

ANALISIS PENGARUH VARIASI SUDUT KAMPUH *SINGLE V JOINT* PENGELASAN FCAW TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA AH36

Victor Eauggelion Mesyakh Benu

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: victoreauuggelion.22022@mhs.unesa.ac.id

Hanna Zakiyya, S.T., M.T., Ph.D

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: hannazakiyya@unesa.ac.id

Abstrak

Industri perkapalan memerlukan sambungan las dengan kualitas tinggi untuk menjamin keandalan struktur selama masa operasi. Salah satu faktor yang memengaruhi kualitas sambungan las adalah sudut kampuh yang digunakan pada proses pengelasan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi sudut kampuh *Single V Joint* terhadap sifat mekanik sambungan las *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) pada baja AH36 ASTM A131. Variasi sudut kampuh yang digunakan yaitu 40°, 50°, dan 60°. Pengujian yang dilakukan meliputi uji tarik berdasarkan ASTM A370 dan uji bending berdasarkan ASTM E190 dengan *accepted criteria* sesuai standar AWS D1.1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi sudut kampuh memberikan pengaruh terhadap karakteristik mekanik sambungan las. Sudut kampuh 50° menghasilkan nilai *Ultimate Tensile Strength* sebesar 518,43 MPa, *Yield Strength* sebesar 374,42 MPa, *Elongation* sebesar 31,36%, dan *Reduction of Area* sebesar 57,97%, yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Sementara itu, seluruh spesimen pada pengujian bending dinyatakan *accepted* tanpa ditemukan retak maupun cacat terbuka. Berdasarkan hasil tersebut, sudut kampuh 50° dapat dianggap sebagai kondisi optimum karena menghasilkan kombinasi kekuatan dan keuletan terbaik dengan kualitas sambungan yang memenuhi standar pengujian bending.

Kata Kunci: FCAW, AH36, sudut kampuh, uji tarik, uji bending.

Abstract

The shipping industry requires high-quality welded joints to ensure structural reliability during operation. One of the factors that affect the quality of welded joints is the bevel angle used in the welding process. This study aims to analyze the effect of variations in the bevel angle of Single V Joints on the mechanical properties of Flux Cored Arc Welding (FCAW) welded joints on AH36 ASTM A131 steel. The variations in bevel angles used are 40°, 50°, and 60°. The tests carried out include tensile tests based on ASTM A370 and bending tests based on ASTM E190 with accepted criteria according to the AWS D1.1 standard. The results show that variations in the bevel angle have an effect on the mechanical characteristics of welded joints. The 50° bevel angle produces an Ultimate Tensile Strength value of 518.43 MPa, Yield Strength of 374.42 MPa, Elongation of 31.36%, and Reduction of Area of 57.97%, which is the highest value compared to other variations. Meanwhile, all specimens in the bending test were declared accepted with no cracks or open defects found. Based on these results, a 50° bevel angle can be considered the optimum condition because it produces the best combination of strength and ductility with a connection quality that meets bending test standards.

Keywords: FCAW, AH36 steel, groove angle, tensile test, bending test

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi konstruksi modern menjadikan proses pengelasan sebagai bagian penting dalam fabrikasi dan perbaikan struktur logam. Pengelasan merupakan metode penyambungan logam melalui proses pencairan material sehingga terbentuk ikatan permanen antarlogam. Pada industri perkapalan, kualitas sambungan las berpengaruh langsung terhadap kekuatan, keandalan, dan keselamatan struktur kapal selama beroperasi di lingkungan laut yang memiliki beban dinamis dan korosif. Oleh karena itu, keberhasilan proses pengelasan sangat dipengaruhi oleh pengendalian setiap tahapan pekerjaan, mulai dari perencanaan hingga pelaksanaan pengelasan (Dwi Maylano et al., 2022).

Kegagalan struktur kapal sering kali diawali oleh cacat lokal pada sambungan las. Data kasus yang terdokumentasi dalam *Marine Structural Failures Database* menunjukkan bahwa cacat berupa kurangnya

penetrasi, kualitas fusi yang rendah, dan ketangguhan sambungan yang buruk dapat menjadi sumber awal terjadinya kerusakan struktural (Vukelic, 2018). Salah satu contoh adalah kegagalan kapal tanker *MV Kurdistan* pada tahun 1979 yang mengalami patah getas hingga terbelah menjadi dua. Investigasi menunjukkan bahwa retak bermula dari cacat pada sambungan *butt weld* yang kemudian berkembang akibat kombinasi beban lentur, tegangan sisa pengelasan, dan tegangan termal selama operasi kapal (Vukelic, 2018). Temuan tersebut menegaskan pentingnya kualitas sambungan dan desain kampuh dalam menjaga integritas struktur kapal.

Salah satu faktor yang memengaruhi kualitas sambungan las adalah bentuk dan sudut kampuh. Pada konstruksi kapal baja, kampuh V tunggal banyak digunakan karena mampu menghasilkan penetrasi yang baik dan memiliki ketahanan terhadap beban tekan yang tinggi. Kampuh ini umumnya diterapkan pada pelat dengan ketebalan 5–20 mm dan menggunakan sudut

kampuh antara 60° hingga 90° untuk memperoleh penetrasi penuh (*full penetration*) (Anjana Putra Famoesa et al., 2020). Variasi sudut kampuh berpengaruh terhadap volume logam las, distribusi panas, kedalaman penetrasi, serta sifat mekanis sambungan yang dihasilkan. Penelitian (Singh et al., 2019) menunjukkan bahwa perubahan sudut kampuh memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan sambungan las. Sudut yang terlalu besar berpotensi meningkatkan *heat input* dan distorsi, sedangkan sudut pada kisaran 50° – 60° menghasilkan penetrasi dan fusi logam yang lebih optimal.

Material yang banyak digunakan pada konstruksi kapal adalah baja AH36 yang termasuk dalam standar ASTM A131. Baja ini memiliki kekuatan tarik tinggi, ketahanan yang baik terhadap lingkungan laut, serta kemampuan las (*weldability*) yang baik karena kandungan karbonnya relatif rendah, yaitu maksimum 0,18%. Karakteristik tersebut menjadikan baja AH36 sesuai untuk struktur kapal, tetapi tetap memerlukan proses pengelasan yang tepat agar sifat mekaniknya tidak mengalami penurunan selama proses penyambungan (Purnama et al., 2020).

Untuk penyambungan baja AH36, salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Flux Cored Arc Welding* (FCAW). Proses FCAW memiliki produktivitas tinggi dan sesuai untuk kebutuhan fabrikasi kapal. Penggunaan *backing ceramic* pada pengelasan satu sisi juga mampu meningkatkan kualitas penetrasi dan efisiensi proses dibandingkan pengelasan dua sisi yang membutuhkan waktu dan biaya lebih besar (Muhammad Alfi Rachmawan & Erifive Pranatal, 2023). Meskipun demikian, kualitas sambungan yang dihasilkan tetap dipengaruhi oleh desain kampuh dan sudut kampuh yang digunakan (Dicky Almada et al., 2021).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sudut kampuh optimum dapat berbeda pada setiap material dan metode pengelasan. (Nugroho et al., 2022) menemukan bahwa sudut kampuh 60° menghasilkan sifat mekanis terbaik pada baja karbon API 5L X46 dengan proses SMAW. Sebaliknya, penelitian (Taufan Adi Candra, 2023) menunjukkan bahwa sudut 90° memberikan kekuatan mekanis tertinggi pada baja ST 42. Perbedaan hasil tersebut mengindikasikan bahwa pengaruh sudut kampuh sangat bergantung pada karakteristik material dan parameter pengelasan yang digunakan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menganalisis pengaruh variasi sudut kampuh V tunggal 40° , 50° , dan 60° terhadap sifat mekanis sambungan las baja AH36 menggunakan proses FCAW dengan *backing ceramic*. Pemilihan rentang sudut tersebut mengacu pada standar AWS D1.1 (American Welding Society, 2020), yang menetapkan sudut kampuh *single V joint* pada kisaran 45° – 60° . Sudut 40° dipilih sebagai variasi eksperimental untuk mengevaluasi kemungkinan peningkatan efisiensi penggunaan logam pengisi dan penurunan *heat input* tanpa mengurangi kualitas sambungan. Hingga saat ini, penelitian yang secara khusus membandingkan pengaruh variasi sudut kampuh tersebut terhadap sifat mekanis sambungan las baja AH36

dengan metode FCAW dan *backing ceramic* masih terbatas. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan data empiris mengenai pengaruh variasi sudut kampuh terhadap kualitas sambungan las yang dihasilkan.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental (*experimental research*) yang dilakukan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara beberapa variabel yang saling berkaitan dengan cara memberikan perlakuan tertentu (*treatment*) (Sugiyono, 2013). Pada penelitian ini, penelitian menguji pengaruh variasi sudut kampuh *Single V Joint* pada proses pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) terhadap material baja AH36 ASTM A131. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi sudut kampuh terhadap hasil uji bending dan karakteristik tegangan-regangan (*stress-strain*) pada material AH36 pasca pengelasan.

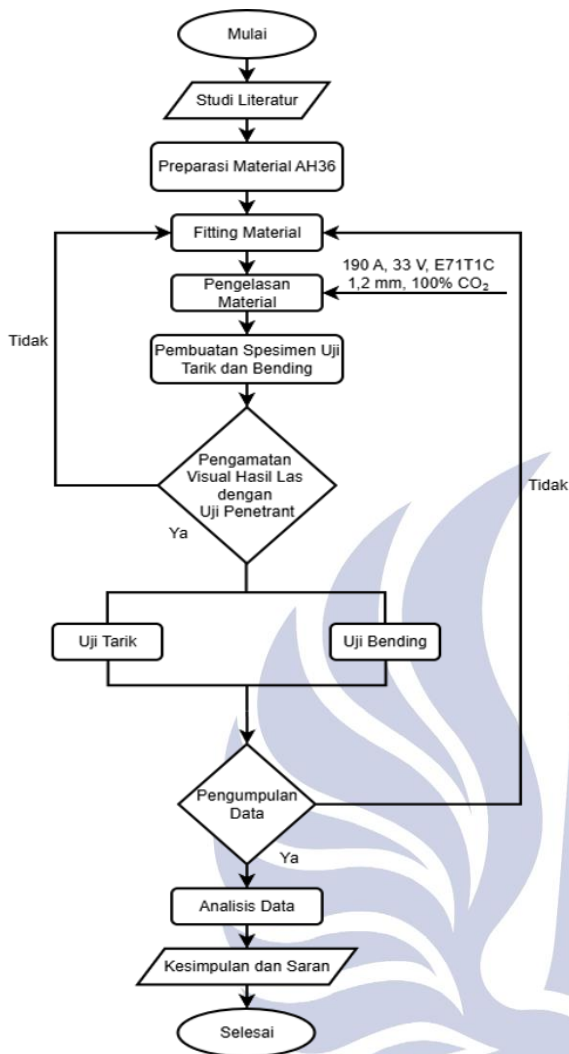
Tempat dan Waktu Penelitian

- Lokasi Penelitian
Tempat penelitian pada tugas akhir ini dilaksanakan di Galangan Kapal Negeri di Surabaya
- Waktu Penelitian
Waktu penelitian ini dimulai dari bulan Februari 2026 sampai April 2026.

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
 1. Variasi sudut kampuh 40° , 50° , dan 60° .
- Variabel Terikat
 1. Uji Tarik
 2. Uji Bending
- Variabel Kontrol
 1. Jenis material menggunakan baja AH36.
 2. Ketebalan material menggunakan 12 mm.
 3. Posisi pengelasan 1G (*flat*) dan pengelasan *one side* dengan bantuan *backing ceramic*.
 4. Gap pengelasan 5 mm
 5. Pengelasan menggunakan FCAW dengan gas 100% CO_2 .
 6. Kawat las menggunakan tipe AWS E71T-1C ukuran 1,2 mm.
 7. Arus yang digunakan 190 A dan Tegangan yang digunakan 33 V, dengan polaritas DC+
 8. Ketebalan *root pass* sebesar 4 mm, *fill pass* sebesar 6 mm dibagi 2 layer menjadi 3 mm setiap layer, dan *cap pass* sebesar 2 mm
 9. Menggunakan pengujian material uji tarik dan uji bending
 10. Pengelasan dilakukan oleh *welder* yang sudah bersertifikasi

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui observasi langsung selama proses pengelasan dan pengujian spesimen. Hasil pengujian tarik dan bending dicatat, diolah, serta disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menganalisis pengaruh variasi sudut kampuh terhadap sifat mekanis sambungan las baja AH36.

Teknik Analisa Data

Data hasil uji tarik dan bending dianalisis secara kuantitatif deskriptif untuk mengkaji pengaruh variasi sudut kampuh Single V Joint (40°, 50°, dan 60°) terhadap karakteristik mekanis sambungan las baja AH36. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan standar yang digunakan sebagai acuan penelitian.

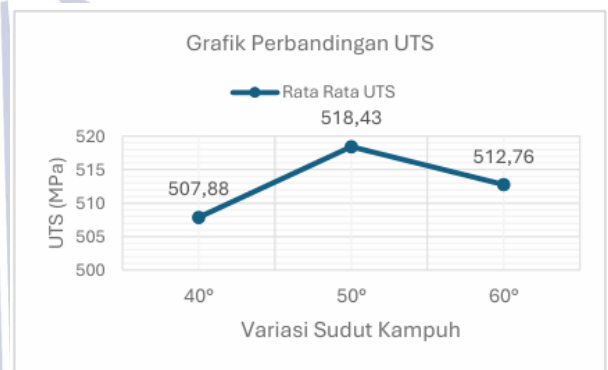
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Tarik

Tabel 1 Hasil Pengujian Tarik

Test Piece (No)	UTS(σ ultm) (MPa)	Yield stress (σ yield) (MPa)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)	
40°	1.	524,61	370,65	30	55,8
	2.	507,33	357,33	31,4	55,75
	3.	491,70	368,35	30,2	56,46
Rata - rata	507,88	365,44	30,53	56	
Standar Deviasi	16,46	7,12	0,76	0,40	
50°	1.	517,92	371,47	33,1	57,21
	2.	518,79	368,13	30	55,96
	3.	518,59	383,67	31	60,73
Rata - rata	518,43	374,42	31,36	57,97	
Standar Deviasi	0,46	8,18	1,58	2,47	
60°	1.	528,62	372,24	28,8	50,72
	2.	501,70	362,91	29,4	51
	3.	507,97	374,41	29	50,25
Rata - rata	512,76	369,85	29,07	50,65	
Standar Deviasi	14,09	6,11	0,31	0,38	

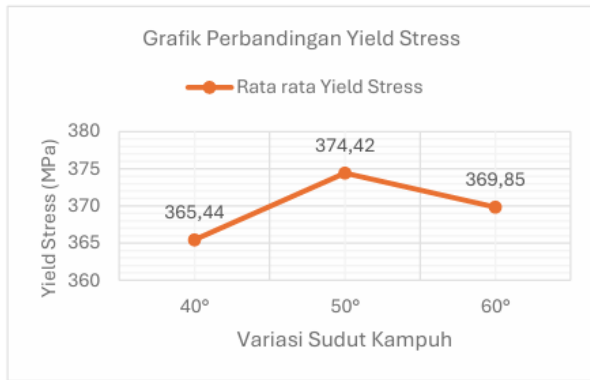
Pada Tabel 1 Memberikan informasi perbedaan variasi sudut kampuh pada nilai UTS, Yield Stress, Elongation, dan Reduction of Area.



Grafik 1 Grafik Perbandingan UTS

Berdasarkan Grafik 1, nilai *ultimate tensile strength* (UTS) meningkat dari 507,88 MPa pada sudut kampuh 40° menjadi 518,43 MPa pada sudut 50°, kemudian menurun menjadi 512,76 MPa pada sudut 60°. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sudut kampuh 50° menghasilkan kekuatan tarik maksimum yang paling optimal. Peningkatan nilai UTS hingga sudut 50° mengindikasikan bahwa penetrasi dan peleburan logam berlangsung lebih efektif sehingga kualitas sambungan meningkat. Sebaliknya, pada sudut 60° terjadi penurunan kekuatan tarik yang diduga disebabkan oleh meningkatnya volume logam las dan *heat input*, yang dapat mendorong pertumbuhan butir kasar pada daerah *heat affected zone* (HAZ) sehingga menurunkan kekuatan material. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Singh et al., 2019) yang menyatakan bahwa sudut kampuh yang terlalu besar berpotensi meningkatkan *heat input* dan menurunkan sifat mekanis sambungan las.

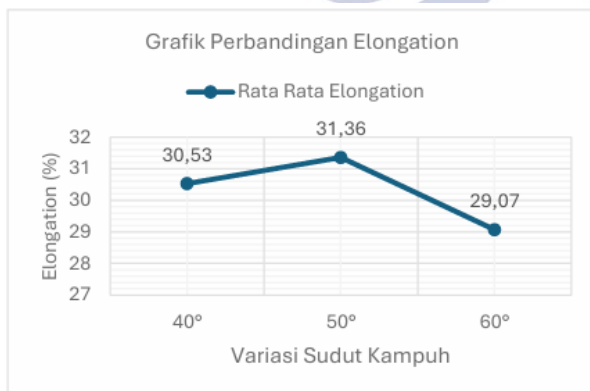
Variasi nilai UTS yang diperoleh juga dapat dipengaruhi oleh faktor preparasi spesimen sebelum pengujian. Ketidakteraturan pada proses *grinding* berpotensi menyebabkan perubahan dimensi penampang maupun terbentuknya cacat permukaan yang dapat menjadi titik konsentrasi tegangan saat pengujian tarik dilakukan.



Grafik 2 Grafik Perbandingan Yield Stress

Berdasarkan Grafik 2, nilai *yield stress* menunjukkan tren peningkatan dari 365,44 MPa pada sudut kampuh 40° menjadi 374,42 MPa pada sudut 50°, kemudian menurun menjadi 369,85 MPa pada sudut 60°. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sudut kampuh 50° memberikan kemampuan terbaik dalam menahan deformasi plastis awal. Peningkatan *yield stress* hingga sudut 50° menunjukkan terbentuknya penetrasi dan fusi logam yang lebih baik, sedangkan penurunan pada sudut 60° mengindikasikan adanya pengaruh peningkatan *heat input* terhadap kualitas sambungan las.

Secara teoritis, sudut kampuh yang terlalu sempit berpotensi menyebabkan *incomplete penetration* dan *lack of fusion* yang dapat memicu konsentrasi tegangan pada daerah sambungan. Sebaliknya, sudut kampuh yang terlalu besar cenderung meningkatkan *heat input*, memperluas daerah *heat affected zone* (HAZ), serta mendorong pertumbuhan butir yang dapat menurunkan kekuatan material. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan (Nugroho et al., 2022) yang menunjukkan bahwa variasi sudut kampuh memengaruhi karakteristik tegangan-regangan dan sifat mekanis sambungan las.

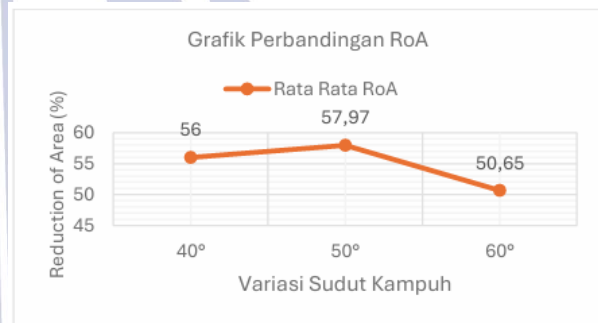


Grafik 3 Grafik Perbandingan Elongation

Berdasarkan Grafik 3, nilai *elongation* meningkat dari 30,53% pada sudut kampuh 40° menjadi 31,36% pada sudut 50°, kemudian menurun menjadi 29,07% pada sudut 60°. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sudut kampuh 50° menghasilkan tingkat keuletan terbaik, sedangkan peningkatan sudut hingga 60° menyebabkan penurunan kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis sebelum patah.

Nilai *elongation* dipengaruhi oleh kualitas sambungan las dan kondisi struktur mikro yang terbentuk selama proses pengelasan. Sudut kampuh yang terlalu sempit berpotensi menimbulkan cacat las seperti kurangnya penetrasi dan fusi, sehingga deformasi tidak terdistribusi secara merata. Sebaliknya, sudut kampuh yang terlalu besar dapat meningkatkan *heat input* dan memicu perubahan struktur mikro yang menurunkan keuletan material. Pada sudut kampuh yang optimal, deformasi plastis dapat berlangsung lebih merata sehingga nilai *elongation* menjadi lebih tinggi.

Penurunan *elongation* pada sudut 60° yang disertai dengan penurunan nilai *ultimate tensile strength* (UTS) menunjukkan bahwa peningkatan *heat input* berpotensi mengurangi kualitas sifat mekanis sambungan las. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Nugroho et al., 2022) yang menyatakan bahwa variasi sudut kampuh dan panas pengelasan berpengaruh terhadap keseimbangan antara kekuatan dan keuletan material.



Grafik 4 Grafik Perbandingan RoA

Berdasarkan grafik 4, Grafik perbandingan *Reduction of Area* (RoA), tren yang serupa juga terlihat, di mana nilai RoA meningkat dari 56% pada sudut 40° menjadi 57,97% pada sudut 50°, kemudian menurun secara signifikan pada sudut 60° menjadi 50,65%. Penurunan yang cukup besar pada sudut 60° menunjukkan berkurangnya kemampuan material dalam mengalami deformasi plastis sebelum patah. Dengan demikian, nilai RoA memperkuat hasil dari *elongation* bahwa sudut kampuh 50° memberikan tingkat keuletan terbaik, sedangkan sudut 60° menunjukkan penurunan performa deformasi plastis.

Secara teoritis, nilai RoA yang tinggi menunjukkan bahwa material memiliki keuletan yang baik dan mampu menahan deformasi sebelum kegagalan. Berdasarkan hasil pengujian, variasi sudut kampuh memengaruhi nilai RoA karena kualitas penetrasi dan fusi antar logam sangat menentukan kemampuan deformasi lokal pada sambungan las. Sudut kampuh yang optimal menghasilkan nilai RoA yang lebih tinggi karena sambungan memiliki ikatan yang kuat dan homogen. Sebaliknya, sudut yang terlalu kecil dapat menyebabkan cacat seperti *lack of fusion*, sedangkan sudut yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik akibat *heat input* berlebih. Hasil ini menunjukkan bahwa RoA memiliki kecenderungan yang sejalan dengan *elongation* dalam menggambarkan tingkat keuletan material, serta memperkuat bahwa desain kampuh berperan penting dalam kualitas sambungan las. Namun,

peningkatan keuletan ini tidak selalu diikuti dengan peningkatan kekuatan tarik, yang terlihat dari penurunan UTS pada sudut 60°. Hal ini sejalan dengan penelitian (Nugroho et al., 2022) yang menyatakan bahwa peningkatan parameter panas dalam pengelasan akan meningkatkan keuletan namun dapat menurunkan kekuatan material.

Secara keseluruhan, seluruh parameter menunjukkan tren yang serupa, yaitu meningkat dari sudut kampuh 40° ke 50° dan menurun pada sudut 60°. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sudut kampuh 50° merupakan kondisi yang paling optimal karena mampu menghasilkan keseimbangan antara penetrasi las, jumlah logam pengisi, dan distribusi panas selama proses pengelasan. Sudut kampuh 40° cenderung menghasilkan penetrasi dan fusi logam yang kurang sempurna akibat ruang kampuh yang lebih sempit. Sebaliknya, sudut kampuh 60° meningkatkan volume logam las dan *heat input*, yang berpotensi memperluas daerah *heat affected zone* (HAZ) serta meningkatkan tegangan sisa. Oleh karena itu, sudut kampuh 50° menghasilkan performa mekanis yang lebih baik dibandingkan variasi sudut lainnya.

Hasil Pengujian Bending
Tabel 2 Hasil Pengujian Bending

Test Piece (No)	Jenis Bending	Sudut & (Radius) Tekuk	Lokasi Retak	Panjang Retak	Hasil
40°	Face Bend	180° (48mm)	NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
	Root Bend		NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
50°	Face Bend	180° (48mm)	NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
	Root Bend		NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
60°	Face Bend	180° (48mm)	NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
	Root Bend		NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED
			NO DEFECT	NO DEFECT	ACCEPTED

Pada Tabel 2 Memberikan informasi perbedaan variasi sudut kampuh, Jenis bending, Sudut & Radius tekuk, Lokasi retak, Panjang retak, dan Hasil keseluruhan.

Berdasarkan hasil uji bending pada Tabel 2, seluruh spesimen dengan variasi sudut kampuh 40°, 50°, dan 60° dinyatakan *accepted* pada pengujian *face bend* maupun *root bend*. Tidak ditemukan cacat berupa retak atau diskontinuitas permukaan sehingga seluruh spesimen memenuhi kriteria penerimaan menurut AWS D1.1 (American Welding Society, 2020). Pengujian yang dilakukan dengan sudut pembengkokan 180° dan radius tekuk 48 mm menunjukkan bahwa seluruh sambungan las mampu menahan deformasi lentur maksimum tanpa mengalami kegagalan.

Hasil tersebut didukung oleh pengujian penetran yang juga menunjukkan tidak adanya cacat permukaan pada daerah las. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kualitas sambungan yang dihasilkan memiliki integritas struktural yang baik dan memenuhi persyaratan inspeksi awal.

Keberhasilan uji bending sejalan dengan nilai *elongation* dan *reduction of area* (RoA) yang relatif tinggi pada hasil uji tarik, yang menunjukkan tingkat keuletan material yang baik. Kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis tanpa terbentuk retak memperlihatkan bahwa sambungan las tidak mengalami gejala *embrittlement* dan tetap mampu mempertahankan integritasnya pada pembebanan lentur. Selain itu, lokasi patah yang terjadi pada logam dasar (*base metal*) menunjukkan bahwa kekuatan logam las lebih tinggi dibandingkan material induk. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Nugroho et al., 2022) dan (Taufan Adi Candra, 2023) yang menyatakan bahwa parameter pengelasan yang tepat dapat menghasilkan sambungan las dengan performa bending yang baik tanpa cacat retak.

Karena seluruh spesimen memenuhi kriteria kelulusan uji bending, penentuan sudut kampuh optimum dalam penelitian ini lebih didasarkan pada hasil uji tarik. Berdasarkan nilai *yield stress*, *ultimate tensile strength* (UTS), *elongation*, dan karakteristik tegangan-regangan yang diperoleh, sudut kampuh 50° menunjukkan performa mekanis terbaik dibandingkan variasi sudut lainnya.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, variasi sudut kampuh *Single V Joint* berpengaruh terhadap sifat mekanik sambungan las FCAW pada baja AH36. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa sudut kampuh 50° menghasilkan performa terbaik dengan nilai *ultimate tensile strength* (UTS), *yield stress*, *elongation*, dan *reduction of area* (RoA) tertinggi, sehingga memberikan keseimbangan yang optimal antara kekuatan dan keuletan material. Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa seluruh spesimen pada variasi sudut 40°, 50°, dan 60° memenuhi kriteria penerimaan AWS D1.1 (American Welding Society, 2020) tanpa ditemukan cacat retak, yang menandakan bahwa sambungan las memiliki integritas struktural yang baik dan mampu menahan deformasi lentur maksimum. Secara keseluruhan, sudut kampuh 50° merupakan kondisi paling optimal karena mampu menghasilkan penetrasi yang baik dengan kontrol *heat input* yang lebih seimbang. Meskipun demikian, sudut kampuh 40° tetap menunjukkan sifat mekanik yang memenuhi persyaratan serta menawarkan keuntungan dari sisi efisiensi penggunaan logam las, waktu pengerjaan, dan konsumsi energi, sehingga berpotensi menjadi alternatif yang lebih ekonomis untuk aplikasi industri tertentu.

Saran

1. Menambahkan pengaruh variasi parameter pengelasan, seperti arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan, karena ketiga parameter tersebut berperan penting dalam menentukan besarnya *heat input* yang dapat memengaruhi kualitas serta sifat mekanik sambungan las.
2. Menambahkan analisis mikrostruktur pada daerah *weld metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *base metal* menggunakan mikroskop metalografi.

Analisis tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan struktur mikro dan fase yang terbentuk akibat proses pengelasan, serta menjelaskan keterkaitannya dengan karakteristik mekanik material, khususnya perubahan keuletan dan potensi terjadinya *embrittlement* (getas).

DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society. (2020). *Structural welding code--steel*. American Welding Society.
- Anjana Putra Famoesa, M., Imawan, P. S., Erifive Pranatal, dan, Teknik Perkapalan, J., & Teknologi Adhi Tama Surabaya Jl Arief Rachman Hakim, I. (2020). *Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V pada Sambungan Las FCAW dari Material Baja SS 400*.
- Dicky Almanda, M., Yudo, H., & Budiarto, U. (2021). Analisa Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 6061 Dengan Gas Pelindung Argon Grade A dan Grade C Pada Pengelasan GTAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(1).
- Dwi Maylano, G., Budiarto, U., & Wibawa Budi Santosa, A. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Double V Pada Sambungan Las SMAW (Shield Metal Arc Welding) Baja St 37 Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Impact. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10(1).
- Muhammad Alfi Rachmawan, & Erifive Pranatal. (2023). Analisis Kekuatan Hasil Las Backing Ceramic Pada Proses Pengelasan Fcaw Material Baja Karbon A36. *Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik Dan Teknologi Maritim*, 2(2), 97–110. <https://doi.org/10.58192/ocean.v2i2.1150>
- Nugroho, A. W., Hartanto, S., Nugroho, M. A. E., & Himarosa, R. A. (2022). Pengaruh Sudut Kampuh V Tunggal terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las SMAW pada Pipa Baja Karbon API 5L X46. *Semesta Teknika*, 25(2), 188–200. <https://doi.org/10.18196/st.v25i2.16896>
- Purnama, D., Winarto, W., Sofyan, N., Prihastomo, A., & Ito, K. (2020). Microstructure and mechanical properties of ah-36 steel weldment welded using magnesium modified E6013 electrode. *International Journal of Technology*, 11(1), 48–59. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i1.2737>
- Singh, T., Singh, A., & Saini, S. (2019). Effect of Groove Design on the Mechanical Properties of Shielded Metal Arc Welded Joints. *Indian Journal of Science and Technology*, 12(02), 1–8. <https://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i2/139920>
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif*.
- Taufan Adi Candra. (2023). *Pengaruh Variasi Sudut Kampuh "V" 60°, 75°, 90° Sambungan Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Terhadap Kekuatan Mekanis Pada Baja ST 42*.
- Vukelic, G. (2018). *Marine Structural Failures Database*.