



## **PENGARUH MASUKAN PANAS PROSES PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA AISI 1045: SUATU KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN ANALISA NUMERIK**

**Hamdani**

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jl. Banda Aceh-Medan km. 280 Buketrata – Lhokseumawe  
e-mail : hamdani\_jtm@pnl.ac.id

### **Abstrak**

Pada penelitian ini sembilan buah benda uji pelat baja AISI 1045 dilas dengan pengelasan SMAW dengan tiga variasi arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan, yaitu 80 A, 90 A, dan 100 A. Voltase pengelasan 20 V, 25 V, dan 28 V. Kecepatan pengelasan 2 mm/detik, 3 mm/detik, dan 4 mm/detik. Untuk masing-masing variasi diuji sebanyak tiga spesimen. Kemudian hasil pengelasan dipreparasi sehingga membentuk spesimen uji tarik standar JIS Z 2201 No 14A. Kemudian dilakukan pengujian tarik untuk mengamati distribusi tegangan dan kekuatan tarik pada spesimen uji. Spesimen hasil pengujian kemudian dianalisis dengan metode numerik menggunakan program ANSYS. Analisa tegangan dilakukan dengan memberikan beban sesuai dengan hasil pengujian tarik. Simulasi dilakukan dengan memasukkan efek masukan panas dan temperatur pada daerah HAZ. Hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa masukan panas proses pengelasan mempengaruhi sifat mekanik baja AISI 1045. Masukan panas yang besar menghasilkan kekuatan tarik yang rendah. Parameter masukan panas dengan arus 80 A, tegangan 20 V, kecepatan pengelasan 2 mm/dtk menghasilkan kekuatan tarik sebesar 428 MPa. Semua spesimen yang diuji tidak putus pada daerah lasan, ini menandakan bahwa sambungan las dengan elektroda yang digunakan dan parameter pengelasan yang diberikan menghasilkan kekuatan sambungan yang baik. Terdapat perbedaan antara tegangan hasil pengujian dengan simulasi sebesar 4,1%, hal ini disebabkan antara lain adalah faktor geometri, pembebanan dan mesh.

**Kata kunci:** SMAW, masukan panas, pengujian, simulasi, kekuatan tarik

### **Abstrack**

*In this study nine pieces of AISI 1045 steel plate were welded by welding SMAW with three variations of current, voltage, and welding speed, namely 80 A, 90 A, and 100 A. Welding voltage 20 V, 25 V, and 28 V. Speed welding 2 mm / sec, 3 mm / sec, and 4 mm / sec. For each variation three specimens were tested. Then the welding results are prepared so that they form a standard JIS Z 2201 No 14A tensile test specimen. Then a tensile test is performed to observe the stress distribution and tensile strength of the test specimen. The test specimens are then analyzed by numerical methods using the ANSYS program. Voltage analysis is carried out by giving a load according to the results of tensile testing. Simulation is done by entering the effect of heat and temperature input on the HAZ region. The experimental results show that the heat input of the welding process affects the mechanical properties of steel AISI 1045. Large heat input results in low tensile strength. The heat input parameter with a current of 80 A, a voltage of 20 V, a welding speed of 2 mm / sec produces a tensile strength of 428 MPa. All specimens tested did not break up in the weld area, this indicates that the welded joints with the electrodes used and the given welding parameters produced good joint strength. There is a difference between the test result voltage and the simulation of 4.1%, this is due to, among others, geometry, loading and mesh factors.*

**Keywords:** SMAW, heat input, testing, simulation, tensile strength

### **1 Pendahuluan**

Saat ini penyambungan logam dengan proses pengelasan semakin banyak digunakan, baik pada konstruksi bangunan, perpipaan, maupun pada konstruksi mesin. Ini disebabkan oleh banyaknya keuntungan yang diperoleh dari penyambungan dengan cara dilas. Luasnya penggunaan pengelasan karena biayanya murah, pelaksanaannya relatif lebih cepat, lebih ringan,

kuatannya tinggi, dan bentuk konstruksinya yang lebih variatif.

Baja AISI 1045 banyak digunakan dalam konstruksi dan rangka mesin yang umumnya disambung dengan cara dilas. Proses pengelasan dikerjakan dengan masukan panas yang tinggi pada material. Oleh karena itu, deformasi pada komponen lasan tidak dapat dihindari.

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima siklus pemanasan setempat dan selama proses berjalan, suhunya berubah terus, sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada daerah pengaruh panas (*Heat Affecting Zone*) akan terjadi peregangan termal. Peregangan semacam ini dapat menurunkan kekuatan pada produk-produk hasil pengelasan [1].

Karena itu, dalam proses pengelasan usaha untuk meningkatkan kekuatan hasil pengelasan harus mendapatkan perhatian utama. Salah satu parameter yang dapat mempengaruhi kekuatan hasil las adalah masukan panas. Masukan panas berkaitan dengan pengaturan arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan. Masukan panas yang terlalu besar menyebabkan penembusan pada daerah las, sedangkan jika masukan panas terlalu kecil dapat berakibat penetrasi las yang tidak baik sehingga terjadi cacat las. Masukan panas yang tepat juga dapat meminimalisir kontraksi termal, tegangan sisa, dan distorsi pada produk hasil pengelasan. Oleh karena itu, kekuatan sambungan las dipengaruhi oleh pengaturan masukan panas tersebut.

## 2 Kajian Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini, kajian eksperimental digunakan untuk menganalisa pengaruh masukan panas proses pengelasan terhadap sifat mekanik baja *AISI 1045*. Oleh karena itu, untuk mempelajari pengaruh proses pengelasan terhadap sifat mekanik baja, dan khususnya masukan panas pada proses pengelasan, beberapa literatur yang berkenaan telah dipelajari, antara lain adalah:

Widyanto (2014) [2], menganalisa sifat mekanis berbagai macam sudut kampuh V dan faktor penyebab terjadinya tegangan sisa pada pengelasan SMAW baja karbon rendah menggunakan metode eksperimental. Hasil pengujian diperoleh kekuatan tarik tertinggi terjadi pada kampuh 45° dan arus 100 A. Tegangan sisa terbesar terjadi pada kampuh sudut 60° dan arus 100 A, sedangkan tegangan sisa terkecil pada kampuh 40° dan arus 80 A.

Ramakrishna dan Rao (2015) [3], menganalisa sambungan pipa T dengan metode numerik menggunakan program ANSYS. Hasil simulasi menunjukkan terjadinya pemusatan tegangan pada daerah sambungan pipa. Tegangan semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur dan terjadi penurunan efisiensi pada sambungan pipa.

Brar dan Kumar (2010) [4], menganalisa beberapa proses pengelasan dengan parameter pengelasan yang bervariasi dengan metode numerik menggunakan program Solid Work. Hasil simulasi menunjukkan pengelasan *GMAW* menghasilkan tegangan sisa yang palih rendah.

Li Yajiang, dkk (2004) [5], menganalisa distribusi tegangan sisa pada daerah lasan menggunakan program ANSYS. Hasil simulasi menunjukkan tegangan sisa pada permukaan las lebih tinggi dibanding dengan bagian bawahnya. Simulasi juga menunjukkan tegangan sisa pada daerah lasan dapat diminimalisir dengan cara mengatur masukan panas.

Stamenković dan Vasović (2009) [6], menganalisa tegangan sisa arah aksial pada baja karbon kekuatan tinggi menggunakan program ANSYS. Analisa dilakukan dengan menggabungkan dua domain pemodelan (*coupled*), yaitu termal-mekanikal. Hasil simulasi menunjukkan pemodelan dengan metode numerik sesuai digunakan untuk mengamati tegangan sisa pada pengelasan dan analisa dapat dilakukan pada geometri dan pembebanan yang kompleks.

C-H Lee dan K-H Chang (2009) [7], menganalisa pengaruh langkah pengelasan (*welding sequence*) terhadap distribusi tegangan sisa pada pipa baja menggunakan program ADINA. Pemodelan dibuat dengan 6 (enam) langkah pengelasan yang berbeda. Hasil simulasi menunjukkan adanya pengaruh langkah pengelasan terhadap distribusi tegangan sisa, namun variasinya tidak terlalu signifikan.

Brust dan Scott (2007) [8], menganalisa pengontrolan distorsi pada pengelasan menggunakan program *Virtual Fabrication Technology (VFT)*. Model dianalisa dengan (3) tiga langkah pengelasan yang berbeda. Hasil simulasi menunjukkan pemodelan dengan analisa numerik dapat digunakan untuk mengamati parameter optimum yang diperlukan untuk meminimalisir distorsi pada pengelasan.

Rodrigues, et.al (2011) [9], menganalisa tegangan sisa pelat baja yang dilakuan *PWHT*. Analisa dilakukan dengan metode eksperimental dan analisa numerik dengan program ANSYS. Hasil penelitian menunjukkan *PWHT* dapat mempengaruhi tegangan sisa. Pembebasan tegangan sisa (*Stress Relieving*) mulai terjadi pada temperatur di atas 400°C dan terjadi kestabilan pada temperatur 600°C.

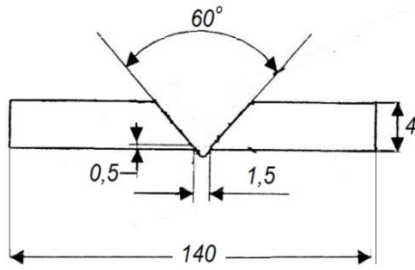
Karohika (2009) [10], menganalisa pengaruh variasi arus dan elektroda terhadap sifat mekanik baja karbon. Hasil penelitian didapatkan semakin tinggi arus maka harga kekerasan di daerah *weld metal* dan *HAZ* akan tinggi. Sedangkan jenis elektroda tidak mempengaruhi kekerasan.

## 3 Metode Penelitian

### 3.1 Preparasi spesimen dan pengelasan

Pada awalnya, 9 buah spesimen baja *AISI 1045* dengan tebal 4 mm dikerjakan dengan gerinda tangan dan perkakas kerja bangku untuk membuat kampuh las. Bentuk kampuh las dipilih kampuh

alur V tunggal (*single v butt joint*) dengan sudut 60°, seperti ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1. Kampuh alur V tunggal

Pengelasan dikerjakan dengan mesin las SMAW. Arus dan polaritas AC menggunakan elektroda E7018 dengan ukuran Ø2,6 x330 mm. Kecepatan pengelasan konstan sebesar 2 mm/dtk.

Pengaturan parameter pengelasan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter pengelasan

| No. Spec. | Arus (A) | Tegangan (V) |
|-----------|----------|--------------|
| 1,2,3     | 80       | 20           |
| 4,5,6     | 90       | 25           |
| 7,8,9     | 100      | 28           |

Masukan panas pada pengelasan diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut [1]:

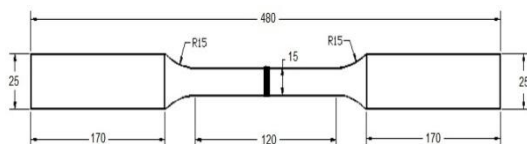
$$H = \frac{E \cdot I \cdot 60}{v} \quad (1)$$

Dimana:

- $H$  = Masukan panas (joule/mm)
- $E$  = Voltase pengelasan (volt)
- $I$  = Arus pengelasan (amper)
- $v$  = Kecepatan pengelasan (mm/dtk)

### 3.2 Pengujian tarik

Spesimen hasil proses pengelasan dipreparasi sehingga menjadi spesimen uji tarik standar *JIS Z 2201 No 14A* untuk pengujian dengan mesin uji tarik *Matest* seperti Gambar 2. Gerinda tangan dan perkakas bantu digunakan untuk membersihkan terak las.



Gambar 2. Spesimen uji tarik standar JIS Z 2201 No 14A

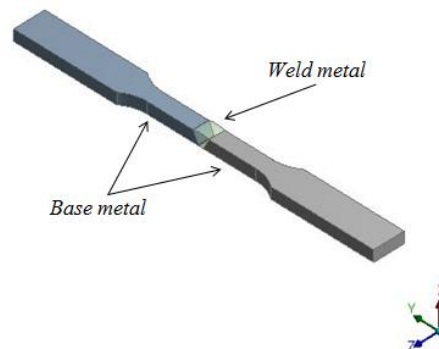
Pengujian tarik dilakukan dengan mesin *Matest*. Data hasil pengujian ditabulasikan untuk mengamati sifat mekanik hasil pengelasan.

### 3.3 Simulasi numerik

Simulasi dilakukan dengan program ANSYS, yaitu simulasi masukan panas proses pengelasan (simulasi termal) dan simulasi proses pengujian tarik (*static structural*) dengan memasukkan hasil simulasi termal.

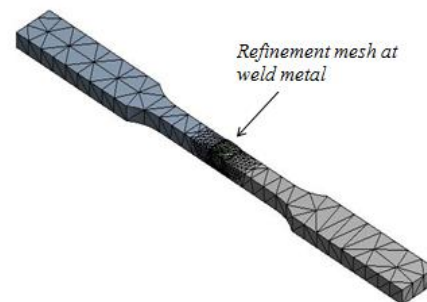
#### 3.3.1 Simulasi masukan panas proses pengelasan

Simulasi dilakukan dengan memilih *Transient Thermal Analysis*, memilih analisa 3D, masukkan sifat-sifat bahan, kemudian mendesain model. Model pengelasan dalam penelitian ini adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 3



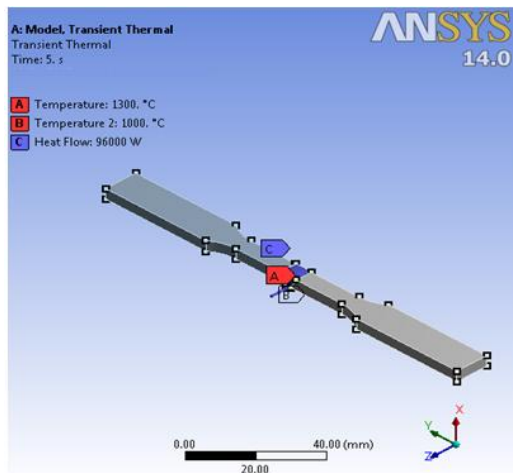
Gambar 3. Model dengan program ANSYS

Kemudian model dimeshing dengan menghaluskan ukuran mesh (*refinement*) hingga nomor 3 pada daerah lasan. Bentuk fisik mesh adalah *mechanical*. Jenis mesh ini menghasilkan 8268 elemen dan 14165 nodes, seperti ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4. Mesh dengan program ANSYS

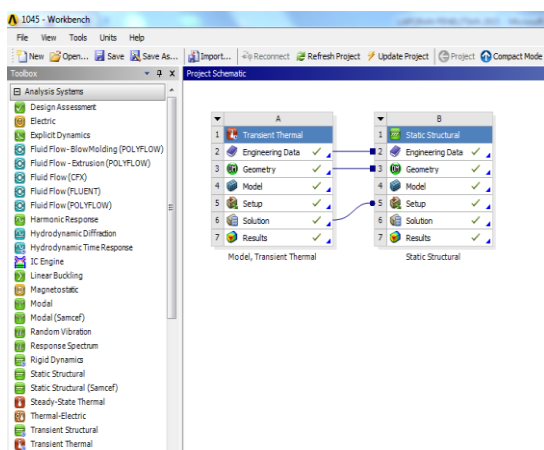
Selanjutnya diberi beban dan kondisi batas termal. Temperatur pada daerah HAZ diperhitungkan antara 1000°C sampai dengan 1300°C, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil simulasi termal dimasukkan (diseret) ke setup simulasi statik dan analisa hasil adalah langkah terakhir dalam simulasi numerik.



Gambar 5. Setup simulasi termal

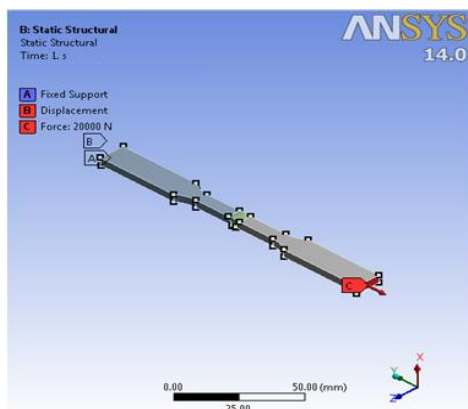
### 3.3.2 Simulasi uji tarik

Untuk simulasi uji tarik, hasil simulasi termal dimasukkan (diseret) ke *setup* simulasi *static structural*, seperti ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Langkah simulasi uji tarik

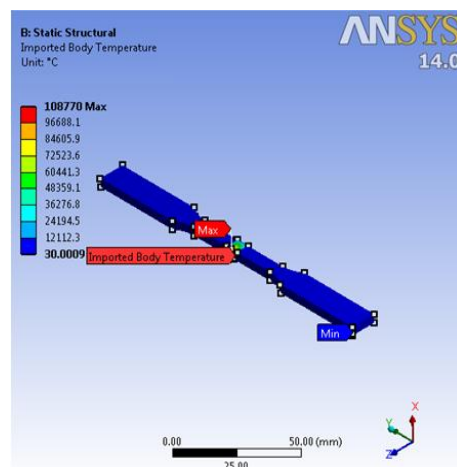
Pengaturan beban dan kondisi batas atau setup untuk simulasi statik seperti ditunjukkan pada Gambar 7



Gambar 7. Setup simulasi statik

Fixed support dan displacement nol ke arah Y dipilih pada salah satu ujung spesimen, sementara pada ujung lainnya diberikan gaya tarik sebesar 20000 N.

Beban termal (temperatur) yaitu temperatur transient pada daerah lasan yang berkisar antara 1000°C hingga 1300°C dan aliran panas 96000 W dimasukkan ke dalam simulasi statik. Dengan demikian seluruh kondisi pemodelan termal akan dimasukkan ke dalam simulasi struktur yang dilakukan dengan cara mengimpor (*imported body temperature*) seperti ditunjukkan pada Gambar 8



Gambar 8. Beban termal yang dimasukkan ke analisa statik

## 4 Hasil dan Pembahasan

Masukan panas pada proses pengelasan dihitung dengan menggunakan Pers. 1, hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2. Kecepatan pengelasan untuk parameter pertama adalah 2 mm/dtk, sehingga untuk mengelas spesimen sepanjang 15 mm memerlukan waktu selama 7,5 detik. Aliran panas dalam satuan watt (J/s) diperhitungkan sebagai masukan panas yang terjadi untuk mengelas sepanjang 15 mm selama 7,5 detik.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa masukan panas terbesar terjadi pada kecepatan pengelasan 2 mm/dtk, yaitu sebesar 48000 J/mm, sedangkan masukan panas terkecil terjadi pada kecepatan pengelasan 4 mm/dtk, yaitu sebesar 42000 J/mm. Kecepatan pengelasan yang besar akan menghasilkan aliran panas yang besar, begitu juga sebaliknya, pengelasan dengan kecepatan pengelasan kecil akan menghasilkan aliran panas yang kecil.

Aliran panas yang dihasilkan tersebut merupakan hubungan akibat suatu setting pengelasan. Bagaimanapun hasil tersebut bukanlah suatu hasil dari penelitian ini, melainkan konsekuensi dari rancangan parameter pengelasan dan persamaan yang digunakan.

Tabel 2. Prosedur pengelasan

| Nomor Spesimen | Elektroda dan Ukuran | Arus (A) | Tegangan (V) | Arus dan Polaritas | Kecepatan Pengelasan (mm/dtk) | Masukan Panas (J/mm) | Aliran Panas (W) |
|----------------|----------------------|----------|--------------|--------------------|-------------------------------|----------------------|------------------|
| 1<br>2<br>3    | E7018<br>Ø2,6 x330   | 80       | 20           | AC                 | 2                             | 48000                | 96000            |
| 4<br>5<br>6    | E7018<br>Ø2,6 x330   | 90       | 25           | AC                 | 3                             | 45000                | 135000           |
| 7<br>8<br>9    | E7018<br>Ø2,6 x330   | 100      | 28           | AC                 | 4                             | 42000                | 168000           |

#### 4.1 Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik untuk 9 (sembilan) spesimen yang dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri

Lhokseumawe menggunakan mesin uji tarik Matest dapat diketahui beban maksimum dan kekuatan maksimum untuk masing-masing spesimen seperti ditunjukkan pada Tabel 3. berikut:

Tabel 3. Data hasil pengujian tarik

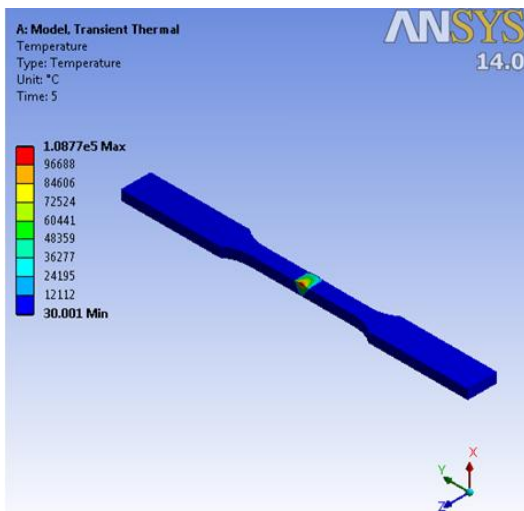
| Nomor Spesimen | Beban Maksimum (kN) | Kekuatan Maksimum (MPa) | Kekuatan Maksimum Rata-rata (MPa) |
|----------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 1              | 20,000              | 435                     | 428                               |
| 2              | 19,405              | 429                     |                                   |
| 3              | 19,305              | 419                     |                                   |
| 4              | 17,526              | 363                     | 361                               |
| 5              | 17,357              | 361                     |                                   |
| 6              | 17,247              | 360                     |                                   |
| 7              | 14,654              | 315                     | 282                               |
| 8              | 14,425              | 272                     |                                   |
| 9              | 14,326              | 260                     |                                   |

#### 4.2 Hasil Simulasi Numerik

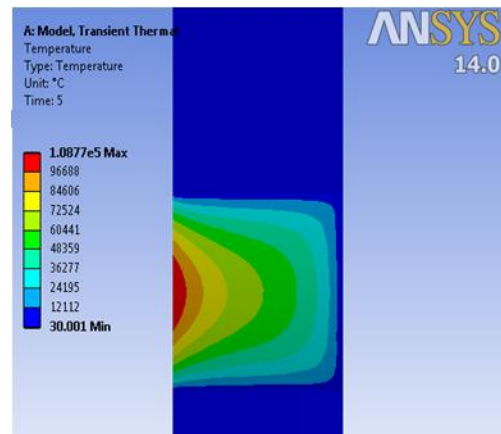
##### 4.2.1 Hasil simulasi termal

Distribusi temperatur pada daerah lasan seperti ditunjukkan pada Gambar 9 berikut. Temperatur maksimum yang terjadi mencapai 1000°C yaitu di pusat daerah kampuh las.

Profil masukan panas selama 5 detik pada daerah lasan seperti ditunjukkan pada Gambar 10 berikut.

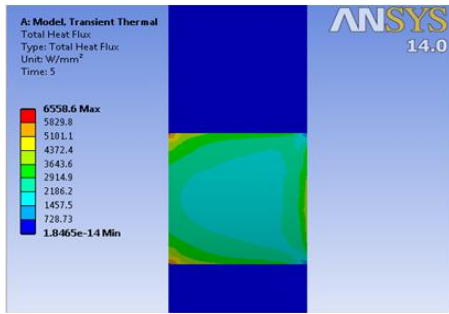


Gambar 9. Distribusi temperatur

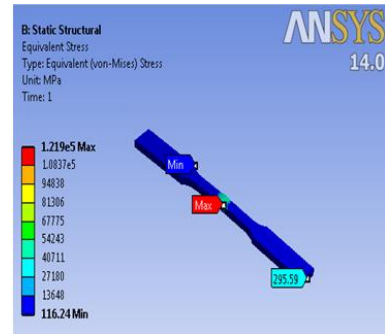


Gambar 10. Profil masukan panas

Fluks panas selama 5 detik pada daerah HAZ seperti ditunjukkan pada Gambar 11 berikut.



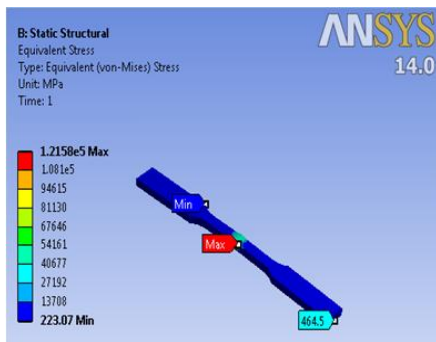
Gambar 11. Fluks panas



Gambar 14. Distribusi tegangan dengan beban 14000 N

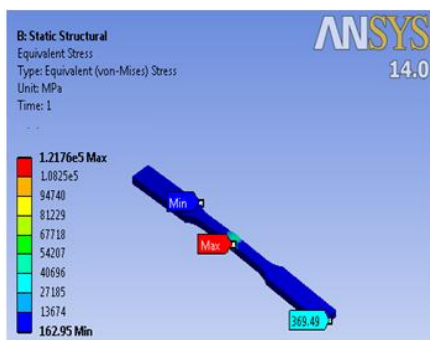
#### 4.2.2 Hasil simulasi statik

Hasil simulasi statik menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi di daerah lasan dan minimum di bagian radius sayap spesimen uji tarik. Hasil simulasi dengan beban 20000 N menghasilkan tegangan pada ujung spesimen sebesar 464,5 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Kekuatan tarik bahan yang tinggi diperoleh dengan memberikan masukan panas yang ideal dan minimnya cacat pada hasil pengelasan.



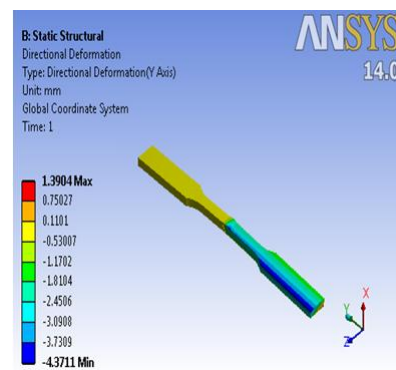
Gambar 12. Distribusi tegangan dengan beban 20000 N

Beban 20000 N seperti ditunjukkan di atas merupakan beban maksimum yang diberikan baik pada pengujian maupun simulasi. Beban yang diberikan mencapai 17500 N menghasilkan kekuatan 369,5 MPa seperti pada Gambar 13. Simulasi dengan beban 14000 N menghasilkan tegangan sebesar 295,59 MPa seperti tampak pada Gambar 14. Ini merupakan beban minimum yang didapatkan dari hasil pengujian eksperimental.



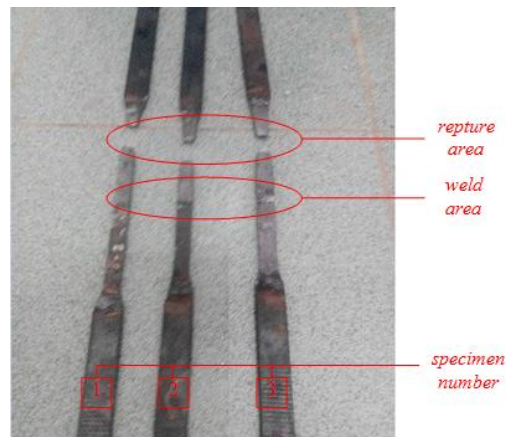
Gambar 13. Distribusi tegangan dengan beban 17500 N

Hasil simulasi menunjukkan deformasi maksimum arah sumbu Y mencapai 1,4 mm seperti tampak pada Gambar 15



Gambar 15. Deformasi maksimum arah Y

Semua spesimen yang diuji secara eksperimental tidak putus pada daerah lasan seperti pada Gambar 16. Daerah putus umumnya sekitar 30 mm dari daerah lasan, bentuk perputahan yang terjadi adalah antara ulet dan getas. Hal ini disebabkan oleh penggunaan parameter pengelasan yang baik dan juga faktor penggunaan elektroda E7018. Jenis elektroda ini khusus digunakan untuk keperluan industri dan harganya relatif mahal, namun memiliki keunggulan dari segi kekuatan.



Gambar 16. Spesimen yang putus setelah diuji

Jika kita bandingkan hasil tegangan antara pengujian dan simulasi masih terdapat perbedaan rata-rata sebesar 4,1%, dimana simulasi

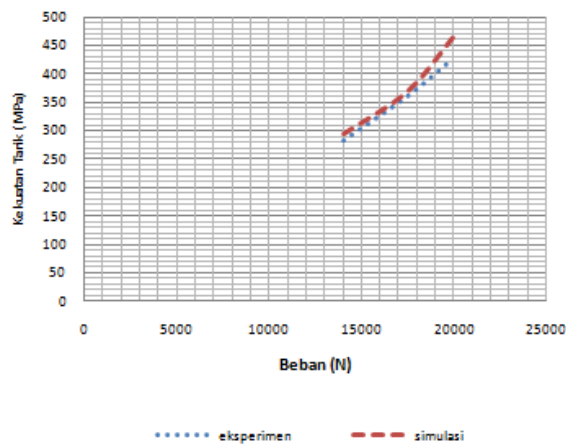
menghasilkan tegangan yang lebih besar untuk masing-masing pembebanan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Validasi hasil pengujian dan simulasi

| Nomor Spesimen   | Pembebanan dan Tegangan Pengujian |                | Pembebanan dan Tegangan Simulasi |                | Eror (%)   |
|------------------|-----------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|------------|
|                  | Beban (N)                         | Tegangan (MPa) | Beban (N)                        | Tegangan (MPa) |            |
| 1,2,3            | 20000                             | 428            | 20000                            | 464,5          | 7,8        |
| 4,5,6            | 17500                             | 361            | 17500                            | 369,5          | 1,8        |
| 7,8,9            | 14000                             | 282            | 14000                            | 295,5          | 2,9        |
| <b>Rata-rata</b> |                                   |                |                                  |                | <b>4,1</b> |

Jika kekuatan baja AISI 1045 hasil pengujian eksperimen dan simulasi disajikan dalam bentuk grafik maka hasilnya adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 17

Simulasi numerik dapat dijadikan salah satu alternatif untuk menganalisa permasalahan engineering, terutama pada kasus dengan bentuk geometri dan pembebanan yang kompleks.



Gambar 17. Perbandingan kekuatan tarik AISI 1045 secara eksperimen vs simulasi

## 5 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian tentang pengaruh masukan panas proses pengelasan terhadap sifat mekanik baja AISI 1045: Suatu kajian eksperimental dan analisa numerik, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa masukan panas proses pengelasan mempengaruhi sifat mekanik baja AISI 1045. Masukan panas yang besar menghasilkan kekuatan tarik yang rendah. Parameter masukan panas yang baik adalah arus 80 A, tegangan 20 V, kecepatan pengelasan 2 mm/dtk yang dapat menghasilkan kekuatan tarik sebesar 428 MPa.

Semua spesimen pada saat dilakukan pengujian tidak putus pada daerah lasan, ini menandakan bahwa sambungan las dengan elektroda E7018 yang digunakan dan parameter pengelasan yang diberikan menghasilkan kekuatan sambungan yang baik.

Terdapat perbedaan antara tegangan hasil pengujian dengan simulasi rata-rata sebesar 4,1%, hal ini disebabkan antara lain adalah faktor geometri, pembebanan dan mesh.

## Daftar Pustaka

- [1] Kadir, Harlian. *Teknologi Pengelasan Logam*. Polban, Bandung. 2000
- [2] Widyanto, Nurul (2014). *Analisa Pengaruh Variasi Arus Dan Sudut Kampuh Pengelasan SMAW Terhadap Tegangan Sisa Pengelasan Dan kekuatan Mekanis Sambungan Baja Karbon Rendah*. E-Jurnal Teknik Mesin, Vol.1 No.2 Juni 2014 ISSN:2337-9928.
- [3] Ramakrishna, CH. Siva and Rao, B. N. Dhananjaya (2015). *Characteristics Of Residual Stresses On Welded Tubular T-Joints*. International Journal of Mechanical Engineering (IJME) ISSN(P): 2319-2240; ISSN(E): 2319-2259 Vol. 4, Issue 1, Jan 2015, 37-46 © IASET.
- [4] Brar, Gurinder Singh and Kumar, Rakesh (2010). *Effect of the Welding Techniques on Residual Stresses Developed in Butt Welding of AISI 304 Stainless Steel Plates*. International Journal of Engineering Studies. ISSN 0975-6469 Volume 2, Number 3. 2010 , pp. 271—278
- [5] Li Yajiang, et.al (2004). *Finite Element Analysis Of Residual Stress In The Welded Zone Of A High Strength Steel*. Bull. Mater. Sci., Vol. 27, No. 2, April 2004, Pp. 127–132. © Indian Academy Of Sciences.
- [6] Stamenković, Dragi and Vasović, Ivana (2009). *Finite Element Analysis of Residual Stress in Butt Welding Two Similar Plates*. Scientific Technical Review, Vol. LIX, No. 1 2009
- [7] C-H Lee and K-H Chang (2009). *Effect Of The Welding Sequence In The Circumferential Direction On Residual Stress Distribution In A Thin-Walled Pipe Weld*. Proc. IMechE Vol. 223 Part B: Journal of Engineering Manufacture.
- [8] F. W. Brust dan Scott, Paul (2007). *Weld Distortion Control Methods and Applications of Weld Modeling*. Transactions, SMiRT 19, Toronto, August 2007.

- [9] Rodrigues, Telmo Viana, et.al. (2011). *Post Weld Heat Treatment For Residual Stresses Relieving In Welded Steel Plates: Modeling And Experimental Analysis*. 21<sup>st</sup> Brazilian Congress of Mech. Engineering.
- [10] Karohika, I Made Gatot (2009). *Pengaruh Variasi Arus dan Jenis Elektrode pada Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM Vol. 3 No.2. Okt. 2009 (144-149)