

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

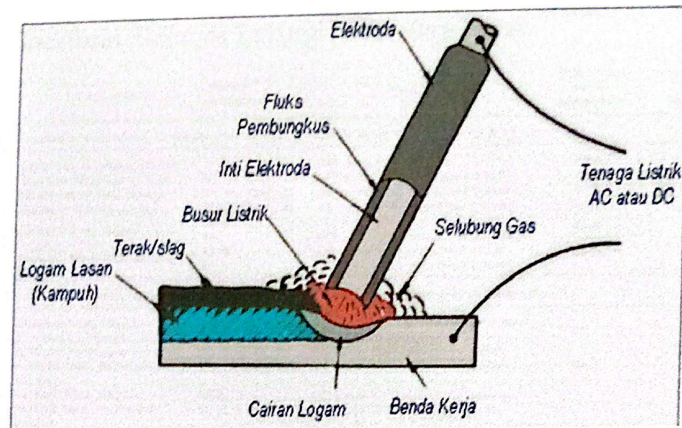
Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan.

2.1. Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kumpuh las.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



Gambar 2. 1 Las SMAW

2.2. Elektroda Terbungkus

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah.

Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (fluks) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur.

Bahan fluks yang digunakan untuk jenis E7018 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan.

Kekurangannya pada proses las SMAW ini adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las fluks ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi.

Menurut Wiryosumarto, Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (fluks), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat Tabel 2.1 :

Tabel 2. 1 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Flux	Posisi ^{a)} pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42.2 kg/mm ²						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020	Oksida besi tinggi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
E6027	Serbuk besi, oksida besi	H-S	AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E 70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49.2 kg/mm ²						
E7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah
E6010, E6011	
E6027, E7015	2,8 kg-m pada 28,9°C
E7016, E7018	
E7028	2,8 kg-m pada 17,8°C
E6012, E6013	
E6020, E7014	tidak disyaratkan
E7024	

^{a)} Arti simbol: F = datar
V = vertikal
OH = atas kepala
H = horizontal
H-S = horizontal las sudut

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti pada Tabel 2.2:

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda dan Diameter dari Elektroda

Diameter		Tipe elektroda dan amper yang digunakan					
Mm	Inch	E 6010	E 6014	E 7018	E 7024	E 7027	E 7028
2,5	3/32	-	80-125	70-100	70-145	-	-
3,2	1/8	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
4	3/32	120-160	150-210	150-220	180-250	160-240	180-250
5	3/16	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-250
5,5	7/32	-	260-340	360-430	275-375	250-350	275-365
6,3	1/4	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	5/16	-	90-500	375-470	-	-	-

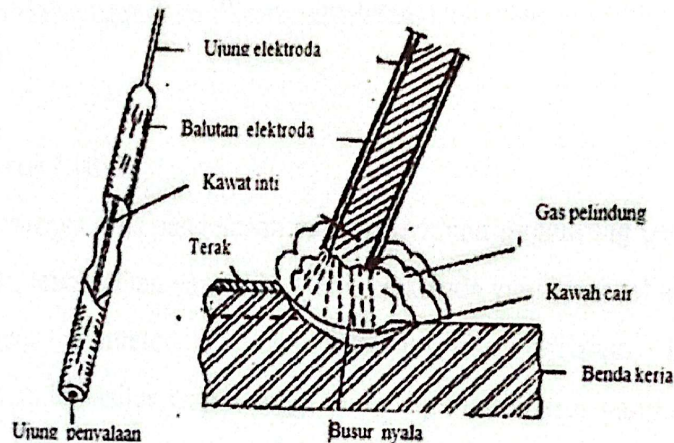
Elektroda adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas (Wiryosumarto, 2000). E7018 adalah suatu jenis elektroda yang mempunyai spesifikasi tertentu. Dalam penelitian ini yang dimaksud dengan E7018 adalah:

E : Elektroda las listrik (E7018 diameter 3,2 mm)

70 : Tegangan tarik minimum dari hasil pengelasan (70.000 Psi) atau

sama dengan 492 MPa.

- 1 : Posisi pengelasan (angka 1 berarti dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan).
- 8 : Menunjukkan jenis selaput serbuk besi hidrogen rendah dan interval arus las yang cocok untuk pengelasan.



Gambar 2. 2 Elektroda Terbungkus

2.3. Jenis Arus dan Besar Arus Listrik

2.3.1 Jenis Arus

Berdasarkan arah alirannya, Arus listrik dibagi menjadi 2 yaitu arus searah dan arus bolak-balik. Arus searah sering disebut DC yang merupakan singkatan dari *Direct Current* (DC). Sedangkan arus bolak balik sering disebut dengan AC yang merupakan singkatan dari *Alternating Current*.

2.3.1.1 AC (*Alternating Current*)

Arus searah mengalir secara searah dari titik yang memiliki potensial tinggi ke titik yang memiliki potensial lebih rendah. Meskipun sebenarnya mengalir adalah electron (muatan negatif) namun disepakati bahwa yang mengalir adalah arus positif, dari kutub positif ke kutub negatif. Jika dilihat bentuk gelombangnya dengan *oscilloscope*, arus rendah terlihat negatif sebagai garis lurus.

2.3.1.2 DC (*Direct Current*)

Sedangkan arus bolak-balik memiliki aliran arus yang berubah-

ubah arahnya. Perubahan arah arus bolak-balik ini mengikuti garis waktu sehingga jika dilihat dengan *oscilloscope*, arus bolak-balik membentuk sebuah gelombang dengan frekuensi tertentu. Bentuk gelombang arus bolak-balik ada yang beraturan dan tidak beraturan. Contoh bentuk gelombang arus bolak-balik yang beraturan adalah sinus, kotak dan gigi gergaji

<http://kliksma.com/2014/10/jenis-arus-listrik.html> (tanggal 14 Mei 2017 pukul 13.50)

2.3.2 Besar Arus Listrik

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi.

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

2.4. Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah adalah baja paduan yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Baja paduan banyak digunakan untuk kapal, jembatan, roda kerta api, ketel uap, tangki-tangki dan dalam permesinan.

Berdasarkan Wiryosumarto, 2000, Baja paduan rendah dibagi menurut sifatnya yaitu baja tahan suhu rendah, baja kuat dan baja tahan panas.

- a. Baja tahan suhu rendah, Baja ini mempunyai kekuatan tumbuk yang tinggi dan suhu transisi yang rendah, karena itu dapat digunakan dalam konstruksi untuk suhu yang lebih rendah dari suhu biasa.
- b. Baja kuat, Baja ini dibagi dalam dua kelompok yaitu kekuatan tinggi dan kelompok ketangguhan tinggi. Kelompok kekuatan tinggi mempunyai sifat mampu las yang baik karena kadar karbonnya rendah. Kelompok ini sering digunakan dalam konstruksi las. Kelompok yang kedua mempunyai ketangguhan dan sifat mekanik yang sangat baik. Kekuatan tarik untuk baja kuat berkisar antara 50 sampai 100 kg/mm².
- c. Baja tahan panas adalah baja paduan yang tahan terhadap panas, asam dan mulur. Baja tahan panas yang terkenal adalah baja paduan jenis Cr-Mo yang tahan pada suhu 600 °C.
- d. Pengelasan yang banyak digunakan untuk baja paduan rendah adalah las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Perubahan struktur daerah las selama pengelasan, karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat menyebabkan daerah HAZ menjadi keras. Kekerasan yang tertinggi terdapat pada daerah HAZ.

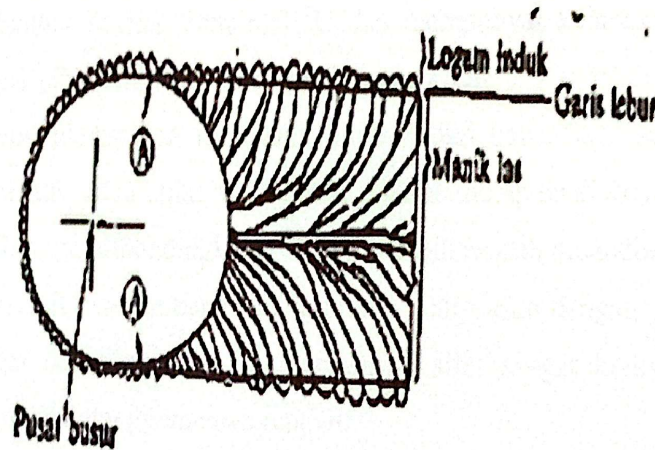
2.5. Struktur Mikro Daerah Las-lasan

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las, daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* disingkat menjadi HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi panas.

a. Daerah logam las

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidakhomogennya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit atas yang menurunkan

ketangguhan logam las. Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*) seperti pada gambar 2.3 menurut Wiryosumarto, 2000, Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las.



Gambar 2. 3 Arah pembekuan dari logam las

Dari Gambar 2.3 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang pilar. Titik A dari gambar adalah titik mula dari struktur pilar yang terletak dari logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah sama dengan sumber panas. Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.

Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk, jika ukuran butir austenitnya besar. Waktu pendinginan yang lama akan meningkatkan ukuran batas butir ferit, selain itu waktu pendinginan yang lama akan menyebabkan terbentuk ferit Widmanstatten. Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro dibawah ini:

- Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenit-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu 1000 - 650°C.
- Ferit Widmanstatten atau ferrite with aligned second phase, struktur

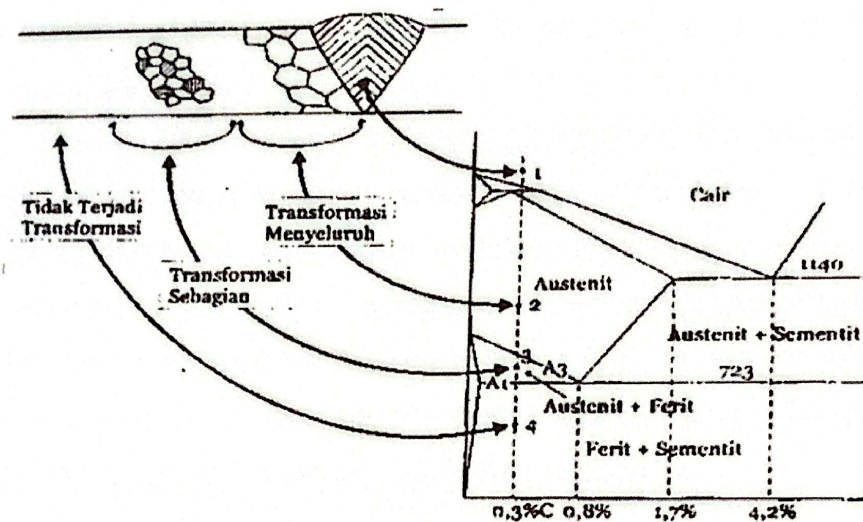
mikro ini terbentuk pada suhu 750-650 °C di sepanjang batas butir austenit, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.

- c) Ferit acicular, berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya ferit acicular ini terbentuk sekitar suhu 650 °C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi dibandingkan struktur mikro yang lain.
- d) Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenite dan terbentuk pada suhu 400-500 °C. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit.
- e) Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.

b. Daerah pengaruh panas atau heat affected zone (HAZ)

Daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar.

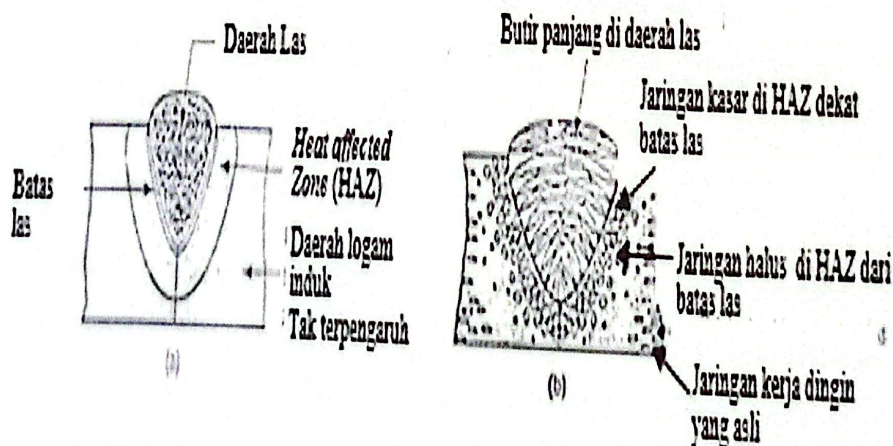
Berdasarkan gambar 2.4 pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenit dan ini disebut dengan transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi austenite 100%. Titik 3 menunjukkan temperatur pemanasan, daerah itu mencapai daerah berfasa ferit dan austenit dan ini yang disebut transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit dan austenit.



Gambar 2. 4 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan.

c. Logam induk

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas, yang disebut batas las seperti pada gambar 2.5 (Supardi, E., 1996.).



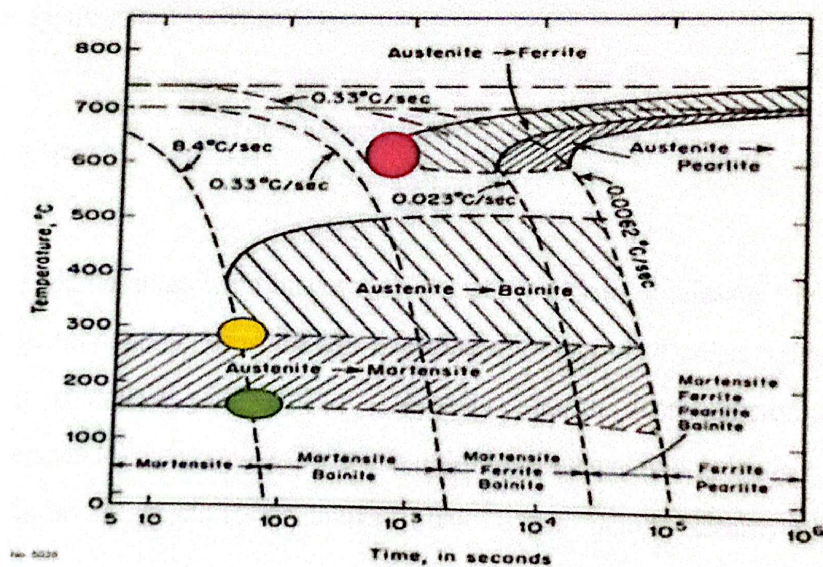
Gambar 2. 5 Perubahan sifat fisis pada sambungan las cair

2.6. Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)

Pada proses pengelasan, transformasi austenit menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini disebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenit menjadi ferit

adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las.

Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenite sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*).



Gambar 2. 6 Contoh Diagram CCT untuk baja ASTM 4340

Berdasarkan Contoh diagram CCT yang ditujukan dalam gambar 2.6 (Wiryosumarto,2000), dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenite turun, struktur akhir yang terjadi berubah campuran ferit-perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit.

2.7. Heat Input

Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber tergantung pada proses pengelasannya. Pada

pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *Heat Input*.

Untuk mendapatkan hasil *Heat Input*, maka dapat dihitung menggunakan persamaan (1):

$$HI (Heat Input) = \frac{\text{Tegangan pengelasan (E) x Arus pengelasan(I)}}{\text{Kecepatan pengelasan (v)}} \dots\dots (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) tersebut dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan satu dikalikan dengan efisiensi proses pengelasan (η) sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan (2):

$$HI (Heat Input) = \eta \times \frac{\text{Tegangan pengelasan (E) x Arus pengelasan (I)}}{\text{Kecepatan pengelasan (v)}} \dots\dots(2)$$

Efisiensi masing-masing proses pengelasan dapat dilihat dari Tabel 2.3.

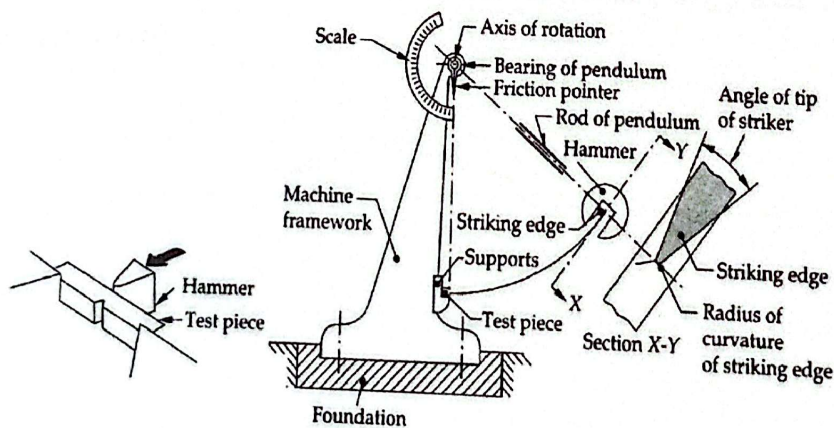
Tabel 2. 3 Efisiensi proses pengelasan

Proses pengelasan	Efisiensi (%)
SAW (<i>Submerged Arc Welding</i>)	95
GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)	90
FCAW (<i>Flux Cored Arc Welding</i>)	90
SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)	90
GTAW (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>)	70

2.8. Pengujian Ketangguhan

Ketangguhan adalah tahanan bahan terhadap beban tumbukan atau kejutan (takikan yang tajam secara drastis menurunkan ketangguhan). Tujuan utama dari pengujian impak adalah untuk mengukur kegetasan atau keuletan bahan terhadap beban tiba-tiba dengan cara mengukur energi potensial sebuah palu godam yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. Pengujian impak adalah pengujian dengan menggunakan beban sentakan (tiba-tiba). Metode yang sering digunakan adalah metode *Charpy* dengan menggunakan benda uji standar.

Menurut Wiryosumarto, 2000, pada pengujian pukul takik (*impact test*) digunakan batang uji yang bertakik (*notch*). Pada metode *Charpy*, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan kearah mendatar oleh penahan yang berjarak 40 mm. Bandul akan berayun memukul batang uji tepat dibelakang takikan. Untuk pengujian iniakan digunakan sebuah mesin dimana sebuah batang dapat berayun dengan bebas. Pada ujung batang dipasang pemukul yang diberi pemberat. Batang uji diletakkan di bagian bawah mesin dan takikan tepat pada bidang lintasan pemukul.



Gambar 2. 7 Pengujian ketangguhan Charpy

Kerja yang dilakukan untuk mematahkan benda kerja adalah

$$W = G \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

W = kerja patah dalam Joule

G = beban yang digunakan dalam kg

L = panjang lengan ayun dalam m

β = sudut jatuh dalam derajat

α = sudut awal dalam derajat

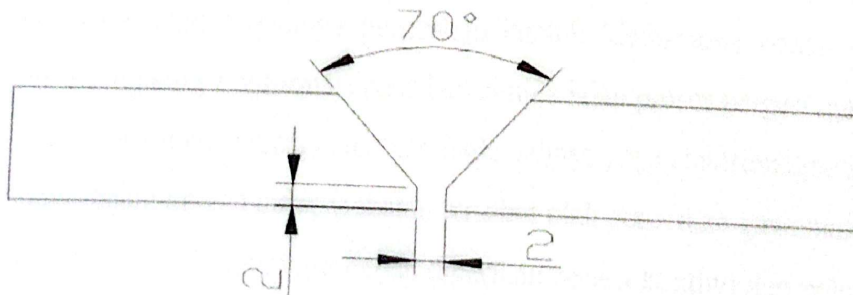
Bila diketahui luas penampang di bawah takikan (A)....mm², dapat disimpulkan perolehan nilai ketangguhan batang uji dapat dihitung menggunakan persamaan (4):

$$\text{Nilai Ketangguhan} = \frac{\text{Kerja Patah (W)}}{\text{Penampang di bawah takikan (A)}} \quad \text{Joule / mm}^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

Geoege E.Dieter,sriati Djaprie.Metalurgi mekanik I.Erlangga Jakarta 1993

2.9. Kampuh V

Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-15 mm. Sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan sambungan kampuh V tertutup. Sambungan kampuh V terbuka dipergunakan untuk menyambung plat dengan ketebalan 6-15 mm dengan sudut kampuh antara 60°-80°, jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm (Supardi, 1996).



Gambar 2. 8 Kampuh V (Supardi, 1996)

2.10. Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi adalah pengujian yang dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang terkandung dalam bahan. Pada umumnya Baja Paduan Rendah (SA-516 gr 70) memiliki unsur unsur kimia seperti C (0.10%–0.20 %), Mn (0.30% – 0.80%), P (0.025%), S (0.025%), Si (0.10%-0.50%), Cr (-%), Mo (0.44% - 0.65%).

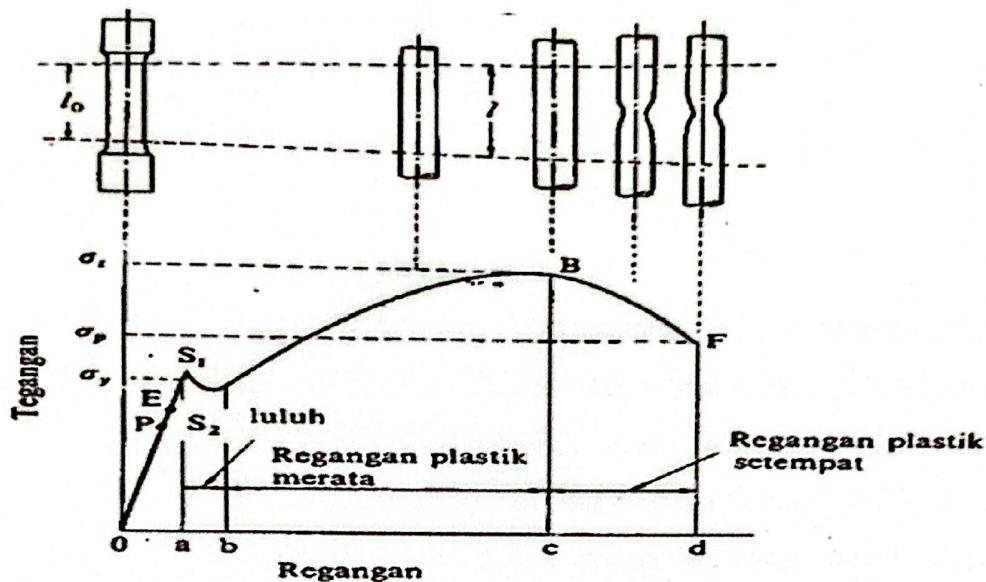
Proses pengujian komposisi secara umum berlangsung dengan pembakaran bahan menggunakan elektroda dimana terjadi suhu rekristalisasi, dari suhu rekristalisasi terjadi penguraian unsur yang masing-masing berbeda warnanya. Penentuan kadar (%) berdasar sensor perbedaan warna pada alat uji. Proses pembakaran elektroda ini sekitar kurang lebih 3 detik. Pengujian komposisi ini dilakukan untuk menentukan jenis bahan yang digunakan dengan melihat persentase unsur yang ada dan proses pengujian komposisi ini bergantung juga terhadap mesin yang dipakai.

2.11. Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *raw materials*. Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. Pembebanan Tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda.

Menurut Wiryosumarto, 2000 penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) bahan tersebut. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepas ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum.

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-regangan.



Gambar 2. 9 Kurva tegangan-regangan (Wiryosumarto, 2000)

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-regangan.

Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula benda uji dan dapat dihitung menggunakan persamaan (5)

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

σ_u = Tegangan nominal (kg/mm²)

F_u = Beban maksimal (kg)

A_0 = Luas penampang mula dari penampang batang (mm²)

Regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula-mula benda uji dan dapat dihitung menggunakan persamaan (6).

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

ϵ = Regangan (%)

L = Panjang akhir (mm)

L_o = Panjang awal (mm)

Pembebanan tarik dilakukan terus-menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan dan akan mengakibatkan kepatahan pada beban. Berdasarkan Supardi, E., 1996, & Wiryosumarto, 2000, untuk persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan persamaan rumus (7):

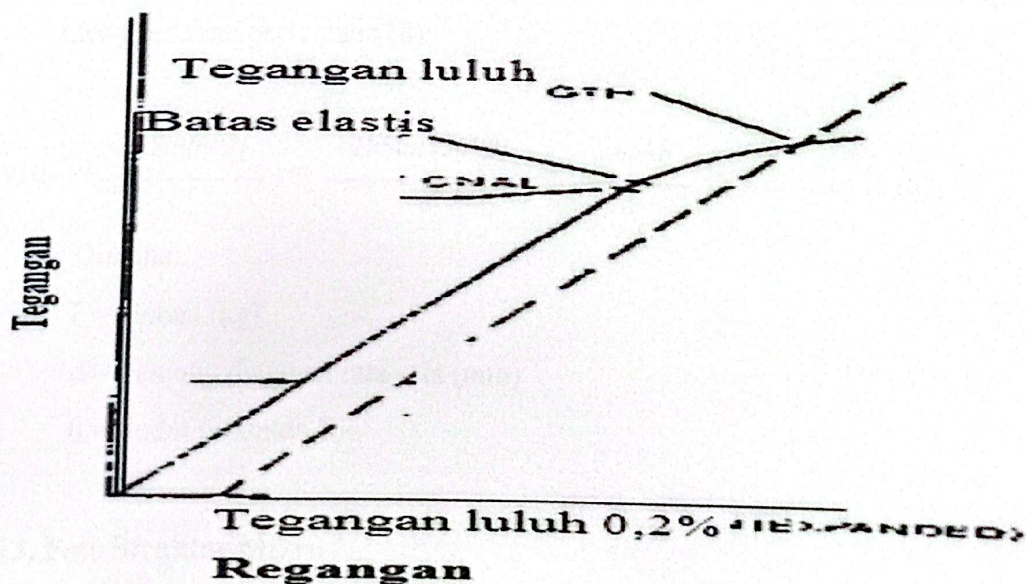
$$q = \frac{\Delta A}{A_o} \times 100\% = \frac{A_o - A_1}{A_o} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

q = Reduksi penampang (%)

A_o = Luas penampang mula (mm^2)

A_1 = Luas penampang akhir (mm^2)



Gambar 2. 10 Batas Elastis dan Tegangan luluh 0,2 %

2.12 Pengujian Kekerasan

Proses pengujian logam kekerasan logam dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya pembebanan yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan.

Pengujian kekerasan logam ini secara garis besar ada 3 jenis yaitu cara goresan, penekanan, cara dinamik. Proses pengujian yang mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan yaitu penekanan. Penentuan kekerasan penekanan ada 3 cara yaitu *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell*. Pada penelitian ini digunakan cara mikro *Vickers* dengan menggunakan penekan berbentuk piramida intan. Besar sudut antara permukaan piramida yang saling berhadapan 136° . Pada pengujian ini bahan ditekan dengan gaya tertentu dan terjadi cetakan pada bahan uji dari intan.

Pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan, karena menggunakan bentuk piramida intan. Nilai kekerasannya disebut dengan kekerasan HV atau VHN (*Vickers Hardness Number*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan bekas penekanan dan dapat dihitung menggunakan persamaan (8):

$$VHN = \frac{2F \sin(\theta/2)}{d^2} = \frac{2F \sin(136^{\circ}/2)}{d^2} = \frac{1,854F}{d^2} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

F = Beban (kg)

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut piramida 136°

2.13. Foto Struktur Mikro

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro. Penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya. Persiapan yang dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah pengefraisan spesimen, pengampelasan, pemolesan dan pengetsaan. Setelah

dipilih, bahan uji diratakan kedua permukaannya dengan menggunakan mesin frais, dalam pendinginan harus selalu terjaga agar tidak timbul panas yang mempengaruhi struktur mikro. Setelah rata digosok dengan menggunakan ampelas mulai dari yang kasar sampai yang halus. Arah pengampelasan tiap tahap harus diubah, pengampelasan yang lama dan penuh kecermatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. Bahan yang halus dan rata itu diberi autosol untuk membersihkan noda yang menempel pada bahan. Langkah terakhir sebelum dilihat struktur mikro adalah dengan mencelupkan spesimen kedalam larutan etsa dengan penjepit tahan karat dan permukaan menghadap keatas. Kemudian spesimen dicuci, dikeringkan dan dilihat struktur mikronya.