dari kerusakan ini cukup besar.



Gambar 2.9 Korosi sumuran (Agung Suprihatin, 2016).

5. Korosi regangan

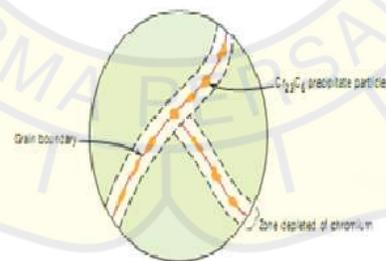
Korosi tegangan atau regangan adalah korosi yang di sebabkan adanya tegangan tarik yang mengakibatkan terjadinya retak. Tegangan ini di sebabkan pada temperature dan deformasi yang berbeda.



Gambar 2.10 Korosi regangan (Agung Suprihatin, 2016).

6. Korosi batas butir (*intergranular*)

Korosi *intergranular* terjadi bila daerah batas butir terserang akibat adanya endapan di dalamnya. Batas butir sering menjadi tempat proses pengendapan dan pemisahan yang teramati pada banyak paduan beberapa jenis logam.



Gambar 2.11 Korosi batas butir (Agung Suprihatin, 2016).

2.6 Pengujian Korosi

Pada dasarnya pengujian korosi dapat dilakukan secara simulatif di dalam laboratorium ataupun secara langsung di lapangan. Uji korosi di laboratorium biasanya dilakukan terhadap benda uji yang berupa potongan sampel yang diambil dari logam atau paduan yang akan dipakai seutuhnya.

Pada pengujian korosi yang dihitung adalah laju korosi, laju korosi merupakan kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah *millimetres/year* (mm/y, standar internasional) atau *mill/year* (mpy, standar british) (Trethewey, 1991). Laju korosi dapat dihitung dengan metode kehilangan berat atau *weight gain loss* (WGL). Dengan menghitung masa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu dilakukan pada suatu lingkungan yang korosif seperti pada air asam selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan perhitungan massa kembali dari suatu logam setelah dibersihkan dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir.

Dengan mengambil beberapa data seperti luas permukaan yang terendam, waktu perendaman dan massa jenis logam yang di uji maka dihasilkan suatu laju korosi. Persamaan laju korosi dapat ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$CR = \frac{K \cdot W}{A \cdot T \cdot D} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

CR = Laju korosi (mm/y)

T = Waktu ($hours$)

W = Kehilangan berat ($gram$)

K = Konstanta

D = Berat jenis (g/cm^3)

A = Luas specimen (cm^2)

Tabel 2. 1 Konstanta perhitungan laju korosi berdasarkan satuannya (ASTM G1 – *Assessment of Corrosion Damage*, 2017)

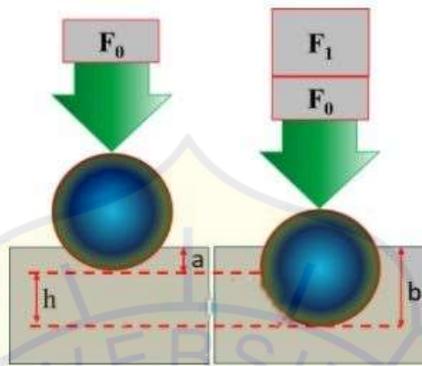
<i>Corrosion Rate Units Desired</i>	<i>Constant (K) in Corrosion Rate Equation</i>
<i>Mills per year (mpy)</i>	$3,45 \times 10^6$
<i>Inches per year (ipy)</i>	$3,45 \times 10^3$
<i>Inches per mont (ipm)</i>	$2,87 \times 10^2$
<i>Millimetres per year (mm/y)</i>	$8,76 \times 10^4$
<i>Micrometres per year (um/y)</i>	$8,76 \times 10^7$
<i>Picometres per second (pm/s)</i>	$2,78 \times 10^6$
<i>Grams per square meter per hour (g/m²h)</i>	$1,00 \times 10^4 \times D$
<i>Milligrams per square decimeter per day (mdd)</i>	$2,40 \times 10^6 \times D$
<i>Micrograms per square meter per second (μg/m²s)</i>	$2,78 \times 10^6 \times D$

2.7 Pengujian Kekerasan

Hardness *rockwell test* merupakan pengujian kekerasan yang dilakukan dengan cara menekan permukaan benda uji dengan suatu indentor sebanyak dua kali penekanan.

Penekanan pertama menggunakan beban 10 kg.f yang disebut sebagai beban minor, kemudian ditambah dengan beban kedua yang merupakan beban utama atau beban mayor yang digunakan adalah 50 kg.f, 90 kg.f atau 140 kg.f tergantung pada jenis indentor dan material benda uji atau skala uji *rockwell* nya. Beban utama kemudian dilepas, sedangkan beban minor tetap terpasang. Sehingga beban pada benda uji kembali pada beban minor.

Selisih jejak kedalaman penetrasi yang ditimbulkan oleh beban mayor dan beban minor merupakan nilai yang digunakan untuk menghitung kekerasan *rockwell*.



Gambar 2.12 Skema pengujian kekerasan.

2.8 Pengujian Tarik

Pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan.

Berikut adalah sifat-sifat yang dihasilkan oleh pengujian tarik :

1. Kekuatan tarik maksimum (σ)

Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perputahan (*fracture*). Pada bahan yang bersifat getas, dimana tegangan maksimum itu merupakan sekaligus tegangan perputahan (titik putus). Dirumuskan :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

σ = Kekuatan tarik maksimum (*MPa, N/mm²*)

P = Beban maksimum (*N*)

A_0 = Luas penampang (*mm²*)

2. Regangan maksimum (e)

Diukur sebagai penambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang awalnya. Dirumuskan :

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

$$e = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Keterangan :

e = Regangan (%)

L_1 = Panjang awal (mm)

L_0 = Panjang sesudah patah (mm)

3. Modulus elastisitas (E)

Merupakan ukuran kekakuan suatu material pada grafik tegangan-regangan, modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastic yang linier. Dirumuskan :

$$E = \frac{\sigma}{e} \dots \dots \dots (2.8)$$

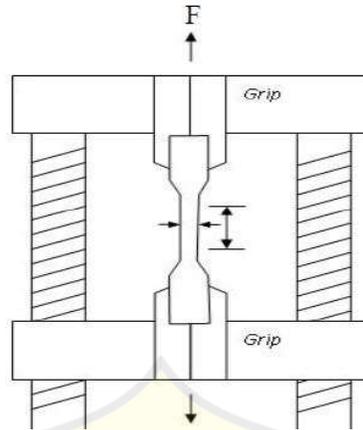
Keterangan :

E = Modulus elastisitas ($GPa, KN/mm^2$)

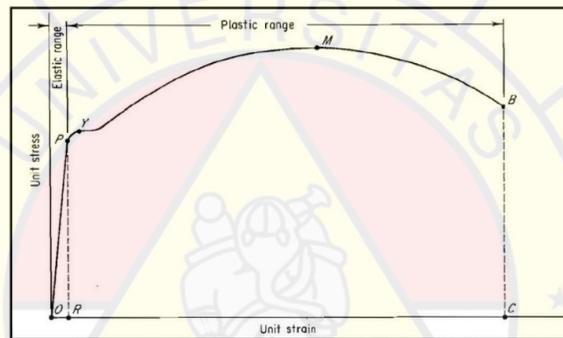
σ = Kekuatan tarik maksimum ($MPa, N/mm^2$)

e = Regangan (%)

Pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa fenomena perpatahan ulet dan getas, perpatahan getas memiliki ciri-ciri yang berbeda dengan patah ulet yaitu tidak ada atau sedikit sekali terjadi deformasi plastis pada material. Patahannya merambat sepanjang bidang.



Gambar 2.13 Skema pengujian tarik (Mikell P. Groover, 2011).



Gambar 2.14 Curva tegangan-regangan (William D. Callister, 2006).

Berdasarkan dari gambar diatas maka dapat diketahui bahwa :

1. Modulus elastisitas

Daerah terjadinya deformasi elastis, yang dimulai dari titik nol sampai dengan batas (P) proporsional.

2. Deformasi plastis

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke pada keadaan semula ketika material diberikan gaya. Pada gambar diatas, material ditarik hingga melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.

3. Tegangan luluh

Merupakan tegangan maksimum sebelum bahan mencapai fase plastis, atau perubahan deformasi elastis ke plastis.

4. Regangan

Merupakan perpanjangan atau penambahan dimensi material dari sebelum diberikan gaya hingga patah.

5. Kekuatan tarik maksimum

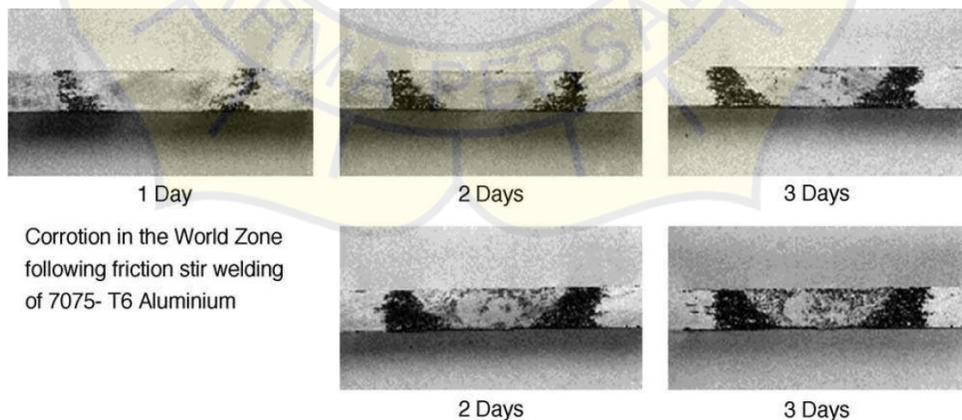
Yaitu merupakan tegangan tertinggi yang dapat dicapai oleh suatu material.

6. Patah

Titik terjadinya patah pada material.

2.9 Struktur Mikro

Struktur mikro merupakan struktur yang dapat diamati dibawah mikroskop optik. Meskipun dapat pula diartikan sebagai hasil dari pengamatan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Mikroskop optik dapat memperbesar struktur hingga 1500 kali.



Gambar 2.15 Struktur mikro laju korosi Al-7075 (Mishra & Zoying Ma, 2005).

Pada proses *friction stir welding* menghasilkan pembangkitan berbagai zona mikro struktur, terutama pada daerah pengelasan seperti *weld nugget*, TMAZ dan HAZ. Daerah tersebut menunjukkan perubahan karakteristik struktur mikro yang berbeda seperti ukuran butir dan kerapatan diskolasi, tegangan sisa, tekstur, serta ukuran dan distribusi endapan. Oleh karena itu, berbagai daerah pengelasan akan menunjukkan kerentanan korosi. Untuk aplikasi praktis, sangat penting untuk memahami perilaku korosi pada hasil pengelasan *friction stir welding*. (Rajiv S. Mishra dan Zoying Ma, 2005).

