

BAB II

LANDASAN TEORI

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom.

2.1 Klasifikasi Cara-cara Pengelasan

Sampai pada waktu ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasian tersebut pada waktu ini dapat dibagi dalam dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan.

Klasifikasi yang pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain-lainnya. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya. Bila diadakan klasifikasi yang lebih terperinci lagi, maka kedua klasifikasi tersebut di atas akan berbaur dan terbentuk kelompok-kelompok yang banyak sekali.

Berdasarkan klasifikasi ini pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu: pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. (Wiryosumarto dan Okumura, 1996 : 89)

1. Pengelasan cair

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

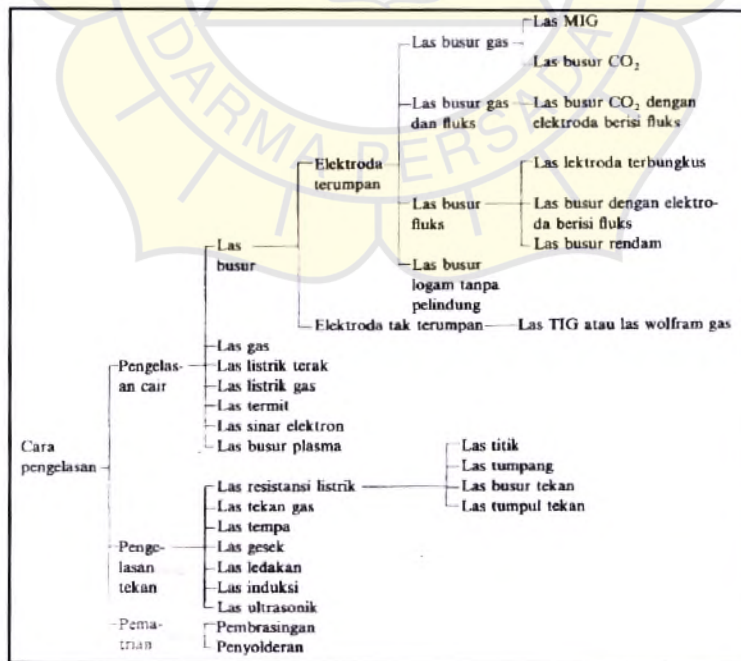
2. Pengelasan tekan

Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

3. Pematrian

Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut mencair.

Tabel 2.1 Klasifikasi Cara Pengelasan



2.1.1 Las Titik (*Spot Welding*)

Proses las titik merupakan suatu proses penyambungan dua buah komponen logam melalui satu atau lebih titik sambungan dengan menggunakan panas dari tahanan listrik yang dialirkan oleh dua buah elektroda ke logam yang akan disambung dengan waktu pengelasan tertentu. Panas yang dihasilkan dalam proses ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu diantaranya adalah arus yang diberikan, tahanan kontak benda kerja dan waktu pengelasan.

Berdasarkan hukum Joule dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$H = I^2 \times R \times t \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- H = Panas (energi) yang dihasilkan (watt. detik atau Joule)
- I = Arus yang diberikan (ampere)
- R = Tahanan kontak benda kerja (ohm)
- t = Waktu pengelasan (detik atau cycle)

Untuk memperoleh sambungan las yang baik maka ketiga faktor diatas perlu diperhatikan dan ditentukan dengan cermat berdasarkan pada tebal, jenis dan ukuran bahan dan jenis elektroda yang dipergunakan (Amstead, 1995: 112). Sedangkan untuk mengetahui besarnya arus pengelasan, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

I = Arus Pengelasan (Ampere)

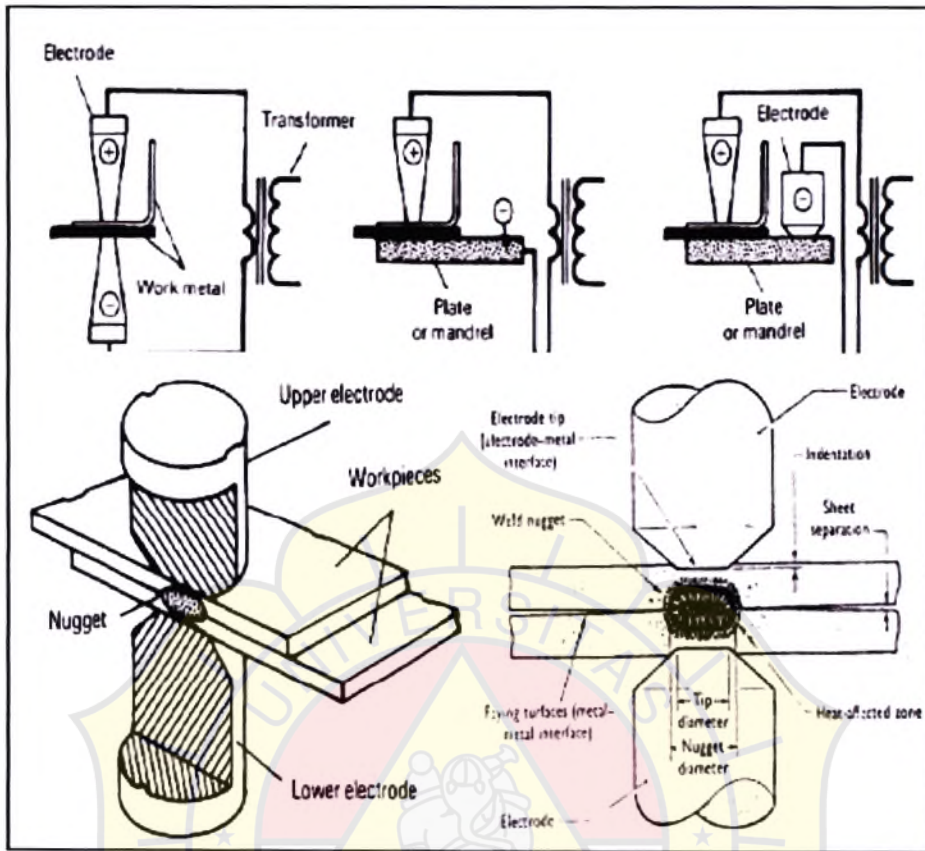
V = Tegangan Listrik (Volt)

R = Tahanan Listrik (Ohm)

Transformator yang terdapat dalam mesin las merubah tegangan arus bolak-balik dari 110 volt atau 220 volt menjadi 4 volt sampai 12 volt dan arusnya menjadi cukup besar sehingga dapat menimbulkan panas yang diperlukan. Arus sekunder ini diatur dengan mengatur jumlah lilitan dan kumparan primer, seperti terlihat pada gambar 2.1.

Gambar 2.1 dibawah ini memperlihatkan secara skematis dari proses dan alat atau mesin pengelasan titik. Penyambungan terjadi sebagai akibat timbulnya titik lasan pada permukaan kontak benda kerja yang saling berhadapan.

Hal ini terjadi karena pada daerah permukaan terjadi konsentrasi arus yang paling tinggi dengan tahanan kontak yang paling besar dibandingkan dengan daerah lainnya. Sebagai akibatnya akan timbul panas yang sangat tinggi pada daerah permukaan kontak sehingga dapat mencairkan titik lasan yang kemudian disebut *mugget*.

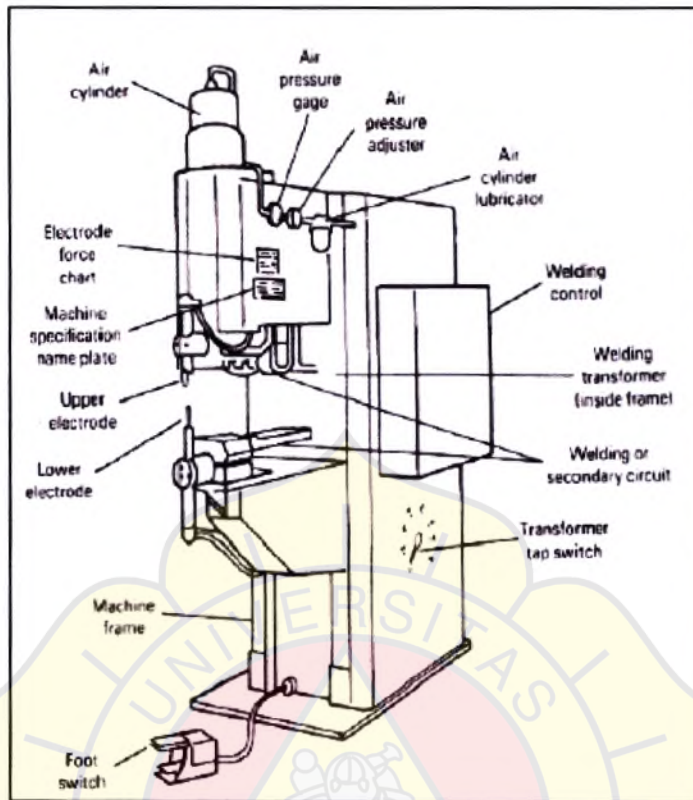


Gambar 2.1 Skematis proses pengelasan titik. (Akuan, 2009 : 28)

Peralatan mesin las titik ada tiga jenis yaitu :

1. mesin las titik tunggal stasioner,
2. mesin las titik tunggal yang dapat dipindahlan dan
3. mesin las titik ganda.

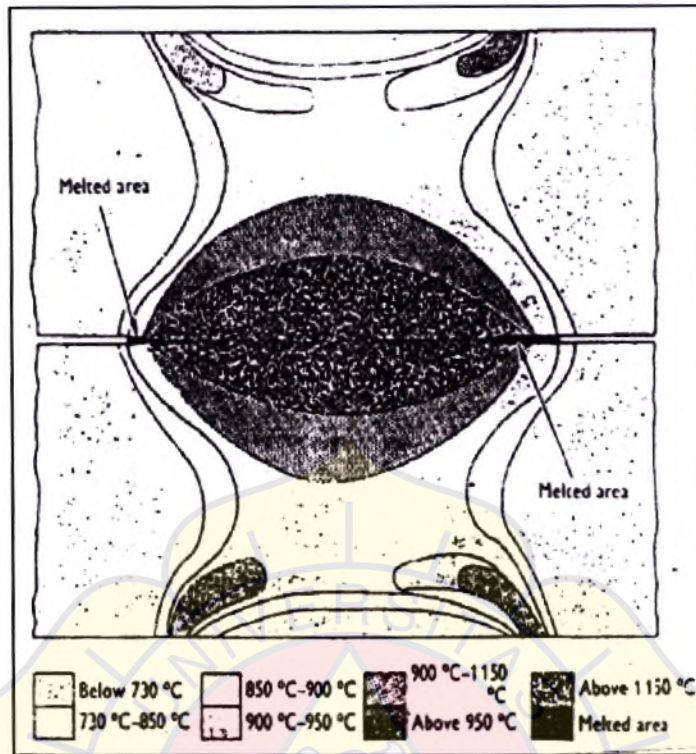
Mesin las stasioner dapat dibagi lagi atas jenis : lengan ayun dan jenis tekanan langsung. Jenis lengan ayun merupakan jenis yang sederhana dan mempunyai kapasitas kecil. (Amstead, 1995 :118)



Gambar 2.2 Skematis mesin las titik (Akuan, 2009 : 28)

Ukuran dan bentuk *nugget* yang terjadi sangat dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran elektroda yang menekan permukaan luar lembaran logam, selain itu masukkan panas yang terjadi merupakan faktor yang juga menentukan kualitas dari *nugget*. Gambar 2.3 menunjukkan distribusi hasil pengelasan titik pada suatu logam *mild steel*. Secara kontinyu, diameter *nugget* tumbuh sangat cepat dan kemudian melambat sampai tercapai suatu ukuran yang maksimal yaitu sekitar lebih besar 10% nya dari diameter elektroda yang digunakan.

Parameter penting dalam proses pengelasan titik yang berpengaruh terhadap kualitas hasil lasan adalah: arus pengelasan, gaya penekanan dan waktu pengelasan.



Gambar 2.3 Distribusi temperatur dari hasil pengelasan titik. (Akuan, 2009: 29)

Kondisi-Kondisi Pengelasan

Ada banyak faktor terkait dalam menghasilkan sebuah las titik (*spot weld*) yang baik. Khususnya yaitu tekanan arus listrik pengelasan dan tempo pengelasan dan tempo pengelasan mempunyai efek paling besar pada hasil pengelasan. Faktor-faktor lain adalah kondisi ujung-ujung elektroda dan logam dasar.

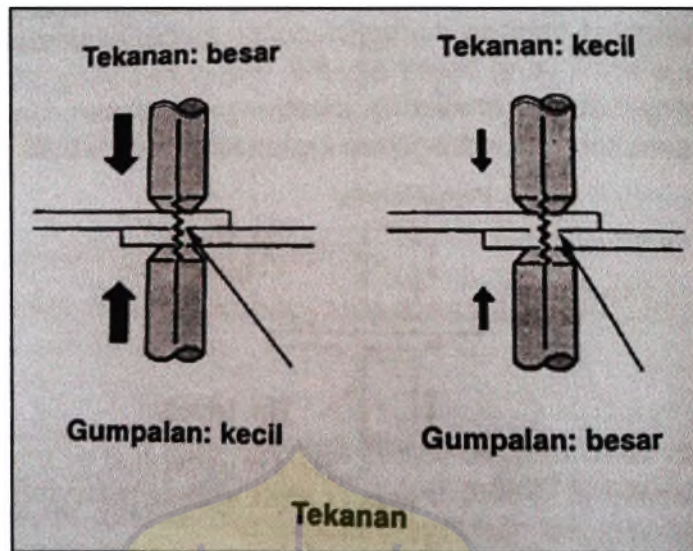
1. Tekanan

Pemakaian tekanan mempunyai fungsi menjamin bahwa arus dari ujung-ujung elektroda adalah secara benar ditransfer ke logam-logam dasar tanpa menimbulkan kilap permukaan (*surface flash*) atau pengeluaran paksa (*expulsion*). Lebih dari itu, tekanan bertindak menjaga logam-logam dasar berhubungan dengan mantap satu dengan yang lain

logam las-lasan memadat.

Keterangan berikut menunjukkan apa yang terjadi ketika tekanan dimodifikasi, sementara sejumlah arus yang stabil diberikan:

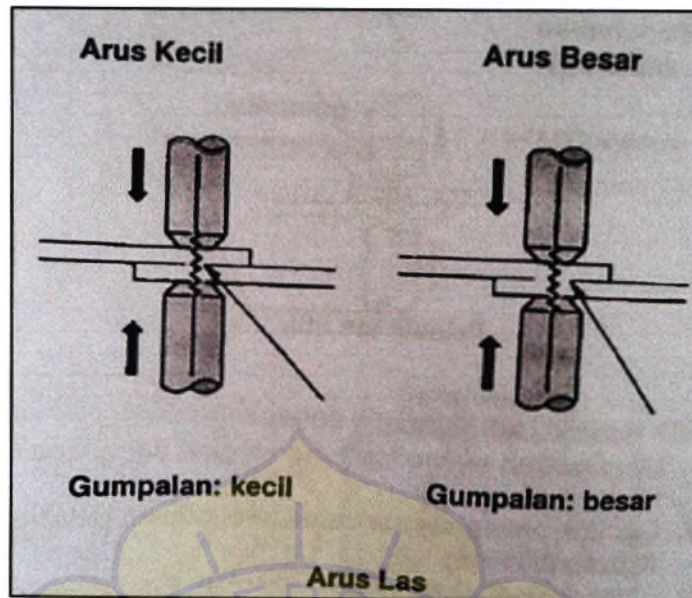
- a. Bila tekanan terlalu kecil, arus yang dikonsumsi saat sedang ditransfer dari elektroda-elektroda ke logam dasar secara bersamaan, juga kurangnya tekanan ini dapat mengakibatkan percikan bunga api antara logam dasar dan ujung elektroda, yang dapat menghasilkan duri-duri beram (*burr*) pada permukaan-permukaan tersebut.
- b. Ketika arus listrik dihantarkan dengan pemakaian tekanan yang sesuai, maka arus akan dikonsumsi area sambungan yang mempunyai tahanan paling besar. Ini menghasilkan suatu pengelasan yang baik bagi logam dasar.
- c. Bila tekanan terlalu besar, logam-logam dasarnya masuk berkontak dengan permukaan yang lebih luas. Dalam situasi ini, arus listrik dan panas yang didistribusikan melintasi permukaan. Sebagai akibatnya, area las-lasan yang melebihi titik lebur terbatas. Ini menyebabkan gumpalannya menjadi kecil dan kekuatan las menjadi berkurang.



Gambar 2.4 Perbandingan Tekanan Elektroda
(Training Manual Perbaikan Body Toyota, 2004 : 4)

2. Arus Pengelasan

Diameter gumpalan/nugget membesar karena arus yang dipakai meninggi mengakibatkan peningkatan kekuatan las. Bila arus dinaikkan lebih jauh, pengeluaran paksa (*expulsion*) akan terjadi. Bagaimanapun juga dengan pemakaian tekanan yang lebih besar pada saat ini, area pengelasan melalui arus listrik mengalir akan bertambah dan ekspulsi tidak akan terjadi. Jadi ekspulsi terjadi ketika arus terlalu besar terhadap tekanan atau sebaliknya bila tekanan atau terlalu kecil bagi arus. Sebagai hubungan timbal balik yang saling menguntungkan antara arus dan tekanan, adalah penting untuk membuat keseimbangan yang tepat antara kedua faktor tersebut.



Gambar 2.5 Perbandingan Arus Pengelasan
(Training manual Perbaikan Body Toyota, 2004 : 4)

3. Waktu pengelasan

Waktu atau siklus dalam proses pengelasan titik dibagi dalam empat periode waktu utama yang secara skematis pada saat operasi proses pengelasan titik, dapat dilakukan pengontrolannya secara manual atau otomatis. (Akuan, 2009 : 34)

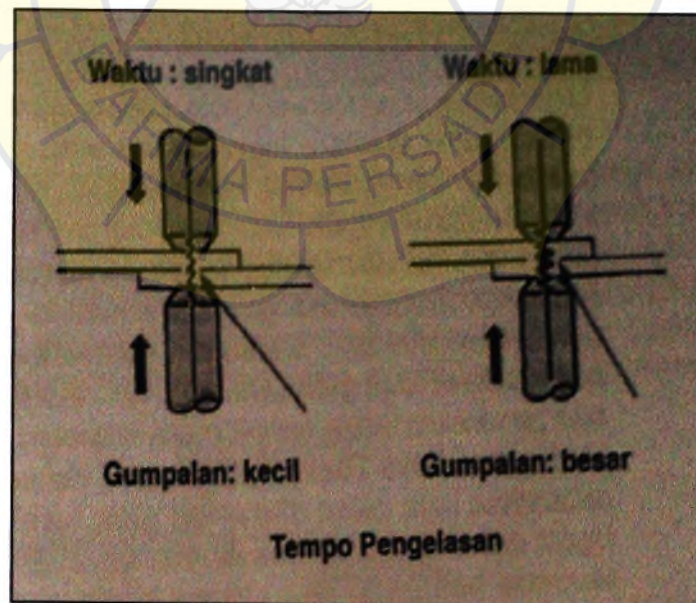
Keempat periode waktu pengelasan tersebut adalah sebagai berikut:

- Squeeze time*, adalah interval waktu antara saat mulai penekanan elektroda sampai saat arus mulai akan mengalir.
- Weld time*, adalah interval waktu selama arus mengalir melalui benda kerja.
- Hold time*, adalah interval waktu dimana arus sudah tidak mengalir lagi tetapi elektroda masih menekan benda kerja sampai logam lasan

membeku.

- d. *Off time*, adalah interval waktu akhir dari *hold time* dengan *Squeeze time* berikutnya.

Makin lama makin besar panas yang dibangkitkan dan gumpalan/nugget makin besar. Bagaimanapun banyak panas yang menyebar dalam elektroda-elektroda atau di area sekeliling las-lasan yang meningkat sebanding dengan tempo pengelasan. Akan ada sebuah titik dimana suhu pengelasan akan mencapai titik kejenuhannya (*saturation point*), bila tempo pengelasan diperpanjang melebihi titik jenuh ini, maka gumpalan nugget tidak akan menjadi lebih besar lagi dan itu bahkan membuat pengumpulan/lekukan (*indentation*) dan distorsi/perubahan panas yang mempengaruhi tampilan dari sambungan tersebut.



Gambar 2.6 Perbandingan Waktu Pengelasan
(Training Perbaikan Body Toyota, 2004 : 5)

2.2 Kekuatan Sambungan Las Terhadap Beban Tarik

Sifat tarikan yang dimaksudkan disini adalah sifat-sifat yang berhubungan dengan pengujian tarik. Dalam sambungan las sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), sifat logam las dan sifat-sifat dinamik dari sambungan berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan.

Dan batang uji tarik untuk sambungan las ditunjukkan dalam gambar 2.7, yang satu dengan arah tarikan melintang garis las dan yang lain dengan arah tarikan sejajar garis las. Dalam pengujian batang uji tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan-persamaan (2.3) dan (2.4):

Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : σ = kekuatan (tarik, luluh dan patah) pada material (N/mm²)

F = beban (kg)

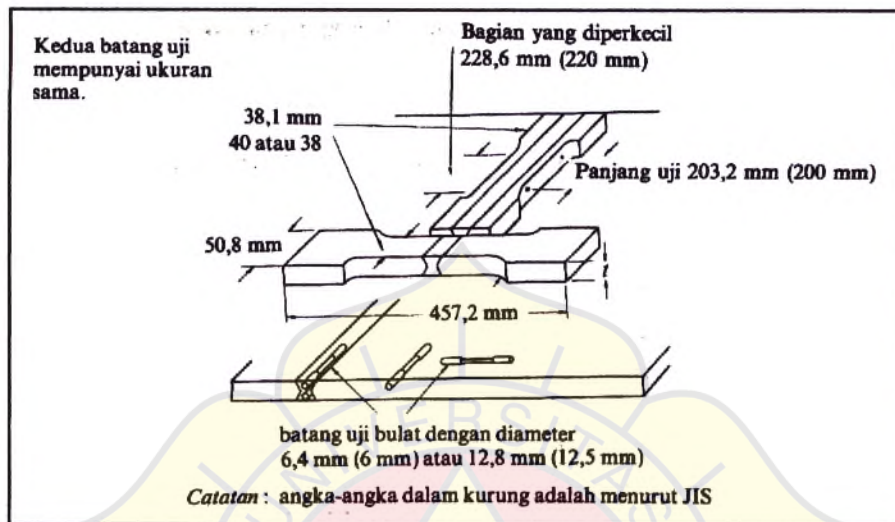
A₀ = luas mula dari penampang batang uji (mm²)

Regangan

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

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

L = panjang batang uji yang dibebani (mm)

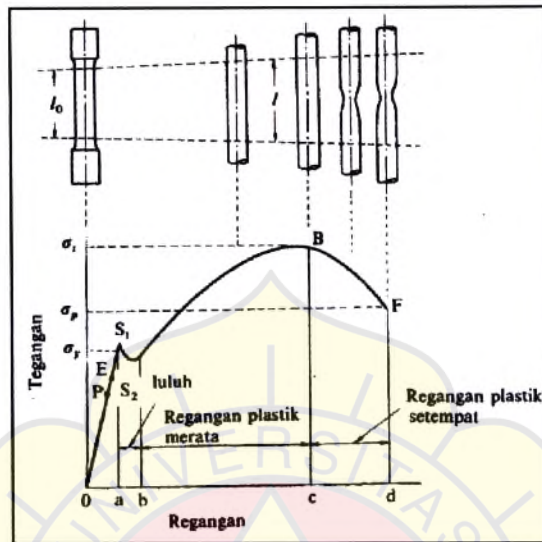


Gambar 2.7 Ukuran batang uji tarik menurut AWS
(Wiryo Sumarto dan Okumura, 1996 : 118)

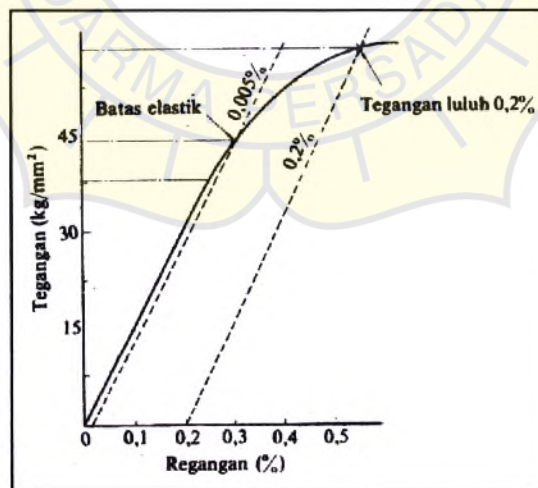
Hubungan antara tegangan dan regangan untuk batang uji bulat dapat dilihat dalam gambar 2.8. Dalam gambar, titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastik. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastik dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S_1 disebut titik luluh atas dan titik S_2 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% seperti ditunjukkan dalam gambar 2.9. Tegangan

yang tertinggi adalah kekuatan tarik dari logam (σ_t) dan tegangan yang terjadi pada waktu pada waktu patah disebut tegangan patah (σ_p).



Gambar 2.8 Kurva Tegangan-Regangan Teknik
(Wirjosumarto dan Okumura, 1996 : 119)



Gambar 2.9 Batas Elastik dan Tegangan Luluh
(Wirjosumarto dan Okumura, 1996 : 119)

2.3 Kekuatan Sambungan Las Terhadap Beban Tekan

Pengujian kekerasan logam adalah untuk mengetahui seberapa besar tingkat kekerasan yang dimiliki oleh suatu logam. Tingkat kekerasan logam didasarkan pada standar satuan yang baku. Satuan baku yang disepakati dan diakui oleh standar industri ada tiga metode pengujian kekerasan yaitu: penekanan, goresan dan dinamik. Penjelasan tentang metode pengujian kekerasan yaitu:

1. Pengujian kekerasan dengan cara penekanan banyak digunakan oleh industri permesinan. Hal ini dikarenakan prosesnya sangat mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan logam tersebut bila dibandingkan dengan metode pengujian kekerasan yang lainnya.
2. Pengujian kekerasan yang menggunakan metode penekanan ini ada tiga jenis yaitu pengujian kekerasan metode *Rockwell*, *Brinell* dan *Vickers*.
3. Proses pengujian kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Artinya ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji dan karena pengaruh pengaruh pembebanan tersebut, benda mengalami deformasi. Seberapa besar tingkat kekerasan dari bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya beban yang diberikan terhadap luas bidang yang menerima pembebanan tersebut. Proses pengujian yang mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan yaitu dengan metode penekanan. Metode penekanan tersebut ada tiga jenis metode yaitu *rockwell*, *brinell* dan *vickers* yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan.

Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode penekanan yaitu metode *Vickers* dan mengacu ke standar ASTM E 92. Pada pengukuran kekerasan menurut *vickers*, sebuah intan yang berbentuk limas (*pyramid*) kemudian intan itu ditekan pada benda uji dengan suatu gaya tertentu, maka pada benda uji tersebut terdapat bekas injakan dari intan ini. Bekas injakan ini akan lebih besar apabila benda uji tersebut semakin lunak dan bila beban penekanan bertambah berat.

Perhitungan kekerasan didasarkan pada panjang diagonal segi empat bekas injakan dan beban yang digunakan. Nilai kekerasan hasil pengujian metode *Vickers* disebut juga dengan kekerasan *HV* atau *VHN* (*Vickers Hardness Numbers*) yang besarnya :

$$VHN = \frac{2 \sin \left(\frac{\theta}{2} \right) P}{d^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$= \frac{2 \sin \left(\frac{136^\circ}{2} \right) P}{d^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$= \frac{1,8544 \times P}{d^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana : HV = Hasil kekerasan

P = Beban tekan yang diberikan (kgf)

d = Panjang diagonal bekas penjejak (mm)

θ = Sudut puncak penetrator (136^0)

Adapun keuntungan dari metode pengujian *Vickers* adalah:

1. Dengan pendesak yang sama, baik pada bahan yang keras maupun lunak nilai kekerasan suatu benda uji dapat diketahui.
2. Penentuan angka kekerasan pada benda-benda kerja yang tipis atau kecil dapat diukur dengan memilih gaya yang relatif kecil.

Pengujian *micro Vickers* adalah metode pengujian kekerasan dengan pembebanan yang relative kecil yang sulit dideteksi oleh metode *makro Vickers*. Pada penellitian ini menggunakan metode *micro Vickers* karena untuk mengetahui seberapa besar nilai kekerasan pada permukaan benda uji dari proses *heat treatment*, sehingga pembebanan yang dibutuhkan juga relatif kecil yaitu berkisar antara 10 sampai 1000 gf.

2.4 Klasifikasi Baja Karbon

Menurut (Wirjosumarto dan Okumura, 1996 : 89), baja karbon adalah panduan antara besi dan karbon dengan sedikit unsur lainnya misalnya: silikon

(Si), mangan (Mn), fosfor (P), sulfur (S) dan tembaga (Cu). Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Karena itu baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi.

2.4.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%, dengan komposisi kimia $0,08 \% \leq C$, $Mn < 1,0 \%$, $Si < 1,0 \%$, $P < 0,05 \%$ dan $S < 0,05 \%$. Baja ini bersifat ulet dan tangguh serta mempunyai mampu mesin (*machineability*), mampu bentuk (*formability*) dan mampu las (*weldability*) yang lebih baik dibandingkan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah mempunyai kepekaan yang rendah terhadap retak las dibandingkan baja karbon lainnya karena kadar karbonnya rendah.

2.4.2 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mengandung kadar karbon 0,30 sampai 0,45%. Baja ini bersifat kuat dan keras tetapi mampu lasnya tidak sebaik baja karbon rendah. Sifatnya yang mudah menjadi keras karena kadar karbon yang cukup tinggi ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las sehingga bisa dikatakan sifat mampu lasnya kurang baik daripada baja karbon rendah.

2.4.3 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45 % sampai 1,70 %. Secara umum, baja karbon tinggi mempunyai kekuatan dan kekerasan paling tinggi dibanding baja jenis lainnya karena kadar karbonnya adalah yang paling tinggi sehingga pada umumnya paling sulit dilas.

Tabel 2.2 Klasifikasi dari Baja Karbon

Jenis dan Kelas		Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	batang, kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum.
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin.
	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas
Baja Karbon tinggi	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel, pegas, dan kawat piano

Bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun.

2.5 Baja SPCC (*Steel Plate Carbon Cold Rolled*)

Lembaran pelat baja SPCC (*Steel Plate Carbon Cold Rolled*) sesuai standar JIS G-3141 adalah merupakan baja karbon rendah, hasil produk JFE Steel Corporation yang mana hasil proses akhir diharapkan merupakan sesuatu lembaran pelat baja yang mempunyai sifat mampu bentuk yang optimal.

Kondisi kandungan baja pada baja yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekaniknya, sehingga di awal pembuatan prosentase campuran sangat diperhitungkan. Komposisi kandungan elemen tambahan diharapkan akan memperbaiki sifat dari baja sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, suatu lembaran pelat baja yang mempunyai sifat ketangguhan yang tinggi serta mudah dibentuk. Penambahan elemen tersebut dalam jumlah yang sangat sedikit tetapi berpengaruh terhadap sifat mekaniknya.

2.5.1 Komposisi Kimia Baja SPCC

Data perbandingan dari spesifikasi JIS terhadap kandungan unsur kimia baja SPCC sesuai standar JIS G3141, dapat dilihat pada tabel 2.3, tabel 2.4 dan tabel 2.5 di bawah ini :

Tabel 2.3 Komposisi Kimia pada Baja SPCC sesuai JIS G-3141

Unsur	C	Mn	Si	Al	P	S
Persentase maksimum	0,12	0,50	1,0	0,043	0,040	0,045

Tabel 2.4 Kandungan Unsur Kimia dari Baja SPCC sesuai JIS G-3141

Tebal plat (mm)	Unsur (%)					
	C	Mn	Si	Al	P	S
1	0,07	0,28	0,010	0,056	0,029	0,034

Tabel 2.5 Standar Spesifikasi dari Baja G-3141 SPCC

(JFE Steel Corporation handbook, 2004 : 9)

Standard Specification		Mechanical Property							
		Y.S	T.S	Elongation Min %					
		Yelding Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	0.25 ≤ to < 0.40	0.40 ≤ to < 0.60	0.60 ≤ to < 1.0	1.0 ≤ to < 1.6	1.6 ≤ to < 2.5	2.5 or over
JIS G3141	SPCC	140-275	≥ 270	32	34	36	37	38	39

Berdasarkan komposisi kimia baja SPCC standar JIS G-3141 pada tabel 2.2 diatas dan kandungan unsur kimia baja SPCC standar JIS G-3141 pada tabel 2.3 di atas logam induk dapat dimasukkan dalam klasifikasi baja karbon rendah, karena kandungan karbonnya kurang dari 0,08 % . (Amstead, 1995 : 97)