

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri telah mendorong peningkatan dalam permintaan terhadap penyambungan logam berbeda jenis yang semakin banyak dan disesuaikan dengan kebutuhan untuk memenuhi keperluan aplikasi baru. Industri pembuatan pesawat terbang, perkapalan, mobil dan industri pengangkutan merupakan contoh industri yang sekarang mengaplikasikan bahan-bahan berbeda jenis dan tipe dalam proses penyambungan pengelasan yang memiliki sifat tahan karat, kuat, tahan terhadap keausan dan fatigue serta ekonomis sebagai bahan baku industrinya. Hal ini mendorong pengembangan teknologi proses pengelasan dengan penyambungan berbeda jenis logam.

Dalam dunia konstruksi, pengelasan sering digunakan untuk perbaikan dan pemeliharaan dari semua alat-alat yang terbuat dari logam, baik sebagai proses penambalan retak-retak, penyambungan sementara, maupun pemotongan bagian-bagian logam.

Dalam konstruksi las selalu digunakan logam las yang mempunyai kekuatan dan keuletan yang lebih baik atau paling tidak sama dengan logam induk. Tetapi karena proses pengelasan, maka kekuatan dan keuletan logam dapat berubah. Dalam hal logam las sifat ini dipengaruhi keadaan, cara dan prosedur pengelasan.

Dalam melakukan proses pengelasan welder disarankan untuk memperhatikan keadaan elektroda, di mana elektroda las sangat sensitif terhadap kondisi udara dalam ruang las. Elektroda yang akan digunakan dalam proses pengelasan perlu disimpan di tempat yang kering, tidak berminyak, terhindar dari debu dan elektroda ditumpuk dengan hati-hati, dikarenakan kerusakan pada elektroda dapat mengakibatkan senyawa yang dikandung dalam fluks mudah bereaksi dengan gas dalam udara. Terperangkapnya gas dari uap air dalam hasil pengelasan kerap membuat adanya cacat yang menyebabkan kekuatan mekanik menurun.

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukar penyalakan busur listrik. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Dari hubungan arus las terhadap hasil las dan sifat kemampuan kekerasan telah didapat parameter arus yang terbaik adalah sebesar 75 % yang diizinkan.

Salah satu masalah yang timbul dalam penggunaan elektroda las ialah mendapatkan sensitivitas terhadap retak las yang rendah. Retak las terjadi dengan mudah pada baja karbon sedang, karena cenderung mempunyai rambatan untuk retak yang disebabkan oleh hidrogen, sehingga perlu digunakan elektroda las dengan kandungan hidrogen rendah. Untuk alasan ini, AWS menyediakan nilai kandungan hidrogen yang rendah, untuk pembentukan logam las yang kekuatan mekaniknya tinggi.

Dalam penelitian ini perlu diketahui pengaruh variasi elektroda jenis terhadap uji tarik pengelasan SMAW pada baja AISI SS 201.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian diatas, maka perumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Bagaimana pengaruh penggunaan elektroda E-6010 dan E-6013 terhadap hasil uji kekuatan tarik pada logam baja AISI SS201 dengan metode pengelasan SMAW ?

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini sistematis maka ruang lingkup permasalahan perlu dibatasi guna menghindari penambahan masalah yang melebar dan tidak terarah pada permasalahan utama maka perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut:

1. Bahan Logam yang dipakai adalah baja paduan jenis Baja AISI SS 201
2. Dengan menggunakan Elektroda E 6010 dan E 6013 dengan diameter elektroda  $\varnothing$  2.6 mm.
3. Proses pengelasan menggunakan Shilded Medtal Arc Welding (SMAW) dengan arus 90 amp.
4. Pengujian yang diberikan Uji Tarik

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah :

Mengetahui pengaruh penggunaan elektroda E 6010 dan E 6013 terhadap hasil uji kekuatan Tarik pada logam baja AISI SS 201 dengan metode pengelasan SMAW.

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Baja**

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Baja karbon rendah Baja karbon rendah (low carbon steel) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Amanto, 1999).
2. Baja karbon menengah Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%C – 0,6%C (medium carbon steel) dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (heat treatment) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah (Amanto, 1999).

3. Baja karbon tinggi Baja karbon tinggi mengandung 0,6%C – 1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas. (Amanto,1999)

## **2.2 Baja AISI SS 201**

Baja tahan karat adalah paduan berbasis besi. Dari berbagai jenis baja tahan karat, baja tahan karat jenis austenitik merupakan jenis baja tahan karat yang paling umum digunakan dalam industri. Secara umum austenitik mempunyai komposisi kimia paling sedikit 16 % Chromium dan 6 % Nikel. Austenitik terdiri dari dua tipe yaitu tipe 200 dan tipe 300. Baja tahan karat austenitik seri SS 304 memiliki komposisi Cr dan Ni lebih tinggi dibandingkan dengan SS 201, dimana pada SS 201 komposisi Ni dikompensasi dengan unsur Mn dan tambahan nitrogen. SS 201 bersifat non magnetik pada kondisi anneal dan menjadi magnetik pada pengerjaan dingin (cold worked). Tipe seri SS yang masuk dalam kategori austenitic, yaitu seri SS 300 dan seri SS 200. Perbedaan seri ini dipengaruhi oleh perbedaan komposisi metalurginya, yang akhirnya karakteristiknya pun ikut berbeda pula. Seri SS 300 lebih tahan karat jika dibandingkan seri SS 200. Namun, seri SS 200 memiliki harga yang lebih murah saat dibandingkan dengan tipe SS 300.(Buku dari S. Widharto)

### **2.3 Pengelasan (Welding)**

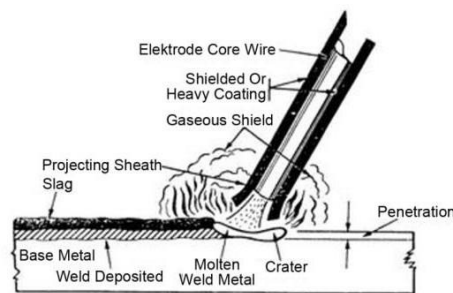
Pengelasan (Welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Pengelasan atau Welding didefinisikan oleh DIN (Deutsche Industrie Normen) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antar logam. Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (Filler Metal) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya. Kebutuhan las yang semakin berkembang berbanding lurus dengan perkembangan pada pengelasan, misalnya pada metode pengelasan. Metode pengelasan yang ada sekarang ini sudah mengalami perkembangan. Dijabarkan tentang berbagai macam las dan tahun penemuannya menurut (Alip, 1989).

### **2.4. SMAW (Las Shielded Metal Arc Welding)**

Proses pengelasan (welding) merupakan salah satu proses penyambungan material (material joining). Adapun untuk definisi dari proses pengelasan yang mengacu pada AWS (American Welding Society), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai

pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing. Proses pengelasan dibedakan menjadi beberapa jenis, dan SMAW merupakan salah satu proses pengelasan yang umum digunakan, utamanya pada pengelasan singkat dalam produksi, pemeliharaan dan perbaikan, dan untuk bidang konstruksi.

SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik antara penutup metal (elektroda).



Gambar 2.1 Proses Pencairan Elektroda

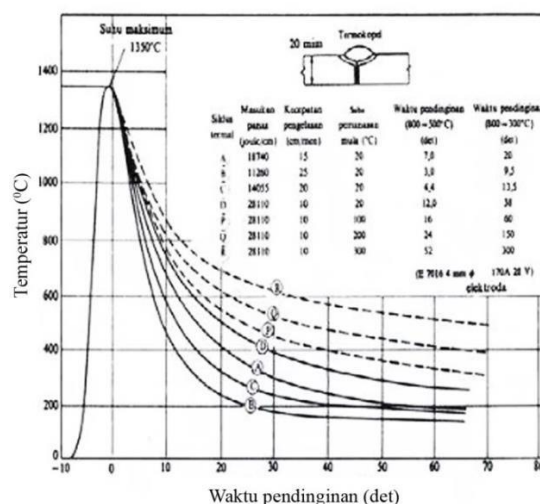
## 2.5 Siklus Termal Daerah Las

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa inggrisnya adalah “Heat Affected Zone” dan disingkat menjadi daerah HAZ, dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam

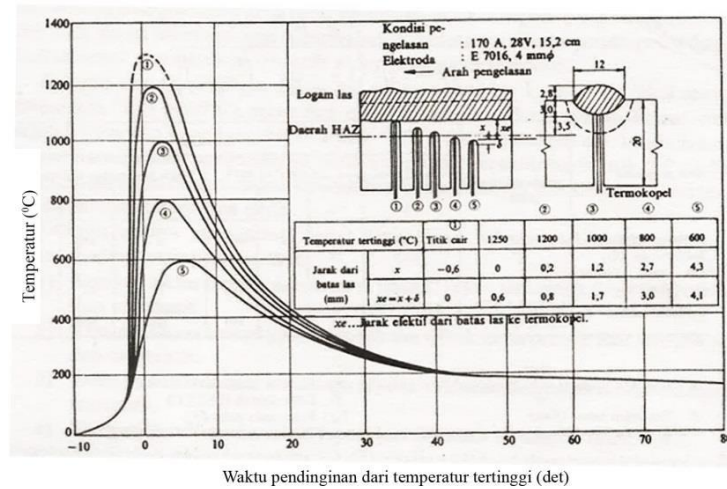


induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih terdapat satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las. Dalam membahas siklus termal daerah lasan hal-hal yang perlu dibahas meliputi proses pembekuan, reaksi yang terjadi dan struktur mikro yang terbentuk yang masing-masing yang dibahas tersendiri.

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. Pendekatan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk rumus empiris. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan retak dingin, di mana hidrogen memegang peranan penting, terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  sampai  $300^{\circ}\text{C}$  atau  $100^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 2.2 Siklus Termal Dalam Las Busur Tangan



Gambar 2.3 Siklus Thermal Las Pada Beberapa Jarak Dari Batas Las

Tabel 2.1 Perkiraan Waktu Pendinginan Pada Beberapa Cara Las Busur

Cara pengelasan	Indeks masukan panas n	Konstanta							
		Waktu pendinginan dari 800°C ke 500°C				Waktu pendinginan dari 800°C ke 300°C			
		K	t <sub>0</sub>	α	T	K	t <sub>0</sub>	α	T
Las busur terbungkus	1,5	1,35	14,6	6	600	2	14,6	4,5	400
Las busur gas CO <sub>2</sub>	1,7	1/2,9	13	3,5	600	1/2,5	14	5	400
Las busur dengan kawat berisi fluks.	1,35	—	—	—	600	11	14	5	400
Las busur randam	(t < 32) 2,5 - 0,05t (t ≥ 32) 0,95	9,5/10 <sup>5-0,22t</sup> 950	12	3	600	7,3/10 <sup>5-0,22t</sup> 730	20	7	400

J: Masukan panas =  $\frac{60EI}{V}$  (Joule/cm)  
 E: Tegangan busur (Volt)  
 I: Arus Las (Amper)

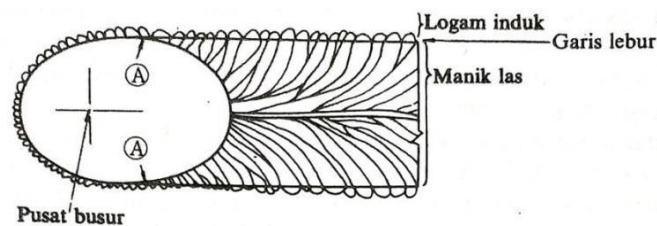
V: Laju las (cm/men)  
 T: Suhu daerah HAZ (°C)  
 T<sub>0</sub>: Suhu mula pelat (°C)  
 t: Tebal pelat (mm)

### Pembekuan Dan Struktur Logam Las

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segregasi, lubang halus dan retak. Banyaknya dan macam cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan. Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaannya adalah :

1. Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi.
2. Sumber panas dalam las bergerak terus.
3. Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus.
4. Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.

Dalam Gambar 2.3 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dala logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turur mencair dan selama proses pembekua logam las tumbuh butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.



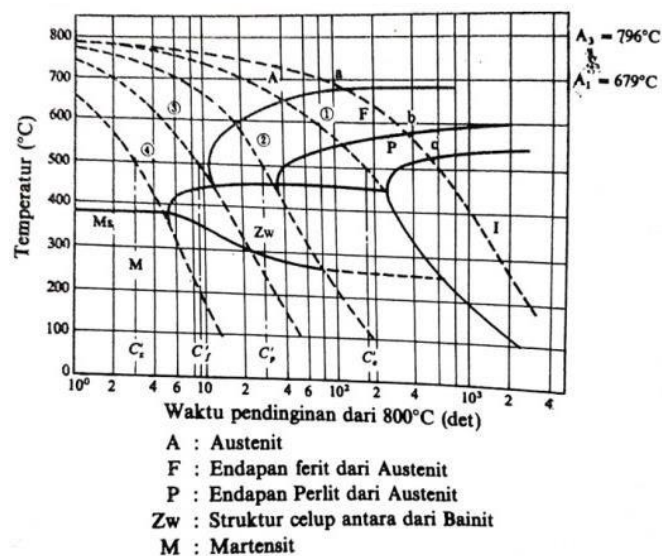
Gambar 2.4 Arah Pembekuan Dari Logam Las

#### Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau

diagram CCT. Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur menentukan prosedur dan cara pengelasan.

Suatu contoh dari diagram CCT ditunjukkan dalam gambar 2.4 . Disini ditunjukkan hubungan antara suhu mula dan suhu akhir transformasi dengan lama pendinginan dari 800°C (garis tebal), untuk baja kuat 55 kg/mm<sup>2</sup> yang dipanaskan dengan cepat ke temperatur 1300°C dan kemudian didinginkan dengan bermacam-macam kecepatan pendinginan. Garis putus menunjukkan beberapa contoh siklus termal las, yang bila digabungkan dengan garis tebal dari diagram CCT dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai untuk meramalkan struktur akhir yang akan terbentuk.



Gambar 2.5 Diagram CCT Pada Pengelasan Baja Kekuatan BJ55

Sebagai contoh dalam hal siklus termal las 1, bila baja telah mendingin sampai titik “a” ( $\pm 680^{\circ}\text{C}$ ), maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Transformasi ini berjalan terus dan baru berakhir bila titik “b” ( $\pm 590^{\circ}\text{C}$ ) dicapai

dan kemudian diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang akan berakhir pada titik “c” ( $\pm 520^{\circ}\text{C}$ ). Dari pembahasan di atas dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan struktur yang terbentuk adalah ferit dan perlit.

Dengan analisa yang sama, dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur seperti berikut :

1. Dengan siklus termal las antara (1) dan (2) akan terbentuk ferit, struktur antara dan martensit.
2. Dengan siklus termal las antara (2) dan (3) akan terbentuk ferit struktur antara dan martensit.
3. Dengan siklus termal las antara (3) dan (4) akan terbentuk struktur antara dan martensit.
4. Dengan pendinginan lebih cepat dari (4) akan terbentuk martensit.

Karakteristik dari siklus termal las (1), (2), (3) dan (4) ini dalam bentuk lamanya waktu pendinginan dari temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  ke  $500^{\circ}\text{C}$  masing-masing adalah 200 detik (ditunjukkan oleh  $C'e$  dalam diagram), 32 detik ( $C'p$ ), 9,6 detik ( $C'f$ ) dan 3 detik ( $C'g$ ).

Biasanya diagram transformasi pendinginan berlanjut menunjukkan juga kekerasan yang dimiliki oleh baja setelah mendingin mengikuti suatu siklus termal tertentu. Karena itu dengan mengukur waktu pendingin dari  $800^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$  dan menggabungkan dengan diagram CCT dari baja yang sama, maka struktur dan kekerasan baja pada daerah HAZ sudah dapat ditentukan.

Diagram transformasi pendinginan berlanjut untuk baja kekuatan 80 kg/mm<sup>2</sup> ditunjukkan pada gambar 2.5 di dalam gambar (b) ditunjukkan hubungan antara prosentase struktur dan kekerasan baja yang dapat dengan melalui beberapa

macam waktu pendinginan (dari 787<sup>0</sup>C sampai 500<sup>0</sup>C) seperti yang terlihat pada gambar (a). Diagram semacam ini memungkinkan untuk mengetahui kecepatan terbentuknya struktur, kekerasan dan lain sebagainya, yang terjadi karena pengelasan.

Diagram transformasi pendinginan berlanjut dapat berubah karena dapat berubah karena berubahnya temperatur maksimum yang terjadi. pada umumnya bila temperatur maksimum naik, kurva-kurva yang menunjukkan terjadinya struktur-struktur tertentu di dalam diagram bergerak ke kanan yang mengarah pada pemantapan pembentukan martensit. bila ini terjadi jelas bahwa hasil pengelasan menjadi lebih keras.

#### Ketangguhan Dan Penggetasan Pada Daerah HAZ

Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai 2000 m/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat sekali. Dalam hal sambungan las , patah getas ini menjadi lebih penting lagi karena adanya faktor-faktor yang membantu seperti : konsentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai dan adanya cacat dalam lasan. berhubung dengan hal ini maka dalam usaha mempertinggi keamanan las, perlu adanya penilaian ketahanan daerah las terhadap patah getas.

##### 1. Pengujian Ketangguhan Dari Daerah Las

Untuk menilai ketahanan daerah las terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas, seperti kecepatan regang, takik, tebal plat, tegangan

sis, konsentrasi tegangan dan regangan dan lain sebagainya. Untuk menampung hal-hal dinamik ini perlu pengujian dengan skala besar, baik dalam jumlah maupun dalam dimensi. Tetapi dipandang dari sudut ekonomi hal ini tidak mungkin dilakukan, karena itu dibuat pengujian skala kecil yang distandarkan yang disebut pengujian takik. Temperatur transisi dan kriteria pengujian takik ditunjukkan dalam Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Suhu Transisi Dan Kriteria Patahan

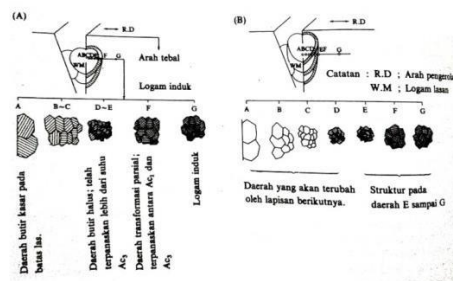
Perkiraan suhu transisi patahan getas	Berdasarkan energi yang diserap	1) Suhu di mana energi yang diserap sampai patah atau energi yang diserap setelah beban maksimum terlampaui mencapai $\frac{1}{2}$ dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan minimum. 2) Suhu di mana terjadi gradien energi yang tertinggi.
	Berdasarkan penampakan patahan	1) Suhu di mana luas patahan butir atau patahan getas mencapai $\frac{1}{2}$ dari luas penampang semula. 2) Suhu di mana ujung patahan serat atau patahan ulet mencapai $\frac{1}{2}$ dari seluruh permukaan patah.
Perkiraan suhu transisi patahan ulet	Berdasarkan energi yang diserap	1) Suhu di mana energi yang diserap sebelum beban maksimum terlampaui mencapai $\frac{1}{2}$ dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan yang minimum. 2) Suhu di mana terjadi gradien energi yang tertinggi 3) Suhu di mana energi yang terserap mencapai harga tertentu, misalnya dalam uji Charpy 10 ft-lb ( $T_{10}$ ) atau 15 ft-lb ( $T_{15}$ ).
	Berdasarkan ketangguhan	1) Suhu di mana sudut tekuk pada beban maksimum turun dengan mendadak. 2) Suhu di mana laju kontraksi patahan pada dasar takik menurun atau mencapai harga prosentase tertentu, misalnya 2%.
	Berdasarkan kekuatan	Suhu di mana kekuatan luluh sama dengan kekuatan tertinggi
	Berdasarkan penampakan patahan	Suhu di mana patahan serat atau patahan ulet mulai terjadi atau mencapai suatu prosentase tertentu (rendah) terhadap seluruh luas permukaan patahan.

## 2. Ketangguhan Dan Penggetasan Batas Las

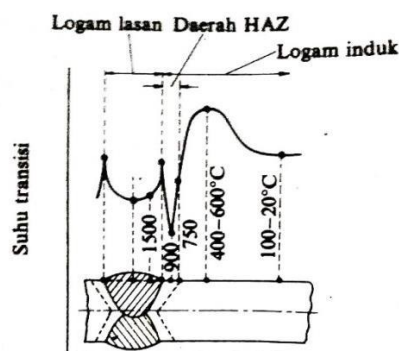
Struktur logam pada daerah pengaruh panas atau HAZ berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, seperti yang terlihat dalam Gambar 2.6. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya

tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini dinamakan batas las.

Di dalam daerah pengaruh panas, besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Karena siklus termal yang terjadi sangat rumit maka dengan sendirinya perubahan ketangguhannya juga sangat rumit. Pada daerah batas las dimana butir-butir nya sangat kasar logam menjadi sangat getas dan disebut penggetasan batas las. Pada batas las ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las dan lain sebagainya. Kegetasan dari batas las ini, disamping disebabkan oleh butir-butir yang kasar, mungkin juga karena cacat-cacat las atau titik-titik pusat konsentrasi tegangan pada batas las merupakan usaha yang sangat penting dalam menjamin ketangguhan sambungan las.



Gambar 2.6 Skema Struktur Mikro Daerah HAZ



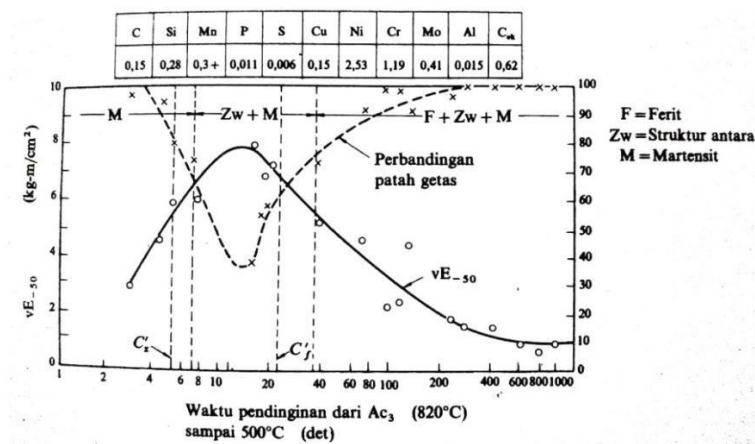
Gambar 2.7 Perubahan Temperatur Transisi Pada Lasan



Ketangguhan yang terjadi tergantung pada suhu pemanasan maksimum dan kecepatan pendinginan dari 800°C sampai 500°C. Berdasarkan pada kecepatan pendinginan, perubahan struktur yang terjadi sebagai berikut :

Martensit → bainit bawaan → bainit atas → ferit + perlit

Bila didingin-cepatkan atau dicelup bainit bawah dan bainit atas akan membentuk struktur antara (Zw).



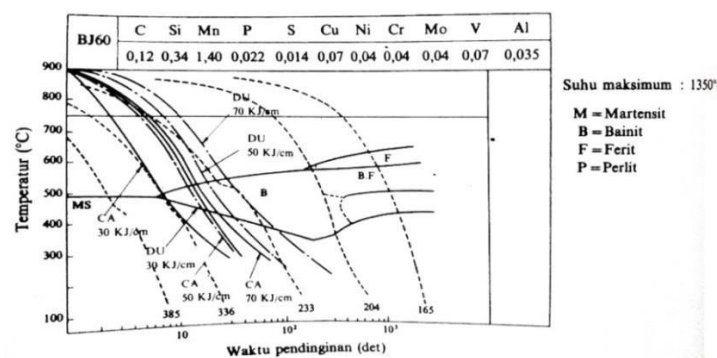
Gambar 2.8 Hubungan Antara Waktu Pendinginan, Struktur Mikro dan Kekuatan Tumbuk pada Daerah HAZ

Ketangguhan yang paling baik didapat bila terbentuk struktur ganda dari martensit dan bainit bawah. Sedangkan bila terjadi bainit atas dan ferit kasar ketangguhan baja menjadi sangat rendah. Perubahan struktur diatas disebabkan oleh perbedaan sifat mampu keras baja yang disebabkan karena adanya perbedaan komposisi kimia dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, pemanasan mula, tebal pelat dan lain sebagainya. Semua faktor tersebut merubah besarnya penggetasan batas las secara rumit sekali. Untuk menjelaskan terjadinya perubahan struktur ini biasanya digunakan diagram CCT. Disamping hal di atas

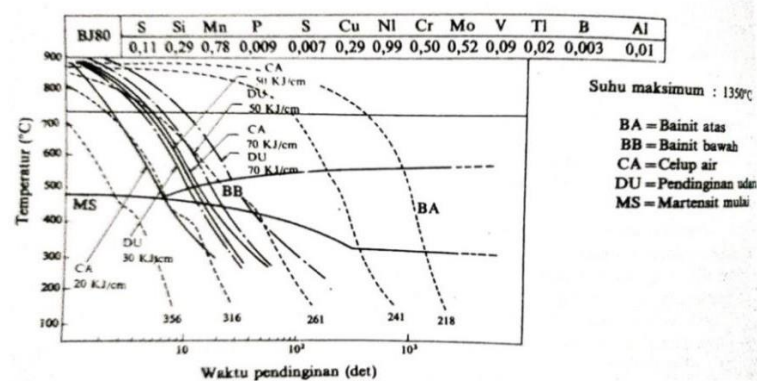
juga dikembangkan usaha pembuatan pelat baja yang mempunyai penggetasan batas las sekecil-kecilnya dengan mengatur komposisi kimia.

### 3. Pengaruh Komposisi Kimia Dan Masukan Panas Las Terhadap Penggetasan Batas Las.

Penggetasan batas las disebabkan oleh tumbuhnya kristal menjadi butir-butir kasar atau karena terbentuknya struktur bainit atas. Karena itu dalam hal ini sangat penting untuk menjalankan hubungan antara ketangguhan batas las, komposisi kimia logam induk dan kecepatan pendinginan.



(a)

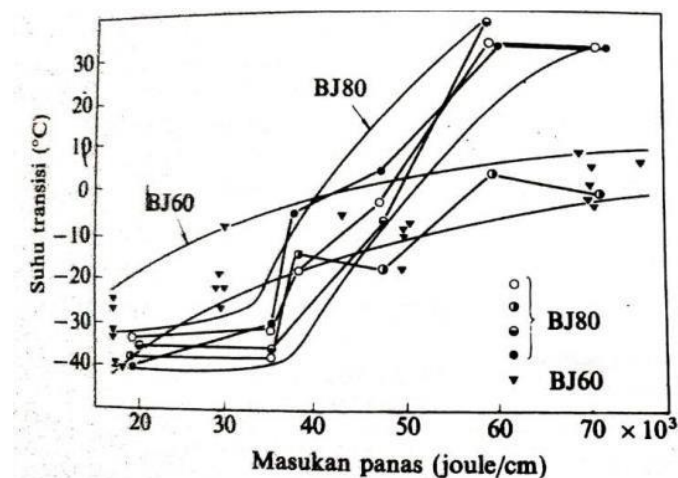


(b)

Gambar 2.9 (a) Diagram CCT untuk Baja BJ60 dan (b) BJ80

Pada baja kekuatan 80 kg/mm<sup>2</sup>, tingkat kegetasan yang terjadi karena perubahan masukan panas lebih besar bila dibandingkan dengan baja kekuatan 60 kg/mm<sup>2</sup>. Dalam hal baja kekuatan 80 kg/mm<sup>2</sup>, karena banyaknya macam dan tingginya kadar unsur paduan, maka pada pendinginan cepat, baja akan menjadi keras tetapi tangguh karena terbentuknya struktur martensit dan bainit bawah pada batas las. Sebaliknya pada kecepatan pendinginan rendah akan terbentuk struktur bainit atas yang akan mengurangi ketangguhan dari batas las.

Bila terbentuk struktur bainit atas, maka akan terbentuk butir-butir martensit karbon tinggi yang sangat getas di antara bainit atas. Kalau hal ini terjadi ketangguhan batas las akan lebih rendah lagi bila dibandingkan terbentuknya struktur ferit-perlit. Dalam hal baja kekuatan 80 kg/mm<sup>2</sup>, karena mengandung banyak unsur paduan dengan kadar yang tinggi, maka kemungkinan terbentuknya bainit atas sangat besar, sehingga dengan kecepatan pendinginan yang rendah tingkat kegetasannya lebih tinggi dari pada baja dengan kadar unsur paduan yang rendah



Gambar 2.10 Pengaruh Masukan Panas Pada Sifat Tumbuk

## Ketangguhan Logam Las

Tidak perlu dijelaskan lagi bahwa ketangguhan logam las juga tergantung dari strukturnya seperti halnya pada logam induk dan pada batas las. Hanya saja logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain.

Komposisi logam las sudah barang tentu tergantung dari proses pengelasan yang digunakan, tetapi dapat diperkirakan bahwa komposisinya akan terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan. Karena itu dalam menganalisa ketangguhan logam las harus diperhatikan pengaruh unsur lain yang terserap selama proses pengelasan, terutama oksigen, dan pengaruh dari strukturnya sendiri.

### 1. Pengaruh Oksigen

Pada waktu logam las masih cair, oksigen dihalangi oleh terak dan gas pelindung yang terbentuk oleh bahan pembungkus elektroda. Tetapi walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam las cair tidak dapat dihalangi sepenuhnya, sehingga logam las mengandung lebih banyak oksigen bila dibandingkan dengan logam induk, sehingga terjadi perbedaan keuletan antara keduanya. Pada umumnya oksigen akan membentuk butiran oksida dalam logam las dan menurunkan kekuatan tumbuk Charpy. Sama halnya seperti oksigen, nitrogen diperkirakan juga banyak terserap ke dalam logam las dan ini pun menyebabkan berkurangnya ketangguhan.

Pada umumnya, dalam las busur gas, banyaknya oksigen yang diserap tergantung dari macam gas pelindungnya. Dalam las dengan pelindung gas argon,

kadar oksigen yang terserap sangat rendah, sedangkan dalam pelindung CO<sub>2</sub>, oksigen yang terserap lebih tinggi. Dalam pengelasan manual dan pengelasan busur rendam, kandungan oksigen dalam logam las sangat tergantung dari bahan selubung dan kebiasaan dari fluks.

## 2. Pengaruh Struktur

Pengaruh struktur logam las terhadap ketangguhan pada dasarnya sama saja seperti pada batas las. Tetapi karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair dan kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen. Jadi jelas bahwa kecuali terjadinya pemisahan, pengaruh struktur terhadap batas las yaitu struktur bainit atas dan ferit kasar menurunkan ketangguhan dan struktur bainit bawah dan martensit mempertinggi ketangguhan.

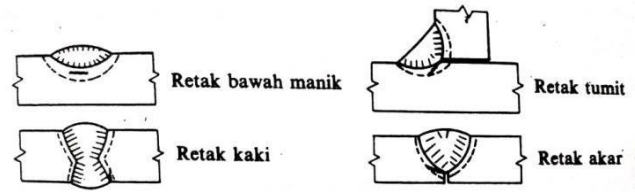
### 2.6 Retak Pada Daerah Las

#### Jenis Retak Las

Retak las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok retak dingin dan kelompok retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi di daerah las pada suhu di bawah suhu transformasi martensit(Ms) yang tingginya kira-kira 300<sup>0</sup>C, sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada suhu di atas 550<sup>0</sup>C.

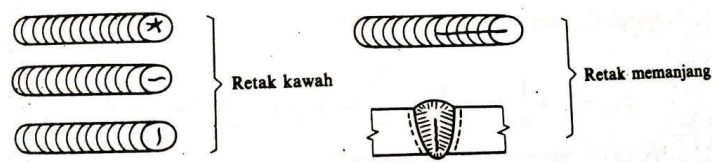
Retak dingin dapat terjadi tidak hanya pada daerah HAZ, tetapi juga pada logam las. Retak dingin daerah pengaruh panas yang sering terjadi dapat dilihat dalam gambar 2.11. Retak dingin utama pada daerah ini adalah retak bawah

manik las, retak akar dan retak kaki. Sedangkan retak dingin pada logam las biasanya adalah retak memanjang dan retak melintang.

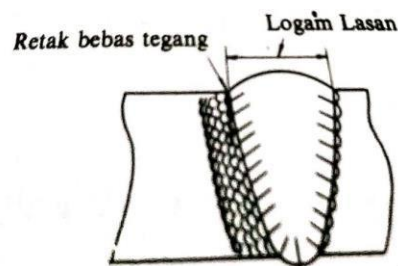


Gambar 2.11 Retak Dingin

Retak panas dibagi menjadi dalam dua kelas yaitu retak karena pembebanan tegangan pada daerah pengaruh panas yang terjadi pada suhu antara  $550^{\circ}\text{C}$ - $700^{\circ}\text{C}$  dan retak yang terjadi pada suhu di atas  $900^{\circ}\text{C}$  yang terjadi pada peristiwa pembekuan logam las. Retak panas yang sering terjadi pada logam las karena pembekuan biasanya berbentuk retak kawah, dan retak memanjang. Pada pengelasan baja tahan karat austenit, biasanya terjadi retak panas di daerah HAZ dan logam las. Retak panas karena pembebasan tegangan pada umumnya terjadi pada daerah kaki di dalam daerah pengaruh panas.



Gambar 2.12 Retak Panas



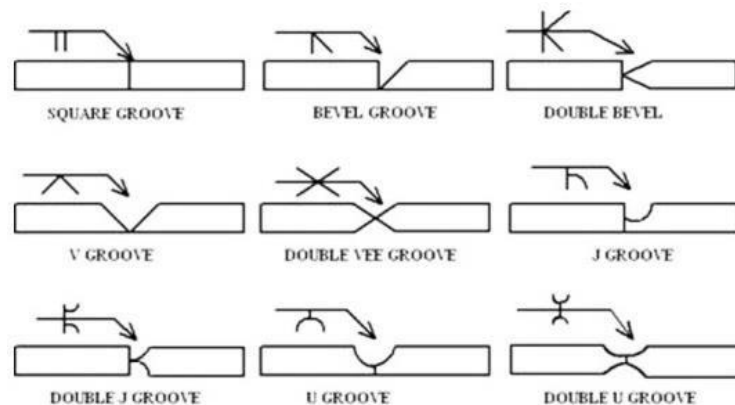
Gambar 2.13 Skema Retak Bebas Tegang

## 2.7 Jenis Sambungan Las

Jenis Sambungan Pengelasan adalah tipe sambungan material atau plat yang digunakan untuk proses pengelasan. Jenis sambungan las mempunyai beberapa macam yang menjadi jenis sambungan utama yaitu Butt Joint, Fillet (T) Joint, Corner Joint, Lap Joint dan Edge Joint.

### 1. Butt Joint

Sambungan butt joint adalah jenis sambungan tumpul, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau groove yaitu V groove (kampuh V), single bevel, J groove, U Groove, Square Groove untuk melihat *macam macam kampuh las* lebih detail silahkan lihat gambar berikut ini.

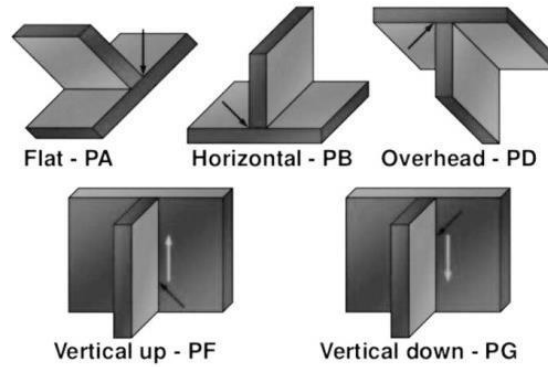


Gambar 2.14 Macam-macam Bentuk Kapuh Pada Butt Joint

### 2. T (Fillet) Joint

T Joint adalah jenis sambungan yang berbentuk seperti huruf T, tipe sambungan ini banyak diaplikasikan untuk pembuatan konstruksi atap, konveyor dan jenis konstruksi lainnya. Untuk tipe groove juga terkadang digunakan untuk sambungan fillet adalah double bevel, namun hal tersebut sangat jarang kecuali

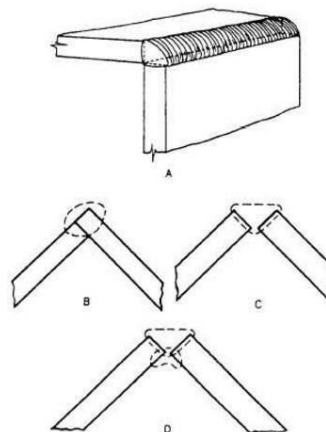
pelat atau materialnya sangat tebal. Berikut ini gambar sambungan T pada pengelasan.



Gambar 2.15 Macam-macam Sambungan T (Fillet) joint

### 3. Corner Joint

Corner Joint mempunyai desain sambungan yang hampir sama dengan T Joint, namun yang membedakannya adalah letak dari materialnya. Pada sambungan ini materialnya yang disambung adalah bagian ujung dengan ujung. Ada dua jenis corner joint, yaitu close dan open. Untuk detailnya silahkan lihat pada gambar di bawah ini.

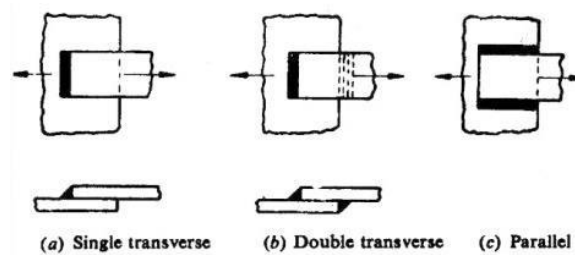


Gambar 2.16 Sambungan Corner Joint



#### 4. Lap Joint

Tipe sambungan las yang sering digunakan untuk pengelasan spot atau seam. Karena materialnya ini ditumpuk atau disusun sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada bagian body kereta dan cenderung untuk plat plat tipis. Jika menggunakan proses las SMAW, GMAW atau FCAW pengelasannya sama dengan sambungan fillet.



Gambar 2.17 Macam-Macam Sambungan Lap Joint

## 2.8 Elektroda

### Jenis Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang dilalui arus listrik dari satu media ke yang lain, biasanya dari sumber listrik ke perangkat atau bahan. Elektroda dapat mengambil beberapa bentuk yang berbeda, termasuk kawat, piring, atau tongkat, dan yang paling sering terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi juga dapat dibuat dari bahan konduktor listrik nonlogam, seperti grafit. Elektroda yang digunakan dalam pengelasan, listrik, baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis. Berikut adalah macam-macam dari elektroda :

## 1. Elektroda Berselaput

Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan fluksi pada kawat inti dapat dengan cara destruksi, semprot atau celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput fluksi pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya dengan persentase yang berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda.

Tebal selaput elektroda berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas  $\text{CO}_2$  yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung  $\text{O}_2$  dan  $\text{N}$  akan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas.

## 2. Klasifikasi Elektroda

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (American Welding Society) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai berikut :

E : menyatakan elektroda busur listrik

XX (dua angka) : sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan  $\text{lb/in}^2$  lihat table.

X (angka ketiga) : menyatakan posisi pengelasan.

Angka 1 untuk pengelasan segala posisi angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan

X (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan lihat table.

Contoh : E 6013 Artinya:

Kekuatan tarik minimum dan deposit las adalah 60.000 Ib/in<sup>2</sup> atau 42 kg/mm<sup>2</sup>

Dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi

Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC + atau DC –

### 3. Elektroda Baja Lunak

Dan bermacam-macam jenis elektroda baja lunak perbedaannya hanyalah pada jenis selaputnya. Sedangkan kawat intinya sama, berikut macam-macam elektroda baja lunak :

#### 1. E 6010 dan E 6011

Elektroda ini adalah jenis elektroda selaput selulosa yang dapat dipakai untuk pengelesan dengan penembusan yang dalam. Pengelasan dapat pada segala posisi dan terak yang tipis dapat dengan mudah dibersihkan.

#### 2. E 6012 dan E 6013

Kedua elektroda ini termasuk jenis selaput rutil yang dapat menghasilkan penembusan sedang. Keduanya dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi, tetapi kebanyakan jenis E 6013 sangat baik untuk posisi pengelesan tegak arah ke bawah.

## 3. E 6020

Elektroda jenis ini dapat menghasilkan penembusan las sedang dan teraknya mudah dilepas dari lapisan las. Selaput elektroda terutama mengandung oksida besi dan mangan.

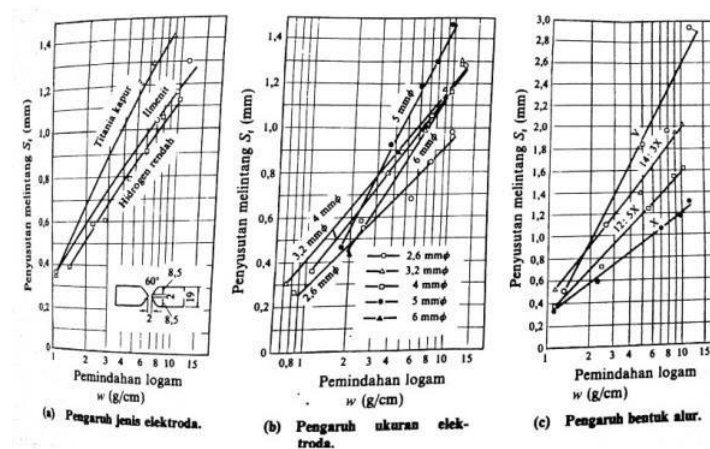
## 4. Elektroda dengan Selaput Serbuk Besi Selaput

Elektroda jenis E 6027, E 6016, E 7014, E 7018, E 7024 dan E 7028 mengandung serbuk besi untuk meningkatkan efisiensi pengelasan. Umumnya selaput elektroda akan lebih tebal dengan bertambahnya persentase serbuk besi.

## 5. Elektroda Hydrogen Rendah Selaput

Elektroda jenis ini mengandung hydrogen yang rendah (kurang dari 0,5 %), sehingga deposit las juga dapat bebas dari porositas. Jenis-jenis elektroda hydrogen rendah misalnya E 7015, E 7016 dan E 7018.

Dalam gambar 2.18 (a) dan (b) dapat dilihat pengaruh dari jenis dan ukuran elektroda terhadap penyusutan lintan dan dalam gambar 2.18 (c) ditunjukkan pengaruh dari alur kampuh.



Gambar 2.18 Pengaruh Jenis Elektroda

### Spesifikasi Elektroda AWS E 6010

Elektroda mengandung sekitar 35% bahan organik yang di dalam busur berubah menjadi gas pelindung dan berkontribusi pada busur tembus dalam yang terkonsentrasi dengan terak yang membeku cepat. Fluks diekstrusi ke kawat inti baja ringan hanya menggunakan natrium silikat yang menjamin kekuatan lapisan. Elektroda ini cocok untuk digunakan hanya pada DC + dan sangat ideal untuk menjalankan akar penetrasi penuh menggunakan celah akar yang dikendalikan dan wajah akar dan teknik manik stringer. Penggilingan sedikit dari stringer bead dengan sikat kawat mencegah inklusi lateral yang diikuti oleh hot pass yang khususnya pada baja dengan tekanan tinggi dan atau karbon tinggi meningkatkan difusi hidrogen dan dengan demikian mengurangi kemungkinan pemecahan hidrogen.

Elektroda ini cocok di aplikasikan untuk jenis logam dibawah ini:

**Mild Steels:** St 360, C-St 510 C, St 34.2, St 37.2, St 46.2, St 37.3, St 46.3, St 52.3.

**Pressure vessel steels:** H1, H11, St 35 KKW, St 41 KKW.

**High strength steels:** St 52, St 35.4, St 45.4, St 52.4, St E210.7-St E415.7, St E290.7, TM-St E415.7TM, St 35.8, S t45.8.API 5LX: X42 , X46, X52, X56, X60.

Komposisi yang terkandung dalam elektroda AWS E 6010 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Elektroda AWS E 6010

MIN	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Fe
MAX	0.2	1.2	1.0	-	-	0.2	0.3	0.3	0.08	
TYPICAL	0.1	0.6	0.2	0.03	0.02	0.04	0.05	0.02	0.01	Bal.

Tabel 2.4 Sifat Mekanik

PROPERTY	UNITS	MINIMUM	TYPICAL
Tensile strength 0.2% Proof	N/mm <sup>2</sup>	430	580
Stress Elongation on 4d	N/mm <sup>2</sup>	330	450
Reduction of Area (RA)	%	22	30
Impact energy -30 <sup>0</sup> C	J	27	50

### Elektroda AWS E 6013

Penekanan desain fluks dirancang untuk menghasilkan slag pembekuan yang cepat namun fluida sehingga memudahkan semua pengelasan posisi termasuk vertikal ke bawah. Rutil seimbang, fluks selulosa yang mengandung elemen paduan dan deoksidasi diekstrusi ke kawat baja ringan dengan campuran silikat yang memastikan kekuatan dan stabilitas lapisan.

Elektroda dilas dengan busur stabil halus pada AC dan DC. Hujan rintik-rintik minimal. Jahitan las halus, cerah, dan bergelombang rata. Untuk pengelasan bawah dan vertikal ke bawah gunakan ampere menuju ujung atas dan untuk pengangkatan vertikal dan overhead ke arah bawah kisaran. Pelepasan terak sangat baik dan pemulihan logam hingga 90% sehubungan dengan berat kawat inti.

Baja karbon-mangan ringan dan sedang hingga setebal 15 mm dengan UTS maks 500 N / mm<sup>2</sup>. Nilai umum: BS 1449 plate and sheet, BS 4360 grades 43A and 43C, Lloyds A & D ship steel BS 4360 grade 50B Lloyds grades AH and DH, BS 3059 and BS 3601 grade 320-410, API 5L A-B and X42.

Tabel 2.5 Komposisi Kimia Elektroda AWS E 6013

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Fe
MIN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAX	0.2	1.2	1.0	-	-	0.2	0.3	0.3	0.08	
TYPICAL		0.08	0.5	0.3	0.02	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01

Tabel 2.6 Sifat Mekanik

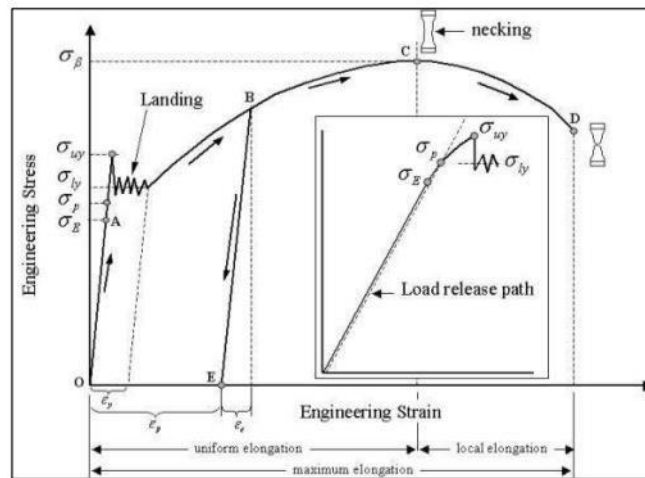
PROPERTY	UNITS	MINIMUM	TYPICAL
Tensile strength	N/mm <sup>2</sup>	430	520
0.2% Proof	N/mm <sup>2</sup>	330	430
Elongation on 4d	%	17	28
Reduction of Area (RA)	%	-	70
Impact energy -0 <sup>0</sup> C	J	-	60

## 2.9 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari 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.

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 perlahan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan terhadap mengenai perpanjangan yang dialami benda uji sehingga dihasilkan kurva tegangan-regangan dari hasil pengujian tersebut, kurva regangan-tegangan aluminium.



Gambar 2.20. Diagram Tegangan-Regangan

1. Batas Elastis  $\sigma_E$  (*Elastic Limit*).

Berdasarkan pada pengukuran regangan mikro pada skala regangan  $2 \times 10^{-6}$  inchi/inchi. Batas elastik nilainya sangat rendah dan dikaitkan dengan gerakan beberapa ratus dislokasi.

2. Batas Proporsional  $\sigma_p$  (*Proportional Limit*)

Tegangan tertinggi untuk daerah hubungan proporsional antara tegangan regangan. Harga ini diperoleh dengan cara mengamati penyimpangan dari berbagai garis lurus kurva tegangan-regangan.

3. Deformasi Plastis (*Plastic Deformation*)

Tegangan terbesar yang masih dapat ditahan oleh bahan tanpa terjadi regangan sisa permanen yang terukur pada saat beban telah diiadakan. Dengan bertambahnya ketelitian pengukuran regangan, nilai batas elastiknya menurun hingga suatu batas yang sama dengan batas elastik sejati yang diperoleh dengan cara pengukuran regangan mikro.



4. Regangan Luluh  $\varepsilon_y$  (*Yield Strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

5. Regangan Elastis  $\varepsilon_e$  (*Elastic Strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

6. Regangan Plastis  $\varepsilon_p$  (*Plastic Strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

7. Regangan Total (*Total Strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis,  $\varepsilon_T = \varepsilon_e + \varepsilon_p$ .

8. Tegangan Tarik Maksimum TTM (UTS, *Ultimate Tensile Strength*)

Merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

9. Kekuatan Patah (*Breaking Strength*)

Merupakan besar tegangan dimana bahan yang diuji putus atau patah.

Tegangan ( $\sigma$ ) pada uji tarik merupakan Gaya Maksimal (F) dibagi dengan luas penampang (A) pada spesimen. Maka hasil perhitungan tegangan pada untuk setiap spesimennya sama.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan (N/mm<sup>2</sup> )

F = Gaya Maksimal (N)

Regangan (e) pada uji tarik merupakan perpanjangan ( $\Delta L$ ) dibagi dengan panjang awal ( $L_0$ ) pada spesimen dikali dengan 100%. Maka hasil perhitungan

tegangan pada untuk setiap spesimennya sama. Dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

$e$  = Regangan (%)

$\Delta L$  = Perpanjangan ( $\text{mm}^2$ )

$L_0$  = Panjang Awal (mm)

Modulus elastisitas ( $E$ ) pada uji tarik merupakan tegangan ( $\sigma$ ) dibagi dengan regangan ( $\epsilon$ ) pada sepesimen. Maka hasil perhitungan tegangan pada untuk setiap spesimennya sama. Dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{e} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$E$  = Modulus Elastisitas ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$\sigma$  = Tegangan ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )