



## **KAJI SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN LAS *BUTT WELD* DAN *DOUBLE LAP JOINT* PADA MATERIAL BAJA KARBON RENDAH**

**Azwinur<sup>1,\*</sup>, Syukran<sup>2</sup>, Hamdani<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 Lhokseumawe, Prov.Aceh

\*E-mail: [azwinur@pnl.ac.id](mailto:azwinur@pnl.ac.id)

Diterima: 08-04-2018

Direvisi: 03-05-2018

Disetujui: 01-06-2018

### **ABSTRAK**

Teknologi di bidang konstruksi baja terus berkembang dan maju dengan pesat, terutama dalam perancangan dan desain produk. Dalam penerapannya konstruksi baja ini seringkali tidak dapat dihindari dan merupakan keharusan agar melakukan proses penyambungan logam, atau yang sering disebut dengan pengelasan. Setiap proses pengelasan pasti memiliki desain sambungan yang berfungsi untuk mendapatkan hasil sambungan yang baik atau lolos pengujian sesuai standar atau *code* yang dianut. Oleh karena itu pemilihan jenis sambungan pengelasan sangat penting sebelum melakukan proses pengelasan. Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dan lengkung (sifat mekanik) sambungan las *butt weld* dan *double lap joint* pada material ASTM SA.36. Berdasarkan data pengujian diperoleh bahwa kekuatan uji tarik paling tinggi adalah pada sambungan las *butt weld* sebesar 49.8 kgf/mm<sup>2</sup> dibandingkan nilai kekuatan tarik untuk sambungan las *double lap joint* sebesar 48.65 kgf/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai kekuatan *bending* lebih besar pada jenis sambungan las *double lap joint* dari pada sambungan las *butt weld* baik untuk kategori *root bend* maupun *face bend*.

**Kata kunci:** Pengelasan, *butt weld*, *double lap joint*, kekuatan tarik, sifat mekanik

### **ABSTRACT**

*Technology in the field of steel construction continues to grow rapidly, especially in design and product design. In the application of steel construction is often a process of metal grafting or often called welding. Each welding process must have a joint design that serves to obtain a good connection or pass the test according to standard or code adopted. Therefore, the selection of welded joint type is very important before welding process. The purpose of this research is to know the value of tensile strength and bend strength (mechanical properties) welding joint type butt weld and double lap joint on material ASTM SA.36. Based on the test data it is found that the highest tensile strength test is in the welded butt weld type of 49.8 kgf/mm<sup>2</sup> compared to the tensile strength value for the weld joint double joint type of 48.65 kgf/mm<sup>2</sup>. While the value of bending strength is greater in the joint weld type double lap joint than the welded butt weld type joint both for the category of root bend and face bend.*

**Keywords:** *Welding, butt weld, double lap joint, tensile strength, mechanical properties*

## PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini, teknologi di bidang konstruksi terus berkembang dan maju dengan pesat, terutama dalam perancangan dan desain produk. Salah satu konstruksi rancangan yang sering dijumpai adalah konstruksi baja. Dalam penerapannya konstruksi baja ini seringkali tidak dapat dihindari dan merupakan keharusan agar melakukan proses penyambungan logam, atau yang sering disebut dengan pengelasan. Hal ini mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi atau perbaikan logam. Pertumbuhan pembangunan konstruksi logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan. Pada konstruksi las secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya, agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, pipa pesat, atap rumah, rel, sarana transportasi, bejana tekan, rangka baja dan masih banyak yang lainnya.

Sambungan las adalah sambungan antara dua atau lebih permukaan logam dengan cara mengaplikasikan pemanasan lokal pada permukaan benda yang disambung. Perkembangan teknologi pengelasan saat ini memberikan alternatif yang luas untuk penyambungan komponen mesin atau struktur. Beberapa komponen mesin atau struktur tertentu sering dapat difabrikasi dengan pengelasan, dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan pengecoran atau tempa, tentunya dengan memperhatikan kekuatan dari sambungan tersebut.

Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai nilai keekonomian pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan dan memperlihatkan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi serta kegunaan disekitarnya. Prosedur pengelasan kelihatannya sangat sederhana, tetapi sebenarnya di dalamnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya memerlukan bermacam-macam pengetahuan.

Las SMAW merupakan suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas dan menggunakan elektroda sebagai bahan

tambahnya. Las SMAW kebanyakan dipilih karena proses yang mudah, ekonomis dan hasil lasnya pun ditinjau dari sifat mekanik dan fisis baik, serta biaya investasi yang rendah. Namun begitu kekurangan dari produk sambungan ini sangat tergantung oleh beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain juru las, elektroda, kuat arus, dan kecepatan pengelasan.

Setiap proses pengelasan pasti memiliki desain sambungan yang berfungsi untuk mendapatkan hasil sambungan yang baik atau lolos pengujian sesuai standart atau code yang dianut. Oleh karena itu pemilihan jenis sambungan pengelasan sangat penting sebelum melakukan proses pengelasan. Jenis sambungan pada pengelasan sangat banyak macamnya, mulai dari sambungan *Butt Joint* atau sambungan tumpul, Sambungan *T Joint* atau sambungan *Fillet*, Sambungan sudut atau *Corner Joint* atau juga sambungan tumpang atau *Lap Joint*. Jenis-jenis sambungan las tersebut mempunyai tujuan tertentu.

Sebelumnya telah dilakukan berbagai penelitian tentang pengelasan diantaranya oleh Fajar Riyadi, Dony Setyawan dengan judul “Analisa *Mechanical* dan *Metallurgical* Pengelasan Baja Karbon A36 Dengan Metode SMAW”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh dilute metal yang terbentuk terhadap *mechanical characteristic* dan *metallurgical characteristic* hasil pengelasan baja karbon A36. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk kampuh mempengaruhi luasan *diluted metal* yang terbentuk. Persentase luasan *diluted metal* yang paling besar terbentuk pada pengelasan dengan bentuk kampuh *square*, yaitu sebesar 28,30%. Persentase perlit pada daerah HAZ dan *weld metal* meningkat pada tiap-tiap variasi bentuk kampuh. Persentase kandungan perlit paling banyak terbentuk pada pengelasan dengan bentuk kampuh *single vee*, yaitu sebesar 29.64% dan 57.75%. Harga *fracture toughness* berbanding terbalik dengan persentase kandungan pearlite dan nilai kekerasannya. Jika harga *fracture toughness* naik sebesar 0,58% maka persentase kandungan perlit akan turun sebesar 55.83% dan harga kekerasannya akan turun sebesar 6.68%. Semakin tinggi harga *fracture toughness* suatu material maka semakin kecil persentase kandungan perlit dan nilai kekerasannya.

Dan juga penelitian tentang pengelasan pernah dilakukan oleh Arif Marwanto dan Aan Ardian dengan judul “Pengaruh bentuk kampuh pada pengelasan SMAW baja eyser terhadap sifat fisis dan mekanik”, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk kampuh pada sambungan las terhadap sifat fisis dan mekanik, Hasil dari penelitian dengan melakukan pengujian menunjukkan bahwa jenis kampuh U memiliki kecenderungan lebih besar untuk melengkung pada saat dilakukan pengelasan dibandingkan dengan kampuh V maupun kampuh X. Kampuh U memiliki struktur ferit lebih banyak dibanding perl it sehingga lebih lunak dan ulet. Kampuh U mempunyai kekuatan tarik rata-rata 4-2,37 kg/mm<sup>2</sup> lebih besar dibanding kampuh V sebesar 41,88 kg/mm<sup>2</sup> dan kampuh X sebesar 41,31 kg/mm<sup>2</sup>. Kampuh X memiliki kekerasan lebih tinggi dibanding kampuh U dan V pada daerah logam las tetapi pada daerah HAZ dan logam induk hampir sama. Kampuh U memiliki harga dampak lebih tinggi dibanding kampuh V dan X.

Berdasarkan latar belakang di atas, bahwa kampuh V pada sambungan buttweld memiliki kecenderungan yang kecil untuk melengkung sehingga bagus untuk dipakai pada berbagai penyambungan material dibandingkan kampuh U, maka penulis tertarik untuk meneliti sifat mekanik pada hasil pengelasan jenis sambungan Butt Weld menggunakan kampuh V dengan jenis sambungan *Double Lap Joint* pada material ASTM SA 36 dengan menggunakan proses las SMAW. Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah untuk menghitung nilai ketangguhan sambungan las tumpul kampuh V tunggal dan sambungan las tumpang pada material baja karbon rendah jenis ASTM SA 36. Membandingkan hasil pengujian kekuatan lengkung pada kedua macam jenis sambungan pengelasan tersebut agar didapat kesimpulan jenis perlakuan mana yang memiliki kekuatan lebih besar.

Adapun manfaat yang ingin dicapai yaitu dapat mengetahui sifat mekanik yang dihasilkan pada kedua jenis penyambungan tersebut setelah proses pengelasan SMAW. Dapat dijadikan pilihan jenis sambungan yang sesuai dengan kebutuhan lapangan serta harga keekonomisan produk. Dari data-data ini dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya tentang pengelasan SMAW serta bertambahnya

khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya pada bidang metalurgi las yang merupakan manfaat lain dari penelitian ini.

## METODE PENELITIAN

Proses pengelasan ialah proses penyambungan logam dengan pemanasan setempat, sehingga terjadi ikatan metalurgis antara logam-logam yang disambung. Untuk memperoleh ikatan metalurgis tersebut logam induk atau logam pengisi harus mencair. Untuk mencairkan logam tersebut, diperlukan energi panas yang dapat diperoleh dengan berbagai cara, misalnya dengan pembakaran gas, tenaga listrik, gesekan dan sebagainya.

Dalam aplikasi dikenal ada 5 jenis sambungan dasar dan 4 posisi pengelasan. Jenis sambungan tersebut antara lain sambungan tumpul (*butt joint*), sambungan tumpang (*lap joint*), sambungan tee (*tee joint*), sambungan pojok (*corner joint*), sambungan sisi (*edge joint*). Sedangkan 4 posisi dalam pengelasan antara lain :

- Posisi 1G (*flat* atau datar)
- Posisi 2G (*horizontal*)
- Posisi 3G (*vertical*)
- Posisi 4G (*overhead* atau atas kepala)

Las elektroda terbungkus (Manual Metal Arc Welding, MMA) adalah cara pengelasan yang banyak digunakan saat ini. Pengelasan MMA menggunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Busur listrik terbentuk di antara 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 tersebut terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus, sebaliknya bila arusnya kecil, maka butirannya menjadi besar.

Pada proses pengelasan listrik digunakan arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Penggunaan arus listrik ini tergantung pada beberapa pertimbangan antara lain jenis logam yang akan dilas maupun kedalaman penetrasi yang akan dicapai dalam pengelasan.

Bahan yang digunakan untuk las listrik yaitu elektroda. Elektroda akan dialiri arus listrik untuk menghasilkan nyala busur yang akan melelehkan elektroda sampai habis. Jenis dan macam elektroda sangat banyak, sehingga perlu pemilihan jenis elektroda dengan benar. Pemilihan elektroda las sebagai logam pengisi dalam proses las sangat menentukan mutu hasil pengelasan. Kesalahan dalam pemilihan elektroda las akan menyebabkan kegagalan hasil las.

Pemilihan elektroda las berkaitan dengan jenis proses las, jenis material yang akan di las, desain sambungan, dan perlakuan panas terhadap material.

### Baja Karbon Rendah

Baja jenis ini sangat reaktif dan mudah sekali untuk berubah kembali ke bentuk besi oksida (berkarat) jika terkontaminasi air, oksigen dan ion. Baja karbon rendah mempunyai sifat mampu las yang dipengaruhi oleh kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan takik pada baja karbon rendah dapat di pertinggi dengan menurunkan kadar karbon C dan menaikkan kadar mangan Mn. Suhu transisi dari kekuatan takik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan Mn/C.

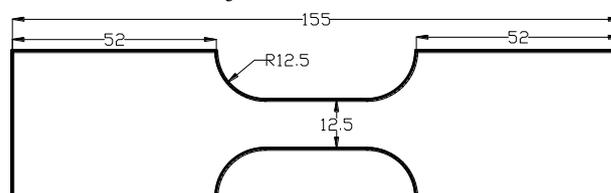
ASTM SA36 adalah baja umum (*mild steel*) dimana komposisi kimianya hanya karbon (C), Manganese (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Posfor (P) yang dipakai untuk aplikasi struktur/konstruksi umum (*general purpose structural steel*) misalnya untuk jembatan (bridge), pelat kapal laut, oil tank, dll.

ASTM SA.36, baja dengan kadar karbon rendah (*Low C Steel*), material ini tidak dapat di keraskan (*hardening*)/ perlakuan panas (*heat treatment*) melalui proses *quench and temper*. 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 prosesnya.

### Uji Tarik (Tensile Test)

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban

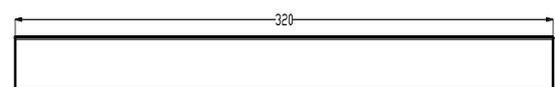
gaya yang sesumbu. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Salah satu cara untuk mengetahui besaran sifat mekanik dari logam adalah dengan uji tarik. Sifat mekanik yang dapat diketahui adalah kekuatan dan elastisitas dari logam tersebut. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva uji tarik.



**Gambar 1.** Dimensi dan ukuran spesimen untuk uji tarik.

### Uji Lengkung (*Bending Test*)

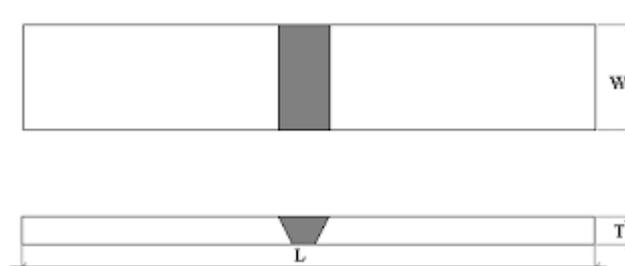
Uji lengkung (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di *weld metal* maupun HAZ.



**Gambar 2.** Dimensi dan ukuran spesimen untuk uji lengkung

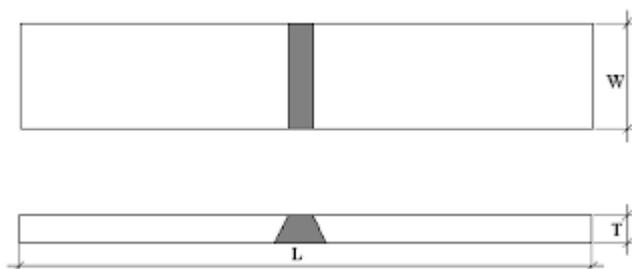
### Standard dimensi percobaan

#### *Root bend*



**Gambar 3.** Spesimen *root transversal bend* tampak atas dan samping

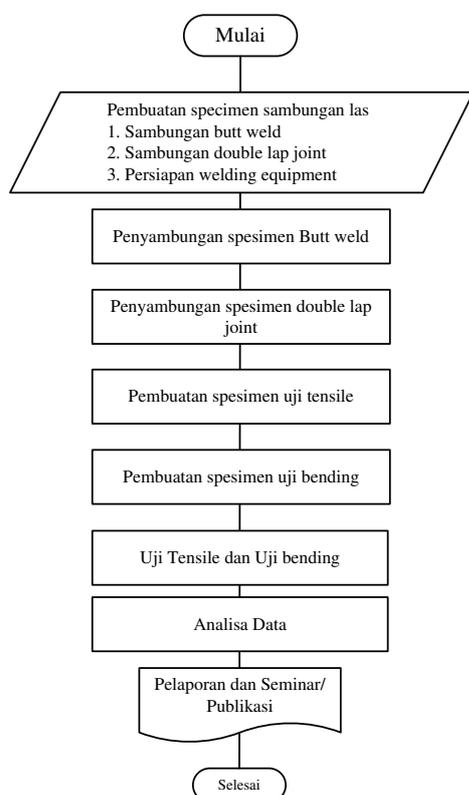
Face bend



**Gambar 4.** Spesimen *face transversal bend* tampak atas dan samping

### Metodologi Penelitian

Secara skematik tahapan penelitian ditunjukkan dalam diagram alir berikut:



**Gambar 5.** Diagram alir penelitian

Pada Penelitian ini, untuk proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Pengelasan dan Fabrikasi Logam Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe sedangkan untuk pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah baja ASTM SA 36 dengan dimensi 250x150x10 mm sebanyak 2 buah untuk jenis sambungan *butt weld* dan 2 buah *double lap joint* menggunakan pengelasan SMAW dengan elektroda E7018.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Pengelasan

Proses pengelasan yang digunakan adalah SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Proses pengelasan SMAW menggunakan arus 90-120 Ampere dengan menggunakan elektroda AWS A5.1 E7018 yang berdiameter 3,2 mm. Untuk sambungan *butt weld* menggunakan kampuh V dengan sudut  $60^\circ$ . Pengelasan *multi layer*, menggunakan arus 90 ampere untuk *root pass* polaritas DCEN dan 120 ampere untuk *filler pass* polaritas DCEP. Kecepatan pengelasan rata-rata 2 mm/ detik. Pendinginan setelah pengelasan adalah dengan membiarkan dingin dengan sendirinya di udara terbuka. Posisi pengelasan menggunakan posisi 1G (bawah tangan). Pengelasan dilakukan oleh juru las yang memiliki kualifikasi sertifikat pengelasan international dari *International Institute of Welding* (IIW), sertifikat terlampir.



**Gambar 6.** Sambungan las *Butt Weld* dan *Double Lap Joint* kampuh V tunggal

### b. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material ASTM SA 36 sebagai material uji dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik pada umumnya adalah parameter kekuatan (kekuatan tarik atau kekuatan luluh), parameter keliatan atau keuletan yang ditunjukkan dengan presentase perpanjangan dan presentase kontraksi atau reduksi penampang.

Pengujian dengan menggunakan mesin *Galda Bini/Italy* pada skala beban 100 kN dan

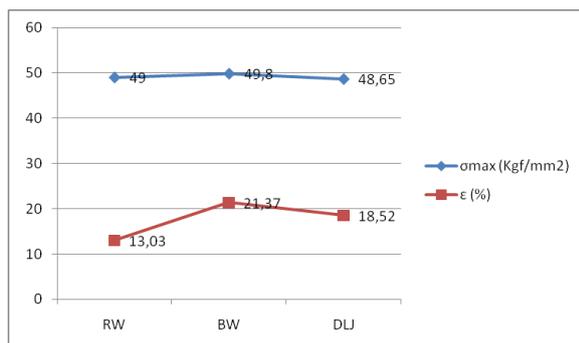
suhu kamar. Spesimen pengujian terdiri dari pengujian tarik untuk material tanpa pengelasan dan material yang telah mengalami pengelasan.



**Gambar 7.** Hasil pengujian tarik pada raw material



**Gambar 8.** Hasil pengujian tarik Sambungan las Butt Weld dan Double Lap Joint



**Gambar 9.** Grafik untuk tegangan tarik

Nilai kekuatan tarik untuk material dasar tanpa pengelasan (RM) adalah 49 kgf/mm<sup>2</sup>, nilai kekuatan tarik untuk sambungan las *butt weld* (BW) adalah 49.8 kgf/mm<sup>2</sup> dan nilai kekuatan tarik untuk sambungan las *double lap joint* (DLJ) adalah 48.65 kgf/mm<sup>2</sup>. Dari hasil grafik terlihat bahwa terjadi kenaikan tegangan

pada sambungan las *double lap joint* sebesar 0,8 dari material dasar. Kemudian mengalami penurunan tegangan pada sambungan las *double lap joint* sebesar 0,35 dari material dasar (RM). Nilai kekuatan tarik sambungan las *double lap joint* lebih besar daripada sambungan las *double lap joint* sebesar 1,15 kgf/mm<sup>2</sup>.

Nilai regangan untuk material dasar (RM) adalah 13,03 %, nilai regangan untuk sambungan las *butt weld* adalah 21,37 % dan nilai regangan untuk sambungan las *double lap joint* adalah 18,52 %. Dari hasil grafik terlihat bahwa terjadi kenaikan regangan pada sambungan las *double lap joint* sebesar 8,34 % dari material dasar. Kemudian juga mengalami kenaikan regangan pada sambungan las *double lap joint* sebesar 5,49 dari material dasar (RM).

### c. Hasil Pengujian Lengkung (*bending*)

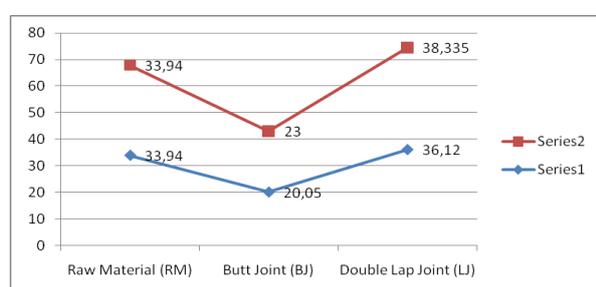
Untuk pengujian *bending* dilakukan pada material tanpa pengelasan (RM), material sambungan *butt weld* dan sambungan *double lap joint*. Pengujian ini dilakukan untuk melihat ketangguhan material terhadap beban yang diberikan. Pengujian *bending* dilakukan terhadap *face bending* dan *root bending*.



**Gambar 10.** Hasil pengujian lengkung (*bending*) sambungan las las Butt Weld dan Double Lap Joint



**Gambar 11.** Hasil pengujian lengkung (*bending*) pada raw material.



**Gambar 12.** Nilai kekuatan uji *bending*

Berdasarkan gambar 12 menunjukkan bahwa nilai kekuatan *bending* dari material hasil pengelasan jenis sambungan *butt weld*, sambungan *Double Lap Joint* dan material tanpa pengelasan (RM) baik untuk kategori *root bend* maupun *face bend*. Dari gambar dapat diketahui bahwa nilai kekuatan *bending* untuk material tanpa pengelasan adalah sebesar 33,94 kgf.m. Nilai kekuatan *bending* untuk kategori *root bend* pada sambungan jenis *butt weld* sebesar 20,05 kgf.m sedangkan pada sambungan *double lap joint* sebesar 36,12 kgf.m. Nilai kekuatan *bending* untuk kategori *face bend* pada sambungan jenis BJ sebesar 23 kgf.m sedangkan pada sambungan *double lap joint* sebesar 38,335 kgf.m.

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai kekuatan *bending double lap joint* lebih tinggi dari pada sambungan *butt weld* pada kategori *root bend* sebesar 36,12 kgf.m untuk sambungan *double lap joint* dan 20,05 kgf.m untuk sambungan *butt weld*. Pada kategori *face bend* juga nilai kekuatan *bending* tertinggi pada sambungan *double lap joint* sebesar 38,335 kgf.m dibandingkan sambungan BJ 36,12 kgf.m

Kekuatan *bending* pada jenis sambungan *double lap joint* pada pengelasan material

ASTM SA 36 lebih tinggi dari sambungan *butt weld* karena disebabkan oleh perbedaan proses pengelasannya. Pada sambungan *butt weld* proses pengelasan hanya dilakukan pada satu sisi pelat sedangkan pada sambungan *double lap joint* dilakukan pada dua sisi pelat atau material. Karena pada pengelasan di satu sisi pelat proses pengelasannya menghasilkan panas di daerah atas dan bawah yang tidak merata hal ini menyebabkan struktur mikro pada pengelasan ini menjadi tidak seragam sedangkan pada pengelasan sambungan *double lap joint* yang pengelasannya pada dua sisi proses pengelasan pada bagian atas dan bawah mendapatkan panas yang merata sehingga struktur mikro pada pengelasan ini menjadi lebih merata. Hal ini menyebabkan kekuatan *bending* pada pengelasan sambungan *double lap joint* lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan *butt weld*.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa jenis sambungan sangat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan pengelasan. Berdasarkan data pengujian diperoleh bahwa kekuatan uji tarik paling tinggi adalah pada sambungan las *butt weld* sebesar 49,8 kgf/mm<sup>2</sup> dibandingkan nilai kekuatan tarik untuk sambungan las *double lap joint* sebesar 48,65 kgf/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai kekuatan *bending* lebih besar pada jenis sambungan las *double lap joint* dari pada sambungan las *butt weld* baik untuk kategori *root bend* maupun *face bend*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] AWS. 1991. *American Welding Society, Eighth Edition, Welding Technology Volume 1*. AWS New York
- [2] ASME. 2010. *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX, Qualification Standard for Welding and brazing procedures, welders, brazzers, and welding and brazing operators*. ASME New York.
- [3] Andrew D. Althouse. 1992. *Modern Welding*. The Good Heart Wilcox Company, Inc, South Holland.
- [4] George E.Totten. 2006. *Steel Heat Treatment Handbook: Metallurgy and Technologies*. CRC Press, USA.
- [5] Sri Widarhto. 2001. *Petunjuk Kerja Las*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

- [6] ASTM. *Standar specification for Carbon Structural Steel*. S.I.: American Society of Testing and Materials. ASTM A36/ A36M-04. ASTM New York
- [7] Widharto, Sri. 2007. *Inspeksi Teknik Buku 6*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [8] Fajar Riyadi, Dony Setyawan. *Analisa Mechanical dan Metallurgical Pengelasan Baja Karbon A36 Dengan Metode SMAW*. <http://digilib.its.ac.id>
- [9] Arif Marwanto dan Aan Ardian. *Pengaruh bentuk kampuh pada pengelasan SMAW baja eysen terhadap sifat fisis dan mekanik*. <http://staffnew.uny.ac.id>