

Analisis Perbandingan Kualitas Las SMAW Kampuh V dengan Uji Bending pada Baja ST 37

Muhsin Z⁽¹⁾, Suardy⁽²⁾ dan Suryadi⁽³⁾
(1),(2),(3) Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Makassar
e-mail: muhsinznl@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dilaksanakan di laboratorium Pengelasan Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Makassar. Sampel dalam penelitian ini adalah hasil pengelasan material baja karbon rendah las SMAW dengan elektroda E6013. Jumlah sampel dalam penelitian ini adalah masing-masing kelompok arus pengelasan adalah 3 buah dan untuk sampel kontrol masing-masing kelompok arus pengelasan adalah 2 buah. Dengan demikian jumlah sampel keseluruhan adalah 15 buah.

Hasil penelitian ini data hasil statistik analisis inferensial dengan menggunakan analisis uji beda t terdapat perbedaan kekuatan bending antara diameter elektroda 2,6 mm dan diameter elektroda 3,2 mm namun perbedaan antara kedua diameter elektroda tersebut tidak signifikan.

Kata Kunci : Las SMAW, Uji Bending, Baja Karbon Rendah.

A. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancangan bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan ketrampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya.

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi

dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh).

Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Pengelasan cair adalah suatu cara pengelasan dimana benda yang akan disambung dipanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik) dan gas. Jenis dari las busur listrik ada 4 yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (TIG, MIG, las busur CO₂), las busur tanpa gas, las busur rendam. Jenis dari las busur

elektroda terbungkus salah satunya adalah las SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*).

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif.

Pilihan ketika menggunakan DC polaritas negatif atau positif adalah terutama ditentukan elektroda yang digunakan. Beberapa elektroda SMAW didesain untuk digunakan hanya DC- atau DC+. Elektroda lain dapat menggunakan keduanya DC- dan DC+. Elektroda E6013 hanya dapat menggunakan arus DC polaritas terbalik (DC+).

Pengelasan ini menggunakan elektroda E6013 dengan diameter 2,6 mm dan 3,2 mm, elektroda ini termasuk jenis selaput putih yang dapat menghasilkan perembesan sedang, elektroda ini banyak di gunakan di berbagai bidang pengelasan baik di industry maupun bengkel-bengkel las kecil-kecilan ,elektroda ini juga dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi, tetapi kebanyakan jenis E6013 sangat baik untuk posisi pengelasan tegak arah ke bawah. Jenis E6013 yang mengandung banyak kalium memudahkan pemakaian pada voltase rendah. Elektroda E6013 tergolong dalam jenis *rutile coating*, dimana elektroda tersebut mempunyai

komposisi 50% (TiO_2) rutil, kekuatan lengkung 51,02 kg/mm, kekuatan ulur 36,73 kgf/mm. Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Untuk setiap elektroda mempunyai batas besar arus yang dapat di gunakan, untuk elektroda diameter 2,6 mm rentang arusnya 60 – 110 amper dan untuk elektroda 3,2 mm rentang arusnya 80 - 140 amper (rekomendasi produsen elektroda). Dengan interval arus tersebut, pengelasan yang dihasilkan akan berbeda-beda (Soetardjo, 1997). Hasil pengujian bending menunjukkan pengelasan ST 37 dengan menggunakan 3,2 mm yang memiliki nilai kekerasan (BHN) berkisar 151;, 151;, 142, dan menggunakan elektroda berdiameter 2,6 mm yang hanya memiliki nilai kekerasan (BHN) sebesar 135;. 127;, 135. Sifat fisis ST 37 hasil pengelasan dengan menggunakan elektroda berdiameter 2,6 mm, 3,2 mm, menunjukkan bahwa dengan menggunakan elektroda berdiameter 3,2 mm cenderung memiliki porositas (cacat las) lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan elektroda berdiameter 2,6 mm.

Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V, sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6 - 15 mm. Penentuan besar arus dalam pengelasan ini mengambil 100 A.

Tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja paduan rendah. Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Baja paduan rendah biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konSTruksi umum. Pada penelitian ini digunakan besi baja strip yang termasuk baja karbon rendah ST 37 dengan kandungan karbon kurang dari 0,5% C, 0,8% Mn dan 0,3% Si

(Metalic Material Specification handbook, Robert B Ross). ST 37 ini menunjukkan bahwa baja ini dengan kekuatan lengkung sebesar 37 kg/mm². (diawali dengan ST dan diikuti bilangan yang menunjukan kekuatan lengkung minimumnya dalam kg/mm²). Baja ST 37 ini secara teori mempunyai nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor karena adanya perlit dan ferit, sebab perlit yang ada lebih banyak dari pada ferit.

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukar penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan lengkung yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan.

Dari beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan hasil las di atas, maka yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah kualitas pengelasan berdasarkan besar arus pengelasan dengan menggunakan arus 100 amper. Dengan demikian penelitian ini mengambil judul : “ Perbandingan Kualitas Pengelasan Kampuh V Baja ST 37 Menggunakan Uji Bending Dengan Besar Arus Pengelasan 100 A Menggunakan Elektroda Diameter 2,6 mm, Dan 3,2 mm ”.

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan, maka tujuan dari penelitian ini adalah: untuk mengetahui perbandingan kualitas pengelasan kampuh V baja ST 37 menggunakan uji bending dengan besar

arus pengelasan 100 A menggunakan elektroda diameter 2,6 mm, dan 3,2 mm

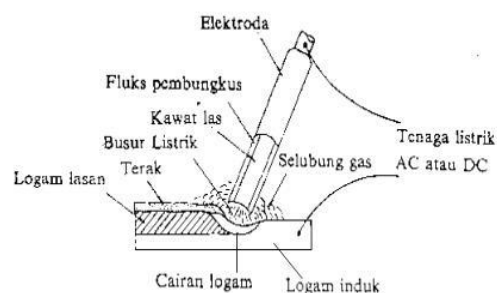
B. TINJAUAN PUSTAKA

A. Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kampuh las.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

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



Gambar 1. Las SMAW (Wiryosumarto, 2000)

B. Jenis-jenis Elektroda

1. Elektroda Berselaput

Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan fluksi pada kawat inti dapat dengan cara destruksi, semprot atau celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput fluksi pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (CaCO_3), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya dengan persentase yang berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda.

Tebal selaput elektroda berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas CO_2 yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung O_2 dan N akan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas.

2. Klasifikasi Elektroda

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

E : menyatakan elektroda busur listrik
XX : sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan lb/in² lihat tabel.

X (angka ketiga) : menyatakan posisi pengelasan. Angka 1 untuk pengelasan segala posisi. angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan.

X (angka keempat) : menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan lihat table.

Contoh : E 6013 Artinya:

- Kekuatan tarik minimum dan deposit las adalah 60.000 lb/in² atau 42 kg/mm².
- Dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi
- Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC + atau DC –

Klasifikasi AWS/ASTM	Jenis Fluks	Posisi	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (Kg / mm ²)	Kekuatan luluh (Kg / mm ²)	Perpanjangan (%)
E 6010	Natrium Selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC+	43,6	35,2	22
E 6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC / DC+	43,6	35,2	22
E 6012	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC / DC-	47,1	38,7	17
E 6013	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC / DC±	47,1	38,7	17
E 6020	Oksida besi tinggi	H-S, F	AC / DC- / DC±	43,6	35,2	25
E 6027	Serbuk besi, Oksida tinggi	H-S, F	AC / DC- / DC ±	43,6	35,2	25
E 7014	Serbuk besi titania	F, V, OH, H	AC / DC±	50,6	42,2	17
E 7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC+			22
E 7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC / DC+			22
E 7018	Serbuk besi hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC / DC+			22
E 7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC / DC±			17
E 7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC / DC+			22

Kekuatan tarik pada kelompok E 60 setelah dilaskan 60.000 PSI atau 42,2 kg/mm²

Kekuatan tarik pada kelompok E 70 setelah dilaskan 70.000 PSI atau 49,2 kg/mm²

Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah	Arti simbol: F = datar V = vertikal OH = atas kepala H = horizontal H-S = horizontal las sudut
E6010, E6011		
E6027, E7015	2,8 kg-m pada 28,9°C	
E7016, E7018		
E7028	2,8 kg-m pada 17,8°C	
E6012, E6013		
E6020, E7014	tidak disyaratkan	
E7024		

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

3. Elektroda Baja Lunak

Dan bermacam-macam jenis elektroda baja lunak perbedaannya hanyalah pada jenis selaputnya. Sedangkan kawat intinya sama.

a. E 6010 dan E 6011

Elektroda ini adalah jenis elektroda selaput selulosa yang dapat dipakai untuk pengelesan dengan penembusan yang dalam. Pengelasan dapat pada segala posisi dan terak yang tipis dapat dengan mudah dibersihkan. Deposit las biasanya mempunyai sifat sifat mekanik yang baik dan dapat dipakai untuk pekerjaan dengan pengujian Radiografi. Selaput selulosa dengan kebasahan 5% pada waktu pengelasan akan menghasilkan gas pelindung. E 6011 mengandung Kalium untuk membantu menstabilkan busur listrik bila dipakai arus AC.

b. E 6012 dan E 6013

Kedua elektroda ini termasuk jenis selaput rutil yang dapat menghasilkan penembusan sedang. Keduanya dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi, tetapi kebanyakan jenis E 6013 sangat baik untuk posisi pengelesan tegak arah ke bawah. Jenis E 6012 umumnya dapat dipakai pada amper yang relatif lebih tinggi dari E 6013. E 6013 yang mengandung lebih banyak Kalium memudahkan pemakaian pada voltage mesin yang rendah. Elektroda dengan diameter kecil kebanyakan dipakai untuk pengelasan pelat tipis.

c. E 6020

Elektroda jenis ini dapat menghasilkan penembusan las sedang dan teraknya mudah dilepas dari lapisan las. Selaput elektroda terutama mengandung oksida besi dan mangan. Cairan terak yang terlalu cair dan mudah mengalir menyulitkan pada pengelasan dengan posisi lain dari pada bawah tangan atau datar pada las sudut.

d. Elektroda dengan Selaput Serbuk Besi

Selaput elektroda jenis E 6027, E 7014, E 7018, E 7024 dan E 7028 mengandung serbuk besi untuk meningkatkan efisiensi pengelasan. Umumnya selaput elektroda akan lebih tebal dengan bertambahnya persentase serbuk besi. Dengan adanya serbuk besi dan bertambah tebalnya selaput akan memerlukan amper yang lebih tinggi.

4. Elektroda Hydrogen Rendah

Selaput elektroda jenis ini mengandung hydrogen yang rendah (kurang dari 0,5 %), sehingga deposit las juga dapat bebas dari porositas. Elektroda ini dipakai untuk pengelasan yang memerlukan mutu tinggi, bebas porositas, misalnya untuk pengelasan bejana dan pipa yang akan mengalami tekanan. Jenis-jenis elektroda hydrogen rendah misalnya E 7015, E 7016 dan E 7018.

C. Besar Arus Listrik

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, posisi pengelasan.

Tabel 2. 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	-	-	-

Kondisi pengelasan meliputi metode pengelasan, macam- macam arus yang digunakan (AC, DC elektrode positif, atau DC elektrode negatif), jumlah lajur, jumlah lapisan, arus las, tegangan busur, kecepatan las, kondisi pemanasan awal, suhu antar lajur pengelasan, dan perlakuan panas pasca pengelasan. Bagaimanapun, secara khusus, kondisi-kondisi pengelasan dipengaruhi pada arus las, tegangan busur dan kecepatan las.

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi. Maka arus untuk pengelasan yang tepat dapat ditentukan berdasarkan ketebalan logam induk, macam dan diameter kawat las, macam sambungan, dan juga posisi saat pengelasan. Nilai standar dari parameter tersebut sudah disediakan untuk elektrode las dan dalam buku-buku petunjuk untuk teknik dan mesin las. Biasanya, pengelasan yang posisi datar dapat menggunakan arus yang relatif tinggi. Arus yang menggunakan pengelasan posisi vertikal lebih rendah 20% sampai

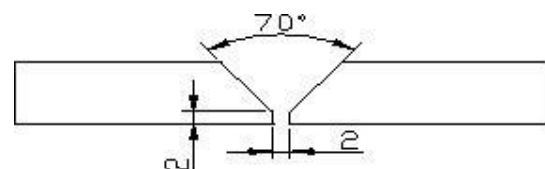
30%, dan arus untuk pengelasan posisi diatas kepala (overhead) lebih rendah 10% sampai 20% dari arus untuk pengelasan posisi datar. Efisiensi dalam pengelasan dapat ditambah dengan menambahkan arus las tapi harus diperhatikan karena arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kawat inti elektrode las mengalami kelebihan panas selama proses pemanasan, dan bahan fluks akan dapat memburuk, menyebabkan takikan dan tampilan rigi las yang buruk. Dan sebaliknya, arus las yang terlalu rendah dapat menyebabkan penumpukan, terjadinya cacat-cacat las, misalnya seperti kurang penembusan dan pemasukan terak.

D. Baja Paduan Rendah (*low carbon steel*)

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 lasnya (*weldability*) baik.

E. Kampuh V

Sambungan kampuh V digunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-15 mm. Sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V dan sambungan kampuh V tertutup. Sambungan kampuh V digunakan untuk menyambung plat dengan ketebalan 6-15 mm dengan sudut kampuh antara 60°-80°, jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm (Sonawan, 2004).



Gambar 2. Kampuh V

F. Pengujian Lengkung (Bending)

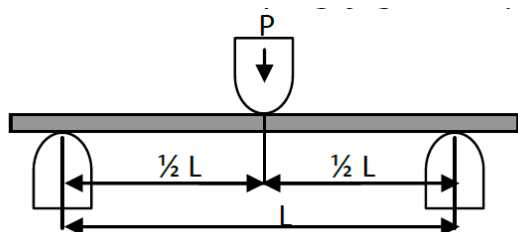
Uji lengkung (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian

untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di weld metal maupun HAZ (*heat affected zone*). Dalam pemberian beban dan penentuan dimensi mandrel ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, yaitu :

1. Kekuatan tarik (*tensile strength*).
2. Komposisi kimia dan struktur mikro terutama kandungan Mn dan C.
3. Tegangan luluh (*yield*).

Untuk mengetahui kekuatan lentur 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 kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung pada jenis spesimen dan pembebanan. Akibat pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik.

Dalam material logam kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah, hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian material. Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah. Pengujian dilakukan *three point bending*.



Gambar 3. Metode *three point bending*

$$M = \frac{P}{2} \times \frac{L}{2}$$

Dimana : M = Momen

P = Beban / load (N)

L = Panjang span / *support span* (mm)

Sehingga kekuatan bending dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Dimana : σ_b = Kekuatan bending (Mpa)

P = Beban / load (N)

L = Panjang span / *support span* (mm)

b = lebar / *width* (mm)

d = tebal / *depth* (mm)

C. METODE PENELITIAN

a. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu suatu cara untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang berpengaruh.

Spesifikasi Bahan Uji

Spesifikasi benda uji yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah plat baja karbon rendah (ST 37).
2. Ketebalan plat 6 mm.
3. Elektroda yang digunakan adalah jenis E6013 dengan diameter 2,6 mm, dan 3,2 mm.
4. Posisi pengelasan dengan menggunakan posisi bawah tangan.
5. Arus pengelasan yang digunakan adalah 100A
6. Kampuh yang digunakan jenis kampuh V , jarak celah plat 2 – 4 mm.
7. Bentuk spesimen benda uji mengacu pada standar ASME section IX 462.2 untuk pengujian lengkung (*bending*).

b. Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah semua hasil pengelasan material baja karbon rendah las SMAW dengan elektroda E6013.

Sampel dalam penelitian ini adalah hasil pengelasan material baja karbon rendah las SMAW dengan elektroda E6013. Jumlah sampel dalam penelitian ini adalah masing-masing kelompok arus

pengelasan adalah 3 buah dan untuk sampel kontrol masing-masing kelompok arus pengelasan adalah 2 buah. Dengan demikian jumlah sampel keseluruhan adalah 15 buah.

c. Variabel Penelitian

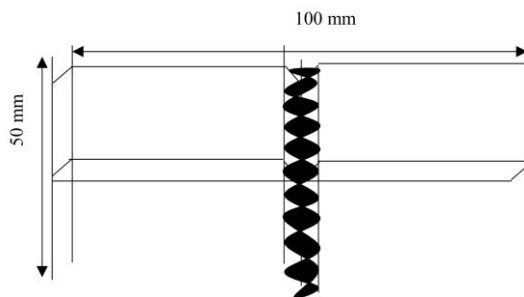
Variabel dalam penelitian ini dibedakan atas dua kelompok, yaitu:

1. Variabel bebas adalah arus pengelasan
2. Variabel terikat adalah kualitas pengelasan (kekuatan *bending*) las SMAW dengan elektroda E6013.

d. Definisi Operasional Variabel

Adapun definisi operasional dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Arus pengelasan adalah besarnya arus listrik yang keluar dari mesin las yang di gunakan pada proses pengelasan.
2. Kualitas pengelasan (kekuatan *bending*) adalah kekuatan bending dari hasil pengelasan yang di peroleh melalui mesin pengujian bending.



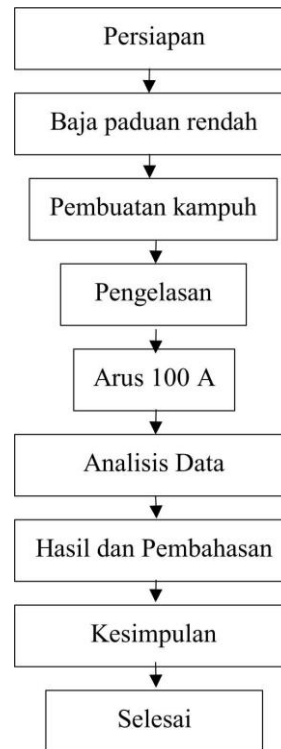
Gambar 4. Specimen setelah di bagi menjadi lima bagian



Gambar 5. Alat pengujian *bending* (Universal testing machine)

d. Diagram Alur Penelitian

Uraian langkah-langkah penelitian di atas dapat dijabarkan ke dalam diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 6. Diagram Alur Penelitian

D. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

1. Hasil Pengujian Lengkung (*Bending*)

Pengujian *bending* dilakukan dengan menggunakan mesin uji bending (). Berdasarkan data hasil pengujian dari setiap spesimen yang di uji diperoleh nilai-nilai kekuatan bending dengan satuan KN/mm^2 serta grafik yang menunjukkan besarnya harga gaya beban maksimal saat menekuk. Dari tiap variabel pengujian terdapat 11 sampel spesimen, 10 sampel yang diberi perlakuan dan 1 sampel normal tanpa perlakuan. Berikut ini merupakan data hasil dari pengujian yang didapat pada saat pengujian *bending* yang dikelompokkan berdasarkan diameter elektroda pengelasan.

Tabel 3. Data pengujian *bending* untuk beban/load

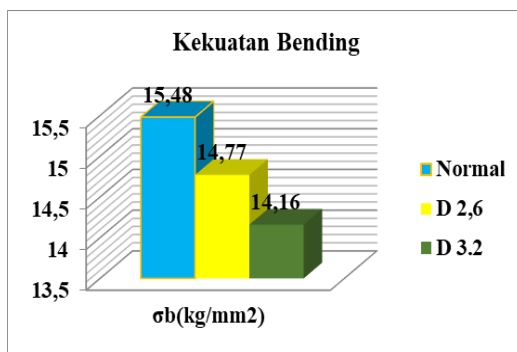
Sampel	Spesimen		
	Normal	D 2,6	D 3,2
Sampel 1	16.20	13.00	12.00
Sampel 2	16.20	17.40	17.00
Sampel 3	16.20	13.60	16.00
Sampel 4	16.20	16.70	16.20
Sampel 5	16.20	16.60	12.90
Rata-rata (kN)	16.20	15,46	14. 82

Dari hasil perhitungan kekuatan *bending* di atas maka diperoleh nilai dari kekuatan *bending* dari setiap spesimen yang telah diteliti.

Tabel 4. Kekuatan *Bending*

Parameter	Spesimen		
	Normal	D 2,6	D 3,2
$\sigma_b \left(\frac{kg}{mm^2} \right)$	15,48	14,77	14,16

Data dari tabel 6 kekuatan *bending* selanjutnya data yang dimasukkan kedalam diagram batang seperti dibawah ini:



Gambar 7. Diagram kekuatan *bending*

2. Statistik deskriptif

Setelah didapatkan data dari hasil pengujian beberapa sampel dari diameter elektroda yang berbeda dengan arus yang sama ditambah dengan sampel normal maka dihitung nilai rata-rata (*mean*) kekuatan *bending* untuk pembebanan dalam satuan kN, didapatkan nilai rata-

ratanya yaitu, sampel normal 16,20 kN, sampel diameter elektroda 2,6 mm 15,46 kN sampel diameter elektroda 3,2 mm 14,82 kN,. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan kekuatan lengkung antara setiap specimen, baik dari sampel normal maupun sampel yang diberi perlakuan.

3. Uji Persyaratan Analisis

Uji persyaratan analisis dimaksudkan untuk menguji apakah data yang tersedia berdistribusi normal dan kelompok sampel memiliki kesamaan (homogen). Hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

a. Uji normalitas

1) Uji normalitas kekuatan *bending*

Tabel 5. Hasil pengujian normalitas kekuatan *bending* Kekuatan *Bending*

No	Kelas Interval kekuatan Bending		Fo	fh	fo-fh	(fo-fh)²	(fo-fh)²/fh
1	9.072	11.094	0	0.27	-0.270	0.073	0.270
2	11.094	13.117	3	1.35	1.647	2.713	2.005
3	13.117	15.140	1	3.41	-2.413	5.823	1.706
4	15.140	17.163	5	3.41	1.587	2.519	0.738
5	17.163	19.186	1	1.35	-0.353	0.125	0.092
6	19.186	21.208	0	0.27	-0.270	0.073	0.270
Jumlah			10	10			5,0809

Perhitungan pengujian normalitas data menunjukkan nilai chi kuadrat hitung (χ^2 hitung) adalah sebesar 5,0809. Sementara *chi kuadrat* tabel (χ^2 tabel) dengan derajat kebebasan (dk) = n - 1 = 10 - 1 = 9, pada taraf signifikansi (α) = 0,01 atau 1% sebesar 21,67. Hasil perbandingan antara χ^2 hitung dan χ^2 tabel menunjukkan bahwa nilai χ^2 hitung < χ^2 tabel, sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

b. Uji homogenitas

Uji homogenitas digunakan untuk menguji kesamaan varians dari sampel benda uji (spesimen) yang beragam menjadi satu ragam atau ada kesamaan dan layak untuk diteliti. Dalam perhitungan uji homogenitas varians digunakan metode *Bartlett* dengan

langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil pengujian homogenitas besar arus pengelasan (X) dengan uji *bending* (Y)

Sampel ke	Dk	1/dk	S ²	Log S ²	dk Log S ²	dk S ²
1	4	0.25	0.06800	-1.16749	-4.66996	0.272
2	4	0.25	0.09700	-1.01323	-4.05291	0.388
Jumlah	8				-8.72288	0.66

- 1) Varians gabungan dari semua sampel

$$S^2 = \frac{\sum dk S^2}{\sum dk} = \frac{0.66}{8} = 0.0825$$

- 2) Harga satuan B dengan rumus

$$B = (\log S^2)(\sum dk) = (\log 0,0825) = (-1,083546)(8) = -8,668$$

- 3) Distribusi kedalam χ^2 dengan rumus

$$\chi^2 = -8,668$$

Karena nilai $\chi^2_{hitung} = -8,668 < \chi^2_{tabel} = 9,210$ maka dapat dikatakan data bersifat homogen.

- 4) Analisis data uji t

Analisis data dengan menggunakan uji beda t dengan rumus yang digunakan pada perbedaan antar kelompok yaitu

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left(\frac{\sum X_1^2 - \sum X_2^2}{n_1 + n_2 - 2}\right)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t = 0.27$$

Berdasarkan dari nilai $n-1 = 9$ pada tabel t menunjukkan nilai t tabel sebesar 2,82 pada taraf signifikansi 0.01, hal ini berarti nilai $t_{hitung} < t_{tabel} = 0,27 < 2,82$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa perbedaan kekuatan lengkung baja ST 37 yang menggunakan pengelasan dengan elektroda diameter 2,6 dan 3,2 tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Pembahasan

Data dari hasil penelitian diketahui ada perbedaan kekuatan *bending* dari kelompok sampel normal dan yang diberi perlakuan dari kelompok variasi elektroda dengan arus yang sama yaitu 100A dengan diameter elektroda 2,6 dan 3,2 mm. Data

dari hasil pengujian kelompok diameter elektroda 3,2 mempunyai kekuatan bending yang rendah dibandingkan kelompok yang lain. Sedangkan kekuatan bending yang tertinggi adalah kelompok sampel normal.

Pengujian yang pertama adalah pengujian bending untuk kelompok elektroda diameter 2,6 mm. Nilai kekuatan bending untuk sampel elektroda diameter 2,6 mm memiliki kekuatan lengkung yang lebih tinggi dibandingkan diameter 3,2 mm namun lebih rendah dibandingkan kekuatan lengkung untuk sampel normal.

Pengujian yang kedua adalah pengujian bending untuk kelompok diameter elektroda 3,2 mm. Nilai kekuatan bending untuk kelompok diameter elektroda 3,2 mm memiliki kekuatan paling rendah dibandingkan dengan kelompok arus yang lain. Adanya perbedaan kekuatan lengkung antara kelompok elektroda diameter 2,6 dan 3,2 mm diakibatkan oleh proses pengelasan dengan diameter elektroda 2,6 mm lebih matang atau penetrasi las lebih baik dibandingkan kelompok diameter 3,2 mm, meskipun perbedaan kekuatan lengkung antara kedua kelompok sampel yang diberi perlakuan itu memiliki jarak perbedaan yang kecil.

Pengujian ketiga adalah pengujian bending untuk sampel normal. Nilai kekuatan bending untuk sampel normal mempunyai nilai kekuatan bending paling tinggi dibandingkan dengan kelompok sampel yang diberi perlakuan. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kekuatan lengkung pada baja ST 37 tanpa perlakuan masih lebih baik dibandingkan dengan kekuatan lengkung pada baja ST 37 yang memiliki sambungan las pada diameter elektroda 2,6 dan 3,2 mm dengan menggunakan elektroda E 6013 jenis rutil.

Dari data hasil pengujian dengan menggunakan analisis uji t diantara kedua sampel yang diberi perlakuan, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan

antara diameter elektroda 2,6 dan 3,2 mm namun perbedaan tidak signifikan diakibatkan penggunaan arus masih dalam keadaan standar untuk diameter elektroda 2,6 dan 3,2 mm seperti pada tabel elektroda.

Tidak adanya perbedaan kekutan lengkung yang signifikan juga dapat diakibatkan oleh adanya proses pendinginan yang sama, pada proses pendinginan dalam pengelasan ini menggunakan proses pendinginan lambat yaitu menggunakan udara. Proses pendinginan pada baja sangat mempengaruhi kekuatan struktur baja, pada proses pendinginan lambat akan membuat struktur baja kembali menjadi normal namun jika digunakan proses pendinginan cepat (menggunakan air, oli, dan minyak) akan membuat struktur baja menjadi kuat dan rapuh, hal ini akan berakibat menurunnya kekuatan lengkung pada baja.

KESIMPULAN

Nilai kekuatan *bending* kelompok elektroda 3,2 mm paling rendah dibandingkan kelompok elektroda 2,6 mm dan kelompok sampel normal. Dari hasil analisis deskriptif terdapat perbedaan kekuatan bending antara diameter elektroda 2,6 mm dan diameter elektroda 3,2 mm dimana perbedaan tersebut dapat dilihat dari nilai rata-rata kekuatan bending setiap diameter elektroda.

Pada data hasil statistik analisisDinferensial dengan menggunakan analisis uji beda t terdapat perbedaan kekuatan bending antara diameter elektroda 2,6 mm dan diameter elektroda 3,2 mm namun perbedaan antara kedua diameter elektroda tersebut tidak signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana. 1998. *Optimization of Welding Technology for User*. Jakarta: Yayasan Puncak Sari.
- Alip, M. 1989. *Teori dan Praktik Las*.

Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

- Arifin, S. 1997. *Las Listrik dan Otogen*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- ASM. 1989. *Metallurgy and Microstructures*. Ohio: Metal Park, ASM Handbook Committee.
- ASME Sections IX. 2002. *Qualification Standard for Welding & Brazing Procedures, Welders, Brazers and Welding & Brazing Operators*. Andeda
- Bintoro, A. G. 2005. *Dasar-Dasar Pekerjaan Las*. Yogyakarta: Kanisius.
- Cary, H. B. 1994. *Modern Welding Technology*. New Jersey: Englewood Cliffs, Simon & Schuster Company.
- Kenyon, W, & Ginting D. 1985. *Dasar-Dasar Pengelasan*. Jakarta: Erlangga.
- Kou, S. 1987. *Welding of Metallurgy*. Kanada: University of Winconsin, Wiley-Interscience Publication.
- Malau, V. 2003. *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*. Yogyakarta.
- Smith, D. 1984. *Welding Skills and Technology*, New York: McGraw-Hill.
- Sonawan, H, & Suratman, R. 2004. *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*. Bandung: Alfa Beta.
- Suharsimi, A. 2002. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Bina Aksara.
- Suharto. 1991. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Supardi, E. 1996. *Pengujian Logam*. Bandung: Angkasa.
- Suratman, R. 2001. *Teknik Mengelas Asetilen, Brazing dan Busur Listrik*. Bandung: Pustaka Grafika.
- Widharto, S. 2001. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wiryo sumarto, H. 2000. *Teknologi Pengelasan Log.am*. Jakarta: Erlangga.

