



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Baja

Baja merupakan material yang banyak digunakan didalam dunia industri sebagai bahan utama. Penggunaan baja dalam dunia industri dikarenakan sifat dari baja tersebut yang bervariasi dari segi kekuatan maupun fisiknya. Kekerasan dari baja tergantung banyaknya kadar karbon dan kadar paduan lainnya yang dihitung dalam persentase.

Baja merupakan paduan yang terdiri dari unsur besi (Fe) dan karbon (C) dengan sedikit unsur Si, P, Mn, S dan Cu. Unsur-unsur paduan diberikan dengan maksud memperbaiki atau memberi sifat yang sesuai dengan sifat yang diinginkan [1].

#### 2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon secara umum adalah paduan antara unsur besi dan karbon dimana unsur karbon sebagai penguat paduan tersebut. Menurut AISI baja karbon adalah baja dengan unsur karbon maksimal 2.0 % dan unsur-unsur lain seperti silikon maksimal 0.6 %, tembaga maksimal 0.6 % dan mangan maksimal 1.65 %. Unsur-unsur lainnya dapat ditambahkan hanya sebagai elemen untuk de-oksidasi seperti aluminium [4].

Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibedakan menjadi beberapa jenis [5] :

1. Baja karbon rendah dengan kadar karbon maksimum 0.15%.
2. Baja karbon sedang dengan kadar karbon maksimal 0.3% - 0.5%.
3. Baja karbon tinggi dengan kadar karbon maksimal 0.5% - 1.0%.

Sifat-sifat fisik baja karbon secara umum dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini dan klasifikasi baja karbon pada tabel 2.2 :

Tabel 2.1: Sifat-Sifat Fisik Baja Karbon [6]

Sifat – Sifat Fisik	Nilai (Metrik)
Berat jenis	$7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Modulus geser	75 – 85 GPa
Titik lebur	1425°C
Poisson's ratio	0.29

Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Karbon [6]

Jenis	% C	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	% EL	Kekerasan Brinel HB	Penggunaan
Baja karbon rendah	0.08	180-280	320-360	30-40	95-100	Pelat tipis
	0.08-0.12	200-290	360-420	30-40	80-120	Batang, kawat
	0.12-0.20	220-300	380-480	24-36	100-130	Konstruksi umum
	0.20-0.30	240-360	440-550	22-32	112-145	
Baja karbon sedang	0.3-0.40	300-400	500-600	17-30	140-170	Alat-alat mesin
	0.40-0.50	340-460	580-700	14-26	160-200	Perkakas
dan tinggi	0.50-0.80	360-470	650-1000	11-20	180-235	Rel, pegas dan kawat piano

Sri Nugroho dkk dalam penulisan penelitiannya mengenai pengaruh penggunaan *filler metal* ER-308, ER-309 dan Incole 82 pada pengelasan *dissimilar metal* mengatakan bahwa jika kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasannya juga akan bertambah tinggi tetapi perpanjangannya akan menurun seperti pada tabel diatas.

## 2.1.2 Metalografi Baja Karbon

### 2.1.2.1 Keseimbangan Kadar Karbon

Karbon biasanya dianggap sebagai kontributor paling penting untuk kekerasan dan kekuatan baja besi. Bahkan ketika elemen paduan lainnya tidak hadir, kandungan karbon yang tinggi dapat mengakibatkan *hardnesses* lokal yang tinggi. Namun, elemen paduan lainnya juga berkontribusi terhadap keseluruhan hardenability baja. Efek ini secara umum dapat diukur oleh penentuan kesetaraan karbon (CE) dari baja. Semakin besar kadar harga CE, maka kemampuan material tersebut akan semakin berkurang dan membutuhkan perlakuan panas untuk memperbaiki sifatnya. Untuk mendapatkan rumus kesetaraan kadar karbon dapat menggunakan rumus [6] :

$$CE = C + \frac{Mn+Si}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \dots\dots\dots (2.1)$$

### 2.1.2.2 Mikrostruktur

Bahan logam berbentuk struktur kristal dalam keadaan padat (dengan pengecualian dari logam bentuk amorf yang telah dibentuk di bawah kondisi pendinginan radikal, tidak seperti yang terjadi dalam pengolahan normal). Struktur kristal dan unsur-unsur paduan ditambahkan ke besi murni untuk memberikan baja karbon kemampuan memiliki berbagai sifat, yang membuatnya salah satu bahan yang paling berguna dalam industri saat ini. Struktur Kristal dari baja karbon termasuk dalam bentuk *Body Centere Cubic (ferrite)*, *Face centered cubic (austenite)* dan *Body centered tetragonal (martensite)*. Sewaktu material mendingin, struktur kristal baja karbon dipaksa untuk berubah dari satu struktur ke yang lain hal ini disebut sebagai fase transformasi. Struktur yang berbeda memiliki batas yang berbeda kelarutannya dari unsur paduan, terutama karbon pada baja karbon itu sendiri. Struktur mikro juga

bisa mengandung senyawa lain, seperti logam karbida, diselingi dengan bentuk kristal.

Baja karbon dapat berada dalam mikrostruktur yang berbeda. Mikrostruktur baja karbon tidak hanya mencakup struktur kristal tetapi juga berbagai karbida logam atau senyawa dalam pengaturan yang berbeda. Perlit, bainit atas, dan bainit bawah adalah contoh susunan yang bisa muncul.

### 2.1.2.3 Diagram Kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C

Diagram fasa adalah diagram yang menunjukkan hubungan antara temperature dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi perlakuan panas. Fungsi diagram fasa adalah memudahkan dalam memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas, baik proses anil, normalizing maupun proses pengerasan (Surdia, 2000). Jenis – jenis fasa yang ada pada sistim diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [7] :

#### 1. Cair

Pada fasa ini baja yang telah dipanaskan menjadi cair dimana karbon (C) terlarut dalam besi Fe.

#### 2. Padat $\delta$ (*ferrite*)

Ferit merupakan larutan padat dengan atom C terlarut secara acak dan interstitial dalam struktur BCC pada Fe. Maksimum kelarutan kadar C adalah 0.08%wt pada temperature 1492 °C. Besi  $\delta$  murni stabil pada rentang temperatur 1391°C - 1536°C.

#### 3. Padat $\gamma$ (*Austenite*)

Austenit merupakan larutan padat dengan atom C terlarut secara acak dan interstitial dalam struktur FCC pada Fe. Maksimum kelarutan kadar C adalah 1.7%wt

pada temperatur 1130 °C. Besi  $\gamma$  murni stabil pada rentang temperatur 914°C - 1391°C.

#### 4. Padat $\alpha$ (*ferrite*)

Ferit merupakan larutan padat dengan atom C terlarut secara acak dan interstitial dalam struktur BCC pada Fe. Maksimum kelarutan kadar C adalah 0.035%wt pada temperatur 723°C. Besi  $\alpha$  murni stabil pada temperatur dibawah 914°C.

#### 5. $\text{Fe}_3\text{C}$ (*Cementite*)

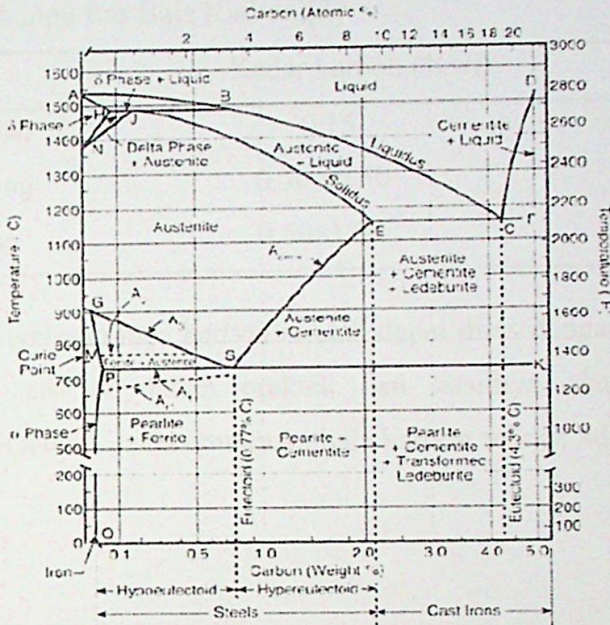
*Cementite* merupakan struktur yang keras dan getas yang secara kimia terdiri dari unsur besi Fe dan karbon C 25% atom (6.7%wt).

#### 6. *Pearlite*

Pearlit merupakan struktur yang terbentuk pada temperatur eutektoid (723°C) yang terdiri dari campuran nukleat  $\text{Fe}_3\text{C}$  dan  $\alpha$  ferrit.

#### 7. *Ledeburite*

Ledeburit merupakan struktur eutektik yang terdiri dari  $\gamma$  austenit dan  $\text{Fe}_3\text{C}$  yang terbentuk saat kadar karbon dalam cairan 4.3%wt dan di dinginkan pada temperatur 1130°C. Pada temperatur eutektoid (723°C), ledeburit dapat bertransformasi menjadi  $\alpha$  ferit dan  $\text{Fe}_3\text{C}$ .



Gambar 2.1 : Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C (D. Gandy, 2007)

#### 2.1.2.4 Sifat Mampu Las Baja Karbon

Sifat mampu las dapat diartikan sebagai kemampuan suatu material untuk dilakukan proses pengelasan atau di las dalam kondisi perakitan sehingga sesuai dengan desain yang diinginkan dan memberi kepuasan dalam mengaplikasikannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi mampu las dari baja karbon rendah adalah kekuatan takik (*notch*) dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan takik (*notch*) pada baja karbon rendah dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon C dan menaikkan kadar mangan Mn. Suhu transisi dari kekuatan tarik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan Mn/C [1]. Dibawah ini merupakan tabel sifat mampu las dari baja karbon :

Tabel 2.3 Sifat Mampu Las Baja Karbon [3]

Baja karbon	Kadar karbon (%wt)	Mampu las
Baja karbon rendah	<0.15	Sangat baik
Baja karbon sedang	0.30 ~0.50	Sedang
Baja karbon tinggi	0.50~1.00	Buruk

Cara pengelasan baja karbon rendah dapat dilas dengan semua metode cara pengelasan yang ada di dalam praktek dan hasilnya akan baik bila semua persyaratannya dipenuhi. Pada umumnya baja karbon rendah adalah baja yang sangat mudah dilas.

### 2.1.3 Baja Tahan Karat

Baja tahan karat merupakan kelompok baja paduan yang mempunyai sifat yang khusus. Baja tahan karat adalah baja paduan yang memiliki kandungan kromium yang normalnya minimal 12 persen dengan atau tanpa penambahan paduan lainnya. Kromium dengan besi (Fe) dalam baja membentuk larutan padat. Sifat utama dari baja tahan karat adalah ketahanannya yang sangat tinggi terhadap korosi, suhu tinggi dan suhu rendah. Disamping itu baja tahan karat juga mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup baik. Karena sifat-sifatnya itu, maka baja tahan karat banyak digunakan dalam reaktor atom, turbin, mesin jet, pesawat terbang dan alat-alat rumah tangga. Secara garis besar baja tahan karat dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu, jenis ferit, jenis austenit dan juga jenis martensit seperti tabel dibawah ini.

Ada tiga klasifikasi yang secara umum untuk mengidentifikasi baja tahan karat ini, pertama secara metalurgi struktur, kedua dengan sistem penomoran menurut AISI (*American Iron And Steel institute*) yaitu *stainless steel* seri 200, seri 300 dan seri 400, ketiga dengan pengklasifikasian menurut *Unified Numbering System (UNS)* yang dikembangkan oleh *American Society for Testing Material (ASTM)* yang digunakan untuk penjualan logam dan logam paduan secara komersial [8]

Tabel 2.4: Klasifikasi Baja Tahan Karat [1]

Klasifikasi	Komposisi utama (%)			Sifat mampu keras	Sifat tahan korosi	Sifat mampu tempa	Sifat mampu las	Kemagnitan
	Cr	Ni	C					
Baja tahan karat ferit	16-27	-	$\leq 1.20$	Tidak dapat dikeraskan	Baik	Baik	Kurang baik	magnit
Baja tahan karat autenit	$\leq 16$	$\leq 7$	$\leq 0.25$	Tidak dapat dikeraskan	Baik sekali	Baik sekali	Baik sekali	Bukan magnit
Baja tahan karat martensit	11-15	-	$\leq 1.20$	Mengeras sendiri	Kurang baik	Kurang baik	Tidak baik	magnit

#### 2.1.4 Mampu Las Baja Tahan Karat

Selama pengelasan baja tahan karat, suhu logam dasar berdekatan dan mencapai tingkat di mana transformasi mikrostruktur terjadi. Derajat dimana perubahan ini terjadi, dan efeknya pada lasan ketika telah selesai (dalam hal ketahanan terhadap korosi dan sifat mekanik tergantung pada konten paduan, ketebalan, *filler metal*, desain, metode las, dan keterampilan tukang las). Terlepas dari perubahan yang terjadi, tujuan utama dalam pengelasan baja tahan karat adalah untuk memberikan gabungan dengan kualitas sama atau lebih baik dari pada logam induk [8].

##### 2.1.4.1 Ferritic Stainless Steel

*Ferritic stainless steel* dapat diklasifikasikan sebagai paduan Fe-Cr yang mempunyai komposisi kadar Cr antara 12 % sampai dengan 30%. Kadar Cr yang



tinggi dari baja ini dalam pengaplikasiannya digunakan pada bejana yang bersuhu tinggi seperti boiler dan sudu turbin .

Baja tahan karat jenis ferit sangat sukar mengeras tetapi butirnya mudah menjadi kasar yang menyebabkan ketangguhan dan keuletannya menjadi menurun. Penggetasan biasanya terjadi pada pendinginan lambat dari temperatur 600°C ke 400°C. Karena sifatnya ini maka pada pengelasan baja tahan karat ini harus dilakukan pemanasan mula antara 70°C sampai 100°C untuk menghindari retak dingin dan pendinginan dari 600°C ke 400°C harus dilakukan dengan cepat untuk menghindari penggetasan seperti yang dijelaskan di atas [1].

#### **2.1.4.2 *Martensitic Stainless Steel***

Baja tahan karat martensitik dalam siklus pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan akan membentuk martensit yang keras dan getas sehingga sifat mampu lasnya tidak baik. Dalam mengelas baja tahan karat jenis ini haruslah diperhatikan dua hal berikut, pertama harus dilakukan pemanasan mula sampai suhu antara 200°C dan 400°C dan suhu antara pengelasan lapisan ditahan jangan sampai terlalu dingin dan kedua yaitu segera setelah melakukan pengelasan suhunya mesti dijaga antara 700°C sampai 800°C untuk beberapa waktu [1].

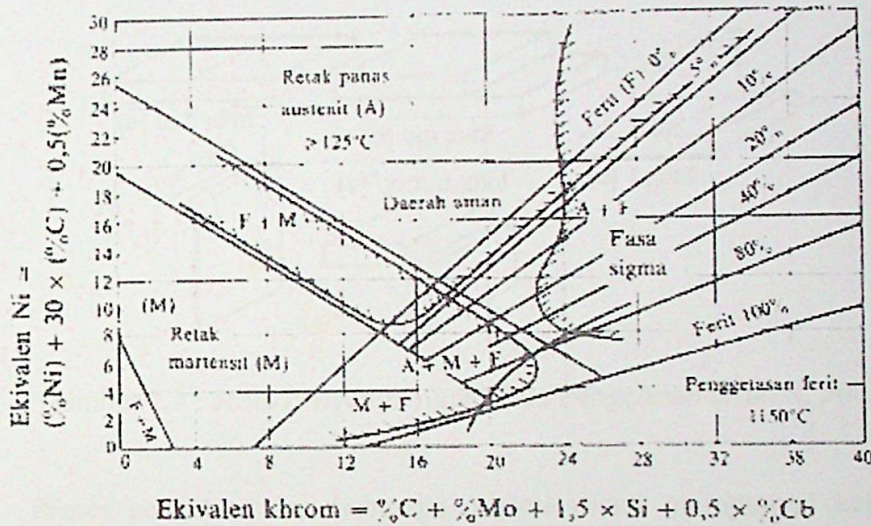
#### **2.1.4.3 *Austenitic Stainless Steel***

Baja tahan karat tipe austenitik sangat banyak digunakan dan jenisnya juga cukup banyak. Material baja tahan karat ini sangat mudah dibentuk dan di las serta pengaplikasiannya banyak digunakan untuk temperatur tinggi maupun temperature rendah tanpa banyak terjadi perubahan sifat – sifat mekanis maupun kosori. Secara metalurgi, baja tahan karat austenitic memiliki struktur dominan *face centered cubic* (FCC) dan komposisi utamanya adalah krom dan nikel seperti yang di tunjukkan tabel 2.4 diatas.

Tabel 2.5 Macam-Macam Permasalahan Dalam Pengelasan *Stainless Steel* [5]

Tipe <i>stainless steel</i>	Jenis – jenis masalah	Solusi
<i>Austenitic</i>	<i>Solidification cracking</i>	Gunakan kawat <i>filler</i> yang tepat untuk menjaga kadar ferrite 4-10%.
	Kerusakan pengelasan	Gunakan <i>grade</i> yang stabil (321 dan 347) atau <i>grade</i> karbonnya rendah (304L dan 316L) lakukan perlakuan <i>postweld heat</i> untuk melarutkan karbida, diikuti dengan pendinginan cepat.
	Retak panas di sebagian zona leleh	Ganti dari <i>grade</i> 347 ke <i>grade</i> 304 atau <i>grade</i> 316. Gunakan input panas rendah.
<i>Ferritic</i>	Ketangguhan rendah dikarenakan pertumbuhan butir HAZ dan batas butir martensit.	Gunakan input panas rendah atau tambahkan karbida dan pembentuk nitrida untuk menekan pertumbuhan butir tambahkan Ti atau Nb untuk mengurangi martensit.
<i>Martensitic</i>	<i>Hydrogen cracking</i>	Lakukan <i>preheat</i> dan <i>postheat</i> terlebih dahulu. Gunakan kadar hidrogen yang rendah atau gunakan elektroda <i>stainless steel</i> austenitik.

Semua jenis baja tahan karat dalam pengelasan akan mengalami penggetasan dan retak, maka harus dijaga agar logam las selalu terletak pada daerah aman [1] seperti yang ditunjukkan gambar 2.2.



Gambar 2.2: Diagram Schaeffer (W. Harsono, 2000)

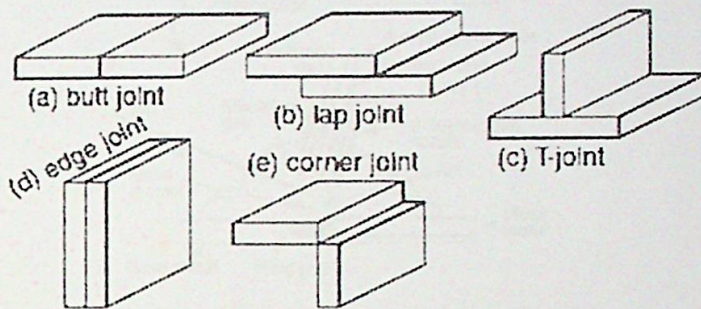
## 2.2 Proses Pengelasan

Menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) pengelasan merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair. Dalam artian las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas, dengan atau tanpa menggunakan tekanan ataupun hanya tekanan dan tanpa atau tidak menggunakan logam pengisi (*filler metal*) [9].

Ada beberapa proses pengelasan yang umum dipakai dalam proses fabrikasi pembuatan logam yaitu pengelasan menggunakan gas yang didalamnya termasuk *Oxyacetylene welding* (OAW), pengelasan menggunakan busur termasuk didalamnya *Shielded metal arc welding* (SMAW), *Gas-tungsten arc welding* (GTAW), *Plasma arc welding* (PAW), *Gas-metal arc welding* (GMAW), *Flux-cored*



*arc welding* (FCAW), *Submerged arc welding* (SAW) dan juga *Electroslag welding* (ESW) dan juga pengelasan menggunakan laser yang didalamnya terdapat *Electron beam welding* (EBM) dan *Laser beam welding* (LBW) [5].

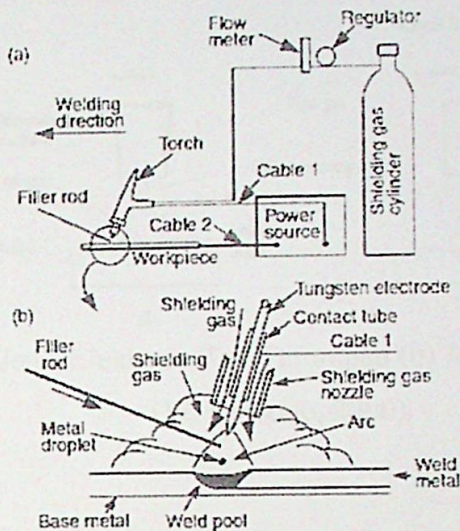


Gambar 2.3 : Jenis Penyambungan Pada Pengelasan (Kao.S, 2003)

Proses pengelasan dari beberapa metode diatas mempunyai kelebihan dan kekurangan masing – masing tergantung persyaratan penggunaan aplikasinya seperti sifat – sifat mekanik, korosi, biaya dan waktu. Salah satu teknik pengelasan yang dikenal umum dalam penggunaannya yaitu proses pengelasan busur listrik diantaranya GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*).

### 2.2.1 Pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

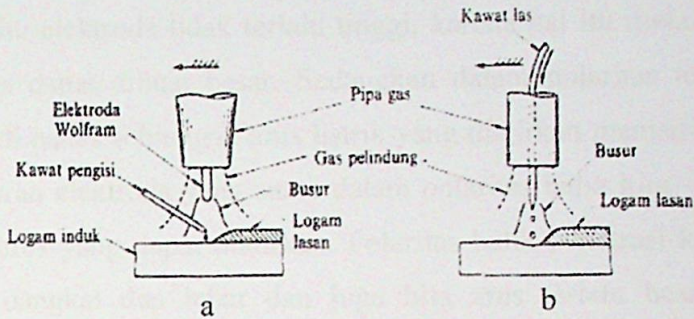
Proses pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) merupakan pengelasan yang dilakukan dengan menggunakan busur las antara elektroda nonconsumable tungsten dan benda kerja yang akan disambung. Sementara logam pengisinya (*filler*) dimasukkan oleh operator secara manual ataupun dengan menggunakan mesin pengumpan (*feeder*). Gas pelindung bersifat lembam diberikan pada saat proses pengelasan untuk melindungi logam las maupun elektrodanya dari kontaminasi atmosferik serta memperpanjang busur [9].



Gambar 2.4 : Skema Umum Pengelasan GTAW (Kao.S, 2003)

Pengelasan GTAW mempunyai perlindungan dari udara yang baik dibandingkan SMAW karena inert gas seperti argon atau helium biasanya digunakan sebagai gas pelindung karena langsung tertuju pada kolam lasan. Pengelasan GTAW sering juga disebut sebagai pengelasan *tungsten-inert gas* (TIG).

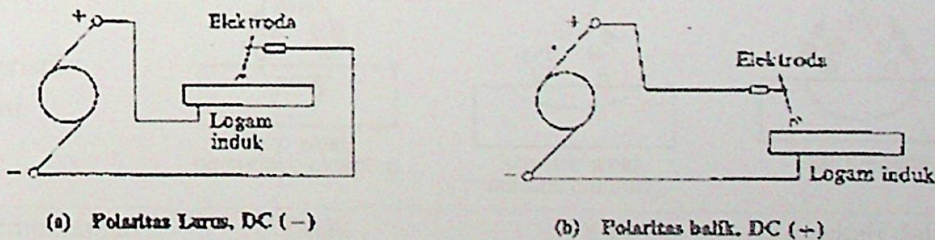
Keuntungan dari proses pengelasan GTAW ini biasa digunakan untuk membuat *root pass* bermutu tinggi dari arah satu sisi pada berbagai jenis material sehingga pengelasan GTAW digunakan secara luas pada pengerjaan struktur pipa. Elektroda yang digunakan dalam pengelasan GTAW biasanya dari wolfram murni ataupun paduan antara wolfram dengan torium yang berbentuk batang dengan garis tengah antara 1.00 mm sampai 4.8 mm. Gas yang digunakan untuk pelindung pada pengelasan jenis ini adalah argon murni. Penggunaan logam pengisi tidak ada batasannya, biasanya logam yang mempunyai komposisi yang sama dengan logam induk [1].



Gambar 2.5: (a) Jenis Elektroda Tak Terumpan (b) Jenis Elektroda Terumpan  
(W. Harsono, 2000)

### 2.2.2 Sumber Arus Pengelasan GTAW

Sumber arus listrik yang digunakan pada pengelasan GTAW dapat berupa listrik DC ataupun listrik AC. Dalam penggunaan listrik DC rangkaian listriknya dapat dengan polaritas lurus (DCEN) di mana katup positif dihubungkan dengan logam induk dan kutub negatif dengan batang elektroda atau rangkaian sebaliknya yang disebut sebagai polaritas terbalik (DCEP).

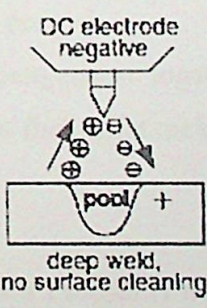
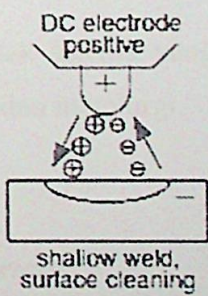
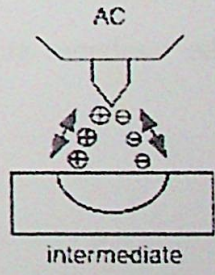


Gambar 2.6 :Diagram Rangkaian Listrik Dari Mesin Las Listrik DC  
(W. Harsono, 2000).

Dalam polaritas lurus (DCEN) elektron bergerak dari elektroda dan menumbuk logam induk dengan kecepatan yang tinggi sehingga dapat terjadi penetrasi yang dalam. Karena pada elektroda tidak terjadi tumbukan elektron maka

secara relatif suhu elektroda tidak terlalu tinggi, karena hal itu melalui polaritas ini penggunaan arus dapat dibuat besar. Sedangkan dalam polaritas terbalik (DCEP) elektroda menjadi panas sehingga arus listrik yang dialirkan menjadi rendah. Untuk penggunaan ukuran elektroda yang sama dalam polaritas balik kira – kira 1/10 arus pada polaritas lurus yang dapat dialirkan. Polaritas balik penetrasi ke dalam logam induk menjadi dangkal dan lebar dan juga bila arus terlalu besar maka ujung elektroda akan menjadi cair dan merubah komposisi logam cair yang dihasilkan [1]. Dibawah ini merupakan tabel karakteristik polaritas dan sumber arus dalam pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW).

Tabel 2.6: Sifat-Sifat Polaritas Dan Arus Dalam Pengelasan GTAW [5]

Jenis Arus	DCEN/DCSP Polaritas lurus	DCEP/DCRP Polaritas terbalik	AC (Balance) Polaritas bolak-balik
Polaritas elektroda	Negatif	Positif	Positif-negatif
Aliran ion dan elektron			
Karakteristik penetrasi	deep weld, no surface cleaning	shallow weld, surface cleaning	intermediate
Efek pembersihan oksida	Tidak	Ya	Ya sekali dalam tiap siklus
Keseimbangan Panas pengelasan dalam busur listrik	70% panas terjadi pada benda kerja 30% panas terjadi pada ujung elektroda	30% panas terjadi pada benda kerja, 70% panas terjadi pada ujung elektroda	50% panas terjadi pada benda kerja, 50% panas terjadi pada ujung elektroda
Penetrasi	Dalam, sempit	Dangkal, lebar	Medium

### 2.2.3 Pengelasan Logam Tidak Sejenis

Pengelasan logam tidak sejenis adalah pengelasan dengan dua logam dasar yang berbeda. Pengelasan ini sering digunakan untuk menyambung material baja tahan karat dengan material logam yang lain. Penyambungan beda material bisa menggunakan pengelasan, patri dan juga menggunakan penyolderan dimana paduan antara logam biasanya tidak terlalu signifikan hanya perbedaan dalam sifat fisik dan sifat mekanik dari logam induk yang mampu mempengaruhi kualitas dari pengelasan dan pengaruh dari logam induk ini yang harus dipertimbangkan dalam pengelasan beda material. Ketika material tidak sejenis disambung dengan menggunakan proses pengelasan fusi yang menjadi pertimbangan utama yaitu perpaduan antara logam dasar dan logam pengisinya.

Pengkombinasian atau penyambungan dari material yang unsur kimianya, sifat fisik dan sifat mekaniknya berbeda secara signifikan akan menjadi masalah yang mudah ada sebelum maupun sesudah pengelasan. Pengkombinasian tersebut bisa dilakukan pada dua logam dasar yang berbeda atau tiga logam yang berbeda, salah satunya adalah logam pengisi.

Kelemahan pengelasan logam tidak sejenis yang paling mendasar adalah adanya perbedaan sifat fisik, sifat mekanik dan metalurgi.

### 2.2.4 Pemilihan Logam Pengisi (*Filler Metal*)

Penyambungan logam berbeda jenis biasanya memiliki komposisi yang berbeda dari salah satu atau kedua logam dasar. Sifat-sifat logam las tergantung pada filler komposisi logam, prosedur pengelasan dan dilusi masing-masing logam induk. Logam pengisi harus kompatibel dengan kedua logam induk. Idealnya, logam pengisi harus memiliki karakteristik *physical properties*, *mechanical properties* dan *corrosion properties* yang sesuai dengan logam induk yang digunakan. Ada dua



kriteria yang penting yang harus diperhatikan dalam memilih logam pengisi pada pengelasan dua logam yang berbeda yaitu [3] :

1. Logam pengisi yang digunakan harus mempunyai persyaratan yang sesuai dalam perancangan seperti sifat mekanik atau ketahanan terhadap korosi.
2. Logam pengisi yang digunakan harus memenuhi kriteria mampu las yaitu temperature leleh, dilusi dan persyaratan sifat fisik lain dari lasan itu sendiri.

Jenis *filler metal* yang cocok untuk pengelasan logam berbeda jenis menurut standar ASME SEC IX yaitu direkomendasikan memakai elektroda *stainless steel* jenis ER-309.

Menurut buku *Handbook Welding of Stainless Steel and Other Joining Methods*, dalam penyambungan atau pengelasan logam berbeda jenis contohnya *stainless steel* ke baja karbon pada dasarnya menggunakan elektroda *stainless steel* yang mana memiliki kandungan paduan yang cukup tinggi untuk mencegah terjadinya martensit bila dilas dengan baja karbon dan pada saat yang sama menjaga jumlah kandungan ferit yang dapat menangkai kecenderungan terjadinya retak panas (pada saat pengelasan) bahkan pada kondisi pengelasan yang sukar.

Pemilihan elektroda las atau *filler metal* sebagai logam pengisi dalam proses las sangat menentukan mutu hasil pengelasan. Begitu juga fluks dan gas pelindung semuanya berkaitan erat dengan sifat mekanis logam las yang dikehendaki. Untuk itu perlu pemilihan elektroda atau *filler wire* yang tepat pemilihan ini sangat berkaitan dengan [10]:

1. Jenis proses las yang digunakan.
2. Jenis material yang di las, juga *filler metal* (elektroda).
3. Desain sambungan.
4. Perlakuan panas, *preheat* dan *phostheat*.

Dibawah ini merupakan tabel penggunaan elektroda untuk pengelasan baja karbon dan *stainless steel*.

Tabel 2.7: Tabel Penggunaan Elektroda Untuk Baja Karbon [12]

Diameter elektroda (in)	Tebal pelat yang dilas (mm)	DCSP (amp)	Kecepatan Pengelasan (ipm)
0.25	0.25-0.30	15	12-18
0.50	0.31-0.50	5-20	12-18
1	0.50-0.8	15-80	12-18
1.60	0.90-1.5	100-140	12-18
2.40	1.6-3.20	140-170	12-18
3.2	3.2	150-200	10-12

Tabel 2.8 : Tabel Penggunaan Elektroda Pada *Stainless Steel* [12]

Diameter elektroda (in)	Tebal pelat yang dilas (mm)	Jenis sambungan	DCSP (amp)	Kecepatan Pengelasan (ipm)
1.6	1.6	Sambungan I	80-100	12
1.6	16	Sambungan T	90-110	10
1.6	2.38	Sambungan I	100-200	12
1.6	2.38	Sambungan T	110-130	10
1.6	3.18	Sambungan sudut	120-140	12
1.6	3.18	Sambungan tumpang	130-150	10
2.38	4.76	Sambungan sudut	200-250	10
2.38	4.76	Sambungan tumpang	225-275	8

## 2.3 Metalurgi Las

Selama proses pengelasan berlangsung terjadi reaksi-reaksi yang mempengaruhi pembentukan fasa pada daerah las dan pembentukan karbida di daerah pengaruh panas yang pada akhirnya akan mempengaruhi sifat dari lasan dan sifat ketahanan korosi logam tersebut. Pengendalian komposisi logam pengisi, panas masuk, permukaan lasan dan menjaga kandungan delta ferit di struktur mikro lasan dapat meningkatkan ketahanan korosi. Bentuk struktur mikro bergantung pada temperatur tinggi yang dicapai pada pengelasan, kecepatan pengelasan dan laju pendinginan daerah lasan.

### 2.3.1 Termal Daerah Lasan

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas dan logam induk yang tidak terpengaruh panas. Logam lasan adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair lalu membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruh adalah logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Transfer energi panas selama proses pengelasan dapat didefinisikan dalam persamaan berikut [11] :

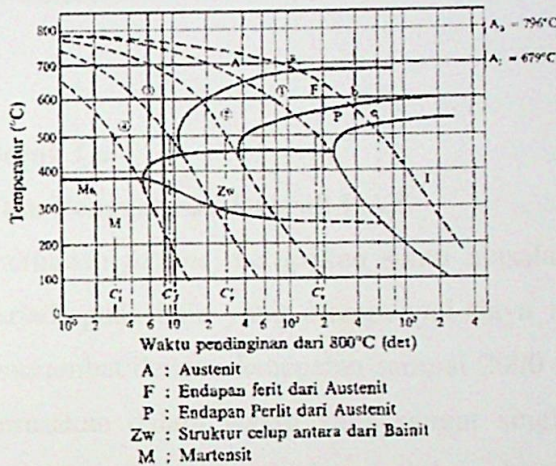
$$\text{Heat Input} \left[ \frac{\text{J}}{\text{in}} \cdot \left( \frac{\text{J}}{\text{mm}} \right) \right] = \frac{\text{Voltage} \times \text{Amperage} \times 60}{\text{Travel Speed} \left[ \frac{\text{in}}{\text{min}} \left( \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right) \right]} \dots\dots\dots (2.2)$$

#### 2.3.1.1 Pembekuan Dan Struktur Logam Las

Dalam pengelasan cair terdapa bermacam-macam cacat dalam logam las, seperti pemisahan atau segregasi dan lubang halus dan retak. Banyaknya cacat yang

### 2.3.1.2 Struktur Mikro Daerah HAZ

Kekerasan, struktur dan berlangsungnya transformasi daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dapat dibaca pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT.



Gambar 2.8 : Diagram CCT Pada Pengelasan Baja (W. Harsono, 2000)

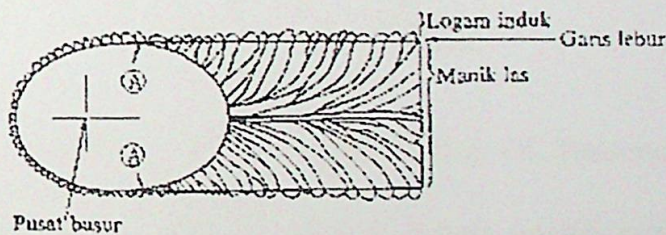
Dari diagram diatas, dapat di prediksi bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur – struktur sebagai berikut [1]:

1. Dengan siklus termal las antara titik 1 dan titik 2 akan terbentuk ferit struktur antara dan martensit.
2. Dengan siklus termal las antara titik 1 dan titik 2 akan terbentuk ferit struktur antara dan martensit.
3. Dengan siklus termal las antara 3 dan 4 akan terbentuk struktur antara dan martensit.
4. Pendinginan lebih cepat dari titik 4 akan terbentuk martensit.

Karakteristik dari siklus termal las titik 1, 2, 3, 4 ini dalam bentuk lamanya waktu pendinginan dari temperature 800°C ke 500°C masing – masing 200 detik yang ditunjukkan oleh  $C'_e$  pada diagram, 32 detik ( $C'_p$ ), 9.6 detik pada ( $C'_f$ ) dan 3 detik pada ( $C'_2$ ). biasanya diagram transformasi pendinginan berlanjut menunjukkan juga

terjadi tergantung waktu kecepatan pembekuannya. Selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan pada pengecoran namun memiliki perbedaan dasar meliputi [1] :

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.

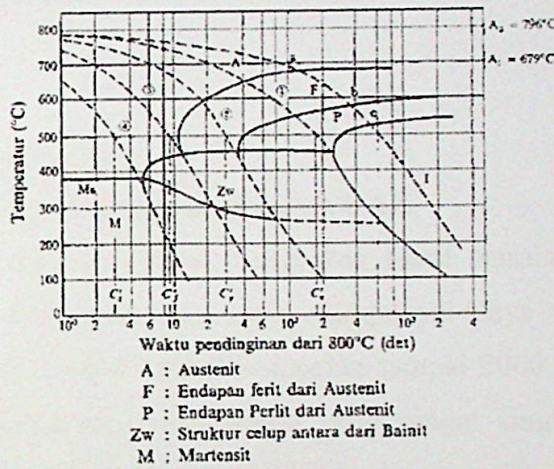


Gambar 2.7: Arah Pembekuan Dari Logam Las (W. Harsono, 2000)

Titik A yang ditunjukkan pada gambar diatas merupakan titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak pada logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur ini sebagian logam dasar menjadi cair dan selama terjadinya proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.

### 2.3.1.2 Struktur Mikro Daerah HAZ

Kekerasan, struktur dan berlangsungnya transformasi daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dapat dibaca pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT.



Gambar 2.8 : Diagram CCT Pada Pengelasan Baja (W. Harsono, 2000)

Dari diagram diatas, dapat di prediksi bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur – struktur sebagai berikut [1]:

1. Dengan siklus termal las antara titik 1 dan titik 2 akan terbentuk ferit struktur antara dan martensit.
2. Dengan siklus termal las antara titik 1 dan titik 2 akan terbentuk ferit struktur antara dan martensit.
3. Dengan siklus termal las antara 3 dan 4 akan terbentuk struktur antara dan martensit.
4. Pendinginan lebih cepat dari titik 4 akan terbentuk martensit.

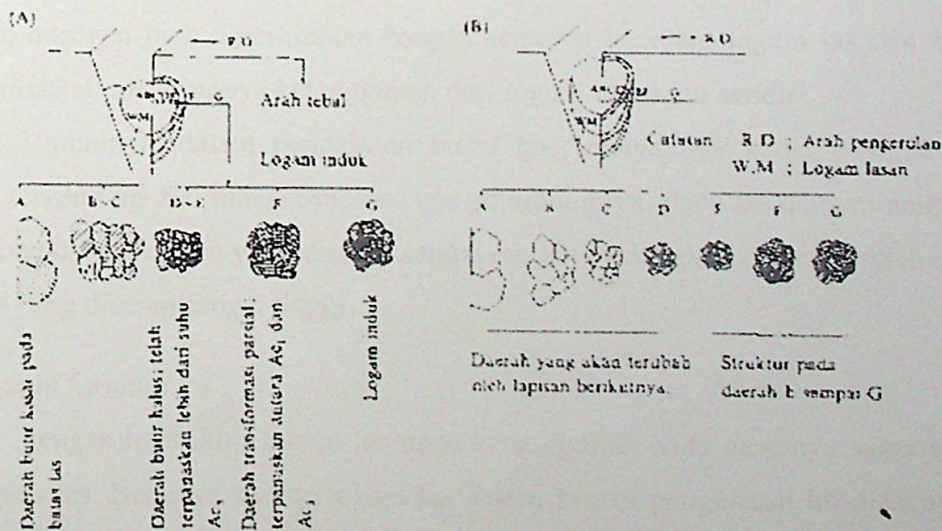
Karakteristik dari siklus termal las titik 1, 2, 3, 4 ini dalam bentuk lamanya waktu pendinginan dari temperature 800°C ke 500°C masing – masing 200 detik yang ditunjukkan oleh  $C'_e$  pada diagram, 32 detik ( $C'_p$ ), 9.6 detik pada ( $C'_f$ ) dan 3 detik pada ( $C'_z$ ). biasanya diagram transformasi pendinginan berlanjut menunjukkan juga

kekerasan yang akan dimiliki oleh baja setelah pendinginan yang mengikuti suatu siklus termal tertentu [1]. Pada umumnya bila temperatur maksimum naik, maka kurva-kurva yang menunjukkan terjadinya struktur tertentu didalam diagram bergerak ke kanan yang mengarah pada pembentukan martensit. Jika hal ini terjadi maka jelas hasil lasan menjadi lebih keras.

### 2.3.2 Ketangguhan Daerah Las

#### 2.3.2.1 Ketangguhan Dan Penggetasan Daerah HAZ

Ketangguhan terhadap *fatigue* merupakan suatu masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja yang mempunyai daya tahan rendah maka patahan tersebut akan merambat dengan kecepatan sampai 2000 m/detik yang mana dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat. Adanya faktor seperti konsentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai dan adanya cacat dalam lasan akan mempercepat terjadinya patah getas pada sambungan las [1].



Gambar 2.9 : Skema Struktur Mikro Pada Daerah HAZ (W. Harsono, 2000)

### 2.3.2.2 Ketangguhan Logam Las

Ketangguhan logam las tergantung dari struktur seperti pada logam induk dan batas las. Logam las adalah logam yang dalam proses pengelasannya mencair dan kemudian menjadi beku sehingga logam las banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain. Komposisi logam las tergantung pada proses pengelasan yang digunakan, tetapi dapat ditentukan bahwa komposisi logam pengisinya akan terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan. Maka dari itu dalam menganalisa ketangguhan logam las harus memperhatikan pengaruh unsur-unsur lain yang diserap selama proses pengelasan terutama oksigen dan pengaruh dari strukturnya sendiri [1] :

#### 1. Pengaruh Oksigen

Pada waktu logam las masih cair, oksidasi dihilangkan oleh retak dan gas pelindung yang terbentuk oleh bahan pembungkus elektroda. Walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam cair tidak dapat dihilangi sepenuhnya, sehingga logam las mengandung lebih banyak oksigen bila dibandingkan dengan logam induk yang kemudian menjadi perbedaan kekuatan diantara keduanya. Seperti halnya oksigen, nitrogen juga diperkirakan banyak terserap kedalam logam las dan inipun mengakibatkan menurunnya ketangguhan dari logam induk itu sendiri.

Umumnya, dalam pengelasan busur gas, banyaknya kadar oksigen yang diserap tergantung dari macam-macam gas pelindungnya. Pada las dengan pelindung gas argon, kadar oksigen yang diserap sangat rendah, sedangkan pada pelindung CO<sub>2</sub>, oksigen yang diserap sangat tinggi.

#### 2. Pengaruh Struktur

Pengaruh struktur logam las pada ketangguhan pada dasarnya sama seperti pada batas las. Bedanya karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair dan membeku maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan struktur menjadi tidak homogen.