

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan industri di dunia ini sangat pesat di berbagai bidang terutama dibidang kontruksi yang semakin maju tidak dapat di pisahkan dari pengelasan karena mempunyai peran penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan kontruksi dengan material logam pada masa sekarang ini banyak yang berkaitan dengan elemen pengelasan. 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. Penggunaan teknik pengelasan dalam kontruksi sangat luas meliputi kontruksi perkapalan, jembatan, rangka, bejana tekan, pipa saluran, kendaraan dan lain sebagainya. Mengelas merupakan salah satu cara menyambung dua buah bagian logam secara permanen dengan menggunakan tenaga panas. Baja karon steel yang merupakan logam ferro sangat banyak di gunakan untuk kontruksi bangunan mesin maupun bangunan gedung atau pabrik karena memiliki sifat yang menguntungkan diantaranya sifat mampu las yang baik mempunyai pengelasan

yang baik, baik dari kekuatan tarik dan bending yang tinggi sesuai dengan kekuatan konstruksi yang diinginkan. Baja karbon juga dapat dilas dengan berbagai macam proses pengelasan, salah satu proses pengelasan yang sering digunakan adalah proses las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) karena merupakan proses las yang menggunakan mesin las busur listrik yang sederhana dengan elektroda.

Di dalam pengelasan besar arus sangat mempengaruhi energi yang dihasilkan dengan adanya aliran kuat arus pada suatu pengantar energi yang berasal dari energi listrik dapat diubah menjadi energi panas. Panas yang terjadi selama proses pengelasan digunakan untuk melelehkan logam induk. Energi yang dihasilkan merupakan daya yang dipakai selama waktu tertentu. Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. 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. Sebaliknya bila arus tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan.

Kelemahan dari pengelasan di antara adalah timbulnya lonjatan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah las yang

menyebabkan turunya kekuatan bahan akibat adanya tegangan sisa dan adanya cacat retakan akibat proses pengelasan. Kemudian kegagalan pada pengelasan dikarenakan kualitas sambungan las yang ditimbulkan dari temperature puncak las dan temperature terdistribusikan tidak sama pada kedua logam di sambung.

Sehubung dengan penjelasan di atas, maka penulis ingin mempelajari dan membahas tentang “**Analisis Pengaruh Variasi Arus Listrik Pada Sambungan Las SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Daerah HAZ Pada Baja Karbon Sedang**”.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun beberapa perumusan masalah yang akan di bahas pada penelitian ini diantaranya :

1. Seberapa pengaruh arus listrik pada sambungan las *SMAW* terhadap kekuatan tarik pada baja karbon sedang.
2. Bagaimana pengaruh arus listrik pada struktur mikro daerah *HAZ* sambungan las baja karbon sedang.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam permasalahan penelitian yang dibahas tidak melebar terlalu jauh dan penyimpangan dari pokok pembahasan masalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan untuk penelitian adalah baja karbon sedang AISI 1045.
2. Pengelasan dilakukan dengan las listrik *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)
3. Elektroda yang digunakan adalah E6013 diameter 3,2 mm.
4. Material yang akan di las dengan menggunakan variasi kuat arus listrik ialah: 90 Ampere, 100 Ampere, dan 110 Ampere.
5. Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan mesin *universal testing machine*.
6. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan melihat struktur mikro pada daerah pengelasan (HAZ) dengan mikroskop optic.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus listrik pada sambungan las terhadap kekuatan tarik baja karbon sedang.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus listrik pada sambungan las terhadap struktur mikro pada daerah HAZ baja karbon sedang.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Sebagai peran nyata pengembangan teknologi khususnya pengelasan, maka penulis berharap dapat mengetahui manfaat dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Untuk menambah ilmu pengetahuan dibidang pengelasan, khususnya bagi penulis.
2. Sebagai informasi penting guna meningkatkan ilmu pengetahuan bagi penelitian dalam bidang pengujian bahan, kekuatan las dan bahan teknik.
3. Sebagian literatur pada penelitian yang sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi khususnya bidang pengelasan.
4. Data yang diperoleh dari penelitian ini dapat dipergunakan sebagai pembanding dan referensi pembuatan material lainnya baik skala besar maupun skala kecil.

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Definisi Pengelasan**

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 Alip (1989) 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. Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan

dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya. Kebutuhan las yang semakin berkembang berbanding lurus dengan perkembangan pada pengelasan, misalnya pada metode pengelasan. Metode pengelasan yang ada sekarang ini sudah mengalami perkembangan.

## **2.2 Jenis-jenis Pengelasan**

### *a. Gas Metal Arc Welding (GMAW)*

Nama lain dari proses pengelasan ini adalah metal inert gas (MIG) dimana kawat elektroda yang digunakan tidak terbungkus dan sifat suplainya yang terus-menerus. Daerah lasan terlindung dari atmosphere melalui gas yang dihasilkan dari alat las. Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O<sub>2</sub> antara 2 sampai 5% atau CO<sub>2</sub> antara 5 sampai 20%.

### *b. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*

*Gas tungsten arc welding* (GTAW) adalah proses las busur yang menggunakan busur antara tungsten elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan. Proses ini digunakan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan. Proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal. GTAW telah menjadi sangat diperlukan sebagai alat bagi banyak industri karena hasil las berkualitas tinggi dan biaya peralatan yang rendah. Tidak seperti pengelasan SMAW, pada pengelasan ini membutuhkan gas pelindung tambahan dan biasanya menggunakan gas argon sebagai pelindung gas.

c. *Submerged Arc Welding (SAW)*

*Submerged Arc Welding (SAW)* adalah salah satu jenis las listrik dengan proses memadukan material yang dilas dengan cara memanaskan dan mencairkan metal induk dan elektroda oleh busur listrik yang terletak diantara metal induk dan elektroda. Arus dan busur lelehan metal diselimuti (ditimbun) dengan butiran flux.

d. *Flux-Cored Arc Welding (FCAW)*

*Flux cored arc welding (FCAW)* merupakan las busur listrik flux inti tengah. FCAW merupakan kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau *rectifier*. FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk. Gas pelindungnya juga sama-sama menggunakan karbon dioksida CO<sub>2</sub>. Biasanya, pada mesin las FCAW ditambah robot yang bertugas untuk menjalankan pengelasan biasa disebut dengan super anemo.

e. *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

**Las SMAW adalah** sebuah proses penyambungan logam yang menggunakan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Energi panas pada proses pengelasan SMAW dihasilkan karena adanya lompatan ion (katoda dan anoda) listrik yang terjadi pada ujung elektroda dan permukaan material. Pada proses pengelasan SMAW jenis pelindung yang digunakan adalah selaput flux yang terdapat pada elektroda. Flux pada elektroda

SMAW berfungsi untuk melindungi logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung. Fluks ini akan menjadi slag ketika sudah padat.

f. *Oxygen Acetylene Welding (OAW)*

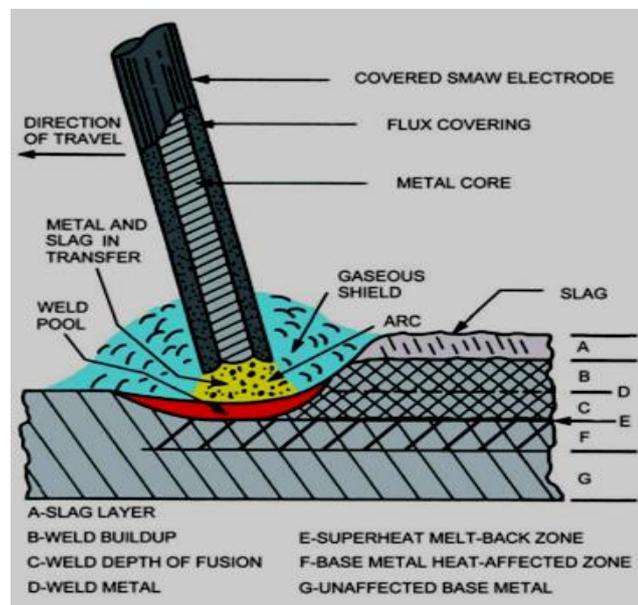
*Oxygen Acetylene Welding (OAW)* suatu proses pengelasan gas yang menggunakan sumber panas nyala api melalui pembakaran gas oksigen dan gas asetilen untuk mencairkan logam dan bahan tambah. Dalam pengelasan OAW ini biasanya digunakan hanya untuk plat tipis, hal ini dikarenakan sambungan las *Oxygen Acetylene* ini mempunyai kekuatan yang rendah dibandingkan las busur.

### **2.3 Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)***

Las busur listrik elektroda terlindung atau lebih dikenal dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam. Busur listrik terbentuk diantara elektroda terlindung dan logam induk. Karena panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama. Pengelasan busur nyala logam terlindung (SMAW) merupakan salah satu jenis yang paling sering digunakan dan paling sederhana pada saat ini. Proses las SMAW sering disebut proses elektroda tongkat manual.

Pemanasan dilakukan dengan busur listrik antara elektroda yang dilapis dan bahan yang akan disambung. Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks.

Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kumpuh las. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar. Las SMAW dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Las SMAW

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

## **2.4 Peralatan Utama Las SMAW**

Peralatan utama adalah peralatan yang berhubungan langsung dengan proses pengelasan terdiri dari sambungan antara sumber arus pengelas dan tempat kerja, memakai kabel-kabel dan pada waktu mengelas benda kerja tersebut berada dalam lingkaran arus las. Sumber arus lasnya disambungkan pada jaringan arus listrik yang ada dan semua sambungan listriknya memakai stekker atau kontak stekker yang dilengkapi dengan uliran sebagai pengaman. Dari sumber arus las tersebut selalu dilengkapi dua kabel yang terpisah satu sama lain ke tempat kerja. Melalui dua kabel ini akan tersusun lingkaran arus lewat pemegang / penjepit elektroda dan benda kerja.

### **a. Mesin Las**

Mesin las merupakan alat pengelasan listrik yang paling utama. Mesin las adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas. Energi panas ini dimanfaatkan untuk melelehkan elektroda dan logam induk atau logam dasar. Kemudian keduanya akan memadat menjadi satu dan jadilah sambungan pengelasan.

### **b. Kabel Massa**

Kabel massa adalah kabel yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari mesin las ke benda kerja atau logam Induk.

### **c. Klem Massa**

Klem massa adalah alat yang digunakan sebagai alat penghubung kabel massa ke logam induk. Klem massa biasanya terbuat dari tembaga atau logam

lain yang mempunyai sifat konduktor yang baik. Pada klem massa juga terdapat pegas yang berfungsi untuk menjepit benda kerja dengan baik agar tidak mudah terlepas.

#### d. Kabel Elektroda

Kabel elektroda adalah kabel berfungsi mengalirkan arus listrik dari mesin las ke holder atau ke elektroda yang akan membuat busur listrik menyala ketika disentuh ke benda kerja. Untuk Kabel las ini harus mempunyai sifat yang fleksibel (mudah digerakkan). Didalamnya juga terdapat beberapa bagian seperti lead, lapisan karet dan kawat tembaga.

#### e. Elektroda

Elektroda atau sering disebut juga kawat las adalah benda yang digunakan untuk melakukan pengelasan listrik. Busur nyala akan timbul ketika ujung elektroda sebagai pembakar bersinggungan dengan logam induk, kemudian menghasilkan banyak panas untuk melelehkan dan melebur logam pengelasan. Ada beberapa jenis elektroda atau kawat las yang biasanya digunakan pada material yang berbeda.

#### f. Holder

Holder adalah alat berfungsi sebagai pemegang kawat las (elektroda) saat digunakan welder untuk proses pengelasan. Holder harus terbuat dari bahan yang memiliki ketahanan panas yang tinggi. Karena posisinya berdekatan dengan kawat las (elektroda) yang mencair dan temperaturnya bisa mencapai hingga 2000°C. Di dalam holder ini juga terdapat pegas yang berfungsi untuk mengunci elektroda.

## 2.5 Elektroda

Elektroda adalah bahan yang digunakan untuk melaksanakan pengelasan listrik, fungsinya ialah sebagai nyala api yang ditimbulkan dari pembakaran. Ada beberapa jenis kawat las dengan spesifikasinya masing masing, tapi kebanyakan orang melakukan pengelasan dengan kawat las yang tanpa dia sadari jenis kawat las yang dia gunakan sudah sesuai dengan prosedur atau belum. Padahal elektroda tersebut yang khususnya tipe SMAW mempunyai kode spesifikasi tersendiri yang tertulis di bagian kardus pembungkus kawat las, dari kardus tersebut kita dapat melihat berapa arus yang harus kita gunakan pada saat pengelasan. Akan tetapi kebanyakan pengelas menghiraukan dan lebih sering memakai pengalaman dan insting mereka dalam melakukan pengelasan seperti menentukan elektroda dan besarnya arus listrik. Kebanyakan orang yang tidak terlalu mengetahui tentang pengelasan.

Ada beberapa jenis elektroda atau kawat las yang biasanya digunakan pada material yang berbeda. Ada beberapa hal pada perbedaan berbagai jenis kawat las listrik atau elektroda ini salah satunya besaran arus listrik yang digunakan pada proses pengelasan. Pada pengelasan sendiri setiap bahan berbeda maka besar arus listrik yang digunakan akan berbeda juga agar sesuai dengan hasil yang diinginkan

Elektroda atau sering disebut juga kawat las adalah benda yang digunakan untuk melakukan pengelasan listrik. Busur nyala akan timbul ketika ujung elektroda sebagai pembakar bersinggungan dengan logam induk, kemudian

menghasilkan banyak panas untuk melelehkan dan melebur logam pengelasan.

Secara umum elektroda bisa dibedakan 2 macam yaitu :

a. Elektroda Berselaput/salutan

Elektroda berselaput adalah bahan inti kawat yang dilapisi salutan (flux) dari bahan kimia tertentu disesuaikan dengan jenis pengelasan. Elektroda ini disebut juga *consumable electrode*, karena bisa habis saat digunakan mengelas. Kawat las SMAW yang biasa kita pakai sehari-hari adalah termasuk elektroda berselaput.

Elektroda berselaput terdiri dari dua bagian dengan fungsi yang berbeda-beda yaitu sebagai berikut:

1. Bagian inti elektroda, berfungsi sebagai penghantar arus listrik dan sebagai bahan tambah. Bahan inti elektroda dibuat dari logam ferro dan non ferro, seperti: baja karbon, baja paduan, aluminium, kuningan dan lain-lain.
2. Bagian salutan elektroda, berfungsi untuk: memberikan gas pelindung pada logam yang dilas, melindungi kontaminasi udara pada waktu logam dalam keadaan cair, membentuk lapisan terak yang melapisi hasil pengelasan dari oksidasi udara selama proses pendinginan, mencegah proses pendinginan agar tidak terlalu cepat, memudahkan penyalaan dan mengontrol stabilitas busur.

Flux adalah bagian yang melapisi inti kawat las yang terbuat dari campuran bahan kimia khusus dengan persentase yang berbeda-beda untuk tiap jenis elektroda. Jenis bahan kimia pembuat flux misalnya: selulosa, kalsium

karbonat ( $\text{Ca CO}_3$ ), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya. Pelapisan fluks pada kawat inti bisa dengan cara destruksi, semprot atau celup. Tebal selaput 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  $\text{N}_2$  akan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas.

Elektroda yang telah dibuka dari bungkusnya, harus disimpan di dalam kabinet pemanas atau oven dengan suhu 15 derajat lebih tinggi dari suhu udara luar, sebab lapisan tersebut sangat peka terhadap kelembaban. Apabila dibiarkan lembab, maka pada saat digunakan bisa menyebabkan hal-hal sebagai berikut:

1. Salutan mudah terkelupas, sehingga sulit untuk dinyalakan.
2. Percikan yang berlebihan.
3. Busur tidak stabil.
4. Asap yang berlebihan.

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan 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 E6013 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. Untuk melihat elektroda dapat di lihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Elektroda Berselaput

#### b. Elektroda Polos

Elektroda polos adalah jenis elektroda tanpa lapisan flux. Elektroda ini disebut juga dengan '*non consumable electrode*' karena tidak bias mencair saat digunakan pengelasan. Jenis elektroda ini terbuat dari bahan logam *tungsten* atau *wolfram* yang mempunyai sifat tahan panas dan tidak bisa mencair / meleleh. Yang termasuk salah satu jenis elektroda ini dapat kita temui pada pengelasan

TIG atau GTAW, atau biasanya kita menyebut las argon. Pengelasan ini menggunakan elektroda *tungsten* yang berfungsi untuk melelehkan logam induk dengan pengisi menggunakan filler metal. Sedangkan gas argon digunakan sebagai pelindungnya.

Elektroda polos adalah elektroda tanpa diberi lapisan dan penggunaan elektroda jenis ini terbatas antarlain untuk besi tempa dan baja lunak. Kawat las berlapis tebal paling banyak digunakan terutama pada proses pengelasan komersil. Pada lapisan elektroda berlapis tebal memiliki fungsi membentuk terak dengan sifat-sifat tertentu untuk melindungi logam cair, membentuk lingkungan pelindung.

Kekutan tarik pada kelompok E 60 setelah dilaskan 60.000 Psi atau 42,2 kg/mm<sup>2</sup>

Kekutan tarik pada kelompok E 70 setelah dilaskan 70.000 Psi atau 49,2 kg/mm<sup>2</sup>

Dimana, arti simbol :

F = Datar

V = Vertical

OH = Atas kepala

H = Horizontal

S = Hozontal las sudut

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti pada table 2.1 di bawah ini:

Table 2.1 Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda Dan Diameter Dari Elektroda

Diameter		Tipe Elektroda dan Ampere Yang Digunakan					
Mm	Inch	E 6010	E 6014	E7018	E7024	E7027	E7028
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	160-245	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	¼	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	5/16	-	90-500	375-470	-	-	-

Misal elektroda / kawat las dengan kode AWS E7018-H8R artinya kekuatan tariknya 70 ksi, mengandung mengandung “*iron powder-iron oxide-iron powder-iron oxide*”, mengandung sedikit hidrogen (*low hydrogen*), ketahanan terhadap uap air dan untuk dipakai pada pengelasan *mild steel*.

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

70 = Tegangan tarik minimum dari hasil pengelasan (70.000 Psi) atau sama dengan 492 MPa.

Las dengan Elektroda terbungkus dapat dilihat pada Gambar 2.3.



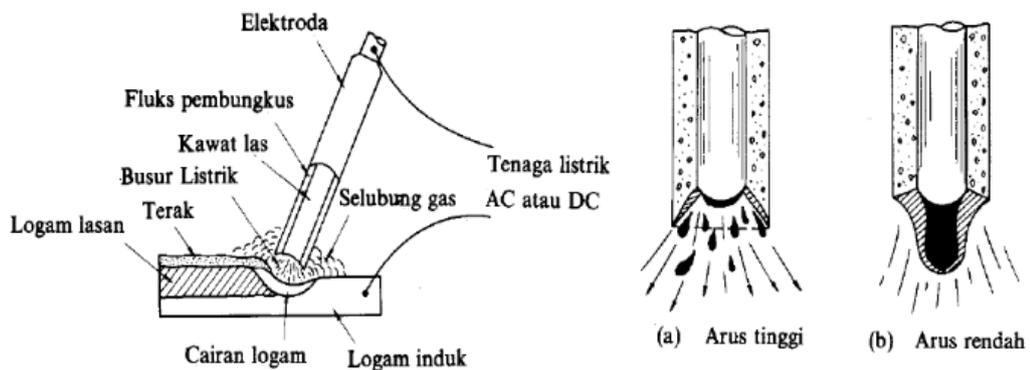
Gambar 2.3 Las Dengan Elektroda Berselaput

## 2.6 Besar Arus Listrik

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi. Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya.

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 listrik terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi. Untuk Gambar pengaruh pemakaian arus busur listrik tinggi dan rendah dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pengaruh Pemakaian Arus Busur Listrik

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus busur listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti pada gambar 2.4 (a), sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar seperti dalam gambar 2.4 (b).

## 2.7 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. Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambahan dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan

besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogeny, ketidak homogenanya 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 dilogam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh kearah tengah daerah logam las. 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 yang menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat berbentuk, 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 widmanstätten*.

Uji struktur mikro dimaksudkan untuk mengetahui bentuk, susunan, dan ukuran butir pada logam las. Ada beberapa bentuk struktur mikro yang biasa terdapat pada baja karbon sedang salah satunya ferrite dan pearlite.

- **Ferit (*Ferrite*)**

Ferit mengandung sangat sedikit (atau tidak ada) karbon dalam zat besi. Ferit adalah nama yang diberikan untuk kristal besi murni yang lunak dan ulet. **Pendinginan lambat dari baja karbon rendah di bawah suhu kritis menghasilkan struktur ferit.** Ferit tidak mengeras bila didinginkan

dengan cepat. Ferit sangat lembut dan sangat magnetik. Ferite biasanya terlihat bewarna putih.

- Perlit (*Pearlite*)

Perlit adalah paduan eutektoid dari ferit dan sementit. **Perlit terjadi terutama pada baja karbon rendah dalam bentuk campuran mekanik ferit dan sementit.** Kekerasannya meningkat dengan proporsi perlit dalam bahan besi. **Pearlite relatif kuat, keras dan ulet, sedangkan ferit lemah, lunak dan ulet.** Perlit berbentuk seperti lapisan terang dan gelap secara bergantian. Lapisan-lapisan ini bergantian antara ferit (terang) dan sementit (gelap). Ketika dilihat dengan bantuan mikroskop, permukaan memiliki penampilan seperti pearl (mutiara) mutiara, karenanya disebut perlit. **Baja keras adalah campuran dari perlit dan sementit sedangkan baja lunak adalah campuran dari ferit dan perlit. Perlit biasanya terlihat bewarna hitam.**

Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro dibawah ini:

1. Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi *austenite-ferit* biasanya terbentuk sepanjang batas austenite pada suhu 100 – 650°C.
2. *Ferit widmanstätten* atau *ferrite with aligned second phase*, struktur mikro ini terbentuk pada suhu 750-650°C di sepanjang batas butir *austenite*, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.
3. *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 di bandingkan struktur mikro yang lain.

4. *Bainit*, merupakan *ferit* yang tumbuh dari batas butir *austenite* dan terbentuk pada suhu 400-500°C. *Bainit* mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan *ferit*, tetapi lebih rendah dibanding *martensit*.
5. *Martensit* akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pen dingin sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhan rendah.

## **2.8 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 logam nya semakin kasar.

Selama pemotongan logam atau pengelasan logam, logam menyerap panas yang dihasilkan. Panas ini merambat dari ujung sisi melalui body logam, karena logam adalah konduktor panas yang baik. Sebuah zona terbentuk antara logam yang meleleh dan logam dasar yang tidak terpengaruh, yang disebut zona pengaruh panas (*HAZ*). Di zona ini, logam tidak meleleh tetapi panas telah menyebabkan perubahan struktur mikro logam. Perubahan struktur ini dapat mempengaruhi kekuatan logam.

Daerah HAZ merupakan daerah paling kritis dari sambungan las, karena selain berubah strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah ini. Daerah HAZ perlu diketahui kekuatan mekaniknya dengan cara pengujian tarik. Selain kekuatan mekanik perlu diamati strukturnya dengan uji strukturmikro. Daerah HAZ dapat di lihat pada Gambar 2.5.

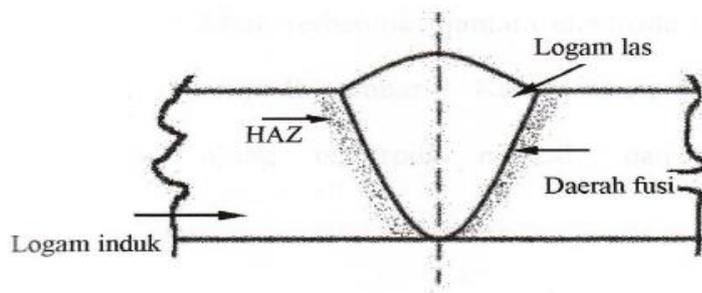


Gambar 2.5 HAZ Efek Pengelasan

Penyebaran panas pada logam induk dipengaruhi oleh temperatur panas dari logam cair dan kecepatan dari pengelasan. Pada batas HAZ dan logam cair temperatur naik sangat cepat sampai batas pencairan logam dan temperature turun sangat cepat juga setelah proses pengelasan selesai. Hal ini dapat disebut juga sebagai efek *quenching*. Pada daerah ini biasanya terjadi transformasi struktur mikro. Struktur mikro menjadi *austenit* ketika temperatur naik (panas) dan menjadi *martensit* ketika temperatur turun (dingin).

Daerah yang terletak dekat garis fusi ukuran butirnya akan cenderung besar yang disebabkan oleh adanya temperatur tinggi, menyebabkan *austenit* mempunyai kesempatan besar untuk menjadi *homogen*. Karena dengan keadaan *homogen* menyebabkan ukuran butir menjadi lebih besar. Sedangkan daerah yang semakin menjauhi garis fusi ukuran butirnya semakin mengecil. Hal ini

disebabkan oleh temperatur yang tidak begitu tinggi menyebabkan austenit tidak mempunyai waktu yang banyak untuk menjadi lebih *homogen*. Transformasi struktur mikro yang terjadi akibat perubahan temperatur menyebabkan daerah HAZ sangat berpotensi terjadinya retak (*crack*) dan hal ini sangat penting untuk diperhatikan untuk mendapatkan hasil lasan yang baik. Daerah las-lasan dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Daerah Las-lasan

Pada daerah HAZ terdapat tiga daerah yaitu:

1. Logam induk (base metal), merupakan bagian logam dasar dimana pemanasan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.
2. Logam las, merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.
3. Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ), merupakan logam dasar yang bersebelahan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

Pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan temperature pemanasan mencapai daerah berfasa austenite dan ini

disebut dengan transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro *Stainlas Stell* mula-mula ferit-ferlit kemudian bertransformasi menjadi *austenite* 100%. Titik 3 menunjukkan temperature pemanasan, daerah itu mancapai daerah berfasa ferit dan austenite dan ini yang disebut transformasi sebagai yang artinya srtuktur mikro *Stainlas Stell* mula-mula ferit-perlit berubah menjadi ferit dan *austenite*.

## **2.9 Logam Induk**

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketika pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas yang disebut batas las.

## **2.10 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)**

Pada proses pengelasan, transformasi austenite menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini di sebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Factor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenite menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las. Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenite sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu,

suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*continuous cooling transformation*).

### **2.11 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 di ubah 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 tiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut heat input.

### **2.12 Baja Paduan Sedang**

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.

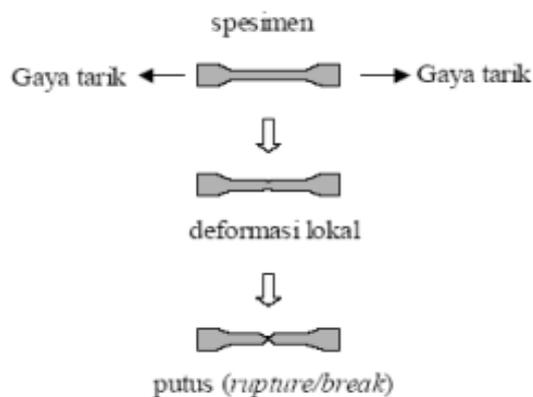
Baja paduan sedang adalah baja paduan yang mempunyai kadar karbon samadengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Baja paduan sedang dibagi menurut sifatnya yaitu baja tahan suhu rendah, baja kuat dan baja tahan panas.

- a. Baja tahan suhu rendah. Baja ini mempunyai kekuatan tumbuk yang tinggi dan suhu transisi yang rendah, karena itu dapat digunakan dalam konstruksi untuk suhu yang lebih rendah dari suhu biasa.
- b. Baja kuat. Baja ini dibagi dalam dua kelompok yaitu kekuatan tinggi dan kelompok ketangguhan tinggi. Kelompok kekuatan tinggi mempunyai sifat mampu las yang baik karena kadar karbonnya rendah. Kelompok ini sering digunakan dalam konstruksi las. Kelompok yang kedua mempunyai ketangguhan dan sifat mekanik yang sangat baik. Kekuatan tarik untuk baja kuat berkisar antara 50 sampai 100 kg/mm<sup>2</sup>.
- c. Baja tahan panas adalah baja paduan yang tahan terhadap panas, asam dan mulur. Baja tahan panas yang terkenal adalah baja paduan jenis Cr-Mo yang tahan pada suhu 600°C. Pengelasan yang banyak digunakan untuk baja paduan rendah adalah las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logamgas mulia). Perubahan struktur daerah las

selama pengelasan, karena daya pemanasan dan pendinginan yang cepat menyebabkan daerah HAZ menjadi keras. Kekerasan yang tertinggi terdapat pada daerah HAZ.

### 2.13 Ujian Kekuatan Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Gambaran singkat uji tarik di lihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Gambaran Singkat Uji Tarik

Percobaan tarik adalah salah satu pengujian sifat mekanik suatu bahan. Di mana pada bahan percobaan di berikan regangan dengan perlahan-lahan sampai bahan itu putus, percobaan ini dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine*. Ujian tarik adalah suatu pengukuran terhadap bahan untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan suatu bahan terhadap tegangan tertentu serta penambahan

panjang yang dialami oleh bahan tersebut. Salah satu dari metode percobaan uji kekuatan tarik (*tensile test*) yang di gunakan salah satunya adalah:

Percobaan Plastik (*plastic deformation*)

Yang di maksud dengan percobaan plastik adalah apabila bahan di berikan beban, maka akan terjadi perubahan dan setelah beban di bebaskan, bahan tersebut tidak dapat kebal seperti semula. Pada percobaan plastik ini data-data yang di dapat setelah percobaan dapat menghitung beberapa hal seperti:

Tegangan Tarik dapat di hitung dengan rumus:

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_o} \text{ Kgf/mm}^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$\sigma_B$  = Tegangan tarik ( $\text{Kgf/mm}^2$ )

$A_o$  = Luas penampang bahan sebelum percobaan ( $\text{mm}^2$ )

$F_{max}$  = Beban maximum (Kg)

Persen Elongasi dapat di hitung degan rumus:

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_o}{L_o} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.2)$$

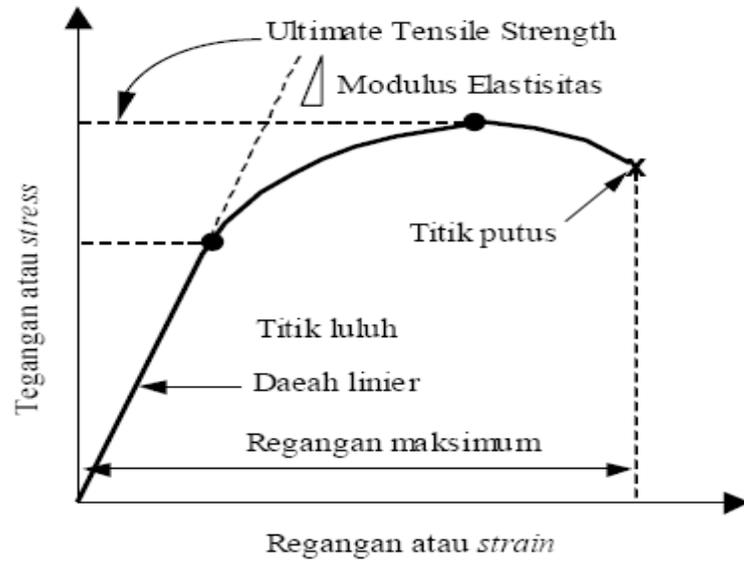
Dimana:

$\epsilon$  = Elongasi (%)

$L_o$  = Panjang bahan sebelum percobaan (mm)

$L_1$  = Panjang bahan setelah percobaan (mm)

Gambar kurva regangan uji tarik dapat di lihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kurva Regangan