

Effect of Weld Groove Type Variations on Deformation in Structural Carbon Steel Butt Joint Welding Using the Finite Element Method

Muhammad Daffa Dzaky^{1*}, Delima Yanti Sari¹, Waskito¹, Junil Adri¹

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang,
INDONESIA

Corresponding author: mdaffadzaky17@gmail.com

Received July 14th 2025; Revised August 2th 2025; Accepted August 14th 2025

Abstract

Deformation in welded joints can reduce the precision, strength, and service life of a structure, especially in structural carbon steel commonly used in the construction industry. One of the main factors influencing deformation is the type and angle of the weld groove. This study aims to analyze the effect of groove type and angle variations on deformation in butt joint welding of structural carbon steel. The method used is a numerical simulation based on the Finite Element Method (FEM) using ANSYS software, consisting of transient thermal and transient structural analyses. The groove variations include V-grooves with angles of 45°, 60°, and 75°, as well as U-grooves with angles of 50°, 60°, and 70°. The simulation results show that the V-groove with a 45° angle produces the maximum deformation of 2.1317 mm, while the U-groove with a 70° angle results in the minimum deformation of 0.23808 mm. These findings indicate that U-grooves generally produce lower deformation compared to V-grooves. Therefore, selecting the appropriate groove design can enhance the quality of weld joints and the overall structural performance.

Keywords: Weld Groove; Finite Element Method; Deformation; Structural Carbon Steel

Pengaruh Variasi Jenis Kampuh Las terhadap Deformasi pada Pengelasan Baja Karbon Struktural *Butt Joint* Menggunakan Metode Elemen Hingga

Abstrak

Deformasi pada sambungan las dapat menurunkan presisi, kekuatan, dan umur pakai struktur, terutama pada baja karbon struktural yang umum digunakan pada industri konstruksi. Salah satu faktor utama yang memengaruhi deformasi adalah jenis dan sudut kampuh las. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis dan sudut kampuh terhadap deformasi pada pengelasan sambungan *butt joint* baja karbon struktural. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik berbasis Metode Elemen Hingga (FEM) dengan perangkat lunak ANSYS, yang terdiri dari analisis termal transien dan analisis struktural transien. Variasi kampuh meliputi kampuh V dengan sudut 45° , 60° , dan 75° , serta kampuh U dengan sudut 50° , 60° , dan 70° . Hasil simulasi menunjukkan bahwa kampuh V dengan sudut 45° menghasilkan deformasi maksimum sebesar 2,1317 mm, sedangkan kampuh U dengan sudut 70° menghasilkan deformasi minimum sebesar 0,23808 mm. Temuan ini menunjukkan bahwa kampuh U secara umum memberikan deformasi yang lebih kecil dibandingkan kampuh V. Oleh karena itu, pemilihan desain kampuh yang tepat dapat meningkatkan kualitas sambungan las dan kinerja struktural secara keseluruhan.

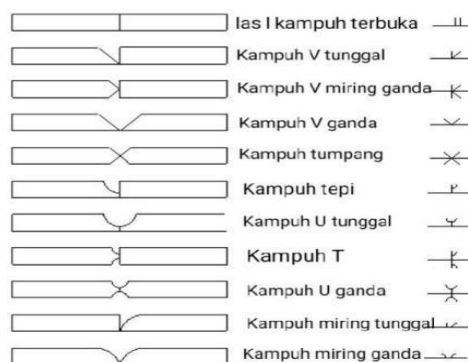
Kata kunci: Kampuh Las; Metode Elemen Hingga; Deformasi; Baja Karbon Struktural

I. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu proses manufaktur yang penting dalam dunia industri, terkhusus di bidang konstruksi dan fabrikasi (Hamid, 2016). Pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non-logam dengan cara memanaskan material hingga mencapai suhu las, yang dapat dilakukan dengan atau tanpa tekanan serta dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*). (Hilmy et al., 2016).

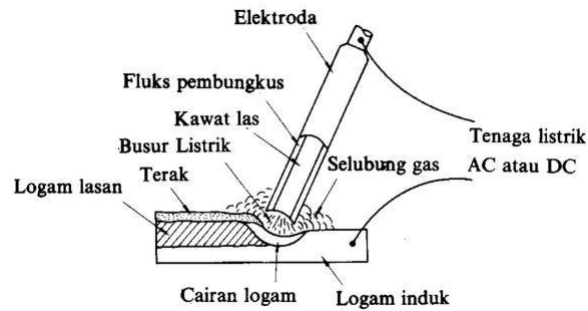
Salah satu parameter penting dalam pengelasan adalah desain kampuh atau bentuk alur sambungan yang akan dilas. Jenis kampuh tidak hanya menentukan kualitas visual hasil las, tetapi juga memengaruhi distribusi panas, tegangan sisa, dan deformasi yang terjadi setelah proses pengelasan. Hal ini menjadi penting mengingat deformasi dan tegangan sisa yang tidak terkontrol dapat menurunkan integritas struktur dan menyebabkan kegagalan dini pada sambungan.

Variasi bentuk kampuh dalam praktik industri seperti kampuh V, kampuh U, dan kampuh bevel sering digunakan menyesuaikan kebutuhan kekuatan sambungan dan efisiensi proses pengelasan. Bentuk kampuh yang berbeda menyebabkan perubahan dalam jalur aliran panas dan laju pendinginan selama pengelasan, yang selanjutnya memengaruhi distribusi suhu dan perilaku termomekanik material. Oleh karena itu, penting untuk memahami sejauh mana pengaruh variasi kampuh terhadap kondisi deformasi sambungan agar desain pengelasan dapat dioptimalkan.



Gambar 1. Berbagai Jenis Kampuh Las (Achmadi, 2022)

Penelitian terdahulu oleh Farahani et al. (2009) menunjukkan bahwa geometri kampuh berpengaruh signifikan terhadap pola distribusi panas pada pengelasan pelat baja. Studi ini menekankan pentingnya pengendalian bentuk kampuh untuk meminimalkan tegangan internal pasca-pengelasan. Gaurav Dak dan Chandan Pandey (2022) juga melakukan simulasi termal dan mekanik pada pengelasan *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW), dan hasilnya menunjukkan bahwa variasi kampuh menghasilkan nilai deformasi yang berbeda-beda meskipun parameter pengelasan lainnya dibuat konstan. Berdasarkan hasil studi tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemilihan jenis kampuh merupakan faktor kunci dalam mengendalikan hasil akhir sambungan las, baik secara struktural maupun termal.



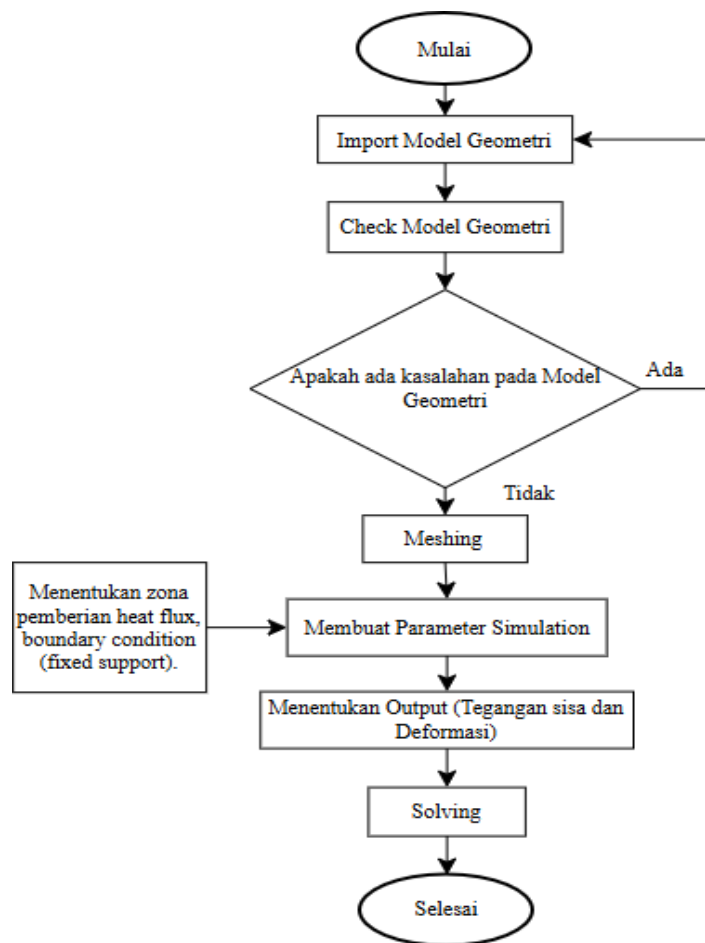
Gambar 2. Skema Proses Pengelasan (Wiryosumarto, 2000)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis kampuh terhadap deformasi pada pengelasan baja karbon struktural menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*, FEM) berbasis perangkat lunak ANSYS. Simulasi numerik dipilih karena mampu memodelkan perilaku termomekanik secara detail dan efisien, serta dapat digunakan untuk membandingkan respons material terhadap perlakuan panas akibat pengelasan pada berbagai konfigurasi kampuh.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan kontribusi ilmiah dalam bentuk pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh desain kampuh terhadap hasil akhir sambungan las. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi acuan bagi para praktisi teknik dalam merancang sambungan las yang lebih andal, dengan risiko deformasi yang lebih rendah, sehingga meningkatkan umur pakai dan keselamatan struktur secara keseluruhan.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Elemen Hingga (FEM) dengan bantuan *software* ANSYS. Jenis Analisis yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu *transient thermal analysis* dan *transient structural analysis*. Pada tahap pertama, dilakukan analisis termal transien untuk memperoleh distribusi temperatur terhadap waktu selama proses pengelasan. Hasil dari analisis termal ini kemudian dijadikan beban termal (*thermal load*) pada analisis struktural transien untuk mengevaluasi deformasi yang terjadi akibat perubahan temperatur secara dinamis. Model kampuh yang digunakan terdiri dari kampuh V dengan sudut 45°, 60°, dan 75°, serta kampuh U dengan sudut 50°, 60°, dan 70° yang memiliki jari-jari lengkung 3,7 mm yang terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Model-model ini dirancang menggunakan *software* SOLIDWORKS. Untuk lebih detailnya dapat dilihat dalam diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram simulasi FEM

1. Desain dan *Material Properties*

Desain yang digunakan berupa pelat yang memiliki dimensi 500 x 300 x 10 mm dengan sambungan *butt joint* pada bagian tengah pelat. Material yang digunakan pada pelat adalah AISI 1045 yang merupakan naja karbon sedang dan elektroda yang digunakan untuk mengelas adalah E7018. Data material ini diambil berdasarkan penelitian oleh Alhilmy (2023) yang dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel.1 *Thermal Properties* Baja AISI 1045 (Alhilmy, 2023)

Temperature (°C)	Specific Heat (J/Kg°C)	Conductivity (W/m°C)	Density (Kg/m ³)
20	460	49,77	7850
100	480	46,76	7830
200	498	43,24	7800
300	524	40,29	7770
400	524	37,87	7740
500	615	35,96	7700
600	690	33,18	7680
700	720	30,52	7672
800	682	27,96	7660
900	637	25,92	7651

Tabel 2. *Mechanical Properties* Baja AISI 1045 (Alhilmy, 2023)

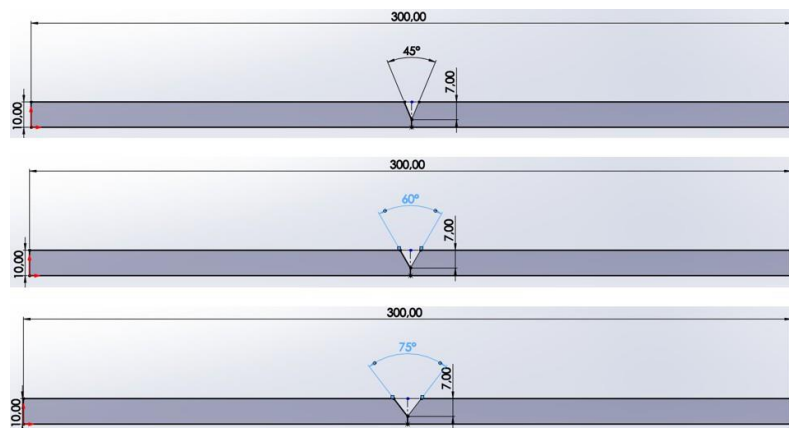
Temperature (°C)	Young Modulus (Gpa)	Poisson's Ratio
25	209,577	0,288
100	206,238	0,291
300	192,774	0,299
600	158,763	0,310
800	128,028	0,350
1000	108,302	0,362
1200	88,051	0,485

Tabel 3. *Material Properties* Elektroda E7018

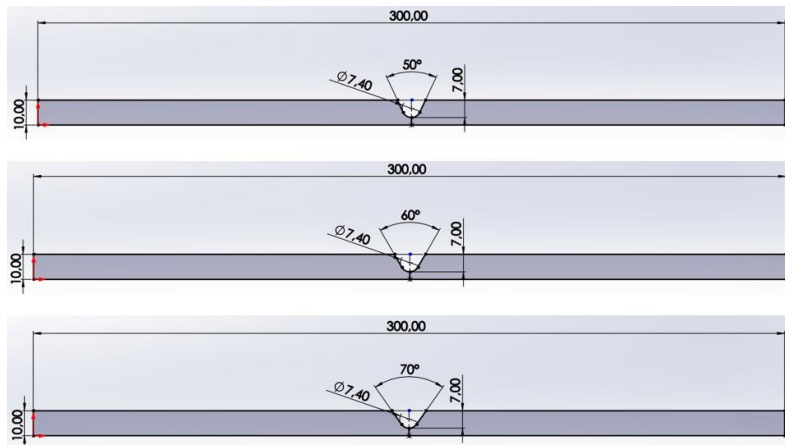
Properti	Nilai	Satuan
<i>Density</i> (ρ)	7,850	kg/m ³
<i>Young's Modulus</i> (E)	200×10^9	Pa (N/m ²)
<i>Poisson's Ratio</i> (ν)	0.30	-
<i>Yield Strength</i> (σ)	490×10^6	Pa
<i>Ultimate Tensile Strength</i> (UTS)	$550-600 \times 10^6$	Pa
<i>Thermal Conductivity</i> (k)	45-60	W/m·K
<i>Specific Heat</i> (c)	460	J/kg·K
<i>Coefficient of Thermal Expansion</i> (α)	12×10^{-6}	/°C
<i>Hardness</i> (Brinell)	170-200	HB

Material properties dari elektroda E7018 dalam analisis ini diperoleh berdasarkan estimasi sifat baja karbon umum. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya data spesifik yang secara langsung menyebutkan sifat mekanik dan termal elektroda ini setelah proses pengelasan. Elektroda E7018 memiliki komposisi dan mikrostruktur yang dapat bervariasi akibat pengaruh suhu tinggi dan pendinginan cepat saat proses pengelasan, sehingga sifat akhirnya bisa berbeda dari baja karbon standar.

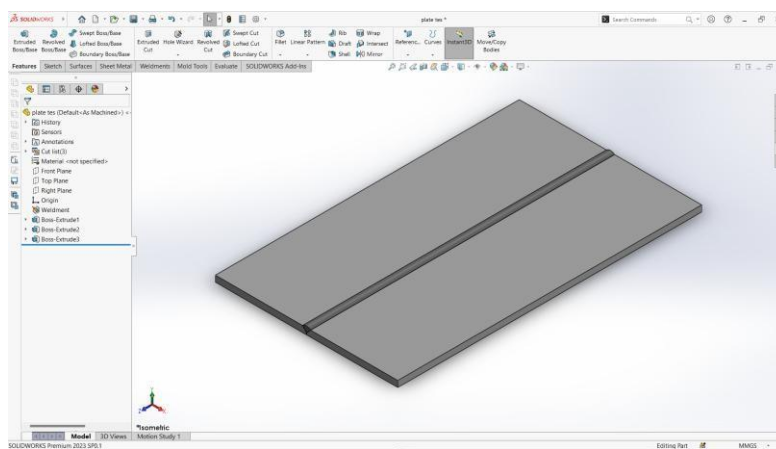
Sebagai pendekatan, sifat-sifat seperti *Young's Modulus*, *Poisson's Ratio*, *Specific Heat*, *Thermal Conductivity*, dan *Density* diambil dari referensi baja karbon dengan karakteristik yang paling mendekati, seperti AISI 1020 dan AISI 1045.



Gambar 4. *Sketch* kampuh V sudut 45°, 60°, dan 75°



Gambar 5. *Sketch* kampuh U sudut 50°, 60°, dan 70°



Gambar 6. Desain 3D dengan Solidworks

2. Simulasi Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode Elemen Hingga (FEM) merupakan analisis numerik dengan mendiskretisasi objek menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Proses analisis diawali dengan pembuatan desain benda kerja yang akan digunakan dalam simulasi pengelasan. Desain pelat dapat dilihat pada Gambar 6.

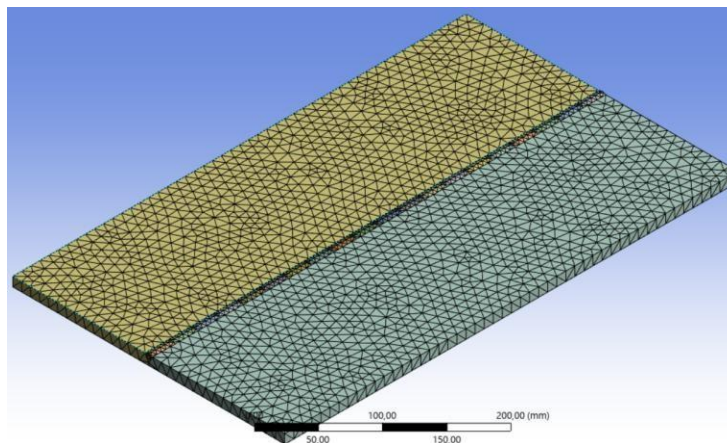
Setelah desain selesai dibuat, model kemudian diimpor ke dalam software ANSYS untuk dilakukan simulasi numerik. Tahap awal sebelum simulasi adalah proses *meshing*. Parameter *mesh* yang digunakan disajikan pada Tabel 4. sedangkan hasil *meshing* ditampilkan pada Gambar 7.

Tabel 4. Parameter Simulasi

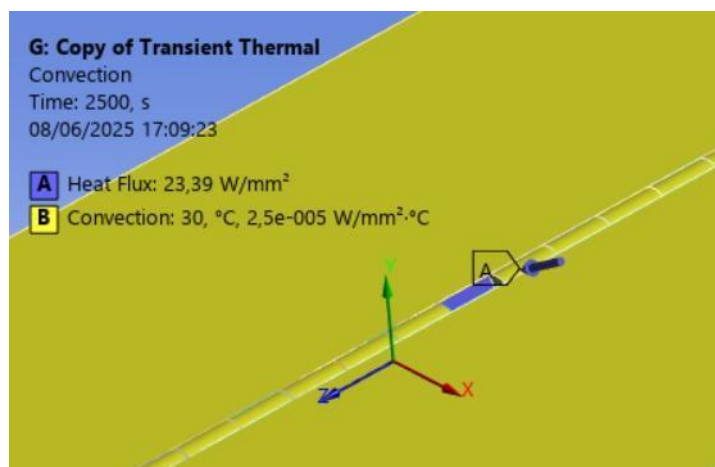
Parameter	Kategori	Keterangan
Jenis Material	AISI 1045	Medium Carbon Steel
Panjang Pelat	500 mm	Ukuran seragam pada semua model
Lebar Pelat	300 mm	
Tebal Pelat	10 mm	
Jenis Kampuh	V dan U	Variabel bebas dalam penelitian
Metode Pengelasan	Simulasi <i>Heat Flux</i>	Beban panas diberikan di area kampuh
Temperatur Awal (ambient)	30 °C	Suhu kamar

Parameter	Kategori	Keterangan
Boundary Condition	<i>Fixed support</i> pada fase bagian bawah salah satu pelat	Mencegah pergerakan bebas
Tipe Elemen	Tetrahedral	Elemen 3D
Ukuran <i>Mesh</i> pada Logam Induk		
Ukuran <i>Mesh</i> pada Kampuh	5 mm	Mesh lebih halus di daerah kampuh
<i>Mesh metric</i>	<i>Skewness</i>	
Jumlah elemen	13.814	
Jumlah <i>node</i>	27.749	

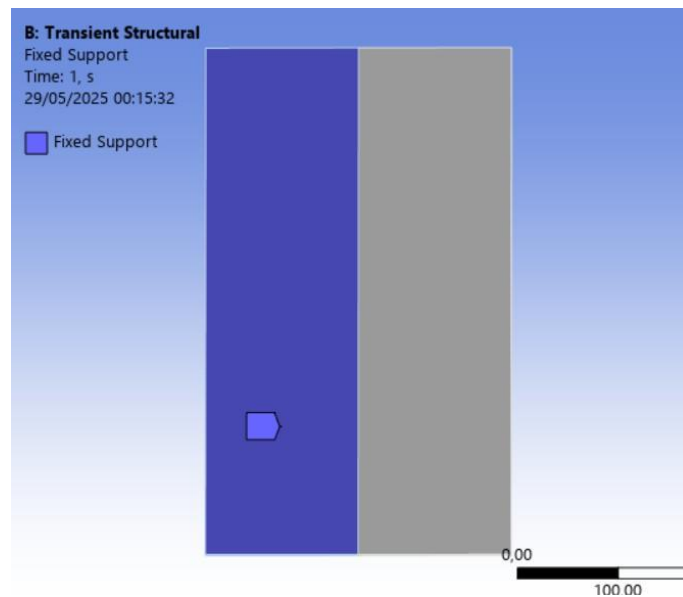
Setelah melakukan meshing, tahap selanjutnya adalah setup data yang diperlukan pada simulasi. Data yang digunakan adalah suhu awal pada benda kerja sebesar 30 °C, suhu lingkungan sebesar 30 °C dan koefisien perpindahan konveksi sebesar $2,5 \times 10^{-5} \text{ W/mm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ untuk lebih lengkapnya bisa dilihat pada Tabel 4.



Gambar 7. Hasil *Meshing* pada Salah Satu Pelat



Gambar 8. Proses Setup Sebelum Menjalankan Simulasi



Gambar 9. Peletakkan *Fixed Support* pada Benda Kerja

III. HASIL PENELITIAN

1. Perhitungan *Heat Flux*

Pada proses pengelasan, beban yang akan diterima oleh *base metal* nantinya adalah beban dari *heat flux*. *Heat flux* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arus listrik, tegangan, dan kecepatan pengelasan. Perhitungan *heat flux* pada pengelasan SMAW dapat dilihat pada perhitungan berikut.

Kuat Arus (I) = 100A

Voltase (V) = 20V

Efisiensi SMAW (η) = 0,8

Kecepatan pengelasan = 2 mm/s

Perhitungan *heat input*:

$$Q = \frac{\eta V I}{v A} \quad (1)$$

Dengan:

- Q: *Heat flux* (W/mm²)
- η : Efisiensi pengelasan
- V: Tegangan (Volt)
- I: Arus (Ampere)
- A: Luas area kampuh las (mm²)

Menggunakan persamaan 1 data dihitung menggunakan parameter yang ada pada Tabel 5. Data ini dihitung dengan persamaan tersebut menggunakan Excel, dan diperoleh hasil seperti pada Tabel 5. berikut.

Tabel 5. *Heat Flux* pada Masing-Masing Kampuh

Jenis Kampuh	Sudut Kampuh	Luas Kampuh (mm ²)	Heat Flux (W/mm ²)
V-groove	45°	22,54	53,24
	60°	34,20	35,09
	75°	50,95	23,55
U-groove	50°	65,08	18,44
	60°	71,80	16,71
	70°	81,04	14,81

2. Hasil Simulasi Deformasi

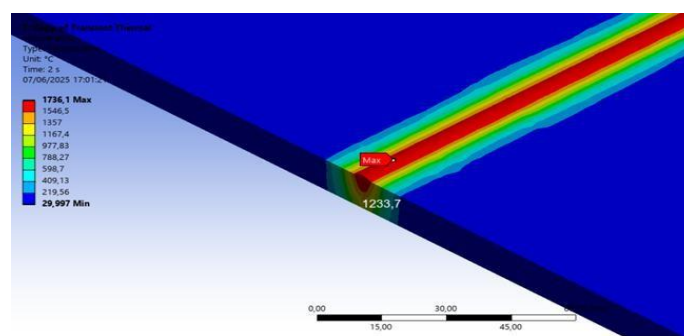
Setelah melakukan analisis *transient thermal* dan *transient structural* pada simulasi pengelasan, maka diperoleh hasil berupa deformasi total. Hasil deformasi total pada masing-masing variasi kampuh dapat dilihat pada Tabel 6. berikut.

Tabel 6. Hasil Deformasi Total

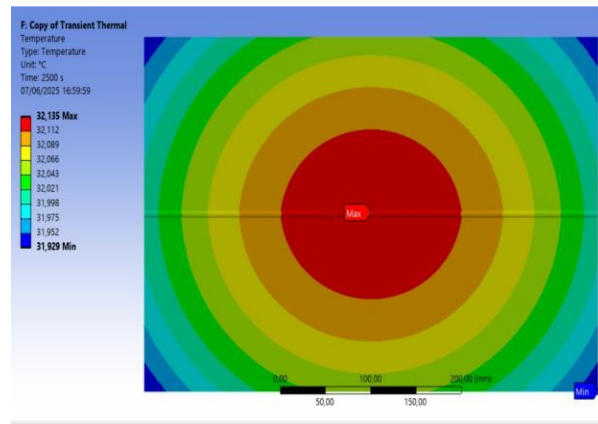
Jenis Kampuh Las	Sudut Kampuh (°)	Deformasi (mm)
V-groove	45°	2,1317
	60°	1,3913
	75°	0,84797
U-groove	50°	0,35736
	60°	0,43034
	70°	0,23808

IV. PEMBAHASAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi jenis dan sudut kampuh las memberikan pengaruh terhadap deformasi total pada sambungan las *butt joint* pada baja karbon struktural. Geometri kampuh yang berbeda menyebabkan perbedaan pada volume logam las, penyebaran panas, dan konsentrasi tegangan selama proses pengelasan dan pendinginan (Sattari-Far & Farahani, 2009).



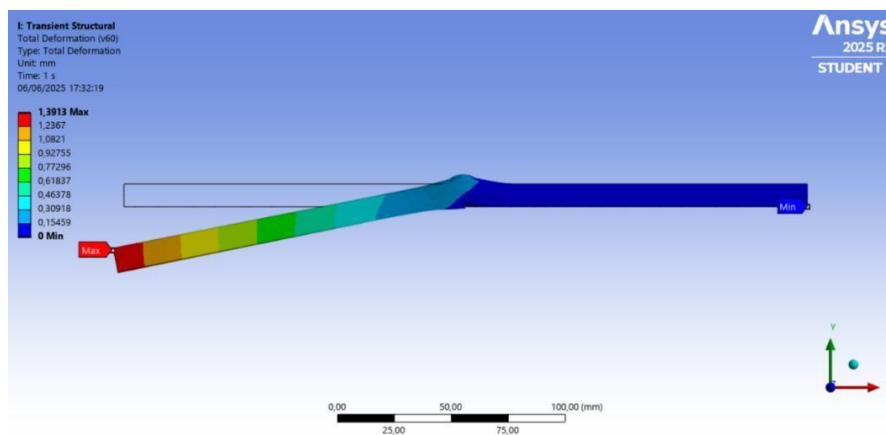
Gambar 10. Visualisasi Kontur pada Temperatur Puncak



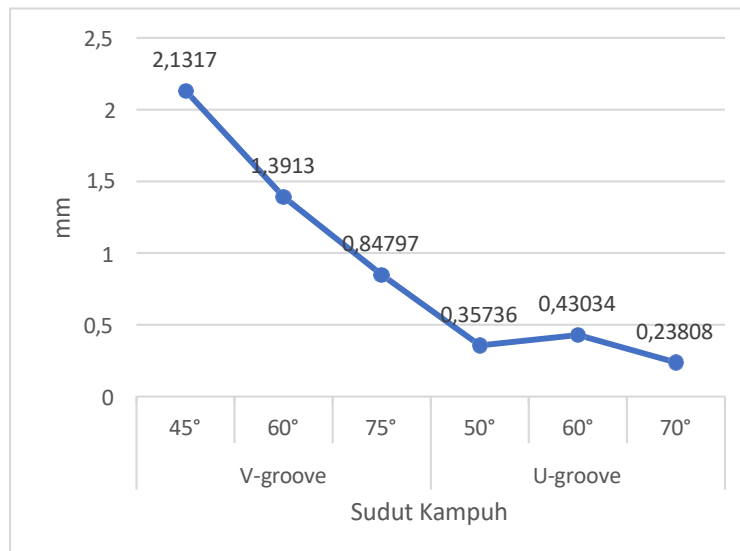
Gambar 11. Sebaran Panas Setelah Proses Pendinginan dengan Suhu Ruang

Kampuh V menunjukkan deformasi tertinggi pada sudut 45° sebesar 2,1317 mm, kemudian mengalami penurunan pada sudut 60° dan mencapai nilai terendah sebesar 0,84797 mm pada sudut 75° . Penurunan deformasi ini menunjukkan bahwa sudut kampuh yang lebih besar memberikan ruang leleh yang lebih merata dan pengaturan aliran panas yang lebih stabil, sehingga meminimalkan konsentrasi deformasi (Chen et al., 2012).

Deformasi pada kampuh U meningkat dari sudut 50° ke 60° , lalu kembali menurun di sudut 70° . Deformasi tertinggi dicapai pada sudut 60° sebesar 0,43034 mm, dan yang paling rendah terjadi pada sudut 70° yaitu 0,23808 mm. Meskipun deformasi pada kampuh U secara keseluruhan lebih kecil dibanding kampuh V, ketidakstabilan deformasi ini menunjukkan bahwa geometri kampuh berpengaruh terhadap distribusi panas dan arah ekspansi termal.



Gambar 13. Visualisasi Deformasi pada Salah Satu Pelat



Gambar 15. Grafik Deformasi terhadap Sudut Kampuh

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa variasi geometri kampuh las, baik dari jenis maupun sudutnya, memberikan pengaruh nyata terhadap perilaku termal dan mekanis sambungan las, khususnya pada parameter deformasi total. Pemilihan kampuh yang optimal harus mempertimbangkan deformasi yang minimal agar menghasilkan sambungan yang stabil dan presisi. Oleh karena itu, pemahaman mengenai distribusi panas serta perilaku material akibat proses pengelasan menjadi hal penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan proses manufaktur pengelasan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numerik yang dilakukan menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) terhadap variasi jenis dan sudut kampuh pada sambungan *butt joint* baja karbon struktural, dapat disimpulkan bahwa jenis dan sudut kampuh las memiliki pengaruh yang signifikan deformasi total pada sambungan las. Dalam studi ini, ditemukan bahwa deformasi maksimum ditemukan pada kampuh V dengan sudut 45°, yaitu sebesar 2,1317 mm, sementara deformasi terkecil terjadi pada kampuh U sudut 70°, sebesar 0,23808 mm.

Hasil ini menunjukkan bahwa kampuh U secara umum memiliki kecenderungan menghasilkan deformasi yang lebih kecil dibandingkan kampuh V. Temuan ini penting untuk dijadikan pertimbangan dalam proses desain pengelasan. Oleh karena itu, pemilihan jenis dan sudut kampuh las harus mempertimbangkan tingkat deformasi, guna mencapai kualitas sambungan las yang optimal baik dari sisi kekuatan maupun dimensi.

VI. REFERENSI

- Alfahmi, R., & Saifuddin, M. (2021). Analisa kekuatan sambungan kampuh V pada pengelasan carbon steel dengan stainless steel menggunakan elektroda E 309 terhadap kekuatan impact. *Journal of Welding Technology*, 3(2), 58–62.
- Alhilmy, F. (2023). *Simulasi Tegangan Sisa Sambungan Las Antara Baja AISI 1045 dan SS 202*. <http://eprints.umpo.ac.id/11874/%0Ahttp://eprints.umpo.ac.id/11874/4/2>. Halaman Depan.pdf
- Amanto, H., & Daryanto. (1999). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction. In Physical Basis of Plasticity in Solids (10th ed.)*. John Wiley & Sons, Inc. https://doi.org/10.1142/9789814374064_0002
- Chen, J., Schwenk, C., Wu, C. S., & Rethmeier, M. (2012). Predicting the influence of groove angle on

- heat transfer and fluid flow for new gas metal arc welding processes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(1–3), 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.08.046>
- Dak, G., & Pandey, C. (2022). Study on effect of weld groove geometry on mechanical behavior and residual stresses variation in dissimilar welds of P92/SS304L steel for USC boilers. In *Archives of Civil and Mechanical Engineering* (Vol. 22, Issue 3). Springer London. <https://doi.org/10.1007/s43452-022-00468-8>
- Deng, D., Murakawa, H., & Liang, W. (2008). Numerical and experimental investigations on welding residual stress in multi-pass butt-welded austenitic stainless steel pipe. *Computational Materials Science*, 42(2), 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2007.07.009>
- Erikman, E., Gunawan, Y., & Aksar, P. (2022). Analisis Distorsi Berbasis Metode Elemen Hingga Pada Proses Pengelasan Kampuh U dan V. *Enthalpy: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 7(3), 129. <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v7i3.27124>
- Feli, S., Aalami Aaleagha, M. E., Foroutan, M., & Borzabadi Farahani, E. (2012). Finite element simulation of welding sequences effect on residual stresses in multipass butt-welded stainless steel pipes. *Journal of Pressure Vessel Technology, Transactions of the ASME*, 134(1), 1–9. <https://doi.org/10.1115/1.4004571>
- Goldak, J., Chakravarti, A., & Bibby, M. (1984). A New Finite Element Model for Welding Heat Sources. *Metallurgical Transactions B*, 52(1), 299–305. <https://doi.org/10.1080/21681805.2017.1363816>
- Hamid, A. (2016). Analisa Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan. *Jurnal Teknologi Elektro*, 7(1), 26–36. <https://doi.org/10.22441/jte.v7i1.813>
- Hilmy, Z., Syahroni, N., & Hadiwidodo, Y. S. (2016). Analisa Pengaruh Variasi Komposisi Gas Pelindung Terhadap Hasil Pengelasan Gmaw-Short Circuit dengan Penggunaan Mesin Khusus Regulated Metal Deposition (RMD). *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(1). <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2018i1.3385>
- Hilmy, Z., Zaki Prawira, M., Dasira, A., Pradana Putra, A., Studi Teknik Perkapalan, P., Sains Dan Tekonologi, F., Karimun, U., Kepulauan Riau, P., & Korespodensi, P. (2022). Sudut Kemiringan V Bevel Pada Proses Pengelasan Stainless Steel Butt Joint Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Maritim*, 4(1), 53–63.
- Hu, L., Luo, W., Lu, F., & Deng, D. (2024). FE analysis of residual stress and welding deformation of a low-alloy UHS quenched steel fillet joint. *Journal of Materials Research and Technology*, 29(February), 5693–5712. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.02.212>
- I Mohammed, R. (2015). *Finite Element Analysis of Fillet Welded Joint*. October, 97.
- Iqbal, M., Ibrahim, A., & Azwinur. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las Terhadap Ketangguhan Material Baja AISI 1050. *Journal of Welding Technology*, 1(2), 26–30.
- Isworo, H., & Ansyah, P. R. (2018). *Buku Ajar Metode Elemen Hingga*. 68.
- Kou, S. (2003). Welding Metallurgy. In *Indian Welding Journal* (Vol. 4, Issue 3). <https://doi.org/10.22486/iwj.v4i3.150243>
- Lindgren, L. E. (2006). Finite element modeling and simulation of welding part 1: Increased complexity. *Journal of Thermal Stresses*, 24(2), 141–192. <https://doi.org/10.1080/01495730150500442>
- Masubuchi, K. (1982). Analysis of welded structures. In *Metallography* (Vol. 15, Issue 3). Pergamon Press. [https://doi.org/10.1016/0026-0800\(82\)90012-x](https://doi.org/10.1016/0026-0800(82)90012-x)

- Mulyadi, & Iswanto. (2020). *BUKU AJAR TEKNOLOGI PENGELASAN* (M. M. Dr. Ir. Jamaaluddin (ed.)). UMSIDA Press.
- Pangesti, A. A. (2016). Analisa Tegangan Sisa Dan Distorsi Pada Sambungan Tubular Tipe T Dengan Pengaruh Post Weld Heat Treatment Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan* <https://core.ac.uk/download/pdf/291472527.pdf>
- Prasetya, I. E., Kosjoko, K., & Mufarida, N. A. (2022). Pengaruh Variasi Arus Listrik Dan Kampuh Las Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Sambungan Las Tig Pada Aluminum Alloy 6061. *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 14–23. <https://doi.org/10.34128/je.v9i1.187>
- Sattari-Far, I., & Farahani, M. R. (2009). Effect of the weld groove shape and pass number on residual stresses in butt-welded pipes. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 86(11), 723–731. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2009.07.007>
- Setyowati, V. A., & Suheni, S. (2016). Variasi Arus Dan Sudut Pengelasan Pada Material Austenitic Stainless Steel 304 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Strukturmakro. *Jurnal IPTEK*, 20(2), 29. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2016.v20i2.40>
- Society, A. W. (2004). American Welding Society. In *LIA Today* (Vol. 12, Issue 3).
- Stamenković, D., & Vasović, I. (2009). *Finite Element Analysis of Residual Stress in Butt Welding Two Similar Plates. 1*, 57–60.
- Wibowo, H. (2020). Analisis Perbandingan Metode Pengelasan untuk Mengendalikan Distorsi dan Tegangan Sisa – Review. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 5(2), 95–102. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v5i2.34782>
- Wirjosumarto, H. T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Zulfikar, Z. (2018). Numerical Simulation on The Onion Dryer Frame Capacity of 5 kg/hour. *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, 2(2), 86. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v2i2.2110>