

# Pengaruh Parameter Pengelasan Proses Gtaw pada Pipa Baja HSLA API 51 X70 dengan Simulasi Menggunakan Ansys

Sutrimo\* dan Adam Mandawa Putra

Jurusan Teknik Mesin

Program Studi D-4 Proses Manufaktur, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012, Indonesia

\*sutrimo050758@gmail.com (penulis korespondensi)

**Abstrak**— Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah pipa HSLA (*High Strength Low Alloy Steel*), yang mengacu pada Standard API 5L X70 (*American Petroleum Institute*), yaitu suatu pipa yang digunakan di Industri Migas Modern. Pada proses penyambungannya, menggunakan Proses las GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). GTAW merupakan proses pengelasan busur listrik elektroda tak terumpan, dengan menggunakan *Tungsten* sebagai Elektroda, *Shielding Gas* dan Logam Pengisi atau bahan tambah. Akibat dari proses pengelasan tersebut, maka terjadi tegangan sisa dan deformasi, hal tersebut disebabkan adanya perbedaan Siklus *Thermal* dan distribusi panas yang tidak merata pada daerah las. Sehingga akan mempengaruhi sifat mekanis struktur las yang mengakibatkan terjadinya cacat las seperti: patah getas, kelelahan (*fatig*), retak karena kombinasi tegangan dan korosi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui temperatur yang ideal, terhadap variasi parameter pengelasan, nilai tegangan sisa dan distorsi yang terjadi. Pada penelitian ini dilakukan dengan pemodelan pipa ukuran 2 Inchi (50.8 mm), panjang 250 mm dan tebal 10 mm menggunakan perangkat lunak CAD. Model CAD diimpor kedalam perangkat lunak CAE (ANSYS) untuk melakukan Analisis *Thermal* dan Struktural Statik. Variable yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter pengelasan seperti: Arus, Tegangan dan Kecepatan Pengelasan, kemudian dipisahkan sesuai dengan pembagian kasus yang terjadi, selanjutnya dilakukan analisis dan evaluasi pada distribusi suhu di berbagai daerah lasan, seperti pada Logam Las, HAZ dan Logam Induk. Selanjutnya dilakukan Analisa Tegangan Sisa dan Distorsi yang terjadi pada sampel hasil pengelasan, akibat pengaruh panas pada saat pengelasan. Dari simulasi yang dilakukan menunjukkan, bahwa hasil temperatur yang ideal terdapat pada variasi parameter pengelasan, dengan Tegangan 20 V, Arus 100 A, Kecepatan Pengelasan 4,5 mm/s dengan Tegangan 15 V, Arus 100 A, Kecepatan Pengelasan 3 mm/s dengan nilai Temperatur maksimum 1596,4 °C dan 1633,9 °C, tegangan sisa yang terjadi diperoleh nilai maksimum 1721,5 Mpa dan 1762,5 Mpa. Deformasi yang terjadi merupakan deformasi transfersal dengan nilai perubahan maksimum 0,38716 mm dan 0,39637 mm.

**Kata kunci**— Pipa Baja HSLA, API 5L X70, GTAW, HAZ, Tegangan sisa dan Distorsi.

**Abstract**— *American Petroleum Institute (API) 5L X70 standard HSLA pipe is a pipe used in the modern oil and gas industry. One of the connection pipe connections using the Welding Method. GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) is a non-feed electrode Electric arc Welding Process, using tungsten as an electrode, shielding gas, and filler metal. Residual stress and deformation occur due to differences in heat cycles and uneven heat distribution in the weld area. So that it affects the mechanical properties of the weld structure which results in welding defects such as brittle fracture, fatigue, cracks due to a combination of stress and corrosion. The purpose of this final project is to determine the ideal temperature from the variation of welding parameters and to know the value of residual stress and distortion. The work of this final project is done by modeling the pipe size 2 inch (50.8 mm), 246 mm long and 11 mm wall thickness using CAD Software. CAD models are imported into the CAE software (ANSYS) to perform static thermal and structural analysis. The variations used are welding parameters such as welding current, voltage, and speed, separated according to the division of cases. analyzed and evaluated the temperature distribution in various welding areas such as weld metal, HAZ, and parent metal. Then the residual stress and distortion that occurs in the workpiece are analyzed due to thermal effects. The results of the simulation show that the ideal temperature results are obtained from variations in welding parameters with a voltage of 20 V, a current of 100 A, a Welding Speed of 4.5mm/s and a Voltage of 15 V, a Current of 100 A, a Welding Speed of 3 mm/s with a maximum temperature value of 1596.4 °C and 1633.9 °C, the maximum residual stress value is 1721.5 MPa and 1762.5 MPa, the deformation that occurs is a transverse deformation with a maximum change value of 0.38716 mm and 0.39637 mm*

**Keywords**— HSLA pipe, API 5L X70, GTAW, HAZ, Residual stress, Distortion..

## I. PENDAHULUAN

Teknologi penyambungan material sering digunakan pada industri di bidang pemesinan. Salah satunya penyambungan material dengan pengelasan. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini, bahwa penyambungan dengan metode pengelasan dapat menghasilkan suatu produk las yang berkualitas dengan beragam jenis pengelasan yang

semakin berkembang.

Pembuatan suatu produk saat ini menggunakan sistem komputerisasi yang digunakan untuk perencanaan, bagaimana suatu produk dibuat. Perangkat lunak yang biasa digunakan adalah CAD, CAE, CAA, dan CAM. Suatu produk dibuat tergantung dari kebutuhan dan permintaan pasar terutama di bidang teknik mesin.

Baja HSLA (*High Strength Low Alloy*) merupakan baja berkekuatan tinggi dengan paduan rendah yang dirancang untuk memberikan kombinasi sifat-sifat tertentu yang diinginkan antara lain: kekuatan, ketangguhan, sifat dapat dibentuk, kemampuan las dan ketahanan terhadap korosi atmosferik, adalah merupakan keunggulan dari baja ini. Pipa HSLA Standard *American Petroleum Institute* (API) 5L X70 digunakan pada Industri Migas Modern. Industri pipa baja telah melakukan upaya ekstensif untuk mengembangkan sifat metallurgy dan mekanis (kekuatan, ketangguhan dan keuletan) dari bahan pembuatan pipa tersebut. Teknologi penyambungan material sering digunakan pada industri di bidang pemesinan. Salah satunya penyambungan material dengan pengelasan. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini, bahwa penyambungan dengan metode pengelasan dapat menghasilkan suatu produk las yang berkualitas dengan beragam jenis pengelasan yang semakin berkembang.

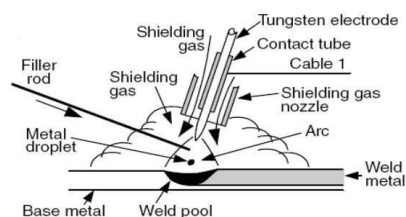
Pembuatan suatu produk saat ini menggunakan sistem komputerisasi yang digunakan untuk perencanaan, bagaimana suatu produk dibuat. Perangkat lunak yang biasa digunakan adalah CAD, CAE, CAA, dan CAM. Suatu produk dibuat tergantung dari kebutuhan dan permintaan pasar terutama di bidang teknik mesin.

Baja HSLA (*High Strength Low Alloy*) merupakan baja berkekuatan tinggi dengan paduan rendah yang dirancang untuk memberikan kombinasi sifat-sifat tertentu yang diinginkan antara lain: kekuatan, ketangguhan, sifat dapat dibentuk, kemampuan las dan ketahanan terhadap korosi atmosferik, adalah merupakan keunggulan dari baja ini. Pipa HSLA Standard *American Petroleum Institute* (API) 5L X70 digunakan pada Industri Migas Modern. Industri pipa baja telah melakukan upaya ekstensif untuk mengembangkan sifat metallurgy dan mekanis (kekuatan, ketangguhan dan keuletan) dari bahan pembuatan pipa tersebut.

#### a. Pengelasan GTAW

GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) atau TIG (*Tungsten Inert Gas*) Merupakan proses pengelasan dengan menggunakan busur listrik elektroda tak terumpan, dengan menggunakan *shielding gas* pada proses pengelasan. Tungsten atau wolfram sebagai elektroda. Busur listrik (*Arc welding*) merupakan cara pengelasan, dimana gas dihembuskan ke daerah las untuk melindungi busur dan logam yang mencair terhadap atmosfer. Kemampuan GTAW menghasilkan hasil las yang berkualitas tinggi pada hampir semua jenis logam.

Elektroda GTAW termasuk dalam elektroda *non-consumable* atau tidak terumpan. Digunakan sebagai penyala busur api untuk melelehkan kawat las atau bahan tambah dan tidak berfungsi sebagai bahan tambah. Bahan elektroda ini adalah *wolfram* atau tungsten paduan, karena tungsten mempunyai temperatur yang lebih tinggi dibanding logam lain.



Gambar 1 Pengelasan GTAW.

b. Pipa Baja HSLA API 5L X70

American Petroleum Institute (API) 5L adalah pipa baja saluran mulus dan mampu las untuk sistem transportasi fluida maupun gas di industri minyak bumi dan gas alam (MIGAS) dan digunakan untuk menyalurkan minyak, cairan dan gas. Spesifikasi API 5L Mengacu pada Standardisasi ISO 3183, yaitu standardisasi sistem transportasi pipa dalam industri gas alam, minyak bumi, dan petrokimia.

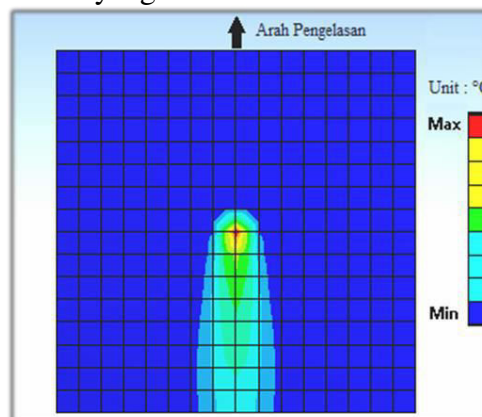
Ketika membuat standar, komite teknis mengakui bahwa ada dua Tingkat persyaratan teknis Tingkat Spesifikasi Produk atau Produk Spesifikasi Level (PSL) dan oleh karena itu selanjutnya dikembangkan PSL 1 dan PSL 2. PSL 1 adalah kualitas standar untuk pipa saluran, dan PSL 2 mengandung bahan kimia, sifat mekanik tambahan dan persyaratan pengujian.

TABEL I  
KOMPOSISI KIMIA DAN SIFAT MEKANIS PIPA API 5L X70

Grade	HSLA	API 5L X70
Komposisi Kimia (wt%)	C	0.17
	Si	0.45
	Mn	1.75
	P	0.020
	S	0.010
	V	0.10
	Nb	0.05
	Ti	0.06
Yield Strength	min. (KSI)	70
Tensile Strength	min. (KSI)	82
Yield to Tensile	Ratio (max)	0.93
Elongation	%	17

c. Siklus Thermal Las

Distribusi panas secara konduksi, busur las yang dihembuskan ke daerah logam induk akan menghasilkan nilai temperatur yang lebih besar dari daerah yang tidak terkena kontak langsung, selanjutnya kontak panas dari busur las mulai mengalir ke sekitar daerah logam induk atau merambat ke daerah yang memiliki temperature lebih rendah, sehingga terjadi distribusi panas di sekitar daerah yang dilas.



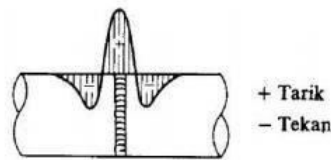
Gambar 2. Kondisi termal pada saat pengelasan

Distribusi panas secara konveksi merupakan perpindahan partikel terhadap perpindahan panas. Ketika pengelasan terjadi, penetrasi las meleburkan logam induk dan filler menjadi

kawah las dan terjadi percampuran partikel. Udara sekitar mendinginkan kembali kawah las sehingga kawah las membeku menjadi logam las.

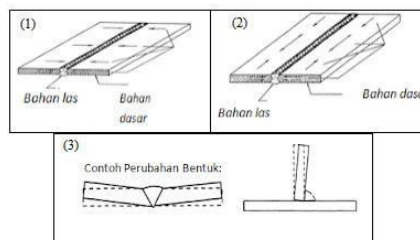
*d. Tegangan Sisa dan Distorsi*

Tegangan sisa merupakan perubahan gaya elastis pada saat pengelasan. Gaya elastis dari tegangan sisa dapat menyebabkan jarak antar atom berubah dalam bahan las. Hal ini dipengaruhi akibat ketidakseragam deformasi plastis pada benda kerja. Karena ada perubahan siklus thermal, perlakuan panas tidak merata atau laju pendinginan yang berbeda dapat menghasilkan tegangan sisa pada bahan hasil proses pengelasan.



Gambar 3. Distribusi tegangan sisa pada pengelasan pipa

Distorsi merupakan fenomena ekspansi dan kontraksi pada logam yang terjadi akibat siklus thermal. Logam mengalami ekspansi atau pemuaiannya akibat proses pemanasan, sedangkan logam mengalami kontraksi atau penyusutan ketika mengalami pendinginan. Beberapa macam distorsi berupa distorsi transversal atau perubahan bentuk arah melintang, distorsi longitudinal atau perubahan bentuk arah memanjang dan distorsi rotasional atau perubahan bentuk arah menyudut.

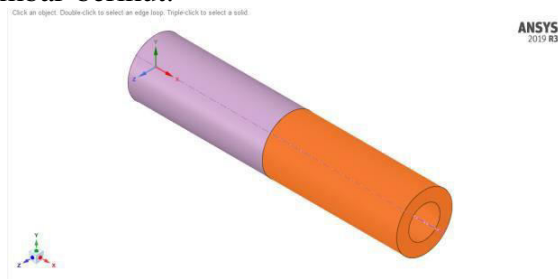


Gambar 4. (1) Distorsi transversal; (2) Distorsi longitudinal; (3) Distorsi rotasional

II. METODE

*a. Pemodelan*

Untuk Modeling spesimen pengujian, dilakukan dengan menggunakan CAD CATIA. Modeling berbentuk Pipa dengan diameter 2 Inchi (50.8 mm) dengan panjang 125 mm dan tebal dinding pipa 11 mm, dimensi pada pipa disesuaikan dengan tebal pipa API 5L X70 ukuran 2 inch, seperti gambar berikut:



Gambar 5 Model pipa API 5L X70

*b. Parameter Pengelasan*

Percobaan pengelasan dengan memvariasikan parameter berupa: Arus, Voltage, dan Kecepatan Pengelasan. Lalu dibagi menjadi 3 kasus dengan perbedaan variabel pada masing- masing parameter.

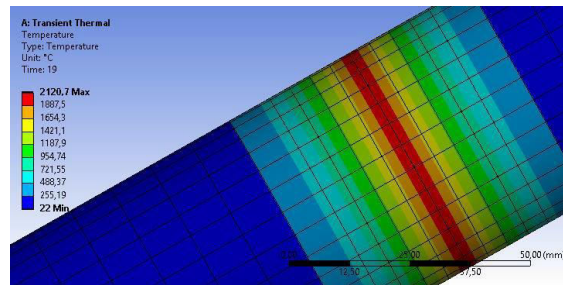
TABEL II  
PARAMETER SIMULASI

Sampel	Tegangan (V)	Arus (I)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (W)	Heat flux (W/mm <sup>2</sup> )
1- A	20	100	3	1400	5,6
1- B	20	100	4.5	1400	4,2
1- C	20	100	6	1400	2,8
2- A	15	100	3	1050	4,3
2- B	20	100	3	1400	5,6
2- C	25	100	3	2100	7
3- A	20	90	3	1260	5
3- B	20	100	3	1400	5,6
3- C	20	110	3	1540	6,1

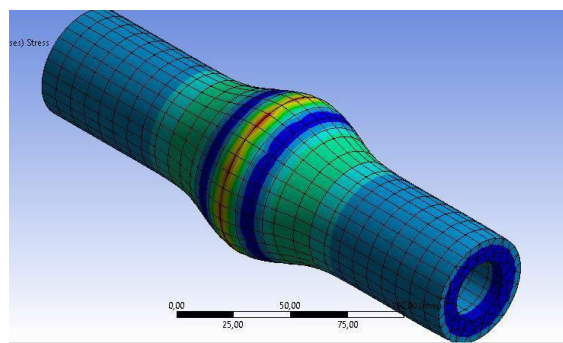
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Visual Hasil Simulasi

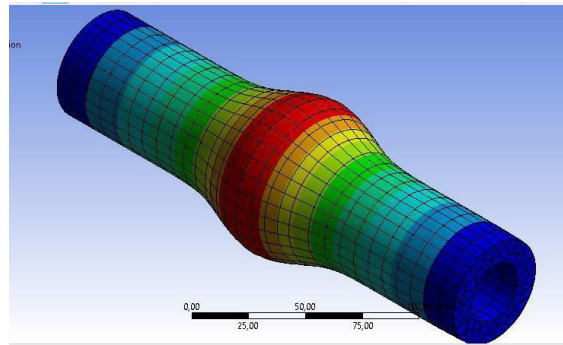
Hasil simulasi pada variasi parameter pengelasan, menunjukkan distribusi panas pada pengelasan pipa dengan nilai temperaturnya, terbentuknya tegangan sisa dengan nilai tegangan dan perubahan deformasi dengan nilai jarak perubahannya. Berikut salah satu sampel ditunjukkan pada gambar.



Gambar 6 Distribusi Temperatur Maksimum



Gambar 7. Distribusi tegangan sisa



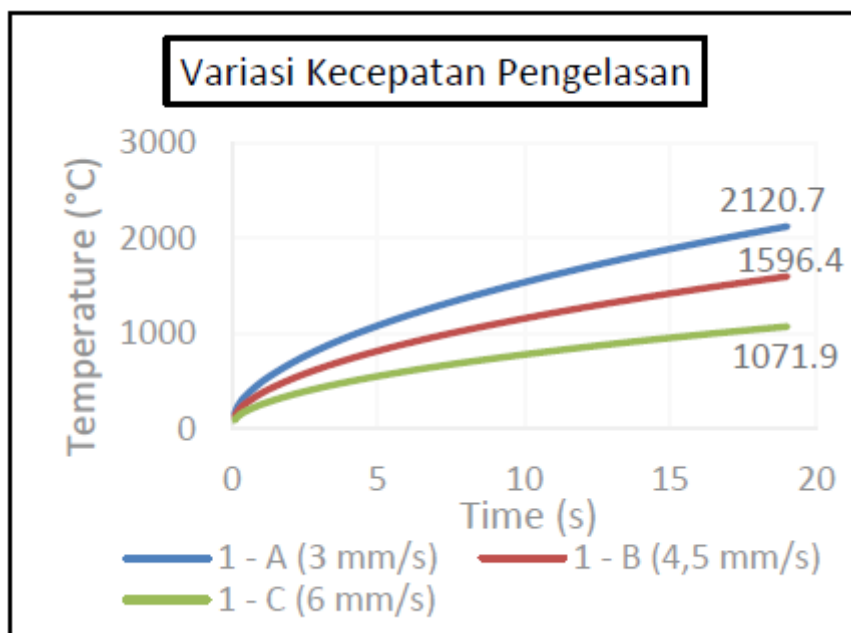
Gambar 8 Distribusi distorsi

*b. Hasil Solusi Data*

Tabel 3 Menunjukkan nilai maksimum Temperatur, distorsi dan tegangan sisa hasil simulasi yang diambil dari data *solution ANSYS*.

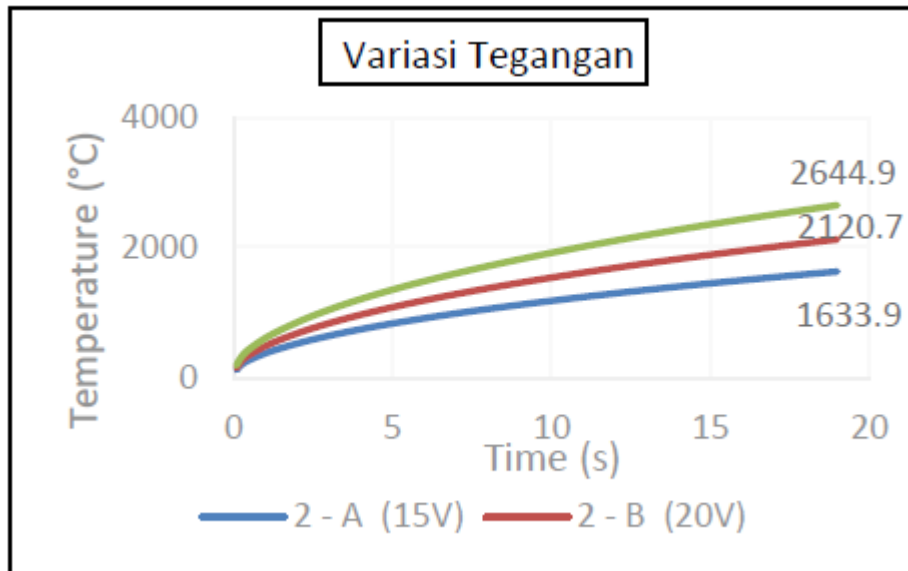
TABEL III  
NILAI MAKSIMUM PADA MASING-MASING SAMPEL

No	Sampel	Temperatur (°C)	Total Deformasi (mm)	Tegangan Sisa (Mpa)
1	1-A	2120,7	0,51604	2294,8
	1-B	1596,4	0,38716	1721,5
	1-C	1071,9	0,25821	1148,1
2	2-A	1633,9	0,39637	1762,5
	2-B	2120,7	0,51604	2294,8
	2-C	2644,9	0,64491	2868,1
3	3-A	1911	0,46449	2065,5
	3-B	2120,7	0,51604	2294,8
	3-C	2307,9	0,56207	2499,5



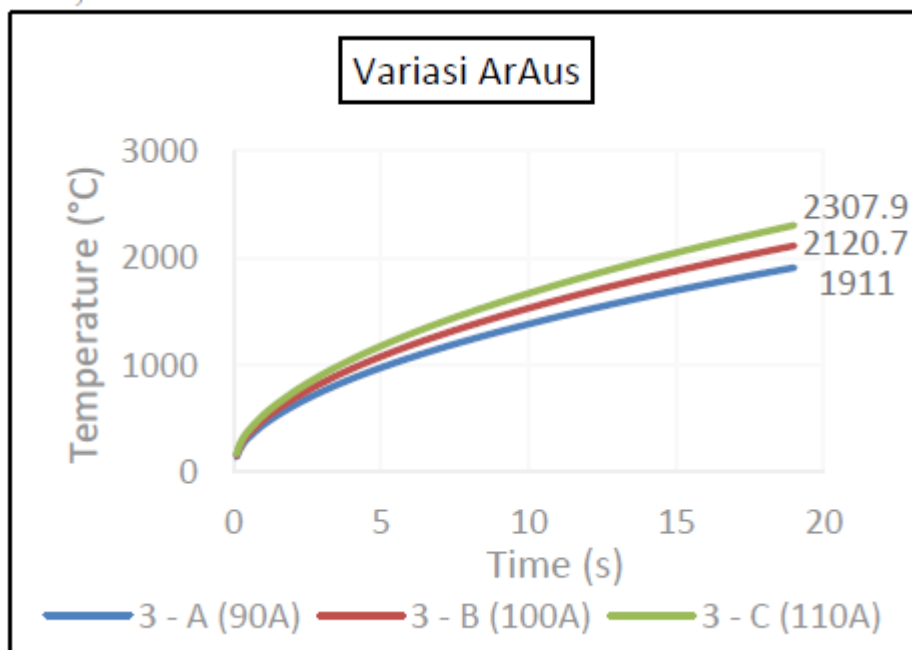
Gambar 9 Grafik temperature, perbandingan variasi kecepatan pengelasan

Grafik pada Gambar 9 menunjukkan nilai temperatur maksimum pada masing masing variasi kecepatan pengelasan berturut - turut sebesar : 2120,7 °C, 1596,4 °C dan 1071,9 °C. Kenaikan temperatur dari 3 mm/s sampai dengan 6 mm/s sebesar 1048,8 °C dengan setiap kenaikan 0.5 mm/s sebesar 174.8 °C.



Gambar 10 Grafik temperature perbandingan variasi tegangan

Grafik variasi tegangan pada Gambar 10 menunjukkan nilai temperatur maksimum pada masing masing variasi voltage pengelasan berturut - turut sebesar 1633,9 °C, 2120,7 °C dan 2644,9 °C. Kenaikan temperatur dari 15 V sampai dengan 25 V sebesar 1011 °C dengan setiap kenaikan 1 V sebesar 101,1 °C.



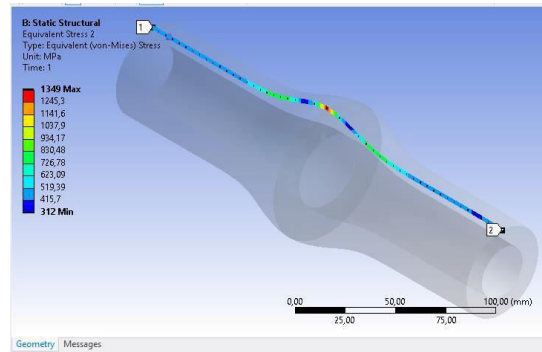
Gambar 11 Grafik temperature perbandingan variasi arus

Grafik variasi arus pada Gambar 11 menunjukkan nilai temperatur maksimum pada masing-masing variasi Arus pengelasan berturut - turut sebesar 1911°C, 2120,7 °C dan

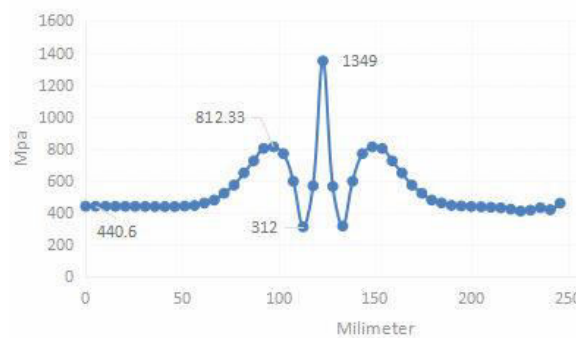
2307,9 °C. Kenaikan temperatur dari 90 A sampai dengan 110 A sebesar 396,9 °C dengan setiap kenaikan 1 A sebesar 19,8 °C.

c. *Tegangan Sisa dan Distorsi*

Hasil dari nilai maksimum tegangan sisa pada simulasi, tidak terbaca pada daerah HAZ maupun *base metal*, hanya terbaca pada pusat *weld metal*. Maka diberikan fitur Path, untuk mengindikasikan hasil sebaran nilai tegangan sisa pada pipa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

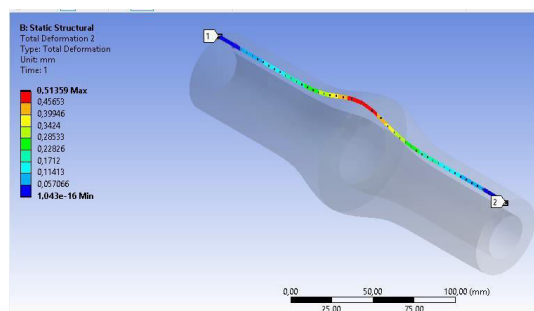


Gambar 12 Path tegangan sisa pada hasil simulasi



Gambar 13. Graifk tegangan sisa pada hasil simulasi

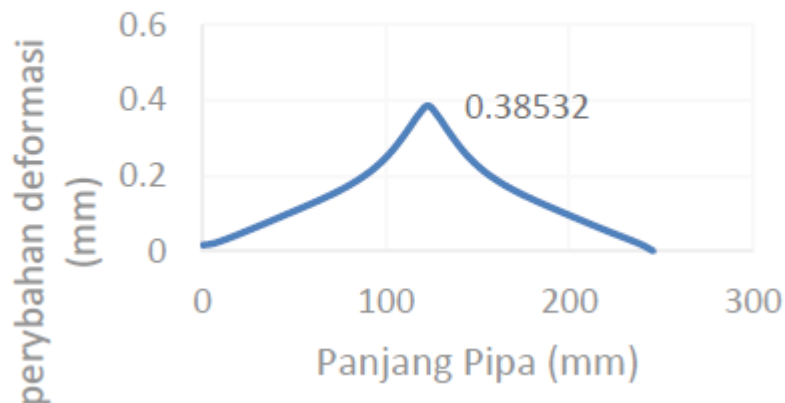
Grafik hasil path pada Gambar 4.8 diambil dari kasus 1 - B menunjukkan hasil yang fluktuatif, dimana dari garfik tersebut memiliki nilai yang naik turun dan dipengaruhi oleh panas pada saat pengelasan dilakukan. Grafik menunjukkan nilai maksimum 1349 Mpa tegangan tarik pada *weld metal* dan nilai maksimum 312 Mpa tegangan tekan pada daerah fusi. Pada daerah HAZ menuju ke daerah *base metal* yang menjauhi dari *weld metal* didapatkan nilai 812,33 Mpa s/d 440,6 Mpa. *Sebaran deformasi hanya terbaca pada pusat weld metal*. Maka diberikan fitur path untuk melihat hasil sebaran deformasi pada pipa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 14. Path distorsi pada hasil simulasi



## Perubahan Deformasi (mm)



Gambar 15. Grafik distorsi pada hasil simulasi

Grafik pada Gambar 15 yang diambil dari kasus 1 - B menunjukkan terjadi kenaikan yang terpusat ke daerah *weld metal* dengan nilai sebesar 0.38532 mm. Deformasi yang terjadi merupakan deformasi *transfersal*.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan simulasi pengelasan pipa dengan mengamati nilai-nilai dari temperatur, tegangan sisa dan distorsi, maka dapat diambil beberapa kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang didapat, sebagai berikut:

Setiap kenaikan kecepatan pengelasan sebesar 0.5 mm/s, mengalami penurunan temperatur sebesar 174.8 °C. Sedangkan kenaikan tegangan dan arus berbanding lurus terhadap kenaikan temperatur, antara lain setiap kenaikan 1 V, temperatur naik sebesar 101,1 °C., sedang setiap kenaikan 1 A mengalami kenaikan temperatur sebesar 19,8 °C.

Nilai Tegangan sisa maksimum pada kasus 1 - B dan 2 - A adalah berturut - turut sebesar 1721,5 Mpa dan 1762,5 Mpa, sedangkan nilai deformasi maksimum pada kasus 1-B dan 2- A adalah berturut - turut sebesar 0,38716mm dan 0,39637 mm.

#### REFERENSI

- [1] *ASM Speciality Handbook*. High Strength Low Alloy Steels. ASM International. 2001.
- [2] *Khaled, Terry*. Preheating, Interpass And Post- Weld Heat Treatment Requirements For Welding Low Alloy Steels. CSTA Metallurgy Federal Aviation Administration California, United State. 2014.
- [3] *Lazuawardy, N. Farrell*. Analisa Tegangan Sisa Dan Distorsi Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Struktur Jacket Pt. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore Phe-24 Dengan Shell Element. Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya. 2017.
- [4] *Masubuchi, Koichi*. Analysis of Welded Structure: Residual Stresses, Distortion and Consequences. Massachusetts : Pergamon Press, 1980.
- [6] *Prasad, V.M. Varma et al*. 3D simulation of residual stress developed during TIG welding of stainless steel pipes. Sree Chithra Thirunal College of Engineering, Thiruvananthapuram, Kerala, India. 2015.
- [7] *Prashant, Sagar et al*. Thermal analysis of TIG welded Ti-6Al-4V plates using ANSYS. Department of Mechanical Engineering IIT (ISM) Dhanbad, India. 2018.
- [8] *PM International Suppliers*. API 5L X Grades. United State. diakses pada 20 Juli 2020 <https://www.api5lx.com/api5lx-grade>.
- [9] *Rosado, D. Belado, et al*. Latest Developments In Mechanical Properties And Metallurgical Features Of High Strength Line Pipe Steels. Department of Materials Science and Engineering Ghent University, Belgium. 2013.
- [10] *Sutrimo*. Gas Tungsten Arc Welding. Welding Training Center Politeknik Negeri Bandung, Bandung 2015.
- [11] *Syukri, Muhamad S. B*. Thermal Simulation of Different Welding Speed And Metal Thickness For Butt-Joint Welding With Ansys. University Teknologi PETRONAS Teronoh, Malaysia. 2015.
- [12] *Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, Toshie*. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Pradnya Paramita, 1987.