

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pengelasan SMAW telah digunakan sejak abad ke-19 dan tetap menjadi metode pengelasan yang populer hingga saat ini. Metode ini dikembangkan untuk menghadapi kebutuhan industri yang kompleks seperti produksi kapal konstruksi jembatan fabrikasi baja dan berbagai aplikasi industri lainnya. Salah satu keunggulan utama pengelasan SMAW adalah kesederhanaan dan fleksibilitasnya. Proses ini relatif mudah dipelajari dan tidak memerlukan peralatan yang mahal atau rumit. Elektroda yang digunakan dalam SMAW memiliki fluks yang meleleh saat dipanaskan memberikan perlindungan dari udara dan kontaminan atmosfer lainnya. Akibatnya pengelasan SMAW bisa dilakukan di lingkungan terbuka tanpa memerlukan gudang inert gas.

Keunggulan lainnya adalah fleksibilitas pengelasan SMAW dalam mengelas berbagai jenis logam termasuk baja karbon baja tahan karat baja nirkarat besi tuang dan banyak lagi. Ini menjadikannya pilihan yang ideal untuk berbagai proyek konstruksi dan perbaikan, Namun ada beberapa keterbatasan dari pengelasan SMAW. Proses ini memiliki kecepatan pengelasan yang relatif lambat dan tidak cocok untuk pengelasan logam-tipis dan tipis karena cenderung meninggalkan penempaan yang lebih besar dan panas yang berlebihan. Selain itu kemampuan mengelas SMAW juga terbatas pada posisi pengelasan yang terbatas seperti pengelasan horizontal atau vertikal.

Meskipun keterbatasan ini pengelasan SMAW tetap menjadi salah satu metode pengelasan yang paling sering digunakan di berbagai industri. Dengan melibatkan penggunaan elektroda berlapis yang dilapisi dengan fluks SMAW dapat menghasilkan pengelasan yang kuat tahan lama dan dapat diandalkan untuk berbagai aplikasi. Keandalannya selama bertahun-tahun telah membuktikan nilai pentingnya dalam menciptakan struktur peralatan dan produk berkualitas tinggi.

Baja karbon rendah SS400 adalah salah satu jenis baja struktural yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi manufaktur dan konstruksi. Baja SS400 memiliki karakteristik utama yaitu kekuatan tarik yang tinggi ketangguhan yang baik dan kekuatan lentur yang baik. Baja ini tergolong dalam kategori baja karbon rendah dengan kandungan karbon kurang dari 0.25%. Salah satu permasalahan yang dihadapi adalah memastikan keseimbangan antara kekuatan tarik dan kekerasan material. Baja karbon rendah SS400 sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan tarik yang tinggi namun resiko kekerasan yang tinggi juga dapat menyebabkan retakan atau patah pada material.

Pada penelitian ini penulis menggunakan material Baja karbon rendah SS400 dengan menggunakan 2 polaritas arus pengelasan baik DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*) dan DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*) yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan ketangguhan pada sambungan material las setelah dilakukan pengelasan dengan menggunakan arus 100A, juga menggunakan elektroda E6013 dengan ukuran elektroda 2,6m. Penggunaan polaritas pengelasan DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*) dan DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*) sangat mempengaruhi pada ketangguhan sambungan

las. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengangkat judul “ **Perbandingan Polaritas DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*) dan DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*) Dengan Elektroda E6013 Terhadap Kekuatan Tarik**”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan polaritas DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*) dan DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*) dengan arus 100A terhadap pengujian tarik pada Elektroda E6013?
2. Apakah terdapat perbandingan signifikan dalam pengujian tarik antara penggunaan polaritas DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*) dan DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*) dengan arus 100A pada Elektroda E6013?

## **1.3 Batasan Masalah**

Dalam permasalahan penelitian ini penulis memberikan batasan masalah agar menghindari terjadinya pembahasan yang terlalu jauh dan menyimpang dari pokok pembahasan, adapun batasan masalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan penelitian adalah Baja karbon rendah SS400 dengan ketebalan 5mm.
2. Material yang akan di las menggunakan elektroda E6013 dengan kuat arus 100A.

3. Pengelasan akan dilakukan dengan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).
4. Uji tarik dilakukan dengan mesin uji tarik.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kekuatan uji tarik dengan perbandingan polaritas DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*) dan DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*) pada material Baja karbon rendah SS400.
2. Untuk mengetahui kekuatan uji tarik pada sambungan las dengan Elektroda E6013 dengan arus 100A pada Baja karbon rendah SS400.
3. Untuk mengetahui seberapa pengaruhnya polaritas DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*) dan DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*) dengan Elektroda E6013 pada arus 100A pada sambungan las.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

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

1. Untuk menambah ilmu pengetahuan di bidang pengelasan, khususnya bagi penulis.
2. Sebagai literatur pada penelitian yang sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi khususnya bidang pengelasan.

3. Sebagai informasi penting guna meningkatkan ilmu pengetahuan bagi peneliti dalam bidang pengujian bahan, kekuatan las dan bahan teknik.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pengelasan**

Pengelasan adalah proses menyambung dua atau lebih benda logam dengan menggunakan panas yang tinggi untuk melelehkan logam dasar dan menambahkan bahan pengisi (logam atau non-logam) yang mengisi celah antara kedua benda tersebut. Tujuan dari pengelasan adalah untuk menciptakan sambungan yang kokoh dan permanen antara benda-benda logam tersebut. Pengelasan biasanya dilakukan dengan menggunakan sumber panas seperti api gas listrik atau sinar laser. Proses ini melibatkan pemanasan logam dasar hingga mencapai titik lebur atau titik plastisitasnya sehingga logam tersebut menjadi cair atau dapat diformulasikan[5].

Selama proses pengelasan bahan pengisi biasanya ditambahkan ke celah antara dua benda logam yang akan disambung. Bahan pengisi ini dapat berupa kawat las elektroda las atau bahan lain yang memiliki sifat fisik dan kimia yang sesuai dengan logam dasar yang akan disambung. Pada akhirnya logam dasar dan bahan pengisi yang meleleh akan mendingin dan membentuk sambungan baru yang kuat. Proses ini menghasilkan sambungan logam yang memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan tahan terhadap beban panas dan tekanan.

Pengelasan digunakan dalam berbagai industri dan aplikasi mulai dari fabrikasi dan konstruksi logam hingga pembuatan kendaraan peralatan industri

dan instalasi pipa. Metode pengelasan yang digunakan dapat beragam tergantung pada jenis logam ketebalan logam dan kebutuhan spesifik dari proyek atau aplikasi tertentu, Selama proses pengelasan beberapa elemen utama yang terlibat antara lain:

1. Sumber Panas: Sumber panas yang umum digunakan adalah busur listrik gas atau laser. Ini digunakan untuk memanaskan material logam hingga titik lelehnya.
2. Elektroda atau Bahan Pengisi: Dalam beberapa metode pengelasan seperti pengelasan listrik atau pengelasan busur listrik elektroda digunakan untuk menghasilkan panas dan melapisi area sambungan dengan bahan pengisi. Bahan pengisi memberikan tambahan logam yang diperlukan untuk membentuk sambungan yang kuat.
3. Gas Pelindung: Dalam beberapa jenis pengelasan seperti pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) atau MIG (Metal Inert Gas gas pelindung digunakan untuk melindungi daerah sambungan.

Berikut adalah beberapa jenis pengelasan yang umum digunakan:

1. Pengelasan Listrik (Electric Arc Welding): Ini adalah metode pengelasan yang paling umum digunakan. Pengelasan busur listrik melibatkan penggunaan panas tinggi yang dihasilkan oleh arus listrik yang dilewatkan melalui elektroda memanaskan dan mencairkan logam dalam proses pengelasan. Metode ini dapat dibagi lagi menjadi sub-kategori seperti pengelasan busur terproteksi (Shielded Metal Arc Welding/SMAW) dan pengelasan busur gas terproteksi (Gas Metal Arc Welding/GMAW dan

pengelasan busur terproteksi gas reaktif (Gas Tungsten Arc Welding/GTAW).

2. Pengelasan Gas (Gas Welding): Metode ini melibatkan penggunaan panas yang dihasilkan oleh nyala api gas dan oksigen untuk mencairkan logam yang akan disambungkan. Pengelasan gas sering digunakan untuk pengelasan pipa perbaikan kecil dan konstruksi logam tipis.
3. Pengelasan Tungku (Forge Welding): Metode ini melibatkan pemanasan logam secara langsung di dalam tungku atau peleburan dan penyambungan logam tersebut pada suhu tinggi. Hal ini memungkinkan logam untuk mencapai suhu leleh yang diperlukan untuk penggabungan dan dapat dilakukan baik dengan tangan atau dengan alat khusus.
4. Pengelasan Percikan (Spot Welding): Metode ini digunakan untuk menyambungkan bagian logam tertentu dengan membuat titik titik pengelasan yang kuat menggunakan arus tinggi. Spot welding biasanya digunakan dalam industri otomotif untuk menyambungkan panel-panel bodi kendaraan.
5. Pengelasan Geser (Friction Welding): Metode ini melibatkan gesekan dan tekanan yang melahirkan panas antara dua logam yang akan disambungkan dan kemudian menghasilkan penyambungan dengan melarutkan dan mencampurkan logam secara terlokalisasi. Pengelasan geser umumnya digunakan dalam industri otomotif penerbangan dan manufaktur logam lainnya. Inilah beberapa macam pengelasan umum yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Setiap teknik

pengelasan memiliki kelebihan dan kelemahan serta membutuhkan keterampilan khusus dan pengetahuan tentang logam yang akan disambungkan untuk mencapai hasil pengelasan yang berkualitas.

## 2.2. Klasifikasi Cara Pengelasan.

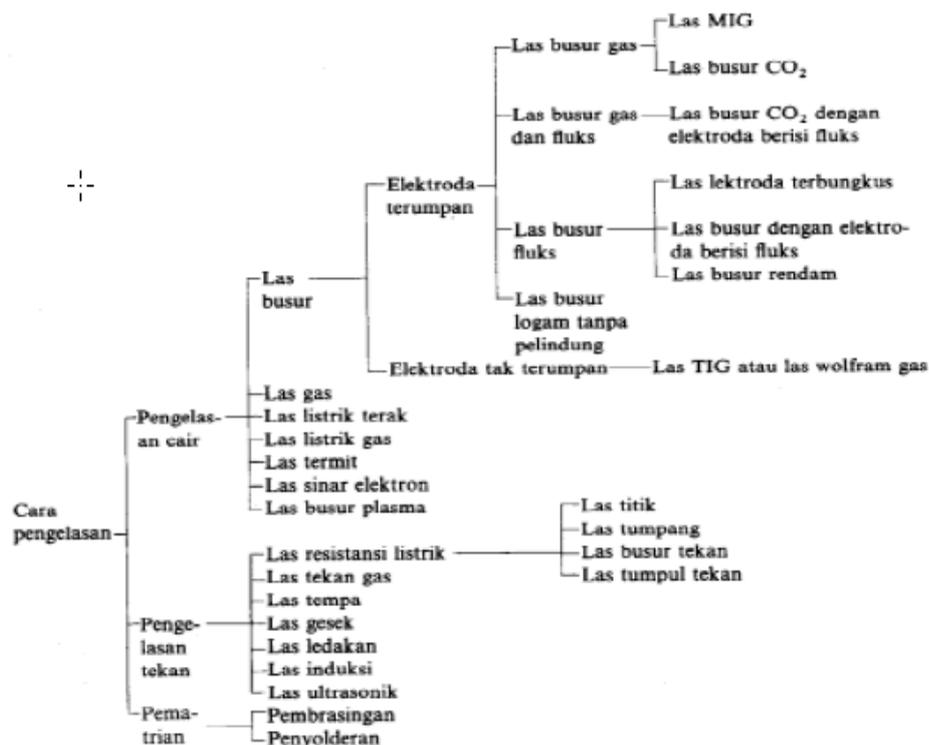
Sampai pada waktu ini banyak sekali cara-cara yang digunakan dalam bidang las, ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional cara-cara tersebut pada waktu ini dapat dibagi dalam dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya[3].

Berdasarkan klasifikasi cara kerja pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu :

1. Pengelasan cair (*welding*) adalah proses penyambungan sebuah logam dimana untuk menyambungkan logam pertama-tama dipanasi sampai logam tersebut mencair, mencairnya logam tersebut diakibatkan dari panas yang berasal dari busur listrik.
2. Pengelasan tekan (*grazing*) adalah proses penyambungan sebuah logam dimana logam tersebut pertama-tama dipanaskan lalu setelah logam tersebut mencair kemudian diberikan tekanan hingga kedua logam tersebut menyatu.

3. Pematrian (*soldering*) adalah proses penyambungan sebuah logam dimana logam pada sambungannya diberi logam yang mempunyai titik cair yang lebih rendah dari logam yang akan disambung, sehingga logam induk yang akan di sambung tidak mencair.

Diantara kedua cara klasifikasi tersebut di atas, kelihatannya klasifikasi berdasarkan cara kerja lebih banyak digunakan, karena itu pengklasifikasian yang diterangkan berdasarkan pada cara kerja dapat dilihat pada gambar:



Gambar 2.1 Klasifikasi Pengelasan

Sumber : Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, T. 2000. Teknologi Pengelasan Logam.

Jakarta:Pradnya Paramita.

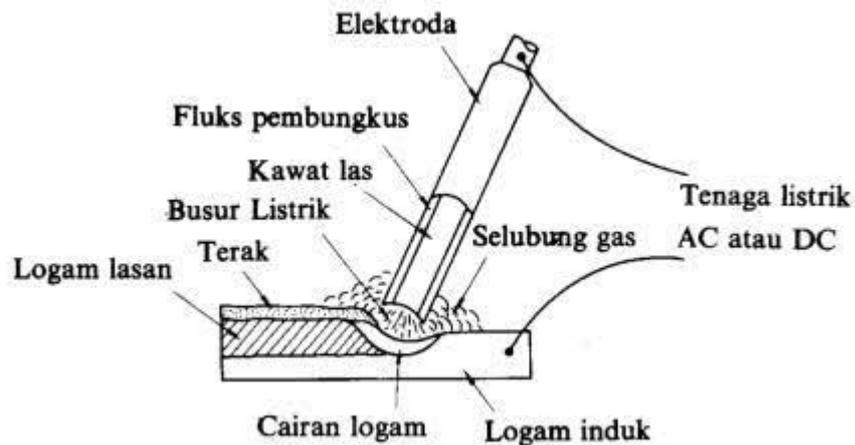
### **2.3. Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)**

Pengertian las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah salah satu metode penyambungan logam yang menggunakan elektroda berlapis yang dilindungi oleh fluks. Metode ini juga dikenal dengan sebutan las busur manual atau las busur terlindung. Dalam las SMAW elektroda digunakan sebagai material pengisi dan konduktor arus listrik. Arus listrik dialirkan melalui elektroda menciptakan busur listrik yang sangat panas antara ujung elektroda dan logam yang akan disambungkan. Panas yang dihasilkan oleh busur ini melelehkan elektroda logam dasar dan fluks yang melapisi elektroda.

Fluks pada elektroda berfungsi untuk melindungi daerah las dari lingkungan oksidasi menghilangkan kontaminan dari permukaan logam dan memberikan tambahan elemen kimia yang dapat meningkatkan kekuatan dan sifat mekanik sambungan. Ketika fluks meleleh ia membentuk lapisan perlindungan yang berfungsi mengurangi oksidasi mencegah serpihan logam terlepas dan membantu membentuk sambungan yang kuat.

Proses las SMAW sering digunakan dalam industri konstruksi perbaikan dan fabrikasi logam. Metode ini sangat fleksibel dan dapat digunakan untuk menyambung berbagai jenis logam termasuk baja karbon baja tahan karat besi cor dan paduan logam. Meskipun las SMAW relatif mudah dilakukan dan tidak memerlukan peralatan yang rumit diperlukan keahlian dan pengalaman untuk menghasilkan sambungan yang berkualitas. Operator las harus memperhatikan kecepatan las sudut elektroda dan ketebalan material yang akan dilas untuk mencapai hasil terbaik. Secara keseluruhan las SMAW adalah metode yang umum

digunakan untuk menyambung logam terutama dalam situasi di mana akses terbatas atau lingkungan yang sulit



Gambar 2.2 Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

#### 2.4. Elektroda

Elektroda las SMAW terdiri dari dua komponen utama yaitu inti logam dan lapisan fluks. Inti logam terbuat dari material yang akan digabungkan sedangkan lapisan fluks berfungsi untuk melindungi busur las dari udara dan gas atmosfer yang berpengaruh pada proses pengelasan. Lapisan fluks pada elektroda SMAW juga berperan dalam membersihkan permukaan benda kerja menghasilkan gas pelindung serta mengatur peleburan logam.

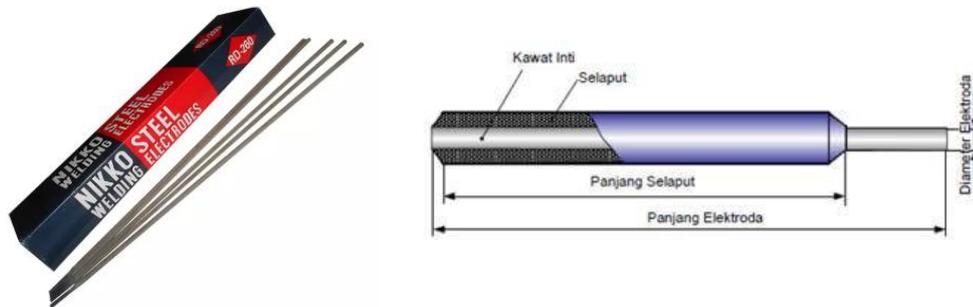
Lapisan fluks pada elektroda SMAW memiliki beberapa fungsi penting. Pertama fluks bertindak sebagai agen pelindung yang melindungi busur las dan titik pengelasan dari udara dan gas atmosfer yang dapat menyebabkan kontaminasi dan cacat pada sambungan las. Selain itu lapisan fluks juga berperan dalam membersihkan permukaan benda kerja dari oksida dan kotoran yang dapat

mengganggu kualitas pengelasan. Fluks juga dapat menghasilkan gas pelindung yang membantu mengurangi kontaminasi dan mempengaruhi kondisi lingkungan di sekitar titik pengelasan.

Pemilihan jenis elektroda las SMAW yang tepat sangat penting dalam mencapai hasil pengelasan yang baik. Faktor seperti jenis material ketebalan material kondisi lingkungan dan kekuatan yang diinginkan akan mempengaruhi pilihan elektroda yang sesuai. Setiap jenis elektroda memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal penetrasi kekuatan kecepatan las dan kualitas akhir sambungan las. Oleh karena itu operator pengelasan perlu memahami karakteristik elektroda yang digunakan untuk mencapai hasil yang diinginkan.

Pengelasan dengan elektroda las SMAW memiliki kelebihan dan kelemahan. Kelebihan utama adalah kesederhanaan proses keserbagunaan dalam berbagai kondisi lingkungan dan kemampuan untuk mengelas material dengan ketebalan yang bervariasi. Namun kekurangan utama adalah produktivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan metode pengelasan lain yang lebih otomatis serta perlunya keahlian operator pengelasan yang baik untuk menghasilkan sambungan las yang berkualitas.

Secara keseluruhan elektroda las SMAW adalah salah satu jenis elektroda las yang umum digunakan dalam proses pengelasan SMAW. Dengan pemilihan elektroda yang tepat dan perhatian terhadap kondisi lingkungan dan persyaratan pengelasan elektroda las SMAW dapat memberikan sambungan las yang kuat dengan kualitas yang baik



Gambar 2.3 Kawat Las Elektroda

## 2.5. Klasifikasi Elektroda dan Fluks.

### 1. Klasifikasi Elektroda

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

AWS EXXXX-X

Gambar 2.4 Arti dan Simbol Elektroda

AWS	: <i>American Welding Society</i>
<u>E</u> XXXX	: E adalah sebuah elektroda
E <u>6</u> 0	: 60 adalah kekuatan tarik elektroda
E60 <u>1</u> X	: 1 adalah posisi pengelasan
E601 <u>X</u>	: digit yang terakhir adalah kode untuk jenis flux coating yang Digunakan.

- E6010 : 0 Adalah *Cellulose-Sodium*  
 E6011 : 1 Adalah *Cellulose-Pottasium*  
 E6012 : 2 Adalah *Titania-Sodium*  
 E6013 : 3 Adalah *Titania-Pottasium*  
 E6014 : 4 Adalah *Iron Powder-Titania*  
 E6015 : 5 Adalah *Hidrogen Lime-Sodium*  
 E6016 : 6 Adalah *Low Hidrogen Lime-Sodium*  
 E6017 : 7 Adalah *Iron Oxcid Plus-Iron Powder*  
 E6018 : 8 Adalah *Low Hidrogen Lime-Iron Powder*.  
 EXXXX-15 : 15 Adalah Lapisannya mengandung CaO dan TiO<sub>2</sub>  
 EXXXX-16 : 16 Adalah Lapisannya mengandung TiO dan K<sub>2</sub>O  
 EXXXX-17 : 17 Adalah Lapisannya mengandung CaO, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, SiO, O  
 SiO<sub>2</sub>.

Tabel 2.1 Spesifikasi Elektroda Baja Lunak (AWS A5.1 64T)

Kualifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi Pengelasan *	Jenis Listrik **	Kekuatan Tarik (Mpa)	Kekuatan Luluh (Mpa)	Perpanjangan (%)
E6010	<i>High Cellulose</i>	F,V,OH,H	DC(+)	510	530	27
E6013	<i>High Tytania</i>	F,V,OH,H	AC/DC(±)	510	450	25
E6019	<i>Ilmeenit</i>	F,V,OH,H	AC/DC(±)	460	410	32
E7016	<i>Low Hidrogen</i>	F,V,OH,H	AC/DC(+)	570	500	32
E7018	<i>Iron Powder/Low Hidrogen</i>	F,V,OH,H	AC/DC(±)	560	500	31
E7024	<i>Iron Powder/Tytania</i>	H-S,F	AC/DC(±)	540	480	29

**Catatan** \*: Arti Simbol F=Datar, V=Vertikal, OH=Atas Kepala, H=Horizontal, H-S=Las sudut horizontal

\*: Arti Simbol; (+) Polaritas Balik, (-) Polaritas Lurus, (±) Polaritas Ganda.

Hubungan diameter elektroda dengan arus pengelasan menurut dapat dilihat pada tabel di bawah ini [13]:

Tabel 2.2 Hubungan diameter elektroda dengan Arus pengelasan

<b>Diameter elektroda (mm)</b>	<b>Arus (Ampere)</b>
1,5	20-40
2.0	30-60
2,6	40-80
3,2	70-120
4,0	120-170
5,0	140-230

## 2. Fluksi

Fluksi merupakan pembungkus elektroda yang sangat diperlukan untuk meningkatkan mutu sambungan karna fluksi bersifat melindungi metal cair dari udara bebas serta menstabilkan busur. Terdapat 2 macam fluksi sesuai dengan pembuatannya :

### 1. *Fused Fluksi*

*Fused Fluksi* adalah terbuat dari campuran butir-butir meterial seperti mangan,kapur,boxit,kwarsa dan fluorpa didalan suatu tungku pemanas.cairan terak yang terbentuk akan diubah ke dalam bentuk fluksi dengan cara :

1. Dituangkan disuatu cetakan dalam bentuk beberapa lapis/susunan yang tebal kemudian dipecahkan serta disaring sesuai dengan ukuran butiran yang diinginkan.
2. Dari kondisi panas dituangkan ke dalam air, sehingga timbul percikan percikan yang kemudian di saring sesuai keinginannya. Metode ini lebih efisien, tetapi kualitas fluksi yang dihasilkan mengandung hidrogen yang cukup tinggi yang memerlukan proses lebih lanjut untuk mengurangi kadar hidrogen.

## 2. *Bonded Fluksi*

Bonded Fluksi ini merupakan terbuat dari pabrik dengan jalan mencampur butiran-butiran material yang ukurannya jauh lebih halus seperti mineral, ferroalloy, water glass sebagai pengikat dalam suatu pengaduk (mixer) yang khusus. Campuran tersebut kemudian akan dikeringkan dalam suatu pengering yang berputar pada temperatur 6000-8000 °C.

### **2.6. Parameter pengelasan.**

Kestabilan dari busur api yang terjadi pada saat pengelasan merupakan masalah yang paling banyak terjadi dalam proses pengelasan dengan las SMAW oleh karena itu kombinasi dari arus listrik (I) yang dipergunakan dan tegangan (V) harus benar-benar sesuai dengan spesifikasi kawat elektroda dan fluksi yang dipakai[5].

Parameter pengelasan yang harus diperhatikan dalam proses pengelasan adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh dari arus listrik (I)

Setiap kenaikan arus listrik yang dipergunakan pada saat pengelasan akan meningkatkan penetrasi serta memperbesar kuantitas lasnya. Penetrasi akan meningkat 2 mm per 100A dan kuantitas las meningkat juga 1,5 Kg/jam per 100A.

2. Pengaruh dari tegangan listrik (V)

Setiap peningkatan tegangan listrik (V) yang dipergunakan pada proses pengelasan akan semakin memperbesar jarak antara tepi elektroda dengan material yang akan dilas, sehingga busur api yang terbentuk akan menyebar dan mengurangi penetrasi pada material las. Konsumsi fluksi yang dipergunakan akan meningkat 10% pada setiap kenaikan 1 V tegang.

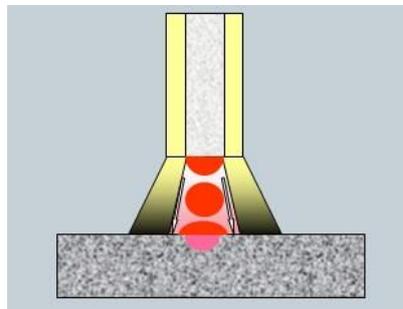
3. Pengaruh kecepatan pengelasan.

Jika kecepatan awal pengelasan dimulai pada kecepatan 40cm/menit setiap penambahan kecepatan akan membuat bentuk jalur las yang kecil (*Welding Bead*), penetrasi, lebar serta kedalaman las pada benda kerja akan berkurang. Tetapi jika kecepatan pengelasannya berkurang dibawah 40cm/menit cairan las yang terjadi dibawah busur api las akan menyebar serta penetrasi yang dangkal.

4. Pengaruh Polaritas Arus DCEP dan DCEN.

1. Polaritas DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*)

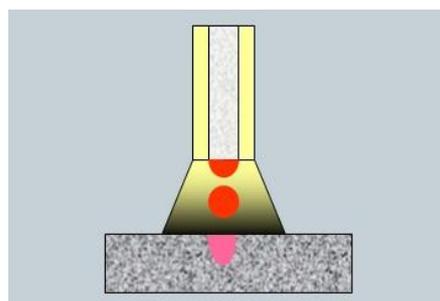
Busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan tumbukan elektron berada di elektrode yang berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Polaritas DCEP menghasilkan pencairan elektroda lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal[12].



Gambar 2.5 Polaritas DCEP

## 2. Polaritas DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*).

Busur listrik pada pengelasan [stick welding](#) bergerak dari elektrode ke material dasar sehingga tumbukan elektron berada di material dasar yang berakibat 2/3 panas berada di material dasar dan 1/3 panas berada di elektroda. Pada polaritas DCEN menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodanya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam[12].



Gambar 2.6 Polaritas DCEN

## 2.7. Baja Karbon

Baja karbon adalah sejenis material konstruksi yang terbuat dari besi dengan penambahan karbon sebagai elemen paduan utama. Penggunaan karbon dalam baja memberikan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja biasa. Landasan teori tentang baja karbon berkaitan dengan komposisi properti mekanik dan berbagai jenis yang tersedia.

Baja karbon memiliki kadar karbon yang berbeda-beda yang memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat-sifatnya. Umumnya baja karbon memiliki kadar karbon kurang dari 2%. Komposisi lain yang umum di dalam baja karbon mencakup unsur-unsur seperti Si, Mn, P, S dan Cu. Baja karbon dengan kadar karbon yang lebih tinggi cenderung memiliki kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih tinggi tetapi memiliki nilai keuletan yang lebih rendah (Wiryo Sumarto 2004). Baja karbon dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

### 1. Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel):

Baja karbon rendah memiliki kadar karbon yang relatif rendah yaitu kurang dari 0,2%. Jenis baja ini umumnya memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah tetapi keuletan yang baik. Baja karbon rendah digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan keuletan tinggi seperti pelat peralatan otomotif dan tangki bahan bakar.



Gambar 2.7 Contoh Baja Karbon Rendah

## 2. Baja Karbon Menengah (Medium Carbon Steel):

Baja karbon menengah memiliki kadar karbon antara 0,2% hingga 0,6%. Jenis baja ini memiliki kombinasi yang baik antara kekuatan tarik dan keuletan. Baja karbon menengah sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kekerasan dan kekuatan yang tinggi seperti roda gigi dan poros.



Gambar 2.8 Contoh Baja Karbon Menengah

## 3. Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel):

Baja karbon tinggi memiliki kadar karbon antara 0,60% hingga 1,4%. Baja karbon tinggi memiliki kekerasan dan kekuatan tarik yang sangat tinggi tetapi keuletan yang rendah. Jenis baja ini sering digunakan dalam pembuatan Mata bor dan Tap.



Gambar 2.9 Contoh Baja Karbon Tinggi

## 2.8. Baja SS400

Baja SS400 merupakan baja karbon rendah dengan sedikit kandungan silikon. Beberapa hasil penelitian menemukan bahwa kandungan silikonnya antara 0,06% dan 0,037%.

### 2.8.1 Unsur Kimia dan sifat mekanik Baja SS400

Berikut ini merupakan tabel komposisi kimia dan sifat mekanik yang terdapat pada baja SS400[8].

Tabel 2.3 Komposisi kimia Baja SS400

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
0.20	0.09	0.53	0.01	0.04	0.03	0.03	Balance

Tabel 2.4 Sifat Mekanik Baja SS400

Nama	Kekuatan Luluh min.	Kekuatan	Perpanjangan min. %

	(Mpa)		Tarik (Mpa)			
	Ketebalan	Ketebalan		Ketebalan	Ketebalan	Ketebalan
	< 16 mm	≥ 16 mm		<5mm	5-16mm	≥16mm
SS400	245	235	400-510	21	17	21

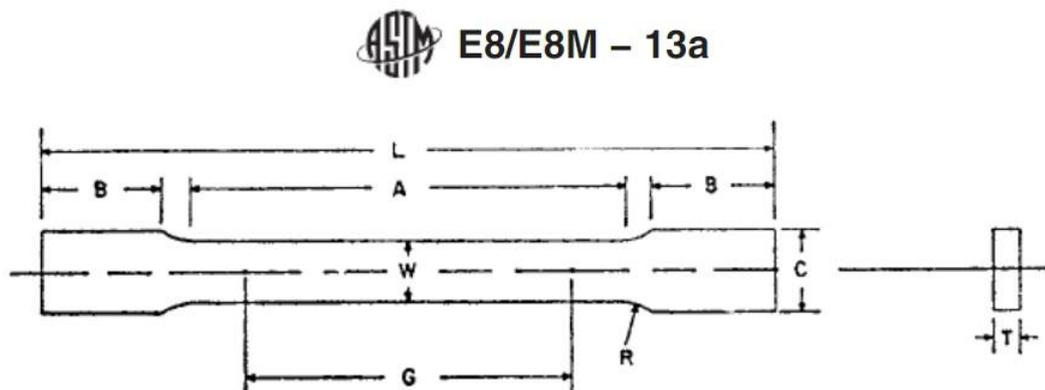
## 2.9. Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik didaerah 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 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[10].

Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya deformasi pada beban uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan lemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam sehingga terlepas sambungan las tersebut oleh penarikan gaya maksimum. Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan untuk mengetahui panjangnya benda uji dan hasil kurva tegangan regangan.

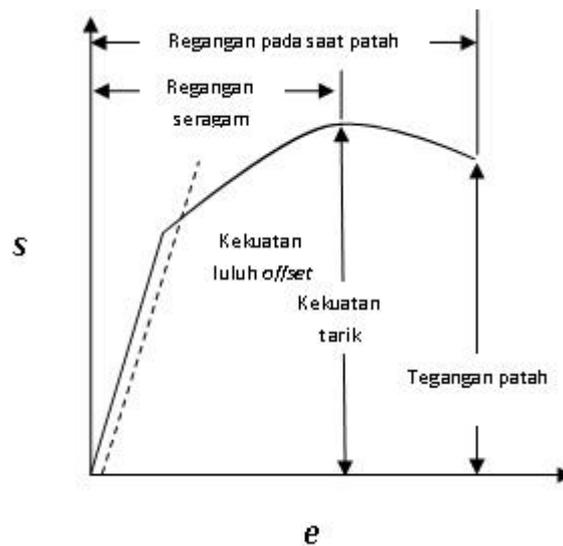
Dalam sambungan las sifat tarik berhubungan dengan sifat logam jenis induk, jenis elektroda yang digunakan, sifat dari daerah HAZ, sifat logam las dan sifat

dinamik dari sambungan las berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan.



Gambar 2.10 Standar Spesimen Pengujian Tarik

Pengujian batang tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga batang uji patah. Supaya dapat mengetahui kekuatan tarik dengan bentuk kurva tegangan - regangan teknik, seperti pada gambar dibawah berikut :



Gambar 2.11 Kurva Tegangan Regangan

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membusur rata-rata dari pengujian tarik. Tarik maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_t = \frac{P_{maks}}{A_o} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$P_{maks}$  = Gaya yang bekerja/beban maksimal (kg)

$A_o$  = Luas Penampang ( $\text{Cm}^2$ )

$\sigma_t$  = Tegangan Tarik ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan teknik adalah regangan linier rata-rata diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dapat dituliskan sebagai berikut :

$$e = \frac{L_i - L_o}{L_o} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

$e$  = Besar regangan

$L_i$  = Panjang Beban Uji Akhir (mm)

$L_o$  = Panjang Beban Uji Awal (mm)

Pada tegangan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas. Persamaannya dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{e} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

E = Besar Modus Elastisitas (kg/cm<sup>2</sup>)

e = Regangan

$\sigma$  = Tegangan (kg/cm<sup>2</sup>)

Dari kurva uji tarik yang diperoleh dari hasil pengujian akan didapatkan beberapa sifat mekanik yang dimiliki oleh benda uji, sifat-sifat tersebut antara lain :

#### 2.9.1 Kekuatan Tarik (*Tensile Strenght*)

Kekuatan tarik atau kekuatan maksimum (*Ultimate Tensile Strenght*) adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji.

$$\sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_o} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

$\sigma_u$  = Kuat Tarik

Pmaks = Beban Maksimal (kg)

Ao = Luas Penampang Mulai Dari Penampang Batang (mm<sup>2</sup>).

#### 2.9.2 Kekuatan Luluh (*Yeild Strenght*)

Kekuatan luluh merupakan titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis. Rumus kekuatan luluh dituliskan seperti persamaan sebagai berikut :

$$Y_s = \frac{P_y}{A_o} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

$Y_s$  = Besarnya Tegangan Luluh ( $\text{kg/mm}^2$ )

$P_y$  = Besarnya Beban Titik Yield (kg)

$A_o$  = Luas Penampang ( $\text{mm}^2$ )

### 2.9.3 Keuletan

Keuletan adalah kemampuan suatu bahan sewaktu menahan beban pada saat diberikan penetrasi dan akan kembali ke bentuk semula. Secara umum keuletan dilakukan untuk memenuhi kepentingan tiga buah hal.

1. Menunjukkan elongasi dimana suatu logam dapat berdeformasi tanpa terjadi patah dalam suatu proses suatu pembentukan logam, misalnya pengerolan dan ekstrasi.
2. Untuk memberi petunjuk secara umum kepada perancang mengenai kemampuan logam untuk mengalir secara plastik sebelum patah.
3. Sebagai petunjuk adanya perubahan permukaan kemurnian atau kondisi pengolahan.

### 2.8.4 Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas adalah ukuran kekuatan suatu bahan akan ke elastisitasnya. Modulus elastisitas ditentukan oleh gaya ikat antar atom, karena gaya-gaya ini tidak dapat dirubah tanpa terjadi perubahan mendasar pada sifat bahannya. Sifat ini hanya sedikit dapat berubah oleh adanya penambahan

paduan, perlakuan panas, atau pengerjaan dingin. Secara matematis persamaan modulus elastisitas dapat ditulis sebagai berikut :

$$M_o = \frac{\sigma}{e} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan

$e$  = Regangan

### 2.8.5 Kelentingan (*resilience*)

Kelentingan adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap energi pada deformasi secara elastis dan kembali ke bentuk awal apabila bebannya dihilangkan.

$$\mu_o \frac{1}{2} \cdot \sigma \cdot e \dots \dots \dots (7)$$

### 2.8.6 Ketangguhan

Ketangguhan adalah meninjau luas keseluruhan daerah dibawah kurva tegangan regangan. Luas ini menunjukkan jumlah energi tiap satuan volume yang dapat dikenakan pada bahan tanpa mengakibatkan pecah. Ketangguhan adalah perbandingan antara kekuatan dan keuletan. Dapat dituliskan sebagai berikut :

$$U_t = \frac{\sigma_y + \sigma_t \text{ maks}}{2} \cdot e \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

$U_t$  = Modulus ketangguhan

$\sigma_y$  = Tegangan Sebenarnya ( $\text{kN/mm}^2$ )

$e$  = Regangan (%)

$\sigma_t$  maks = Tegangan maksimal ( $\text{kN/mm}^2$ )