

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan semakin berkembangnya teknologi industri saat ini, tidak bisa mengesampingkan pentingnya penggunaan logam sebagai komponen utama produksi suatu barang, mulai dari kebutuhan yang paling sederhana seperti alat-alat rumah tangga hingga konstruksi bangunan dan konstruksi permesinan. Hal ini menyebabkan pemakaian bahan-bahan logam seperti besi cor, baja, aluminium dan lainnya menjadi semakin meningkat.

Logam tersebut menimbulkan kebutuhan akan teknologi perakitan atau penyambungan. Salah satu teknologi penyambungan tersebut adalah dengan pengelasan (*welding*). Teknik penyambungan logam sebenarnya terbagi dalam dua kelompok besar, yaitu: penyambungan sementara (*temporary joint*) dan penyambungan tetap (*permanent joint*). (Smith, D., 1984).

Pengelasan merupakan penyambungan dua atau lebih material dalam keadaan plastis atau cair dengan menggunakan panas (*heat*) atau tekanan (*pressure*) atau keduanya. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan saat ini adalah pengelasan dengan busur listrik terlindung (Wiryosumarto, 1996). Las busur listrik terlindung atau pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda.

Kekuatan hasil pengelasan tak luput dari beberapa faktor yaitu kuat arus yang digunakan, posisi dan kampuh las sehingga penentuan posisi dan jenis kampuh yang tepat harus dipertimbangkan untuk menghasilkan sambungan las yang baik. Kuat arus yang sering digunakan dalam pengelasan disesuaikan dengan tebal material dan diameter elektroda.

Untuk mengetahui kualitas hasil sambungan las dari proses pengelasan SMAW, maka di perlukan uji mekanik diantaranya uji bending. Pengujian bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan. Kekuatan bending atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan.

Tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Baja karbon rendah mengandung unsur karbon (C) kurang dari 0,30%, kadar  $Si < 0,01$  dan kadar  $Mn$  0,25-0,45 (Wiryosumarto, 2000: 90). Penggunaan material baja karbon rendah dipilih karena baja karbon rendah memiliki kepekaan terhadap keretakan las yang tinggi. Baja karbon rendah adalah baja dengan kepekaan retak las yang tinggi (Wiryosumarto, 2000: 91).

Oleh karena itu, untuk menanggulangi permasalahan tersebut di perlukan suatu penelitian terhadap variasi jenis kampuh las guna untuk mengetahui variasi kampuh manakah yang tepat digunakan pada proses pengelasan terhadap kekuatan bending hasil sambungan las SMAW baja karbon rendah.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang diperoleh ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi kampuh V ganda terhadap kekuatan lengkung baja ST37 pada posisi las horizontal.
2. Bagaimana pengaruh variasi kampuh lereng tunggal terhadap kekuatan lengkung baja ST37 pada posisi las horizontal.
3. Bagaimana pengaruh variasi kampuh V tunggal terhadap kekuatan lengkung baja ST37 pada posisi las horizontal.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah baja ST37.
2. Jenis pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah las *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*.
3. Elektroda yang digunakan adalah E6013 Ø2,6 mm dengan arus 90 A (AWS A5.1).
4. Posisi pengelasan yang dilakukan adalah posisi horizontal (2G).
5. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian lengkung (*Bending Test*).

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan masalah

yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi kampuh V ganda terhadap kekuatan lengkung baja ST37 pada posisi las horizontal.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi kampuh lereng tunggal terhadap kekuatan lengkung baja ST37 pada posisi las horizontal.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi kampuh V tunggal terhadap kekuatan lengkung baja ST37 pada posisi las horizontal.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi peneliti dapat menerapkan apa yang dipelajari di perkuliahan dengan terjun langsung meneliti proses pengelasan SMAW pada baja ST37 dengan variasi kampuh las yang berbeda.
2. Bagi akademik dapat menambah pengetahuan tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan untuk referensi penelitian selanjutnya.
3. Bagi industri dapat menjadi acuan dalam menentukan variasi kampuh las.

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Baja**

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya termasuk karbon. Kandungan isi karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai gradenya. Elemen berikut ini selalu ada dalam baja: karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon dan aluminium. Selain itu, terdapat elemen lain yang ditambahkan untuk membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya adalah mangan, nikel, krom, molibdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi pada kisi kristal atom besi. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya, namun disisi lain membuatnya menjadi getas serta menurunkan keuletannya (Amanto dan Daryanto, 1999).

##### **2.1.1 Jenis-Jenis Baja**

###### **1. Baja Karbon (*Carbon Steel*)**

Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

###### **a. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)**

Baja karbon rendah mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah tidak bisa dikeraskan karena

kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Amanto,1999).

b. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah mengandung karbon 0,3%-0,6%C. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih kuat dibandingkan baja karbon rendah (Amanto,1999).

c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi mengandung 0,6%-1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah. Hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas.

2. Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan dapat disimpulkan sebagai suatu baja yang mengalami pencampuran dengan satu atau lebih unsur seperti nikel dan unsur-unsur lainnya yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki, seperti sifat kekuatan, kekerasan dan keuletannya. Baja paduan juga dibagi menjadi tiga macam yaitu:

a. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Unsur paduan baja ini dibawah 2,5%. Baja paduan ini memiliki kekuatan dan ketangguhan lebih baik dari baja karbon dengan kadar karbon yang sama. Memiliki keuletan lebih baik dari baja karbon dengan kekuatan yang sama. Baja ini banyak digunakan sebagai pahat kayu dan gergaji.

b. Baja Paduan Khusus (*Special Alloy Steel*)

Baja paduan ini memiliki unsur paduan 2,5%-10%. Adapun unsur-unsur pada baja jenis ini adalah Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

c. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi adalah baja paduan dengan kadar unsur paduan lebih dari 10%. Adapun unsur-unsur pada baja ini adalah Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja tahan karat (*stainless steel*), sesuai dengan namanya merupakan paduan kromium dan besi yang mempunyai ketahanan korosi sangat baik. Ketahanan korosi akibat terbentuknya lapisan oksida kromium. Kandungan kromium minimum 30%, dengan 12% untuk membentuk lapisan dan 18% untuk ketahanan korosi udara. Elemen lain misal nikel, aluminium, silikon dan molybdenum. Baja tahan karat digunakan dalam kimia proses, peralatan proses minyak, perpipaan dan sebagainya.
4. Baja struktur (*structural steel*), bentuk baja struktural mengandung pengertian baja pengerolan panas dengan berbagai bentuk dan bermacam elemen paduan yang digunakan untuk ketahanan beban dan gaya yang bekerja. Struktural bisa jadi merupakan bangunan, jembatan, tiang transmisi,. Bentuk baja yang

umum digunakan adalah bentuk W (*wide flange*), bentuk C (*channels*), bentuk L (*angle bar*), batang (*bars*) dan pipa baja.

### 2.1.2 Sifat Mekanik Baja

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban yang dikenakan kepadanya. Dimana beban-beban tersebut dapat berupa beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi.

Sifat – sifat mekanik bahan yang terpenting antara lain :

1. Kekuatan (*strenght*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain dapat dilihat dari kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok.
2. Kekerasan (*hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (*abrasi*), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
3. Kekenyalan (*elasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Bila suatu bahan mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Bila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati suatu batas tertentu maka perubahan bentuk yang terjadi bersifat

sementara, perubahan bentuk ini akan hilang bersama dengan hilangnya tegangan, akan tetapi bila tegangan yang bekerja telah melampaui batas tersebut, maka sebagian bentuk itu tetap ada walaupun tegangan telah dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastis yang dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.

4. Kekakuan (*stiffness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi. Dimana dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting dari pada kekuatan.
5. Plastisitas (*plasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis (yang permanen) tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, *forging*, *rolling*, *extruding* dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan / kekenyalan (*ductility*). Bahan yang mampu mengalami deformasi plastis yang cukup tinggi dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan / kekenyalan tinggi, dimana bahan tersebut dikatakan ulet / kenyal (*ductile*). Sedang bahan yang tidak menunjukkan terjadinya deformasi plastis dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan yang rendah atau dikatakan getas /rapuh (*brittle*).
6. Ketangguhan (*toughness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap

sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit untuk diukur.

7. Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.
8. Merangkak/keretakan (*creep / crack*) merupakan kecenderungan suatu logam untuk mengalami deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, dimana pada saat bahan tersebut menerima beban yang besarnya relatif tetap.

### 2.1.3 Baja ST 37

Baja ST 37 adalah baja karbon rendah yang setara dengan AISI 1045 dengan komposisi kimia karbon: 0,5%, mangan: 0,8%, silikon: 0,3% ditambah unsur lainnya. Dengan kekerasan  $\pm 170$  HB dan kekuatan tarik 650-800 N/mm<sup>2</sup>. Secara umum baja ST 37 dapat digunakan langsung tanpa mengalami perlakuan panas, kecuali jika diperlukan pemakaian khusus. Baja ini banyak sekali digunakan untuk pembuatan peralatan perkakas, roda gigi dan konstruksi umum karena mempunyai sifat mampu las dan dapat dikerjakan pada proses pemesinan dengan baik.

## 2.2 Pengertian Pengelasan

Definisi pengelasan menurut DIN (*Duette Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan suatu sambungan setempat dari beberapa batang logam baik itu *ferro* atau *non-ferro* dengan menggunakan energi panas untuk melelehkan logam tersebut menjadi satu.

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki.

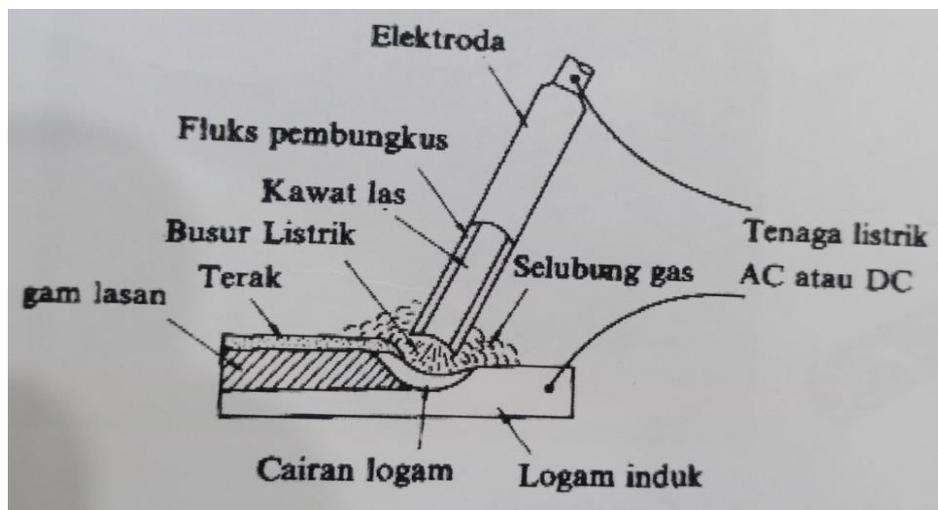
### 2.2.1 Las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

Fokus utama pada penelitian ini adalah pengelasan menggunakan las busur listrik atau SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), dalam bahasan ini penulis akan memakarkan tentang pengelasan SMAW. Menurut Suharto (1991: 77) las busur nyala listrik atau lebih dikenal dengan *Shielded Metal Arc Welding* adalah proses pengelasan dengan busur nyala listrik dimana panas diperoleh dari busur nyala yang memancar antara elektroda (dengan selubung *fluks*) dan benda kerja. 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 dipakai berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa *fluks* dan karena itu elektroda las kadang – kadang disebut kawat las. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama – sama dengan logam

induk yang menjadi bagian kumpuh las, dengan adanya pencairan ini maka kumpuh las akan terisi oleh logam cair yang berasal dari elektroda dan logam induk.

Selain mencairkan kawat las yang nantinya membeku menjadi logam las, busur listrik juga ikut mencairkan *fluks*, karena massa jenisnya yang lebih kecil dari logam las maka *fluks* ini berada diatas logam las pada saat cair. Kemudian setelah membeku, *fluks* cair ini menjadi terak yang menutupi logam las dengan demikian *fluks* cair akan melindungi kubangan las selama mencair dan terak melindungi logam las selama pembekuan, terak ini nantinya harus dihilangkan dari permukaan logam las dengan menggunakan palu atau gerinda (Sonawan, 2006: 4).



Gambar 2.1 Proses Las SMAW (Sonawan dan Suratman, 2004: 3)

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* meliputi:

## 1. Sumber Arus

Arus listrik yang mempunyai arus besar ini adalah menimbulkan bunga api pada elektroda las yang berhubungan dengan bagian yang akan disambung (dilas) sehingga terjadilah panas yang tinggi untuk melelehkan logam (Daryanto, 1982: 54). Sumber arus pada mesin las listrik adalah arus bolak-balik (*AC*), arus searah (*DC*) atau juga bisa *AC-DC*. Mesin las *AC* mesin yang dibutuhkan adalah arus listrik dari PLN. Kelebihan menggunakan mesin las *AC* adalah perlengkapan yang relatif lebih murah, nyala busur kecil sehingga mengurangi timbulnya keropos pada rigi-rigi las. Kekurangannya adalah tidak dapat dipergunakan untuk semua

jenis elektroda, selain itu tidak dapat digunakan untuk mengelas semua jenis logam, dan karena menggunakan sumber listrik dari PLN maka pengelasannya hanya pada jangkauan tertentu tidak bisa dibawa kemana-mana. Mesin arus *DC* kelebihan utamanya nyala busur listrik stabil, semua jenis elektroda dapat digunakan pada mesin las *DC*, tingkat kebisingan rendah, mesin las fleksibel dapat diubah arus bolak-balik atau searah. Pengelasan ini terdapat 2 macam las *DC*, yaitu las stasioner yang tidak dapat dipindahkan dan las portabel dapat dipindahkan seperti halnya mesin las yang bersifat *mobile* dimana mesin diputar oleh motor bensin atau disel yang terpasang dengan mesin las tersebut untuk menghasilkan arus listrik yang tidak terjangkau jaringan listrik.

Pemilihan dalam penggunaan jenis arus baik *AC* maupun *DC* ditentukan dari jenis material yang akan dilas karena nantinya akan mempengaruhi masukan panas pada saat proses pengelasan.

## 2. Tegangan Busur

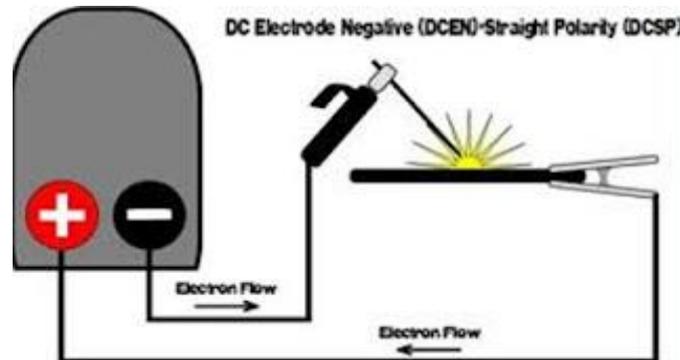
Secara umum dapat dikatakan bahwa arus pengelasan menentukan penetrasi las karena berbanding langsung, atau paling tidak secara eksponensial. Arus busur juga mempengaruhi tegangan. Jika voltasenya tetap maka jika arus naik maka panjang busur bertambah, sedangkan arus turun maka panjang busur akan berkurang. Tegangan yang diperlukan untuk mengelas kira-kira antara 20 sampai 30 Volt (Wiryosumarto, 2000: 224). Jadi untuk mempertahankan panjang busur pada kepanjangan tertentu, maka tegangan listrik perlu diperhatikan.

## 3. Polaritas Listrik

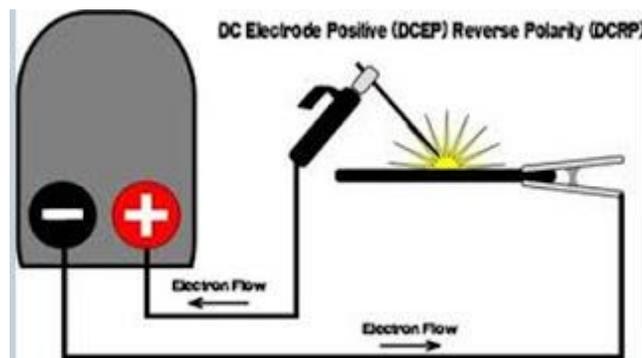
Paparan teori di bawah ini sangat membantu peneliti dalam menentukan polaritas yang baik untuk penelitian ini dikarenakan jika salah dalam menentukan polaritas akan berakibat fatal pada proses pengelasan. Menurut Wiryosumarto (2000: 225) pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus dapat menggunakan polaritas lurus dan polaritas balik. Pengelasan pada mesin SMAW arus DC mempunyai dua polaritas, yaitu polaritas *DCEN* (*Direct Current Elektroda Negatif*) dan *DCEP* (*Direct Current Elektroda Positif*). Dalam bahasa Inggris juga disebut *DCSP* (*Direct Current Straight Polarity*) dan *DCRP* (*Dirrect Current Revers Polarity*).

Polaritas *DCSP* (*Direct Current Straight Polarity*) adalah benda kerja atau material yang akan dilas disambungkan dengan kutub positif (+) dan elektrodanya disambungkan dengan kutub negatif (-) pada mesin las DC. Kelebihan menggunakan polaritas *DCSP* adalah penetrasi dalam sehingga baik digunakan pada pengelasan lambat, untuk plat tebal. Kekurangannya untuk

pengelasan dengan plat tipis karena penetrasi lambat akan mengakibatkan cepat mencair dan bolong.



Gambar 2.2 Mesin Las SMAW DCSP (*Direct Current Straight Polarity*)



Gambar 2.3 Mesin Las SMAW DCRP (*Direct Current Reverse Polarity*)

Pengertian Polaritas *DCRP* (*Direct Current Reverse Polarity*) adalah benda kerja atau material dasar yang akan dilakukan pengelasan disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodanya disambungkan dengan kutub positif (+) dari mesin las *DC*. Kelebihan menggunakan polaritas *DCEP* adalah pencairan elektroda banyak mengakibatkan penetrasi dangkal, sehingga baik digunakan untuk plat tipis. Kekurangannya bila digunakan untuk pengelasan plat tebal maka akan kurang efektif karena penembusan yang dangkal sehingga lasan akan kurang matang dan tidak sempurna.

Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektroda, konduksi thermal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan dan lain sebagainya. Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah dari pada arus bolak balik, terutama pada pengelasan arus yang rendah. Akan tetapi, untuk pengelasan sambungan pendek lebih baik menggunakan arus bolak balik karena pada arus searah sering terjadi ledakan busur pada akhir dari pengelasan.

#### 4. Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik diperlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti yang terbuat dari logam yang dilapisi lapisan campuran kimia. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (*fluks*) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepit tang las. Fungsi dari *fluks* adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, dan menstabilkan busur.

Menurut Wiryosumarto (2000: 9) Las elektroda terbungkus dalam pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan *fluks*. Busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda, karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. 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 ditempat sambungan dan bekerja

sebagai penghalang oksidasi (Wiryosumarto, 2000: 9).

*American Welding Society* (AWS) telah membuat suatu sistem klasifikasi untuk mengidentifikasi berbagai elektroda las. Seluruh elektroda baja karbon dan baja paduan proses las SMAW, cara penulisannya diawali huruf E yang menandakan elektroda dan diikuti dengan 4 digit angka (AWS E XXXX). Dua digit pertama merupakan kekuatan tarik dari logam las dalam satuan ksi. Digit ketiga menandakan posisi pengelasan dan digit keempat merupakan jenis fluks yang menyelimuti kawat las elektroda. Misalkan jika disebutkan elektroda dengan tipe AWS E7018 maka :

E = elektroda (E7018 diameter 3,2 mm)

70 = kekuatan tarik logam las = 70 ksi (70.000 psi)

1 = posisi pengelasan

1. semua posisi pengelasan

2. posisi pengelasan mendatar dan horizontal

3. posisi pengelasan mendatar

8 = jenis fluks (E7018 memiliki jenis fluks serbuk besi).

Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah E 6013 yang dapat digunakan pada semua posisi dan berdasarkan kapasitasnya yaitu, bila kapasitas kecil seperti pada plat tipis maka dianjurkan untuk menggunakan mesin las polariatas terbalik.

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat

ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda Dan Diameter Dari Elektroda (Soetardjo, 1997)

Diameter		Tipe Elektroda Dan Amper Yang Digunakan					
Mm	Inch	E 6010	E 6013	E 7018	E 7024	E 7027	E 7028
2,6	$\frac{3}{32}$	-	60-110	70-100	70-145	-	-
3,2	$\frac{1}{8}$	80-120	80-140	115-165	140-190	125-185	140-190
4	$\frac{5}{32}$	120-160	120-190	150-220	180-250	160-240	180-250
5	$\frac{3}{16}$	150-200	140-220	200-275	230-305	210-300	230-250
6,3	$\frac{1}{4}$	-	180-250	315-400	335-430	300-420	335-430
8	$\frac{5}{16}$	-	-	375-470	-	-	-

Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi dari elektroda dan kisaran arus yang nantinya akan digunakan dalam pengelasan. Penelitian ini menggunakan elektroda E 6013 dengan diameter 2,6 mm. Kuat Arus yang digunakan antara 60 A - 110 A. Atas dasar itu peneliti menggunakan variasi arus sebesar 90 A. Nomer seri elektroda E 6013 pada penelitian ini menurut (Soetardjo, 1997: 33) adalah:

- E : Elektroda las listrik (E 6013 diameter 2,6 mm).
- 60 : Tegangan tarik minimum dari hasil pengelasan (60.000) psi atau sama dengan 414 MPa.
- 1 : Posisi pengelasan (angka 1 berarti dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan).
- 3 : Menunjukkan jenis selaput serbuk kalium titanata tinggi

## 5. Arus

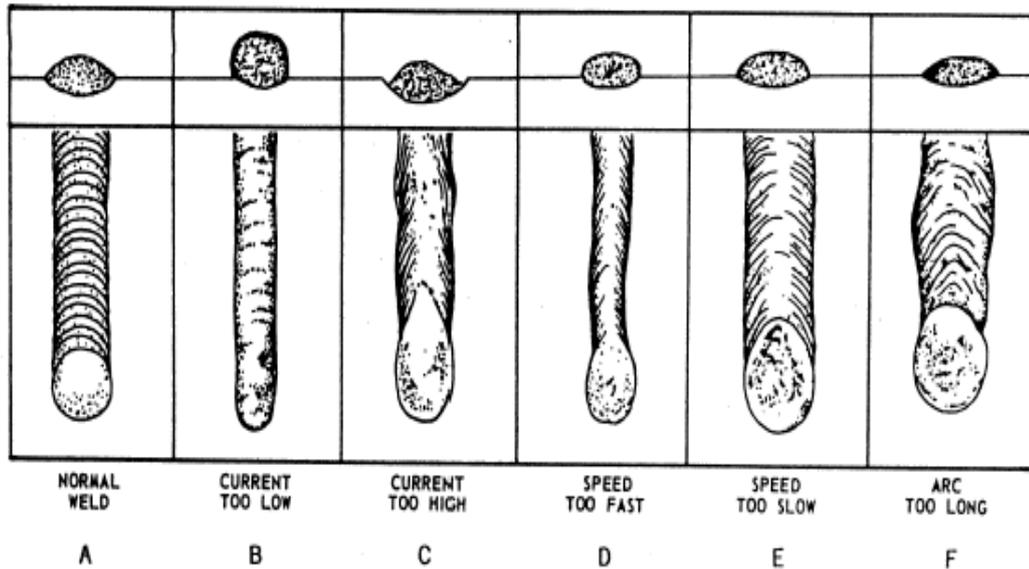
Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi.

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

Tabel 2.2 Hubungan Diameter Elektroda Dan Arus Pengelasan

(Hary Pasetyo, 2006)

Diameter Elektroda (mm)	Arus listrik ( Ampere )	
	Min	Max
1.6	25	50
2	40	70
2.5	60	110
3.15	80	150
4	120	180
5	150	250



Gambar 2.4 Pengaruh Arus Listrik Dan Kecepatan Pengelasan Terhadap Sambungan Las

### 2.2.2 Jenis Sambungan Las

Pada saat ini, beragam jenis industri dan proses manufaktur sangat bergantung pada pengelasan, yang mana pada proses pengelasan perlu pemahaman khusus mengenai jenis-jenis sambungan pada proses pengelasan. Jenis sambungan pengelasan ini disesuaikan pada jenis pekerjaan dan pengaplikasian sambungan las itu sendiri. Berikut 5 jenis sambungan las yang selama ini digunakan.

#### 1. Sambungan T (*Tee Joint*)

Sesuai namanya, T joint adalah jenis sambungan yang berbentuk menyerupai huruf T. Tipe sambungan ini banyak sekali diaplikasikan untuk konstruksi atap, konveyor dan beberapa jenis konstruksi lainnya. Sambungan

T dibuat dengan memotong dua bagian dengan sudut  $90^\circ$  dengan satu bagian yang terletak ditengah bagian lainnya secara tegak lurus yang membentuk huruf T.

## 2. Butt Joint

Merupakan sambungan yang dibentuk dengan cara menyatukan ujung pada kedua bagian. Pada sambungan las butt joint kedua bagian objek yang ingin dilas diletakkan pada bidang yang sama dan saling berdampingan. Secara pengaplikasian, sambungan butt joint ini adalah sambungan yang paling sederhana yang digunakan untuk menyatukan objek yang dilas.

Butt joint biasanya digunakan pada bahan dengan tebal 5 mm. Sambungan ini tidak disarankan untuk digunakan pada logam yang bekerja untuk beban tinggi.

## 3. Lap Joint

Lap joint adalah sambungan yang terdiri dari dua benda kerja/objek yang saling bertumpukan (tumpang tindih). Pengaplikasian sambungan ini biasanya cenderung untuk objek berbentuk plat tipis seperti body kereta. Lap joint bisa diaplikasikan pada salah satu sisi saja atau pada kedua sisi agar kekuatan las lebih baik.

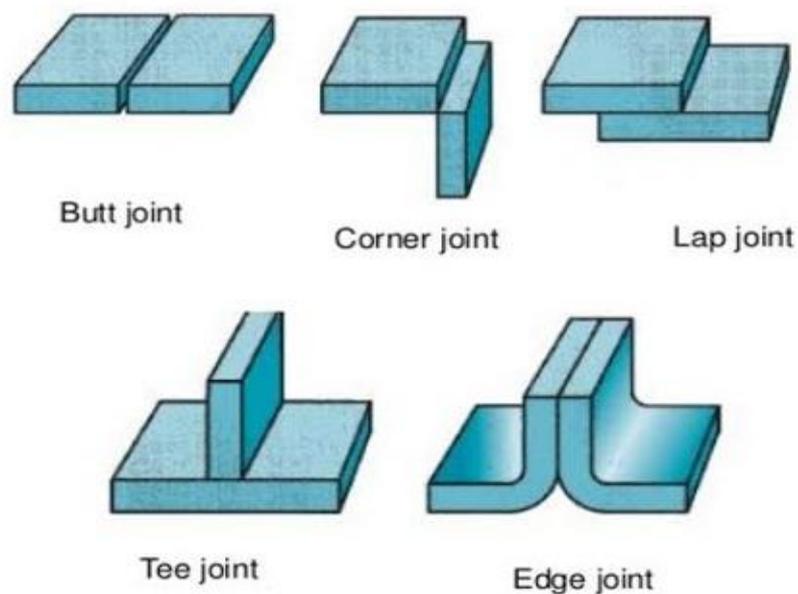
## 4. Corner Joint

Corner joint adalah sambungan yang dibentuk dari dua buah benda kerja/objek dengan cara lasnya membentuk sudut berbentuk huruf L. Hampir sama dengan T joint, bedanya sambungan ini dibentuk pada ujung objek

lainnya.

#### 5. Edge Joint (Sambungan Tepi)

Edge joint diaplikasikan dengan cara menggabungkan dua buah objek las yang dibentuk secara paralel. Kedua bagian tersebut juga dapat dibuat sejajar atau memiliki flensing edge.



Gambar 2.5 Jenis Sambungan Las

#### 2.2.3 Jenis Kampuh Las

Jenis kampuh las juga merupakan salah satu penyebab yang mempengaruhi kekuatan dari sambungan las. Kampuh las merupakan bagian dari logam induk yang nantinya akan diisi oleh logam las. Pada dasarnya dalam memilih bentuk kampuh harus menuju kepada penurunan logam las sampai kepada harga logam terendah dan tidak menurunkan mutu sambungan. Untuk kampuh-kampuh las pada saat pembakarannya dapat mengisi pada seluruh

tebalnya plat. Sebelum pengelasan dilaksanakan kampuh las harus melalui proses pengerjaan awal, karat, minyak, cat harus dihilangkan untuk memperoleh pembakaran yang baik. Jenis-jenis kampuh las adalah sebagai berikut :

1. Las I kampuh terbuka, pada kampuh las ini terdapat celah antara plat yang akan dilas. Lebar celah tergantung pada ketebalan plat. Kampuh ini kurang kuat dibandingkan kampuh tertutup.
2. Kampuh V tunggal, kampuh ini lebih kuat dari pada kampuh persegi dan dapat dipakai untuk menerima gaya tekan yang besar serta lebih tahan terhadap kondisi bebas statis.
3. Kampuh V ganda, kampuh ini lebih kuat dari kampuh V tunggal, sangat baik untuk kondisi beban statis maupun dinamis serta dapat menjaga perubahan bentuk kelengkungan sekecil mungkin.
4. Kampuh V miring tunggal dan ganda, kampuh ini digunakan untuk beban tekan yang besar. Kampuh ini lebih baik dari pada las persegi, tetapi tidak lebih baik dari sambungan V.
5. Kampuh U tunggal, kampuh tunggal dapat dibuat tertutup dan terbuka. Kampuh ini lebih kuat menerima beban statis dan diperlukan untuk sambungan berkualitas tinggi.
6. Kampuh U ganda, kampuh ganda juga dibuat tertutup dan terbuka. Kampuh ini lebih kuat menerima beban statis dan dinamis.
7. Kampuh tumpang (overlap), kampuh ini sangat sederhana dan mudah, kampuh ini diperlukan untuk menahan tekanan berat, maka pengelasan harus dikerjakan pada kedua sisi permukaan.

8. Kampuh T, kampuh las T terdiri atas 5 jenis yaitu :
  - a. Kampuh las T dengan las siku. Kampuh T dengan las siku dapat digunakan dengan tebal plat  $>12$  mm.
  - b. Kampuh T dengan alur V miring tunggal lebih kuat terhadap beban tekan yang besar dibandingkan sambungan T dengan las rusuk.
  - c. Kampuh T dengan alur V miring ganda. Kampuh ini lebih kuat dari pada sambungan T dengan alur V miring tunggal.
  - d. Kampuh las T dengan alur J tunggal. Kampuh ini dipakai untuk beban yang lebih besar dari pada las rusuk, tetapi tidak untuk mengganti sambungan dengan las T dengan alur V miring ganda.
  - e. Kampuh las T dengan alur J ganda. Dipakai untuk menahan beban kejut dengan ketebalan plat  $>30$  mm.
9. Kampuh sudut, kampuh sudut dapat dibedakan menjadi 3 yaitu :
  - a. Kampuh sudut rapat. Kampuh ini banyak dijumpai pada konstruksi-konstruksi dengan bahan plat tipis kurang lebih 3 mm.
  - b. Kampuh sudut setengah terbuka. Kampuh ini lebih tahan dibandingkan ikatan rapat, tetapi tidak disarankan untuk menerima gaya bending.
  - c. Kampuh sudut terbuka. Ketebalan plat 6-25 mm memungkinkan dengan cara seperti ini perembesan bahan pengisian pada plat-plat yang disambung juga mudah dicapai.
10. Kampuh las tepi ini hanya cocok untuk ketebalan plat kurang dari 3 mm. Perembesan yang sempurna tidak mungkin dapat dicapai. Kampuh ini

hanya digunakan untuk menahan beban kecil dan tidak digunakan untuk tegangan yang besar.

Pada penelitian ini jenis kampuh yang digunakan yaitu kampuh V dengan sudut  $60^\circ$ , kampuh V ganda sudut  $60^\circ$  dan kampuh tirus dengan sudut  $30^\circ$ . Sambungan yang digunakan adalah sambungan butt joint.



Gambar 2.6 Jenis Kampuh Las

#### 2.2.4 Posisi Pengelasan

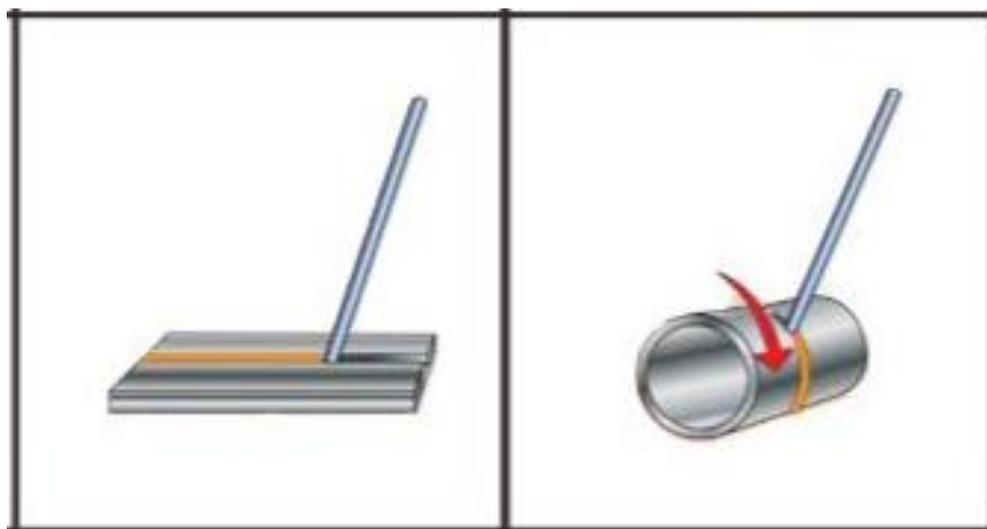
Setiap proses pengelasan memiliki desain sambungan yang berfungsi untuk mendapatkan hasil sambungan yang baik dan lolos pengujian sesuai standar

kode yang digunakan. Oleh karenanya pemilihan jenis sambungan dan posisi pada pengelasan sangat penting sebelum proses pengelasan. Hal tersebut dikarenakan hasil pengelasan pada material akan mempengaruhi ketahanan material terhadap kekuatan tarik, tekan yang terjadi pada sambungan tersebut. Posisi pengelasan tersebut dibedakan menurut jenis sambungannya yaitu sambungan tumpul, sambungan sudut.

### 1. Sambungan Tumpul

#### a. Posisi Datar di Bawah Tangan (1G)

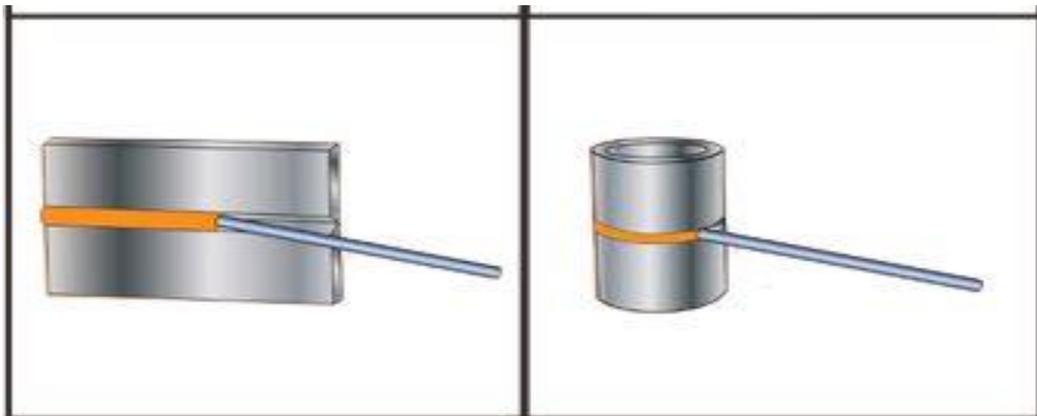
Pada posisi ini dilakukan pengelasan dengan posisi logam induk di bawah tangan dan elektroda berada di atas dengan kemiringan 70-80 derajat. Posisi ini digunakan di industri pengelasan disektor proyek konstruksi baja, struktur jembatan dan bangunan. Termasuk juga untuk posisi pengelasan plat tipis hingga tebal, juga pipa tetapi untuk pipa pengelasan dilakukan dengan memutar pipa sedangkan posisi tangan tetap.



Gambar 2.7 Posisi Pengelasan 1G

b. Posisi Datar Horizontal (2G)

Mengelas dengan horizontal biasa disebut juga mengelas merata dimana kedudukan benda kerja dibuat tegak dan arah elektroda mengikuti horizontal. Sewaktu mengelas elektroda dibuat miring sekitar 5-10 derajat terhadap garis vertikal dan 70-80 derajat ke arah benda kerja.



Gambar 2.8 Posisi Pengelasan 2G

c. Posisi Tegak Vertikal (3G)

Pengelasan ini termasuk pengelasan yang cukup sulit karena bahan cair yang mengalir dapat menumpuk di arah bawah tetapi dapat diperkecil dengan kemiringan elektroda sekitar 10-20 derajat terhadap garis vertikal dan 70-80 derajat terhadap benda kerja.

d. Posisi di Atas Kepala (*Over Head*) (4G)

Posisi pengelasan ini sangat sukar dan berbahaya karena bahan cair banyak berjatuhan dapat mengenai juru las. Mengelas dengan posisi ini benda kerja terletak pada bagian atas juru las dan kedudukan elektroda

sekitar 5-20 derajat terhadap garis vertikal dan 75-85 derajat terhadap benda kerja.



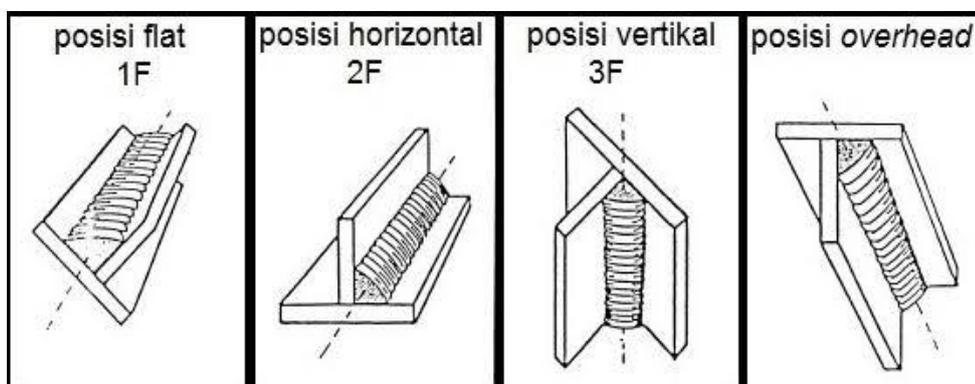
(A)

(B)

Gambar 2.9 (A) Posisi pengelasan 3G, (B) Posisi Pengelasan 4G

## 2. Sambungan Sudut

Posisi pengelasan pada sambungan sudut sebenarnya hampir sama dengan posisi pengelasan yang digunakan pada sambungan tumpul. Yang membedakan ialah posisi logam induk bertemu antara ujungnya dan membentuk sebuah sudut. Posisi pengelasan pada sambungan sudut tersebut antara lain:



Gambar 2.10 Posisi Pengelasan Sambungan Sudut

### 2.3 Heat Input

Pencairan logam induk Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$HI \text{ (Heat Input)} = \frac{\text{Tegangan Pengelasan (E)} \times \text{Arus Pengelasan (I)}}{\text{Kecepatan Pengelasan (v)}} \dots\dots\dots 2.1$$

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan satu dikalikan dengan efisiensi proses pengelasan ( $\eta$ ) sehingga persamaannya menjadi:

$$HI \text{ (Heat Input)} = \eta \times \frac{\text{Tegangan Pengelasan (E)} \times \text{Arus Pengelasan (I)}}{\text{Kecepatan Pengelasan (v)}} \dots\dots\dots 2.2$$

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

Tabel 2.3 Efisiensi Proses Pengelasan (Malau, 2003)

Proses pengelasan	Efisiensi (%)
SAW ( <i>Submerged Arc Welding</i> )	95
GMAW ( <i>Gas Metal Arc Welding</i> )	90
FCAW ( <i>Flux Cored Arc Welding</i> )	90
SMAW ( <i>Shielded Metal Arc Welding</i> )	90
GTAW ( <i>Gas Tungsten Arc Welding</i> )	70

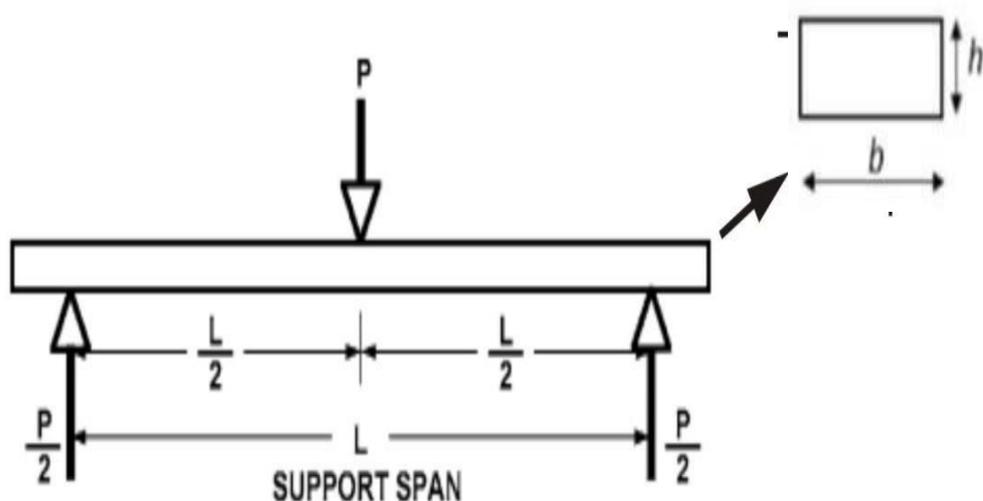
#### 2.4 Bending Test

Sifat kemampuan suatu material diperlukan pengujian terhadap sampel yang disiapkan sebagai spesimen dengan ukuran dan bentuk yang ditentukan dalam standar pengujian. Teori pengujian *bending* dipaparkan mengingat teori tersebut berkaitan dengan judul penelitian yang akan diteliti. Pengujian *bending* mengacu pada standar *JIS Z 2248 three point bending* dan menggunakan model *face bending* karena menggunakan spesiman baja karbon rendah.

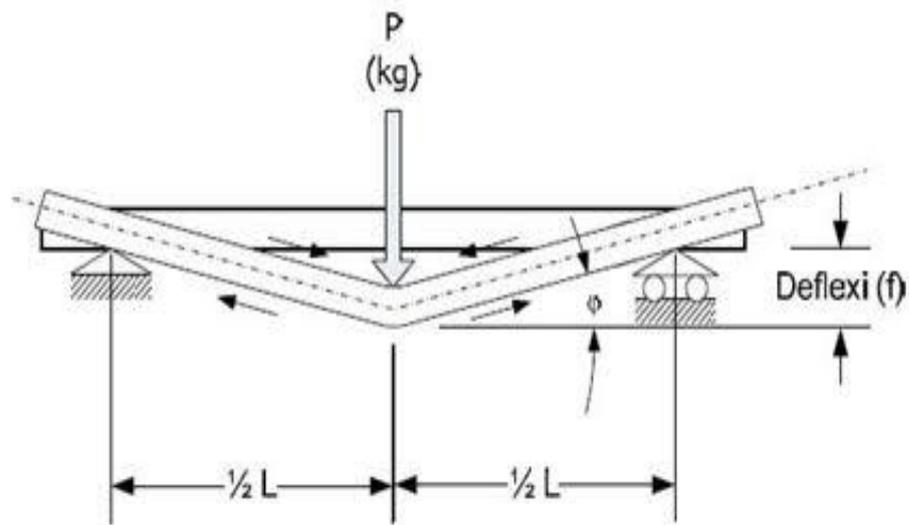
Pengujian lengkung atau (*bending test*) merupakan salah satu pengujian yang merusak atau *destructive test*. Pengujian merusak adalah pengujian yang digunakan untuk mengetahui kekuatan logam pada konstruksi.

Pengujian lengkung (*bending test*) adalah salah satu cara pengujian yang digunakan untuk menentukan mampu bentuk dari pelat atau kekuatan sambungan las (Surdia, T., dan Shinroku Saito, 2000). Pengujian *Bending* digunakan untuk menganalisa adanya *open defect* pada saat material mendapat beban lentur.

Menurut Syahrani *et al.*, (2013: 397) untuk mengetahui kekuatan lentur (*bending*) suatu material dapat dilakukan dengan pengujian lentur terhadap spesimen tersebut. Kekuatan *bending* atau kekuatan lengkung adalah tegangan *bending* terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau gagal. Besar kekuatan *bending* tergantung pada jenis spesimen dan pembebanan. Akibat pengujian lengkung, bagian dari spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah mengalami tegangan tarik.



Gambar 2.11 Skema Uji Three Point Bending (ASTM D 7264: 2)



Gambar 2.12 Pengaruh Pembebanan Lengkung Terhadap Benda Uji

Momen inersia material balok tersebut dapat ditemukan menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{bh^3}{12} \dots\dots\dots 2.3$$

Momen lentur yang berlaku pada spesimen mampu dicari menggunakan persamaan:

$$M = \frac{1}{2}P \cdot \frac{1}{2}L \dots\dots\dots 2.4$$

$$M = \frac{1}{4}P \cdot L \dots\dots\dots 2.5$$

Nilai tegangan/kekuatan bending maksimal pada spesimen berbentuk balok yang ditumpu oleh dua titik dan diberikan pembebanan pada titik tengahnya mampu dicari menggunakan formula berikut:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \text{ [MPa]} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :  $\sigma_b$  = tegangan/kekuatan bending maksimal (Mpa)

P = beban yang bekerja (N)

L = jarak antar titik tumpu (mm)

b = lebar spesimen (mm)

h = tebal spesimen (mm)

Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, uji tekuk bending dibedakan menjadi dua, yaitu transversal bending dan longitudinal bending. Apabila kedua jenis pengujian tersebut digunakan pada benda hasil pengelasan, maka pemotongan area pengelasan harus disesuaikan dengan jenis pengujiannya. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui kualitas hasil pengelasan secara visual setelah benda ditekuk.

#### 1. Pengujian Tekuk Melintang (Transversal Bending)

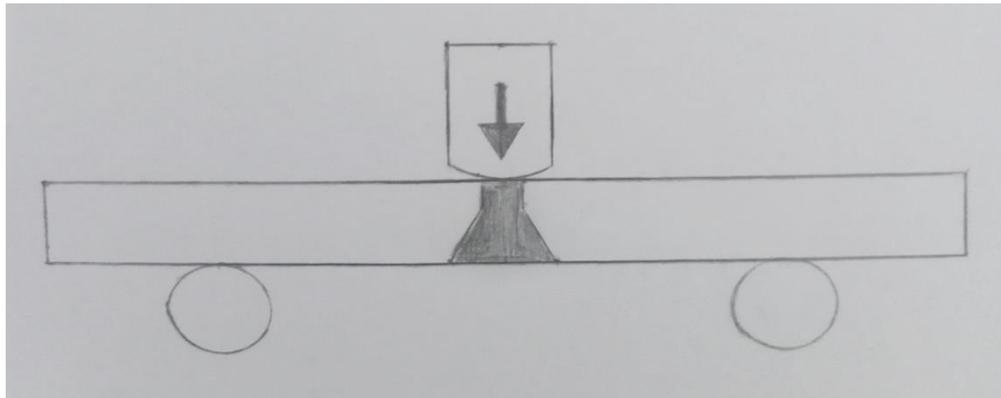
Pada transversal bending, saat pengambilan spesimen harus tegak lurus dengan arah pengelasan. Menurut arah pembebanan dan lokasi pengamatan, uji tekuk melintang (transversal bending) dibagi menjadi tiga:

##### a. Face Bend (Bending di Permukaan Las)

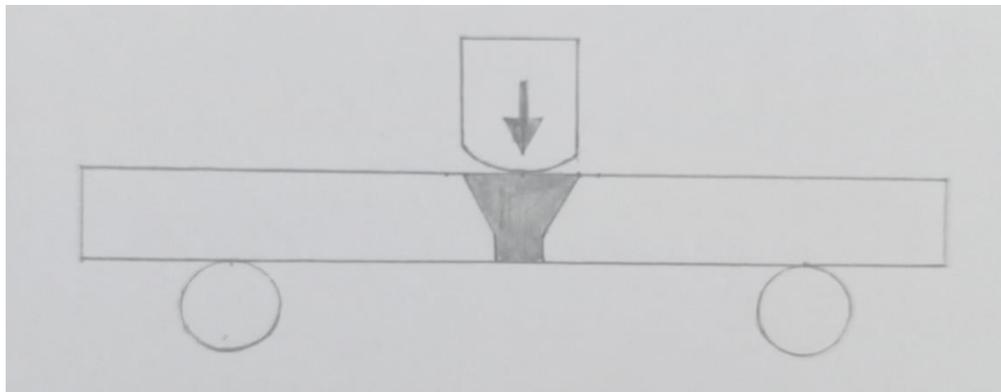
Dikatakan face bend jika permukaan las mengalami tegangan tarik dan akar las mengalami tegangan tekan seperti ditunjukkan pada gambar 2.19. pengamatan dilaksanakan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik, apakah muncul retak atau tidak.

##### b. Root Bend (Bending di Akar Las)

Root bend adalah akar las mengalami tegangan tarik dan permukaan las mengalami tegangan tekan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.20. pengamatan dilakukan di akar las yang mengalami tegangan tarik apakah muncul retak atau tidak.



(A)



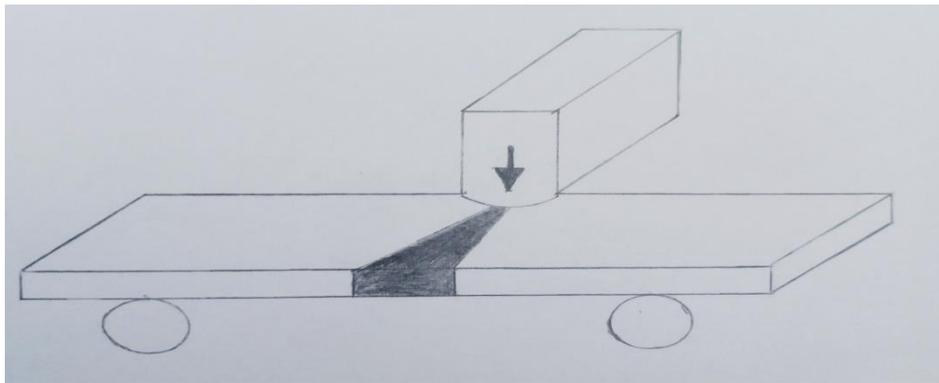
(B)

Gambar 2.13 (A) Skema Pengujian Tekuk Face Bend Pada Transversal Bending

(B) Skema Pengujian Tekuk Root Bend Pada Transversal Bending

c. Side Bend (Bending di Sisi Las)

Pengujian ini dilaksanakan apabila ketebalan material yang di las lebih besar dari 3/8 inchi. Pengamatan dilakukan pada sisi las tersebut apakah timbul retak atau tidak, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.14 Skema Pengujian Tekuk Side Bend Pada Transversal Bending

## 2. Pengujian Tekuk Memanjang (Longitudinal Bending)

Pada pengujian jenis ini, spesimen diambil searah dengan arah pengelasan berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan. Pengujian longitudinal bending dibagi menjadi dua:

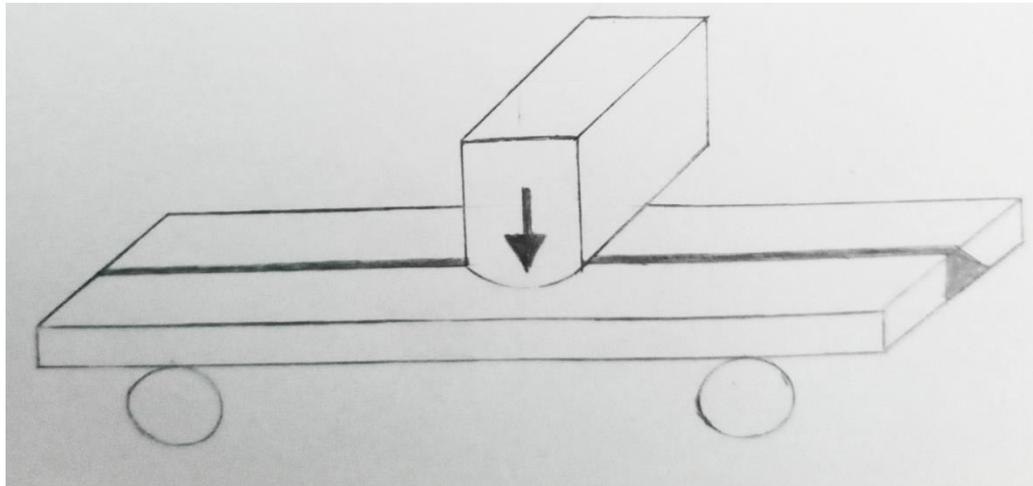
### a. Face Band (Bending Pada Permukaan Las)

Dikatakan face bend jika permukaan las mengalami tegangan tarik dan akar las mengalami tegangan tekan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.22 (A). pengamatan dilakukan di permukaan las yang mengalami tegangan tarik, diamati apakah timbul retak atau tidak.

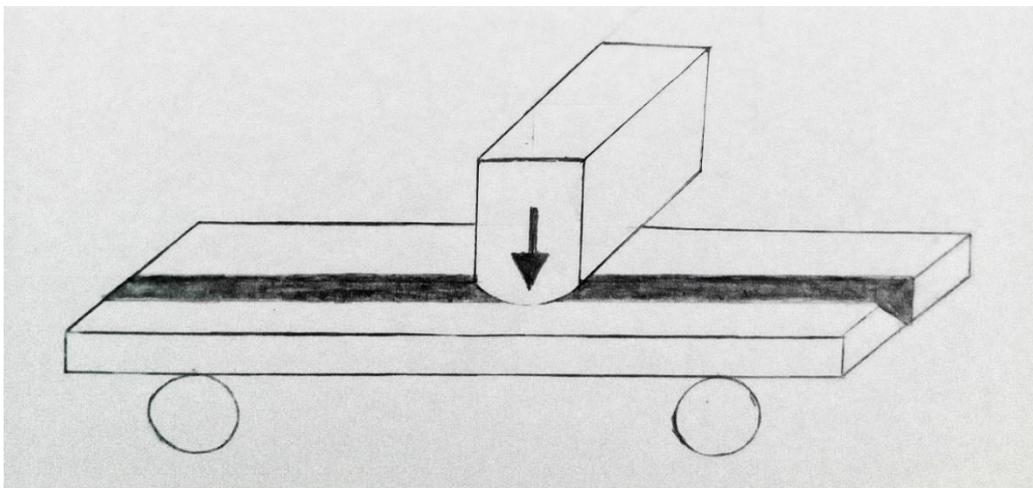
### b. Root Bend (Bending Pada Akar Las)

Root bend adalah bending yang dilakukan sehingga akar las

mengalami tegangan tekan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.22 (B).  
pengamatan dilakukan di atas las, apakah muncul retak atau tidak.



(A)



(B)

Gambar 2.15 (A) Skema Pengujian Tekuk Face Bend Pada Longitudinal Bending,  
(B) Skema Pengujian Tekuk Root Bend Pada Longitudinal Bending