Makalah Penelitian

Evaluasi Sifat Mekanik Sambungan Saw Material Bs 1501 223 490B Melalui Uji Destruktif

Hendra Susilo^{1*}, Putra Pratama², Suardi³, Fadlah K. Sinurat⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, University Tjut Nyak Dhien, Medan, Indonesia ¹hendra@utnd.ac.id, ²mr.putrapratama@gmail.com, ³suardi@utnd.ac.id, ⁴fadlah@utnd.ac.id

Corresponding Author: Hendra Susilo

ABSTRACT

his study aims to evaluate the mechanical properties of welded joints produced using the Submerged Arc Welding (SAW) method on BS 1501 223 490B steel material. The evaluation was carried out through destructive testing, including tensile test, bend test, and Charpy impact test. The tensile test revealed a maximum tensile strength of 584.39 N/mm² on the All Weld specimen, with an elongation of 26.23%. In the Transverse test, fracture occurred in the base metal, indicating that the weld joint had superior quality compared to the parent material. The bend test on both Face Bend and Root Bend specimens showed visually "Satisfactory" results, with maximum stress reaching 2,122.55 N/mm². The Charpy V-notch impact test indicated an average absorbed energy of 109.98 Joules at room temperature, demonstrating good toughness under impact loading. The results confirm that welded joints produced by the SAW method on BS 1501 223 490B steel exhibit excellent strength, ductility, and toughness, making them suitable for structural and high-pressure applications. This study reinforces the effectiveness of the SAW method in producing high-quality joints in the metal fabrication industry.

Keywords: Mechanical Properties, SAW Welding, BS 1501 223 490B, Destructive Testing.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat mekanik sambungan las yang dihasilkan dengan metode Submerged Arc Welding (SAW) pada material baja BS 1501 223 490B. Evaluasi dilakukan melalui pengujian destruktif meliputi uji tarik, uji tekuk, dan uji impak. Uji tarik menunjukkan kekuatan tarik maksimum sebesar 584,39 N/mm² pada spesimen All Weld, dengan elongasi mencapai 26,23%. Pada uji Transverse, fraktur terjadi pada logam induk, mengindikasikan bahwa sambungan las memiliki kualitas lebih tinggi dari material dasar. Hasil uji tekuk pada spesimen Face Bend dan Root Bend menunjukkan hasil visual "Satisfactory", dengan tegangan maksimum mencapai 2.122,55 N/mm². Uji impak Charpy V-notch menunjukkan energi serap rata-rata sebesar 109,98 Joule pada suhu ruang, mengindikasikan ketangguhan yang baik terhadap beban kejut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan las dengan metode SAW pada material BS 1501 223 490B memiliki kekuatan, keuletan, dan ketangguhan yang baik, serta memenuhi syarat untuk digunakan pada aplikasi struktural dan tekanan tinggi. Penelitian ini memperkuat efektivitas metode SAW dalam menghasilkan sambungan berkualitas tinggi pada industri fabrikasi logam.

Kata Kunci: Sifat Mekanik, Las SAW, BS 1501 223 490B, Uji Destruktif.

1. Pendahuluan

Konstruksi boiler dalam sistem pembangkit tenaga uap memerlukan material yang memiliki kekuatan tinggi, ketahanan terhadap tekanan, dan ketangguhan pada suhu operasi tinggi, terutama pada bagian lower drum yang berfungsi sebagai penampung air dan uap di area tekanan tinggi [1]. Menurut H. Susilo. et.all, kekerasan pipa boiler setelah proses pemanasan dan tanpa pemanasan memengaruhi sifat mekanik material yang mengalami adanya peningkatan perubahan struktur mikro akibat beban termal jangka Panjang [2]. Salah satu material yang umum digunakan dalam aplikasi ini adalah baja karbon rendah BS 1501 223 490B, karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik serta kemudahan dalam pengelasan

Lisensi Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

3]. Dalam industri fabrikasi, metode Submerged Arc Welding (SAW) banyak digunakan karena mampu menghasilkan sambungan las dengan penetrasi tinggi, kualitas konsisten, serta efisiensi produksi yang tinggi pada sambungan panjang dan tebal 4]. Namun, performa sambungan hasil las sangat bergantung pada parameter pengelasan, jenis elektroda, serta kondisi material induk, yang dapat memengaruhi sifat mekanik seperti kekuatan tarik, keuletan, dan ketangguhan terhadap beban dinamis 5].

Sambungan las memegang peranan penting dalam konstruksi dan fabrikasi struktur logam. Kualitas sambungan las sangat menentukan kekuatan, ketahanan, dan keamanan suatu struktur, apalagi pada bidang-bidang yang menuntut performa tinggi seperti industri minyak, gas, dan konstruksi berat. Salah satu teknik pengelasan yang umum dipakai adalah Submerged Arc Welding (SAW), karena metode ini mampu menghasilkan sambungan dengan penetrasi yang baik dan efisiensi kerja yang tinggi [1], [6]. Material BS 1501 223 490B merupakan jenis baja karbon rendah yang banyak digunakan untuk komponen struktural karena memiliki sifat mekanik yang memadai serta tahan terhadap beban statis maupun dinamis. Namun, sambungan yang dihasilkan dari proses pengelasan SAW pada material ini perlu dievaluasi dengan teliti agar integritas dan kualitasnya benar-benar terjamin. Untuk menilai sifat mekanik sambungan las, berbagai metode uji bisa diterapkan. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah uji destruktif, seperti uji tarik, uji kekerasan, dan uji kelelahan. Uji ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mekanik sambungan, seperti kekuatan tarik, tingkat kekerasan, dan ketahanan terhadap retak, yang sangat penting untuk memastikan sambungan mampu menahan beban kerja sesuai dengan kebutuhan [5], [7]. Dibandingkan dengan uji nondestruktif, uji destruktif mampu memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi sambungan [5].

Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa parameter pengelasan sangat memengaruhi sifat mekanik sambungan las SAW [5], [7]. Oleh karena itu, evaluasi secara menyeluruh terhadap sambungan las pada material BS 1501 223 490B dengan menggunakan uji destruktif menjadi sangat penting untuk memastikan kualitas dan keandalannya, terutama pada aplikasi teknik yang kritis. Untuk menjamin keandalan sambungan pada lower drum boiler, diperlukn evaluasi sifat mekanik sambungan las melalui pengujian destruktif, seperti uji tarik, uji tekuk, dan uji impak Charpy, yang merupakan metode standar untuk menilai integritas struktur dan mengidentifikasi potensi cacat atau ketidaksesuaian zona las [5]. Evaluasi ini menjadi penting untuk memastikan bahwa sambungan memenuhi persyaratan teknis sesuai standar ISO 15614-1:2017 industri ketel uap dan struktur bertekanan [8].

Penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi sifat mekanik sambungan las menggunakan metode SAW pada material BS 1501 223 490B dengan pendekatan uji destruktif, khususnya pada komponen lower drum boiler, guna memastikan performa dan kelayakan struktural sambungan tersebut dalam kondisi kerja operasional yang berat.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Las SAW (Submerged Arc Welding)

Submerged Arc Welding (SAW) adalah salah satu metode pengelasan otomatis yang menggunakan kawat elektroda kontinu dan lapisan flux granular sebagai pelindung busur dan logam cair. Proses ini menghasilkan penetrasi yang dalam dan kualitas las yang konsisten, serta cocok untuk penyambungan pelat baja berdimensi besar seperti pada industri boiler dan bejana tekan. Kelebihan utama SAW adalah minimnya percikan (*spatter*), kecepatan pengelasan tinggi, dan efisiensi arus panas yang baik, sehingga sangat efektif untuk pengelasan pelat baja karbon rendah hingga menengah [9].



Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

2.2. Sifat Mekanik Sambungan Las

Material BS 1501-223-490B merupakan jenis baja karbon-mangan yang diklasifikasikan sebagai pelat untuk aplikasi tekanan tinggi (*pressure vessel steel plate*), sesuai dengan standar British Standard (BS). Angka "490" merujuk pada minimum tensile strength sebesar 490 MPa. Baja ini banyak digunakan dalam industri energi, petrokimia, dan ketel uap karena sifat mekaniknya yang baik, terutama kekuatan tarik, keuletan, dan ketahanan terhadap suhu tinggi [10].

2.3. Sifat Mekanik Sambungan Las

Sambungan las harus memiliki sifat mekanik yang sebanding atau melebihi logam induknya untuk menjamin integritas struktur. Evaluasi sifat mekanik seperti kekuatan tarik, keuletan, dan ketangguhan menjadi penting dalam menilai kualitas sambungan. Ketidaksesuaian dalam prosedur pengelasan dapat menyebabkan cacat seperti retak, porositas, atau lemahnya fusi, yang dapat menurunkan kekuatan struktur secara keseluruhan [11].

2.4. Uji Destruktif

Uji destruktif adalah metode pengujian yang dilakukan dengan merusak atau menghancurkan spesimen untuk mengetahui batas kemampuan material terhadap gaya luar. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui apakah sambungan SAW pada material BS 1501-223-490B telah memenuhi standar kualitas sesuai spesifikasi desain atau standar teknis seperti BS 1113 [12], jenis uji yang umum digunakan antara lain:

2.4.1. Uji Tarik (Tensile Test)

Pengujian Tarik Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan / material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah. Pengujian tarik sangat dibutuhkan untuk menentukan desain suatu produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan kekuatan dasar suatu dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Awal mula Bahan yang akan diuji tarik dibuat menjadi material uji (batang) dengan bentuk yang sesuai standar seperti pada Gambar 1. Pada bagian tengah dari spesimen uji merupakan bagian yang menerima tegangan dan pada bagian ini diukurkan "panjang uji" (gauge length), bagian ini yang diukur panjangnya selama proses pengujian berlangsung. Sifat mekanis setelah pengujian tarik dapat diketahui dengan cara melakukan perhitungan sesuai persamaan 1 adalah sebagai berikut:

$$\sigma = F/A_0 \tag{1}$$

dimana, F = gaya (force) yang bekerja, dalam Newton (N), A_o = luas penampang awal (initial cross-sectional area), dalam satuan m^2 , σ = tegangan (stress) dalam satuan N/m² atau Pa (Pascal).



Gambar 1 Spesimen Uji Tarik

Pada Gambar 1. Menjelaskan metode pengujian menentukan deformasi elastis terjadi sampai titik luluh (*yield point*) setelah itu deformasi yang terjadi merupakan deformasi plastis sampai material patah. Titik tegangan maksimum berada pada posisi puncak grafik tersebut. Nilai tegangan luluh merupakan acuan yang sangat penting dalam pembangunan konstruksi, jika konstruksi mendapat beban melebihi tegangan luluh maka akan terjadi deformasi plastis hingga terjadi kegagalan (patah). Kaya, et al (2010) menyatakan bahwa sifat pertama yang dicari dalam sambungan las harus memiliki kekuatan tarik sambungan yang sama dengan atau dekat dengan logam dasar [13]. Sifat mekanis setelah pengujian tarik dapat melalui grafik tegangan dan regangan maupun dengan cara melakukan perhitungan sesuai rumus berikut: oultimate = Pultimate *Ao N/m*², oyield = Pyield *Ao N/m*² dengan, Ao : *Initial cross sectional area* (mm²) P ultimate : Maximum Load (N) P yield : Yield Load (N).



Gambar 2. Grafik Tegangan dan Regangan

Hasil pengujian tarik dapat digambarkan pada sebuah grafik tegangan regangan seperti pada Gambar diatas ini. Diagram ini menunjukkan deformasi elastis dan plastis yang terjadi pada material. Dapat dikatakan elastis yaitu ketika material diberi beban dan terjadi deformasi setelah beban dihilangkan material kembali ke bentuk semula. Sedangkan deformasi plastis yaitu ketika material diberi beban dan terjadi deformasi, tetapi ketika beban dihilangkan material tidak kembali ke bentuk semula.

2.4.2. Uji Tekuk (Bend Test)

Uji tekuk merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk menilai kemampuan material dalam menahan deformasi plastis tanpa mengalami retak atau cacat permukaan. Pengujian ini umumnya diterapkan pada material logam maupun hasil sambungan las untuk mengevaluasi sifat keuletan dan homogenitas struktur mikro pada zona las dan daerah pengaruh panas (heat affected zone). Dalam pengujian ini, spesimen dibebani secara statis melalui pembengkokan hingga sudut tertentu, biasanya 90° atau 180°, untuk mengamati ada tidaknya retakan atau kegagalan pada sisi tarik luar spesimen **14**. uji tekuk lebih bersifat kualitatif, pendekatan kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 4. Untuk mengetahui tegangan lentur maksimum, yaitu:

$$\sigma = \frac{M \times c}{l} \tag{4}$$

di mana σ adalah tegangan lentur maksimum, M adalah momen lentur, c adalah jarak dari sumbu netral ke serat terluar, dan I adalah momen inersia penampang spesimen. Persamaan ini berguna dalam pengujian yang mengharuskan estimasi tegangan akibat gaya pembengkokan tertentu, terutama dalam pengujian bahan teknik atau desain elemen struktural [15]. Selain itu, untuk memastikan bahwa material tidak mengalami keretakan saat dibengkokkan, digunakan parameter radius minimum pembengkokan, yang dihitung menggunakan persamaan 5 berikut:

$$r_{min} = k \times t \tag{5}$$

dimana r_{min} adalah radius minimum, t adalah ketebalan spesimen, dan k adalah faktor empiris yang bergantung pada jenis dan sifat material. Misalnya, baja karbon rendah memiliki nilai k sekitar 1 hingga 1,5, sedangkan logam yang lebih keras dapat memiliki nilai kkk lebih besar. Nilai radius ini menjadi acuan dalam standar pengujian seperti ASTM E190 dan ISO 5173 untuk menentukan kriteria kelulusan uji tekuk. Sebagaimana dikemukakan oleh Khan et al. [14], uji tekuk memberikan informasi penting mengenai kualitas sambungan las, terutama dalam mendeteksi cacat mikro seperti retak atau porositas. Kheradmand et al. [15] juga mencatat bahwa kombinasi uji tekuk dan uji kekerasan mampu memberikan pemahaman menyeluruh mengenai karakteristik mekanik sambungan logam dissimilar.

2.4.3. Uji Impak (Charpy Impact Test)

Uji impak Charpy merupakan salah satu metode standar yang digunakan untuk mengukur ketangguhan suatu material terhadap beban kejut atau benturan mendadak. Pengujian ini sangat penting terutama dalam aplikasi yang melibatkan lingkungan ekstrem, seperti suhu rendah, di mana material cenderung mengalami peralihan dari perilaku daktail menjadi getas [16]. Dalam pengujian ini, spesimen standar berbentuk balok kecil dengan takikan (notch) di tengahnya diletakkan secara horizontal pada dudukan mesin uji, kemudian dipukul oleh bandul (pendulum) yang dilepaskan dari ketinggian tertentu. Energi yang diserap oleh spesimen selama proses patahnya digunakan sebagai ukuran ketangguhan impak material tersebut. Semakin besar energi yang diserap, semakin baik ketangguhan material terhadap beban dinamis. Secara matematis, energi impak dapat dihitung menggunakan persamaan 2. Berikut :

$$K_v = m \times g \times (H_1 - H_2) \tag{2}$$

C O O EY SH Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0. di mana KVK_VKV adalah energi impak (Joule), mmm adalah massa pendulum, ggg adalah percepatan gravitasi, H1H_1H1 adalah ketinggian awal pendulum sebelum tumbukan, dan H2H_2H2 adalah ketinggian setelah tumbukan. Untuk menentukan kekuatan impak dalam satuan energi per luas penampang, digunakan persamaan 3 berikut:

$$\sigma_{impact} = \frac{K_v}{A_o} \tag{3}$$

Dari hasil persamaan 3 secaram umum ditampilkan dalam bentuk kurva hubungan antara energi impak dan suhu. Kurva ini menunjukkan perubahan sifat material dari daktail ke getas pada suhu transisi tertentu yang dikenal sebagai *Ductile-to-Brittle Transition Temperature (DBTT)*. Pada suhu di atas DBTT, material menyerap energi lebih besar dan bersifat daktail. Sebaliknya, pada suhu di bawah DBTT, energi yang diserap lebih rendah dan material cenderung patah secara getas.

Beberapa penelitian terkini telah mengembangkan pendekatan numerik maupun eksperimental untuk menganalisis hasil uji Charpy. Kaya et al. (2025) melakukan pemodelan numerik untuk memprediksi distribusi tegangan pada baja dengan perlakuan panas tertentu [16]. Hetrick et al. (2021) meneliti serapan energi impak pada komposit Kevlar hasil cetak 3D, menunjukkan hubungan antara orientasi serat dan kekuatan impak [17-18]. Sementara itu, studi oleh J.M. dkk. (2023) menggunakan pendekatan pembelajaran mesin untuk memperkirakan suhu transisi getas pada polimer berdasarkan data uji Charpy [19].

3. Bahan & Metode

Spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah material hasil pengelasan pada *lower drum* boiler di PT. Mechmar Jaya Industries. Material yang digunakan jenis BS 1501 223 490 tebal 32 mm, proses pengelasan SAW menggunakan kawat elektroda EM 12 K dan Flux F7A0 mendapat perlakuan panas pasca pengelasan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil fabrikasi dari kualitas pengelesan sesuai dengan British Standard BS 1113:1999. Metode pengujian dilakukan secara eksperimental dilaboratorium *Department* of *Mechanical Engineering*, Universitas Riau yang meliputi pengujian sifat mekanik seperti uji tarik (*tensile testing*), uji tekuk (*bend testing*), dan uji impak (*impact testing*). Label identifikasi pada gambar 1. Mencantumkan nomor seri, batch, dan jenis material yang digunakan. Gambar ini menggambarkan kesiapan spesimen sebelum dilakukan pengujian untuk evaluasi kualitas sambungan las.



Gambar 3. Spesimen uji destruktif (lower drum 26thk)



Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Gambar 1. Menunjukkan berbagai jenis **spesimen uji mekanik** yang telah dipersiapkan untuk pengujian karakteristik sambungan las pada komponen **Lower Drum** dengan ketebalan **26 mm**, berdasarkan material **BS 1501-225-490B LT50**, sesuai standar **BS 1113**.

4. Hasil

4.1. Hasil Pengujian Tarik (Tensile Test)

Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Hydraulic Testing Machine TN20MD (Controlab, France) untuk dua jenis spesimen: *All Weld Tensile* dan *Transverse Tensile*. Parameter yang diuji meliputi Yield Load, Ultimate Load, Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, elongasi (%ɛ), dan persentase reduksi luas penampang (%RA). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1. Berikut:

Type of Tensile Test	Dimensi (mm)	Luas A (mm²)	Yield Load (kN)	Ultimate Load (kN)	Yield Strength (N/mm ²)	Ultimate Tensile Strength (N/mm ²)	e (%)	% Red in Area	Location of Fracture
All Weld Tensile	11,30	100,29	45,36	58,61	452,35	584,39	26,23	70,67	N/A
Transverse Tensile	7,30 x 25	176,4	65,88	94,78	373,45	537,34	16,76	-	Fracture at Parent

Tabel 1. Hasil pengujian tensile test

Hasil pengujian pada tabel 1. Dibuat kedalam grafik batang dengan membandingkan hasil pengujian tensile testing terhadap standard BS 1113 seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Berikut:



Gambar 4. Perbandingan hasil uji tarik terghadap standar BS 1113

Berdasarkan hasil pengujian Gambar 5. Spesimen *All Weld Tensile*, diperoleh Yield Load sebesar 45.36 kN dengan *Yield Strength* 452.35 N/mm², sedangkan *Ultimate Load* mencapai 58.61 kN dengan *Ultimate Tensile Strength* sebesar 584.39 N/mm². Nilai elongasi sebesar 26.23% menunjukkan kemampuan deformasi plastis yang sangat baik, dengan reduksi luas penampang sebesar 70.67%, menandakan daktilitas material yang tinggi. Lokasi fraktur tidak spesifik dicatat karena patahan terjadi dalam daerah las sepenuhnya. Sedangkan pada spesimen

EXAMPLE 1 Lisensi Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Transverse Tensile, nilai Yield Load dan Ultimate Load masing-masing adalah 65.88 kN dan 94.78 kN, dengan Yield Strength 373.45 N/mm² dan Ultimate Tensile Strength sebesar 537.34 N/mm². Elongasi sebesar 16.76% lebih rendah dibandingkan spesimen *All Weld*, dan reduksi luas penampang tidak dicatat dalam pengujian ini. Fraktur terjadi pada logam induk (parent metal), yang menunjukkan bahwa kekuatan sambungan las melebihi kekuatan logam dasar itu sendiri.

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa sambungan las memiliki kualitas mekanik yang baik, di mana semua parameter kekuatan memenuhi bahkan melebihi standar minimum British Standard BS1113, yang menetapkan yield strength minimal sebesar 355 N/mm² dan ultimate tensile strength minimal sebesar 490 N/mm². Fakta bahwa fraktur terjadi pada logam induk pada pengujian Transverse Tensile memperkuat indikasi bahwa sambungan las memiliki integritas struktural yang tinggi.

4.2. Hasil Pengujian Tekuk (Bend Test)

Pengujian tekuk dilakukan menggunakan Universal Hydraulic Testing Machine TN20MD (Controlab, France) untuk mengevaluasi kemampuan plastis dan keuletan sambungan las melalui dua metode: *Face Bend* dan *Root Bend*. Dimensi spesimen untuk kedua metode identik, yaitu lebar 15 mm, tebal 7.60 mm, dan panjang tumpuan 76.72 mm. Parameter utama yang diamati adalah beban tekuk (Load F) dan tegangan tekuk (Bending Stress). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2 berikut :

Type of Bend Test	Width b (mm)	Depth a (mm)	Length L (mm)	Load F (kN)	Bending Stress (N/mm ²)	Remarks	
Face Bend	15	7,60	76,72	15,65	2078,72	Satisfactory	
Root Bend	15	7,60	76,72	15,98	2122,55	Satisfactory	

Tabel 2. Hasil pengujian bend testing

Hasil pengujian Tabel 2. Menunjukkan *face bend*, spesimen mampu menahan beban sebesar 15.65 kN, menghasilkan tegangan tekuk sebesar 2078.72 N/mm². Sedangkan pada pengujian Root Bend, nilai beban sedikit lebih tinggi yaitu 15.98 kN, dengan tegangan tekuk sebesar 2122.55 N/mm². Kedua nilai ini secara signifikan melampaui batas minimal standar BS1113, yang menetapkan tegangan tekuk minimum sekitar 1800 N/mm². Kedua jenis pengujian dinyatakan "Satisfactory" atau memuaskan, yang mengindikasikan tidak adanya retakan atau kegagalan struktural pada daerah las maupun logam induk selama proses pembengkokan. Hal ini menunjukkan bahwa sambungan las memiliki keuletan tinggi dan bebas dari cacat internal yang kritis, terutama dalam aspek kemampuan deformasi plastis.

4.3. Hasil Pengujian Impact Testing

Pengujian impak dilakukan menggunakan alat Impact Tester CP300 (Controlab, France) pada tiga spesimen uji (CV1, CV2, dan CV3) dengan dimensi 10 x 10 mm pada suhu ruang (26°C). Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap energi saat mengalami tumbukan tiba-tiba, yang berkaitan erat dengan ketangguhan



dan resistensi terhadap fraktur getas. Hasil pengujian disajikan pada bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 1 berikut :



Gambar 5. Hasil Pengujian charpy impact testing

Berdasarkan gambar 6. Menunjukkan hasil pengujian impact testing menunjukkan bahwa energi serapan tertinggi terdapat pada spesimen CV3 dengan nilai 136.19 Joule, diikuti oleh CV2 sebesar 130.84 Joule, dan CV1 sebesar 62.91 Joule. Rata-rata energi serapan dari ketiga spesimen adalah 109.98 Joule. Grafik menunjukkan bahwa semua spesimen melampaui batas minimum standar British Standard BS1113, yaitu 47 Joule, yang ditandai dengan garis merah horizontal. Rata-rata energi juga ditandai dengan garis hijau, yang mengindikasikan konsistensi hasil uji pada tingkat ketangguhan tinggi.

5. Kesimpulan

Hasil uji tarik menunjukkan bahwa spesimen All Weld Tensile memiliki kekuatan luluh (452,35 N/mm²) dan kekuatan tarik maksimum sebesar 584,39 N/mm² lebih tinggi dibanding Transverse Tensile sebesar 373,45 N/mm² dan 537,34 N/mm². Regangan dan reduksi luas penampang juga lebih besar pada *All Weld* sebesar 26,23% dan 70,67%, menunjukkan sifat plastisitas yang lebih baik. Patah pada Transverse Tensile terjadi di logam induk, menandakan sambungan las lebih kuat dari material dasarnya. Dimana pengujian *bending* menunjukkan bahwa spesimen *Face Bend* dan *Root Bend* memiliki tegangan lentur masing-masing sebesar **2078,72 N/mm²** dan **2122,55 N/mm²**. Kedua hasil menunjukkan kinerja yang **satisfactory** tanpa indikasi kegagalan, menandakan kualitas sambungan las sangat baik dan mampu menahan beban lentur sesuai standar pengujian. Sedangkan Pengujian *impact Charpy* pada temperatur ruang 26°C menunjukkan nilai energi serapan antara **62,91–136,19 Joule**, dengan rata-rata sebesar **109,98 Joule**. Hasil ini dikategorikan **satisfactory**, menandakan bahwa material memiliki ketangguhan yang baik dan mampu menyerap energi benturan secara efektif tanpa menunjukkan tanda-tanda kerapuhan.

REFERENSI

- D. R. Coughlin, "Boiler construction and safety design standards: Application to pressure vessel code,"
 ASME J. Pressure Vessel Technol., vol. 142, no. 4, pp. 041101-1–041101-9, 2020.
- [2] M. Mulia, S. Suardi, H. Susilo, F. K. Sinurat, and S. Supriadi, "Identification of hardness values of boiler pipes after heating and without heating process", Computational, vol. 13, no. 2, pp. 50–56, Jul. 2024.
- [3] British Standard Institution, "BS 1501: Specification for carbon and carbon-manganese steel plates," BSI Standards, London, UK, 2016.



Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

- [4] R. S. Parmar, *Welding Engineering and Technology*, 2nd ed., Khanna Publishers, 2018.
- [5] T. H. Kaya, A. Grajcar, and F. T. Kassaye, "Numerical Modeling of Charpy Impact Toughness Behavior of Quenching and Partitioning Steel Welds," *Symmetry*, vol. 17, no. 1, p. 53, Jan. 2025.
- [6] D. R. Hetrick, S. H. R. Sanei, O. Ashour, and C. E. Bakis, "Charpy impact energy absorption of 3D printed continuous Kevlar reinforced composites," *Journal of Composite Materials*, vol. 55, no. 12, pp. 1705– 1713, 2021.
- [7] M. A. Khan, M. A. Maleque, and M. M. Rahman, "Mechanical Characterization of Welded Joints Using Bend and Tensile Tests," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 18, no. 1, pp. 8495–8504, 2021.
- [8] ISO 15614-1:2017, "Specification and qualification of welding procedures for metallic materials Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys," International Organization for Standardization, Geneva, 2017.
- [9] M. Klasnic, J. Smid, and B. S. Y. Yousif, "An overview of submerged arc welding: Recent trends and development," Journal of Manufacturing Processes, vol. 56, pp. 1419–1431, 2020.
- [10] D. T. Llewellyn and R. C. Hudd, Steels: Metallurgy and Applications, 3rd ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 1998.
- [11] A. H. Yaghi, D. Smith, and A. G. Atkins, "Weld strength mismatch and structural integrity," Engineering Failure Analysis, vol. 16, no. 1, pp. 1–17, Jan. 2009.
- [12] British Standards Institution, BS 1113:1999 Specification for design and manufacture of water-tube steam generating plant, London, UK: BSI, 1999.
- [13] H. Kaya, A. Durgutlu, and I. Gecesoy, "Influence of welding parameters on mechanical properties of steel joints produced by submerged arc welding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 169, no. 3, pp. 347–352, 2010.
- [14] M. A. Khan, M. A. Maleque, and M. M. Rahman, "Mechanical Characterization of Welded Joints Using Bend and Tensile Tests," *Int. J. Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 18, no. 1, pp. 8495–8504, 2021.
- [15] M. Kheradmand, M. Kermanpur, and A. Shamanian, "Evaluation of Weld Quality Using Combined Bend and Hardness Tests in Dissimilar Steel Joints," *Materials Testing*, vol. 62, no. 11, pp. 1111–1118, 2020.
- [16] T. H. Kaya, A. Grajcar, A. Kozłowska, dan F. T. Kassaye, "Numerical Modeling of Charpy Impact Toughness Behavior and Stress Distribution of Quenching and Partitioning Steel," Symmetry, vol. 17, no. 1, p. 53, Jan. 2025.
- [17] D. R. Hetrick, S. H. R. Sanei, O. Ashour, dan C. E. Bakis, "Charpy impact energy absorption of 3D printed continuous Kevlar reinforced composites," Journal of Composite Materials, vol. 55, no. 12, pp. 1705–1713, 2021.
- [18] Dan D. R. Hetrick et al., "Comparison of the Charpy Resilience of Two 3D Printed Materials," Engineering, Technology & Applied Science Research, vol. 13, no. 1, pp. 232–237, 2023.
- [19] J. M. et al., "Predicting Ductile-Brittle Transition Temperatures for Polyolefins Based on CNN and Notched Charpy Tests," Polymers, vol. 15, no. 2, pp. 198–210, 2023.

