

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu jenis penyambungan diantara penyambungan yang lain seperti baut dan keling. Berbeda antara keduanya bahwa pengelasan membutuhkan perhatian yang khusus diantaranya adalah jenis pengelasan, klasifikasi pengelasan, dan karakteristiknya. Menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair dari definisi tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa las adalah suatu proses dimana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan tekanan.(Harsono Wiryosumarto&Thosie Okumura, 2000)

1. Jenis-Jenis Pengelasan

a. Las Busur Listrik

Las busur listrik adalah cara pengelasan dengan mempergunakan 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)

Prinsip pengelasan las busur listrik adalah sebagai berikut : arus listrik yang cukup padat dan tegangan rendah bila dialirkan pada dua buah logam yang konduktif akan menghasilkan loncatan elektroda yang dapat menimbulkan panas yang sangat tinggi mencapai suhu 5000°C sehingga dapat mudah mencair kedua logam tersebut.(Harsono Wiryosumarto&Thosie Okumura, 2000)

Proses pemindahan logam cair seperti dijelaskan diatas sangat mempengaruhi sifat maupun las dari logam, dapat dikatakan bahwa butiran logam cair yang halus mempunyai sifat mampu las yang baik. Sedangkan proses pemindahan cairan sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda sebagai zat pelindung yang sewaktu pengelasan ikut mencair. Tetapi karena berat jenisnya lebih ringan dari bahan logam yang dicairkan, maka cairan fluks tersebut mengapung diatas cairan logam dan membentuk terak sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahan tidak terbakar, tetapi berubah menjadi gas pelindung dari logam cair terhadap oksidasi.(Harsono Wiryosumarto& Thosie Okumura, 2000)

Pengelasan adalah suatu proses di mana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dan pemakaian panas dan tekanan. Salah satu proses yang paling banyak digunakan

pada sambungan struktur adalah las cair (*fusion welding*). Las cair ini dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber panas yang digunakan menjadi 3 kelompok yaitu las gas (*gas welding*), las busur (*arc welding*) dan las sinar energi tinggi (*high energy beam welding*). (Harsono Wiryosumarto & Thosie Okumura, 2000)

b. Las Oksi Asetilen (*Oxyacetylene Welding*)

Pada las *oxycetylene*, panas dihasilkan dari reaksi pembakaran antara *gas acetylene* dengan oksigen. Nyala yang dihasilkan terdiri dari 2 daerah/zona, yaitu:

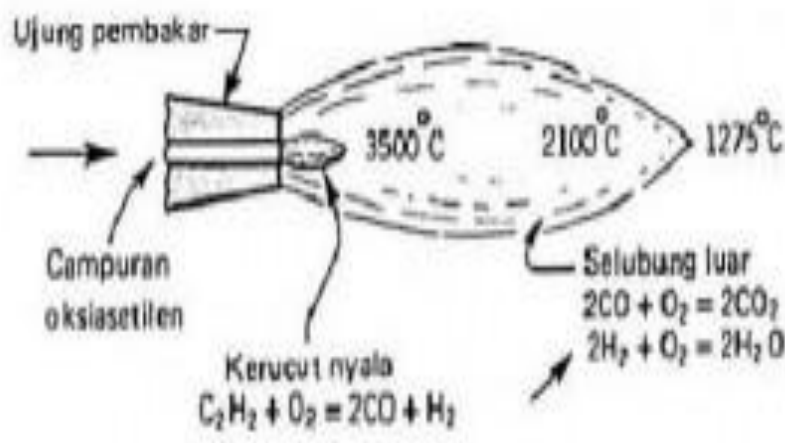
Daerah pembakaran primer (*primary combustion*)

Menghasilkan panas sekitar 1/3 dari total panas pembakaran

sempurna. $C_2H_2 + O_2 = 2CO + H_2$ kerucut dalam daerah pembakaran

sekunder yang terjadi setelah pembakaran primer berlangsung

$2CO + O_2 = 2CO_2$
 $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ kerucut luar



Gambar 1. Nyala netral dan suhu yang dicapai pada ujung pembakar. Sifat-sifat nyala.

(<http://aldongutra.blogspot.com>)

(diunduh pada tanggal 24 Mei 2014 pukul 21:00)

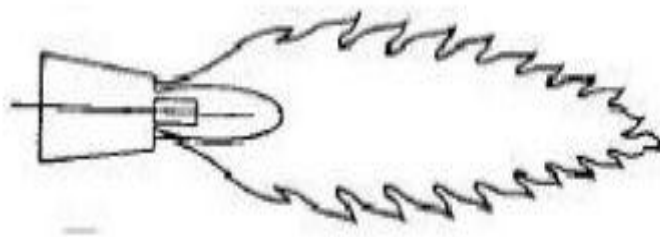
1. Netral



Gambar 2. Nyala Api Netral
 (<http://aldongutra.blogspot.com>)
 (diunduh pada tanggal 24 mei 2014 pukul 21:00)

Jika jumlah gas C_2H_4 dan O_2 sesuai dengan perbandingan *stoichiometry*

2. Reduksi



Gambar 3. Nyala Api Reduksi
 (<http://aldongutra.blogspot.com>)
 (diunduh pada tanggal 24 mei 2014 pukul 21:00)

Jika terjadi kelebihan C_2H_2 sehingga terjadi pembakaran tak sempurna. Nyala api ini biasanya digunakan untuk pengelasan aluminium, magnesium dan untuk mencegah lepasnya karbon (*decarburization*) pada baja karbon tinggi.

3. Oksidasi



Gambar 4. Nyala Api Oksidasi
<http://popaymini.blogspot.com>
 (diunduh pada tanggal 24 mei 2014 pukul 21:00)

Jika terlalu banyak oksigen terjadi pembakaran tak sempurna. Nyala ini biasanya digunakan unsur-unsur yang mudah menguap waktu pengelasan seperti *zinc* atau kuningan (paduan Cu-Zn) melalui pembentukan lapisan oksida. (Harsono Wiryosumarto&Thosie Okumura, 2000)

c. Las Busur Tungsten Gas Mulia (*Gas Tungsten Arc Welding/GTAW*)

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)

d. 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. (Harsono Wiryosumarto & Thosie Okumura, 2000)

e. Las Busur Elektroda Terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding/SMAW*)

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)

f. Las Busur Rendam (*Submerged Arc Welding/SAW*)

Proses pengelasan di mana busur listrik dan logam cair tertutup oleh lapisan serbuk fluks sedangkan kawat pengisi (*filler*) diumpankan

secara kontinyu. Pengelasan ini dilakukan secara otomatis dengan arus listrik antara 500-2000 Ampere.(Harsono Wiryosumarto& Thosie Okumura, 2000)

g. Las Terak Listrik (*Electroslag Welding*)

Proses pengelasan di mana energi panas untuk melelehkan logam dasar (*base metal*) dan logam pengisi (*filler*) berasal dari terak yang berfungsi sebagai tahanan listrik (I^2Rt) ketika terak tersebut dialiri arus listrik. Pada awal pengelasan, fluks dipanasi oleh busur listrik yang mengenai dasar sambungannya. Kemudian logam las terbentuk pada arah vertikal sebagai hasil dari campuran antara bagian sisi dari logam induk dengan logam pengisi (*filler*) cair. Proses pencampuran ini berlangsung sepanjang alur sambungan las yang dibatasi oleh plat yang didinginkan dengan air.(Harsono Wiryosumarto& Thosie Okumura, 2000)

h. 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 welding* kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihanannya adalah sebagai berikut.

- Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi kebagian luar.

- Tidak memerlukan logam pengisi, pelindung flux dan gas pelindung selama proses
- Tidak terdapat cacat akibat penomena pencairan dan pembekuan.
- Dimungkinkan untuk menyambung dua material logam yang berbeda.
- Ongkos pengerjaan lebih ringan.

Namun *friction welding* memiliki kekuranganyaitu ;

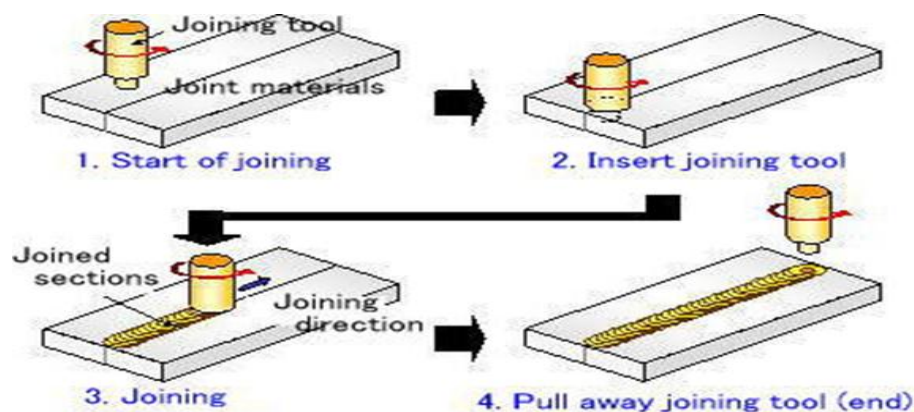
- Benda yang disambung harus simetris
- Proses umunya terbatas pada permukaan plat dan bentuk batang bulat.
- Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu dideformasi secara plastis.(Messler,1999)

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 ditekankan dan ditarik searah daerah yang akan dilas. Putaran dari pin bisa searah jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam. (Jarot Wijayanto, 2010)

Pin yang digunakan pada pengelasan *Friction Stir Welding* harus mempunyai titik cair dan kekerasan yang lebih dibandingkan dengan material kerja,

sehingga hasil lasan bisa baik. 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 di las 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. Prinsip *Friction Stir Welding* yang ditunjukkan pada Gambar 5 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 ditekankan pada material yang akan disatukan. (Jarot Wijayanto, 2010)

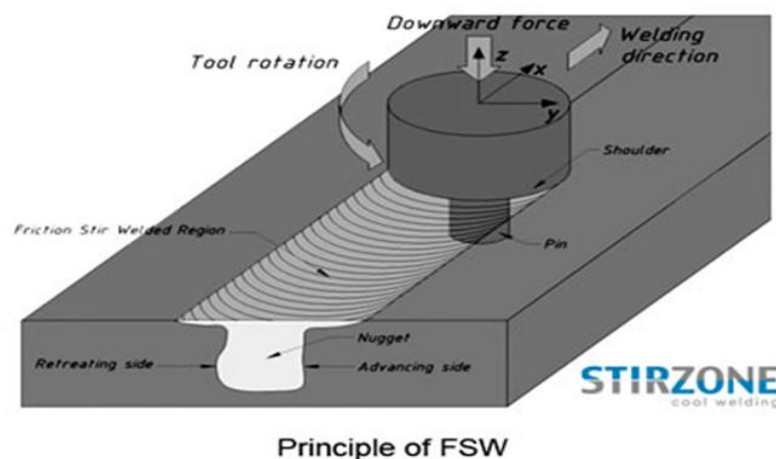


Gambar5.Prinsip *Frintion Stir Welding*
<http://www.hitachi.com>
 (diunduh pada tanggal 17 Mei 2014 Pukul 20:00)

Gesekan tool yang berbentuk silindris (*cylindrical-shoulder*) yang dilengkapi pin/probe dengan material, mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakan bagian tersebut. Tool bergerak pada kecepatan tetap (parameter 1) dan bergerak melintang (parameter 2) pada jalur pengelasan (*joint line*) dari material yang akan di satukan. 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. Gesekan tool yang berbentuk silindris (*cylindrical-shoulder*) yang dilengkapi pin/probe dengan material, mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakan bagian tersebut. Tool bergerak pada kecepatan tetap (parameter 1) dan bergerak melintang (parameter 2) pada jalur pengelasan (*joint line*) dari material yang akan di satukan. 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. (Jarot Wijayanto, 2010)

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*). Gerakkan tool ditunjukkan pada Gambar 6. 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 parameter harus benar-benar cermat, input panas harus cukup tinggi tetapi tidak terlalu tinggi untuk menjamin plastisitas material serta untuk mencegah timbulnya sifat-sifat las yang merugikan. (Jarot Wijayanto, 2010)



Gambar 6. Mekanisme *Friction Stir Welding*
<http://www.stirzone.at>
 (diunduh pada Tanggal 17 Mei 2014 Pukul 20:00)

Tekanan shoulder diharapkan untuk menjaga material lunak tidak keluar jalur dan memberi efek tempa (*forgin*). Material panas ditekan dari atas oleh shoulder dan ditahan oleh alas dari bawah. Proses ini bertujuan untuk memadatkan 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 (Jarot Wijayanto, 2010)

C. Alumunium

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Kekuatan tarik Aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan tarik berkisar hingga 200 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditekuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (*drawing*), dan diekstrusi. Resistansi terhadap korosi terjadi akibat fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan Aluminium Oksida ketika Aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan Aluminium Oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. (I Dewa Made.Krishna.Muku, 2009)

1. 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:

1.1. 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 200 Mpa. (I Dewa Made.Krishna.Muku, 2009)

1.2. 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 Brinnel, 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 Brinnel sebesar 160. (I Dewa Made.Krishna.Muku, 2009)

1.3. *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 Made.Krishna.Muku, 2009)

1.4. *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 Made.Krishna.Muku, 2009)

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 tujuh jenis, yaitu:

1) Jenis Al-murni teknik (seri 1000)

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

2) Jenis paduan Al-Cu (Seri 2000)

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endap tau 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 dan banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat

terbang seperti duralumin (2017) clansuper duralumin (2024). (I Dewa Made.Krishna.Muku, 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 perbuatannya. 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 Made.Krishna.Muku, 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 Made.Krishna.Muku, 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 Made.Krishna.Muku, 2009)

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

Paduan ini 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. (I Dewa Made.Krishna.Muku, 2009)

7) Paduan jenis Al-Zn (seri 7000)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlakukan-panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm², sehingga paduan ini dinamakan juga ultraduralumin. Berlawanan dengan kekuatantariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. (I Dewa Made.Krishna.Muku, 2009)

2. 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 tidak 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.

Table1 Spesifikasi Alumunium 5083
[\(<http://asm.matweb.com>\)](http://asm.matweb.com)
 diunduh Tanggal 24 Mei 2014 Pukul 21:00)

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

D. 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 (Wirjosumarto& Thosie Okumura, 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 spesimen

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 :

$$\text{Tegangan: } \sigma = \frac{F}{A_0} (\text{kgf/mm}^2) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana: F = beban (kgf)

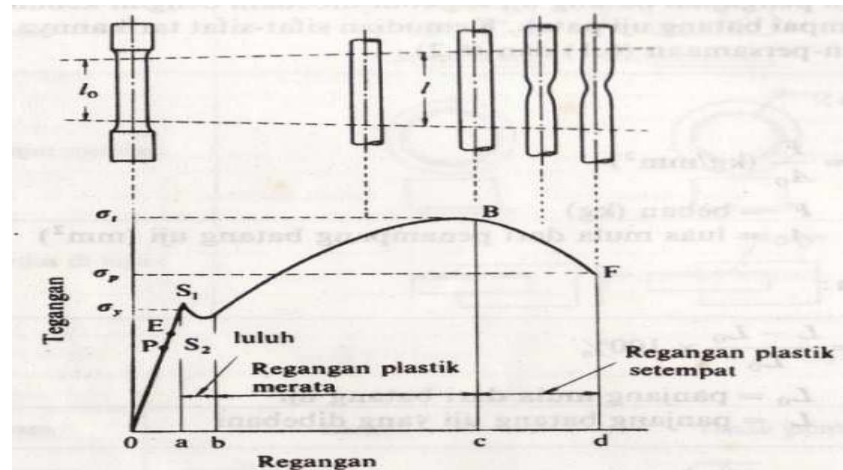
A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

$$\text{Regangan: } \epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

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 7 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 & Thosie Okumura, 2000)



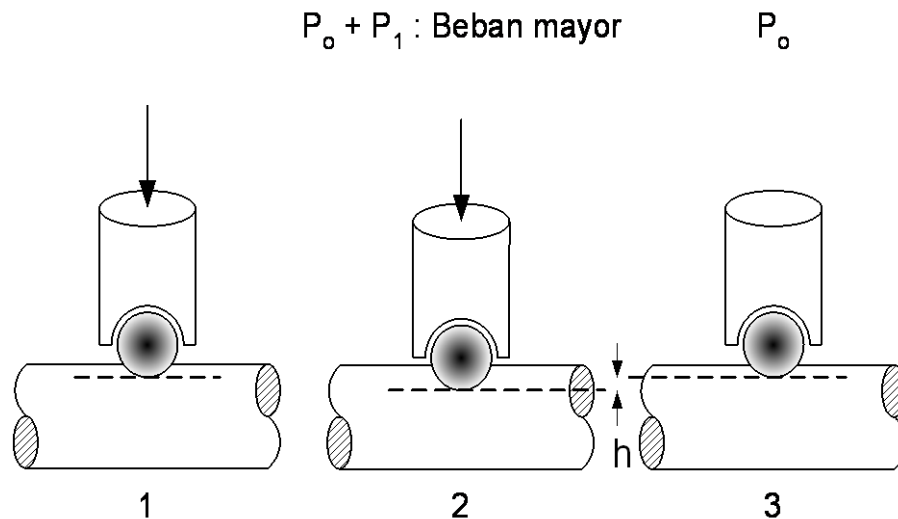
Gambar 7. Kurva tegang-regangan teknik
(Harsono Wiryosumarto & Thosie Okumura ,2000)

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 Suro Nugroho, 2010)

E. Kekerasan Rockwell

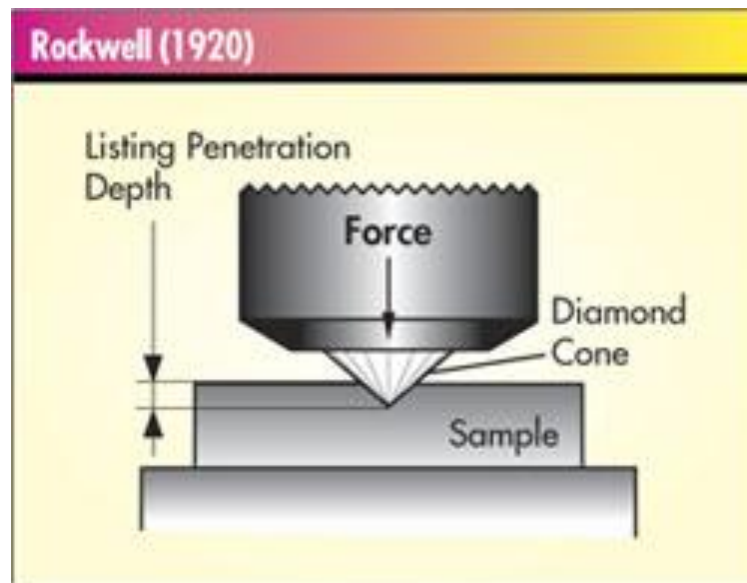
Pengujian rockwell angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung padakondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian brinell, indenter dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih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

Uji kekerasan ini banyak di gunakan di Amerika Serikat, hal ini di sebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu : cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang di perkeras, 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`154 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 Suro Nugroho, 2010)



Gambar 8. Cara kerja mesin penguji kekerasan Rockwell.
(Kristianto Suro Nugroho, 2010)

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 di gunakan 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 Suro Nugroho, 2010)



Gambar 9. Media Pengujian Rockwell.
Sumber: (Kristianto S.N, 2010).

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 di lunakkan 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 :

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

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

Skala yang umum dipakai dalam pengujian Rockwell adalah :

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

Tabel 2 Skala kekerasan Rockwell dan Huruf Depan.

(Kristianto Suro Nugroho, 2010)

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

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 keposisi semula segera setelah beban besar diterapkan secara penuh. (Kristianto Suro Nugroho, 2010)