

# Husain\_Haafizh\_3331200085\_S kripsi.pdf

*by turnitin turnitin*

---

**Submission date:** 29-Nov-2024 02:09PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2532409995

**File name:** Husain\_Haafizh\_3331200085\_Skripsi.pdf (3.47M)

**Word count:** 9549

**Character count:** 58174

**ANALISIS UJI *STATIC* PERPADUAN MATERIAL PLASTIK  
UNTUK PRODUK ORNAMEN PAGAR MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA**

**SKRIPSI**



Disusun Oleh:

**Husain Haafizh  
3331200085**

**17  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON – BANTEN  
2024**

**ANALISIS UJI *STATIC* PERPADUAN MATERIAL PLASTIK  
UNTUK PRODUK ORNAMEN PAGAR<sup>1</sup> MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA**

**Skripsi**

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1<sup>7</sup> pada  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



**Disusun Oleh:**

**Husain Haafizh  
3331200085**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON – BANTEN**

**2024**

## ABSTRAK

Plastik merupakan material yang paling banyak digunakan di Indonesia. Jenis jenis plastik yang paling sering diolah adalah PET (*Polyethylene terephthalate*), HDPE (*High-density polyethylene*), dan PP (*Polypropylene*). Dengan kemajuan dalam teknologi bahan, plastik semakin diminati sebagai material untuk hiasan pagar karena kelebihanannya seperti ringan, fleksibel, tahan cuaca, dan ekonomis. Dengan menggunakan material komposit memungkinkan untuk mengoptimalkan baik kekuatan, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap berbagai faktor lingkungan yang terjadi, sehingga dapat menghasilkan ornamen pagar yang lebih tahan lama. Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum (*stress*) dan nilai defleksi (*displacement*) dari produk ornamen pagar menggunakan material PP (*Polypropylene*), PET (*Polyethylene Terephthalate*), dan HDPE (*High Density Polyethylene*) dan variasi berbeda. Dan juga membandingkan hasil simulasi uji mekanik ornamen pagar dengan uji mekanik yang dilakukan di laboratorium material. Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik matematika dan fisika. Metode ini dapat diterapkan pada masalah dengan geometri, beban, dan sifat material yang kompleks, yang tidak dapat diselesaikan secara analitis. Hasil simulasi pada produk ornamen pagar dengan komposisi material plastik PP, PET, dan HDPE dengan tebal 10 mm dihasilkan nilai tegangan sebesar 61.84 MPa, hingga yang terbesar 70.26 MPa, dan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm, hingga 0.074 mm. Pada hasil eksperimen didapatkan nilai tegangan sebesar 14.572 MPa, pada hasil simulasi yang terbaik didapatkan nilai tegangan sebesar 63.12 MPa, dengan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm. Hal ini dapat terjadi karena dikarenakan adanya faktor yang mempengaruhi pada hasil simulasi maupun pengujian.

**Kata kunci:** Plastik, Tegangan Maksimum, Defleksi.



## KATA PENGANTAR

Puji Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir atau skripsi yang berjudul “ **ANALISIS UJI STATIC PERPADUAN MATERIAL PLASTIK UNTUK PRODUK ORNAMEN PAGAR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**”. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan bekerja sama selama pelaksanaan kerja praktek dan penyusunan laporan ini, khususnya:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan penelitian dengan lancar.
2. Orang Tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa yang terbaik untuk penulis.
3. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Bapak Prof. Dr. Eng Ir. Hendra S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan ilmu baik itu secara teori maupun secara moril.
5. Ibu Shofiatul Ula, M.Eng Selaku dosen pembimbing II yang senantiasa memberikan ilmu baik itu secara teori maupun secara moril.
6. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T. Selaku Koordinator Pelaksanaan Kerja Praktek Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
7. Seluruh Staff dan jajaran dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
8. Riza Ariyanto selaku sahabat sekaligus teman satu tim yang sudah membantu baik moril maupun teori.
9. Seluruh pihak yang membantu saya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

## 9 DAFTAR ISI

|                                                     | Halaman    |
|-----------------------------------------------------|------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                          | <b>i</b>   |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                | <b>iii</b> |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                          | <b>iv</b>  |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                             | <b>v</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                          | <b>vii</b> |
| <b>HALAMAN TABEL .....</b>                          | <b>x</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                            |            |
| 1.1 Latar Belakang .....                            | 1          |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                           | 2          |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                          | 2          |
| 1.4 Batasan Masalah.....                            | 2          |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                         | 2          |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                      |            |
| 2.1 Material Plastik .....                          | 3          |
| 2.2 Macam – Macam Plastik .....                     | 5          |
| 2.3 Analisis Elemen Hingga ( <i>FEA/FEM</i> ) ..... | 5          |
| 2.4 Tegangan ( <i>Stress</i> ) .....                | 7          |
| 2.5 Defleksi ( <i>Displacement</i> ).....           | 8          |
| 2.6 Hukum Hooke .....                               | 10         |
| 2.7 Momen Inersia.....                              | 11         |
| 2.8 <i>Solidworks</i> .....                         | 11         |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>                |            |
| 3.1 Diagram Alir .....                              | 13         |
| 3.2 Metode Penelitian.....                          | 14         |
| 3.3 Alat dan Bahan Yang Digunakan .....             | 15         |
| 3.3.1 Alat yang Digunakan Pada Penelitian .....     | 15         |
| 3.3.2 Bahan yang Digunakan Pada Penelitian.....     | 16         |
| 3.4 Desain ornamen pagar .....                      | 17         |
| 3.5 Tahapan Pengujian .....                         | 17         |
| 3.6 Variabel Penelitian.....                        | 20         |

5

#### **BAB IV DATA DAN ANALISA**

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Hasil Simulasi Pada Ornamen Pagar .....                     | 21 |
| 4.1.1 Simulasi Ketebalan 5 mm .....                             | 21 |
| 4.1.2 Simulasi Ketebalan 10 mm .....                            | 29 |
| 4.1.3 Simulasi Ketebalan 15 mm .....                            | 38 |
| 4.2 Pembahasan Simulasi.....                                    | 46 |
| 4.3 Validasi Simulasi .....                                     | 49 |
| 5 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Eksperimen ..... | 54 |

7

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

|                     |    |
|---------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 58 |
| 5.2 Saran .....     | 59 |

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                          | Halaman |
|--------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Gambar 2.1</b> Balok Sebelum Terjadi Deformasi .....                  | 8       |
| <b>Gambar 2.2</b> Balok Sesudah Terjadi Deformasi .....                  | 8       |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....                          | 13      |
| <b>Gambar 3.2</b> Laptop ASUS .....                                      | 15      |
| <b>Gambar 3.3</b> Aplikasi Solidwork 2022 .....                          | 15      |
| <b>Gambar 3.4</b> Plastik PET .....                                      | 16      |
| <b>Gambar 3.5</b> Plastik PP .....                                       | 16      |
| <b>Gambar 3.6</b> Plastik HDPE .....                                     | 17      |
| <b>Gambar 3.7</b> Desain Ornamen pagar .....                             | 17      |
| <b>Gambar 3.8</b> Desain Ornamen pagar .....                             | 18      |
| <b>Gambar 3.9</b> Pengaplikasian Material Pada Desain Ornamen pagar..... | 18      |
| <b>Gambar 3.10</b> Aplikasi Nilai Gaya Pada Desain Ornamen pagar .....   | 19      |
| <b>Gambar 3.11</b> Mengatur Mesh Pada Desain Ornamen pagar .....         | 19      |
| <b>Gambar 3.12</b> Menjalankan Simulasi Pada Desain Ornamen pagar .....  | 20      |
| <b>Gambar 3.13</b> Hasil Simulasi Pada Desain Ornamen pagar .....        | 20      |
| <b>Gambar 4.1</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....           | 21      |
| <b>Gambar 4.2</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar .....        | 22      |
| <b>Gambar 4.3</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar .....         | 22      |
| <b>Gambar 4.4</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....           | 23      |
| <b>Gambar 4.5</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar .....        | 23      |
| <b>Gambar 4.6</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar .....         | 24      |
| <b>Gambar 4.7</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....           | 24      |
| <b>Gambar 4.8</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar .....        | 25      |
| <b>Gambar 4.9</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar .....         | 25      |
| <b>Gambar 4.10</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....          | 26      |
| <b>Gambar 4.11</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar .....       | 26      |
| <b>Gambar 4.12</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....         | 26      |
| <b>Gambar 4.13</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....          | 27      |
| <b>Gambar 4.14</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar.....        | 27      |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 4.15</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 28 |
| <b>Gambar 4.16</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 28 |
| <b>Gambar 4.17</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 29 |
| <b>Gambar 4.18</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 29 |
| <b>Gambar 4.19</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 30 |
| <b>Gambar 4.20</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 30 |
| <b>Gambar 4.21</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 31 |
| <b>Gambar 4.22</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 31 |
| <b>Gambar 4.23</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 32 |
| <b>Gambar 4.24</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 32 |
| <b>Gambar 4.25</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 33 |
| <b>Gambar 4.26</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 33 |
| <b>Gambar 4.27</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 34 |
| <b>Gambar 4.28</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 34 |
| <b>Gambar 4.29</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 35 |
| <b>Gambar 4.30</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 35 |
| <b>Gambar 4.31</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 36 |
| <b>Gambar 4.32</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 36 |
| <b>Gambar 4.33</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 36 |
| <b>Gambar 4.34</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 37 |
| <b>Gambar 4.35</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 37 |
| <b>Gambar 4.36</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 38 |
| <b>Gambar 4.37</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 38 |
| <b>Gambar 4.38</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 39 |
| <b>Gambar 4.39</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 39 |
| <b>Gambar 4.40</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 40 |
| <b>Gambar 4.41</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 40 |
| <b>Gambar 4.42</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 40 |
| <b>Gambar 4.43</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 41 |
| <b>Gambar 4.44</b> 3rd <i>principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 41 |
| <b>Gambar 4.45</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 42 |
| <b>Gambar 4.46</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 42 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 4.47</b> <i>3rd principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 43 |
| <b>Gambar 4.48</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 43 |
| <b>Gambar 4.49</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 44 |
| <b>Gambar 4.50</b> <i>3rd principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 44 |
| <b>Gambar 4.51</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 44 |
| <b>Gambar 4.52</b> Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar .....   | 45 |
| <b>Gambar 4.53</b> <i>3rd principal</i> Desain Ornamen Pagar..... | 45 |
| <b>Gambar 4.54</b> <i>Displacement</i> Desain Ornamen Pagar.....  | 46 |
| <b>Gambar 4.55</b> Sampel Uji Tarik .....                         | 54 |

## HALAMAN TABEL

|                                                                                           | Halaman |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Tabel 4.1</b> Hasil Simulasi <i>Stress</i> dan <i>Displacement</i> Ornamen Pagar ..... | 46      |
| <b>Tabel 4.2</b> Hasil Pengujian A .....                                                  | 55      |
| <b>Tabel 4.3</b> Hasil Pengujian B .....                                                  | 55      |
| <b>Tabel 4.4</b> Hasil Pengujian C .....                                                  | 56      |

## PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan material yang paling banyak digunakan di Indonesia. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan daur ulang. Jenis jenis plastik yang paling sering diolah adalah PET (*Polyethylene terephthalate*), HDPE (*High-density polyethylene*), dan PP (*Polypropylene*). Ornamen pagar kini menjadi bagian penting dalam desain bangunan modern. Dengan kemajuan dalam teknologi bahan, plastik semakin diminati sebagai material untuk hiasan pagar karena kelebihanannya seperti ringan, fleksibel, tahan cuaca, dan ekonomis. Untuk dapat menghasilkan produk ornamen pagar plastik yang sesuai dengan keinginan penulis, diperlukan inovatif yang lebih. Dengan menggunakan material komposit ini memungkinkan kita untuk mengoptimalkan baik kekuatan, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap berbagai faktor lingkungan yang terjadi, sehingga dapat menghasilkan ornamen pagar yang lebih tahan lama.

Pada masa sekarang *software* simulasi komputer telah menjadi salah satu alat yang sangat penting dalam proses pengembangan sebuah produk. Dengan menggunakan *software* simulasi seperti *Solidworks*, para *engineer* dapat melakukan analisis terhadap berbagai aspek produk, seperti kekuatan, ketahanan, dan juga deformasi. Simulasi uji statik memungkinkan para desainer untuk mendapatkan sifat mekanis berupa tegangan dan lendutan maksimum.

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan sifat statis berupa tegangan maksimum (*stress*) dan lendutan (*displacement*) pada ornamen pagar yang telah didesain dengan menggunakan perpaduan material plastik yakni PET (*Polyethylene Terephthalate*), HDPE (*High Density Polyethylene*), dan PP (*Polypropylene*) dengan komposisi yang telah disesuaikan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang sifat mekanik pada komposit plastik yang berada pada ornamen pagar.



27

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini memiliki rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis dan komposisi limbah plastik terhadap nilai tegangan dan *displacement* pada produk ornamen pagar?
2. Bagaimana perbedaan hasil simulasi uji statik dengan uji mekanik yang dilakukan di laboratorium material ?

25

## 1.3 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai tegangan maksimum (*stress*) dan nilai defleksi (*displacement*) dari produk ornamen pagar menggunakan material PP (*Polypropylene*), PET (*Polyethylene Terephthalate*), dan HDPE (*High Density Polyethylene*) dan variasi berbeda.
2. Membandingkan hasil simulasi uji mekanik ornamen pagar dengan uji mekanik yang dilakukan di laboratorium material.

57

## 1.4 Batasan Masalah

1 Untuk membatasi permasalahan yang timbul pada sebuah penelitian maka dilakukan pembatasan masalah, Adapun Batasan masalah pada penelitian ini, sebagai berikut:

1. Melakukan uji simulasi menggunakan aplikasi *SolidWork* 2022
2. Menggunakan campuran material plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*), HDPE (*High Density Polyethylene*), dan PP (*Polypropylene*), serta membagi menjadi tiga layer pada saat melakukan simulasi.

27

## 1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini juga terdapat beberapa manfaat yang dihasilkan yakni:

1. Mengetahui hasil simulasi uji statis pada produk ornamen pagar.
2. Mengetahui perbedaan nilai uji statik hasil simulasi dengan hasil sebenarnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Material Plastik

<sup>22</sup> Polimer merupakan senyawa dengan struktur molekul besar yang berbentuk rantai atau jaringan, terdiri dari ribuan hingga jutaan unit pembangun yang berulang [1]. Contoh polimer alami yakni selulosa, protein, serta karet alam. Awalnya, polimer alami digunakan untuk membuat alat dan senjata, namun saat ini polimer telah dimodifikasi menjadi plastik [1].

<sup>13</sup> *United Nations Environmental Programme (2009)* menyebutkan bahwa plastik adalah polimer, yaitu molekul besar yang terdiri dari unit-unit kecil yang disebut monomer, yang terhubung dalam sebuah rantai melalui proses yang dikenal sebagai polimerisasi. Pada umumnya, sebuah polimer mengandung karbon dan hidrogen, namun terkadang juga mengandung unsur lainnya seperti oksigen, nitrogen, klorin, dan juga fluor. Selain polimer, plastik juga memerlukan bahan tambahan lainnya dalam proses produksinya [1]. Keuntungan penggunaan material ini meliputi ketahanannya terhadap air dan karat, serta sifatnya yang kuat dan ringan.

<sup>15</sup> Pada umumnya plastik digolongkan kedalam 3 (tiga) macam dilihat dari temperaturnya yakni:

##### 1. Bahan Thermoplastik (*Thermoplastic*)

<sup>24</sup> *Thermoplastics* adalah jenis plastik yang dapat didaur ulang dan memiliki sifat plastis. Ketika dipanaskan pada suhu tertentu, bahan ini akan meleleh tanpa mengalami perubahan dalam susunan kimianya, sehingga dapat dicetak menjadi bentuk lain dan kemudian kembali ke bentuk semula. [1] Proses tersebut dapat dilakukan berulang kali, memungkinkan plastik untuk dibentuk ulang ke dalam berbagai cetakan, sehingga menghasilkan produk polimer baru. Polimer *thermoplastics* tidak memiliki sambungan antar rantai polimernya dan memiliki struktur yang linear atau bercabang. Contoh

bahan *thermoplastics* meliputi *polistirena*, *polietilena*, dan *polipropilena*,<sup>1</sup> antara lain. Polimer *thermoplastics* memiliki beberapa sifat khusus, yaitu sebagai berikut:

- Memiliki berat molekul yang kecil
- Tidak tahan terhadap suhu tinggi
- Akan melunak saat dipanaskan
- Mengeras saat didinginkan
- Fleksibel
- Mudah diregangkan
- Titik leleh yang rendah
- Dapat dibentuk ulang

## 2. Bahan *Thermosetting* (*Thermosetting*)

*Thermosetting* adalah jenis polimer jaringan yang mengeras secara permanen selama proses pembentukannya dan tidak akan melunak saat dipanaskan. Polimer jaringan ini memiliki *crosslink kovalen* antara rantai polimer yang berdekatan. Saat dipanaskan, ikatan ini mengikat rantai polimer menjadi satu, sehingga menghambat gerakan vibrasi dan rotasi rantai pada suhu tinggi. Inilah yang menyebabkan material tidak melunak ketika dipanaskan. *Crosslink* biasanya dominan, dengan 10 hingga 50% unit rantai mengalami *crosslink*. Hanya pemanasan yang berlebihan yang dapat menyebabkan beberapa ikatan *crosslink* dan polimer itu sendiri mengalami degradasi. Polimer *thermosetting* umumnya lebih keras dan kuat dibandingkan *thermoplastic*, serta memiliki stabilitas dimensional yang lebih baik. Contoh bahan *thermosetting* meliputi bakelit, silikon, dan epoksi.

## <sup>1</sup> 3. Bahan Elastomer

Polimer elastomer adalah bahan yang sangat elastis. Contoh bahan elastis ini adalah karet sintetis. Polimer memiliki beberapa karakteristik yang menggambarkan sifat fisik dan kimianya. Sifat-sifat ini dapat memengaruhi aplikasi penggunaan polimer tersebut.

## 2.2 Macam – Macam Plastik

Dalam kehidupan modern, plastik telah menjadi material yang sangat serbaguna. Tiga jenis plastik yang paling umum kita temui adalah PET, PP, dan HDPE. Setiap jenis plastik ini memiliki karakteristik khusus yang membuatnya cocok untuk berbagai produk. Berikut adalah beberapa jenis plastik:

### 1. PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Plastik yang memiliki sifat jernih, kuat, tahan terhadap pelarut, kedap gas dan air, serta dapat melunak pada suhu 80°C adalah PET/PETE. Plastik ini biasanya digunakan untuk botol plastik transparan, seperti botol air mineral, botol sambal, dan lain-lain. Namun, plastik PET atau PETE direkomendasikan hanya untuk penggunaan sekali pakai, karena dapat mengeluarkan zat karsinogenik jika digunakan berulang kali. [2]

### 2. PP (*PolyPropylene*)

*Polypropylene* memiliki sifat yang sangat kaku, tahan terhadap bahan kimia, asam, basa, tahan panas, dan tidak mudah retak. Plastik polypropylene dapat digunakan untuk membuat berbagai macam produk seperti komponen mesin cuci, komponen mobil, pembungkus tekstil, botol, bahan pembuat karung dan juga alat-alat rumah sakit.

### 3. HDPE (*High Density Polyethylene*)

Plastik HDPE merupakan polimer termoplastik yang dapat dihasilkan dari *monomer etilena*. HDPE merupakan singkatan dari *High Density Polyethylene*. Jenis plastik ini sering digunakan untuk berbagai produk, seperti kantung belanja, karton susu, botol jus, botol shampoo, dan botol kemasan obat.

## 2.3 Analisis Elemen Hingga (FEA/FEM)

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik matematika dan fisika. Metode ini dapat diterapkan pada masalah dengan geometri, beban, dan sifat material yang kompleks, yang tidak dapat diselesaikan secara analitis. Metode Elemen Hingga (FEM), atau

yang biasa dikenal dengan <sup>36</sup> *Finite Element Analysis* (FEA), merupakan prosedur komputasi numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah teknik seperti analisis tegangan struktur, perpindahan panas, elektromagnetisme, dan aliran fluida (<sup>58</sup> *Moaveni*). Metode ini cocok untuk masalah-masalah teknik yang tidak dapat diselesaikan dengan solusi eksak/<sup>16</sup> analitis. Inti dari metode elemen hingga adalah membagi objek yang akan dianalisis menjadi beberapa bagian yang terbatas. Bagian-bagian ini disebut elemen dan setiap elemen dihubungkan dengan node. Kemudian, persamaan matematis dibuat untuk merepresentasikan objek tersebut.<sup>16</sup> Proses membagi objek menjadi beberapa bagian disebut meshing. Sebagai contoh, untuk mencari distribusi temperatur dari sebuah pelat, perlu untuk membagi mesh dari geometri pelat menjadi bagian-bagian segitiga kecil untuk menemukan solusi berupa distribusi temperatur pelat. Dalam praktiknya, situasi ini dapat diselesaikan secara langsung, yaitu dengan menggunakan persamaan keseimbangan panas. Namun, untuk geometri yang kompleks (misalnya blok mesin), elemen hingga diperlukan untuk menemukan distribusi suhu. [3]

<sup>6</sup> *Finite element analysis* (FEA) merupakan suatu cara atau metode numeris yang digunakan untuk mendapat penyelesaian dari persamaan diferensial ataupun persamaan integral. Penyelesaian persamaan diferensial biasanya didasarkan pada penyederhanaan persamaan yang kompleks menjadi persamaan diferensial biasa, yang kemudian diselesaikan dengan mengintegrasikan secara numeris menggunakan metode seperti *Euler* atau *Runge Kutta*. [3]

Dalam *Finite element analysis* (FEA), objek, baik berupa luasan (2D) maupun volume (3D), dipecah menjadi elemen-elemen kecil. Setelah itu, nilai batasan (biasanya pada permukaan) dan nilai awal (sebagai *trial and error*) dimasukkan ke dalam rumus-rumus yang ada, seperti persamaan diferensial. Perhitungan ini dilakukan secara berulang (iterasi) hingga diperoleh hasil yang tepat sesuai toleransi. [3]

Melakukan perhitungan ini secara manual bisa sangat sulit dan memakan waktu, tetapi dengan bantuan komputer, proses perhitungan

menjadi lebih mudah dan cepat. Dengan perkembangan teknologi komputer yang pesat, banyak software FEA bermunculan untuk membantu merancang komponen dan sistem. [3]

## 2.4 Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah reaksi yang timbul di seluruh bagian spesimen sebagai respons terhadap beban yang diberikan. Jika penampangnya kecil dijumlahkan hingga mencapai penampang spesimen, maka jumlah gaya per satuan luas yang muncul di dalam bahan tersebut harus sama dengan beban yang ada di luar [4]. Nilai tegangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{F(kN)}{A(mm^2)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

$\sigma$  = Tegangan (kN/cm<sup>2</sup>)

F = Gaya (kN)

A = Luas Penampang (cm<sup>2</sup>)

Perubahan relatif dalam ukuran atau bentuk suatu benda akibat penerapan tegangan disebut regangan (*strain*). Regangan merupakan besaran yang tidak memiliki dimensi, karena dinyatakan dalam satuan meter per meter.[4]. Nilai regangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Regangan } (e) = \frac{\Delta L(cm)}{L(cm)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

e = Regangan

$\Delta L$  = Perubahan panjang (cm)

L = Panjang mula-mula (cm)

## 2.5 Defleksi (*Displacement*)

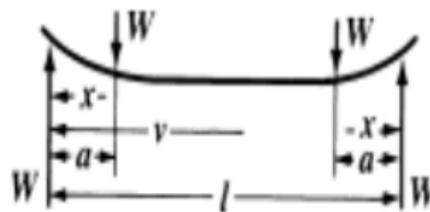
Defleksi atau lendutan adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah  $y$  akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada batang material. Deformasi pada balok dapat dijelaskan berdasarkan defleksi sesuai dengan sifat bahan material, dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. [5]

Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok. Kurva ini menggambarkan bagaimana balok berperilaku di bawah beban, menunjukkan perubahan bentuk yang terjadi akibat tegangan dan regangan yang dialami oleh material. [5]

Analisis defleksi sangat penting dalam rekayasa struktur untuk memastikan bahwa balok dapat menahan beban tanpa mengalami deformasi yang berlebihan yang dapat memengaruhi kinerja dan keamanan struktur.. [5]



**Gambar 2.1** Balok Sebelum Terjadi Deformasi



**Gambar 2.2** Balok Sesudah Terjadi Deformasi

Jarak perpindahan  $y$  didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam menerapkan konsep ini, kita sering perlu menentukan defleksi pada setiap nilai  $x$  sepanjang material. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk



persamaan yang dikenal sebagai persamaan defleksi kurva (kurva elastis) dari material. [5]

Sistem struktur yang diletakkan secara horizontal terutama dirancang untuk memikul beban lateral, yaitu beban yang bekerja pada posisi tegak lurus terhadap sumbu aksial batang. Beban semacam ini umumnya muncul sebagai beban gravitasi, seperti beban itu sendiri dan lainnya. Contoh konstruksi yang menggunakan balok termasuk balok lantai gedung, jembatan, dan sebagainya. [5]

Pada sebuah sumbu batang, posisi awalnya dapat terdeteksi saat benda berada di bawah pengaruh gaya. Sebuah batang material akan mengalami beban transversal, baik berupa beban terpusat maupun merata, yang akan menyebabkan defleksi. Setiap pengujian harus dilakukan dengan ketelitian dalam perhitungan untuk meminimalkan risiko kerusakan, sehingga batang material tidak melentur dan untuk mengurangi atau mencegah defleksi yang berlebihan. Struktur batang material juga harus menghasilkan defleksi (lendutan) yang berada dalam batas tertentu. Pada sebuah lendutan tidak boleh melebihi batas defleksi yang diizinkan. [5]

Berikut merupakan hal - hal yang dapat mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

- a. Kekakuan batang Batang yang sifatnya semakin kaku maka lendutan yang dihasilkan akan semakin kecil. [5]
- b. Besarnya kecil gaya yang diberikan Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Semakin besar beban yang dialami sebuah batang maka defleksi yang terjadi akan semakin besar. [5]
- c. Jenis tumpuan yang diberikan Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Oleh sebab itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda tidak sama. Karena semakin banyak reaksi dari sebuah tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada sebuah tumpuan rol akan lebih besar dari tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin menjadi lebih besar dari tumpuan jepit. [5]



d. Beban yang terjadi pada batang dapat berupa beban terdistribusi merata dan beban titik, dimana keduanya menghasilkan kurva defleksi yang berbeda. Pada sebuah beban yang terdistribusi, defleksi yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat dengan tumpuan cenderung lebih besar. Hal ini disebabkan beban terdistribusi tersebar sepanjang batang, berbeda dengan beban titik yang hanya terjadi pada titik tertentu saja. Pada setiap batang yang ditumpu akan mengalami lendutan jika diberikan beban yang cukup besar. Pada struktur tertentu seperti jembatan, lendutan yang besar sangat tidak diizinkan karena dapat menyebabkan kerusakan struktur hingga keruntuhan jembatan. Dalam konstruksi teknik, seluruh komponen bangunan harus memiliki dimensi fisik yang tepat. Komponen-komponen tersebut harus diukur secara akurat agar mampu menahan gaya-gaya aktual maupun gaya-gaya yang berpotensi akan membebani struktur jembatan. Dengan demikian, struktur jembatan harus dirancang untuk dapat menahan gaya-gaya internal dan eksternal. Selain itu, bagian-bagian struktur material harus memiliki kekuatan yang memadai sehingga tidak akan mengalami lendutan melebihi batas yang diizinkan ketika menerima beban kerja yang telah ditentukan. [5]

## 2.6 Hukum Hooke

Hukum Hooke adalah hukum dalam fisika yang menjelaskan hubungan antara gaya elastis dan perubahan panjang suatu benda elastis, seperti pegas. Hukum ini dikemukakan oleh ilmuwan Inggris Robert Hooke dan menyatakan bahwa besar gaya yang diberikan pada pegas akan berbanding lurus dengan jarak pergerakan pegas dari posisi normalnya.

Hukum Hooke menyatakan bahwa: Gaya dan Perubahan Panjang: Besar gaya ( $F$ ) yang diberikan pada pegas akan berbanding lurus dengan jarak pergerakan pegas ( $\Delta x$ ) dari posisi normalnya. persamaannya adalah:

$$F = k \cdot \Delta x \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$F$  = gaya (N)

$k$  = konstanta pegas (N/m)

$\Delta x$  = Pertambahan Panjang (m)

## 2.7 Momen Inersia

Momen inersia merupakan konsep fisika yang menggambarkan ukuran kelembaman suatu benda ketika berotasi. Secara matematis, momen inersia ( $I$ ) didefinisikan sebagai hasil kali massa ( $m$ ) dari partikel dengan kuadrat jarak ( $r^2$ ) dari sumbu rotasi. Rumus dasar untuk menghitung momen inersia adalah:

$$I = m \cdot r^2 \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

$I$  = momen inersia ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

$m$  = massa partikel (kg)

$r$  = jarak dari massa ke sumbu rotasi (m)

## 2.8 Solidworks

Solidworks merupakan salah satu perangkat lunak CAD yang dikembangkan oleh Dassault Systèmes. Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang komponen mesin atau susunan komponen mesin dalam bentuk rakitan dengan tampilan 3D, yang merepresentasikan bagian sebelum dibuat dalam bentuk fisik, atau tampilan 2D (gambar) untuk proses permesinan. Berikut adalah fitur utama Solidworks. Berikut merupakan fitur utama SolidWorks:

### 1. Parametric Feature-Based Modeling.

SolidWorks menggunakan pendekatan parametris yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol bentuk dan geometri model dengan menggunakan parameter numerik dan geometri. Pada parameter ini dapat dihubungkan melalui relasi, sehingga memungkinkan pengguna untuk membuat desain baru.

## 2. Templates Utama:

- *Part*: Objek 3D yang terbentuk dari serangkaian fitur. Ekstensi file untuk part adalah SLDPRT.
- *Assembly*: Dokumen di mana bagian, fitur, dan perakitan lainnya disatukan. Ekstensi file untuk assembly adalah SLDASM.
- *Drawing*: Template yang digunakan untuk membuat gambar kerja 2D/3D dari komponen tunggal atau perakitan.

## 3. Analisis dan Simulasi:

*SolidWorks* menyediakan analisis dan simulasi, termasuk *Finite Element Analysis* (FEA), yang memungkinkan pengguna untuk memprediksi kekuatan dan perilaku desain. Ini membantu dalam proses desain dan manufaktur.

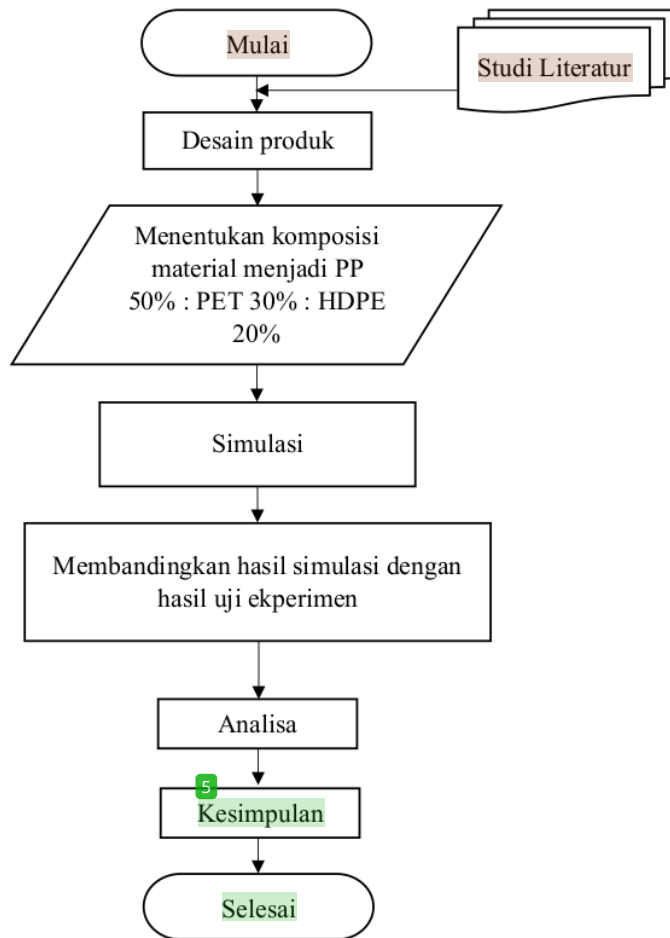
## 4. *SolidWorks CAM*:

*SolidWorks CAM* adalah solusi *Computer-Aided Manufacturing* yang terintegrasi dengan *SolidWorks*. Ini memungkinkan pembuatan jalur pahat 3 sumbu dan memprogram mesin CNC secara cepat dalam lingkungan *SolidWorks*.

## METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir

19 Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dapat dilihat pada diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 3.1:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dari diagram alir penelitian diatas, maka dapat dijelaskan tahapan yang akan dilakukan oleh penulis yaitu sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur bertujuan untuk mencari referensi yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Adapun referensi yang dimaksud yaitu buku, jurnal dan sumber kredibel lainnya.

#### 2. Desain Produk

Pada tahap ini penulis mendesain produk yang akan dibuat menggunakan metode *injection molding*. pada penelitian ini penulis mendesain sebuah ornamen pagar.

#### 3. Menentukan komposisi material

Pada tahap ini penulis mendesain produk dengan komposisi material 50% PP, 30% PET dan 20% HDPE juga letak dari jenis plastik yang terdapat pada produk yang akan dibuat.

#### 4. Simulasi

Pada tahapan ini dilakukan uji simulasi statis menggunakan aplikasi *Solidwork*

#### 5. Membandingkan Hasil Simulasi dengan hasil uji eksperimen

Pada tahapan ini didapatkan hasil uji simulasi statis, jika sesuai dengan studi literatur maka hasil simulasi akan dilanjutkan ke tahap berikutnya, jika tidak maka akan dilakukan desain ulang

#### 6. Analisa

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap hasil percobaan yang telah dilakukan

### 3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen, metode eksperimen yang dilakukan adalah dengan mensimulasikan produk ornamen pagar dengan material campuran berupa plastik PP sebanyak 50%, PET sebanyak 30%, dan HDPE sebanyak 20%, dengan menggunakan aplikasi *Solidwork*. Simulasi yang dilakukan yakni simulasi static untuk mencari nilai tegangan maksimum dan displacement yang terjadi.

### 3.3 Alat dan Bahan Yang Digunakan

Pada penelitian ini terdapat alat dan bahan yang akan digunakan yaitu sebagai berikut:

#### 3.3.1 Alat yang Digunakan Pada Penelitian

Berikut merupakan alat yang digunakan untuk melakukan penelitian ini:

##### 1. Laptop ASUS

Untuk menganalisis tegangan dilakukan dengan memanfaatkan laptop. Perangkat lunak khusus dijalankan pada sebuah laptop untuk menyelesaikan simulasi. Gambar 3.2 menunjukkan perangkat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu laptop ASUS.



**Gambar 3.2** Laptop ASUS

##### 2. Aplikasi *Solidwork*

Pada penelitian ini menggunakan aplikasi *solidwork* untuk melakukan simulasi uji statis pada desain ornamen pagar yang telah dibuat. Tampilan dari *software solidworks* dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah.



**Gambar 3.3** Aplikasi Solidwork 2022

### 53 3.3.2 Bahan yang Digunakan Pada Penelitian

Berikut merupakan bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini:

#### 1. Plastik PET

4 Plastik yang memiliki sifat jernih, kuat, tahan pelarut, kedap gas dan air, dan dapat melunak pada suhu 80°C. Biasanya dipakai untuk botol plastik transparan seperti botol air mineral, botol sambal, dan lain-lain. Akan tetapi, plastik PET/PETE direkomendasikan hanya untuk sekali pakai karena dapat mengeluarkan zat karsinogenik apabila dipakai berulang-ulang. [2]



**Gambar 3.4** Plastik PET

#### 2. Plastik PP

4 Bersifat keras tetapi fleksibel, tidak jernih tapi dapat tembus cahaya, tahan terhadap bahan kimia, dan dapat melunak pada suhu yang tinggi yaitu 140°C. Plastik ini merupakan jenis terbaik untuk teMPat makanan dan minuman. [2]



**Gambar 3.5** Plastik PP

### 3. Plastik HDPE

Jenis plastik ini bersifat keras hingga semi fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan kelembapan, mudah diproses dan dibentuk, dan melunak pada suhu 75°C. Biasanya dipakai untuk kemasan makanan, galon air mineral, jerigen, dan botol obat. Plastik HDPE paling sering didaur ulang [2]



**Gambar 3.6** Plastik HDPE

### 3.4 Desain ornamen pagar

Pada penelitian ini terdapat desain ornamen pagar yang akan dibuat, berikut desain ornamen pagar yang akan dilakukan simulasi menggunakan aplikasi *Solidworks* 2022.



**Gambar 3.7** Desain Ornamen pagar

### 3.5 Tahapan Pengujian

Pada penelitian ini terdapat tahapan pengujian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Membuat desain ornamen pagar dengan menggunakan aplikasi software solidworks.

Sebelum melakukan analisis tegangan pada produk ornamen pagar, sebuah model dari produk tersebut harus disiapkan terlebih dahulu.



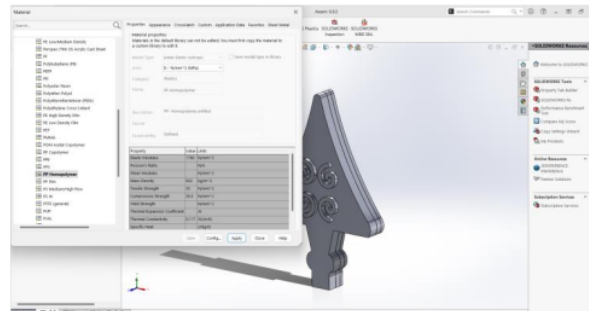
gambar 3.8 menunjukkan produk ornamen pagar yang digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 3.8** Desain Ornamen pagar

2. Mengaplikasikan material pada desain ornamen pagar

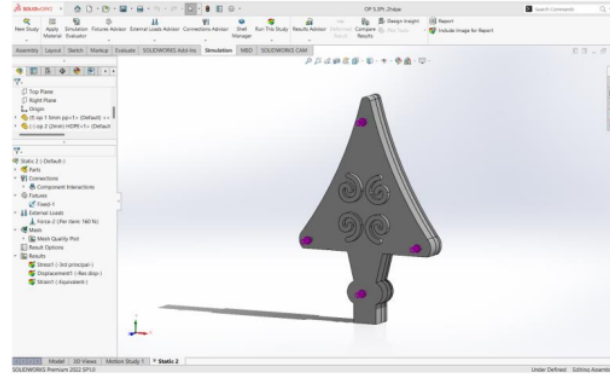
Setelah model produk ornamen pagar selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah memilih material yang sesuai dan menerapkannya pada model tersebut. Gambar dibawah menunjukkan pemilihan dan penerapan material pada produk ornamen pagar yang digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 3.9** Pengaplikasian Material Pada Desain Ornamen pagar

3. Memasukkan nilai gaya untuk simulasi *static*

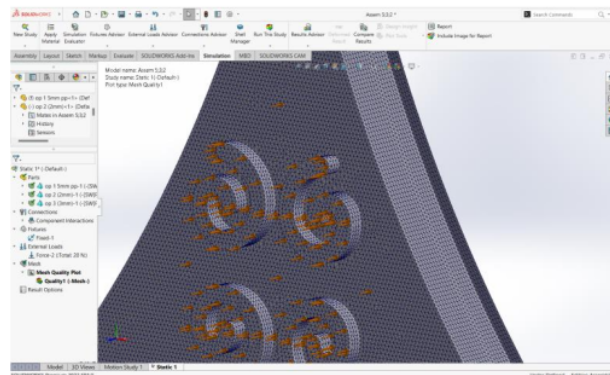
Setelah pemilihan dan mengaplikasikan material berupa PP, PET, dan HDPE pada desain ornamen pagar, langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai gaya yang akan digunakan untuk melakukan simulasi sebesar 160 N.



**Gambar 3.10** Aplikasi Nilai Gaya Pada Desain Ornamen pagar

4. Mengatur mesh sebelum desain ornamen pagar dilakukan simulasi

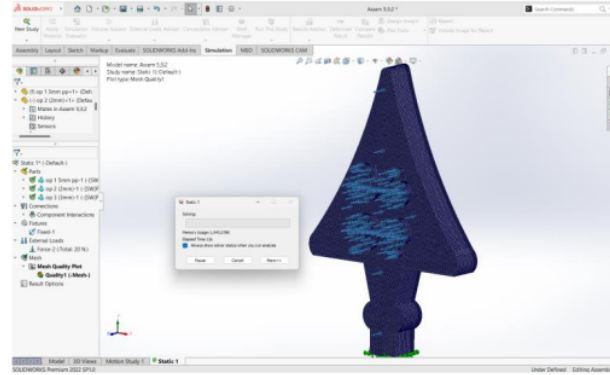
Sebelum melakukan simulasi *static* untuk mencari nilai tegangan pada produk ornamen pagar, perlu dilakukan penyiapan mesh pada model. Gambar 3.11 menunjukkan proses penyiapan mesh yang digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 3.11** Mengatur Mesh Pada Desain Ornamen pagar

5. Menjalankan simulasi desain ornamen pagar pada software solidworks

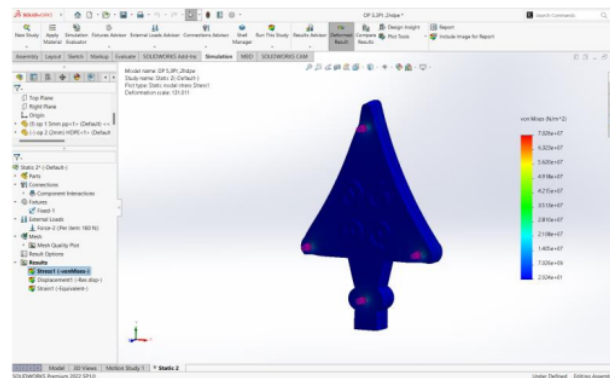
Setelah semua tahapan diatas telah siap, simulasi pada model produk ornamen pagar kemudian dijalankan untuk mendapatkan hasil analisis.



**Gambar 3.12** Menjalankan Simulasi Pada Desain Ornamen pagar

## 6. Selesai

Setelah semua selesai didapat hasil dari simulasi pada desain produk ornamen pagar yang dapat dilihat pada gambar 3.13



**Gambar 3.13** Hasil Simulasi Pada Desain Ornamen pagar

## 3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini terbagi menjadi dua yakni variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi komposisi material yang digunakan untuk membuat ornamen pagar, sedangkan variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai stress dan displacement pada produk ornamen pagar.

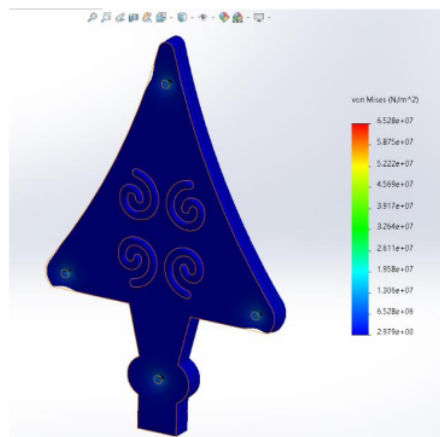
## DATA DAN ANALISA

## 4.1 Hasil Simulasi Pada Ornamen Pagar

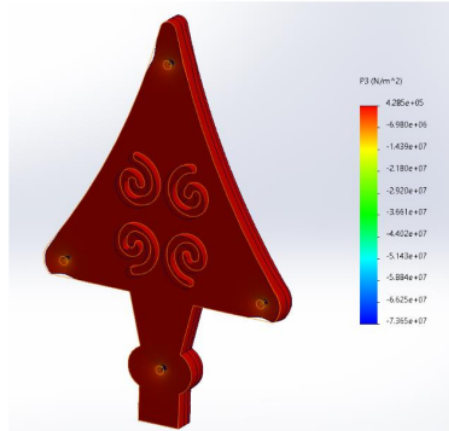
Simulasi yang dilakukan pada produk ornamen pagar dilakukan dengan variasi komposisi PP sebanyak 50%, PET 30%, HDPE 20%, dan variasi ketebalan 5 mm, 10 mm, 15 mm. Berikut hasil simulasi yang sudah dilakukan.

## 4.1.1 Simulasi Ketebalan 5 mm

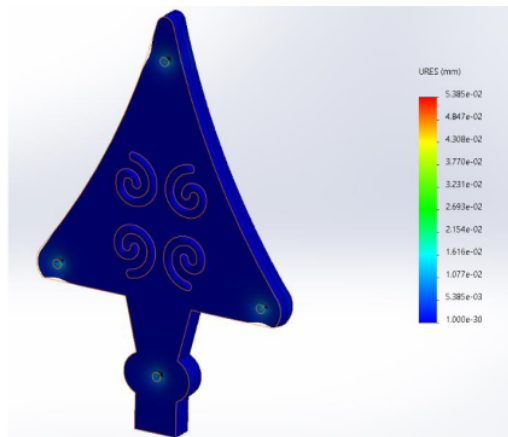
Pada Gambar 4.1 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, PET 1,5 mm, dan HDPE 1 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 65.28 MPa. Pada Gambar 4.2, menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, PET 1,5 mm, dan HDPE 1 mm, serta ketebalan total 5 mm. Pada Gambar 4.3 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.054 mm.



**Gambar 4.1** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



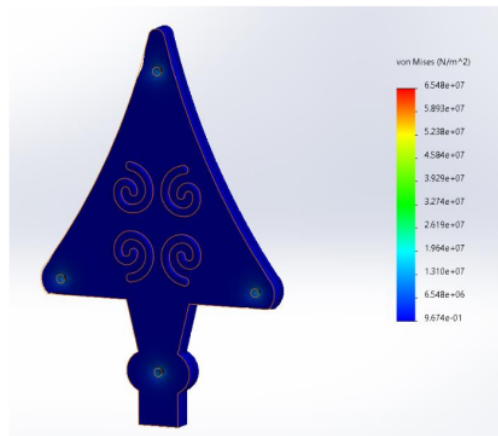
**Gambar 4.2** 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar



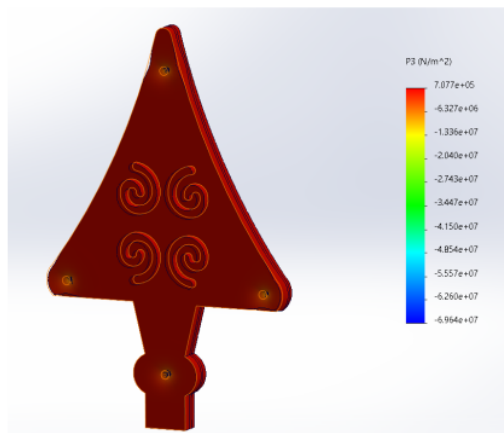
**Gambar 4.3** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

Pada Gambar 4.4 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, HDPE 1 mm, dan PET 1,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 65.48 MPa. Pada Gambar 4.5, menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, HDPE 1 mm, dan PET 1,5 mm, serta ketebalan total 5 mm. Pada Gambar 4.6 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan

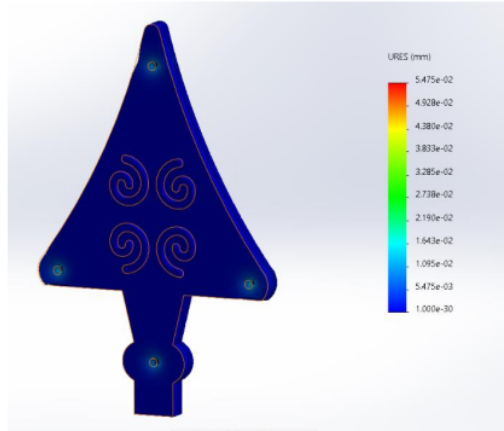
pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.055 mm.



**Gambar 4.4** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

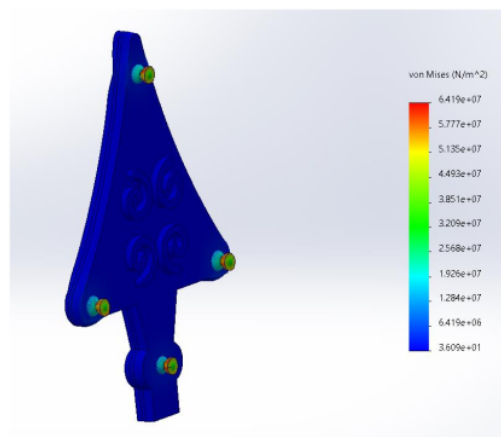


**Gambar 4.5** 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

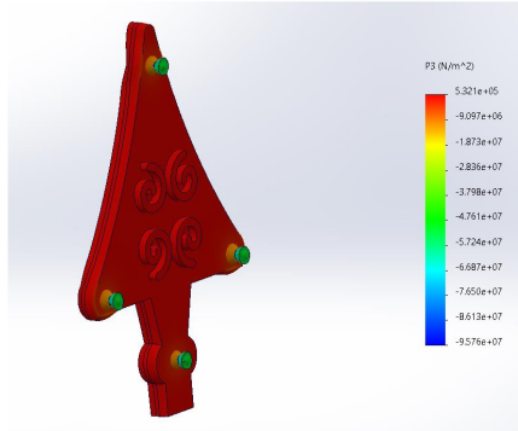


**Gambar 4.6** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

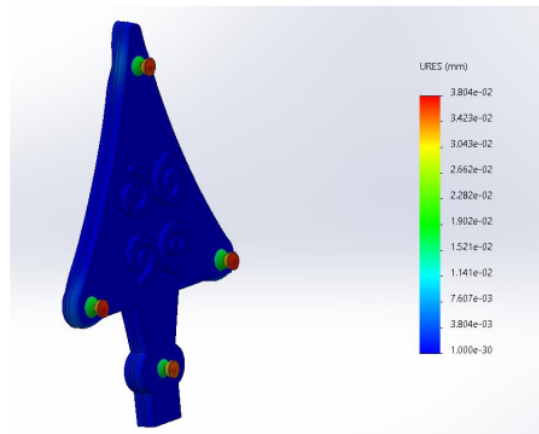
Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 1,5 mm, HDPE 1 mm, dan PP 2,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 64.19 MPa. Pada Gambar 4.8, menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 1,5 mm, HDPE 1 mm, dan PP 2,5 mm, serta ketebalan total 5 mm. Pada Gambar 4.9 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.038 mm



**Gambar 4.7** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



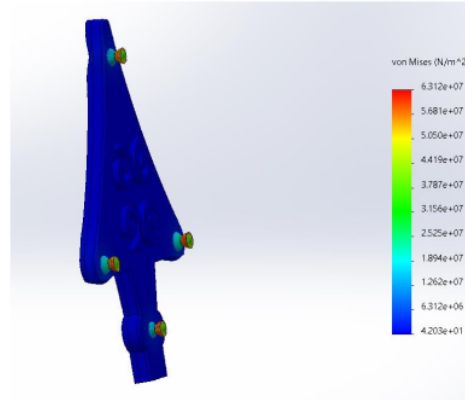
**Gambar 4.8** 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar



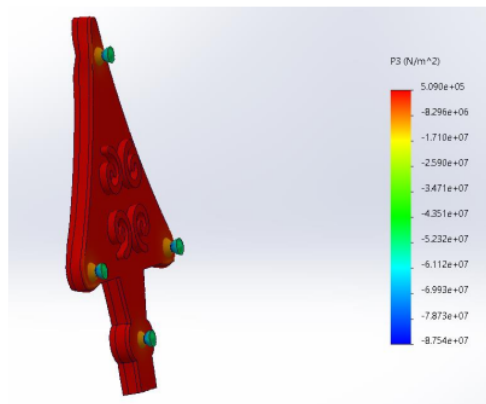
**Gambar 4.9** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

Pada Gambar 4.10 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 1,5 mm, PP 2,5 mm, dan HDPE 1 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 63.12 MPa. Pada Gambar 4.11 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 1,5 mm, PP 2,5 mm, dan HDPE 1 mm, dengan ketebalan 5 mm. Pada Gambar 4.12 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.038 mm

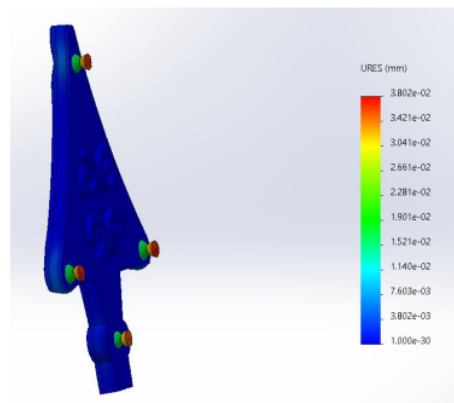




**Gambar 4.10** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

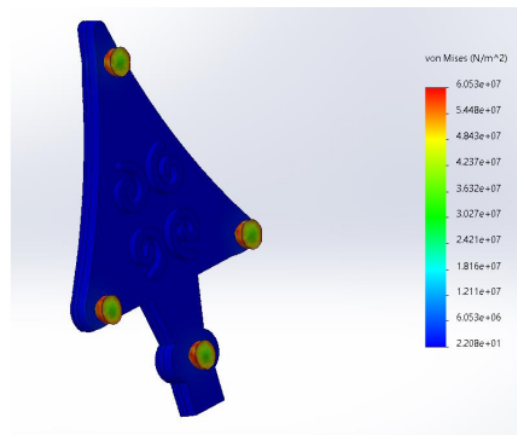


**Gambar 4.11** 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

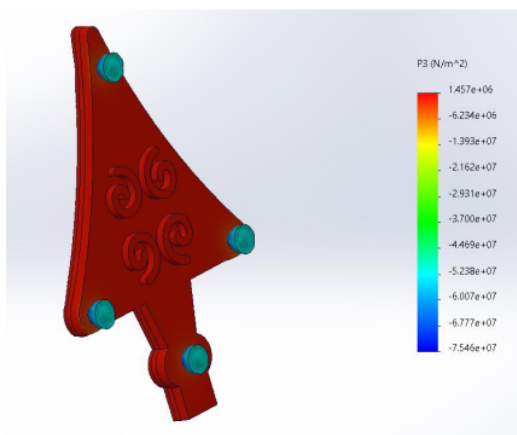


**Gambar 4.12** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

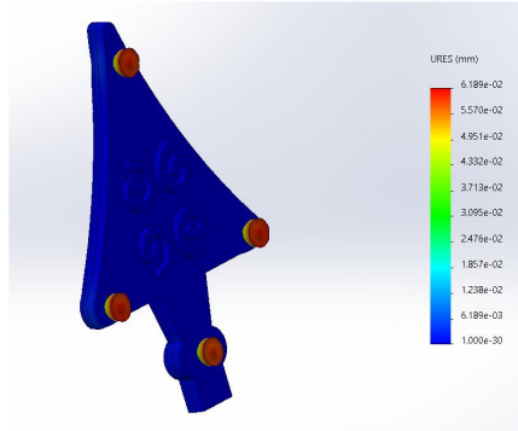
Pada Gambar 4.13 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 1 mm, PET 1,5 mm, dan PP 2,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 60.53 MPa. Pada Gambar 4.14 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 1 mm, PET 1,5 mm, dan PP 2,5 mm, dengan ketebalan 5 mm. Pada Gambar 4.15 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.062 mm.



**Gambar 4.13** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

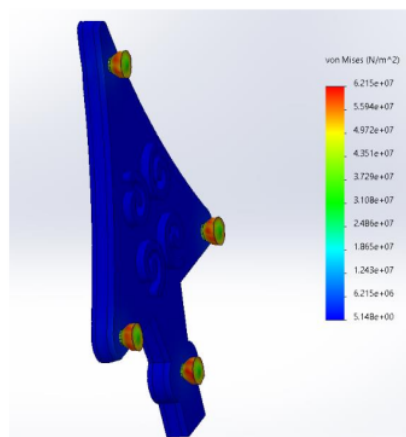


**Gambar 4.14** 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

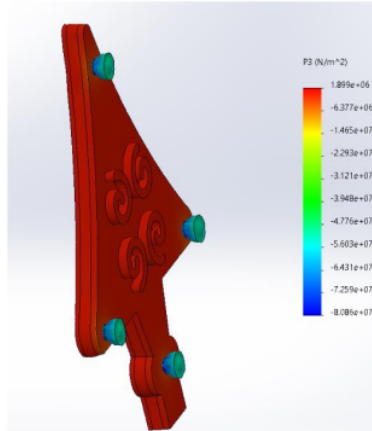


**Gambar 4.15** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

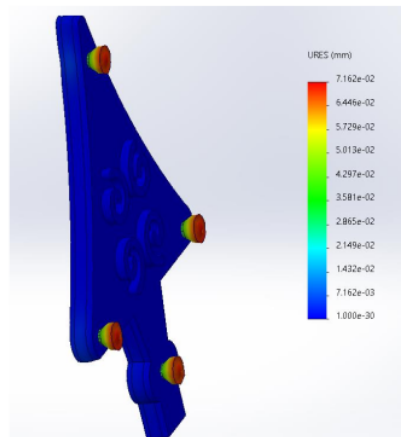
Pada Gambar 4.16 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 1 mm, PP 2,5 mm dan PET 1,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 62.15 MPa. Pada Gambar 4.17 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 1 mm, PP 2,5 mm dan PET 1,5 mm, dengan ketebalan 5 mm. Pada Gambar 4.18 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.072 mm.



**Gambar 4.16** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



**Gambar 4.17** *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

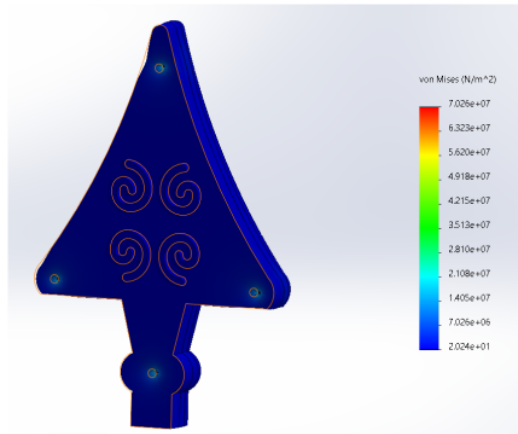


**Gambar 4.18** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

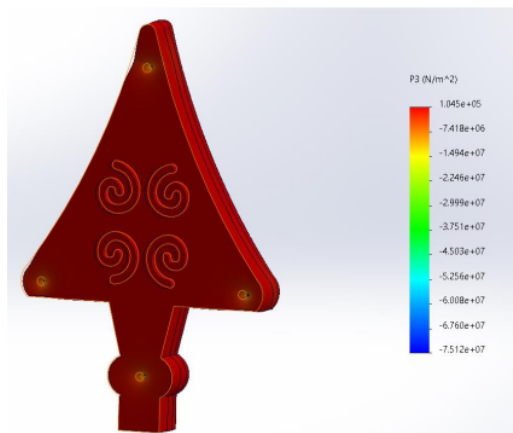
#### 4.1.2 Simulasi Ketebalan 10 mm

Pada Gambar 4.19 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 5 mm, PET 3, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 70.26 MPa. Pada Gambar 4.20 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 5 mm, PET 3, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.21 menunjukkan

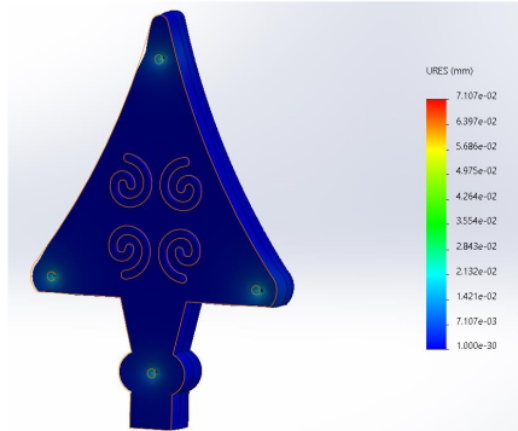
*displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.071 mm



**Gambar 4.19** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

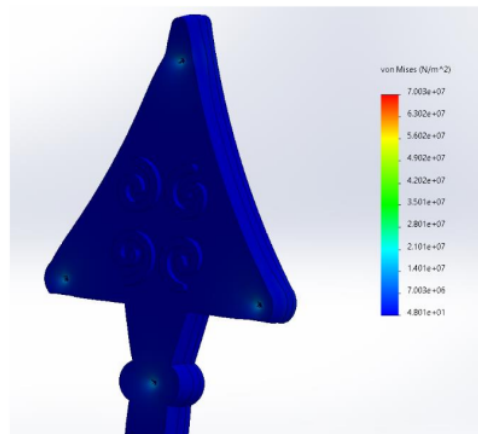


**Gambar 4.20** 3rd principal Desain Ornamen Pagar

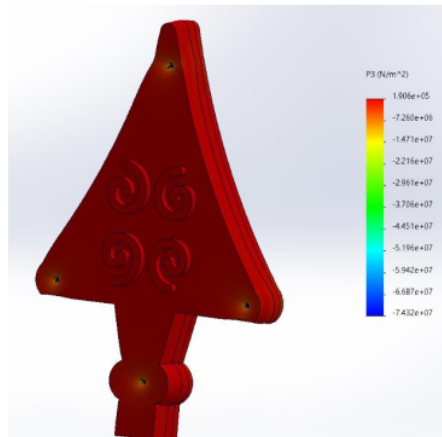


**Gambar 4.21** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

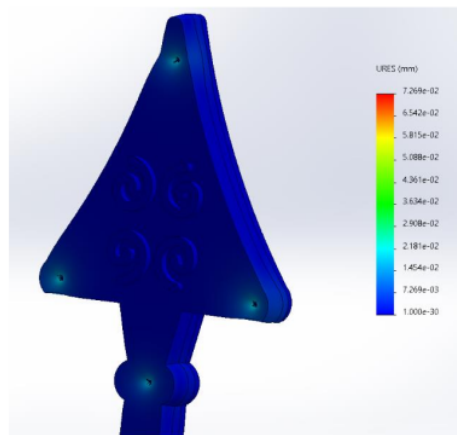
Pada Gambar 4.22 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 5 mm, HDPE 2 mm, dan PET 3, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 70.03 MPa. Pada Gambar 4.23 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 5 mm, HDPE 2 mm, dan PET 3, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.24 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.073 mm.



**Gambar 4.22** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



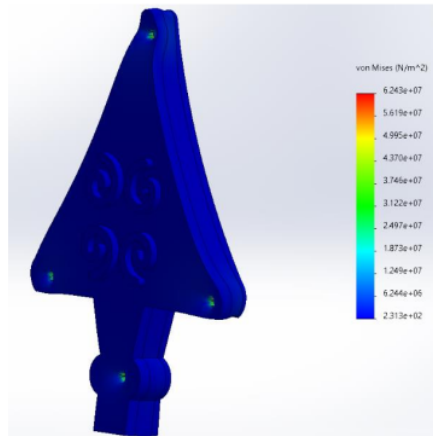
**Gambar 4.23** *3rd principal* Desain Ornamen Pagar



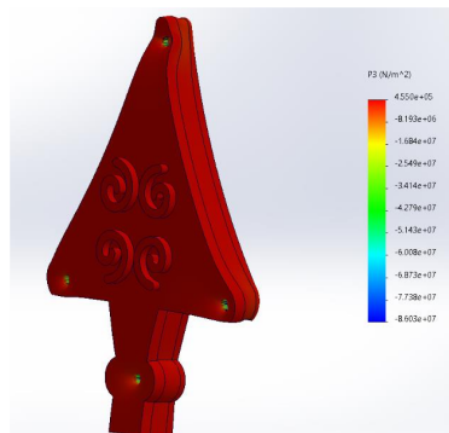
**Gambar 4.24** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

Pada Gambar 4.25 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 3, PP 5 mm, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 62.43 MPa. Pada Gambar 4.26 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 3, PP 5 mm, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.27 menunjukkan

*displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.038 mm.

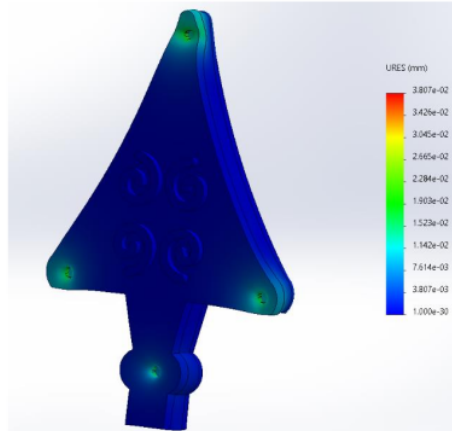


**Gambar 4.25** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



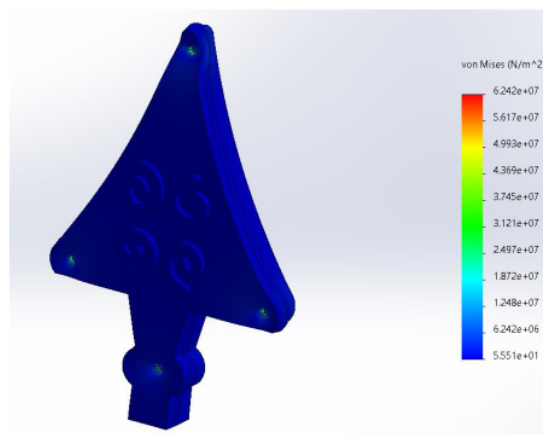
**Gambar 4.26** 3rd principal Desain Ornamen Pagar



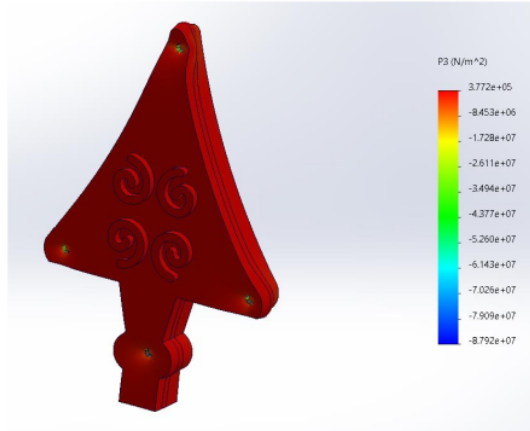


**Gambar 4.27** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

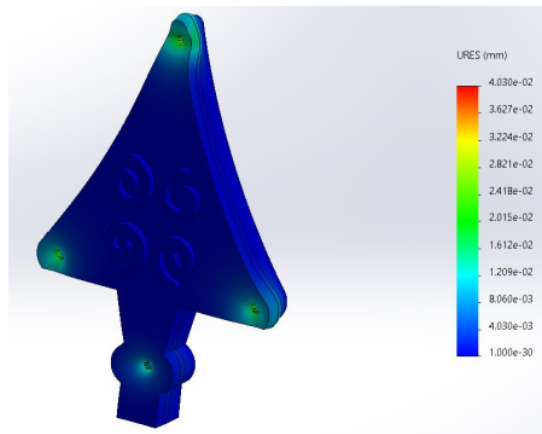
Pada Gambar 4.28 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 3, HDPE 2 mm, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 62.42 MPa. Pada Gambar 4.29 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 3, HDPE 2 mm, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.30 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.040 mm.



**Gambar 4.28** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

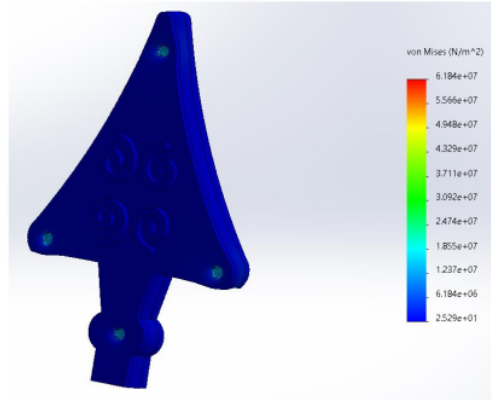


**Gambar 4.29** *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

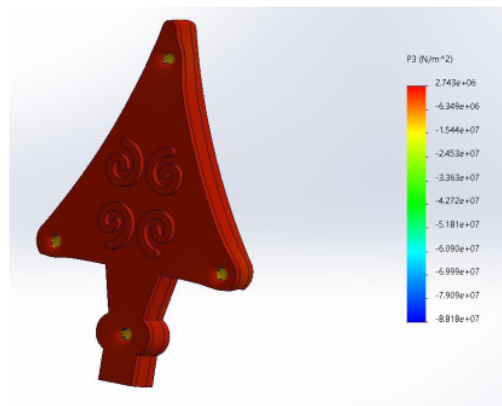


**Gambar 4.30** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

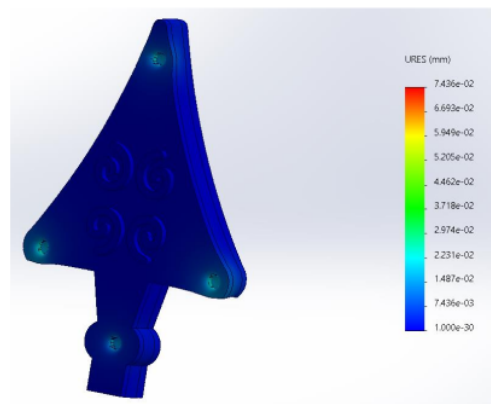
Pada Gambar 4.31 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 2 mm, PP 5 mm, dan PET 3 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 61.84 MPa. Pada Gambar 4.32 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 2 mm, PP 5 mm, dan PET 3 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.33 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.074 mm.



**Gambar 4.31** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

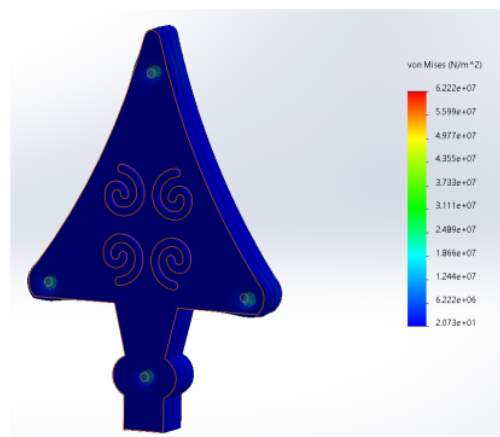


**Gambar 4.32** 3rd principal Desain Ornamen Pagar

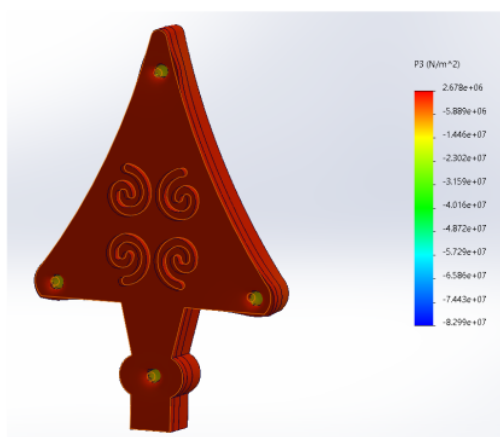


**Gambar 4.33** Displacement Desain Ornamen Pagar

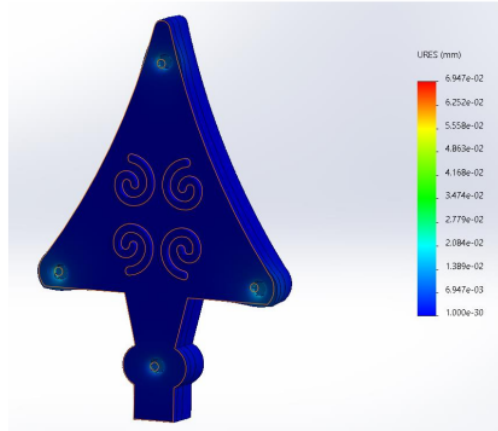
Pada Gambar 4.34 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 2 mm, PET 3, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 62.22 MPa. Pada Gambar 4.35 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 2 mm, PET 3, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.36 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.069 mm.



**Gambar 4.34** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



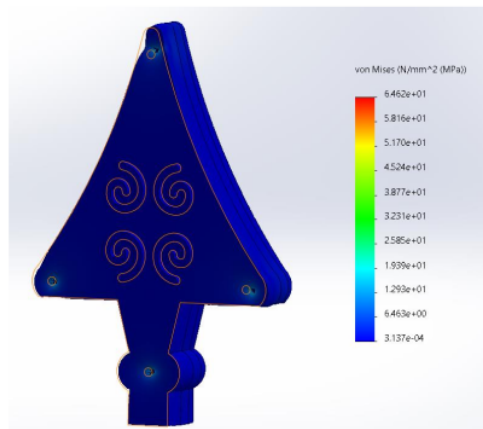
**Gambar 4.35** 3rd principal Desain Ornamen Pagar



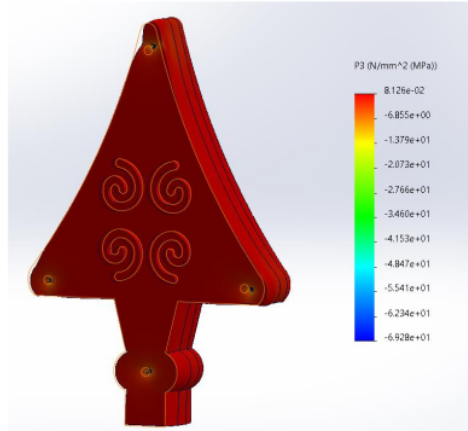
**Gambar 4.36** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

#### 4.1.3 Simulasi Ketebalan 15 mm

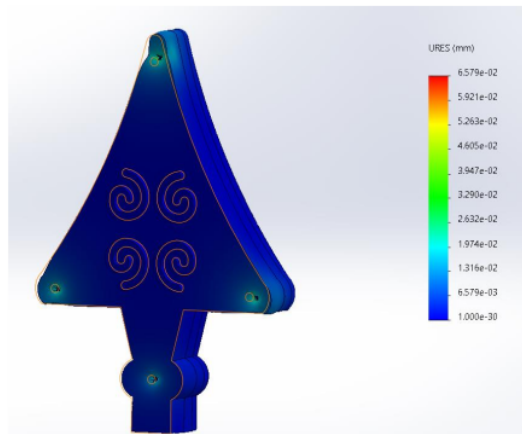
Pada Gambar 4.37 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 7,5 mm, PET 4,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 64.62 MPa. Pada Gambar 4.38 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 7,5 mm, PET 4,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.39 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.066 mm.



**Gambar 4.37** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

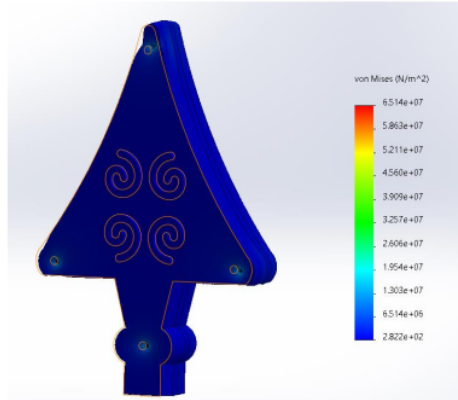


**Gambar 4.38** *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

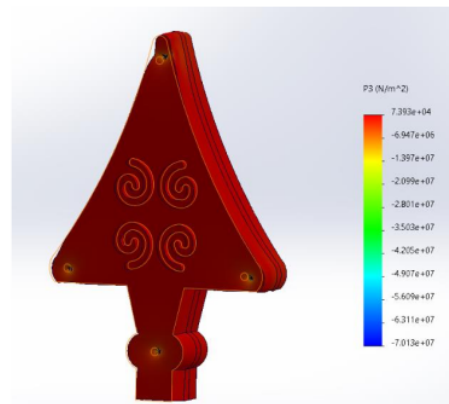


**Gambar 4.39** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

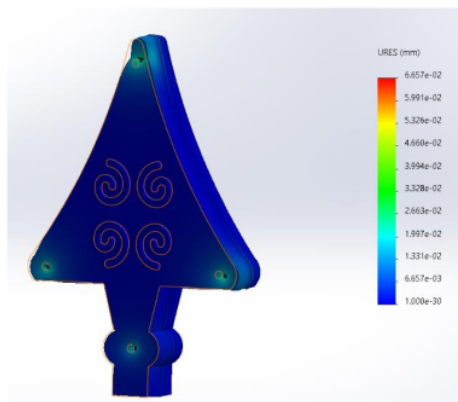
Pada Gambar 4.40 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 7,5 mm, HDPE 3 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 65.14 MPa. Pada Gambar 4.41 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 7,5 mm, HDPE 3 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.42 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.067 mm.



**Gambar 4.40** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

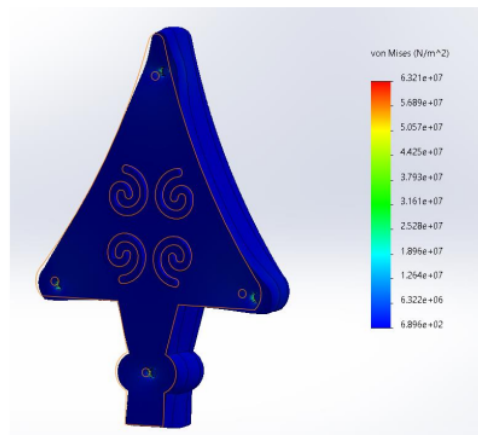


**Gambar 4.41** 3rd principal Desain Ornamen Pagar

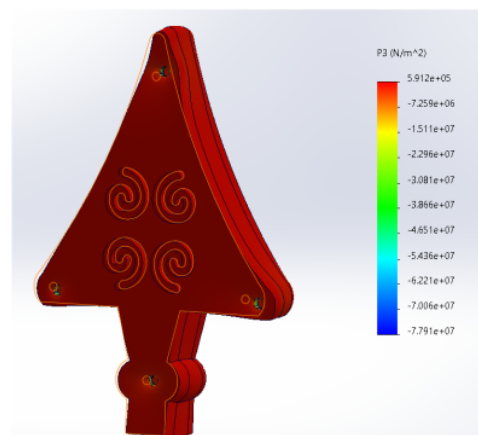


**Gambar 4.42** Displacement Desain Ornamen Pagar

Pada Gambar 4.43 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 4,5 mm, PP 7,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 63.21 MPa. Pada Gambar 4.44 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 4,5 mm, PP 7,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.45 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.044 mm.

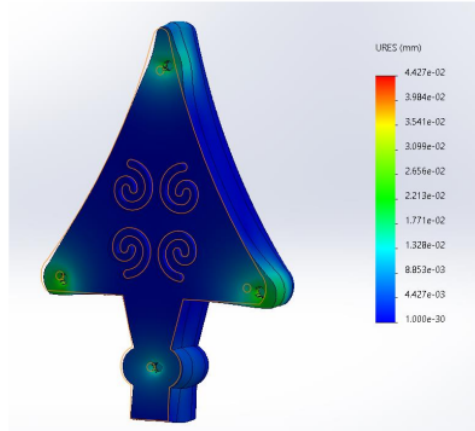


**Gambar 4.43** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



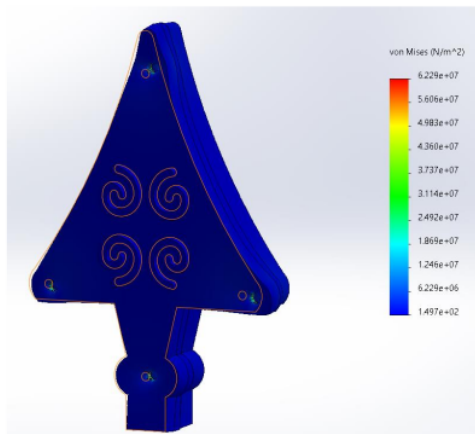
**Gambar 4.44** 3rd principal Desain Ornamen Pagar



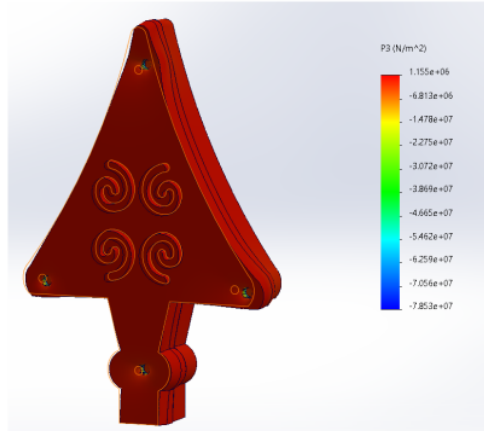


**Gambar 4.45** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

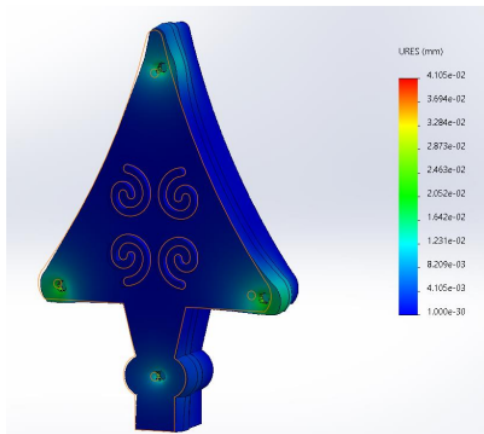
Pada Gambar 4.46 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 4,5 mm, HDPE 3 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 62.29 MPa. Pada Gambar 4.47 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 4,5 mm, HDPE 3 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.48 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.041 mm.



**Gambar 4.46** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

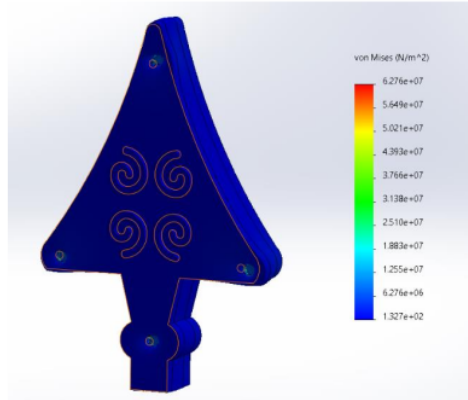


**Gambar 4.47** *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

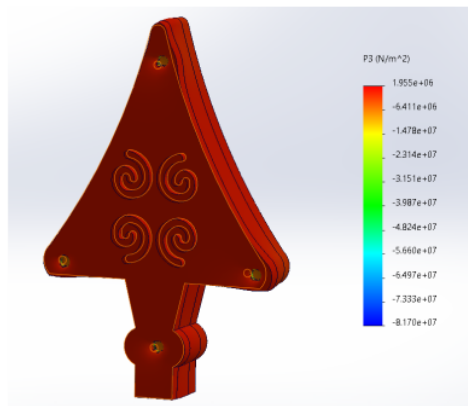


**Gambar 4.48** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

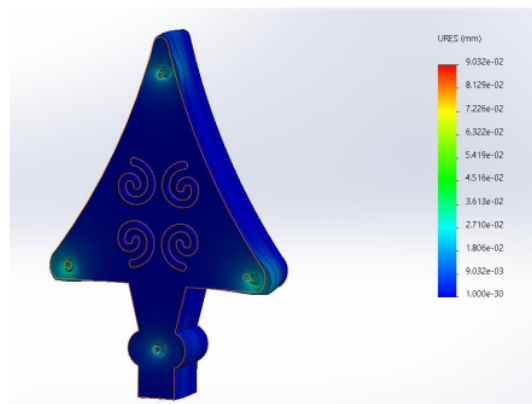
Pada Gambar 4.49 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 3 mm, PP 7,5 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 62.76 MPa. Pada Gambar 4.50 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 3 mm, PP 7,5 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.51 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.09 mm.



**Gambar 4.49** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

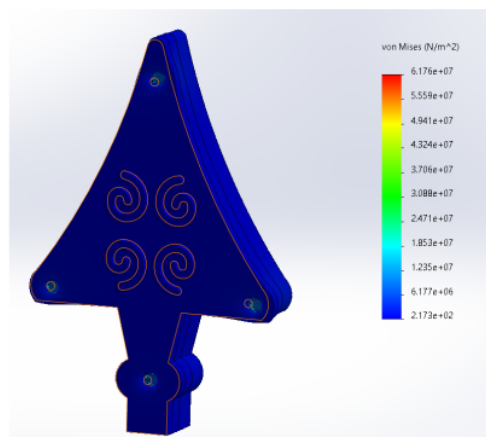


**Gambar 4.50** 3rd principal Desain Ornamen Pagar

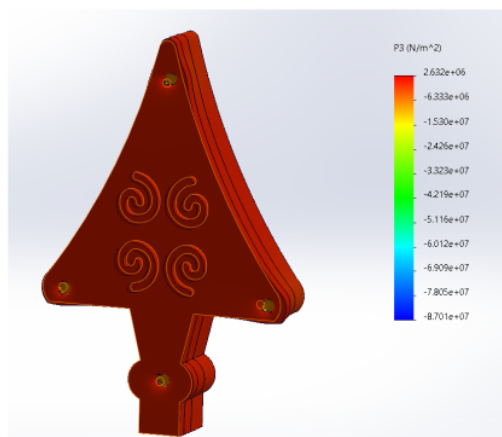


**Gambar 4.51** Displacement Desain Ornamen Pagar

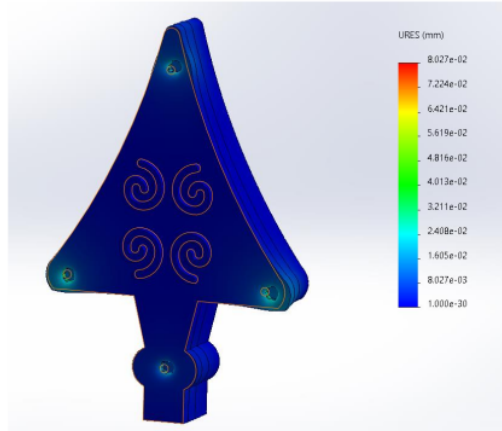
Pada Gambar 4.52 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 3 mm, PET 4,5 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 61.76 MPa. Pada Gambar 4.53 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 3 mm, PET 4,5 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.54 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimum yang didapat sebesar 0.08 mm.



**Gambar 4.52** Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



**Gambar 4.53** 3rd principal Desain Ornamen Pagar



**Gambar 4.54** *Displacement* Desain Ornamen Pagar

#### 4.2 Pembahasan Simulasi

Untuk mempermudah pemahaman terhadap simulasi data yang telah diperoleh, data tersebut dikelompokkan berdasarkan material, komposisi material dan ketebalan yang digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Pada Tabel 4.1 terdapat nilai tegangan maksimal (MPa) dan juga nilai *Displacement* (mm) yang dihasilkan ketika melakukan simulasi.

**Tabel 4.1** Hasil Simulasi Tegangan maksimal dan *Displacement* Ornamen Pagar

| No | Ketebalan (mm) | Material | Posisi Layer | Komposisi Material (mm) | Tegangan maksimal (MPa) | <i>Displacement</i> (mm) |
|----|----------------|----------|--------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1  | 5              | PP       | 1            | 2.5                     | 65.28                   | 0.054                    |
|    |                | PET      | 2            | 1.5                     |                         |                          |
|    |                | HDPE     | 3            | 1                       |                         |                          |
| 2  | 5              | PP       | 1            | 2.5                     | 65.48                   | 0.055                    |
|    |                | PET      | 3            | 1.5                     |                         |                          |
|    |                | HDPE     | 2            | 1                       |                         |                          |
| 3  | 5              | PP       | 3            | 2.5                     | 64.19                   | 0.038                    |
|    |                | PET      | 1            | 1.5                     |                         |                          |
|    |                | HDPE     | 2            | 1                       |                         |                          |
| 4  | 5              | PP       | 2            | 2.5                     | 63.12                   | 0.038                    |
|    |                | PET      | 1            | 1.5                     |                         |                          |
|    |                | HDPE     | 3            | 1                       |                         |                          |
| 5  | 5              | PP       | 2            | 2.5                     | 62.15                   | 0.072                    |

|    |    |      |   |     |       |       |
|----|----|------|---|-----|-------|-------|
|    |    | PET  | 3 | 1.5 |       |       |
|    |    | HDPE | 1 | 1   |       |       |
| 6  | 5  | PP   | 3 | 2.5 | 60.53 | 0.062 |
|    |    | PET  | 2 | 1.5 |       |       |
|    |    | HDPE | 1 | 1   |       |       |
|    |    |      |   |     |       |       |
| 7  | 10 | PP   | 1 | 5   | 70.26 | 0.071 |
|    |    | PET  | 2 | 3   |       |       |
|    |    | HDPE | 3 | 2   |       |       |
| 8  | 10 | PP   | 1 | 5   | 70.03 | 0.073 |
|    |    | PET  | 3 | 3   |       |       |
|    |    | HDPE | 2 | 2   |       |       |
| 9  | 10 | PP   | 2 | 5   | 62.43 | 0.038 |
|    |    | PET  | 1 | 3   |       |       |
|    |    | HDPE | 3 | 2   |       |       |
| 10 | 10 | PP   | 3 | 5   | 62.42 | 0.040 |
|    |    | PET  | 1 | 3   |       |       |
|    |    | HDPE | 2 | 2   |       |       |
| 11 | 10 | PP   | 2 | 5   | 61.84 | 0.074 |
|    |    | PET  | 3 | 3   |       |       |
|    |    | HDPE | 1 | 2   |       |       |
| 12 | 10 | PP   | 3 | 5   | 62.22 | 0.069 |
|    |    | PET  | 2 | 3   |       |       |
|    |    | HDPE | 1 | 2   |       |       |
| 13 | 15 | PP   | 1 | 7.5 | 64.62 | 0.066 |
|    |    | PET  | 2 | 4.5 |       |       |
|    |    | HDPE | 3 | 3   |       |       |
| 14 | 15 | PP   | 1 | 7.5 | 65.14 | 0.067 |
|    |    | PET  | 3 | 4.5 |       |       |
|    |    | HDPE | 2 | 3   |       |       |
| 15 | 15 | PP   | 2 | 7.5 | 63.21 | 0.044 |
|    |    | PET  | 1 | 4.5 |       |       |
|    |    | HDPE | 3 | 3   |       |       |
| 16 | 15 | PP   | 3 | 7.5 | 62.29 | 0.041 |
|    |    | PET  | 1 | 4.5 |       |       |
|    |    | HDPE | 2 | 3   |       |       |
| 17 | 15 | PP   | 2 | 7.5 | 62.76 | 0.090 |
|    |    | PET  | 3 | 4.5 |       |       |
|    |    | HDPE | 1 | 3   |       |       |
| 18 | 15 | PP   | 3 | 7.5 | 61.76 | 0.080 |
|    |    | PET  | 2 | 4.5 |       |       |
|    |    | HDPE | 1 | 3   |       |       |

Dapat dilihat pada Tabel 4.1 hasil dari simulasi yang dilakukan pada produk ornamen pagar dengan tebal 5 mm dan komposisi material yang berbeda didapatkan hasil nilai tegangan maksimum diantara 60.53 MPa pada nomor 6 hingga yang terbesar 65.48 MPa pada nomor 2 dan nilai *displacement* yang dihasilkan berupa 0.038 mm pada nomor 3 dan 4, hingga 0.072 mm pada nomor 5, hasil *displacement* ini menunjukkan bahwa material tetap stabil dengan sedikit deformasi. Pada analisis tegangan maksimum saja maka komposisi material terbaik yang digunakan pada No. 6 dengan komposisi material PP di layer 3, PET di layer 2 dan HDPE di layer 1. Sedangkan pada analisis *displacement* komposisi terbaik yang dihasilkan pada simulasi berada pada nomor 3 dan 4 dengan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm. Hasil terbaik ketika mempertimbangkan kedua hasil variabel yakni tegangan dan *displacement* berada pada komposisi material nomor 4 dengan komposisi material PP di layer 2, PET di layer 1 dan HDPE di layer 3, dengan nilai tegangan sebesar 63.12 MPa dan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm.

Pada produk ornamen pagar dengan ketebalan 10 mm dihasilkan nilai tegangan sebesar 61.84 MPa pada nomor 11 hingga yang terbesar 70.26 MPa pada nomor 8, dan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm pada nomor 10, hingga 0.074 mm pada komposisi nomor 15. Jika dilakukan analisis tegangan maksimum saja maka komposisi material terbaik yang digunakan pada No. 11 dengan komposisi material PP di layer 2, PET di layer 3 dan HDPE di layer 1. Sedangkan pada analisis *displacement* komposisi terbaik yang dihasilkan pada simulasi berada pada nomor 9 dengan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm dengan komposisi material PP di layer 2, PET di layer 1, dan HDPE di layer 3. Hasil terbaik ketika mempertimbangkan kedua hasil variabel yakni tegangan dan *displacement* berada pada komposisi material nomor 9 dengan komposisi material PP di layer 2, PET di layer 1 dan HDPE di layer 3, dengan nilai tegangan sebesar 62.43 MPa dan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm.

Pada produk ornamen pagar dengan tebal 15 mm dihasilkan nilai tegangan sebesar, 61.76 MPa pada komposisi nomor 18, hingga 65.14 MPa pada komposisi nomor 8, dan nilai *displacement* sebesar 0.041 mm pada

komposisi nomor 16, hingga 0.090 mm pada komposisi nomor 15. Jika dilakukan analisis tegangan maksimum saja maka komposisi material terbaik yang digunakan pada No. 18 dengan komposisi material PP di layer 2, PET di layer 3 dan HDPE di layer 1. Sedangkan pada analisis *displacement* komposisi terbaik yang dihasilkan pada simulasi berada pada nomor 16 dengan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm dan komposisi material PP di layer 3, PET di layer 1, dan HDPE di layer 2. Hasil terbaik ketika mempertimbangkan kedua hasil variabel yakni tegangan dan *displacement* berada pada komposisi material nomor 16 dengan komposisi material PP di layer 3, PET di layer 1 dan HDPE di layer 2, dengan nilai tegangan sebesar 62.29 MPa dan nilai *displacement* sebesar 0.041 mm.

### 4.3 Validasi Simulasi

Untuk memastikan akurasi data dari hasil simulasi, dilakukan proses validasi. Tujuannya adalah untuk mengukur sejauh mana perbedaan antara hasil simulasi dan metode validasi yang digunakan. Dalam penelitian ini, menggunakan persamaan untuk mencari nilai momen inersia, nilai tegangan (*stress*), dan defleksi (*displacement*). Langkah pertama menghitung nilai momen inersia yang terdapat pada produk ornamen pagar, untuk lebih mudah melakukan perhitungan maka dibagi menjadi 2 dibagian yakni atas dan bawah, berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai momen inersia pada bagian atas:

$$I = \frac{bh^3}{12} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$I = \frac{\pi ab^3}{4} \dots\dots\dots (4.2)$$

Pada bagian atas ornamen pagar diasumsikan menjadi 2 bagian, pada bagian I adalah bagian ornamen pagar pada bagian II adalah bagian luar yang dilakukan perhitungan dengan asumsi bentuk  $\frac{1}{4}$  ellips yang akan dicari menggunakan persamaan 4.2 diatas dan bagian total berbentuk persegi panjang yang akan dicari nilai momen inersianya menggunakan persamaan 4.1 diatas, berikut merupakan perhitungannya:



- Perhitungan  $\frac{1}{4}$  ellips II

$$I = \frac{1}{4} \times \frac{\pi ab^3}{4}$$

$$I = \frac{1}{4} \times \frac{3.14 \times 63.89 \times 29.69^3}{4}$$

$$I = 328150.56 \text{ mm}^4$$

- Perhitungan total

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I = \frac{29.69 \times 63.89^3}{12}$$

$$I = 645249.41 \text{ mm}^4$$

- Perhitungan I

$$I_{\text{total}} = 645249.41 \text{ mm}^4 - 328150.56 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{total}} = 317098.85 \text{ mm}^4 \times 2$$

$$I_{\text{total}} = 634197.7 \text{ mm}^4$$

Setelah itu dilakukan perhitungan pada bagian bawah, pada bagian ini dibagi menjadi 4 bagian, bagian 1 merupakan bagian yang akan dicari nilai momen inersianya, pada bagian kedua berbentuk segitiga siku-siku, pada bagian ketiga berbentuk segiempat dengan setengah lingkaran pada bagian dalam, pada bagian keempat berbentuk persegi panjang, berikut merupakan persamaan yang akan digunakan:

$$I = \frac{bh^3}{12} \dots\dots\dots(4.3)$$

$$I = \frac{bh^3}{36} \dots\dots\dots(4.4)$$

$$I = \frac{\pi r^4}{8} \dots\dots\dots(4.5)$$

- Perhitungan II segitiga siku-siku

$$I = \frac{bh^3}{36}$$

$$I = \frac{2.96 \times 12^3}{36}$$

$$I = 142.08 \text{ mm}^4$$

- Perhitungan III persegi panjang dengan setengah lingkaran

$$I = \frac{bh^3}{12} - \frac{\pi r^4}{8}$$

$$I = \frac{2.96 \times 9.13^3}{12} - \frac{3.14 \times 5^4}{8}$$

$$I = 187.73 - 245.31$$

$$I = 57.59 \text{ mm}^4$$

- Perhitungan IV persegi panjang

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I = \frac{2.96 \times 7.94^3}{12}$$

$$I = 123.47 \text{ mm}^4$$

- Perhitungan total

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I = \frac{7.96 \times 29.13^3}{12}$$

$$I = 16396.58 \text{ mm}^4$$

- Perhitungan I

$$I = 16396.58 - 142.08 - 57.59 - 122.64$$

$$I = 16074.27 \text{ mm}^4 \times 2$$

$$I = 32148.54 \text{ mm}^4$$

- Perhitungan momen inersia total ornamen pagar

$$I_{\text{total}} = 634197.7 \text{ mm}^4 + 32148.54 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{total}} = 666346.24 \text{ mm}^4$$

Setelah kita mendapatkan nilai inersia pada produk ornamen pagar berikutnya mencari nilai tegangan (*stress*) dan nilai defleksi (*displacement*) berikut merupakan persamaan untuk mencari nilai tegangan dan defleksi:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (4.6)$$

$$\delta = \frac{F.L}{E.I^3} \dots \dots \dots (4.7)$$

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari luas penampang sebelum mencari nilai stress pada produk ornamen pagar, sama seperti mencari nilai momen inersia diatas, produk dibagi menjadi dua bagian agar memudahkan untuk mencari luas penampangnya, berikut merupakan perhitungan pada bagian atas dari produk ornamen pagar:

- Perhitungan  $\frac{1}{4}$  luas ellips

$$LII = \frac{1}{4} \times \pi \times a \times b$$

$$LII = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 63.89 \times 29.69$$

$$LII = 1489.06 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan luas total

$$L_{tot} = P \times L$$

$$L_{tot} = 63.89 \times 29.69$$

$$L_{tot} = 1896.89 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan luas I

$$LI = L_{tot} - LII$$

$$LI = 1896.89 - 1489.06$$

$$LI = 407.83 \times 2$$

$$LI = 815.66 \text{ mm}^2$$

Berikut merupakan perhitungan pada bagian bawah dari produk ornamen pagar:

- Perhitungan segitiga siku-siku

$$LI = \frac{1}{2} \times a \times t$$

$$LI = \frac{1}{2} \times 2.96 \times 12$$

$$LI = 17.76 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan segiempat dengan setengah lingkaran didalam

$$L2 = (P \times L) - \left( \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \right)$$

$$L2 = (9.13 \times 2.96) - \left( \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 5^2 \right)$$

$$L2 = 27.02 - 9.81$$

$$L2 = 17.21 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan persegi panjang

$$L3 = (P \times L)$$

$$L3 = 7.94 \times 2.96$$

$$L3 = 23.5 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan luas total

$$L_{\text{tot}} = (P \times L)$$

$$L_{\text{tot}} = (29.13 \times 7.96)$$

$$L_{\text{tot}} = 231.87 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang total

$$La = L_{\text{total}} - L1 - L2 - L3$$

$$La = 231.87 - 17.76 - 17.21 - 23.5$$

$$La = 173.4 \text{ mm}^2$$

$$La = 173.4 \times 2$$

$$La = 346.8 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan luas total

$$L_{\text{total}} = 815.66 + 346.84$$

$$L_{\text{total}} = 1162.5 \text{ mm}^2$$

Setelah mendapat nilai luas penampang dari produk ornamen pagar lalu dilakukan perhitungan untuk mencari nilai tegangan (*stress*) dan nilai defleksi (*displacement*).

- Perhitungan tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{160}{1162.5}$$

$$\sigma = 0.138 \text{ N/mm}^2$$

- Perhitungan defleksi

$$\delta = \frac{F \times L}{E \times I^2}$$

$$\delta = \frac{160 \times 59.38}{1414 \times 666346.24^2}$$

$$\delta = 1.513 \times 10^{-11} \text{ mm}$$

#### 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Eksperimen

*Universal Testing Machine* (UTM) atau Mesin Uji Universal merupakan alat yang digunakan untuk menguji sifat mekanis suatu material berupa kekuatan tarik, kekuatan tekan, kelenturan, kekerasan, dan modulus elastisitas.

Pengujian tarik menghasilkan berbagai nilai penting yang digunakan untuk menentukan sifat mekanis suatu bahan. Nilai-nilai ini termasuk kekuatan tarik maksimum, perpanjangan maksimum, modulus elastisitas, area penyusutan, titik pelepas, dan ketangguhan. Informasi ini dapat digunakan untuk membandingkan bahan, memilih bahan yang tepat untuk aplikasi tertentu, memperkirakan kinerja bahan, dan memastikan kualitas produk yang dihasilkan.



**Gambar 4.55** Sampel Uji Tarik

Gambar 4.6 merupakan sampel yang akan dilakukan pengujian tarik menggunakan standar ASTM D638. Untuk memperoleh data yang akurat mengenai sifat mekanik, pengujian tarik diperlukan dan dilakukan sebanyak tiga kali. Proses ini mencakup persiapan sampel, penyiapan peralatan uji, pengambilan data gaya dan regangan, serta analisis data untuk mendapatkan nilai rata-rata dan deviasi standar. Hasil analisis ini akan digunakan untuk memahami karakteristik material. Agar hasil pengujian dapat diandalkan, penting untuk memastikan kondisi pengujian yang terkontrol dan penggunaan peralatan yang tepat. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan:

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian A

| A                      |           |        |
|------------------------|-----------|--------|
| Display Name           | Value     | Unit   |
| Width (W)              | 10        | mm     |
| Thickness (B)          | 10        | mm     |
| Modulus                | 1.254     | GPa    |
| YieldOffset            | 0.002     | mm/mm  |
| Peak Load              | 0.92153   | kN     |
| OffsetYieldIndex       | 720       | count  |
| Stress At offset Yield | 8.623     | MPa    |
| Ultimate Stress        | 9.215     | MPa    |
| Strain At Offset Yield | 0.009     | mm/mm  |
| Test Speed             | 1         | mm/min |
| Test Standart          | ASTM D638 |        |

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian B

| B                      |          |       |
|------------------------|----------|-------|
| Display Name           | Value    | Unit  |
| Width (W)              | 10       | mm    |
| Thickness (B)          | 10       | mm    |
| Modulus                | 1.414    | GPa   |
| YieldOffset            | 0.002    | mm/mm |
| Peak Load              | 1.617142 | kN    |
| OffsetYieldIndex       | 820      | count |
| Stress At offset Yield | 13.036   | MPa   |
| Ultimate Stress        | 16.171   | MPa   |

|                        |           |        |
|------------------------|-----------|--------|
| Strain At Offset Yield | 0.011     | mm/mm  |
| Test Speed             | 1         | mm/min |
| Test Standart          | ASTM D638 |        |

**Tabel 4.4** Hasil Pengujian C

| C                      |           |        |
|------------------------|-----------|--------|
| Display Name           | Value     | Unit   |
| Width (W)              | 10        | mm     |
| Thickness (B)          | 10        | mm     |
| Modulus                | 1.31      | GPa    |
| YieldOffset            | 0.002     | mm/mm  |
| Peak Load              | 1.45724   | kN     |
| OffsetYieldIndex       | 773       | count  |
| Stress At offset Yield | 11.746    | MPa    |
| Ultimate Stress        | 14.572    | MPa    |
| Strain At Offset Yield | 0.01      | mm/mm  |
| Test Speed             | 1         | mm/min |
| Test Standart          | ASTM D638 |        |

Berdasarkan hasil pengujian spesimen ornamen pagar diatas menghasilkan nilai tegangan yang berbeda beda, pada spesimen A menghasilkan tegangan maksimum sebesar 9.215 MPa, pada spesimen B sebesar 16.171 MPa, sedangkan pada spesimen C sebesar 14.527 MPa. Pada spesimen B menghasilkan tegangan maksimum tertinggi, hal ini menunjukkan kapasitas maksimal material dalam menahan beban sebelum mengalami kerusakan.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan hasil pengujian B adalah yang terbaik untuk dilakukan perbandingan dengan hasil simulasi, pada hasil eksperimen didapatkan nilai tegangan sebesar 14.572 MPa, pada hasil simulasi yang terbaik didapatkan nilai tegangan sebesar 63.12 MPa, dengan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm. Perbandingan antara hasil eksperimen dengan hasil pengujian jelas sangat berbeda hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor yang menjadi penyebab nilai tegangan dapat terpaut jauh. Pertama pada sampel eksperimen bahan baku yang digunakan dicampur menjadi 1 sehingga dianggap tercampur rata, sedangkan pada simulasi produk

ornamen pagar dibagi menjadi tiga layer yang mana pada setiap layernya menggunakan bahan baku yang berbeda pula. Kedua pada saat melakukan pengambilan sampel yang dapat dipengaruhi berbagai macam faktor seperti kualitas bahan yang digunakan, kondisi lingkungan saat melakukan pengujian. Ketiga perilaku material, jika dilihat sampel yang akan dilakukan pengujian tarik, terdapat beberapa rongga pada bagian luar dan dalam, <sup>47</sup> hal ini akan mempengaruhi hasil pengujian.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan **penelitian** berupa simulasi dan eksperimen pada ornamen pagar berbahan komposit berupa PP, PET, dan HDPE dapat ditarik kesimpulan, berikut merupakan kesimpulan hasil penelitian:

1. Hasil simulasi pada produk ornamen pagar dengan komposisi material plastik PP, PET, dan HDPE dengan tebal 5 mm dan komposisi material yang berbeda didapatkan hasil nilai tegangan maksimum diantara 60.53 MPa hingga yang 65.48 MPa dan nilai *displacement* yang dihasilkan sebesar 0.038 mm, hingga 0.072 mm, hasil *displacement* ini menunjukkan bahwa material tetap stabil dengan sedikit deformasi. Pada produk ornamen pagar dengan ketebalan 10 mm dihasilkan nilai tegangan sebesar 61.84 MPa, hingga yang terbesar 70.26 MPa, dan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm, hingga 0.074 mm. Pada produk ornamen pagar dengan tebal 15 mm dihasilkan nilai tegangan sebesar, 61.76 MPa, hingga 65.14 MPa, dan nilai *displacement* sebesar 0.041 mm, hingga 0.090 mm.
2. Pada hasil eksperimen didapatkan nilai tegangan sebesar 14.572 MPa, pada hasil simulasi yang terbaik didapatkan nilai tegangan sebesar 63.12 MPa, dengan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm. Perbandingan antara hasil eksperimen dengan hasil pengujian jelas sangat berbeda **hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor yang** menjadi penyebab nilai tegangan pada produk ornament pagar berbeda. Pertama karena campuran dari bahan baku yang berbeda pada produk eksperimen ketiga bahan utama dicampur menjadi satu, pada simulasi ketiga bahan dibuat menjadi tiga layer dengan bahan yang berbeda, kedua faktor kualitas bahan yang digunakan, ketiga faktor perilaku material.

## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat dilakukan setelah melakukan penelitian ini agar penelitian kedepan menjadi lebih baik, seperti mengganti material yang digunakan dengan komposisi material yang sama maupun berbeda, membagi material dengan cara yang berbeda, dengan cara membagi material dari atas kebawah, membuat produk ornamen pagar pada eksperimen menjadi tiga layer supaya membuktikan apakah hasil simulasi sudah benar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. W. A. E. S. W. A. Arieanti Dwi Astuti, "Kajian Pendiri Usaha Biji Plastik di Kabupaten Pati, Jawa Tengah," *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK*, vol. 16, no. 2, pp. 95-112, 2020.
- [2] L. Khairiyati, *Pengolahan Limbah Plastik Untuk Menjaga Kelestarian Lingkungan dan Meningkatkan Perekonomian*, 1 ed., Nagari Koto Baru: INSAN CENDEKIA MANDIRI, 2021.
- [3] R. D. F. M. Kurniawan A. N. R, "Implementasi Metode Elemen Hingga Menggunakan Solidworks Untuk Mengoptimalkan Desain Pelek Depan Sepeda Motor Tipe Casting Wheel," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 12, no. 2, 2023.
- [4] R. S. I. Roma Dearn, "Analisis Sifat Mekanik Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete Menggunakan Program LUSAS V17," *Jurnal Sainstek*, vol. 7, no. 2, pp. 73-79, 2019.
- [5] S. S. Basori, "Analisis Defleksi Batang Lentur Menggunakan Tumpuan Jepit dan Rol Pada Material Aluminium 6063 Profil U dengan Beban Terdistribusi," *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, vol. 1, no. 1, pp. 50-58, 2015.
- [6] R. H. P. Irwan Yulianto, "Rancangan Desain Mold Produk Knob Regulator Kompor Gas Pada Proses Injection Molding," *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, vol. 2, no. 3, pp. 140-151, 2014.
- [7] J. G. Gutierrez, *Powder Injection Molding of Metal and Ceramic Parts*, 67 ed., vol. 1, Slovenia: University of Ljubljana, 2012, p. 67.
- [8] K. S. Ir. Sularso, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, 11 ed., Jakarta: PT. Pradnya Pramita, 2004.

## ORIGINALITY REPORT

23%

SIMILARITY INDEX

23%

INTERNET SOURCES

6%

PUBLICATIONS

13%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1

[docplayer.info](http://docplayer.info)

Internet Source

2%

2

[journal.unj.ac.id](http://journal.unj.ac.id)

Internet Source

2%

3

[lib.unnes.ac.id](http://lib.unnes.ac.id)

Internet Source

2%

4

[core.ac.uk](http://core.ac.uk)

Internet Source

1%

5

[repository.its.ac.id](http://repository.its.ac.id)

Internet Source

1%

6

Submitted to Fakultas Ekonomi dan Bisnis  
Universitas Gadjah Mada

Student Paper

1%

7

[pdfcoffee.com](http://pdfcoffee.com)

Internet Source

1%

8

Submitted to Universitas Muria Kudus

Student Paper

1%

9

[123dok.com](http://123dok.com)

Internet Source

1%

|    |                                                                                                     |      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 10 | <a href="http://ejournal.sttp-yds.ac.id">ejournal.sttp-yds.ac.id</a><br>Internet Source             | 1 %  |
| 11 | <a href="http://eprints.polsri.ac.id">eprints.polsri.ac.id</a><br>Internet Source                   | 1 %  |
| 12 | <a href="http://eprints.untirta.ac.id">eprints.untirta.ac.id</a><br>Internet Source                 | 1 %  |
| 13 | <a href="http://ejournal.stipjakarta.ac.id">ejournal.stipjakarta.ac.id</a><br>Internet Source       | 1 %  |
| 14 | <a href="http://repo-dosen.ulm.ac.id">repo-dosen.ulm.ac.id</a><br>Internet Source                   | <1 % |
| 15 | <a href="http://text-id.123dok.com">text-id.123dok.com</a><br>Internet Source                       | <1 % |
| 16 | Submitted to Sriwijaya University<br>Student Paper                                                  | <1 % |
| 17 | <a href="http://edoc.pub">edoc.pub</a><br>Internet Source                                           | <1 % |
| 18 | <a href="http://nurarifinerizal.wordpress.com">nurarifinerizal.wordpress.com</a><br>Internet Source | <1 % |
| 19 | <a href="http://repository.polman-babel.ac.id">repository.polman-babel.ac.id</a><br>Internet Source | <1 % |
| 20 | <a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a><br>Internet Source                                 | <1 % |
| 21 | <a href="http://repository.ub.ac.id">repository.ub.ac.id</a><br>Internet Source                     | <1 % |

|    |                                                                                                                                                                                                                                        |      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 22 | Submitted to Universitas Pamulang<br>Student Paper                                                                                                                                                                                     | <1 % |
| 23 | berikutyang.com<br>Internet Source                                                                                                                                                                                                     | <1 % |
| 24 | Arieyanti Dwi Astuti, Jatmiko Wahyudi, Aeda Ernawati, Siti Qorrotu Aini. "Kajian Pendirian Usaha Biji Plastik di Kabupaten Pati, Jawa Tengah", Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK, 2020<br>Publication | <1 % |
| 25 | eprints.umm.ac.id<br>Internet Source                                                                                                                                                                                                   | <1 % |
| 26 | eprints.umpo.ac.id<br>Internet Source                                                                                                                                                                                                  | <1 % |
| 27 | repository.unsri.ac.id<br>Internet Source                                                                                                                                                                                              | <1 % |
| 28 | Submitted to andalas<br>Student Paper                                                                                                                                                                                                  | <1 % |
| 29 | www.coursehero.com<br>Internet Source                                                                                                                                                                                                  | <1 % |
| 30 | www.scribd.com<br>Internet Source                                                                                                                                                                                                      | <1 % |
| 31 | positori.uma.ac.id<br>Internet Source                                                                                                                                                                                                  | <1 % |

|    |                                                          |      |
|----|----------------------------------------------------------|------|
| 32 | Submitted to Universitas Negeri Jakarta<br>Student Paper | <1 % |
| 33 | eprints.uad.ac.id<br>Internet Source                     | <1 % |
| 34 | farmasiindustri.com<br>Internet Source                   | <1 % |
| 35 | repository.dinamika.ac.id<br>Internet Source             | <1 % |
| 36 | Submitted to Syiah Kuala University<br>Student Paper     | <1 % |
| 37 | eprints.itn.ac.id<br>Internet Source                     | <1 % |
| 38 | idoc.pub<br>Internet Source                              | <1 % |
| 39 | irhamsyarifsite.wordpress.com<br>Internet Source         | <1 % |
| 40 | lordbroken.wordpress.com<br>Internet Source              | <1 % |
| 41 | scindeks-clanci.ceon.rs<br>Internet Source               | <1 % |
| 42 | talentaconfseries.usu.ac.id<br>Internet Source           | <1 % |
| 43 | waste4change.com<br>Internet Source                      | <1 % |

|    |                                                                                                                                                                                                                             |      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 44 | <a href="http://repository.ppns.ac.id">repository.ppns.ac.id</a><br>Internet Source                                                                                                                                         | <1 % |
| 45 | <a href="http://repository.mercubuana.ac.id">repository.mercubuana.ac.id</a><br>Internet Source                                                                                                                             | <1 % |
| 46 | <a href="http://digilib.uns.ac.id">digilib.uns.ac.id</a><br>Internet Source                                                                                                                                                 | <1 % |
| 47 | <a href="http://repository.unj.ac.id">repository.unj.ac.id</a><br>Internet Source                                                                                                                                           | <1 % |
| 48 | <a href="http://live-look-no.icu">live-look-no.icu</a><br>Internet Source                                                                                                                                                   | <1 % |
| 49 | <a href="http://repo.darmajaya.ac.id">repo.darmajaya.ac.id</a><br>Internet Source                                                                                                                                           | <1 % |
| 50 | <a href="http://perpustakaan.bappenas.go.id">perpustakaan.bappenas.go.id</a><br>Internet Source                                                                                                                             | <1 % |
| 51 | Michael Agustav, Kathryn Widhiyanti, Edwin Meinardi Trianto. "Perancangan dan Pembuatan Aplikasi Pembelajaran Bahasa Jepang Untuk Pemula Dengan Metode User Centered Design Berbasis Android", Teknika, 2017<br>Publication | <1 % |
| 52 | <a href="http://repository.ar-raniry.ac.id">repository.ar-raniry.ac.id</a><br>Internet Source                                                                                                                               | <1 % |
| 53 | <a href="http://garuda.kemdikbud.go.id">garuda.kemdikbud.go.id</a><br>Internet Source                                                                                                                                       | <1 % |



|    |                                                                                                               |      |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 54 | <a href="http://geograf.id">geograf.id</a><br>Internet Source                                                 | <1 % |
| 55 | <a href="http://materijasekolah.blogspot.com">materijasekolah.blogspot.com</a><br>Internet Source             | <1 % |
| 56 | <a href="http://publikasi.mercubuana.ac.id">publikasi.mercubuana.ac.id</a><br>Internet Source                 | <1 % |
| 57 | <a href="http://repositori.usu.ac.id">repositori.usu.ac.id</a><br>Internet Source                             | <1 % |
| 58 | <a href="http://repository.unhas.ac.id">repository.unhas.ac.id</a><br>Internet Source                         | <1 % |
| 59 | <a href="http://www.neliti.com">www.neliti.com</a><br>Internet Source                                         | <1 % |
| 60 | <a href="http://docobook.com">docobook.com</a><br>Internet Source                                             | <1 % |
| 61 | <a href="http://dte.telkomuniversity.ac.id">dte.telkomuniversity.ac.id</a><br>Internet Source                 | <1 % |
| 62 | <a href="http://ejournal.unesa.ac.id">ejournal.unesa.ac.id</a><br>Internet Source                             | <1 % |
| 63 | <a href="http://id.123dok.com">id.123dok.com</a><br>Internet Source                                           | <1 % |
| 64 | <a href="http://openlibrary.telkomuniversity.ac.id">openlibrary.telkomuniversity.ac.id</a><br>Internet Source | <1 % |
| 65 | <a href="http://repository.umsu.ac.id">repository.umsu.ac.id</a><br>Internet Source                           | <1 % |

---

Exclude quotes      Off

Exclude matches      Off

Exclude bibliography      On