

PENGARUH KECEPATAN LAS TERHADAP DISTORSI HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN SIMULASI NUMERIK

Iznur Hasyim A¹⁾, Awal Syahrani Sirajuddin²⁾, Muh Iqbal³⁾, Alimuddin Sam⁴⁾, Muhammad Syaiful Fadly⁵⁾

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako
Jl. Soekarno Hatta Km. 9 Palu – Sulawesi Tengah
Email : iznurkhan7@gmail.com

Abstract: This study aims to determine the effect of welding speed on the distortion of SMAW welding results. Using a welding speed of 5.21mm/s, 4mm/s, with a v seam of 60° and a welding current of 80 Amperes, using a 120 mm x 100 mm specimen. This research was conducted experimentally and in simulation at the Tadulako University Mechanical Engineering Computing and Simulation Laboratory. And simulation testing using ANSYS Workbench 15.0 with transient thermal and static structural analysis models. The results of the welding speed test for the distortion of SMAW welding results. Shows that, the faster the welding time, the smaller the increase in the distortion value in the material, conversely, the longer the welding time, the greater the increase in the distortion value, this occurs due to the effect of welding speed. bigger and vice versa. The biggest distortion value is at a welding speed of 3.4 mm/s of 0.0125° in the experimental and 0.0095° in the numerical simulation, while the smallest distortion value is at a welding speed of 5.21 mm/s of 0.0052° in the experimental and 0.0037° in numerical simulations.

Keywords: SMAW Welding, Experimental, Numerical Simulation, Welding Speed.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin maju dari waktu ke waktu, ikut mempengaruhi pengetahuan tentang ilmu pengelasan, terutama pada bidang konstruksi yang sudah sangat berkembang saat ini. Teknik penyambungan logam menggunakan metode las sangat sering di jumpai di bidang industri dan manufaktur. Pada saat ini jenis dan metode pengelasan sangat banyak di jumpai di masyarakat yaitu, Las SMAW, GMAW/MIG, SAW, FCAW.

Dalam pembuatan konstruksi, baja sangat sering digunakan karena sudah terbukti lebih kokoh dan juga aman, pada pembuatan konstruksi yang sering bergesekan seperti poros dan roda gigi baja komersil banyak digunakan dikarenakan material ini sangat ulet. Baja komersil juga digunakan dalam konstruksi ringan, panel, wire product, dan automobile body [1].

Prosedur dan teknik pengelasan yang kurang baik akan menimbulkan cacat pada hasil las contohnya distorsi. Distorsi sendiri terbagi menjadi tiga yaitu distorsi transversal, longitudinal dan angular yang nantinya akan membuat kerja tambahan untuk perbaikan. Untuk mengurangi resiko kerja tambahan distorsi harus di minimalisir.

Menurut penelitian [2] sembilan buah pelat baja AISI 1045 dilas menggunakan pengelasan

SMAW dengan tiga variasi arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan yaitu 80 A, 90 A, dan 100 A. Dengan menggunakan tegangan pengelasan 20 V, 25 V, dan 28 V. Dan kecepatan pengelasan 2 mm/s, 3 mm/s, dan 4 mm/s. Untuk setiap variasi tiga spesimen diuji. Kemudian hasil pengelasan dibentuk sesuai standar uji tarik JIS Z 2201 No 14A. Kemudian uji tarik dilakukan untuk mengamati distribusi tegangan dan kekuatan tarik benda uji. Spesimen kemudian dianalisis menggunakan metode numerik program ANSYS. Analisis tegangan dilakukan dengan memberikan beban sesuai hasil pengujian tarik. Simulasi dilakukan dengan memasukkan pengaruh panas dan masukan suhu pada daerah HAZ. Hasil percobaan menunjukkan bahwa, masukan panas dari proses pengelasan sangat mempengaruhi sifat mekanik baja AISI 1045. Pemasukan panas yang besar menghasilkan kekuatan tarik yang rendah. Panasnya parameter input dengan arus 80 A, tegangan 20 V, kecepatan pengelasan 2 mm/s menghasilkan nilai gaya tarik kekuatan 428 MPa. Keseluruhan benda yang diuji tidak putus pada daerah pengelasan, hal ini membuktikan bahwa hasil dari pengelasan sambungan dengan elektroda yang digunakan dan parameter pengelasan yang diberikan menghasilkan kekuatan sambungan yang sangat baik. Muncul sebuah ke tidak cocokkan antara tegangan hasil pengujian dan simulasi sebesar 4,1%, hal ini

disebabkan karena geometri, pemuatan dan faktor mesh pada ANSYS. Metode pembuatan secara numerik sering dilakukan pada pengelasan karena bisa digunakan untuk bahan evaluasi yang sangat efisien dan efektif dalam melakukan penelitian. Namun, studi yang sering ditemukan kebanyakan hanya membahas tentang pengelasan? sambungan antar material, penelitian mengenai pengelasan menggunakan metode simulasi sangat minim dilakukan. Oleh karena itu penulis berinisiatif mengangkat satu judul yaitu **“Pengaruh Kecepatan Las Terhadap Distorsi Hasil Pengelasan SMAW Dengan Simulasi Numerik”** penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya khususnya di bidang teknik pengelasan.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2022 sampai dengan Sekarang di Laboratorium Komputasi dan Simulasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan las terhadap distorsi hasil pengelasan SMAW. Menggunakan kecepatan pengelasan 5,21mm/s, 4mm/s, dan 3,4mm/s Dengan kampuh v sebesar 60° dan arus pengelasan sebesar 80 Ampere, menggunakan spesimen 120 mm x 100 mm x 5mm. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dan simulasi di laboratorium Komputasi Dan Simulasi Teknik Mesin Universitas Tadulako. Dan pengujian simulasi menggunakan ANSYS Workbench 15.0 dengan model analisis transient thermal dan static structural.

2.1 Besar Distorsi Sudut

Untuk mengetahui besaran distorsi sudut perlu melakukan proses perhitungan dengan formula sebagai berikut:

$$\beta = \arctan \left(\frac{U_y}{b-U_x} \right) \quad (2.1)$$

Dimana:

b = setengah dari lebar pelat (m)

ux = displasmen arah-x (m)

uy = displasmen arah-y (m)

2.2 Proses Pengujian

Adapun proses pengujian dilakukan dengan cara Eksperimental dan Simulasi Numerik.

2.2.1 Metode Eksperimental

1. Proses Pembentukan Spesimen

Pada proses ini dilakukan pemotongan dan pembentukan benda sesuai dengan ukuran dan jumlah, sebelum diberikan kampuh V tunggal sesuai dengan ukuran yang diinginkan.



Gambar 1 Proses pemotongan spesimen

2. Pembentukan Kampuh V Tunggal
Pada proses ini dilakukan pembentukan kampuh V dengan kemiringan 30° pada setiap spesimen seperti Gambar



Gambar 2 Proses pembentukan kampuh v 60°

3. Proses Pemasangan Dial Indikator
Dial indicator di meja las seperti gambar



Gambar 3 Proses Pemasangan Dial Indikator

4. Proses Pengelasan dan Pengukuran Distorsi

Pada proses ini dilakukan pengelasan dengan menyambungkan dua spesimen menggunakan las SMAW menggunakan elektroda E6013 dengan diameter 3,2 mm dengan arus pengelasan 90A, dengan variasi kecepatan pengelasan 5,21mm/s, 4mm/s, 3,4mm/s. Sekaligus melakukan pengukuran distorsi dilakukan pada saat pengelasan dengan

cara meletakkan tiga dial indikator didaerah yang sudah ditentukan untuk mengetahui nilai distorsi yang terjadi.



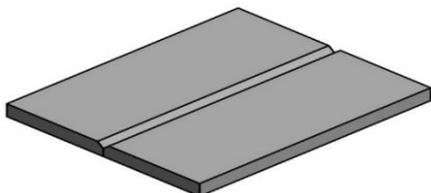
Gambar 4 Proses Pengelasan



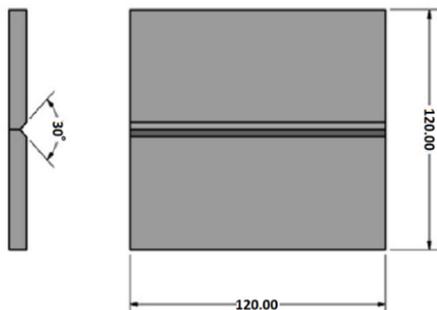
Gambar 5 Proses pengambilan data

2.2.2 Metode Simulasi

1. Pemodelan Geometri pada pemodelan Baja Komersil, kali ini digunakan software autodesk inventor 2017, seperti pada Gambar 6 dan Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 6 Pemodelan Geometri



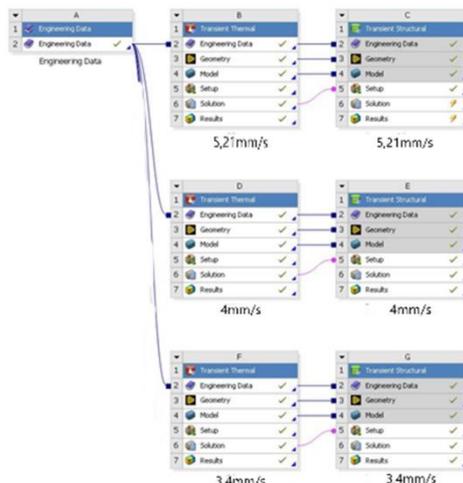
Gambar 7 Dimensi Pemodelan Geometri

2. Pemodelan Material

- Jenis Analisa (transient thermal-static structural)

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan distribusi temperatur dan temperatur terbesar pada pengelasan SMAW, maka dari itu

digunakan metode analisis transient thermal-static structural.



Gambar 7 Analisis transient thermal-static structural.

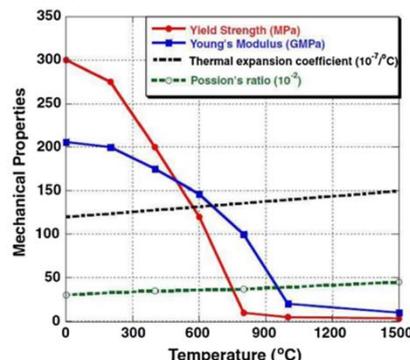
- Engineering Data

Sebelum membuat pemodelan material, harus memasukkan data yang sesuai dengan material yang akan dipakai sesuai dengan material properties, dengan cara memasukkan data material dari tabel 1. dibawah untuk jenis material ST 37, kedalam software ANSYS memakai menu Engineering Data.

Tabel 1 Material Propertis dari BAJA ST 37

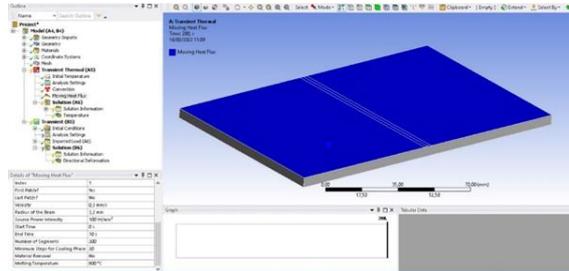
Temperatur (°C)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/kg/°C)	Conductivity (J/m/°C/s)
0	7,900	444	45.9
100	7,880	472	44.8
200	7,830	503	43.4
300	7,790	537	41.4
400	7,750	579	38.9
600	7,660	692	33.6
800	7,560	837	28.7
1,200	7,370	860	28.6
1,300	7,320	863	29.5
1,500	7,320	-	-

Sumber: [3]



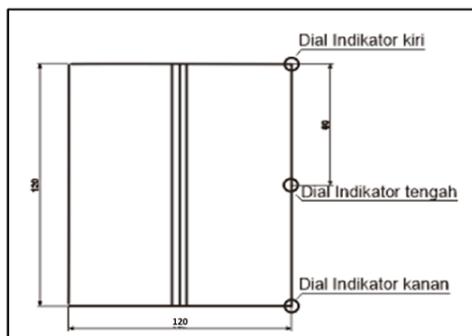
Gambar 8 Sifat mekanis material Baja ST37 [4]

thermal analysis dan distorsi pada transient structural seperti ditunjukkan pada Gambar 13



Gambar 13 Setup dan solution transient thermal dan transient structural

2.2.3 PEMODELAN ALAT UKUR

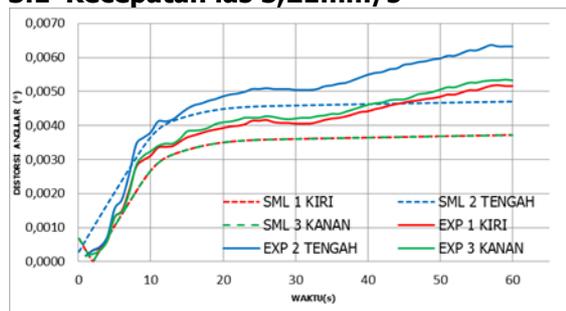


Gambar 13 Posisi alat ukur dan material

Gambar 13 menjelaskan posisi dial indikator pada spesimen benda kerja yang nantinya akan dilas, dial indikator kiri (1), dial indikator tengah (2), dial indikator kanan (3), keterangan SML (Simulasi), dan EXP (Eksperimen).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kecepatan las 5,21mm/s

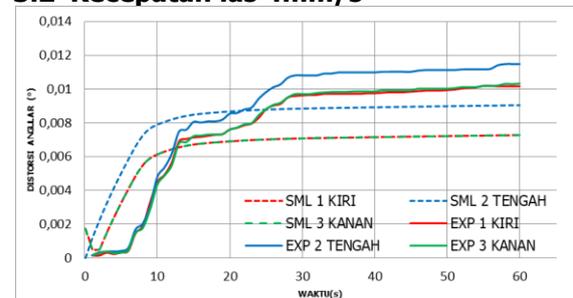


Gambar 14 Distorsi vs kecepatan pengelasan las 5,21mm/s

Perbandingan hasil distorsi dari pengelasan secara eksperimental dan simulasi numerik pada kecepatan pengelasan 5,21mm/s dapat dilihat pada Gambar 14 waktu pengelasan sangat berpengaruh terhadap distorsi dari waktu 0s sampai dengan 10s kenaikan distorsi sangat signifikan dan selanjutnya cenderung konstan dari waktu 20s sampai 60s. Pada dial indikator 1 (sebelah kiri) nilai tertinggi berada diangka 0,0052° di waktu 60s, dial indikator 2 (tengah) nilai tertinggi berada diangka 0,0063° di

waktu 60s, sedangkan dial indikator 3 (sebelah kanan) nilai tertinggi, 0,0053° di waktu 60s. Untuk simulasi numerik sendiri dial indikator 1 (sebelah kiri) nilai tertinggi sebesar 0,0037° di waktu 60s, dial indikator 2 (tengah) nilai tertinggi 0,0047° di waktu 60s, sedangkan dial indikator 3 (sebelah kanan) nilai tertinggi berada diangka 0,0037° di waktu 60s.

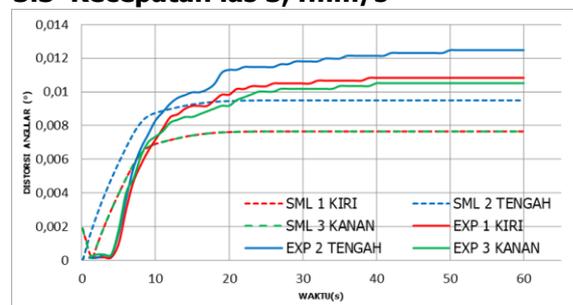
3.2 Kecepatan las 4mm/s



Gambar 15 Distorsi vs kecepatan pengelasan las 4 mm/s

Dari Gambar 15 dapat dilihat kenaikan distorsi selama proses pengelasan dengan kecepatan las 4mm/s, kenaikan distorsi secara signifikan terjadi pada waktu 0s sampai dengan 10s dan mulai konstan dari 10s sampai 60s, ini membuktikan bahwa kenaikan distorsi terpengaruh oleh waktu pengelasan. Pada pengelasan secara eksperimental dial indikator 1 (sebelah kiri) memiliki nilai terbesar 0,0102° di waktu 60s, dial indikator 2 (tengah) memiliki nilai terbesar 0,0115° di waktu 60s, dan dial indikator 3 (sebelah kanan) memiliki nilai tertinggi 0,0103° di waktu 60s. Sedangkan pada simulasi numerik pada dial indikator 1 (sebelah kiri) nilai distorsinya sebesar 0,0073° di waktu 60s, dial indikator 2 (tengah) nilai distorsinya sebesar 0,0090° di waktu 60s, dan dial indikator 3 (sebelah kanan) nilai distorsinya sebesar 0,0073° di waktu 60s.

3.3 Kecepatan las 3,4mm/s

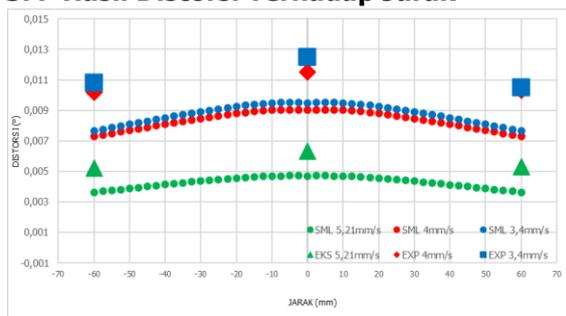


Gambar 16 Distorsi vs kecepatan pengelasan las 3,4mm/s

pengaruh oleh waktu pengelasan seperti pada Gambar 16 kenaikan signifikan terjadi pada waktu 0s sampai 10s dan mulai

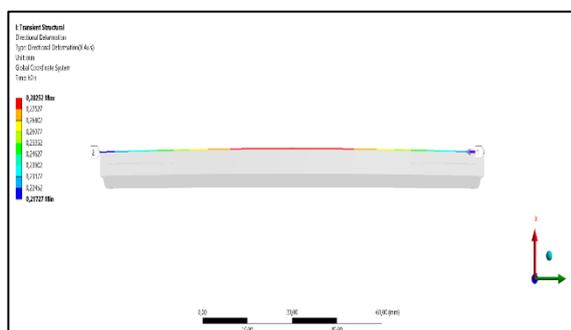
konstan pada waktu 10s sampai 60s. Pada eksperimen kenaikan distorsi didial indikator 1 (sebelah kiri) sebesar $0,0108^\circ$ di waktu 60s, didial indikator 2 (tengah) nilai distorsi tertinggi sebesar $0,0125^\circ$ di waktu 60s, dan didial indikator 3 (sebelah kanan) sebesar $0,0105^\circ$ mm di waktu 60s. Sedangkan pada simulasi numerik dial indikator 1 (sebelah kanan) nilainya $0,0076^\circ$ di waktu 60s, dial indikator 2 (tengah) sebesar $0,0095^\circ$ di waktu 60s, dan dial indikator 3 (sebelah kanan) nilainya $0,0076^\circ$ di waktu 60s.

3.4 Hasil Distorsi Terhadap Jarak

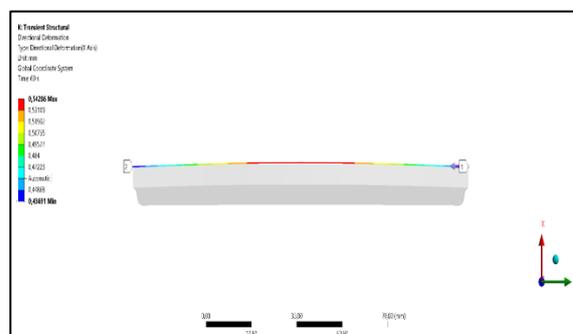


Gambar 17 Distorsi vs jarak pada kecepatan 5,21mm/s, 4mm/s, 3,4mm/s.

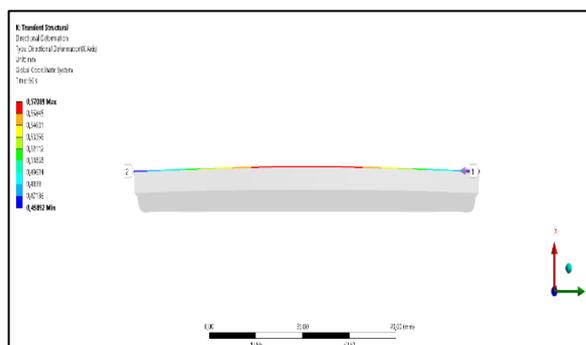
Dari Gambar 17 dapat dilihat distorsi vs jarak kecepatan pengelasan pada kampuh V60° dengan panjang pelat 120 mm, dimana semakin lama waktu pengelasan maka semakin besar nilai distorsinya sebaliknya semakin cepat waktu pengelasan maka semakin kecil nilai distorsinya. Eksperimen distorsi terhadap jarak pada kecepatan pengelasan 5,21mm/s sebesar $0,0052^\circ$ disebelah kiri (1), $0,0063^\circ$ ditengah (2), dan $0,0053^\circ$ disebelah kanan (3). Simulasi numerik distorsi terhadap jarak pada kecepatan pengelasan 5,21mm/s sebesar $0,0037^\circ$ di sebelah kiri (1), $0,0047^\circ$ ditengah (2), dan $0,0053^\circ$ disebelah kanan (3). Eksperimen distorsi terhadap jarak pada kecepatan pengelasan 4mm/s sebesar $0,0102^\circ$ disebelah kiri(1), $0,0115^\circ$ ditengah(2), $0,0103^\circ$ disebelah kanan(3). Simulasi distorsi terhadap jarak pada kecepatan pengelasan 4mm/s sebesar $0,0073^\circ$ disebelah kiri(1), $0,0090^\circ$ ditengah(2), dan $0,0073^\circ$ disebelah kanan(3). Eksperimen distorsi terhadap jarak pada kecepatan pengelasan 3,4mm/s sebesar $0,0108^\circ$ disebelah kiri(1), $0,0125^\circ$ ditengah(2), dan $0,0105^\circ$ di sebelah kanan (3). Simulasi distorsi terhadap jarak pada kecepatan pengelasan 3,4mm/s sebesar $0,0076^\circ$ disebelah kiri(1), $0,0095^\circ$ ditengah (2) dan $0,0076^\circ$ disebelah kanan(3).



Gambar 18 Deformasi directional kecepatan pengelasan 5,21mm/s



Gambar 19 Deformasi directional kecepatan pengelasan 4mm/s



Gambar 20 Deformasi directional kecepatan pengelasan 3,4mm/s

Dari Gambar 18 Gambar 19 dan Gambar 20 kita dapat mengetahui deformasi directional masing-masing kecepatan pengelasan yang terjadi selama proses pengelasan dengan simulasi numerik yang nilainya tidak bisa didapatkan dengan melakukan eksperimen. Keterangan warna biru mengartikan nilai deformasi terkecil pada simulasi numerik dan warna merah menunjukkan nilai deformasi terbesar pada simulasi numerik, kecepatan pengelasan 5,21mm/s disimulasi numerik nilai deformasi terbesarnya $0,0047^\circ$ pada dial indikator tengah (2), pada kecepatan pengelasan 4mm/s, nilai deformasi terbesarnya $0,0090^\circ$ pada dial indikator tengah (2) dan pada kecepatan pengelasan 3,4mm/s nilai deformasi terbesarnya $0,0095^\circ$ pada dial indikator tengah (2).

3.5 Validasi Eksperimen dan Simulasi Numerik

Persentase kesalahan distorsi hasil pengelasan dari eksperimen maupun simulasi numerik dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Distorsi

NO	Parameter Pengelasan	Distorsi Angular					
		Dial indikator kiri 1		Dial Indikator tengah 2		Dial Indikator kanan 3	
		Eks	SmI	Eks	SmI	Eks	SmI
1	Kecepatan las 5,21mm/s	0,0052	0,0037	0,0063	0,0047	0,0053	0,0037
2	Kecepatan las 4mm/s	0,0102	0,0073	0,0115	0,0090	0,0103	0,0073
3	Kecepatan las 3,4mm/s	0,0108	0,0076	0,0125	0,0095	0,0105	0,0076

Dari Tabel 2 dapat diketahui perbandingan hasil distorsi yang terjadi di masing-masing kecepatan pengelasan. Pada kecepatan pengelasan 5,21mm/s nilai distorsi dial indikator 1 (sebelah kiri) sebesar 0,0052° untuk eksperimen dan 0,0037° untuk simulasi, nilai dial indikator 2 (tengah) sebesar 0,0063° untuk eksperimen dan 0,0047° mm untuk simulasi, nilai dial indikator 3 (sebelah kanan) sebesar 0,0053° untuk eksperimen dan 0,0037° untuk simulasi. Pada kecepatan pengelasan 4mm/s nilai distorsi dial indikator 1 (sebelah kiri) sebesar 0,0102° untuk eksperimen dan 0,0073° untuk simulasi, nilai dial indikator 2 (tengah) sebesar 0,0115° untuk eksperimen dan 0,0090° untuk simulasi, nilai dial indikator 3 (sebelah kanan) sebesar 0,0103° untuk eksperimen dan 0,0073° untuk simulasi. Pada kecepatan pengelasan 3,4mm/s nilai distorsi dial indikator 1 (sebelah kiri) sebesar 0,0108° untuk eksperimen dan 0,0076° untuk simulasi, nilai dial indikator 2 (tengah) sebesar 0,0125° untuk eksperimen dan 0,0095° untuk simulasi, nilai dial indikator 3 (sebelah kanan) sebesar 0,0105° untuk eksperimen dan 0,0076° untuk simulasi. Distorsi pada kecepatan pengelasan yang diperoleh secara eksperimental dan simulasi numerik dibandingkan, yang berfungsi untuk memvalidasi model numerik, yang nantinya bisa berguna bagi para peneliti dan insinyur las untuk berspekulasi tentang hasil numerik lanjut.

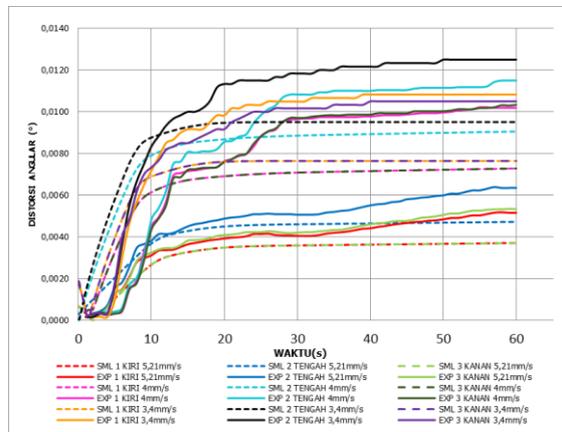
Tabel 3 Hasil Persentase Kesalahan

No	Parameter Pengelasan	Persentase Kesalahan %		
		Kiri	Tengah	Kanan
1	Kecepatan las 5,21mm/s	27,98	25,56	30,3
2	Kecepatan las 4mm/s	28,38	21,33	29,53
3	Kecepatan las 3,4mm/s	29,40	23,91	27,16

Dari Tabel 3 dapat dilihat adanya perbedaan hasil pengukuran distorsi pengelasan secara eksperimental dan simulasi numerik, persentase kesalahan dengan nilai terbesar ada pada kecepatan pengelasan 5,21mm/s dial indikator 3 (kanan) yaitu 30,3%, sedangkan persentase kesalahan terkecil ada pada

kecepatan pengelasan 4mm/s dial indikator 2 (tengah) yaitu 21,33%. Penyebab kesalahan tersebut terjadi saat melakukan eksperimen, karena saat melakukan pengelasan temperatur suhu pada ruangan eksperimental tidak konstan, dan kesalahan yang dilakukan oleh peneliti, berbeda dari simulasi numerik yang temperatur suhunya dipengaruhi oleh input engineering data material seperti specific heat, konduktivitas termal, dan termal ekspansi. Pada pengujian yang dilakukan [5] menggunakan software ANSYS Workbench juga mendapatkan nilai equivalent stress yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian eksperimen. Hasil Distorsi pada simulasi menggunakan software ANSYS Workbench pada kecepatan 5,21mm/s, 4mm/s, dan 3,4mm/s lebih stabil dibandingkan dengan kecepatan las 5,21mm/s, 4mm/s, dan 3,4mm/s pada eksperimen. Hal ini disebabkan karena pada pengujian secara eksperimen di pengaruhi oleh temperatur ruangan yang tidak stabil dan dapat berubah, tegangan sisa yang terjadi pada proses pemotongan dan pembentukan kampuh V60°, tegangan arus pengelasan yang tidak stabil, dan kecepatan pengelasan yang tidak stabil akibat kesalahan manusia, berbeda dengan simulasi numerik yang tidak dipengaruhi oleh hal tersebut.

3.6 Distorsi Keseluruhan



Gambar 21 Distorsi vs kecepatan 5,21mm/s, 4mm/s, 3,4mm/s, eksperimen dan simulasi numerik

Pada Gambar 21 dapat dilihat data hasil pengujian spesimen secara eksperimental kecepatan pengelasan 5,21mm/s, 4mm/s, 3,4mm/s menggunakan arus pengelasan sebesar 90 ampere dan kampuh V60°. Nilai distorsi paling tinggi ada pada eksperimental kecepatan pengelasan 3,4mm/s dial indikator 2 (tengah) sebesar 0,0125° dan nilai distorsi terendah ada pada kecepatan pengelasan 5,21mm/s dial indikator 1 (sebelah kiri) sebesar 0,0052° Sedangkan untuk simulasi numerik

sendiri, nilai distorsi terbesar ada pada kecepatan pengelasan 3,4mm/s dial indikator 2 (tengah) sebesar $0,0095^\circ$ dan nilai distorsi terendah ada pada kecepatan pengelasan 5,21mm/s dial indikator 1 dan 3 (sebelah kiri dan kanan) Sebesar $0,0037^\circ$ Sesuai dengan penelitian [6] semakin besar kecepatan pengelasan yang digunakan, maka distorsi angular yang dihasilkan akan semakin besar begitu pula sebaliknya semakin kecil kecepatan pengelasan yang digunakan maka distorsi angular yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini terjadi dikarenakan pengaruh kecepatan pengelasan, apabila kecepatan pengelasan yang dilakukan kecil maka masukan panas dan tegangan sisa yang terjadi kecil mengakibatkan nilai distorsi juga kecil, sebaliknya apabila kecepatan pengelasannya besar maka masukan panas dan tegangan sisa yang terjadi besar yang mengakibatkan nilai distorsi besar.

4. Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh kecepatan las terhadap distorsi hasil pengelasan SMAW dengan simulasi numerik, menggunakan baja ST37, dengan panjang 120 mm dan lebar 100 mm, tebal 5mm, dan kampuh $V60^\circ$, didapatkan nilai distorsi terbesar ada pada kecepatan pengelasan 3,4mm/s dengan kenaikan sebesar $0,0125^\circ$ pada eksperimental, dan $0,0095^\circ$ pada simulasi numerik, sedangkan nilai distorsi terkecil ada pada kecepatan pengelasan 5,21mm/s dengan kenaikan sebesar $0,0052^\circ$ pada eksperimental dan $0,0037^\circ$ pada simulasi numerik. Dari data hasil penelitian eksperimental dan simulasi numerik dapat diambil kesimpulan bahwa semakin cepat waktu pengelasan maka kenaikan nilai distorsi pada material semakin kecil sebaliknya apabila semakin lama waktu pengelasan maka kenaikan nilai distorsi semakin besar, hal ini terjadi dikarenakan pengaruh kecepatan pengelasan, Semakin lama waktu pengelasan akan menimbulkan tegangan sisa yang lebih besar sehingga menimbulkan distorsi yang lebih besar begitu pun sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anwar, A, & Mufarrih A, (2018), "Analisa Kuat Arus Smaw Dan Media Pendingin Terhadap Distorsi Angular Pada Pelat St 37", Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi), Vol.2 No.1, hal 287–292.
[2] Hamdani H, (2019), "Pengaruh Masukan Panas Proses Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 1045 suatu Kajian

Analitis dan Analisa Numerik" Jurnal Polimesin, Vol.17 No.1 Hal.1–8.

[3] Sari D M, (2015), "Pengaruh Suhu Preheating Pada Hasil Pengelasan Gtaw Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Stainless Steel 304" Universitas Negeri Semarang.

[4] Deng, D, Murakawa H, & Liang W, (2007), "Numerical simulation of welding distortion in large structures" Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.196 No.45–48 Hal.4613–4627.

[5] Sepe R Giannella V, Greco A & De Luca A, (2021) "Fem simulation and experimental tests on the smaw welding of a dissimilar t-joint" Metals, Vol.11 No.7 Hal.1016.

[6] PUTRA T M, (2016), "PENGARUH KECEPATAN LAS TERHADAP DISTORSI PADA AA 5083 H116 MENGGUNAKAN LAS TIG DAN MIG" Universitas Gadjah Mada.