

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi manufaktur menurut adanya proses penyambungan logam yang efisien, kuat, dan ekonomis. Salah satu metode penyambungan logam yang paling banyak digunakan dalam industri adalah pengelasan. Menurut Menara (2010), pengelasan merupakan proses penyambungan dua atau lebih material dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi sehingga membentuk sambungan yang kontinu. Di antara berbagai jenis pengelasan, *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau las busur elektroda terbungkus menjadi salah satu metode yang paling luas digunakan karena peralatannya sederhana, fleksibel, dan dapat diterapkan pada berbagai posisi pengelasan (*American Welding Society* 2004).

Baja G3101 (SS400) merupakan baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam konstruksi. Baja ini memiliki keunggulan berupa kemudahan pengelasan dan harga ekonomis, namun sifat mekanisnya sangat dipengaruhi oleh kondisi pengelasan (JIS G3101, 2001). Penggunaan elektroda E7018 berdiameter 2.6 mm merupakan pilihan yang umum karena mampu menghasilkan sambungan dengan ketangguhan dan kekuatan yang baik (AWS A5.1, 2012). Namun demikian, variasi media pendingin (misalnya pendinginan udara, air, dan oli) akan mempengaruhi laju pendinginan sehingga berimplikasi pada perubahan mikrostruktur serta kekuatan tarik sambungan las. Oleh karena itu, penelitian mengenai Analisis media pendingin pada proses pengelasan SMAW menggunakan elektroda E7018 pada baja G3101 penting dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan media pendingin yang berbeda terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja G3101?

2. Media pendingin manakah yang memberikan hasil kekuatan tarik terbaik pada pengelasan SMAW dengan elektroda E6013 diameter 2.6 mm pada baja G3101 ketebalan 3 mm?

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar peneliti lebih terarah, batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah G3101 (SS400) dengan ketebalan 3 mm.
2. Jenis elektroda yang digunakan adalah E7018 diameter 2.6 mm.
3. Variasi media pendingin yang digunakan adalah pendingin udara, air, dan oli.
4. Pengujian sifat mekanis difokuskan pada uji tarik.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi media pendingin terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan SMAW pada baja G3101.
2. Menentukan media pendingin yang optimal dalam menghasilkan sambungan las dengan kekuatan tarik tinggi.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat-manfaat yang didapat yaitu sebagai berikut:

1. Bagi akademik, penelitian ini dapat menjadi referensi tambahan mengenai pengaruh pendinginan terhadap sifat mekanik baja G3101 hasil las SMAW.
2. Bagi industri, penelitian ini dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan media pendingin yang sesuai untuk menjaga kualitas sambungan las.
3. Bagi peneliti selanjutnya, penelitian ini dapat menjadi acuan awal untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh media pendingin lain maupun perlakuan panas pasca las terhadap baja struktural.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengelasan**

Pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan logam yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur modern. Definisi pengelasan menurut *American Welding Society* (AWS, 2004) adalah salah satu proses penyambungan material, biasanya logam atau termoplastik, dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi sehingga terjadi ikatan metalurgi ketika logam membeku.

Menurut Masubuci (1980), pengelasan bukan sekedar proses mekanis, tetapi melibatkan fenomena metalurgi yang kompleks, pemanasan, pencairan, pendinginan, dan transformasi mikrostruktur. Oleh karena itu, sifat mekanis sambungan las sangat dipengaruhi oleh parameter pengelasan, jenis elektroda, serta metode pendinginan. Dalam konteks baja karbon, pengelasan adalah salah satu metode penyambungan yang paling umum digunakan karena baja karbon merupakan material yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri.

Dalam proses pengelasan, terdapat beberapa elemen utama yang terlibat, termasuk:

1. Bahan Kerja (*Base Metal*): Material yang akan disambungkan, dalam konteks ini adalah material baja karbon. Material ini harus dipersiapkan dengan baik sebelum proses pengelasan untuk memastikan kekuatan dan kualitas sambungan yang optimal.
2. Peleburan (*Melting*): Proses melelehkan bagian-bagian material yang akan disambungkan dengan menggunakan sumber panas, seperti busur listrik atau gas.
3. Pengisi (*Filler Material*): Material tambahan yang digunakan untuk mengisi celah antara bagian-bagian material yang disambungkan, jika diperlukan untuk meningkatkan kekuatan atau keawetan sambungan.

4. Pelindung (*Shielding*): Penggunaan gas atau bahan lainnya untuk melindungi area pengelasan dari kontaminasi atmosfer yang dapat mengurangi kualitas sambungan.

### 2.1.1 Sejarah Perkembangan Pengelasan

Pengelasan telah dikenal sejak peradaban mesir kuno dengan metode *Forge Welding* (tempa). Namun, pengelasan modern berkembang pesat setelah ditemukannya busur listrik oleh Sir Humphry Davy (1801), kemudian digunakan secara praktis dalam pengelasan logam oleh Nikolai Benardos dan Stanislaw Olszewski (1881) dengan metode *Carbon Arc Welding*. Perkembangan selanjutnya adalah penemuan elektroda terlapis oleh Oscar Kjellberg (1907) yang menjadi dasar pengelasan SMAW.

### 2.1.2 Mekanisme Pengelasan

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. Pada gambar di bawah ini terdapat sebuah gambar tabel mengenai standar elektroda, ketebalan bahan serta kuat arus yang digunakan untuk pengelasan SMAW.

Diameter kawat	Arus ( amper )	Tegangan ( volt )	Tebal bahan
0,6 mm	50 – 80	13 – 14	0,5 – 1,0 mm
0,8 mm	60 – 150	14 – 22	0,8 – 2,0 mm
0,9 mm	70 – 220	15 – 25	1,0 – 10 mm
1,0 mm	100 – 290	16 – 29	3,0 – 12 mm
1,2 mm	120 – 350	18 – 32	6,0 – 25 mm
1,6 mm	160 – 390	18 – 34	12,0 – 50 mm

Tabel 2. 1 Standar elektroda, ketebalan bahan serta kuat arus

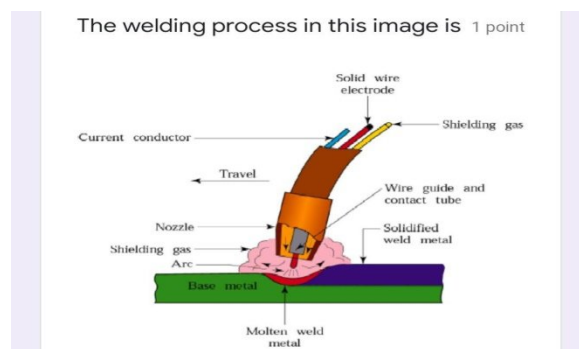
## 2.1

### 2.2 Jenis-jenis Pengelasan

Jenis-jenis pengelasan yang digunakan secara umum adalah sebagai berikut:

1. *Gas Metal Arc Welding* ( GMAW )

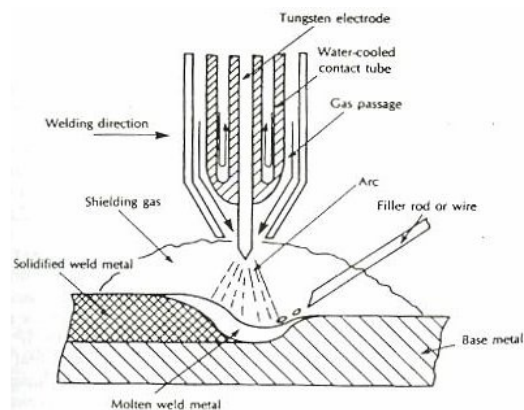
Proses pengelasan ini adalah metal inert gas (MIG) dimana kawat elektroda yang digunakan tidak terbungkus dan sifat suplainya yang terus-menerus. Daerah lasan terlindung dari atmosphere melalui gas yang dihasilkan dari alat las (Genculu, 2007). Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau 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% (Wirjosumarto, 1996) seperti yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 1 Skematik Pengelasan

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

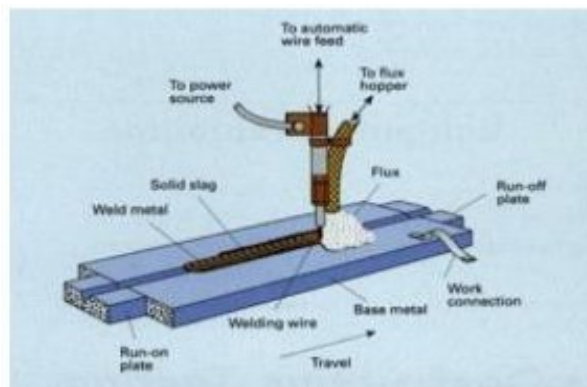
*Gas tungsten arc welding (GTAW)* adalah proses las busur yang menggunakan busur antara tungsten elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan. Proses ini digunakan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan. Proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal. GTAW telah menjadi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



Gambar 2. 2 Pengelasan Gas *tungsten arc welding* (GTAW)

### 3. *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 di atas daerah yang dilas seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.

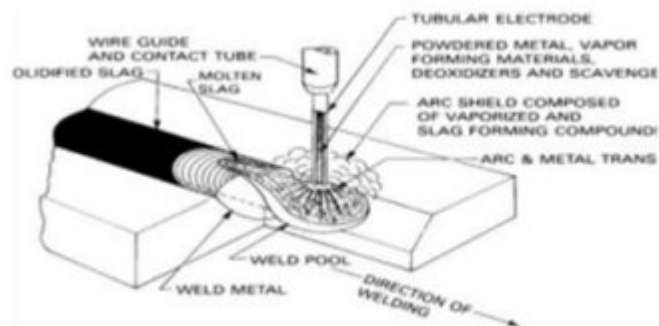


Gambar 2. 3 Pengelasan *Submerged Arc Welding* ( SAW )

### 4. *Flux-Cored Arc Welding* ( FCAW )

*Flux cored arc welding* (FCAW) merupakan las busur listrik *fluk* 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

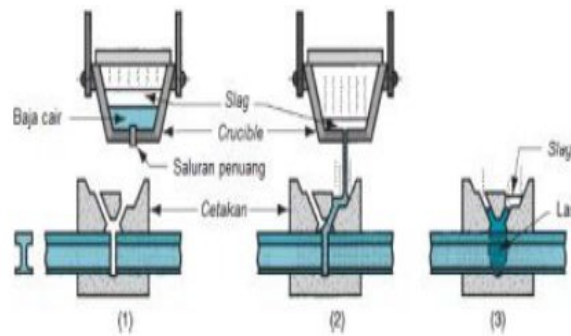
adalah salah satu jenis las listrik yang memasok *filler* elektroda secara mekanis terus ke dalambusur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk. Gas pelindungnya juga sama-sama menggunakan karbon dioxida CO<sub>2</sub>. Biasanya, pada mesin las FCAW ditambah robot yang bertugas untuk menjalankan pengelasan biasa disebut dengan super anemo seperti yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 4 Pengelasan *Flux cored arc welding* (FCAW)

##### 5. *Thermit Welding* ( TW )

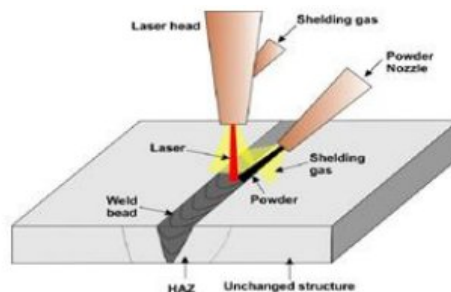
*Thermit welding* (TW) adalah proses pengelasan di mana panas untuk penggabungan dihasilkan dari logam cair yang berasal dari reaksi kimia *Thermit*. *Thermit* merupakan merk dagang dari *thermite*, yakni sebuah campuran serbuk aluminium dan besi oksida yang bisa menghasilkan reaksi *exothermic* ketika dibakar. Bahan tambah atau *filler* pada pengelasan ini berupa logam cair. Logam cair tersebut dituang pada sambungan yang telah dilengkapi dengan cetakan. Proses penggabungan ini lebih mirip dengan pengecoran dapat dilihat seperti pada gambar di bawah.



Gambar 2. 5 Pengelasan *Thermit welding* (TW)

#### 6. Laser *Beam Welding* (LBW)

Laser *beam welding* (LBW) adalah proses pengelasan di mana penggabungan diperoleh dari energi yang terkonsentrasi tinggi, sorotan cahaya sedarap difokuskan pada sambungan benda kerja. Pada umumnya dioperasikan dengan gas pelindung untuk mencegah oksidasi. Gas pelindung yang digunakan contohnya adalah helium, argon, nitrogen, dan karbon dioksida. Pada LBW bahan tambah atau filler biasanya tidak diberikan seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.

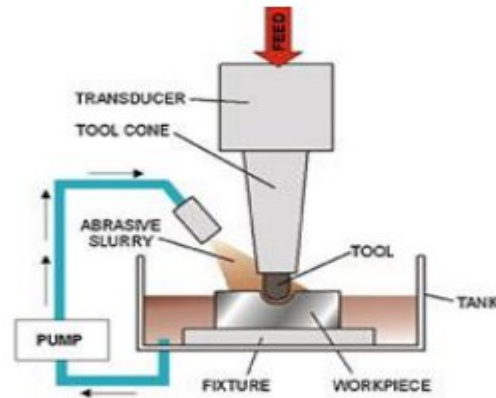


Gambar 2. 6 Pengelasan Laser *beam welding* (LBW)

#### 7. *Ultrasonic Welding* (USW)

*Ultrasonic welding* (USW) adalah jenis pengelasan solid-state di mana dua benda kerja ditahan/dijepit bersamaan dan diberi getaran berfrekuensi ultrasonic supaya terjadi penggabungan. Gerak dari getaran melewati celah antara dua benda kerja yang dijepit secara lap *joint*. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya kontak dan ikatan metalurgi yang kuat antara kedua permukaan benda kerja. Panas pada proses USW dihasilkan

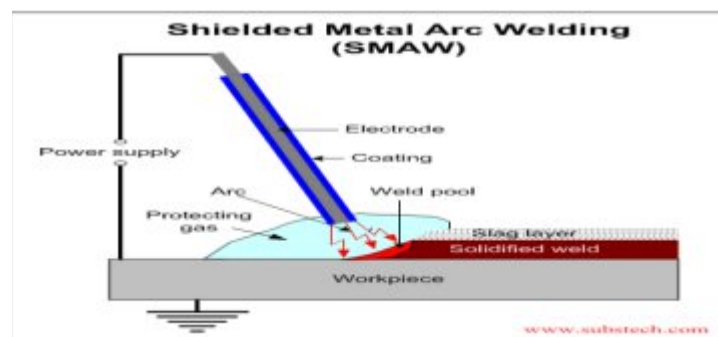
dari gesekan antar permukaan benda kerja dan deformasi plastis. Suhu panas tersebut berada di bawah titik cair benda kerja seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 7 Pengelasan *Ultrasonic welding* (USW)

#### 8. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

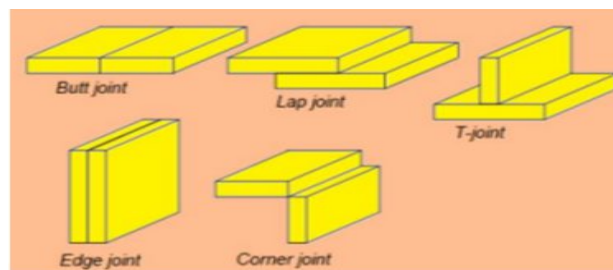
Pengertian SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) atau las busur logam terlindung merupakan proses pengelasan busur listrik dimana energi panas untuk pengelasan dibangkitkan oleh busur listrik yang terbentuk antara elektroda logam yang terbungkus dan benda kerja. Logam pengisi yang ada di dalam elektroda dibungkus oleh slag yang akan menjadi pelindung logam lasan saat proses pengelasan berlangsung. Las SMAW biasa disebut juga dengan istilah las MMA (*Manual Metal Arc*) atau *stick welding*. Diagram proses pengelasan SMAW dapat dilihat pada ilustrasi di bawah ini.



Gambar 2. 8 Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

### 2.3 Jenis-jenis Sambungan Las

Sambungan las tipe plat atau material yang digunakan untuk proses pengelasan yang bertujuan untuk mendapatkan hasil sambungan atau penetrasi yang diharapkan. Sambungan las memiliki macam-macam sambungan pengelasan utama yaitu *Butt joint*, *Lap joint*, *T-joint*, *Edge joint* dan *Corner joint* dimana sambungan utama jenis ini banyak digunakan dan diterapkan dibidang pengelasan. Berikut adalah penjelasan mengenai jenis-jenis sambungan las:



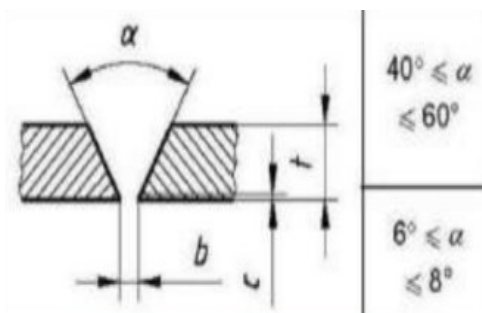
Gambar 2. 9 Jenis-jenis sambungan las

1. *Butt joint* merupakan sambungan di mana kedua benda kerja berada pada bidang yang sama dan disambung pada ujung kedua benda kerja yang saling berdekatan.
2. *Lap joint* merupakan sambungan yang terdiri dari dua benda kerja yang saling bertumpukan.
3. *T-joint* merupakan sambungan di mana salah satu benda kerja tegak lurus dengan benda kerja lainnya sehingga membentuk huruf "T".
4. *Edge joint* merupakan sambungan di mana kedua benda kerja sejajar satu sama lain dengan catatan salah satu ujung dari kedua benda kerja tersebut berada pada tingkat yang sama.
5. *Corner joint* merupakan sambungan di mana kedua benda kerja membentuk sudut sehingga keduanya dapat disambung pada bagian pojok dari sudut tersebut.

## 2.4 Kampuh Las

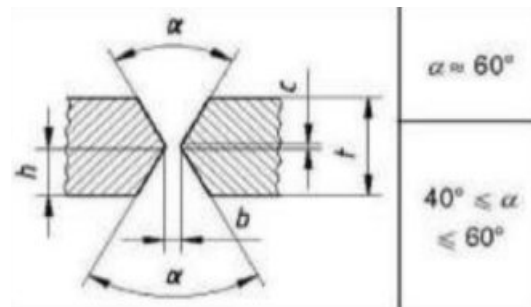
Berdasarkan berbagai sumber baik dari artikel maupun buku, kampuh las merupakan salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam proses pengelasan untuk menghasilkan sambungan lasan yang baik. Kampuh las adalah kubangan yang diisi bahan tambah sebagai penghubung antara logam induk satu dengan logam induk lainnya. Sambungan las menggunakan alur kampuh diklasifikasikan sebagai sambungan las tumpul. Hal yang paling mendasar dalam pemilihan kampuh harus menuju pada penurunan masukan panas dan penurunan logam las sampai pada harga terendah dan tidak menurunkan mutu sambungan (Dariyanto, 2018).

Menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-15mm kampuh V sering digunakan untuk penyambungan dengan sudut kampuh antara  $60^{\circ}$ - $80^{\circ}$ , jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm (Wahyudi et al., 2019). Kampuh las V menjadi desain yang paling banyak digunakan dalam aplikasi konstruksi. Selain menghasilkan lasan yang sangat baik, luas penampang pada kampuh V lebih luas daripada jenis kampuh yang lainnya. Berikut profil kampuh V yang ditunjukkan oleh gambar di bawah.



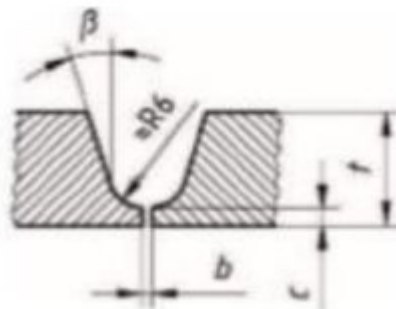
Gambar 2. 10 Kampuh las V (Wurdhani, et al. 2021)

Kampuh X ditujukan untuk mengurangi tingkat endapan dan distorsi yang terjadi pada material. Sehingga kampuh jenis ini bisa digunakan pada material yang lebih tebal dibandingkan dengan jenis kampuh yang lainnya (Marzuki, 2020). Profil kampuh X ditunjukkan oleh gambar.



Gambar 2. 11 Kampuh las X (Wurdhani, et al. 2021)

Pembuatan kampuh U dengan cara di frais dengan  $r = 3,7$  mm pada sisi bagian atas plat, sehingga bagian bawah tersisa kurang dari 3 mm pada tepi bagian bawah plat (Salahudin, et al. 2021). Kampuh U ditunjukkan oleh gambar.



Gambar 2. 12 Kampuh las U (Budiarto, et al. 2019)

Keterangan:  $\beta = 8^{\circ}-12^{\circ}$

$b = < 4$  mm

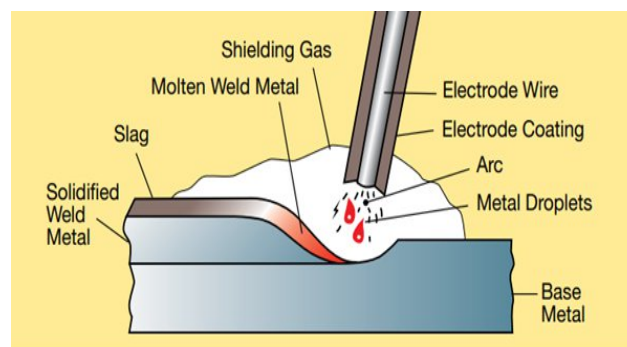
$c = < 3$  mm

## 2.5 Proses Pengelasan pada Baja Karbon

Proses pengelasan baja karbon dapat dilakukan dengan berbagai teknik, namun yang paling umum adalah pengelasan SMAW (*Shielded Metal arc welding*). Proses ini menggunakan busur listrik yang dihasilkan antara elektroda dan material yang akan dilas untuk mencairkan material, sehingga terbentuk sambungan setelah pendinginan. Jenis elektroda yang digunakan, arus pengelasan, tegangan, kecepatan pengelasan, dan lingkungan sekitar, semuanya mempengaruhi hasil pengelasan.

## 2.6 *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

Pengelasan busur listrik berpelindung atau SMAW adalah metode pengelasan paling umum dan fleksibel. SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) atau las busur logam terlindung adalah suatu proses pengelasan busur listrik dimana energi panas untuk pengelasan yang ditimbulkan oleh busur listrik yang terbentuk antara elektroda logam yang terbungkus dan benda kerja. Pengisi logam yang ada di dalam elektroda dibungkus oleh terak yang akan menjadi pelindung logam lasan saat proses pengelasan berlangsung. Las SMAW biasa disebut juga dengan istilah las MMA (Manual Metal Arc) atau stick las. Diagram proses pengelasan SMAW dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 13 Pengelasan SMAW

### 2.6.1 *Jenis Polarity Pengelasan*

Dalam proses pengelasan, jenis mesin las berdasarkan arus yang digunakan terbagi menjadi 3 jenis, berikut:

1. Mesin las listrik AC (arus bolak-balik)

Mesin las AC adalah jenis mesin las listrik yang menggunakan transformator (trafo) sebagai sumber nyala pada busur listriknya. Trafo akan berfungsi mengubah tegangan arus listrik (yang biasanya masuk lebih tinggi dari kebutuhan) menjadi tegangan yang sesuai. Untuk memaksimalkan kinerjanya, biasanya jenis trafo las ini menggunakan daya yang cukup besar.

Hal ini disebabkan oleh tingginya kebutuhan daya listrik yang digunakan untuk mencairkan logam dan elektroda di dalam proses pengelasan.

2. Mesin las listrik DC (arus searah)

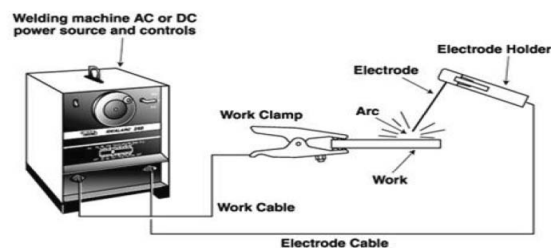
Pada mesin las listrik tipe DC ini arus yang digunakan adalah arus searah. Arus ini dihasilkan dari dinamo motor listrik searah. Dinamo ini dapat digerakkan oleh motor listrik, motor diesel, motor bensin atau motor tenaga lainnya. Mesin ini memerlukan suatu alat yang dapat merubah arus menjadi arus searah untuk menggerakkan motornya. Arus bolak-balik ini dirubah menjadi arus searah dengan adanya *rectifier* (dioda).

3. Mesin las listrik ganda (AC dan DC)

Mesin las arus ganda AC-DC ini dapat digunakan pengelasan dengan arus searah dan pengelasan arus bolak-balik. Mesin las ini memiliki trafo satu fasa dan sebuah alat perata didalam satu unit mesin. Arus AC diambil dari lilitan sekunder pada trafo sedangkan arus DC diambil dari unit perata arus (*recctifier*). Untuk mengatur arus yang digunakan baik AC maupun DC, dapat diatur dengan jalan memutar alat pengatur dari mesin las ganda tersebut.

### 2.6.2 Komponen-komponen Utama Las SMAW

Perlengkapan yang diperlukan untuk proses pengelasan smaw adalah peralatan yang paling sederhana dibandingkan dengan proses pengelasan listrik yang lainnya. Adapun perlengkapan las smaw adalah :



Gambar 2. 14 Komponen Mesin Las SMAW

1. Sumber Tegangan (*power source*)

Sumber tegangan diklasifikasikan sebagai mesin las AC dan mesin las DC. Saat ini mesin las DC yang paling banyak digunakan, karena mempunyai beberapa kelebihan dari pada mesin las AC. Salah satunya adalah busur las stabil dan polaritasnya dapat diatur.



Gambar 2. 15 Mesin Las SMAW

2. Kabel masa dan kabel elektroda (*ground cable and electrode cable*)

Kabel masa dan kabel elektroda berfungsi menyalurkan aliran listrik dari mesin las ke material las dan kembali lagi ke mesin las. Ukuran kabel masa dan kabel elektroda ini harus cukup besar untuk mengalirkan arus listrik. Kabel yang tidak standar dapat menimbulkan panas berlebihan yang dapat merusak lapisan kabel dan membahayakan pengelasan.



Gambar 2. 16 Kabel Masa Dan Kabel Elektroda

3. *Holder* dan klem penjepit

Penjepit elektroda (*holder*) berguna untuk mengalirkan arus listrik dari kabel las ke elektroda (kawat las) serta sebagai pegangan (stang las), sehingga welder tidak merasa panas pada saat mengelas. Sedangkan klem masa berguna untuk menghubungkan kabel masa dari mesin las dengan material induk. Biasanya klem masa mempunyai per untuk penjepitnya.

Klem ini sangat penting karena apabila klem longgar arus yang dihasilkan tidak stabil yang menyebabkan pengelasan tidak dapat berjalan dengan baik.

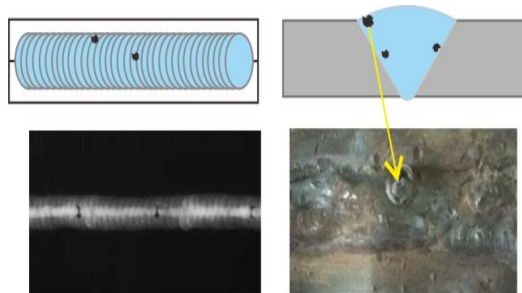


Gambar 2. 17 Holder Dan Klem Penjepit

### 2.6.3 Jenis-jenis Cacat Las SMAW

#### 1. Cacat las *slag*

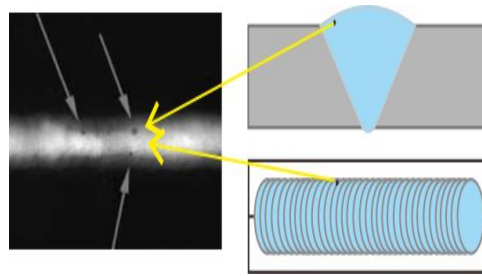
*Slag* adalah terak, cacat las ini kemungkinan besar terjadi pada jenis proses pengelasan yang memiliki terak seperti SMAW, Penyebab cacat las *slag include* pada SMAW adalah penggunaan *ampere* yang rendah, kurang bersih ketika menghilangkan terak sebelum proses penyambungan.



Gambar 2. 18 Cacat Las *Slag*

#### 2. Cacat las *porosity*

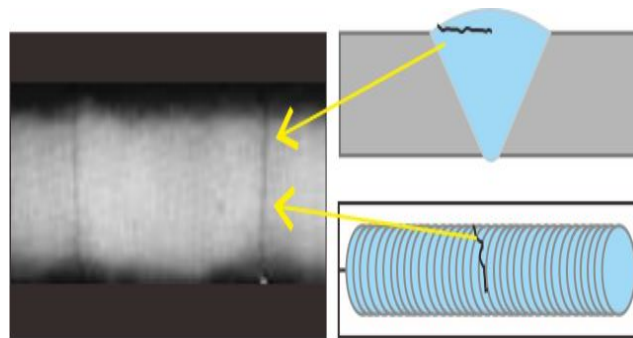
Bentuk dari cacat las porositas adalah lubang-lubang kecil pada deposit hasil lasan pada bahan dasar yang menyerupai kropos atau sarang semut. faktor yang menyebabkan porositas di SMAW seperti Banyaknya kandungan udara di dalam elektroda atau elektroda lembab, Rusak/hilangnya sebagian lapisan *flux* karena buruknya penyimpanan elektroda, penggunaan ampere yang sangat rendah, Panjang busur yang terlalu jauh saat pengelasan.



Gambar 2. 19 Cacat Las *Porosity*

### 3. Cacat las *crack*/retak

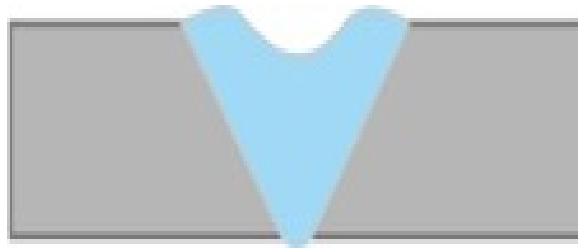
Terjadinya retak pada daerah lasan atau pada daerah HAZ. Umumnya disebabkan oleh pendinginan yang cepat setelah dilas. Pada baja karbon, kelebihan unsur karbon juga bisa menjadi penyebab.



Gambar 2. 20 Cacat Las *Crack*/retak

### 4. Cacat las *underfill*

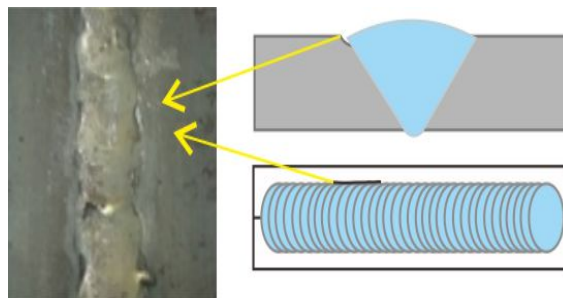
*Underfill* merupakan jenis cacat pengelasan karena kurangnya pengisian logam las pada jalur lasan. Penyebab *underfill* terjadi karena ampere terlalu rendah dibarengi dengan *travel speed* terlalu tinggi dan wide bead tidak sesuai sehingga jalur lasan belum cukup terisi.



Gambar 2. 21 Cacat *Underfill*

#### 5. Cacat las *undercut*

Cacat *undercut* sering sekali terjadi pada semua proses las listrik. Terutama pada tukang las/juru las junior. Penyebabnya cacat *undercut* adalah penggunaan ampere yang sangat tinggi dibarengi dengan gerakan *travel speed* pengelasan yang sangat cepat dan tidak memberi kesempatan filler metal mengisi lajur las dengan sempurna.



Gambar 2. 22 Cacat Las *Undercut*

### 2.7 Material Baja

Baja merupakan logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan nikel.

Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk (Davis, 1982). Baja merupakan besi dengan kadar karbon kurang

dari 2 %. Baja dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk sesuai dengan keperluan. Secara garis besar ada 2 jenis baja, yaitu :

#### 1. Baja Karbon

Baja karbon disebut juga plain karbon *steel*, mengandung terutama unsur karbon dan sedikit *silicon*, belerang dan pospor. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibagi menjadi 3 yaitu:

##### a. Baja dengan kadar karbon rendah ( $< 0,2\% \text{ C}$ )

Baja ini dengan komposisi karbon kurang dari 2%. Fasa dan struktur mikronya adalah ferrit dan perlit. Baja ini tidak bisa dikeraskan dengan cara perlakuan panas (*martensit*) hanya bisa dengan pengerjaan dingin. Sifat mekaniknya lunak, lemah dan memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Serta mampu mesin (*machinability*) dan mampu las nya (*weldability*) baik cocok untuk bahan bangunan konstruksi gedung, jembatan, rantai, body mobil.

##### b. Baja dengan kadar karbon sedang ( $0,1\%-0,5\% \text{ C}$ )

Baja karbon sedang memiliki komposisi karbon antara 0,2%-0,5% C (berat). Dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dengan cara memanaskan hingga fasa *austenit* dan setelah ditahan beberapa saat 19 didinginkan dengan cepat kedalam air atau sering disebut quenching untuk memperoleh fasa yang keras yaitu martensit. Baja ini terdiri dari baja karbon sedang biasa (*plain*) dan baja mampu keras. Kandungan karbon yang relatif tinggi itu dapat meningkatkan kekerasannya. Namun tidak cocok untuk di las, dengan kata lain mampu las nya rendah. Dengan penambahan unsur lain seperti Cr, Ni, dan Mo lebih meningkatkan mampu kerasnya. Baja ini lebih kuat dari baja karbon rendah dan cocok untuk komponen mesin, roda kereta api, roda gigi (*gear*), poros engkol (*crankshaft*) serta komponen struktur yang memerlukan kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan tangguh.

##### c. Baja dengan kadar karbon tinggi ( $>0,5\% \text{ C}$ )

Baja karbon tinggi memiliki komposisi antara 0,6- 1,4% C (berat). Kekerasan dan kekuatannya sangat tinggi, namun keuletannya kurang.

baja ini cocok untuk baja perkakas, dies (cetakan), pegas, kawat kekuatan tinggi dan alat potong yang dapat dikeraskan dan ditemper dengan baik. Baja ini terdiri dari baja karbon tinggi biasa dan baja perkakas. Khusus untuk baja perkakas biasanya mengandung Cr, V, W, dan Mo.

Dalam pemuadannya unsur-unsur tersebut bersenyawa dengan karbon menjadi senyawa yang sangat keras sehingga ketahanan aus sangat baik. Kadar karbon yang terdapat di dalam baja akan mempengaruhi kuat tarik, kekerasan dan keuletan baja. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kuat tarik dan kekerasan baja semakin meningkat tetapi keuletannya cenderung turun. Penggunaan baja di bidang teknik sipil pada umumnya 20 berupa baja konstruksi atau baja profil, baja tulangan untuk beton dengan kadar karbon 0,10% - 0,50%.

## 2. Baja Paduan

Baja dikatakan di padu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsur fosfor dan mangan. Baja paduan semakin banyak di gunakan. Unsur yang paling banyak di gunakan untuk baja paduan, sebagai berikut: Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti, Al, Cu, Nb, Zr.

- a. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*) Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain- lain. Biasanya digunakan untuk membuat perkakas potong, gergaji, cetakan penarikan, pahat kayu, mata pisau, pemotong kikir, gurdi batu.
- b. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*) Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. Biasanya digunakan untuk membuat alat pengukur, cetakan penarikan, rol derat, mata gunting untuk plat tebal.
- c. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*) Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya

unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto, 1999). Banyak digunakan untuk cetakan penarikan kawat, cetakan pengetrim, pengukur, rol derat.

Menurut (Amstead, 1993) secara umumnya, baja paduan memiliki sifat yang unggul daripada baja karbon biasa, diantaranya:

1. Keuletan yang tinggi tanpa pengurangan kekuatan tarik.
2. Tahan terhadap korosi dan keausan yang tergantung dari jenispaduannya.
3. Tahan terhadap perubahan suhu, ini berarti bahwa sifat fisiknya tidak banyak berubah.
4. Memiliki butiran halus dan homogen.

Pengaruh unsur-unsur paduan dalam baja adalah sebagai berikut:

#### 1. Unsur karbon (C)

Karbon merupakan unsur terpenting yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Kandungan karbon di dalam baja sekitar 0,1%-1,7%, sedangkan unsur lainnya dibatasi sesuai dengan kegunaan baja. Unsur paduan yang bercampur di dalam lapisan baja adalah untuk membuat baja bereaksi terhadap pengerjaan panas dan menghasilkan sifat-sifat yang khusus.

#### 2. Unsur Mangan (Mn)

Semua baja mengandung mangan karena sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan kurang lebih 0,6% tidak mempengaruhi sifat baja, dengan kata lain mangan tidak memberikan pengaruh besar pada struktur baja dalam jumlah yang rendah. Penambahan unsur mangan dalam baja dapat menaikkan kuat tarik tanpamengurangi atau sedikit mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan ulet.

#### 3. Unsur Silikon (Si)

Silikon adalah unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan kandungan lebih dari 0,4% yang mempunyai pengaruh untuk menaikkan tegangan tarik dan menurunkan laju pendinginan kritis.

Silikon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap panas dan karat. Unsur silikon menyebabkan sementit tidak stabil, sehingga memisahkan dan membentuk grafit.

#### 4. Unsur Nikel (Ni)

Nikel mempunyai pengaruh yang sama seperti mangan, yaitu memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet, tahan panas, jika pada baja paduan terdapat unsur nikel sekitar 25% maka baja dapat tahan terhadap korosi. Unsur nikel yang bertindak sebagai tahan karat (korosi) disebabkan nikel bertindak sebagai lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja.

#### 5. Unsur Kromium (Cr)

Sifat unsur kromium dapat menurunkan laju pendinginan kritis (kromium sejumlah 1,5% cukup meningkatkan kekerasan dalam minyak). Penambahan kromium pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dikeraskan lebih baik karena kromium dan karbon dapat membentuk karbida. Kromium dapat menambah kekuatan tarik dan keplastisan serta berguna juga dalam membentuk lapisan pasif untuk melindungi baja dari korosi serta tahan terhadap suhu tinggi.

### 2.7.1 Definisi Baja G3101

Baja G3101 merupakan kategori baja karbon rendah dengan kandungan karbon sebesar 0,08-0,20%. Baja G3101 umumnya digunakan untuk pembuatan *handle* rem sepeda motor, bodi mobil, pipa saluran, konstruksi jembatan, dan perkapalan. Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk menganalisis nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan struktur mikro baja G3101 dengan ditambah kampuh V terbuka di spesimen uji sebelum proses pengelasan. Sebelum proses pengelasan, spesimen uji dipotong sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan dengan kampuh V terbuka.

Hasil penelitian M Mudrikunni'am Zumrotul Muniroh (2023) memiliki nilai kekerasan tertinggi baja SS41 pada pengelasan dengan variasi kuat arus 80 A dengan  $261,85 \text{ kg/mm}^2$ . Nilai kekerasan terendah baja G3101 pada pengelasan dengan variasi kuat arus 60 A dengan  $125,34 \text{ kg/mm}^2$ . Baja JIS G3101/ SS400 ASTM A36, baja dengan kadar karbon rendah (max 0.17 %C) / *Low C Steel*, material ini tidak dapat di keraskan melalui (*hardening*) / perlakuan panas (*heat treatment*) atau proses quench and temper. Baja SS400 seperti juga spesifikasi baja ST37 merupakan baja umum (*mild steel*) karena mengandung unsur kimia standar saja, tidak seperti jenis stainless steel misal SS304 yang memiliki 13%Cr (*chrome*) dan 8%Ni (*Nickel*). Material ini hanya bisa dikeraskan melalui pengerasan permukaan (*surface hardening*) seperti karburisasi (*carburizing*), nitriding atau carbonitriding, dimana kekerasan permukaan bisa mencapai 500 *Brinell* (kira-kira 50 HRC) pada kedalaman permukaan 10 hingga 20 mikron tergantung parameter process-nya.

### 2.7.2 Komposisi Kimia Baja G3101

Baja G3101 yang memiliki kandungan kadar karbon 0.12% C, baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Kelebihan baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan yang tinggi akan tetapi memiliki kekurangan sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah.

Komposisi Kimia (%)					
C	Si	Mn	P	S	Al
0,12	0,186	0,623	0,011	0,006	0,0043

Sifat Fisik	
Density	7,87g/cc

Uji Kekerasan	
SS 400	125 BHN

Gambar 2. 23 Komposisi Kimia Baja G3101

### 2.7.3 Sifat Mekanis Baja G3101

Sifat mekanis baja G3101: Kekuatan tarik baja G3101 dinyatakan dalam Newton per milimeter dan minimal 400 N/mm<sup>2</sup> (MPa) dan maksimum 510 N/mm<sup>2</sup> (MPa). Kekuatan luluh baja SS400 minimal 205 hingga minimal 245 N/mm<sup>2</sup> (MPa) tergantung ketebalannya. Kekuatan luluh baja SS400 untuk ketebalan di bawah 16 mm minimal 245 N/mm<sup>2</sup> (MPa), sedangkan untuk ketebalan di atas 100 mm minimal 205 N/mm<sup>2</sup> (MPa). Perpanjangan baja G3101 bervariasi tergantung rentang ketebalannya. Rentang persentase minimum untuk perpanjangan baja SS400 adalah 17% untuk ketebalan hingga 16 mm, 21% untuk ketebalan hingga 40 mm, dan 23% untuk ketebalan di atas 50 mm.

Nilai	Kekuatan Hasil min. (Mpa)		Kekuatan Tarik Mpa	Perpanjangan min. %			Tahanan Dampak min.[J]
	Ketebalan <16 mm	Ketebalan ≥16mm		Ketebalan <5mm	Ketebalan 5-16mm	Ketebalan ≥16mm	
G3101	245	235	400-510	21	17	21	-

Tabel 2. 2 Sifat Mekanis Baja G3101

### 2.8 Elektroda E6013

Oscar Kjellberg, mengembangkan elektroda las berlapis pertama di dunia pada tahun 1904, beliau meluncurkan sebuah perusahaan yang inovasi dan standarnya yang tak kenal kompromi telah membantu menciptakan sejarah pengelasan itu sendiri. Warisan ini berlanjut dalam kualitas, kinerja, dan pengembangan berkelanjutan elektroda las baja ringan yang kami produksi saat ini. Elektroda E 6013 termasuk elektroda dengan kandungan hidrogen yang rendah dengan slag yang mudah dibuang. Penandaan menurut AWS biasanya dengan kode EXXXX. Huruf E menyatakan elektroda terbungkus untuk SMAW, XX setelah E menyatakan kekuatan tarik deposit bahan lasan dalam 1000 psi, X ketiga menyatakan posisi pengelasan yang bisa dilakukan, X keempat menyatakan jenis fluks yang digunakan. Elektroda E 6013 bisa dipakai untuk berbagai posisi pengelasan [3]. Berdasarkan AWS [4,6], elektroda E 6013 mempunyai kriteria sebagai berikut :

1. Komposisi kimia elektroda E6013 Komposisi karbon dalam *elektroda mild steel* sekitar 0.15 %, mangan 1.6 %, dan silikon 1 % dari berat elektroda.
2. Bahan *Fluks* ,*Fluks* E6013 terbuat dari low hydrogen potasium, artinya fluks yang mempunyai kandungan hidrogen rendah.

### 2.8.1 Interpretasi “E6013” dalam Kode AWS

Kode E6013 dapat dijabarkan sebagai berikut:

Karakter	Makna	Penjelasan
E	<i>Electrode</i>	Menunjukkan ini adalah elektroda las ( <i>stick electrode</i> )
60	Kekuatan tarik minimal 60.000 psi	Artinya hasil las ( <i>metal deposited</i> ) minimal memiliki <i>tensile strength</i> 60.000 psi (sekitar 414 MPa)
1	Semua posisi (All-position)	Dapat digunakan pada posisi flat, horizontal, vertikal, <i>overhead</i>
3	Tipe lapisan fluks / arus kompatibel	Menandakan jenis <i>coating fluks</i> (rutilik / titania / potasium) dan kompatibilitas arus (AC & DC)

Tabel 2. 3 Arti kode elektroda E6013

### 2.9 Komposisi Kimia (*Metal Deposit*) - Logam Hasil Las

Komposisi kimia dari logam yang diendapkan (*weld metal*) oleh elektroda E6013 biasanya mengikuti batas-batas spesifikasi dalam standar AWS serta data dari produsen. Berikut adalah nilai tipikal dan batas maksimum yang sering dikutip:

Unsur	Nilai Tipikal / Batas Maksimum
Karbon (C)	$\leq 0,12 \%$
Mangan (Mn)	0,30 – 0,60 %

Silikon (Si)	$\leq 0,35 \%$
Fosfor (P)	$\leq 0,035 \%$
Belerang (S)	$\leq 0,040 \%$
Nikel (Ni)	$\leq 0,30 \%$ (beberapa spesifikasi)
Krom (Cr)	$\leq 0,20 \%$ (kadang disebut)
Molibdenum (Mo)	$\leq 0,30 \%$ (opsional dalam beberapa spesifikasi)
Vanadium (V)	$\leq 0,08 \%$ (opsional)

Tabel 2. 4 Komposisi Kimia (Metal Deposit)

### 2.10 Uji Tarik

Uji tarik (*Tensile Test*) merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu material ketika diberikan gaya tarik secara aksial. Pengujian ini dilakukan dengan cara menjepit spesimen pada mesin uji tarik, kemudian diberi beban yang meningkat secara bertahap hingga spesimen mengalami deformasi plastis dan akhirnya patah.

Pengujian tarik digunakan untuk menentukan beberapa sifat mekanik penting, antara lain:

- Kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength / UTS*)
- Kekuatan luluh (*Yield Strength / YS*)
- Modulus elastisitas (*Elastic Modulus / E*)
- Perpanjangan (*Elongation*)
- Reduksi luas (*Reduction of Area*)

Data-data tersebut sangat penting dalam perancangan komponen teknik, penentuan kualitas material, dan analisis kekuatan struktur.

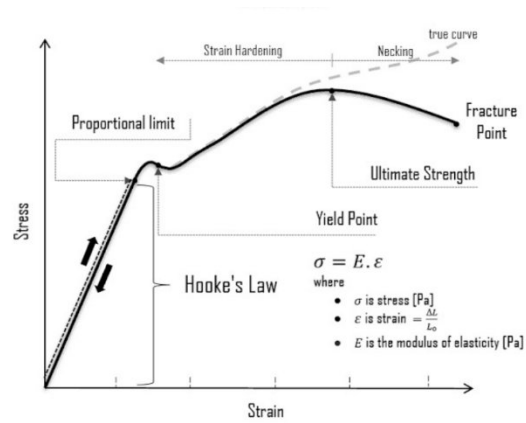
### 2.11 Keterkaitan Uji Tarik Dan Diagram Hooke

Uji tarik merupakan metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana suatu material berperilaku ketika diberikan gaya tarik secara bertahap hingga mengalami deformasi dan akhirnya patah. Pengujian ini

dilakukan dengan menarik spesimen pada mesin uji tarik sambil merekam besarnya gaya dan pertambahan panjang yang terjadi. Dari proses tersebut dapat diperoleh parameter-parameter mekanik penting seperti tegangan, regangan, modulus elastisitas, kekuatan luluh, kekuatan tarik maksimum (UTS), serta perpanjangan setelah putus. Data hasil uji tarik kemudian disajikan dalam bentuk grafik tegangan–regangan, yang menggambarkan keseluruhan respon material saat diberi beban. Pada grafik tegangan–regangan tersebut, bagian awal kurva menunjukkan daerah elastis, yaitu kondisi di mana material masih mampu kembali ke bentuk semula setelah gaya dilepas.

Perilaku material pada daerah awal inilah yang digambarkan oleh Diagram Hooke. Diagram Hooke merupakan representasi visual dari prinsip Hukum Hooke, yaitu hubungan linier antara tegangan dan regangan selama material berada dalam batas elastis. Pada daerah ini, kurva berbentuk garis lurus, yang menunjukkan bahwa peningkatan tegangan selalu sebanding dengan peningkatan regangan. Kemiringan garis tersebut adalah Modulus Elastisitas ( $E$ ), yaitu ukuran kekakuan material dalam menahan gaya tarik.

Dengan demikian, diagram Hooke merupakan bagian penting dari keseluruhan proses uji tarik. Uji tarik menghasilkan data tegangan dan regangan, sedangkan diagram Hooke menampilkan bagian dari data tersebut yang menunjukkan perilaku elastis linier material. Diagram Hooke tidak dapat diperoleh tanpa adanya uji tarik, dan uji tarik tidak dapat dianalisis secara lengkap tanpa memahami daerah elastis yang digambarkan oleh diagram Hooke. Keduanya saling melengkapi dalam memahami bagaimana material merespons beban, mulai dari tahap elastis, plastis, hingga titik patah.



Gambar 2. 24 Diagram *Hooke*

Secara sistematis:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Di mana:

$\sigma$  = tegangan

$\epsilon$  = regangan

$E$  = modulus elastisitas (*young's modulus*)