

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **II.1. Tinjauan Pustaka**

Joko Santoso (2005) telah meneliti tentang pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan las SMAW terhadap elektroda E7018. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik, kekerasan, struktur mikro dan ketangguhan baja paduan rendah hasil pengelasan SMAW dengan elektroda E7018, penelitian ini memakai 3 jenis variasi arus yaitu 100 amper, 130 amper dan 160 amper. Data yang telah diperoleh dari penelitian ini dari 3 jenis variasi ditunjukkan kelompok variasi 130 amper yang terlihat memiliki nilai paling tinggi dari semua pengujian karena struktur mikro ferit acicular lembut yang berupa bilah-bilah menyilang lebih optimal, sehingga menahan rambatan retak yang terjadi.

Trinova Budi Santoso (2011) telah meneliti tentang pengaruh arus listrik terhadap kuat pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro las SMAW dengan elektroda E7016. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dan jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Untuk memperoleh hasil tentang analisis besarnya kekuatan tarik dan struktur mikro baja karbon rendah yang telah mengalami pengelasan SMAW dengan variasi kuat arus, data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis deskriptif, yakni menjabarkan perbandingan spesimen yang diberi perlakuan secara berbeda-beda ketika proses pengelasannya. Nilai dari hasil uji kekuatan tarik setiap kelompok di

rata-rata kemudian di bandingkan dengan nilai rata-rata uji kelompok yang lain. Hasil perbandingan uji kekuatan tarik dan kelompok kemudian di analisis. Setiap variasi kuat arus diambil 1 spesimen struktur mikro pada *HAZ*, logam las dan logam induk. Objek penelitian pengelasan yang dipakai adalah baja karbon rendah. Spesimen uji kekuatan tarik mengacu pada standar *ASTM E8/E8M-09*. Hasil penelitian diperoleh Kekuatan tarik sambungan las *raw material* 36,711 kgf/mm<sup>2</sup>. nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan 100 Amper mengalami penurunan yaitu 31,863 kgf/mm<sup>2</sup>. Sedangkan dengan kuat arus pengelasan 125 Amper mengalami kenaikan 40,827 kgf/mm<sup>2</sup>. Pada kuat arus pengelasan 150 Amper mengalami kenaikan 48,503 kgf/mm<sup>2</sup> Struktur mikro logam induk terdiri dari perlit dan ferrit, struktur mikro daerah *HAZ*. Struktur mikro daerah *HAZ* dan logam las dengan kuat arus pengelasan 150 *Ampere* terdiri dari bainit dan *widmanstatten ferrite*. Struktur mikro daerah *HAZ* dan logam las dengan kuat arus pengelasan 100 dan 125 *Ampere* terdiri dari asutenit sisa dan *widmanstatten ferrite*.

Hari Prasetyo (2006) meneliti kekuatan tarik dari sambungan las baja tahan karat AISI 304 dengan baja karbon rendah SS 400. Tegangan maksimum dari sambungan las ini adalah 455,52 Mpa, sedangkan tegangan luluhnya adalah 411,83 Mpa. Reduksi penampang yang terjadi sebesar 46,07%.

## II.2. Pengertian Las

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.

Mengelas menurut Wiryosumarto (2000) 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.

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.

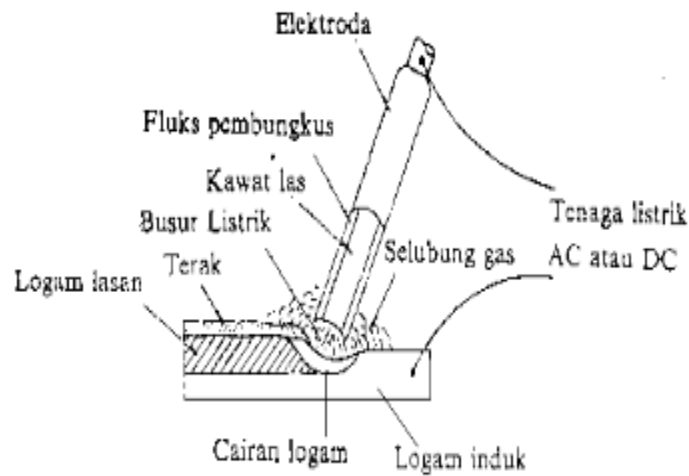
Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan. Saat ini terdapat sekitar 40 jenis pengelasan. Dari seluruh jenis pengelasan tersebut hanya dua jenis yang paling populer di Indonesia yaitu pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik (*Shielded Metal Arc Welding/SMAW*) dan las karbit (*Oxy Acetylene Welding/OAW*).

### II.3. 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 bersamadengan 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 lasdari 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 di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



Gambar II.1. Las SMAW (Wirjosumarto, 2000).

#### II.4. Elektroda

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.

Hal yang kurang menguntungkan 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.

Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (*fluks*), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat Tabel 1 dibawah ini:

Tabel II.1. Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak (Wiryosumarto, 2000).

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi <sup>*)</sup> pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm <sup>2</sup>						
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 F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E6027.....	Serbuk besi, oksida besi	{ H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm <sup>2</sup>						
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

Tabel II.1. Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak (lanjutan).

Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah	*1 Arti simbol: F = datar V = vertikal OH = atas kepala H = horizontal H-S = horizontal las sudut
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 .....		

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti pada tabel 2 dibawah ini:

Tabel II.2. Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda dan Diameter dari Elektroda (Joko Santoso, 2005).

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 (Joko Santoso, 2005). E7018 adalah suatu jenis elektroda yang mempunyai spesifikasi tertentu. Dalam penelitian ini yang dimaksud dengan E7018 menurut Wiryosumarto, (2000) adalah

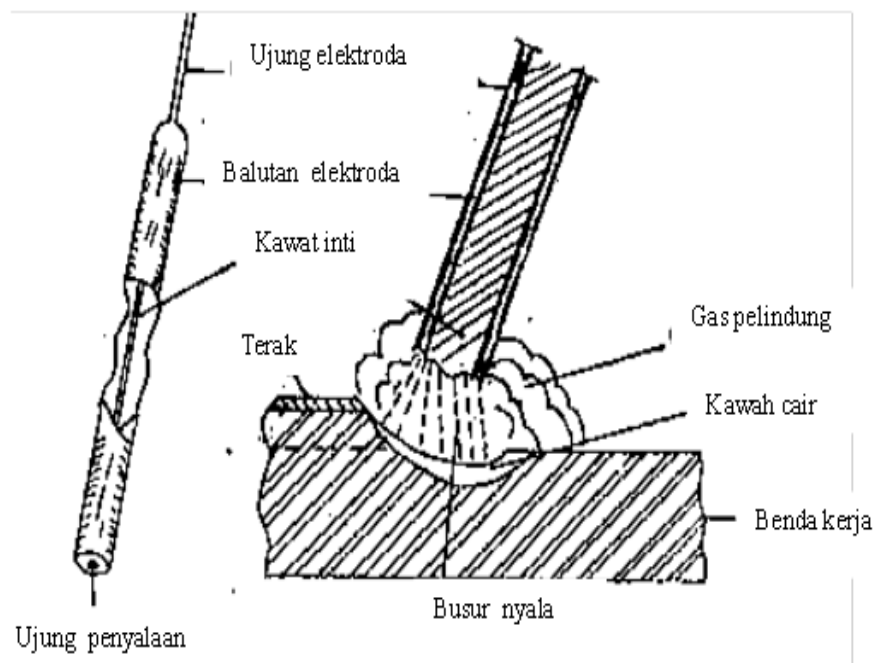
E : Elektroda las listrik (E7018 diameter 3,2 mm)

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 II.2. Elektroda terbungkus (Joko Santoso 2005)

## II.5. Arus

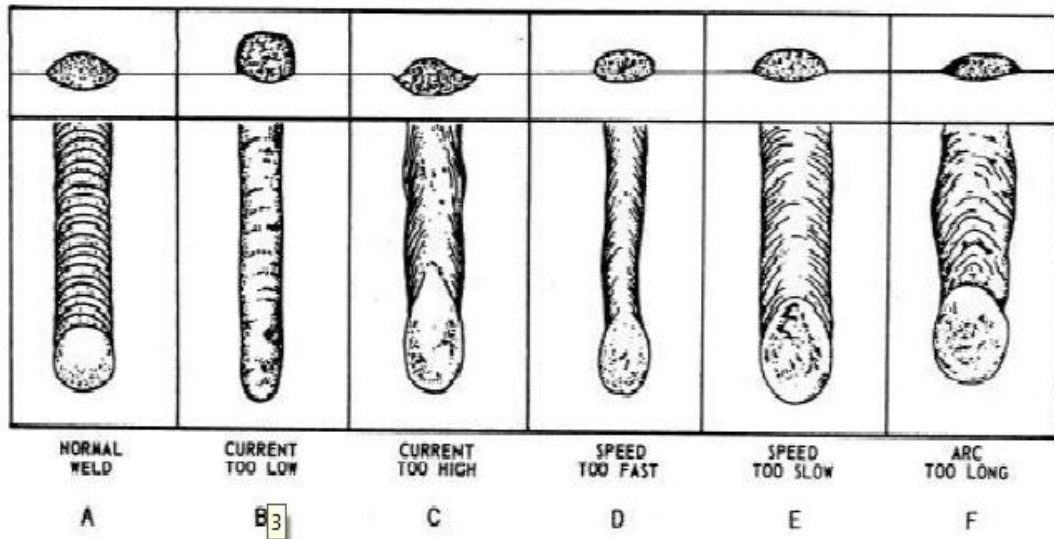
Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi.



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 seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.3.

Tabel II.3. Hubungan diameter elektroda dan arus pengelasan (Hary Prasetyo, 2006)

Diameter Kawat Las (mm)	Arus Las (Ampere)
1.6	25-45
2.0	50-75
2.5	75-95
3.25	95-130
4.0	135-180
5.0	155-240



Gambar II.3. Pengaruh arus listrik dan kecepatan pengelasan terhadap hasil sambungan las (Wiryosumarto, 2000).

## II.6. Baja Paduan Rendah SS 400

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.

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

1. 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.
2. 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/mm<sup>2</sup>.

3. 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.

Plat baja SS 400 / *Japanese Industrial Standard JIS G 3101 – ‘Rolled steel for general structure’* merupakan baja carbon rendah (*low carbon*) yang paling umum digunakan di dunia industry. Material jenis ini terdapat banyak ketersediaannya di pasar sebagai pelat, lembaran, flat, bar, bagian dll. Baja SS 400 lebih sering di gunakan di industry karena kemampuan mesinnya (*machinability*) dan kemampuan lasnya (*weldability*).

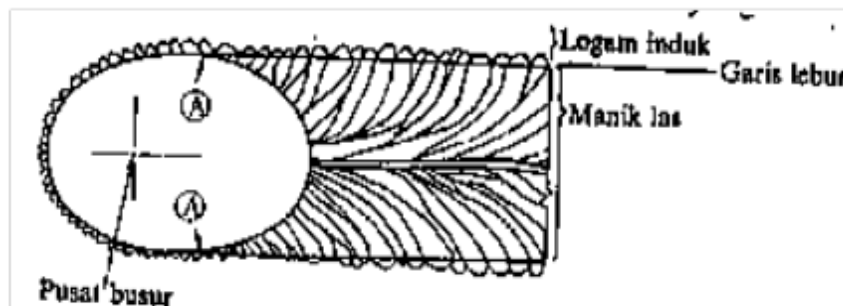
Pengelasan yang banyak digunakan untuk baja paduan rendah SS 400 adalah las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Perubahan struktur daerah las selama pengelasan, karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat menyebabkan daerah HAZ menjadi keras. Kekerasan yang tertinggi terdapat pada daerah HAZ.

## **II.7. 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.

## 1. 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*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las (Wiryosumarto, 2000).



Gambar II.4. Arah pembekuan dari logam las (Wiryosumarto, 2000)

Dari Gambar II.4 diatas 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:

- a. Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenit-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu 1000-650°C.
- b. 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 austenit dan terbentuk pada suhu 400-500°C. Bainit mempunyai kekerasan yang

lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit.

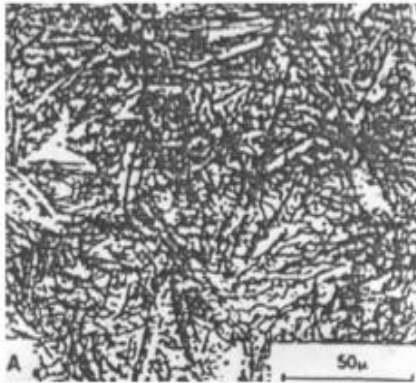
- e. Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.



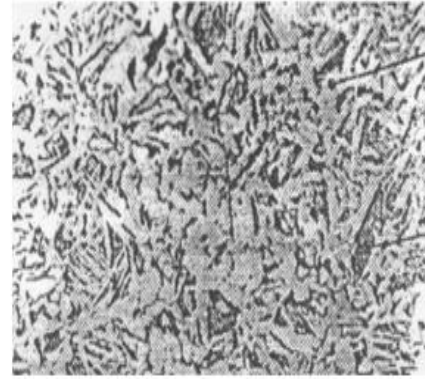
Gambar II.5. Struktur mikro *acicular ferrite* (AF) dan *grain boundary ferrite* (GF) atau ferit batas butir (Joko Santoso, 2005)



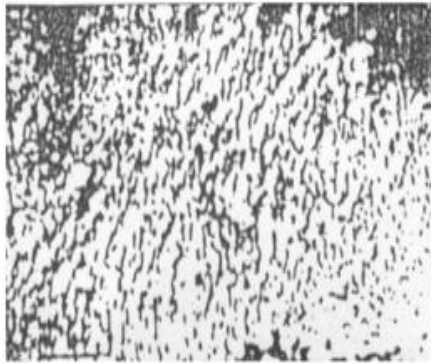
Gambar II.6. Struktur mikro ferit Widmanstätten (Joko Santoso, 2005)



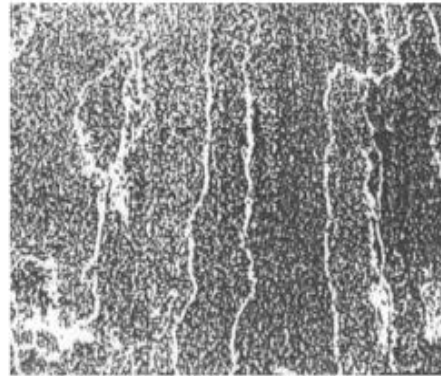
Gambar II.7. Struktur mikro martensit (Joko Santoso, 2005)



Gambar II.8. Struktur mikro ferit dan perlit (Joko Santoso, 2005)



Gambar II.9. Struktur mikro banit (Joko Santoso, 2005)



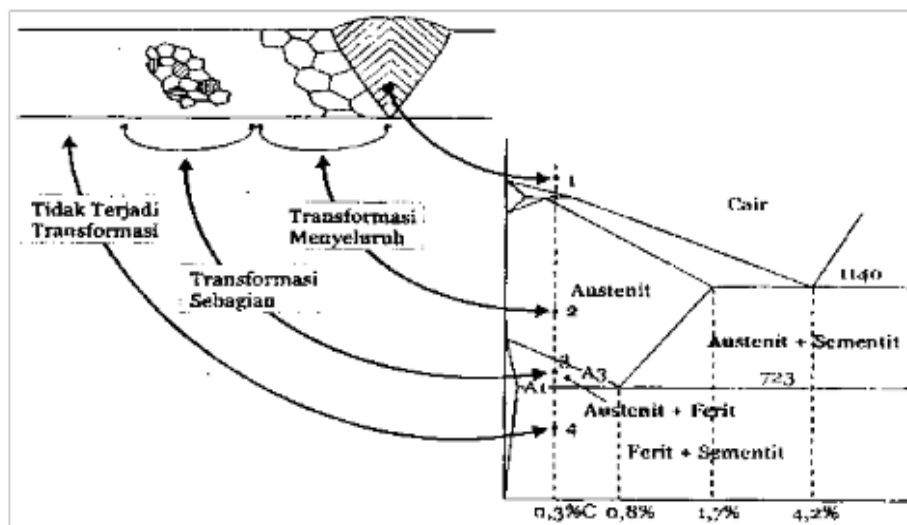
Gambar II.10. Struktur mikro daerah columnar (Joko Santoso, 2005)

## 2. 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.

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

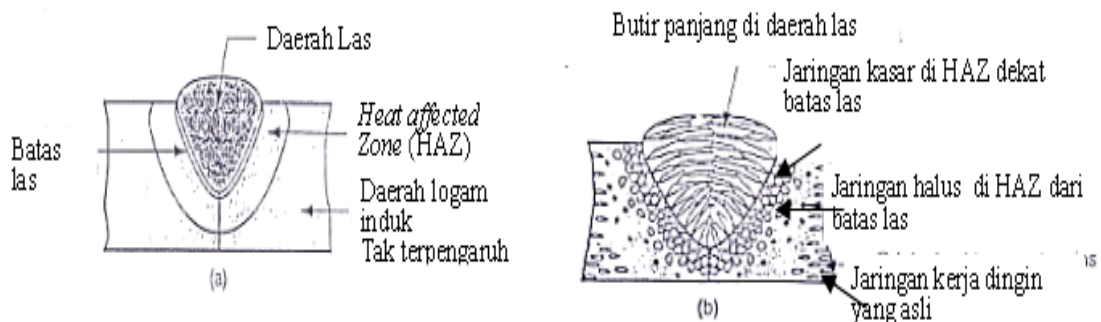
mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi austenit 100%. Titik 3 menunjukkan temperatur pemanasan, daerah itu mencapai daerah berfasa ferit dan austenit dan ini yang disebut transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit dan austenit.



Gambar II.11. Transformasi pada logam hasil pengelasan (Wiryosumarto,2000)

### 3. 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 (Wiryosumarto, 2000)



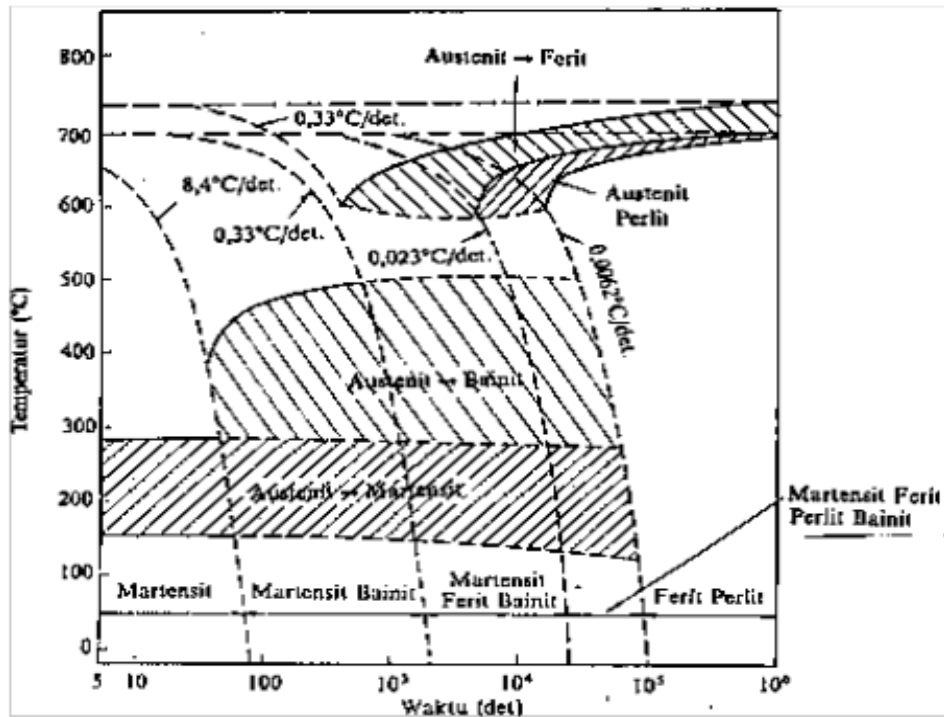
Gambar II.12. Perubahan sifat fisis sambungan las cair (Hery Prasetya 2006)



## **II.8. 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 austenit 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 II.13. Diagram CCT untuk baja paduan rendah (WiryoSumarto, 2000)

Contoh diagram CCT ditunjukkan dalam gambar di atas, dari diagram di atas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenit 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 (WiryoSumarto, 2000).

## II.9. 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. Persamaan dari heat input hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$HI(HeatInput) = \frac{\text{Tegangan pengelasan (E) X Arus pengelasan (I)}}{\text{Kecepatan pengelasan (v)}}$$

Dari persamaan itu 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 ( $\eta$ ) sehingga persamaannya menjadi:

$$HI(HeatInput) = \eta X \frac{\text{Tegangan pengelasan (E) X Arus pengelasan (I)}}{\text{Kecepatan pengelasan (v)}}$$

Efisiensi masing-masing proses pengelasan dapat dilihat dari tabel di bawah ini:

Tabel II.4. Efisiensi proses pengelasan (Wiryosumarto, 2000)

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

## II.10. 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  $136^\circ$ . 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 Tegangan luluh Batas elastis Tegangan luluh 0,2% Regangan Tegangan kekerasan HV atau VHN (*Vickers Hardness Number*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan bekas penekanan.

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

Dimana: F = Beban (kg)

L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

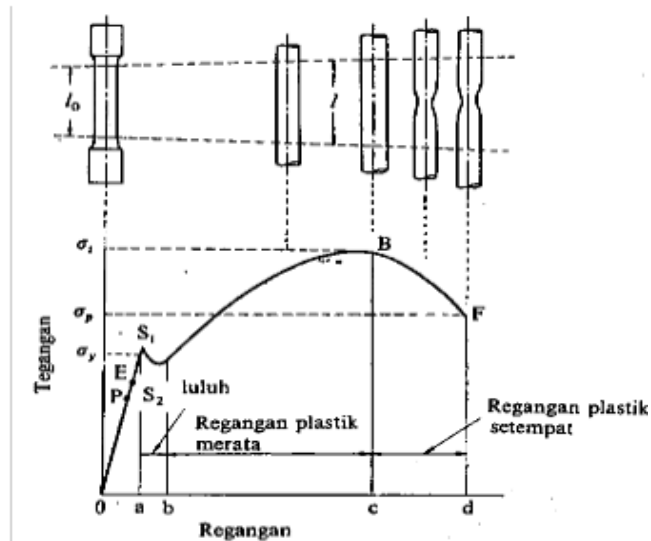
$\theta$  = Sudut piramida 136°

## II.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.

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.



Gambar 2.14. 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.

$$\sigma_u = \frac{Fu}{A_0}$$

Dimana:  $\sigma_u$  = Tegangan nominal ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

$F_u$  = Beban maksimal (kg)

$A_0$  = Luas penampang mula dari penampang batang ( $\text{mm}^2$ )

Regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur ( $\Delta L$ ) dengan panjang ukur mula-mula benda uji.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana:  $\varepsilon$  = Regangan (%)

$L$  = Panjang akhir (mm)

$L_0$  = Panjang awal (mm)

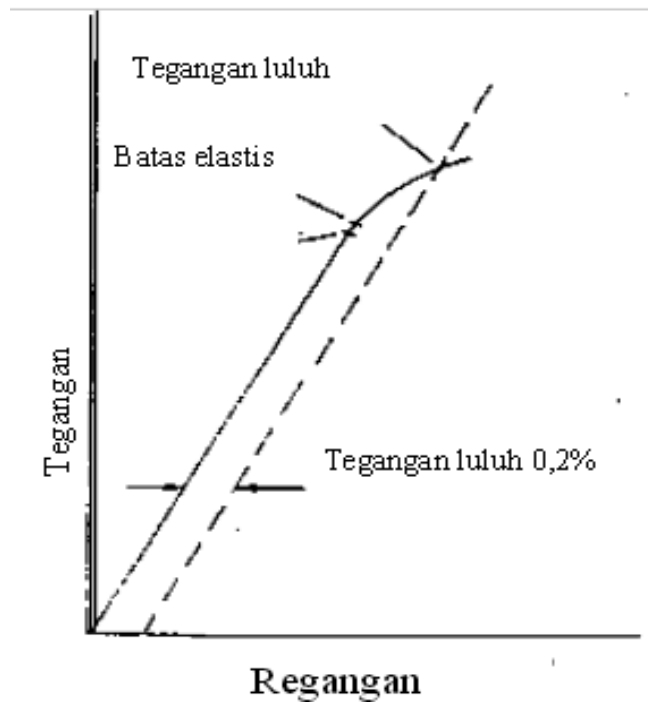
Pembebanan tarik dilakukan terus-menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan dan akan mengakibatkan kepatahan pada beban. Persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

Dimana:  $q$  = Reduksi penampang (%)

$A_0$  = Luas penampang mula ( $\text{mm}^2$ )

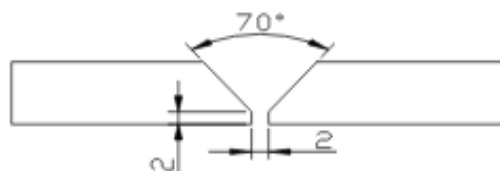
$A_1$  = Luas penampang akhir ( $\text{mm}^2$ )



Gambar 2.15. Batas elastis dan tegangan luluh 0,2 % (Wiryo Sumarto, 2000)

## II.12. 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  $60^{\circ}$ - $80^{\circ}$ , jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm.



Gambar 2.16. Kampuh V (Joko Santoso, 2005)



### II.13. Kerangka Berfikir

Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan logam. Pada proses pengelasan banyak faktor yang mempengaruhi kualitas dari hasil pengelasan diantaranya: mesin las yang digunakan, bahan yang digunakan, prosedur pengelasan, cara pengelasan, arus pengelasan dan juru las.

Kualitas dari hasil pengelasan dapat diketahui dengan cara memberikan gaya atau beban pada hasil lasan tersebut. Gaya atau beban yang diberikan dapat berupa pengujian tarik dan ketangguhan pada bahan tersebut.

Las SMAW adalah suatu proses pengelasan busur listrik yang mana penggabungan atau perpaduan logam yang dihasilkan oleh panas dari busur listrik yang dikeluarkan diantara ujung elektroda terbungkus dan permukaan logam dasar yang dilas dengan menggunakan arus listrik sebagai sumber tenaga. Jenis arus listrik yang digunakan ada 2 yaitu arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Pengelasan dengan arus searah pemasangan kabel pada mesin las ada 2 macam yaitu polaritas lurus (DC-) dan polaritas terbalik (DC+). Pada polaritas terbalik (DC+) panas yang diberikan mesin las  $\frac{1}{3}$  untuk memanaskan benda dan  $\frac{2}{3}$  untuk memanaskan elektroda.

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 kampuh 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.

Pengelasan dengan menggunakan las SMAW DC polaritas terbalik besarnya arus bermacam-macam sesuai dengan jenis elektroda. Penyetelan arus pengelasan akan berpengaruh pada panas yang ditimbulkan dalam pencairan logam dan penetrasi logam cairan tersebut.

Arus yang tinggi akan mengakibatkan panas yang tinggi, penembusan atau penetrasi yang dalam dan kecepatan pencairan logam yang tinggi. Arus yang kecil menghasilkan panas yang rendah dan tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan logam. Penembusan, panas dan kecepatan pencairan logam akan berpengaruh pada kualitas hasil pengelasan.