

## Analisis Performa *Heat Transfer* pada *Plastic Welding* terhadap Sambungan Pelat Perahu Berbahan *High Density Polyethylene* (HDPE) Menggunakan *Finite Element Method*

Lovian Ega Noorcahya Putra, Sunarso Sugeng\*, Mohd Ridwan, Aulia Windyandari, Adi Kurniawan Yusim  
Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro,  
Jl. Gubernur Mochtar, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275  
\*E-mail: sunarso.sugeng@gmail.com

Diajukan: 17-09-2024; Diterima: 19-12-2024; Diterbitkan: 21-12-2024

### Abstrak

Dewasa ini, penggunaan material HDPE (*High Density Polyethylene*) sebagai alternatif dalam pembuatan perahu nelayan mempunyai keuntungan yang lebih baik daripada bahan kayu ditinjau dari segi teknis dan ekonomis. Untuk merakit bagian konstruksi perahu, salah satu metode yang digunakan adalah pengelasan plastik atau *plastic welding*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh besar *stress*, *strain*, dan bentuk deformasi yang tercipta akibat distribusi temperatur pasca proses *plastic welding* terhadap sambungan pelat berbahan *High Density Polyethylene* (HDPE) yang mana penulis mencoba memprediksi dengan menggunakan bantuan software *Finite Element Method* (FEM). Ukuran dimensi spesimen yang akan digunakan yaitu 200mm x 200mm x 10mm menggunakan *single V-Butt joint* dengan besar sudut bevel 90° serta memiliki *root opening* dan *root face* sebesar 2mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan *extrusion temperature* 290°C menunjukkan nilai *stress* 37,591 MPa, *thermal strain* 0,017617 mm/mm, dan deformasi 3,2215 mm. Kemudian *extrusion temperature* 315°C menunjukkan nilai *stress* 38,954 MPa, *thermal strain* 0,018255 mm/mm, dan deformasi 3,3368 mm. Dan terakhir, untuk *extrusion temperature* 340°C menunjukkan nilai *stress* 44,191 MPa, *thermal strain* 0,020706 mm/mm, dan deformasi 3,7796 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar *extrusion temperature* yang diberikan pada material las, maka nilai tegangan, regangan dan deformasi material akan semakin besar pula. Oleh karena itu, pada proses *heat transfer* tidak hanya waktu dan proses pengelasannya saja yang perlu diperhatikan, tetapi juga tinggi dan rendahnya temperatur dapat berpengaruh terhadap material.

**Kata kunci:** *Finite Element Method* (FEM); HDPE (*High Density Polyethylene*); *Heat Transfer*; *Plastic Welding*

### Abstract

Currently, the use of HDPE (*High Density Polyethylene*) material as an alternative in the manufacture of fishing boats has better advantages compared to wood material from a technical and economic point of view. To assemble the ship construction parts, one of the methods used is plastic welding. This study aims to analyze the effect of the magnitude of stress, strain, and the shape of the deformation caused by the temperature distribution after the plastic welding process on the plate connection made of High Density Polyethylene (HDPE) which the author tries to predict using the help of Finite Element Method (FEM) software. The dimensions of the specimen to be used are 200mm x 200mm x 10mm using a single V-Butt joint with a bevel angle of 90° and has a root opening and root face of 2mm. The results of this study show that the extrusion temperature of 290°C shows a stress value of 37.591 MPa, a thermal strain of 0.017617 mm/mm, and a deformation of 3.2215 mm. Then the extrusion temperature of 315°C shows a stress value of 38.954 MPa, a thermal strain of 0.018255 mm/mm, and a deformation of 3.3368 mm. And lastly, the extrusion temperature of 340°C shows a stress value of 44.191 MPa, a thermal strain of 0.020706 mm/mm, and a deformation of 3.7796 mm. Therefore, it can be concluded that the greater the extrusion temperature given to the welding material, the greater the stress, strain, and deformation values of the material. Therefore, the heat transfer process is not only the time and welding process which needs to be considered, but also the high and low temperatures can affect the material.

**Keywords:** *Finite Element Method* (FEM); HDPE (*High Density Polyethylene*); *Heat Transfer*; *Plastic Welding*

## 1. Pendahuluan

Perkembangan material konstruksi kapal saat ini tidak hanya menggunakan baja dan kayu. Sejumlah galangan kapal khususnya pembuatan perahu di Indonesia masih sering ditemukan menggunakan kayu sebagai bahan konstruksinya. Di sisi lain, dengan tingginya kebutuhan material kayu berbanding terbalik dengan kecepatan tumbuh jenis kayu yang dibutuhkan. Kecepatan antara pemanenan dengan penanaman tidak seimbang, menyebabkan pasokan kayu dari hutan alam kian menurun baik volume maupun mutunya yang mengakibatkan harga kayu menjadi relatif mahal [1]. Selain itu,

penggunaan material kayu mempunyai kekurangan antara lain: lendutan yang cukup besar untuk pembebanan dalam jangka panjang, struktur material yang tidak homogen dan kurang awet. Dengan sistem produksi yang cenderung tradisional dan mempunyai kelemahan material secara teknis, tentunya membutuhkan alternatif material untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pemanfaatan material plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) sebagai alternatif mempunyai sifat material dengan kekuatan tarik yang tinggi, tahan korosi, dan prosesnya mudah untuk dikerjakan sehingga diharapkan mampu meningkatkan efisiensi produksi yang lebih baik. Tentu akan cukup menarik ketika mencoba suatu alternatif material paduan dari bahan plastik untuk menggantikan kekuatan struktur kayu atau non logam lainnya untuk mengabungkannya dalam suatu struktur konstruksi [2].

Untuk merakit bagian konstruksi perahu dengan material HDPE, metode yang digunakan adalah pengelasan plastik atau *plastic welding*. Diperlukan adanya *preheating* dengan tingkat panas dan waktu tertentu kemudian memasukkan *welding rod* pada *nozzle welding gun* yang selanjutnya menggerakkan ujung *welding gun* secara perlahan dengan menekan *welding rod*. Pengelasan plastik merupakan metode baru dalam hal penyambungan HDPE guna mendapatkan konstruksi yang direncanakan. Pemilihan dalam metode *preheating* menjadikan material HDPE memiliki karakteristik efek termoelastik [3]. Mengingat bahwa diperlukan *pre-heating* pada awal pengelasan dan percobaan penyambungan dengan penggunaan variasi temperature yang berbeda, tentu saja menghasilkan bentuk hasil sambungan yang berbeda-beda. Oleh karena itu, diperlukan bantuan *software* untuk menganalisis pengaruh dari panas yang dihasilkan terhadap material sambungan pelat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa *heat transfer* pada *plastic welding* dengan mengambil sampel dari sambungan las perahu nelayan HDPE Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan dengan metode pemecahan masalah menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Metode ini dijalankan secara komputerisasi untuk memprediksi bagaimana sebuah produk bereaksi terhadap kekuatan fisik di dunia nyata terhadap getaran, panas, aliran fluida, dan efek fisik lainnya. Langkah – langkah dalam melakukan Analisis Elemen Hingga atau *Finite Element Analysis* diawali dengan *preprosesor* yang berguna untuk mengatur dan menyiapkan data. Kemudian, *solution* yang digunakan untuk menghitung sifat-sifat objek yang dianalisis. Terakhir, *postprocessor* untuk menganalisis dan memvisualisasikan hasil [4]. Oleh karena itu, penyusun mencoba melakukan simulasi untuk memodelkan dan menganalisis lebih mendalam proses *heat transfer* yang terjadi pada *plastic welding* terhadap pelat perahu HDPE sehingga diharapkan dapat membantu memberikan gambaran optimalisasi desain struktural dan pengembangan ilmu teknik pengelasan dalam industri perkapalan.

## 2. Material dan Metodologi

HDPE (*High Density Polyethylene*) adalah sebuah bahan termoplastik yang terbentuk dari atom karbon dan hidrogen yang bersatu dan membentuk berat molekul produk yang tinggi. Kemudian dengan aplikasi panas dan tekanan, maka terbentuk polyethylene. HDPE (*High Density Polyethylene*) merupakan bahan yang biasa digunakan untuk peralatan rumah tangga seperti botol susu, tupperware, galon air minum, kursi lipat, dan lain-lain. HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi [5].

Dengan keunggulan material yang dimiliki oleh material HDPE, diharapkan lebih mampu dalam mengatasi korosi dan pertumbuhan *biofouling* pada konstruksi kapal. Berikut adalah referensi data sifat material HDPE *Extruded* yang diambil *MattWeb Material Property Data*:

**Tabel 1.** Sifat Material HDPE

<i>Property</i>	<i>Properties of HDPE</i>	<i>Unit</i>
<i>Density</i>	0.933 – 1.27	g/cc

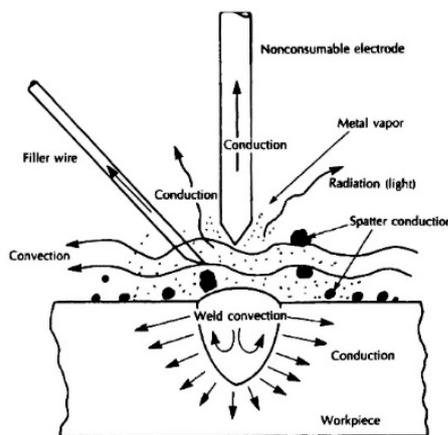
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	15,2 – 45	MPa
<i>Tensile Strength, Yield</i>	2,69 – 60,7	MPa
<i>Modulus of Elasticity</i>	0.483 – 1,75	GPa

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Araujo, et al [6], berikut adalah sifat termal yang dimiliki oleh *High Density Polyethylene* (HDPE):

**Tabel 2.** *Thermophysical Properties of HDPE*

<i>Property</i>	<i>Properties of HDPE</i>	<i>Unit</i>
<i>Density</i>	961	kg/m <sup>3</sup>
<i>Melting Point</i>	131.8	°C
<i>Temperature of Crystallization</i>	121.9	°C
<i>Latent Heat of Fusion</i>	188.6	kJ/kg
<i>Thermal Conductivity</i>	0.54	W/m.°C
<i>Specific Heat Capacity</i>	1331 – 2400	J/kg-K
<i>Specific Heat (Solid)</i>	2.9	J/kg.°C
<i>Crystallinity</i>	61	%

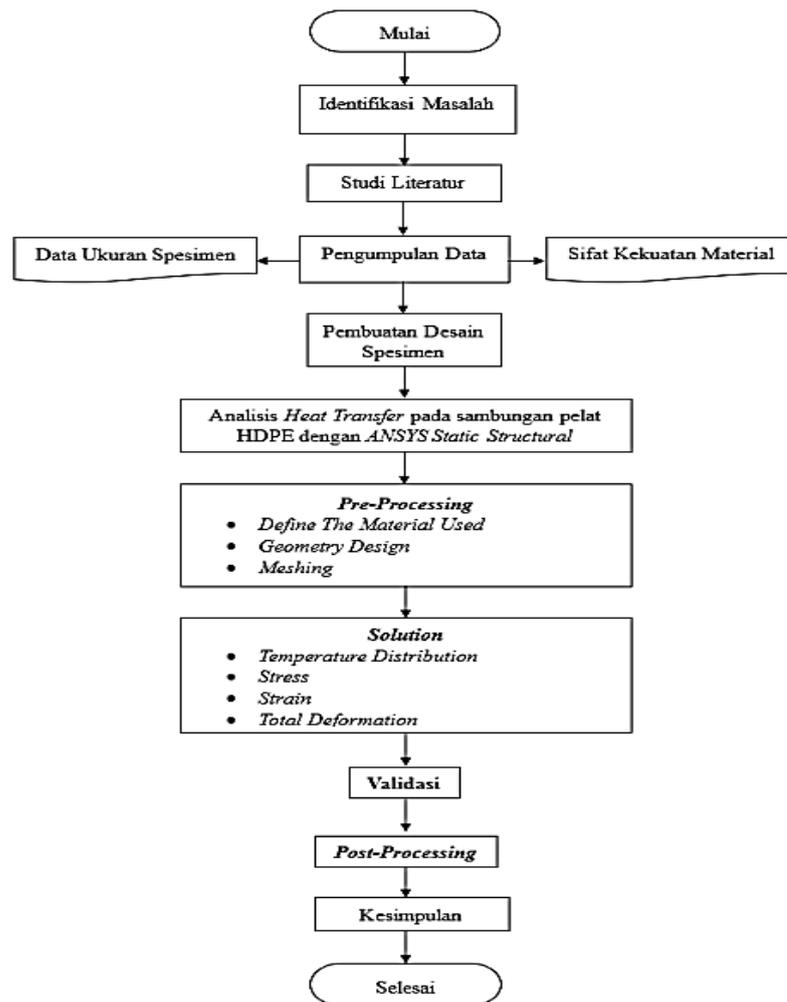
Pengelasan plastik/*plastic welding* adalah salah satu metode penyambungan termoplastik yang paling umum digunakan dan merupakan yang terbaik dalam sambungan plastik [7]. Produksi kapal HDPE mempunyai dua metode yaitu metode *rotating moulding* dan metode pengelasan [8]. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengelasan atau umumnya dikenal sebagai *extrusion welding* yang melibatkan *plastic filler rod* bersifat kontinu yang mana dipanaskan oleh mesin kemudian diekstrusi ke material sambungan las yang sebelumnya perlu dilakukan *pre-heating* terlebih dahulu sehingga nantinya ketika sudah mendingin akan terikat layaknya kawat las baja. Pada proses pengelasan, terjadi peristiwa *heat transfer* tentang bagaimana laju perpindahan panas diantara material/benda karena adanya perbedaan suhu (panas dan dingin) [9] yang umumnya memiliki tiga mekanisme, meliputi konduksi, konveksi, dan radiasi. Dengan tujuan mempermudah pemahaman tentang ketiga mekanisme *heat transfer* tersebut, berikut adalah gambaran proses yang terjadi pada material las:



**Gambar 1.** *Energy transfer* pada proses las

Deformasi bisa terjadi karena adanya pemuaian dan penyusutan yang bebas akibat siklus termal las sehingga menyebabkan bentuk akhir yang tidak memenuhi syarat baik estetika dan letaknya, terjadi misalignment, dapat menjadi bagian terlemah, dan mengganggu distribusi gaya [10]. Material memiliki beberapa sifat dan salah satunya adalah sifat

mekanik material yang mencerminkan hubungan antara beban atau gaya yang diberikan terhadap respons atau deformasinya [11]. Pengelasan plastik bisa dikatakan baik apabila karakteristik dari sambungan las dan homogenitasnya mendekati karakteristik dari material plastik tanpa sambungan, akan tetapi kekuatan mekanis hasil pengelasan yaitu pada sambungan lasnya pada umumnya mempunyai nilai yang masih lebih rendah dari kekuatan mekanis material tanpa pengelasan [12]. Penulis ingin mencoba memprediksi deformasi yang terjadi pada material dengan komputasi *Finite Element Method* (FEM) untuk menyelesaikan permasalahan teknik meliputi *structural analysis, heat transfer, fluid flow* dan lainnya [13]. Dalam penelitian ini terdapat beberapa langkah melaksanakan penelitian yang dimulai dari identifikasi masalah hingga mendapatkan hasil penelitian. **Gambar 2.** Merupakan *flowchart* penelitian.



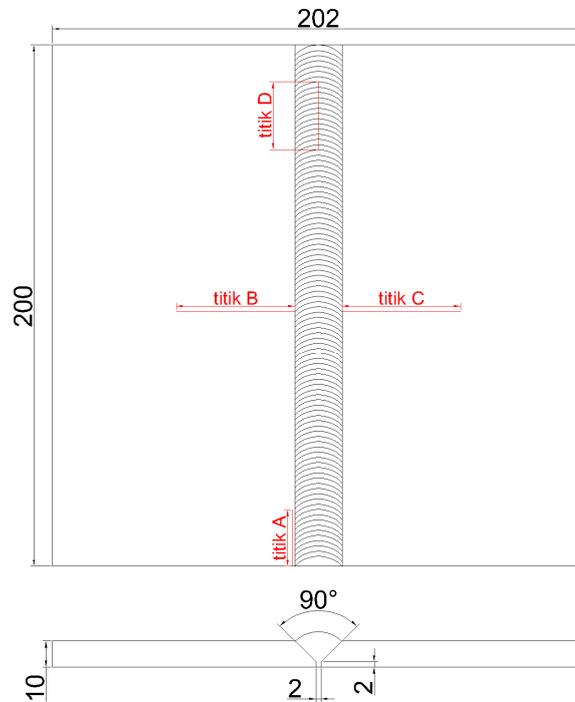
**Gambar 2.** Tahapan Penelitian

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *software 3D-Design* untuk pembuatan desain geometri material HDPE, dan *software* berbasis *Finite Element Method* untuk menganalisis proses *heat transfer* yang kemudian dihubungkan pengaruhnya terhadap struktur material seperti *stress, strain, dan deformation*. Penelitian dilakukan di Laboratorium Komputer Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

## 2.1 Geometry

Penelitian dilakukan menggunakan spesimen material HDPE dengan dimensi 200mm x 200mm x 10mm dengan *root face* dan *root opening* 2mm dengan sudut bevel sebesar 90°. Bentuk spesimen yang diproduksi telah disesuaikan

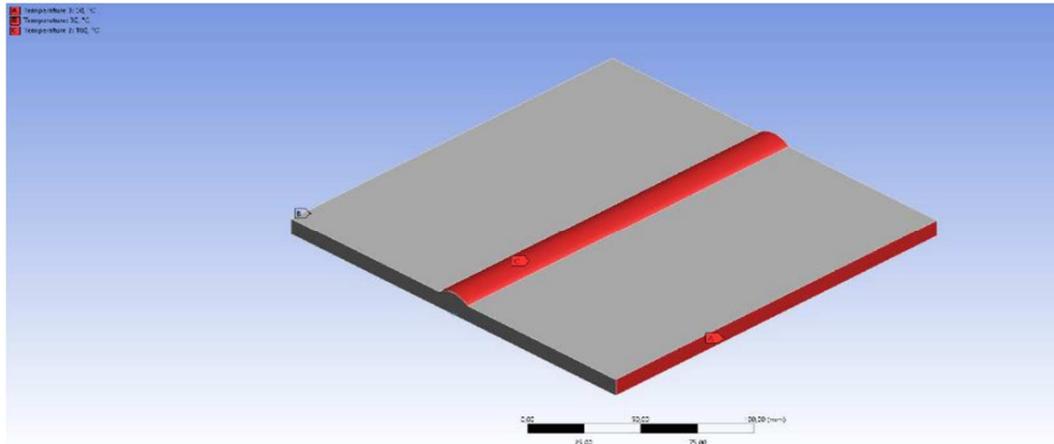
dengan proyek penelitian sebelumnya pada lapangan. Pada penelitian ini, diberikan variasi *extrusion temperature* tiap variabel yaitu 290°C, 315°C, dan 340°C. Selain dengan pengerjaan simulasi, dalam memprediksi kedua metode pengujian dibutuhkan validasi secara eksperimental digunakan dengan tujuan dalam mengetahui fenomena distribusi temperatur pada spesimen yang terjadi di lapangan. Untuk meninjau lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3:



**Gambar 3.** Titik Penilaian Validasi

## 2.2 Boundary Conditions

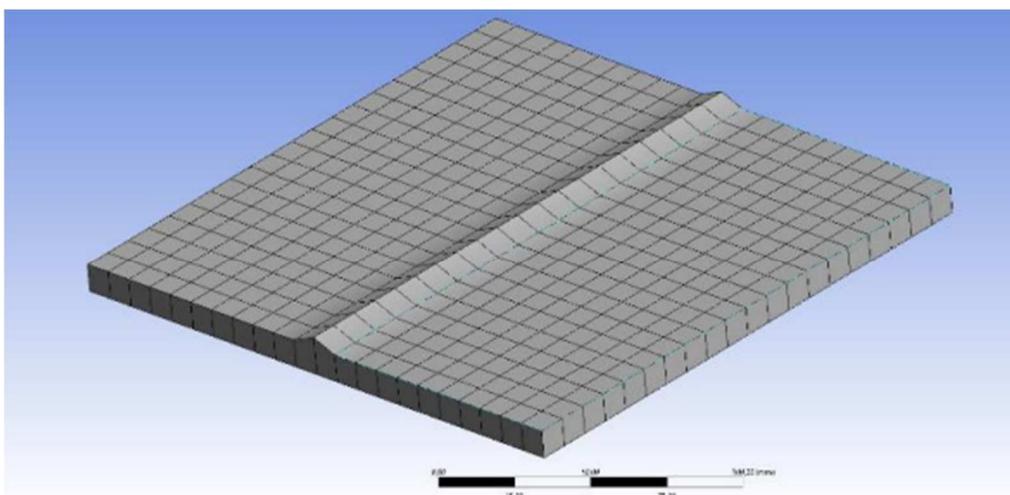
*Boundary conditions* adalah nilai yang ditentukan dari variabel medan (atau variabel terkait seperti turunan) pada batas medan [14]. *Boundary conditions* berperan dalam penelitian *Finite Element Method* (FEM) dikarenakan jika tidak ada hal tersebut maka *software* FEM tidak dapat berjalan dengan baik dan menghasilkan nilai yang tidak valid [15]. Pada penelitian ini mempunyai dua *boundary conditions* meliputi *initial Temperature* atau suhu awal dengan nilai 30°C yang mana merujuk pada kondisi suhu rata-rata ruangan pada saat penelitian secara eksperimental nyata yang nantinya diperlukan dalam memberikan nilai di sisi samping kedua permukaan base material. Kemudian yang kedua, pada *weldbead* diberi nilai sesuai nilai temperatur yang muncul saat *filler* meleleh pada sambungan material yang mana berdasarkan nilai yang diperoleh pada pengujian eksperimental, *extrusion temperature* sebesar 290°C menghasilkan angka 143,5°C, *extrusion temperature* sebesar 315°C menghasilkan angka 147,9°C, dan *extrusion temperature* sebesar 340°C menghasilkan angka 164,8°C. Untuk meninjau lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4:



Gambar 4. Lokasi *boundary conditions*

### 2.3 Meshing

Meshing dalam *Finite Element Analysis* (FEA) adalah proses pemecahan geometri yang kompleks dan kontinu menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dan mudah diatur [16]. Setelah tahap pendefinisian *temperature boundary conditions* selesai, langkah selanjutnya adalah proses *meshing*. Metode *meshing* yang digunakan pada penelitian ini adalah *linear hexahedral* (8-nodes atau HEX8) *mesh*. Penggunaan elemen *hexahedral* lebih disukai daripada jenis elemen 3D lainnya (seperti *tetrahedral*) dengan tujuan mengurangi penggunaan memori komputer untuk menganalisis [17]. Selain itu, penggunaan elemen *hexahedral* digunakan untuk mengurangi jumlah elemen sehingga menghemat waktu komputasi [18]. Pada pemodelan dunia nyata, eight-node hexahedral element mempunyai hasil lebih akurat seperti terhadap penerapan beban benda daripada elemen lainnya dan lebih mudah divisualisasikan [19]. Lebih jelasnya pada gambar 5:

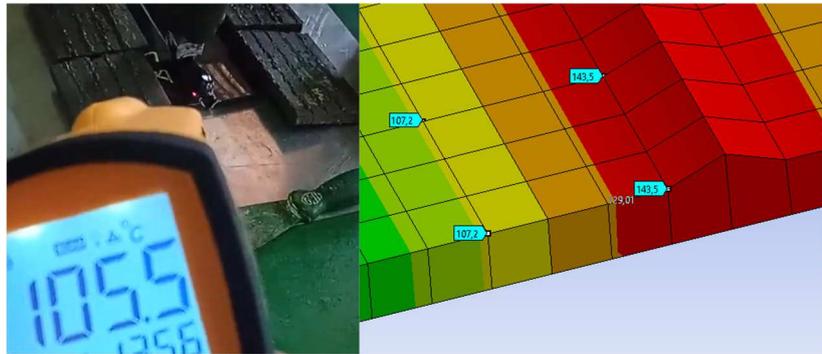


Gambar 5. *Meshing*

## 3. Hasil dan pembahasan

### 3.1 Validasi

Proses *scanning* dilakukan menggunakan *infrared thermometer* yang diarahkan pada beberapa titik yaitu titik A pada HAZ (*Heat Affected Zone*), titik B (*Base material* kanan dan kiri), dan titik C (*Area weldbead*). Tingkat akurasi yang dimiliki oleh *infrared thermometer* yaitu  $\pm 1,5\%$ . Berikut adalah beberapa hasil perbandingan dari kedua pengujian:



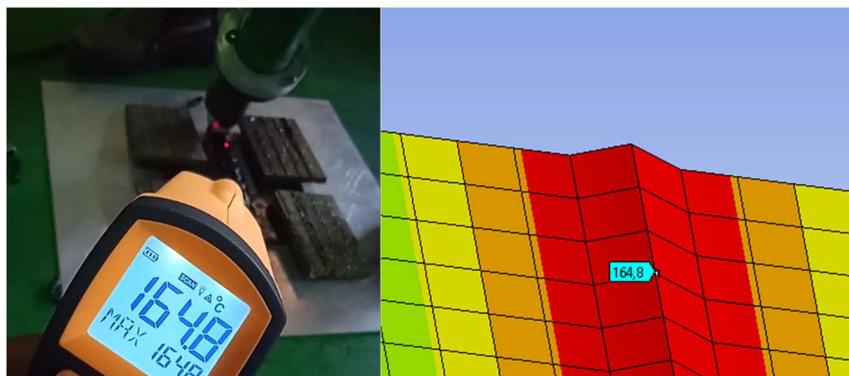
**Gambar 6.** Perbandingan pengujian material pada titik A dengan *extrusion temperature* 290°C menghasilkan selisih presentase 1,61% (min)



**Gambar 7.** Perbandingan pengujian material pada titik B dengan *extrusion temperature* 315°C menghasilkan selisih presentase 0,87% (max)



**Gambar 8.** Perbandingan pengujian material pada titik B dengan *extrusion temperature* 340°C menghasilkan selisih presentase 0,95% (min)

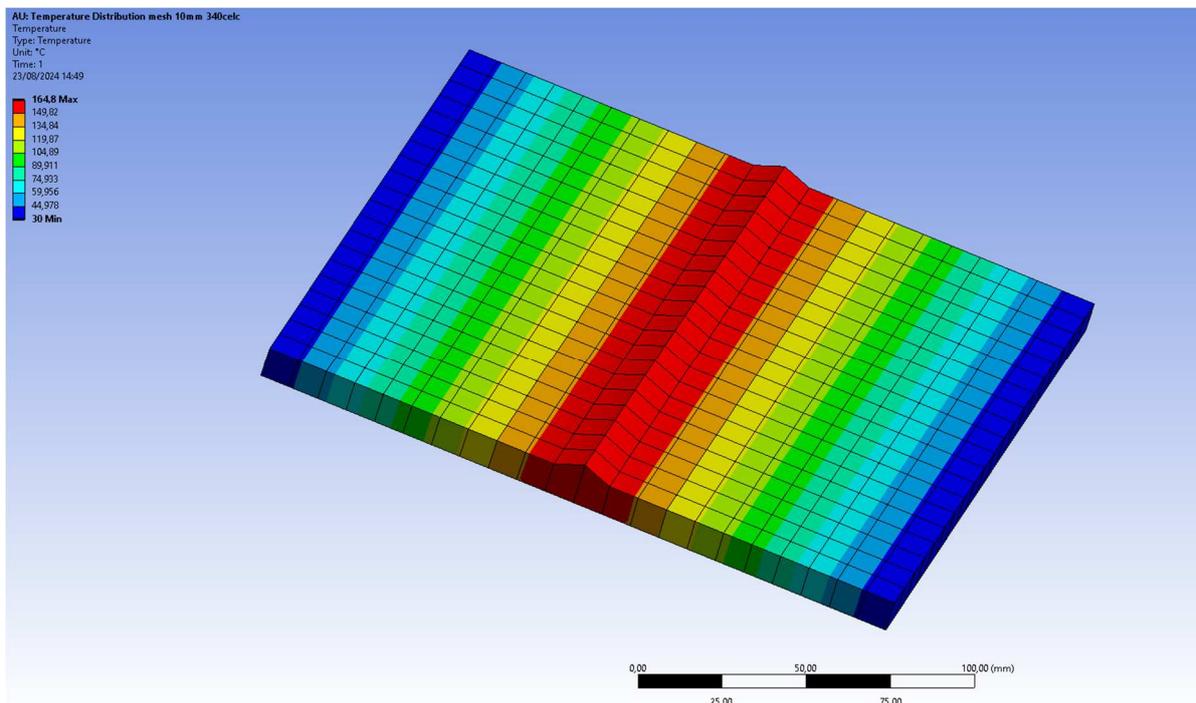


**Gambar 9.** Perbandingan pengujian material pada titik C dengan *extrusion temperature* 340°C menghasilkan selisih presentase 0%

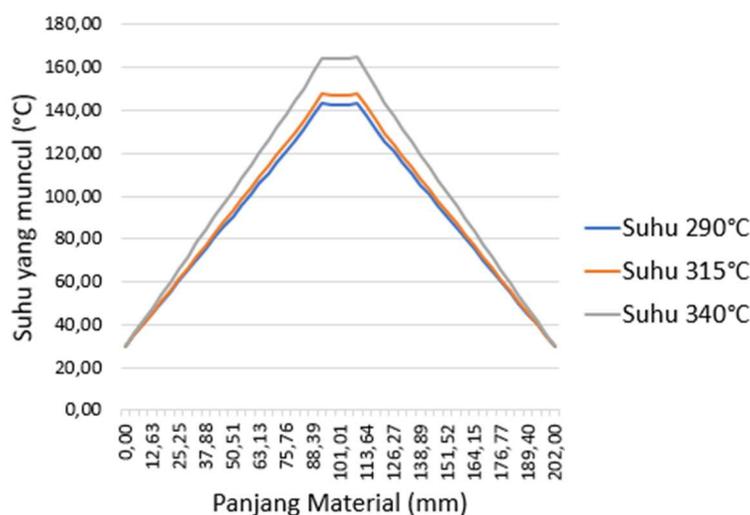
Pada Gambar 6 sampai Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai temperatur yang muncul pada material yang telah dilakukan pengujian eksperimental dan simulasi mempunyai selisih temperatur yang tidak terlalu signifikan. Penilaian validasi tidak hanya menyesuaikan dengan tingkat akurasi dari *infrared thermometer*, tetapi juga dengan suhu yang muncul pada rentang titik *nodes* material pada simulasi, dengan rentang nilai dituliskan *min* dan *max*. Perbedaan kontur warna pada hasil analisis termal menggambarkan perubahan temperatur pada spesimen sambungan pengelasan. Kontur warna yang lebih terang (warna merah, oranye, kuning) mewakili temperatur tinggi sedangkan kontur warna yang lebih gelap (biru atau hijau) mewakili temperature yang rendah.

### 3.2 Analisis Thermal

Setelah dilakukan proses validasi, proses dilanjutkan dengan menganalisis persebaran distribusi temperatur dengan maksud mengetahui besaran suhu yang muncul. Berikut hasil penelitian yang dihasilkan:



Gambar 10a. Hasil analisis *thermal*



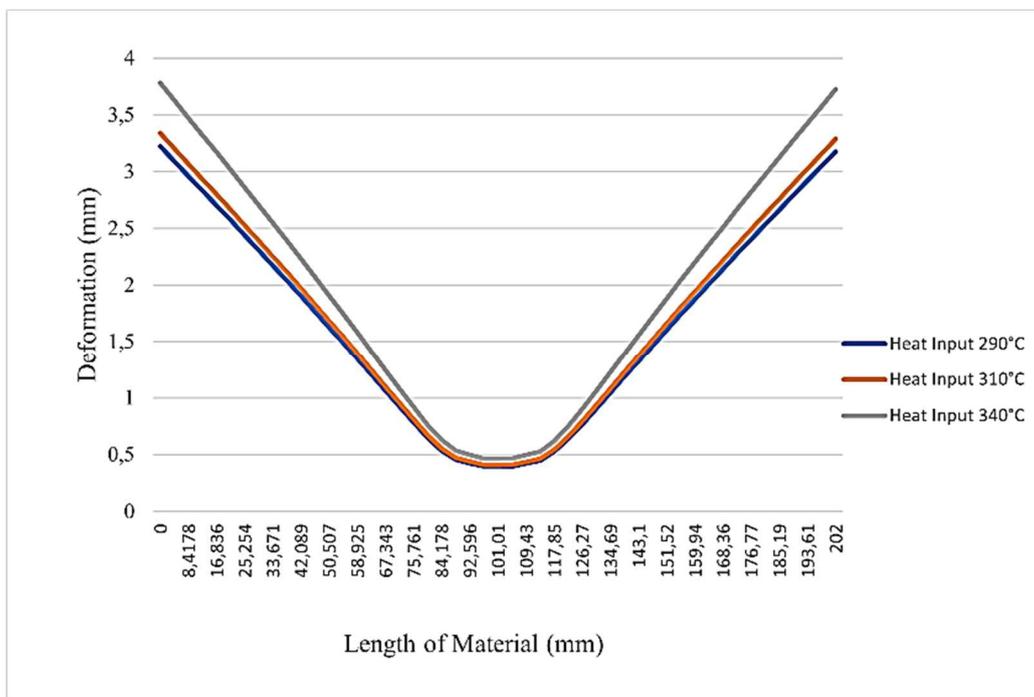
Gambar 10b. Grafik perbandingan dari tiap *extrusion temperature*

Gambar 10a sampai 10b menjelaskan bahwa pada variabel temperatur 290°C hingga 340°C terjadi kenaikan seiring dengan tingginya temperatur dari base material menuju area *weldbead* dan mengalami *drop* pada *base material* sebelah. Keseluruhan nilai variabel temperatur mempunyai persamaan *initial temperature* yaitu dengan suhu 30°C dikarenakan pada saat pengujian secara eksperimental/nyata memiliki *ambient temperature* cukup fluktuatif dan memiliki nilai rata-rata temperatur yaitu 30°C.

Pada saat proses pengelasan, beban termal yang tercipta mempengaruhi kekuatan pada struktur. Sebagian besar material memuai saat suhu meningkat. Pada penelitian ini, deformasi yang dihasilkan hanya saat temperatur mencapai maksimum. Berikut ini disajikan data hasil analisis struktur:

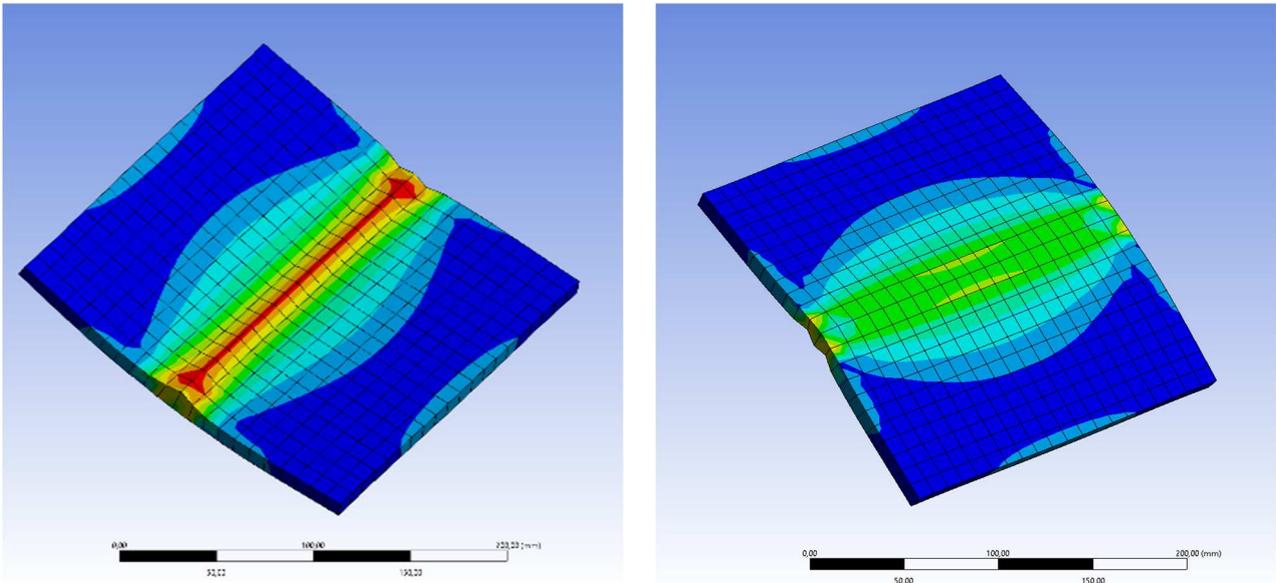
**Tabel 3.** Hasil Simulasi Dengan Analisis Struktur

<i>Extrusion Temperature (°C)</i>	<i>Max Stress (MPa)</i>	<i>Max Strain (mm/mm)</i>	<i>Max Deformation (mm)</i>
290	37,591	0,017617	3,2215
315	38,954	0,018255	3,3368
340	44,191	0,020706	3,7796

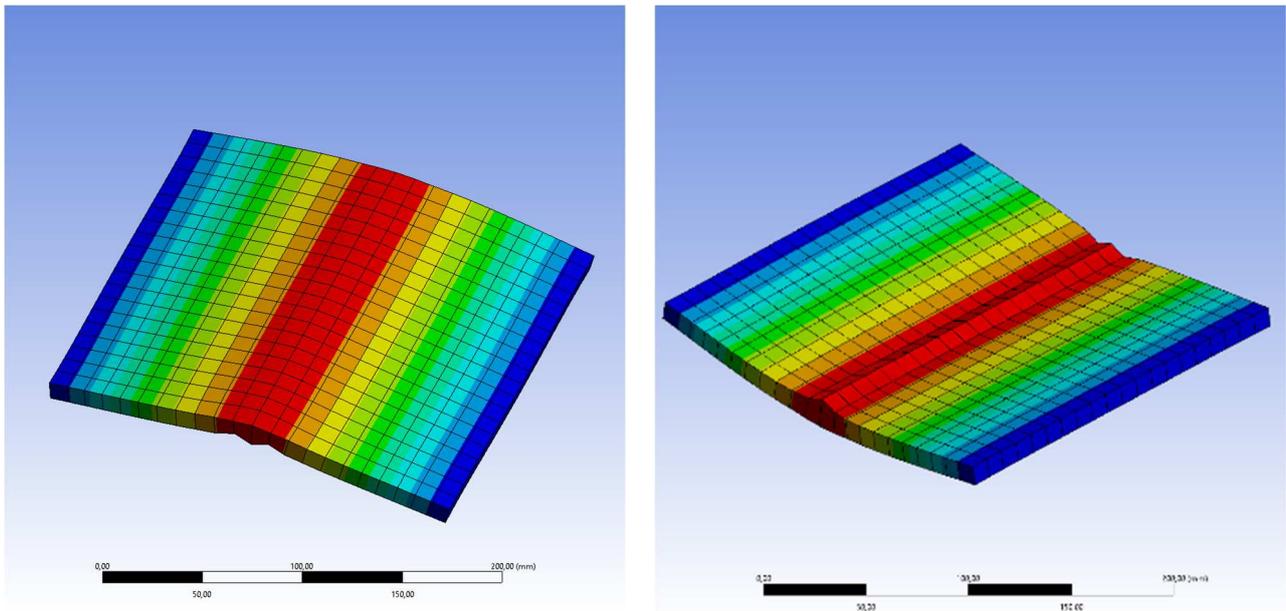


**Gambar 11.** Grafik perbandingan nilai deformasi dari tiap *extrusion temperature*

Gambar 11 menunjukkan hasil perbandingan yang ditinjau dari tampak depan material. Pada proses pengerjaan simulasi sesuai dengan nilai variabel *heat input* yang digunakan yaitu sebesar 290°C hingga 340°C, didapatkan *angular distortion* yang disebabkan karena adanya distribusi panas yang tidak merata pada kedalaman material sehingga menyebabkan terjadinya distorsi/ perubahan sudut [20], yang mana dengan ini dapat memprediksi kemungkinan terjadi pada pengujian secara eksperimental. Berikut *stress* yang divisualisasikan pada Gambar 12 sampai 13:



**Gambar 12.** Visualisasi *Stress* pada material dengan *extrusion temperature* 290°C



**Gambar 13.** Visualisasi *Strain* pada material dengan *extrusion temperature* 315°C

*Von-misses stress* digunakan dalam analisis ini, yang mana mempunyai definisi tegangan ekuivalen atau tegangan efektif yang diharapkan terjadi pada bahan ulet [21]. Menurut kriteria *yield von-misses*, suatu material akan luluh jika tegangan *von-misses* di bawah beban sama dengan atau lebih tinggi dari batas luluhnya di bawah tegangan sederhana. Berikut ini disajikan visualisasi *stress* pada salah satu *extrusion temperetare* bernilai 290°C.

Umumnya, *thermal strain* dapat terjadi dikarenakan ekspansi akibat kenaikan temperatur dan kontraksi dengan penurunan temperatur. Namun, perubahan temperatur tersebut hanya menciptakan perpanjangan regangan tanpa adanya regangan geser. Pada saat yang sama, tekanan termal menyebabkan regangan termal pada material, yang merupakan deformasi termal mikrokosmik [22]. Berikut ini disajikan visualisasi *strain* pada salah satu *extrusion temperetare* bernilai 315°C.

#### 4. Kesimpulan

Sesuai dengan objektif penelitian mengenai pengaruh termal akibat pengelasan HDPE terhadap struktur, ditemukan bentuk deformasi/distorsi yang sama seperti pengelasan baja pada kasus ini yaitu *angular distortion* sehingga proses penyetulan/*fit-up* pada lapangan sebelum pengelasan perlu diperhatikan. Hal ini dibuktikan dengan beberapa variabel penelitian yaitu dengan *extrusion temperature* 290°C menunjukkan nilai *stress* 37,591 MPa, *thermal strain* 0,017617 mm/mm, dan deformasi 3,2215 mm dan kemudian *extrusion temperature* 315°C menunjukkan nilai *stress* 38,954 MPa, *thermal strain* 0,018255 mm/mm, dan deformasi 3,3368 mm. Dan terakhir, untuk *extrusion temperature* 340°C menunjukkan nilai *stress* 44,191 MPa, *thermal strain* 0,020706 mm/mm, dan deformasi 3,7796 mm. Secara garis besar, semakin besar *extrusion temperature* yang diberikan pada material las, maka nilai *stress*, *strain* dan deformasi material akan semakin besar pula. Oleh karena itu, hal tersebut harus diperhatikan waktu dan proses pengelasannya yang mana penerapannya pada kapal bagian *parallel middle body* dan lajur pengelasan linear karena HDPE mempunyai melting point yang rendah sehingga dapat mempengaruhi hasil akhir produknya dan dapat memungkinkan menimbulkan deformasi. Namun di sisi lain, proses *heat transfer* cukup berperan dalam proses pembentukan haluan dan buritan kapal yang mana butuh temperatur tinggi atau tertentu untuk membantu membentuk lembaran pelat HDPE menjadi bentuk hasil *bending*.

#### Daftar Pustaka

- [1] Abdurachman dan Hadjib, N. 2006. Pemanfaatan Kayu Hutan Rakyat Untuk Komponen Bangunan, Prosiding Seminar Hasil Litbang Hasil Hutan, hal 130-148.
- [2] S. F. K. Sulaiman Sulaiman, "Analisa Sambungan Groove pada Pengelasan HDPE Sebagai Material Alternatif Konstruksi Kapal Kayu Nelayan," *Inovtek Polbeng*, vol. 12, no. 1, Jun. 2022.
- [3] Khristyson, S. F., Ridwan, M., Afrizal, L., & Wulan, P. (2023). Uji EKSPERIMENTAL PROSES PLASTIC WELDING TERHADAP PERLAKUAN PRE HEATING KONSTRUKSI HDPE KAPAL IKAN. *Riset Sains Dan Teknologi Kelautan*, 6(1), 1-7. <https://doi.org/10.62012/sensistek.v6i1.21578>.
- [4] K. Kumar and M. L. Aggarwal. (2013). Computer aided FEA simulation of EN45A parabolic leaf spring. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 4(2), 297–304.
- [5] Hidayat, A. (2016). Desain Kapal Penumpang Hybrid Berbahan Dasar HDPE Untuk Rute Sumenep-Gili Labak, Kabupaten Sumenep-Madura. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Araújo, J. R.; Waldman, W. R.; De Paoli, M. A. (2008-10-01). "Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: Coupling agent effect". *Polymer Degradation and Stability*. 93 (10): 1770–1775.
- [7] Abimanyu, A., & Tjahjanti, H. (2021). Analisa Las Oksi Asitilen untuk Las Plastik Material Polimer Termoplastik. *Procedia of Engineering and Life Science*, 1(1), 1–4.
- [8] Iqbal, M., dan Aryawan, W. D. (2019). Desain Kapal Ikan Hibrida Berbahan Dasar High Density Polyethylene sebagai Penunjang Potensi Laut Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), G159-G165
- [9] Buchori, Luqman. 2011. Buku Ajar Perpindahan Panas. Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- [10] Erikman, E., Gunawan, Y. and Aksar, P. (2022) 'Analisis Distorsi Berbasis Metode Elemen Hingga Pada Proses Pengelasan Kampuh U Dan V', *Enthalpy: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 7(3), pp. 129–135. doi:10.55679/enthalpy.v7i3.27124.
- [11] Sofyan, B.T., "Pengantar Material Teknik (Edisi Kedua)", Penerbit UNHAN RI Press, Bogor. 2021.
- [12] H. Ahamad, M. Alam, M. S. Haque, S. N. Pandey, and M. Amanuddin, "Welding of Plastics through Hot Gas Technique: A Review," *Glob. Res. Dev. J. Eng.*, vol. 1, no. 6, 2016.

- [13] Logan, D. L., (2007), *A First Course in the Finite Element Method*, 4th ed. Thomson, USA.
- [14] Hutton, D.V. (2004), *Fundamental of Finite Element Analysis*, McGraw-Hills Companies, Inc, New York, America
- [15] M.N. Misbah, D. Setiawan, dan W.M Dananjaya, “Construction Strength Analysis of Landing Craft Tank Conversion To Passenger Ship Using Finite Element Method” Department of Naval Architecture, Faculty of Marine Technology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 2018.
- [16] Madier, D. (2023). *An Introduction to the Fundamentals of Mesh Generation in Finite Element*. [www.fea-academy.com](http://www.fea-academy.com)
- [17] Pandey, A. K., Dechaumphai, P., & Wieting, A. R. (1992). Thermal-structural finite element analysis using linear flux formulation. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 6(2), 341–348. <https://doi.org/10.2514/3.365>
- [18] Zhou, G., Hernández, F., Boccaccini, L. V., Chen, H., & Ye, M. (2017). Design study on the new EU DEMO HCPB breeding blanket: Thermal analysis. *Progress in Nuclear Energy*, 98, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.03.013>
- [19] Bussler, M., & Ramesh, A. (1993). Eight-node hexahedral element in FEA of part designs. *Foundry Management and Technology*, 121(11), 26–28.
- [20] Kusna, D,I. dan Sofi’I, M. 2008, *Teknik Konstruksi Kapal Baja Jilid 1 & 2*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta.
- [21] Jong, I., & Springer, W., 2009. *Teaching von Mises Stress: From Principal Axes to Non-Principal Axes*. Washington: American Society for Engineering Education.
- [22] Bian, P., Shao, X., & Du, J. (2019). Finite Element Analysis of Thermal Stress and Thermal Deformation in Typical Part during SLM. *Applied Sciences*, 9(11), 2231. doi:10.3390/app9112231