



Analisis Kualitas Sambungan Las Kampuh V dan Double V Menggunakan Self Shielded Fcaw pada Baja Karbon Rendah Astm A36 Uji Dpt, Tarik dan Bending

Hadi Setiawan^{1*}, Mu'izzadin Wa'dduloh², Sutrisno³, Purwanto⁴

¹⁻⁴Program Studi Teknik mesin,Fakultas Teknik, Universitas Maritim AMNI Semarang

*Penulis korespondensi: hadisetiawan084@gmail.com¹

Abstract. This research was conducted to evaluate the weld joint quality of V-groove and double V-groove configurations on ASTM A36 low carbon steel using the Self Shielded Flux-Cored Arc Welding (FCAW-SS) method. ASTM A36 was selected as the base material due to its favorable mechanical properties, excellent weldability, and wide application in construction and manufacturing. The welding process was carried out on steel plates with a thickness of 10 mm using E71T-1C wire, under controlled parameters of 140 A current, 24 V voltage, and 1G welding position. The weld quality was assessed through Dye Penetrant Testing (DPT), tensile testing, and bending testing. The Dye Penetrant Testing DPT results showed that the double V-groove joints exhibited fewer and smaller surface defects compared to the V-groove joints, indicating better weld homogeneity. Tensile testing demonstrated an average maximum strength of 277.645 MPa for the V-groove and 301.904 MPa for the double V-groove, reflecting an improvement of approximately 8.7% in the double V-groove. The bending tests revealed that the double V-groove joints were able to maintain structural integrity without significant cracks, while the V-groove joints tended to show defect indications under bending loads. Based on these findings, the double V-groove configuration is considered superior in terms of both strength and toughness, and therefore recommended for structural and manufacturing applications requiring high-quality joints in ASTM A36 low carbon steel..

Keywords: ASTM A36; Double V-Groove; FCAW-SS; Quality Of Welded Joint; V-Groove

Abstrak. Penelitian ini dilaksanakan untuk mengevaluasi kualitas sambungan las dengan konfigurasi kampuh V dan kampuh double V pada baja karbon rendah ASTM A36 dengan menggunakan metode *Self Shielded Flux-Cored Arc Welding* (FCAW-SS). Pemilihan baja ASTM A36 sebagai material penelitian didasarkan pada sifat mekanisnya yang baik, kemudahan dalam proses pengelasan, serta penggunaannya yang luas dalam konstruksi dan manufaktur. Proses pengelasan dilakukan pada pelat baja dengan ketebalan 10 mm menggunakan kawat las E71T-1C dengan parameter arus 140 A, tegangan 24 V, dan posisi pengelasan 1G. Untuk menilai kualitas sambungan, digunakan metode pengujian *Dye Penetrant Testing* (DPT), uji tarik, dan uji bending. Hasil pengujian *Dye Penetrant Testing* DPT memperlihatkan bahwa kampuh double V menghasilkan jumlah dan ukuran cacat permukaan yang lebih sedikit dibandingkan kampuh V, yang menunjukkan tingkat homogenitas pengelasan lebih baik. Uji tarik memberikan hasil kekuatan rata-rata sebesar 277,645 MPa untuk kampuh V dan 301,904 MPa untuk kampuh double V, yang berarti terdapat peningkatan kekuatan sekitar 8,7% pada kampuh double V. Pengujian bending menunjukkan bahwa kampuh double V mampu mempertahankan integritas sambungan tanpa retakan signifikan, sedangkan kampuh V cenderung mengalami indikasi cacat ketika menerima beban lentur. Berdasarkan keseluruhan temuan tersebut, kampuh double V dinyatakan lebih unggul dibandingkan kampuh V dalam aspek kekuatan maupun ketangguhan, sehingga lebih direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi dan manufaktur yang membutuhkan sambungan berkualitas tinggi pada baja karbon rendah ASTM A36.

Kata Kunci: ASTM A36; FCAW-SS; Kampuh Double V; Kampuh V; Kualitas Sambungan Las

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi di bidang ilmu manufaktur,kontruksi, terutama yang menggunakan material logam sangat membutuhkan metode pengelasan untuk menyambung logam sesuai kebutuhan.proses pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan logam yang sangat vital dalam bidang teknik dan industri manufaktur, khususnya untuk konstruksi baja. Baja karbon rendah astm a36 banyak dipilih sebagai material dasar karena memiliki sifat

mekanik yang baik serta kemudahan dalam proses pengelasan, sehingga sering digunakan dalam berbagai struktur bangunan dan fabrikasi (ASTM International, 2016). Metode pengelasan *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW) menjadi pilihan populer dalam aplikasi industri karena kemampuannya menghasilkan penetrasi yang dalam serta kecepatan pengelasan yang relatif tinggi dibandingkan teknik lain (American Welding Society, 2015). Fcaw adalah metode pengelasan yang sangat efisien dan efektif, ideal untuk aplikasi industri yang memerlukan sambungan kuat dan berkualitas tinggi. Keunggulan dalam penetrasi dan kecepatan membuatnya menjadi pilihan populer di berbagai sektor, termasuk konstruksi dan manufaktur. Karakteristik fcaw yang menghasilkan penetrasi yang baik dan kecepatan pengelasan yang tinggi menjadikan metode ini sangat populer dan banyak digunakan dalam industri pengelasan saat ini dalam praktiknya, terdapat berbagai jenis kampuh yang digunakan, di antaranya kampuh v dan *double v*. Setiap jenis kampuh memiliki karakteristik yang berbeda, yang dapat memengaruhi kekuatan dan tahanan dari sambungan las. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengelasan antara kampuh v dan *double v* pada baja karbon rendah astm A36, dengan fokus pada pengujian *Non-Destructive Testing* (NDT), Uji Tarik, dan Uji Bending.

Menurut Kou (2003), hasil akhir dari proses pengelasan sangat dipengaruhi oleh bentuk kampuh yang digunakan. Kampuh V dan *Double V* adalah dua tipe sambungan yang umum diaplikasikan, masing-masing memiliki karakteristik yang memengaruhi distribusi panas dan kualitas sambungan las. Kampuh *Double V*, misalnya, sering digunakan pada pelat yang lebih tebal (>25mm) karena memberikan penetrasi yang lebih baik dari kedua sisi dan membantu mengurangi distorsi. Selain itu, penggunaan kampuh *double V* dapat mengurangi volume logam las yang dibutuhkan dibandingkan dengan kampuh V tunggal, terutama pada pelat tebal, sehingga menghasilkan pengelasan yang lebih ekonomis dan cepat.

Pengujian NDT penting untuk mendeteksi cacat pada sambungan las tanpa merusak material, memberikan gambaran yang jelas mengenai kualitas sambungan. Sementara itu, uji tarik dan Uji Bending bertujuan mengevaluasi kekuatan dan ketangguhan sambungan las dalam menghadapi beban dinamis. Dengan melakukan perbandingan ini, diharapkan diperoleh informasi komprehensif mengenai kelebihan dan kekurangan masing-masing jenis kampuh. Informasi ini akan sangat berguna bagi praktisi dan peneliti di bidang pengelasan dalam memilih metode yang optimal untuk aplikasi industri.

Evaluasi kualitas sambungan las tidak hanya bisa dilakukan secara visual, melainkan juga memerlukan pengujian yang lebih mendalam seperti *Non-Destructive Testing* (NDT), uji tarik, dan Uji Bending. Pengujian NDT penting untuk mendeteksi adanya cacat pada

sambungan tanpa merusak material, sementara uji tarik dan Uji Bending memberikan gambaran tentang kekuatan mekanik dan ketangguhan sambungan las terhadap beban statis maupun dinamis (*Smith & Hashemi*, 2006). Melalui studi analisis kualitas sambungan las kampuh V dan *Double V* menggunakan metode FCAW pada baja karbon rendah ASTM A36, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh bentuk kampuh terhadap mutu hasil pengelasan. Informasi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis dalam menentukan metode pengelasan yang optimal, serta meningkatkan kualitas dan keandalan produk akhir di bidang manufaktur dan konstruksi (*Callister & Rethwisch*, 2018).

Pengelasan adalah proses yang krusial dalam industri konstruksi dan manufaktur. Pemilihan jenis kampuh yang tepat V atau *Double V* dapat mempengaruhi kualitas sambungan las secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang bagaimana bentuk kampuh mempengaruhi kekuatan dan ketahanan sambungan, yang sangat penting untuk aplikasi praktis.

2. KAJIAN TEORITIS

Landasan Teori

Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan logam yang dilakukan dengan mencairkan sebagian logam dasar (induk) dan logam pengisi, baik dengan menggunakan logam pengisi, baik dengan menggunakan logam penambah, sehingga terbentuk sambungan logam yang bersifat kontinyu dan homogen (P.Kumar & Panda, 2018), (R.Kumar Etal, 2009) (Bakhtiar, 2016)

Proses pengelasan dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis berdasarkan sumber panas dan teknik penggunaannya. secara garis besar, pengelasan terbagi dalam menjadi dua kategori utama, yaitu pengelasan peleburan (*fusion welding*) dan pengelasan dengan tekanan (*pressure welding*). pengelasan peleburan dilakukan dengan melelehkan logam dasar beserta logam pengisi, sedangkan pengelasan tekan memanfaatkan gaya tekan untuk menggabungkan logam tanpa sepenuhnya melelehkan permukaan. FCAW memungkinkan penerapan pengelasan pada berbagai posisi dan ketebalan material, sehingga cocok digunakan dalam pengujian kekuatan dan ketangguhan sambungan kampuh V dan *Double V* pada baja karbon rendah ASTM A36. Dalam industri manufaktur, khususnya yang melibatkan penggunaan material baja dan logam, proses pengelasan memegang peranan penting dalam sektor konstruksi. oleh karena itu, dibutuhkan berbagai penelitian untuk memperoleh sambungan las dengan kualitas dan mutu yang tinggi. (Sajid & Kiran, 2018).

Flux cored arc welding (FCAW) adalah proses pengelasan yang menggunakan elektroda berisi fluks yang menghasilkan pelindung gas aktif atau gas mulia.proses ini merupakan salah satu metode pengelasan busur listrik yang effesien dan banyak digunakan dalam indrustri.FCAW dapat dilakukan dengan gas atau tanpa gas pelindung ,tergantung pada jenis elektroda yang digunakan(AWS,2010). Proses pengalasan *flux-cored arc welding* (FCAW) menggunakan kawat tubular berisi fluks sebagai sumber pelindung logam las cair.FCAW terbagi menjadi dua tipe berdasarkan mekanisme perlindungannya,yaitu *Self shielded* FCAW.yang hanya mengandalkan fluks *internal*,dan *Gas-Shield* FCAW,yang memanfaatkan fluks serta tambahan gas pelindung eksternal dari tabung.

Berdasarkan metode pelindung ,pengelasan FCAW dapat dibagi menjadi 2:

1. *Self shielded* FCAW (pelindung sendiri),yaitu merupakan proses melindungi logam las las yang mencair dengan menggunakan gas dari hasil penguapan atau reaksi dari inti flusk.
2. *Gas Shielded* FCAW (perlindungan gas) adalah perlindungan dengan dual gas,yaitu melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas sendiri juga ditambah gas pelindung yang berasal dari luar sistem.

‘Dua metode diatas sama-sama menghasilkan terak las yang berasal dari flux dalam kawat las berfungsi untuk melindungi logam las saat proses pembekuan. namun,perbedaan metode diatas terletak pada tambahan sistem pemasok gas dan *welding torch (welding gun)* yang digunakan.(d.jones,2015)

Pengertian Baja

Baja merupakan salah satu material kontruksi yang banyak digunakan dalam berbagai sektor industri pembuatan kapal dan seluruh industri diseluruh dunia,seperti industri alat berat transportasi,konstruksi bangunan,dan lain sebagainya.popularitas baja didukung oleh ketersediannya yang melimpah sifat mekanis yang unggul,serta fleksibilitas penggunaannya, sehingga menjadikan sebagai material sangat penting dalam pembangunan dan perkembangan industri modern saat ini.

Baja adalah paduan logam yang tersusun dari besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur penguat.kandungan baja yang utama adalah besi besi (Fe)dengan kadar 97% dan karbon (C) dengan kadar 0,2% hingga 2,1%,serta unsur paduan lainnya yaitu Mangan (Mn),Krom (Cr),Vanadium (V),Nikel (Ni), Silikon (Si), Tembaga (Cu),Sulfur(S),Fosfor(P) dan lainnya dengan jumlah yang dibatasi dengan jumlah yang dibatasi dan berbeda-beda.

Pengaruh utama kandungan karbon didalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan dan sifat mudah dibentuk.penambahan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*)

dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). (Muchlisin Riadi, 2021).

Baja paduan

Baja paduan adalah suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, mangan, *molybdenum*, *kromium*, *vanadium* dan *wolfram* yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki seperti sifat-kekuatan, kekerasan dan keuletannya. Paduan dari beberapa unsur yang berbeda memberikan sifat baja khas dari baja. Berdasarkan kadar paduannya, baja paduan dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

a. **Baja paduan rendah** (*Low alloy steel*).

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain-lain. Memiliki kadar karbon sama seperti baja karbon, tetapi ada sedikit unsur paduan dengan penambahan unsur paduan. Kekuatan dapat dinaikkan tanpa mengurangi keuletannya, kekuatan fatik daya tahan terhadap korosi, aus dan panas. Aplikasinya banyak digunakan pada kapal, jembatan, roda kreta api, ketel uap, tangki gas, pipa gas dan sebagainya.

b. **Baja Paduan Menengah** (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain-lain.

c. **Baja Paduan Tinggi** (*high alloy steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain-lain. Contohnya baja tahan karat, baja perkakas dan baja mangan. Aplikasinya digunakan pada bearing, bejana tekan, baja pegas, *cutting tools*, *frog* rel kereta api dan lain.

(American society for testing and materials) ASTM A36

Baja ASTM A36 adalah salah satu jenis baja struktural yang paling umum digunakan dalam dunia industri konstruksi dan manufaktur. Baja ini dikenal karena kekuatan, ketahanan, dan kemudahan dalam pengelasan dan pemrosesan. ASTM A36 ditetapkan oleh *American society for testing and materials* (ASTM) dan merupakan standar untuk baja karbon struktural yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk bangunan, jembatan, dan struktur lainnya. Dengan

Baja ASTM A36 memiliki komposisi kimia yang terdiri dari karbon, mangan, fosfor, belerang dan besi. Komposisi ini memberikan sifat mekanik yang baik, termasuk kekuatan tarik minimum sebesar 36.000 psi (250 Mpa).



Gambar 1. Plat Baja ASTM A36.

Baja ASTM A36 memiliki komposisi kimia yang terdiri dari beberapa elemen utama, yang memberikan sifat mekanik yang baik. Komposisi kimia standar untuk baja ASTM A36 adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Baja ASTM A36.

| Elemen | Kandungan maksimum (%) |
|----------------|-------------------------------|
| Karbon (C) | 0,25 |
| Mangan (Mn) | 1,03 |
| Fosfor (P) | 0,04 |
| Belerang (S) | 0,05 |
| Silicon (Si) | 0,28 |
| Tembaga (Cu) | 0,20 |
| Besi (Fe) | 98 |

Baja ASTM A36 memiliki sifat mekanik yang baik, yang menjadikannya pilihan yang ideal untuk kolom struktural. Beberapa sifat mekanik utama dari baja ASTM A36 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. ASTM A36 steel plate Mechanical properties.

Mechanical properties tensile and yield strength

| | |
|--|----------------|
| <i>Tensile strength,ksi[MPa]</i> | 58-80[400-550] |
| <i>Yield point,min,ksi[Mpa]</i> | 36[250] |
| <i>Elongation in 8 in. [200mm],min,%</i> | 20 |
| <i>Elongation in 2 in. [50mm],min,%</i> | 23 |

Sifat fisik dari baja ASTM A36 mencakup densitas, konduktivitas termal, dan koefisien ekspansi termal. Sifat-sifat ini sangat penting dalam menentukan bagaimana baja berperilaku dibawah berbagai konsisi lingkungan dan beban. Oleh sebab itu sifat fisik dari baja ASTM A36 penting untuk dipertimbangkan dalam desain kolom beberapa sifat fisik utama adalah :

Tabel 2. Sifat fisik plate baja ASTM A36.

| Sifat fisik | Nilai |
|---------------------------|--|
| Densitas | 490 lb/ft ³ (7850 kg/m ³) |
| Modulus elastisitas | 29.000.000 Psi (200 Gpa) |
| Koefisien ekspansi termal | 6,5 x 10 ⁻⁶ in/in/ ⁰ F (11,7 x 10 ⁻⁶ m/m/ ⁰ C) |
| Titik leleh | Sekitar 2.500 ⁰ F (1.370 ⁰ C) |

Kampuh las

Kampuh atau sambungan las adalah area dimana dua atau lebih bagian material disatukan melalui proses pengelasan. kualitas dan kekuatan sambungan las sangat penting dalam aplikasi struktural, karena dapat mempengaruhi integritas keseluruhan dari struktur yang dibangun berbagai faktor, termasuk desain sambungan, jenis las, parameter pengelasan, dapat mempengaruhi sifat mekanik dari sambungan las (Huang et al,2019). Kampuh atau sambungan las merupakan salah satu aspek fundamental dalam proses pengelasan yang menentukan kekuatan, integritas, dan keandalan sambungan antar material (brown & miller,2013). kampuh dirancang untuk menghubungkan dua bagian material secara permanen melalui fusi yang dihasilkan oleh proses pengelasan. pemilihan jenis kampuh sangat bergantung pada jenis material, ketebalan, dan aplikasi struktural yang diimginkan. dalam berbagai standar dan literatur teknis, kampuh diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis antara lain sambungan V (*V-groove*) dan *double V*, yang banyak diaplikasikan dalam pengelasan material tebal.

3. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental kuantitatif. penelitian eksperimental bertujuan untuk menguji hubungan sebab akibat antara variabel bebas dan variabel terikat melalui manipulasi langsung terhadap variabel bebas dalam kondisi yang terkendali (Sugiono,2017). dalam konteks ini, variabel bebas berupa jenis kampuh las (kampuh V dan kampuh *double V*), sedangkan variabel terikat meliputi hasil uji kekuatan tarik, ketangguhan bending, serta hasil pengujian DPT pada sambungan pengelasan FCAW SS.

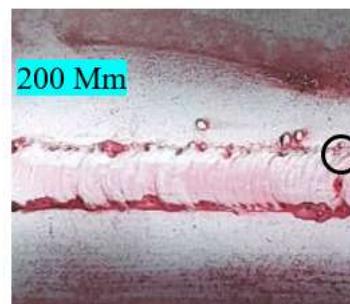
Penelitian eksperimental sangat relevan digunakan dalam bidang teknik dan rekayasa, khususnya untuk menguji perfoma sambungan las berdasarkan variasi parameter tertentu. tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan perfoma kekuatan mekanik antara dua jenis kampuh las pada material baja karbon rendah ASTM A36 menggunakan proses pengelasan *Self shielded Flux Cored Arc Welding* (FCAW). Bahan utama yang digunakan adalah plat baja karbon rendah ASTM A36 berketebalan 10 mm yang memiliki sifat mekanik baik dan mudah dilas. Proses pengelasan menggunakan kawat las FCAW-SS tipe E71T-1C, yang menghasilkan gas pelindung internal tanpa memerlukan gas eksternal. Dua jenis kampuh yang digunakan yaitu kampuh V dan *Double V* dengan sudut 60°, dirancang sesuai standar AWS D1.1. Proses pengelasan dilakukan pada posisi 1G dengan arus 140 A dan tegangan 24 V menggunakan kawat E71T-1C *Dye Penetrant Testing* (DPT) untuk mendeteksi cacat permukaan las. Uji Tarik (*Tensile Test*) menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk menentukan kekuatan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas. Uji Bending

(*Three Point Bending Test*) untuk mengukur kelenturan serta mendeteksi cacat internal pada sambungan las. Data diperoleh dari hasil uji DPT, uji tarik, dan uji bending. Seluruh data direkap dalam tabel, kemudian dianalisis secara kuantitatif dengan menghitung rata-rata, nilai maksimum, dan minimum. Hasil analisis digunakan untuk membandingkan performa sambungan kampuh V dan Double V serta menentukan jenis kampuh yang efisien dan optimal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Dye Penetrant Testing (DPT)

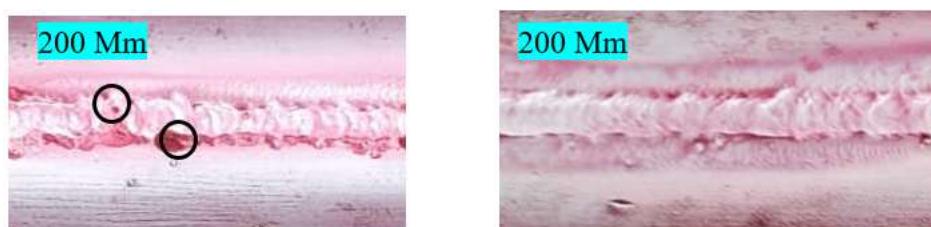
Pengujian *Dye Penetrant Testing* (DPT) dilakukan untuk mendeteksi cacat permukaan pada sambungan las kampuh V dan *double V*. standar yang digunakan adalah **ASTM E 165/E165M-18** (*Standart Partice for liquid penetrant testing for general industry*).



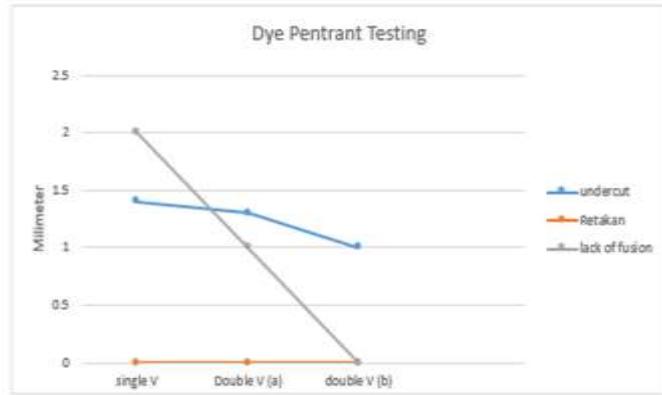
Gambar 2. Dye Penetrant Testing Kampuh V.

Tabel 3. Hasil Uji Dye Penetrant Testing.

| No | Jenis Kampuh ASTM A36 | Undercut | Retakan | Lack of fusion |
|----|--------------------------|----------|---------|-------------------|
| 1 | Singgel v | 1,4 | 0 | 2 |
| 2 | Double V (a) | 1,2 | 0 | 1 |
| 3 | Double V (b) | 1 | 0 | 0 |



Gambar 3. Dye Penetrant Testing Kampuh Double V.



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Dye Penetrant Testing Kampuh V dan Double V.

Hasil Uji Tarik

Pengujian Uji Tarik dilakukan dengan standard ASTM E8. ASTM E8 (atau ASTM E8/E8M) adalah standar yang dikeluarkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM)

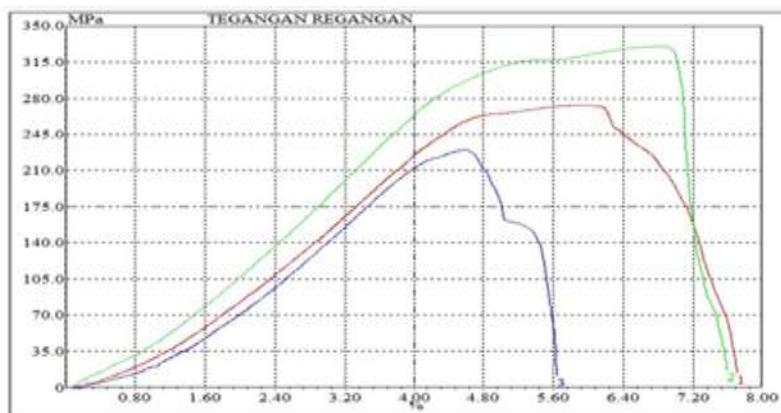
Kampuh V



Gambar 5. Spesimen Uji Tarik Las FCAW- SS Kampuh V Sesudah diUji Tarik.

Tabel 4. Hasil Pengujian Tarik Kampuh V.

| N o | Area (mm ²) | Yield Point (N) | Yield Stress (MPa) | Max. Load (N) | Max. Stress (MPa) | Break (N) | Break (MPa) | Extension (mm) | Elongatio n (%) |
|------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|------------------|----------------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 140.000 | 34676.27 9 | 247.688 | 38277.51 1 | 273.411 | 1912.6 20 | 13.662 | 5.775 | 7.700 |
| 2 | 140.000 | 41679.98 5 | 297.714 | 46237.21 9 | 330.266 | 2311.2 07 | 16.509 | 5.688 | 7.583 |
| 3 | 140.000 | 29167.24 0 | 208.337 | 32142.52 8 | 229.589 | 1584.1 41 | 11.315 | 4.225 | 5.633 |
| Rata-rata | 35174 | 251 | 38885 | 277.904 | 1935 | 13 | 5 | 6 | |



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Tarik Kampuh V.

Untuk mencari nilai rata-rata *Max Stress* maka dilakukan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_{\text{max rata-rata}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

Perhitungan:

$$\sigma_{\text{max rata-rata}} = \frac{273.411 + 330.266 + 229.259}{3}$$

$$\sigma_{\text{max rata-rata}} = \frac{2187.818}{3} = \frac{104117}{375}$$

$$\sigma_{\text{max rata-rata}} = 277.645 \text{ MPa}$$

Kampuh Double V



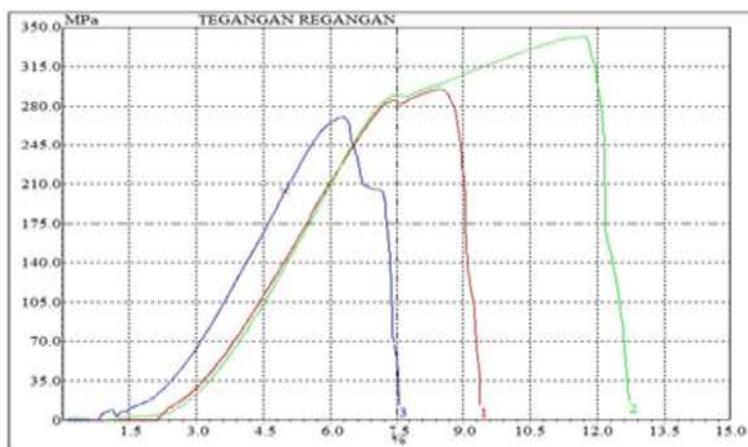
Gambar 7. Spesimen Uji Tarik Las Fcaw- SS Kampuh Double V Setelah Diuji Tarik.

Tabel 5. Hasil Pengujian Tarik Kampuh Double V.

| N o | Area (mm ²) | Yield Point (N) | Yield Stress (MPa) | Max. Load (N) | Max. Stress (MPa) | Brea k (N) | Break (MPa) | Extensio n (mm) | Elongati on (%) |
|------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 140.00 0 | 29886.79 9 | 213.477 | 41265.1 01 | 294.751 | 1796. 542 | 12.832 | 7.025 | 9.367 |
| 2 | 140.00 0 | 40606.21 5 | 290.044 | 47764.1 81 | 341.173 | 2371. 153 | 16.937 | 9.525 | 12.700 |
| 3 | 140.00 0 | 28471.15 3 | 203.365 | 37769.7 25 | 269.784 | 1802. 482 | 12.875 | 5.675 | 7.567 |
| Rata-rata | | 32988 | 235.62 | 42266 | 301.904 | 1990 | 14.214 | 7.408 | 9.878 |

Tabel 6. Hasil Uji Tarik Rata-Rata Tegangan Maksimum.

| Jenis kampuh | Single V Max stress (MPa) | Double V Max stress (MPa) |
|------------------|---------------------------|---------------------------|
| Spesimen 1 | 273,411 | 294,751 |
| Spesimen 2 | 330,266 | 341,173 |
| Spesimen 3 | 229,259 | 269,784 |
| Rata-rata | 277,411 | 301,904 |

**Gambar 8.** Grafik data.

Untuk mencari nilai rata-rata *Max Stress* maka dilakukan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_{\text{max rata-rata}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

Perhitungan:

$$\sigma_{\text{max rata-rata}} = \frac{294.751 + 341.173 + 269.789}{3}$$

$$\sigma_{\text{max rata-rata}} = \frac{905.713}{3} = \frac{905713}{3000}$$

$$\sigma_{\text{max rata-rata}} = 301.904 \text{ MPa}$$

Analisa Hasil Uji Tarik Kampuh V Dan Double V

Pengujian tarik dilakukan sesuai standar ASTM E8/E8M, yang bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik logam, meliputi kekuatan tarik maksimum, kekuatan luluh, serta regangan (*elongation*).

Hasil Uji Bending

Pengujian uji bending dilakukan dengan standar ASTM E190/E290. ASTM E190/E290 adalah standar pengujian yang ditetapkan oleh ASTM *International* untuk uji tekuk (*bend test*) **Kampuh V**



Gambar 9. Spesimen Uji Bending Las FCAW- SS Kampuh V Setelah Diuji Bending.

Tabel 7. Hasil Uji Bending Kampuh V.

| No | Material | Area (mm ²) | Span (mm) | Max. Load (kgf) | DEFLEKSI (mm) |
|------------------|--------------|-------------------------|-----------|-----------------|---------------|
| 1 | Plat 10 mm V | 385.000 | 130.000 | 884.866 | 10.385 |
| 2 | Plat 10 mm V | 385.000 | 130.000 | 580.630 | 8.747 |
| 3 | Plat 10 mm V | 385.000 | 130.000 | 971.887 | 7.055 |
| Rata-rata | | | | 812.461 | 8.729 |

Untuk mencari nilai rata-rata *Max Load* maka dilakukan penghitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_{max} = \frac{P1 + P2 + P3}{3}$$

Perhitungan:

$$F_{max} = \frac{884.866 + 580.630 + 971.887}{3}$$

$$F_{max} = \frac{2437.383}{3} = 812,461$$

Kampuh Double V



Gambar 10. Spesimen Uji Bending Kampuh Double V Sesudah Diuji Bending.

Tabel 8. Hasil Uji Bending Kampuh Double V.

| No | Material | Area (mm ²) | Span (mm) | Max. Load (kgf) | DEFLEKSI (mm) |
|------------------|--------------|-------------------------|-----------|-----------------|---------------|
| 1 | Plat 10 mm X | 385.000 | 130.000 | 887.728 | 10.114 |
| 2 | Plat 10 mm X | 385.000 | 130.000 | 1288.152 | 12.653 |
| 3 | Plat 10 mm X | 385.000 | 130.000 | 349.138 | 8.247 |
| Rata-rata | | | | 841.672 | 10.338 |

Untuk mencari nilai rata-rata *Max Load* maka dilakukan penghitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_{max} = \frac{P1 + P2 + P3}{3}$$

Perhitungan:

$$F_{max} = \frac{887.728 + 1288.152 + 349.138}{3}$$

$$F_{max} = \frac{2525.018}{3} = \frac{1262509}{1500} = 841,672$$

Jadi $F_{max} = 841,672$ kgf

Analisa Hasil Uji Bending Kampuh V dan Double V

Tabel 9. Hasil Pengujian Bending.

| Jenis kampuh | Single V Max load (kgf) | Double V Max load (kgf) | Single V Deflaksi (mm) | Double v Deflaksi (Mm) |
|------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Spesimen 1 | 884.866 | 887.728 | 10.385 | 10.114 |
| Spesimen 2 | 580.630 | 1288.152 | 8.747 | 12.653 |
| Spesimen 3 | 971.887 | 349.138 | 7.055 | 8.247 |
| Rata-rata | 812.461 | 841.672 | 8.729 | 10.338 |

Pengujian bending dilakukan sesuai standar ASTM E190/E290, menggunakan metode *three point* bending untuk mengevaluasi daktilitas sambungan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai *Analisis Kualitas Sambungan Las Kampuh V dan Double V Menggunakan Metode Pengelasan Self Shielded FCAW pada Baja Karbon Rendah ASTM A36 Berdasarkan Pengujian Dye Penetrant Testing (DPT), Uji Tarik, dan Uji Bending*, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan las dengan desain kampuh double V memiliki kualitas lebih unggul dibandingkan kampuh V. Pada uji DPT, kampuh V ditemukan porositas halus di dua titik tanpa indikasi retakan maupun undercut, sedangkan kampuh double

V juga menunjukkan porositas di dua titik namun dengan ukuran lebih kecil, menandakan distribusi panas yang lebih merata dan cacat permukaan yang lebih minim. Uji tarik memperlihatkan bahwa kampuh V menghasilkan tegangan tarik maksimum rata-rata sebesar 277,645 MPa, sementara kampuh double V mencapai 301,904 MPa dengan nilai elongation lebih tinggi, sehingga menunjukkan sifat keuletan dan homogenitas struktur sambungan yang lebih baik. Pada uji bending, kampuh V mampu menahan beban rata-rata 812,461 kgf dengan defleksi 7–10 mm, sedangkan kampuh double V menahan beban lebih besar yaitu 841,672 kgf dengan defleksi hingga 12,653 mm, yang menandakan ketangguhan dan kemampuan deformasi plastis lebih baik. Secara keseluruhan, sambungan kampuh double V terbukti lebih unggul dalam hal daktilitas, kekuatan tarik, dan ketahanan terhadap deformasi, sejalan dengan prinsip desain kampuh ganda yang memberikan penetrasi lebih merata serta distribusi tegangan yang lebih baik.

DAFTAR REFERENSI

- Albrecht, P., & Huber, M. (2017). Welding distortion in V-groove welds: A review. *Welding Journal*.
- American Society of Mechanical Engineers. (n.d.). *ASME Section IX: Welding, brazing, and fusing qualifications*.
- American Welding Society. (2020). *AWS D1.1/D1.1M:2020: Structural welding code—Steel*.
- ASTM International. (2014). *ASTM A36/A36M-14: Standard specification for carbon structural steel plates*.
- ASTM International. (2014). *ASTM E190/E290-14: Standard test methods for bend testing of metallic materials*.
- ASTM International. (2018). *ASTM E165/E165M-18: Standard practice for liquid penetrant testing*.
- ASTM International. (2021). *ASTM E8/E8M-21: Standard test methods for tension testing of metallic materials*.
- Brown, S., & Miller, T. (2013). *Welding technology fundamentals*. McGraw-Hill.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Chen, H., & Wang, Y. (2015). The effect of joint design on the mechanical properties of welded joints. *Journal of Constructional Steel Research*.
- Davis, J. (2001). *Alloying elements in stainless steel and other speciality steels*. ASM International.
- García, R., López, J., & Martínez, A. (2019). Evaluation of V-groove welds in structural applications. *Journal of Materials Engineering and Performance*.
- Gunawan, R., & Santoso, A. (2020). Analisis kekuatan tarik sambungan las kampuh double V pada pelat baja karbon sedang. *Jurnal Rekayasa Manufaktur*, 5(2), 112–120.

- Huang, Y., Zhang, L., & Wang, J. (2019). Weld joint design and its impact on structural integrity. *International Journal of Structural Engineering*.
- Kumar, R., & Singh, A. (2018). Comparative study of V-groove welds. *International Journal of Engineering Research and Applications*.
- Kwon, Y., & Lee, J. (2014). The influence of welding parameters on the quality of V-groove welds. *Welding Journal*.
- Liu, J., & Zhang, Y. (2018). Fatigue behavior of V-groove welds. *Materials Science and Engineering: A*.
- Mendez, J., & Torres, R. (2021). Optimization of welding parameters for V-groove welds. *Journal of Materials Processing Technology*.
- Miller, J. (2011). *Welding principles and applications*. Cengage Learning.
- Patel, R., & Kumar, S. (2020). Mechanical properties of welded joints: A review. *Materials Science and Engineering: A*.
- Prasetyo, D., & Lestari, S. (2021). Studi komparatif distorsi pada pengelasan kampuh single V dan double V menggunakan metode FCAW. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses*, 134–142.
- Purwanto, P., Wa'adduloh, M., & Widdo, R. (2024). Analisis pengaruh variasi hasil pengelasan FCAW antara material Grade A terhadap macro structure test di insert plate ship deck ramah lingkungan. *Jurnal Saintek Maritim*, 24(2), 225–234.
- Ramadhan, F., & Aditama, G. (2020). Pengaruh desain kampuh double V terhadap sifat mekanik hasil las SMAW pada baja SS400. *Jurnal Aplikasi Teknik Mesin*, 4(1), 25–32.
- Setiawan, H., & Abdullah, M. (2020). Optimalisasi desain kampuh las double V untuk aplikasi struktur kapal. *Jurnal Teknologi Kelautan*, 8(1), 45–56.
- Setyawan, R., & Wijaya, B. (2022). Pentingnya preparasi kampuh las dalam menjamin kualitas sambungan material logam. *Buletin Teknik Las Indonesia*, 2(1), 1–8.
- Smith, R., & Jones, T. (2020). Versatility of V-groove welds in industrial applications. *Journal of Engineering Materials and Technology*.
- Supriyanto, A., & Utami, D. (2021). Pengaruh celah akar terhadap penetrasi las pada sambungan kampuh double V. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 9(3), 190–197.
- Suryadi, T., & Wijaya, P. (2019). Evaluasi radiografi cacat las pada sambungan kampuh double V menggunakan metode GTAW. *Majalah Teknik Mesin*, 12(2), 78–85.
- Utomo, C., & Susilo, E. (2021). Tinjauan umum proses pengelasan dan aplikasinya di industri manufaktur. *Jurnal Teknik Material*, 6(1), 1–10.
- Wibowo, A., Nugroho, D., & Lestari, P. (2023). Karakteristik geometri kampuh double V pada pengelasan baja tebal. *Jurnal Material dan Proses*, 7(1), 30–38.
- Yusuf, A., & Hasanah, N. (2023). Pengaruh sudut bevel terhadap kekuatan tarik sambungan las baja karbon. *Jurnal Rekayasa Material dan Metalurgi*, 1(1), 1–9.
- Zhang, X., Li, Y., & Chen, Z. (2021). Enhancement of mechanical properties of V-groove welds through alloying. *Materials Science and Engineering: A*.