

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Menurut *Deutsche Industry Normen* (DIN), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang terjadi dalam keadaan lumer atau cair, dengan kata lain pengelasan adalah penyambungan setempat dari dua logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu (Wiryosumarto, 1996).

1. Jenis-Jenis Pengelasan

Pengelasan dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu:

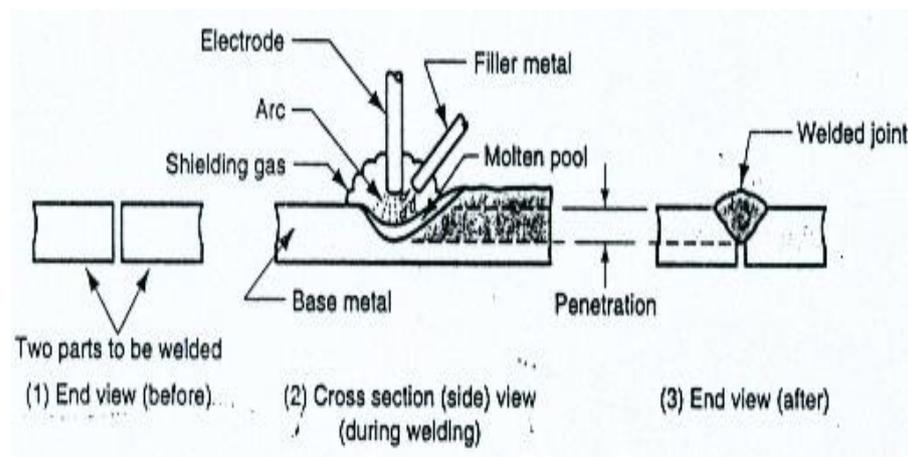
a. Pengelasan Lebur (*fusion welding*)

Proses pengelasan lebur menggunakan panas untuk mencairkan logam induk, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain

tanpa logam pengisi. Pengelasan lebur dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1) Pengelasan busur listrik (*arc welding, AW*)

Las busur listrik adalah cara pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam. Klasifikasi las busur listrik yang digunakan hingga saat ini dalam proses pengelasan adalah las elektroda terbungkus (Harsono Wiryosumarto & Thosie Okumura, 2000).



Gambar 1. Pengelasan busur listrik

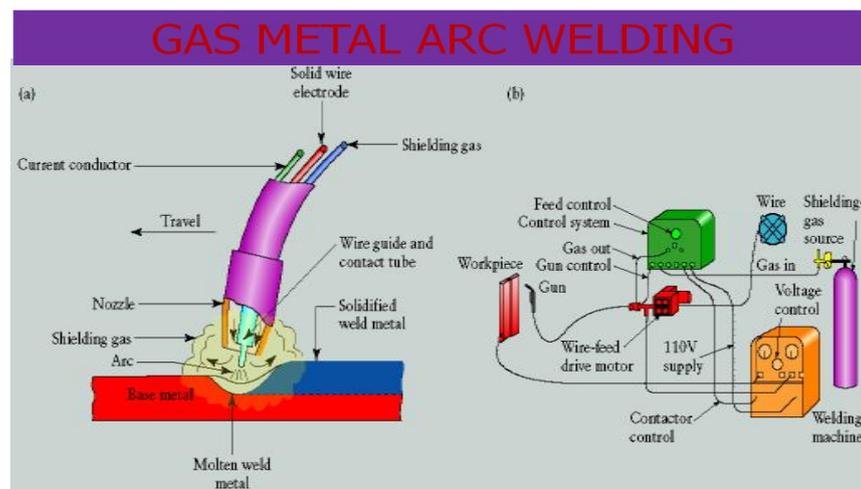
2) Las Busur Tungsten Gas Mulia (*Gas Tungsten Arc Welding*)

Proses pengelasan di mana sumber panas berasal dari loncatan busur listrik antara elektroda terbuat dari *wolfram/tungsten* dan logam yang dilas. Pada pengelasan ini logam induk (logam asal yang akan disambung dengan metode pengelasan biasanya disebut dengan istilah logam induk) tidak ikut terumpan (*non consumable electrode*). Untuk melindungi elektroda dan daerah las digunakan gas mulia (*argon* atau *helium*). Sumber arus yang digunakan bisa AC

(arus bolak-balik) maupun DC (arus searah) (Harsono Wiryosumarto & Thosie Okumura, 2000).

3) Las Busur Logam Gas (*Gas Metal Arc Welding*)

Proses pengelasan di mana sumber panas berasal dari busur listrik antara elektroda yang sekaligus berfungsi sebagai logam yang terumpan (*filler*) dan logam yang dilas. Las ini disebut juga metal inert gas (MIG) welding karena menggunakan gas mulia seperti argon dan helium sebagai pelindung busur dan logam cair (Hadi Eko, 2011).



Gambar 2. Proses Pengelasan GMAW

4) Las Busur Electroda Terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding*)

Proses pengelasan di mana panas dihasilkan dari busur listrik antara ujung elektroda dengan logam yang dilas. Elektroda terdiri dari kawat logam sebagai penghantar arus listrik ke busur dan sekaligus sebagai bahan pengisi (*filler*). Kawat ini dibungkus dengan bahan *fluks*. Biasanya dipakai arus listrik yang tinggi (10-500 A) dan

potensial yang rendah (10-50 V). Selama pengelasan, *fluks* mencair dan membentuk terak (*slag*) yang berfungsi sebagai lapisan pelindung logam las terhadap udara sekitarnya. *Fluks* juga menghasilkan gas yang bisa melindungi butiran-butiran logam cair yang berasal dari ujung elektroda yang mencair dan jatuh ke tempat sambungan (Harsono Wiryosumarto & Thosie Okumura, 2000).

5) Las Busur Terpendam (*Submerged Arc Welding/SAW*)

Prinsip dasar pengelasan ini adalah menggunakan arus listrik untuk menghasilkan busur (*Arc*) sehingga dapat melelehkan kawat pengisi lasan (*filler wire*), dalam pengelasan SAW ini cairan logam lasan terendam dalam *fluks* yang melindunginya dari kontaminasi udara, yang kemudian *fluks* tersebut akan membentuk terak las (*slag*) yang cukup kuat untuk melindungi logam lasan hingga membeku.

b. Pengelasan Padat

Dalam pengelasan padat proses penyambungan logam dihasilkan dengan tekanan tanpa memberikan panas dari luar, atau tekanan dan memberikan panas dari luar. Bila digunakan panas, maka temperatur dalam proses di bawah titik lebur logam yang dilas, sehingga logam tersebut tidak mengalami peleburan dan tetap dalam keadaan padat.

1) Las Ultrasonik (*Ultrasonic Welding / UW*)

Las ultrasonik adalah proses penyambungan padat untuk logam-logam yang sejenis, maupun logam-logam berlainan jenis, dimana secara umum bentuk sambungannya adalah sambungan tindih.

Energi getaran berfrekwensi tinggi mengenai daerah lasan dengan arah paralel dengan permukaan sambungan. Tegangan geser osilasi pada permukaan lasan yang terjadi akibat pengaplikasian gaya akan merusak dan merobek lapisan oksida yang ada di kedua permukaan logam induk yang akan dilas.

2) Las Tempa

Penyambungan logam dengan cara ini dilakukan dengan memanasi ujung logam yang akan disambung kemudian ditempa, maka terjadilah sambungan. Panas yang dibutuhkan sedikit di atas suhu rekristalisasi logam, sehingga logam masih dalam keadaan padat.

3) Pengelasan Gesek (*Friction Stir Welding*)

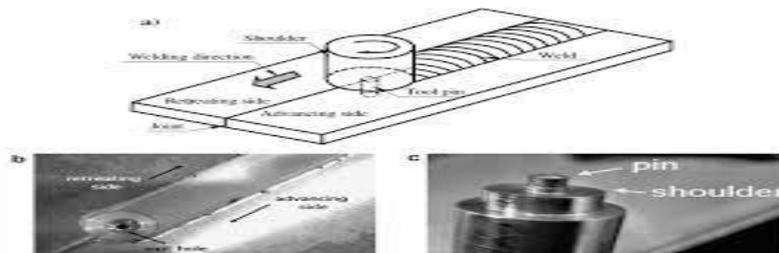
Friction Stir Welding merupakan proses penyambungan logam dengan memanfaatkan energi panas yang diakibatkan oleh gesekan antara dua material. Bila dibandingkan dengan proses penyambungan diatas *friction Stir welding* kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihanannya adalah sebagai berikut:

- a. Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction Stir welding* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi kebagian luar.
- b. Tidak memerlukan logam pengisi, pelindung flux dan gas pelindung selama proses
- c. Tidak terdapat cacat akibat penomena pencairan dan pembekuan.

- d. Dimungkinkan untuk menyambung dua material logam yang berbeda.
- e. Ongkos pengerjaan lebih ringan.

Adapun kekurangan pengelasan *friction Stir welding* yaitu;

- a. Benda yang disambung harus simetris
- b. Proses umumnya terbatas pada permukaan plat dan bentuk batang bulat.
- c. Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu dideformasi secara plastis (Messler, 1999).



Gambar 3. Pengelasan Gesek (*Friction Stir Welding*)

B. Friction Stir Welding

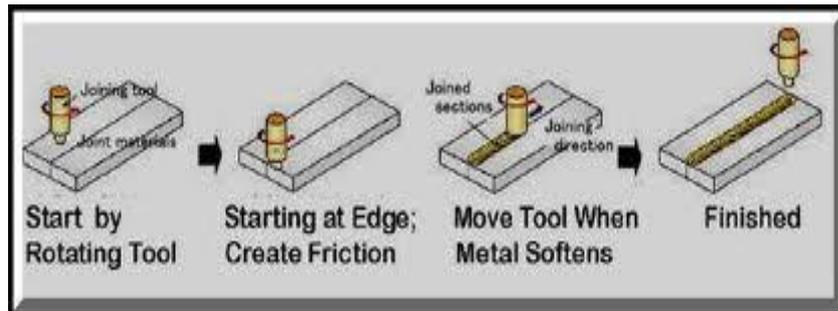
FSW (*friction stir welding*) adalah sebuah metode pengelasan yang termasuk pengelasan gesek, yang pada prosesnya tidak memerlukan bahan penambah atau pengisi. Panas yang digunakan untuk mencairkan logam kerja dihasilkan dari gesekan antara benda yang berputar (*pin*) dengan benda yang diam (benda kerja). *Pin* berputar dengan kecepatan konstan disentuhkan ke material kerja yang telah dicekam. Gesekan antara kedua benda tersebut menimbulkan panas sampai ± 80 % dari titik cair material kerja dan selanjutnya *pin* ditekan dan ditarik searah daerah yang akan dilas. Putaran

dari *pin* bisa searah jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam. *Pin* yang digunakan pada pengelasan *friction stir welding* harus mempunyai titik cair dan kekerasan yang lebih dibandingkan dengan material kerja, sehingga hasil pengelasan baik (Angger Sudrajat F. P, 2012).

Pengelasan dengan menggunakan metode FSW bisa digunakan untuk menyambungkan material yang sama (*similar metal*) ataupun material yang tidak sama (*dissimilar metal*) seperti baja dengan baja tahan karat, aluminium dengan kuningan dan memungkinkan untuk mengelas kombinasi material lain yang tidak dapat dilas dengan menggunakan metode pengelasan yang lain. Parameter pengelasan yang dilakukan harus disesuaikan sedemikian rupa, sehingga pengurangan volume dari *pin* ketika terjadi gesekan dengan material kerja bisa diperkecil. Hal ini bertujuan untuk menjaga masukan panas yang konstan sepanjang pengelasan (Angger Sudrajat F. P, 2012).

Prinsip *friction stir welding* yang ditunjukkan pada Gambar 3, dengan gesekan dua benda yang terus-menerus akan menghasilkan panas, ini menjadi suatu prinsip dasar terciptanya suatu proses pengelasan gesek. Pada proses *friction stir welding*, sebuah *tool* yang berputar ditekan pada material yang akan disatukan. Gesekan *tool* yang berbentuk silindris (*cylindrical shoulder*) yang dilengkapi *pin/probe* dengan material mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakkan bagian tersebut. *Tool* bergerak pada kecepatan tetap dan bergerak melintang pada jalur pengelasan (*joint line*) dari material yang akan disatukan. Parameter pengelasan yang dilakukan

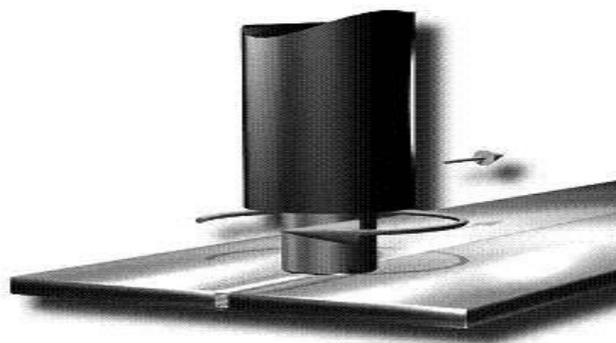
harus disesuaikan sedemikian rupa, sehingga pengurangan volume dari *pin* ketika terjadi gesekan dengan material kerja bias diperkecil. Hal ini bertujuan untuk menjaga masukan panas yang konstan sepanjang pengelasan. Hal - hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengelasan ini akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini (Angger Sudrajat F. P, 2012).



Gambar 4. Prinsip *friction stir welding*

1. Rotasi Tool dan Kecepatan Melintang

Ada dua kecepatan alat yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu seberapa cepat *tool* itu berputar dan seberapa cepat *tool* itu melintasi jalur pengelasan (*joint line*). Gerakan *tool* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Gerakan *Tool*

Kedua parameter ini harus ditentukan secara cermat untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang memuaskan. Hubungan antara kecepatan pengelasan dan *input* panas selama proses pengelasan

sangat kompleks, tetapi umumnya dapat dikatakan bahwa meningkatnya kecepatan rotasi dan berkurangnya kecepatan melintas akan mengakibatkan titik las lebih panas. Jika material tidak cukup panas maka arus pelunakan tidak akan optimal sehingga dimungkinkan akan terjadi cacat rongga atau cacat lain pada *stir zone*, dan kemungkinan *tool* akan rusak. Tetapi input panas yang terlalu tinggi akan merugikan sifat akhir lasan karena perubahan karakteristik logam dasar material. Oleh sebab itu dalam menentukan benar-benar cermat, input panas harus cukup tinggi terlalu tinggi untuk menjamin plastisitas material serta untuk mencegah timbulnya sifat-sifat las yang merugikan (Angger Sudrajat F. P, 2012).

2. Tekanan *Tool* dan *Plunge depth*

Plunge depth didefinisikan sebagai kedalaman titik terendah *probe* di bawah permukaan material yang dilas dan telah diketahui sebagai parameter kritis yang menjamin kualitas lasan. *Plunge depth* perlu diatur dengan baik untuk menjamin tekanan ke bawah tercapai, dan memastikan *tool* penuh menembus lasan. *Plunge depth* yang dangkal dapat mengakibatkan cacat dalam lasan, sebaliknya *plunge depth* yang berlebihan bisa mengakibatkan kerusakan pin karena berinteraksi dengan alasnya. Tekanan *shoulder* diharapkan untuk menjaga material lunak tidak keluar jalur dan memberi efek tempa (*forging*). Material panas ditekan dari atas oleh *shoulder* dan di tahan oleh alas dari bawah. Proses ini bertujuan untuk mamadatkan material sehingga penguatan sambungan terjadi akibat efek tempa tersebut. Selain itu tekanan *shoulder* juga menghasilkan *input*

panas tambahan karena permukaannya yang lebih besar bergesekan dengan material (Angger Sudrajat F. P, 2012).

3. Rancangan *Tool*

Rancangan *tool* adalah faktor yang sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan, karena rancangan *tool* yang tepat dapat meningkatkan kualitas las dan kecepatan las semaksimal mungkin. Panas yang dihasilkan dari gesekan *tool* dan material yang akan dilas sekitar 70-80% dari temperatur titik lebur material yang akan dilas tersebut. Material *tool* harus memiliki titik cair yang lebih tinggi dari material las, agar ketika proses pengelasan berlangsung material *tool* tidak ikut tercampur dengan lasan. Material *tool* harus mempunyai kekuatan yang cukup pada temperatur ini karena jika tidak maka *tool* dapat terpuntir dan retak. Oleh sebab itu diharapkan material *tool* cukup kuat, keras dan liat, pada suhu pengelasan. Sebaiknya material yang digunakan juga mempunyai ketahanan oksida yang baik dan penghantar panas rendah untuk mengurangi kerugian panas dan kerusakan termal pada mesin. Bahan perkakas las yang digunakan tergantung kepada logam yang akan disambung. Perkakas las berbahan seperti baja kecepatan tinggi (HSS), baja perkakas H13, dan D3 digunakan untuk menyambung logam aluminium, magnesium dan cooper. Sedangkan paduan tungsten seperti tungsten karbida (WC), tungsten rehenium (W-25%Re) dan polycrystal cubic boron nitrate (PCBN) digunakan untuk menyambung logam yang lebih keras seperti baja, nikel dan titanium.

Desain *tool* terdiri dari *shoulder* dan *pin*. *Pin* berfungsi untuk menghasilkan panas dan menggerakkan material yang sedang dilas.

Shoulder memiliki beberapa fungsi antara lain:

- a. Sebagai pelindung dari kemungkinan masuknya suatu material berbeda.
- b. *Shoulder* yang berdiameter lebih besar, berperan untuk mempertahankan dan menjaga agar material *plasticised* tidak keluar dari daerah las.
- c. *Shoulder* memberi tekanan ke bawah yang memberi efek tempa pada lasan.
- d. *Shoulder* juga menyediakan *input* panas tambahan, karena luas permukaan yang bergesekan dengan material las lebih besar maka panas yang dihasilkan juga lebih besar. (Angger Sudrajat F. P, 2012)

C. Aluminium

Aluminium adalah golongan dari jenis logam *Non-Ferrous* yang memiliki kelebihan tertentu dibandingkan logam lainnya yang dipergunakan dalam dunia industri, aluminium merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat baik lainnya sebagai sifat logam, selain itu aluminium juga mempunyai sifat mampu bentuk (*Wrought alloy*) dimana paduan aluminium ini dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas (dengan peleburan). Karena sifat-sifat inilah maka banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya, diantaranya dengan menambahkan unsur-unsur seperti: Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, baik dicampur secara satu persatu maupun

secara bersama-sama, bahan-bahan tersebut juga memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan dalam bidang yang sangat luas, bukan saja untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan sebagainya (Devis, 1993).

1. Klasifikasi Aluminium

Aluminium diklasifikasikan dalam beberapa jenis golongan tergantung dari proses pencetakannya dan penggunaannya, karena aluminium jenis logam yang memiliki sifat mampu bentuk yang baik, logam aluminium mampu mengganti logam lain seperti baja, tembaga, dan lainnya. Penggunaannya secara volumetrik telah melampaui konsumsi tembaga, timah, timbal, seng secara bersama-sama.

Aluminium merupakan bahan baku yang mudah diperoleh, mempunyai produksi yang unggul, sifat mekanik dan sifat fisik yang menguntungkan dan harga relatif murah. Aluminium merupakan logam ringan karena mempunyai berat jenis yang ringan. Selain itu dalam paduan aluminium juga ditambahkan beberapa paduan yang lain sesuai dengan penggunaan aluminium tersebut, sebagai penambah kekuatan mekaniknya yang sangat mengikat yaitu Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan lainnya. Dalam meningkatkan sifat mekanik aluminium terutama kekuatan tariknya dilakukan perpaduan dengan unsur Tembaga (Cu), Besi (Fe), Magnesium (Mg), Seng (Zn), Silikon (Si) sesuai dengan *Aluminium Assosiation* paduan Al terdiri dari

produk tempa (*wrought*) dan cor (*cast*), Klasifikasi produk tempa (*Wrought*) berdasarkan standar internasional (Devis, 1993).

2. Sifat-sifat Aluminium

Sifat teknik bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut. Aluminium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida di permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium. Adapun sifat-sifat mekanik dari aluminium adalah sebagai berikut:

a. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah besar tegangan yang didapatkan ketika dilakukan pengujian tarik. Kekuatan tarik ditunjukkan oleh nilai tertinggi dari tegangan pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian, dan biasanya terjadi ketika terjadinya necking. Kekuatan tarik bukanlah ukuran kekuatan yang sebenarnya dapat terjadi di lapangan, namun dapat dijadikan sebagai suatu acuan terhadap kekuatan bahan.

Kekuatan tarik pada aluminium murni pada berbagai perlakuan umumnya sangat rendah, yaitu sekitar 90 MPa, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium

perlu dipadukan. Dengan dipadukan dengan logam lain, ditambah dengan berbagai perlakuan termal, aluminium paduan akan memiliki kekuatan tarik hingga 220 Mpa (I Dewa M.K.U, 2009).

b. Kekerasan

Kekerasan gabungan dari berbagai sifat yang terdapat dalam suatu bahan yang mencegah terjadinya suatu deformasi terhadap bahan tersebut. Ketika diaplikasikan suatu gaya. Kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh elastisitas, plastisitas, viskoelastisitas, kekuatan tarik, ductility, dan sebagainya. Kekerasan dapat diuji dan diukur dengan berbagai metode. Yang paling umum adalah metode Brinell, Vickers, Mohs, dan Rockwell. Kekerasan bahan aluminium murni sangatlah kecil, yaitu sekitar 20 skala Brinell, sehingga dengan sedikit gaya saja dapat mengubah bentuk logam. Untuk kebutuhan aplikasi yang membutuhkan kekerasan, aluminium perlu dipadukan dengan logam lain dan/atau diberi perlakuan termal atau fisik. Aluminium dengan 4,4% Cu dan diperlakukan quenching, lalu disimpan pada temperatur tinggi dapat memiliki tingkat kekerasan Brinell sebesar 160 (I Dewa M.K.U, 2009).

c. *Ductility* (kelenturan)

Ductility didefinisikan sebagai sifat mekanis dari suatu bahan untuk menerangkan seberapa jauh bahan dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadinya retakan. Dalam suatu pengujian tarik, *ductility* ditunjukkan dengan bentuk neckingnya material dengan *ductility* yang tinggi akan mengalami necking yang sangat sempit, sedangkan bahan

yang memiliki *ductility* rendah, hampir tidak mengalami necking. Sedangkan dalam hasil pengujian tarik, *ductility* diukur dengan skala yang disebut elongasi. Elongasi adalah seberapa besar pertambahan panjang suatu bahan ketika dilakukan uji kekuatan tarik (I Dewa M.K.U, 2009).

d. *Recyclability* (daya untuk didaur ulang)

Aluminium adalah 100% bahan yang dapat didaur ulang tanpa penurunan dari kualitas awalnya, peleburannya memerlukan sedikit energi, hanya sekitar 5% dari energi yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang pada awalnya diperlukan dalam proses daur ulang (I Dewa M.K.U, 2009).

3. Jenis – jenis Aluminium

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi dan alat-alat penyimpanan. Kemajuan akhir-akhir ini dalam teknik pengelasan busur listrik dengan gas mulia menyebabkan pengelasan aluminium dan paduannya menjadi sederhana dan dapat dipercaya. Karena hal ini maka penggunaan aluminium dan paduannya di dalam banyak bidang telah berkembang. Berdasarkan unsur-unsur paduan yang dikandungnya, aluminium dibagi menjadi 7 (tujuh) jenis, yaitu:

1) Jenis Al-murni teknik (seri 1000)

Yaitu aluminium dengan kemurnian antara 99,0% - 99,9%. Aluminium dalam seri ini disamping sifatnya yang baik dalam tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik juga memiliki sifat yang memuaskan dalam mampu las dan mampu potong (I Dewa M.K.U, 2009).

2) Jenis paduan Al-Cu (Seri 2000)

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila dibanding dengan jenis paduan yang lainnya. Sifat mampu-lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keling banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang seperti duralumin (2017) clansuper duralumin (2024) (I Dewa M.K.U, 2009).

3) Jenis Paduan Al-Mn (seri 3000)

Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan sehingga kenaikan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Bila dibandingkan dengan jenis Al-murni paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya (I Dewa M.K.U, 2009).

4). Jenis Paduan Al-Si (Seri 4000)

Paduan Al-Si sangat baik kecairannya dan cocok untuk paduan coran. Paduan ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang rendah dan sebagai pengantar panas dan listrik yang baik. Material ini biasa dipakai untuk torak motor dan sebagai filler

las (setelah dilakukan beberapa perbaikan komposisi) (I Dewa M.K.U, 2009).

5) Paduan jenis Al-Mg (Seri 5000)

Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu lasnya (I Dewa M.K.U, 2009).

6) Paduan jenis Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-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 (I Dewa M.K.U, 2009).

7) Paduan jenis Al-Zn (seri 7000)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm^2 , sehingga paduan ini dinamakan juga *ultraduralumin*. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan (I Dewa M.K.U, 2009).

4. Alumunium 5083

Alumunium terdiri dari beberapa kelompok yang dibedakan berdasarkan paduan penyusunnya. Penambahan paduan ini akan menghasilkan sifat yang berbeda pula. Alumunium 5083 merupakan paduan aluminium dengan magnesium (Mg), paduan ini memiliki sifat dapat diperlakukan-

panas, tetapi memiliki sifat baik dalam daya tahan korosi terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu las Al-Mg banyak dipakai untuk konstruksi umum termasuk konstruksi kapal (I Dewa M.K.U, 2009).

Tabel 1. Spesifikasi Alumunium 5083

Element	present (%)
Si	max 0.4
Fe	max 0.4
Cu	max 0.1
Mn	0.4 - 1.0
Mg	4.0 - 4.9
Cr	0.05 - 0.25
Zn	max 0.25
Ti	max 0.15
Al	remainder

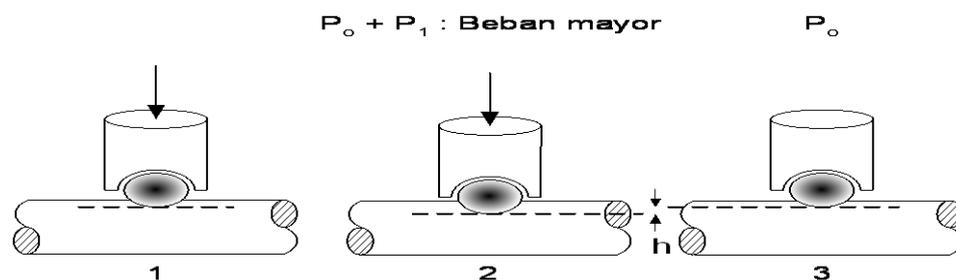
(<http://asm.matweb.com>, 2015)

D. Kekerasan Rockwell

Pengujian rockwell angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian brinell, indenter dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Banyak digunakan di industri karena prosedurnya lebih cepat (Kristianto S.N, 2010).

Uji kekerasan ini banyak digunakan di Amerika Serikat, hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu : cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras, dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap, dapat diuji kekerasannya tanpa

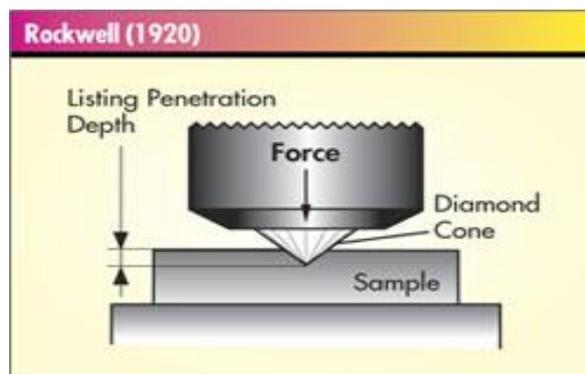
menimbulkan kerusakan. Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasannya. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan dan juga memperkecil kecenderungan untuk terjadi penumbukan keatas atau penurunan yang disebabkan oleh penumbuk. Kemudian diterapkan beban yang besar, dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam pula gage penunjuk yang menyatakan angka kekerasan. Penunjuk tersebut terdiri atas 100 bagian, masing-masing bagian menyatakan penembusan sedalam 0,00008 inci. Petunjuk kebalikan sedemikian hingga kekerasan yang tinggi yang berkaitan dengan penembusan yang kecil, menghasilkan penunjukkan angka kekerasan yang tinggi. Hal ini sesuai dengan angka kekerasan lain yang telah dijelaskan sebelumnya. Tetapi tidak seperti penentuan kekerasan cara Vickers dan Brinell, yang mempunyai satuan kg per milimeter kuadrat (kg/mm^2), angka kekerasan Rockwell semata-mata tergantung pada kita (Kristianto S.N, 2010).



Gambar 6. Cara kerja mesin penguji kekerasan Rockwell.

Suatu kombinasi antara beban dan penumbuk, tidak akan memberikan hasil yang memuaskan, untuk bahan-bahan yang mempunyai daerah kekerasan yang luas. Biasanya digunakan penumbuk berupa kerucut intan

120° dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan penumbuk *Brale*, serta bola baja berdiameter $\frac{1}{16}$ inci dan $\frac{1}{8}$ inci. Beban besar yang digunakan adalah 60, 100, dan 150 kg. Karena kekerasan Rockwell tidak tergantung pada beban dan penumbuk, maka diperlukan mengenai kombinasi yang digunakan. Hal ini dilakukan dengan cara memberikan awalan huruf pada angka kekerasan yang menunjukkan kombinasi beban dan penumbuk tertentu untuk skala beban yang digunakan. Suatu kekerasan Vickers yang tidak mempunyai awalan huruf, tidak mempunyai arti (Kristianto S.N, 2010).



Gambar 7. Media Pengujian Rockwell.

Baja yang diperkeras yang diuji pada skala C dengan menggunakan penumbuk intan dan beban besar 100 kg. Daerah dari skala tersebut adalah dari R_B 0 hingga R_B 100. skala A (penumbuk intan, beban besar 60 kg) merupakan skala kekerasan Rockwell yang paling luas, yang dapat digunakan untuk bahan-bahan mulai dari tembaga yang dilunakkan hingga kabrida sementara (*cemented cabride*). Terdapat skala yang dapat digunakan untuk keperluan-keperluan khusus. Angka kekerasan Rockwell

B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi dapat ditulis sebagai berikut :

$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002} \dots\dots\dots (1)$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002} \dots\dots\dots (2)$$

Skala yang umum dipakai dalam pengujian Rockwell adalah:

- a. HRa (Untuk material yang sangat keras).
- b. HRb (Untuk material yang lunak). Identor berupa bola baja dengan diameter $\frac{1}{6}$ Inchi dan beban uji 100 Kgf.
- c. HRc (Untuk material dengan kekerasan sedang). Identor berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

Tabel 2. Skala kekerasan Rockwell dan Huruf Depan.

Skala dan Huruf Depan	Indentor	Beban Mayor	Skala yang Dibaca
	<u>Group I</u>		
B	Bola 1/16"	100	Merah
C	Kerucut Intan	150	Hitam
	<u>Group II</u>		
A	Kerucut Intan	60	Hitam
D	Kerucut Intan	60	Hitam
E	Bola 1/8"	100	Merah
F	Bola 1/16"	60	Merah
G	Bola 1/16"	150	Merah
H	Bola 1/8"	60	Merah
K	Bola 1/16"	150	Merah
	<u>Group III</u>		
L	Bola 1/4"	60	Merah
M	Bola 1/4"	100	Merah
P	Bola 1/4"	150	Merah
R	Bola 1/2"	100	Merah
S	Bola 1/2"	100	Merah
V	Bola 1/2"	150	Merah

Sumber : (Kristianto S.N, 2010).

Uji kekerasan Rockwell sangat berguna dan mempunyai kemampuan ulang (*reproducible*) asalkan sejumlah kondisi sederhana yang diperlukan dapat dipenuhi. Sebagian besar hal-hal yang disusun berikut dapat diterapkan dengan baik pada uji kekerasan yang lain:

1. Penumbuk dan landasan harus bersih dan terpasang dengan baik.
2. Permukaan benda yang akan diuji harus bersih dan kering, halus,

dan bebas dari oksida.

3. Permukaan yang kasar biasanya dapat menggunakan uji Rockwell.
4. Permukaan harus datar dan tegak lurus terhadap penumbuk.
5. Uji untuk permukaan silinder akan memberikan pembacaan hasil pembacaan yang rendah, kesalahan yang terjadi tergantung pada lekungan, beban, penumbuk, dan kekerasan bahan. Juga telah dipublikasikan koreksi secara teoritis dan empiris.
6. Daerah diantara lekukan-lekukan harus 3 sampai 5 kali diameter lekukan.
7. Kecepatan penerapan beban harus dibakukan. Hal ini dilakukan dengan cara mengatur daspot pada mesin uji Rockwell. Tanpa pengontrolan beban secara hati-hati dapat terjadi variasi nilai kekerasan yang cukup besar pada bahan-bahan yang sangat lunak. Untuk bahan-bahan demikian gagang pengoperasian mesin uji Rockwell harus dikembalikan ke posisi semula segera setelah beban besar diterapkan secara penuh (Kristianto S.N, 2010).

E. Kekuatan Tarik

Untuk mengetahui kekuatan dan cacat yang terjadi pada sambungan logam hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mengetahui kekuatan sambungan logam hasil pengelasan, yang salah satunya dapat dilakukan suatu uji tarik yang telah distandarisasi. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, daerah HAZ, sifat

logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan (Wiryosumarto, 2000).

Untuk melaksanakan pengujian tarik dibutuhkan batang tarik. Batang tarik, dengan ukuran-ukuran yang dinormalisasikan, dibubut dari spesimen yang akan diuji. Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material. Dalam bentuk yang sederhana, uji tarik dilakukan dengan menjepit kedua ujung spesimen uji tarik pada rangka beban uji tarik. Gaya tarik terhadap specimen uji tarik diberikan oleh mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) yang menyebabkan terjadinya pemanjangan spesimen uji dan sampai terjadi patah.

Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Tegangan : } \sigma = \frac{F}{A_0} (\text{kgf/mm}^2) \dots \dots \dots (3)$$

Dimana : F = beban (kgf)

A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

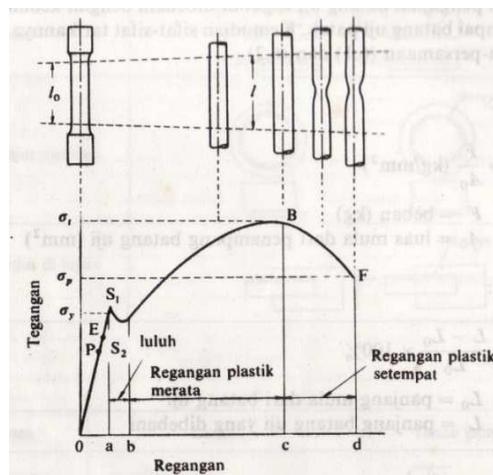
$$\text{Regangan : } \varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

Dimana : L_0 = panjang mula dari batang uji (mm)

L = panjang batang uji yang dibebani (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat dalam gambar 8. Titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol

lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastic. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas *elastic* dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S1 disebut titik luluh atas dan titik S2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan, dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2% (Harsono Wiryosumarto, 2000).



Gambar 8. Kurva tegang-regangan teknik

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine*. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban static dinaikkan secara bertahap sampai specimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (Kgf/mm^2) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan luluh (σ_{ys}), tegangan *ultimate* (σ_{ult}), modulus elastisitas bahan (E), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji tarik (Kristianto S.N, 2010).