

**ANALISIS TEGANGAN MAKSIMUM DAN DEFORMASI
PADA PADUAN MATERIAL PLASTIK UNTUK PRODUK
ORNAMEN PAGAR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN
HINGGA**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1
pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun Oleh:

Husain Haafizh

3331200085

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN
2025**

TUGAS AKHIR

ANALISIS TEGANGAN MAKSIMUM DAN DEFORMASI PADA PADUAN MATERIAL PLASTIK UNTUK PRODUK ORNAMEN PAGAR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Husain Haafizh
3331200085

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 07 Januari 2025

Pembimbing Utama


Prof. Dr. Eng. Hendra, S.T., M.T.
NIP. 197311182003121002


Shofiatal Ula, S.Pd.I., M.Eng.
NIP. 198403132019032009

Anggota Dewan Penguji


Emy Listijorini, ST., MT.
NIP. 197011022005012001


Dr. Reski Septiana, S.T., M.T.
NIP. 199409042024062002


Prof. Dr. Eng. Hendra, S.T., M.T.
NIP. 197311182003121002


Shofiatal Ula, S.Pd.I., M.Eng.
NIP. 198403132019032009

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik



Tanggal, 25 Februari 2025
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng
NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Husain Haafizh

NPM : 3331200085

Judul : Analisis Tegangan Maksimum Dan Deformasi Pada Paduan Material Plastik Untuk Produk Ornamen Pagar Menggunakan Metode Elemen Hingga

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya,

Cilegon, 28 Februari 2025



Husain Haafizh

NPM. 3331200085

ABSTRACT

Plastic is the most widely used material in Indonesia. The most commonly processed types of plastic are PET (Polyethylene terephthalate), HDPE (High-density polyethylene), and PP (Polypropylene). With advancements in materials technology, plastic is increasingly in demand as a material for fence decoration due to its advantages such as lightness, flexibility, weather resistance, and economy. Using composite materials makes it possible to optimize both strength, flexibility, and resistance to various environmental factors that occur, so as to produce more durable fence ornaments. This study aims to obtain the maximum stress and displacement values of fence ornament products using PP (Polypropylene), PET (Polyethylene Terephthalate), and HDPE (High Density Polyethylene) materials and different variations. And also compare the simulation results of the mechanical test of the fence ornament with the mechanical test conducted in the material laboratory. The finite element method is a numerical method for solving engineering problems of mathematics and physics. This method can be applied to problems with complex geometries, loads, and material properties, which cannot be solved analytically. Simulation results on fence ornament products with PP, PET, and HDPE plastic material composition with a thickness of 10 mm produced a stress value of 10.43 MPa, to the largest 15.23 MPa, and a displacement value of 0.038 mm, to 0.074 mm. In the experimental results obtained a stress value of 16.71 MPa, in the best simulation results obtained a stress value of 15.23 MPa, with a displacement value of 0.038 mm.

Keywords: Plastic, Maximum Stress, Displacement.

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 maksimal (*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 10.43 MPa, hingga yang terbesar 15.23 MPa, dan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm, hingga 0.074 mm. Pada hasil eksperimen didapatkan nilai tegangan sebesar 16.71 MPa, pada hasil simulasi yang terbaik didapatkan nilai tegangan sebesar 15.23 MPa, dengan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm.

Kata kunci: Plastik, Tegangan Maksimal, *Displacement*.

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 TEGANGAN MAKSIMUM DAN DEFORMASI PADA PADUAN 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.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
HALAMAN TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
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
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Material Plastik	4
2.2 Macam – Macam Plastik	6
2.3 Analisis Elemen Hingga (<i>FEA/FEM</i>)	6
2.4 Tegangan (<i>Stress</i>)	8
2.5 Defleksi (<i>Displacement</i>).....	8
2.6 Hukum Hooke	11
2.7 Momen Inersia.....	12
2.8 <i>Solidworks</i>	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Diagram Alir.....	13
3.2 Metode Penelitian.....	15
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	18
3.5.1 <i>Pre Processing</i>	18

3.5.2 Processing	19
3.5.3 Post Processing	20
3.6 Variabel Penelitian.....	20
BAB IV DATA DAN ANALISA	22
4.1 Hasil Simulasi Pada Ornamen Pagar.....	22
4.1.1 Simulasi Ketebalan 5 mm	22
4.1.2 Simulasi Ketebalan 10 mm	33
4.1.3 Simulasi Ketebalan 15 mm	43
4.2 Pembahasan Simulasi.....	54
4.3 Validasi Simulasi	57
4.4 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Eksperimen	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68

DAFTAR GAMBAR

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

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

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

HALAMAN TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Hasil Simulasi <i>Stress</i> dan <i>Displacement</i> Ornamen Pagar.....	46
Tabel 4.2 Perhitungan Inersia	51
Tabel 4.3 Perhitungan Luas Penampang	52
Tabel 4.4 Hasil Pengujian A.....	54
Tabel 4.5 Hasil Pengujian B.....	54
Tabel 4.6 Hasil Pengujian C.....	54

BAB I

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 *static* memungkinkan para desainer untuk mendapatkan sifat mekanis berupa tegangan dan lendutan maksimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan sifat *static* berupa tegangan maksimal (*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.

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 *static* dengan uji mekanik yang dilakukan di laboratorium material ?

1.3 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai tegangan maksimal (*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 *static* ornamen pagar dengan uji mekanik yang dilakukan di laboratorium material.

1.4 Batasan Masalah

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.
3. Menggunakan nilai gaya sebesar 160 N untuk simulasi dan tidak divariasikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini juga terdapat beberapa manfaat yang dihasilkan yakni:

1. Mengetahui hasil simulasi uji *static* pada produk ornamen pagar.

2. Mengetahui perbedaan nilai uji *static* hasil simulasi dengan hasil sebenarnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Plastik

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].

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.

Pada umumnya plastik digolongkan kedalam 3 (tiga) macam dilihat dari temperaturnya yakni:

1. Bahan Thermoplastik (*Thermoplastic*)

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*, 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 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.

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 shampo, 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 *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 (*Moaveni*). Metode ini cocok untuk masalah-masalah teknik yang tidak dapat diselesaikan dengan solusi eksak/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. 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]

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]

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:

σ = Tegangan (kN/cm²)

F = Gaya (kN)

A = Luas Penampang (cm²)

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

ΔL = Perubahan panjang (cm)

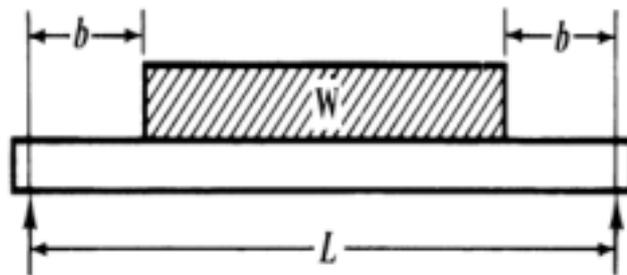
L = Panjang mula-mula (cm)

2.5 Defleksi (*Displacement*)

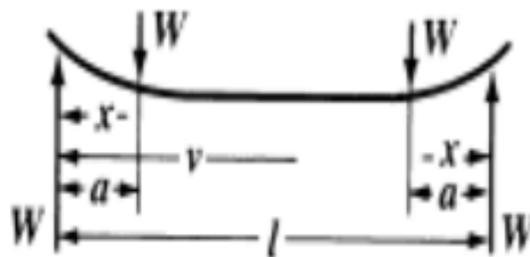
Defleksi atau lendutan adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada batang material. Deformasi pada balok dapat dijelaskan berdasarkan defleksi sesuai dengan sifat bahan material, dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. [5]

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 (Δx) dari posisi normalnya. persamaannya adalah:

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

Dimana :

F = gaya (N)

k = konstanta pegas (N/m)

Δx = 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:

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

Dimana:

I = momen inersia (kg.m^2)

m = massa partikel (kg)

r = jarak dari massa ke sumbu rotasi (m)

2.8 Solidworks

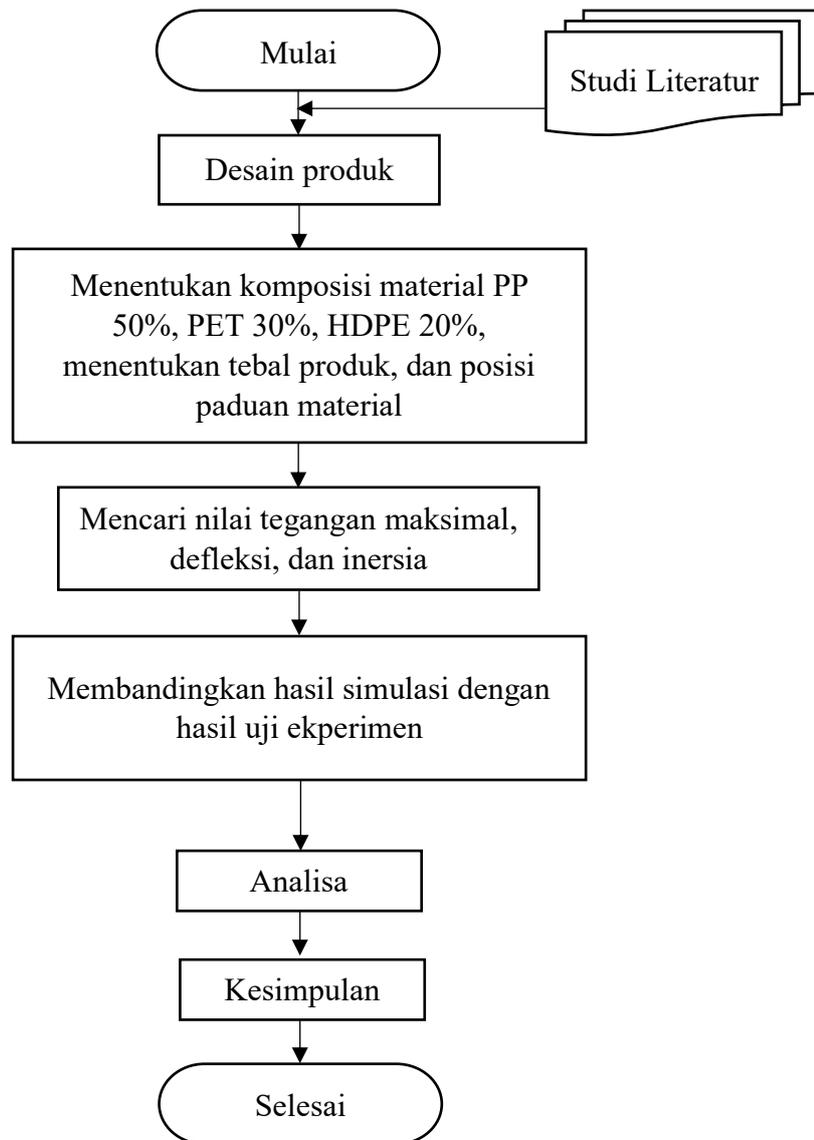
Solidworks merupakan salah satu perangkat lunak CAD yang dikembangkan oleh *Dassault Systèmes*. Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang komponen mesin atau susunan komponen mesin dalam bentuk rakitan dengan tampilan 3D, yang merepresentasikan bagian sebelum dibuat dalam bentuk fisik, atau tampilan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

1. *Parametric Feature-Based Modeling*.
2. Templates Utama.
3. Analisis dan Simulasi.
4. *SolidWorks CAM*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

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 digram 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 PP 50%, PET 30%, HDPE 20%, menentukan tebal produk, dan posisi paduan material

Pada tahap ini penulis mendesain produk dengan komposisi material 50% PP, 30% PET, 20% HDPE. Pada plastik PP digunakan sebesar 50% karena sifat jenis materialnya tahan panas, tahan air, lalu kekuatan plastiknya keras. Menggunakan plastik PET sebesar 30% dikarenakan sifatnya sedikit lunak, dan juga HDPE sebesar 20% dikarenakan sifat materialnya yang lunak. Selain itu menentukan tebal produk yang akan dilakukan simulasi dengan ketebalan 5 mm, 10 mm, dan 15 mm, dan juga menentukan posisi paduan material.

4. Mencari nilai tegangan maksimal, defleksi, dan inersia

Pada tahapan ini dilakukan uji simulasi statis menggunakan aplikasi *Solidwork* untuk mencari tegangan maksimal, defleksi, serta melakukan perhitungan untuk mencari nilai inersia.

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 maksimal 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 *Solidworks*

3.3.2 Bahan yang Digunakan Pada Penelitian

Berikut merupakan bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini:

1. Plastik PET

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

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

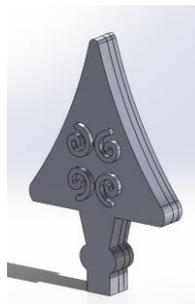
Jenis plastik ini bersifat keras hingga semi fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan kelembapan, mudah diproses dan dibentuk, dan melunak pada suhu 75°C. Biasanya dipakai untuk kemasan makanan, galon air mineral, jerigen, dan botol obat. Plastik HDPE paling sering didaur ulang [2]



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

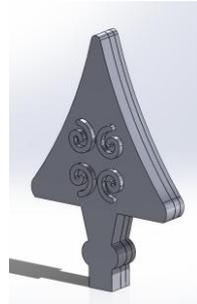
3.5 Tahapan Pengujian

Pada penelitian ini terdapat tahapan pengujian yang akan dilakukan yaitu *Pra Processing*, *Processing*, dan *Post Processing*.

3.5.1 Pre Processing

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

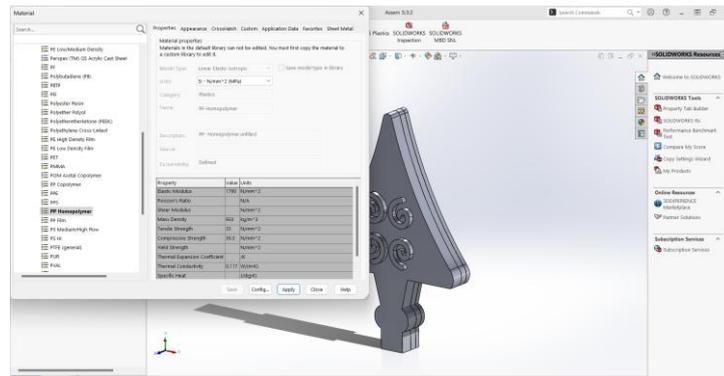
Sebelum melakukan analisis tegangan pada produk ornamen pagar, sebuah model dari produk tersebut harus disiapkan terlebih dahulu. Gambar 3.8 menunjukkan produk ornamen pagar yang digunakan dalam penelitian ini.



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.

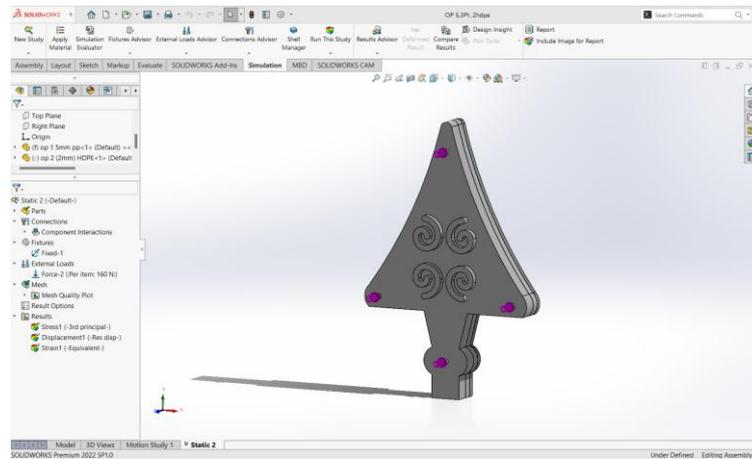


Gambar 3.9 Pengaplikasian Material Pada Desain Ornamen pagar

3.5.2 Processing

1. Memasukkan nilai gaya untuk simulasi *static*

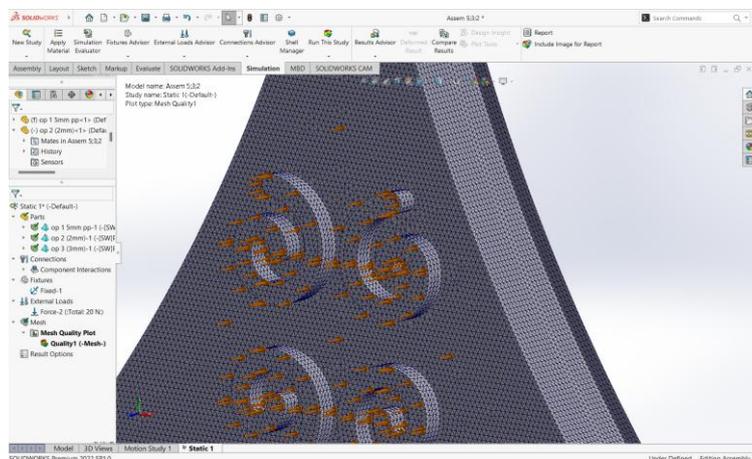
Setelah pemilihan dan mengaplikasikan material berupa PP, PET, dan HDPE pada desain ornamen pagar, langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai gaya yang akan digunakan untuk melakukan simulasi sebesar 160 N.



Gambar 3.10 Aplikasi Nilai Gaya Pada Desain Ornamen pagar

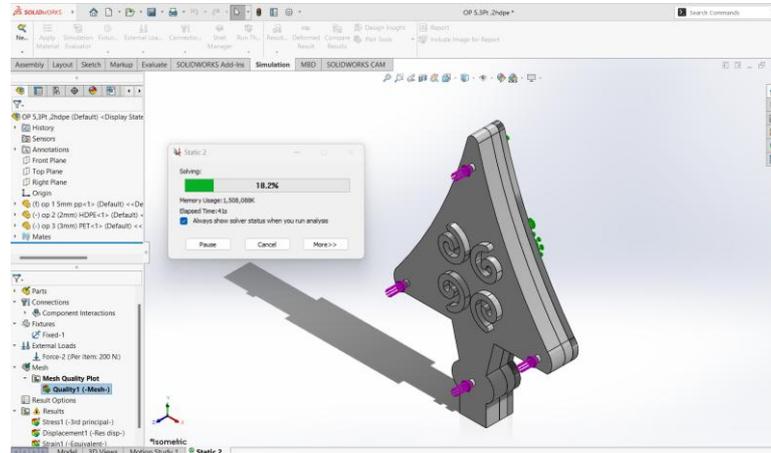
2. Mengatur *mesh* sebelum desain ornamen pagar dilakukan simulasi

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

- 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.

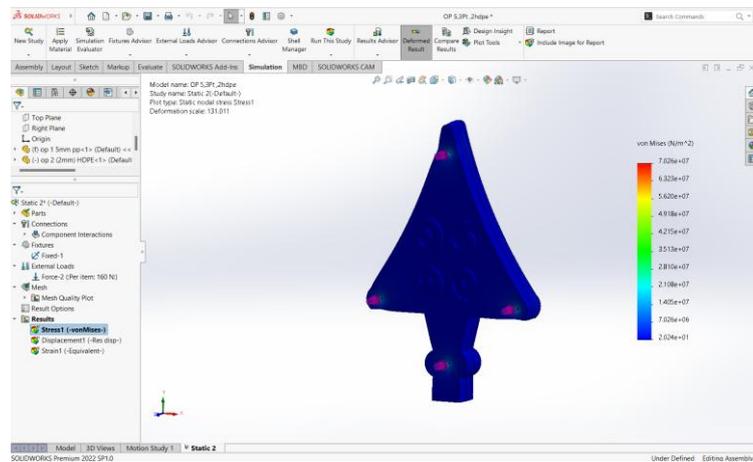


Gambar 3.12 Menjalankan Simulasi Pada Desain Ornamen pagar

3.5.3 Post Processing

- Mendapat hasil tegangan maksimum dan *displacement*

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 yakni 50% PP, 30% PET, dan 20% HDPE, dan juga ketebalan ornamen, yaitu 5 mm, 10 mm, dan 15 mm, sedangkan variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai tegangan maksimum dan *displacement* pada produk ornamen pagar.

BAB IV

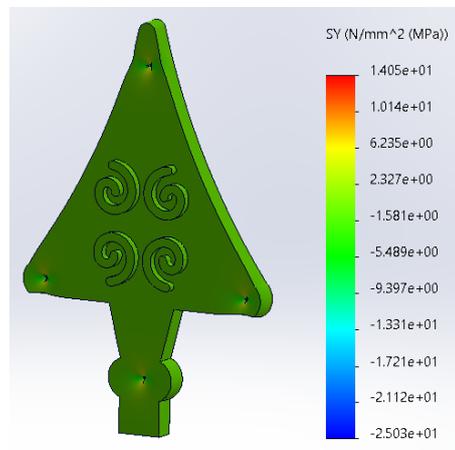
DATA DAN ANALISA

4.1 Hasil Simulasi Pada Ornamen Pagar

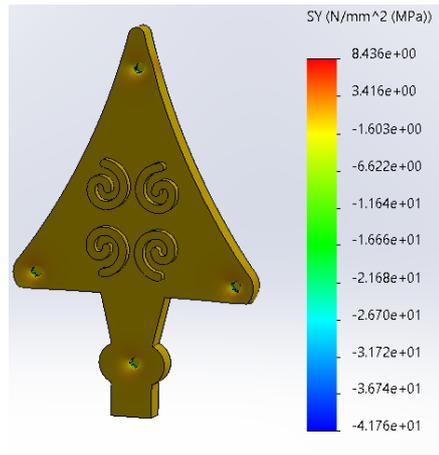
Simulasi yang dilakukan pada produk ornamen pagar dilakukan dengan variasi komposisi PP sebanyak 50%, PET 30%, HDPE 20%, dan variasi ketebalan 5 mm, 10 mm, 15 mm. Berikut hasil simulasi yang sudah dilakukan.

4.1.1 Simulasi Ketebalan 5 mm

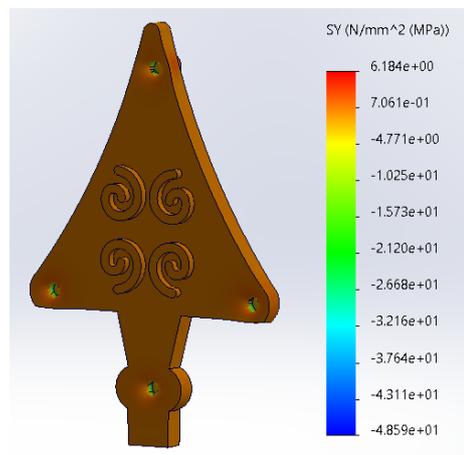
Sebelum dilakukan simulasi menggunakan material yang berbeda dilakukan pengujian dengan menggunakan material yang sama pada desain ornamen pagar berikut merupakan nilai tegangan maksimum hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.1 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar 14.05 MPa. Pada Gambar 4.2 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PET sebesar 8.436 MPa. Pada Gambar 4.3 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material HDPE sebesar 6.184 MPa.



Gambar 4.1 Tegangan Maksimal Material PP

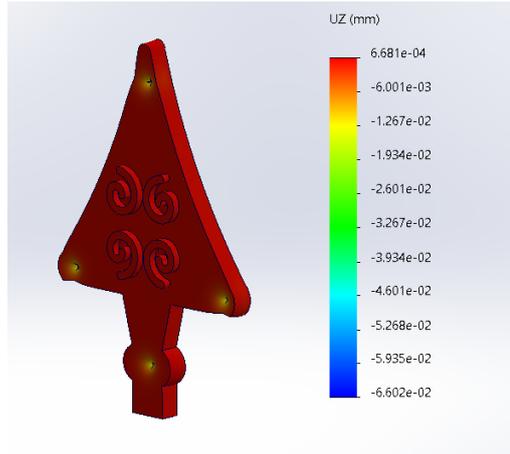


Gambar 4.2 Tegangan Maksimal Material PET

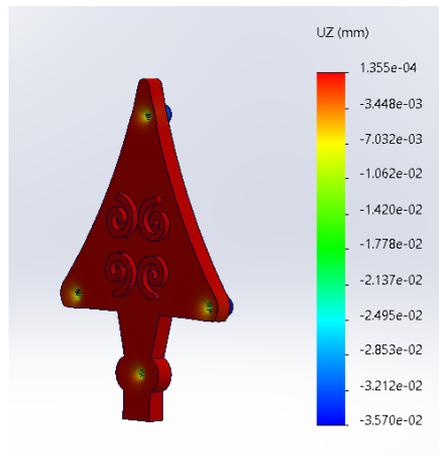


Gambar 4.3 Tegangan Maksimal Material HDPE

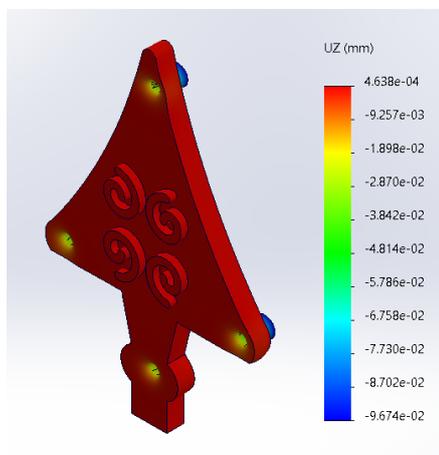
Berikut merupakan nilai *displacement* hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.4 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar 0.00067 mm. Pada Gambar 4.5 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PET sebesar 0.00014 mm. Pada Gambar 4.6 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material HDPE sebesar 0.00046 mm.



Gambar 4.4 *Displacement* Material PP

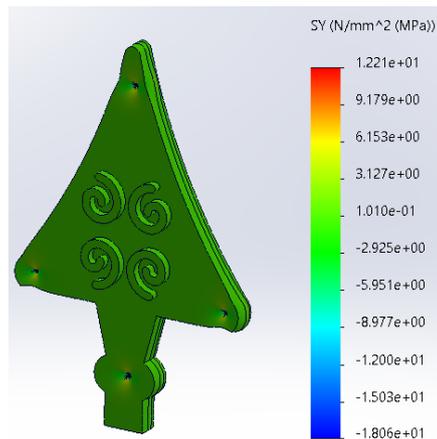


Gambar 4.5 *Displacement* Material PET

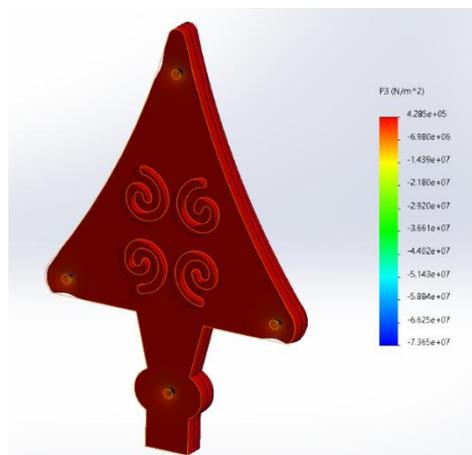


Gambar 4.6 *Displacement* Material HDPE

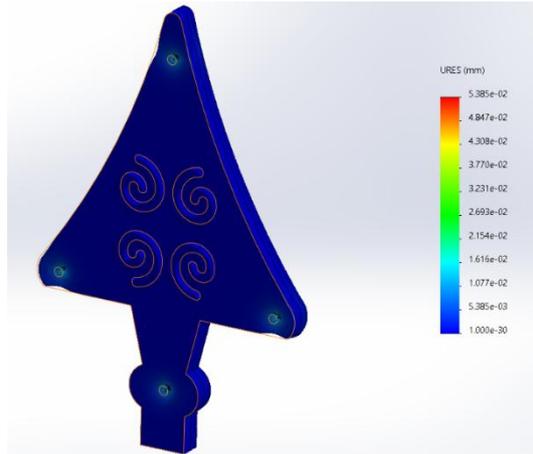
Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, PET 1,5 mm, dan HDPE 1 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 12.21 MPa. Pada Gambar 4.8, menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, PET 1,5 mm, dan HDPE 1 mm, serta ketebalan total 5 mm. Pada Gambar 4.9 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.054 mm.



Gambar 4.7 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

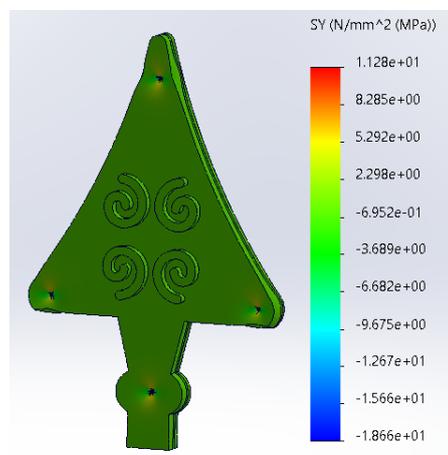


Gambar 4.8 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

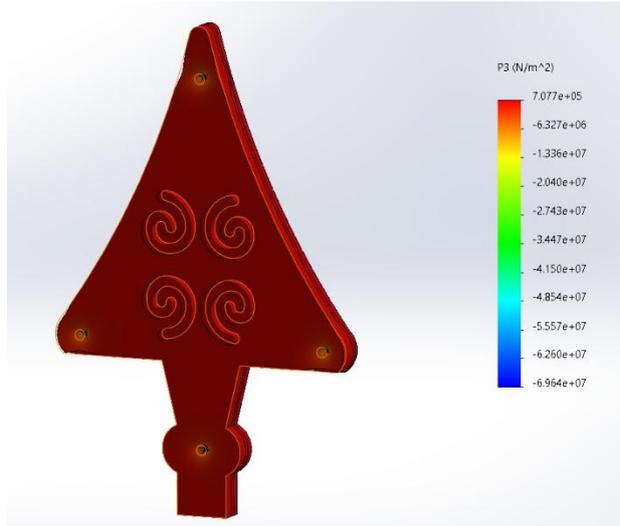


Gambar 4.9 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

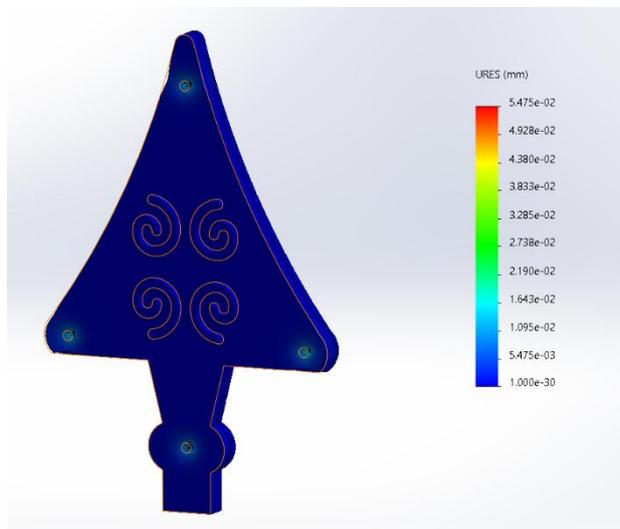
Pada Gambar 4.10 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, HDPE 1 mm, dan PET 1,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.28 MPa. Pada Gambar 4.11, menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, HDPE 1 mm, dan PET 1,5 mm, serta ketebalan total 5 mm. Pada Gambar 4.12 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.055 mm.



Gambar 4.10 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

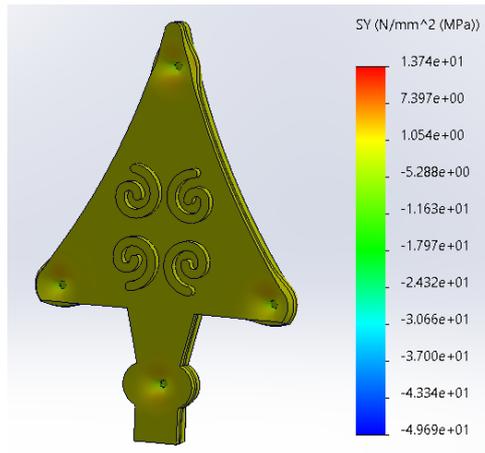


Gambar 4.11 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

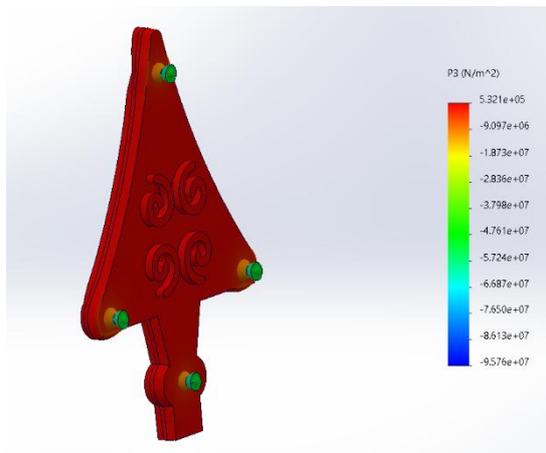


Gambar 4.12 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

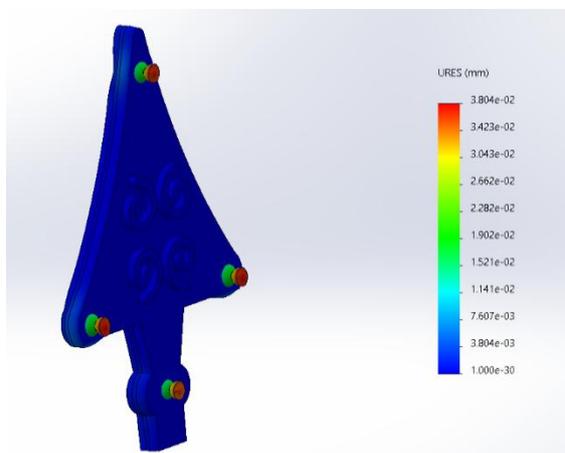
Pada Gambar 4.13 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 1,5 mm, HDPE 1 mm, dan PP 2,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 13.74 MPa. Pada Gambar 4.14, menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 1,5 mm, HDPE 1 mm, dan PP 2,5 mm, serta ketebalan total 5 mm. Pada Gambar 4.15 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.038 mm



Gambar 4.13 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

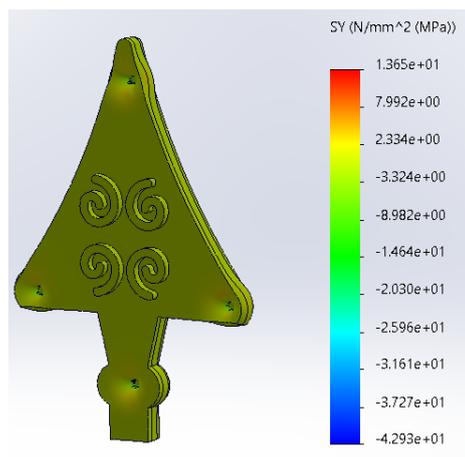


Gambar 4.14 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

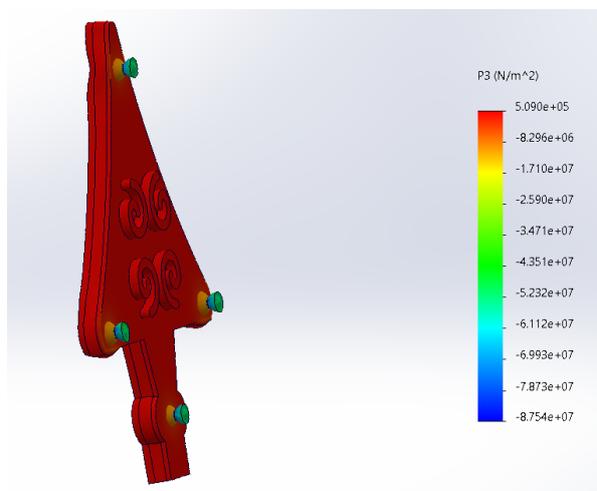


Gambar 4.15 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

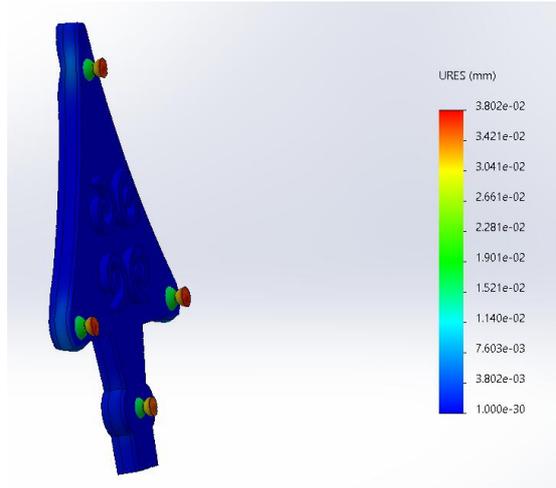
Pada Gambar 4.16 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 1,5 mm, PP 2,5 mm, dan HDPE 1 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 13.65 MPa. Pada Gambar 4.17 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 1,5 mm, PP 2,5 mm, dan HDPE 1 mm, dengan ketebalan 5 mm. Pada Gambar 4.18 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.038 mm



Gambar 4.16 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

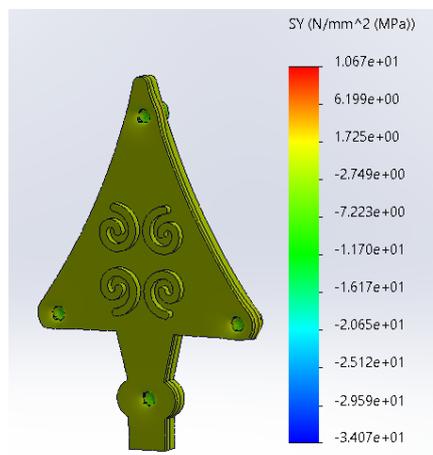


Gambar 4.17 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

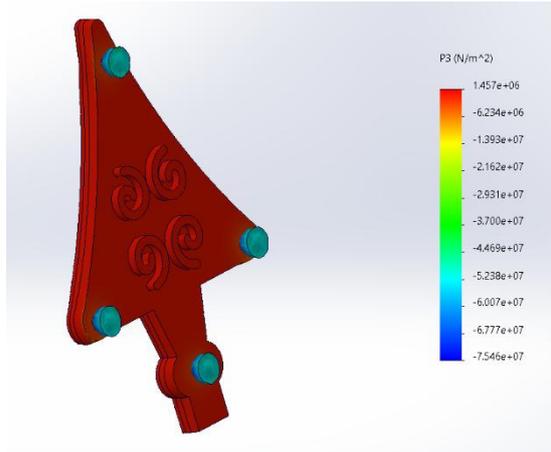


Gambar 4.18 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

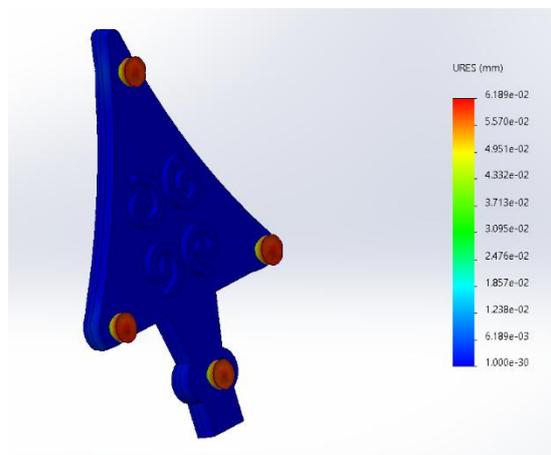
Pada Gambar 4.19 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 1 mm, PET 1,5 mm, dan PP 2,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 10.67 MPa. Pada Gambar 4.20 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 1 mm, PET 1,5 mm, dan PP 2,5 mm, dengan ketebalan 5 mm. Pada Gambar 4.21 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.062 mm.



Gambar 4.19 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

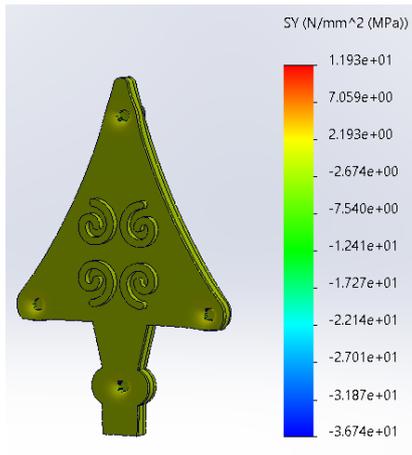


Gambar 4.20 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

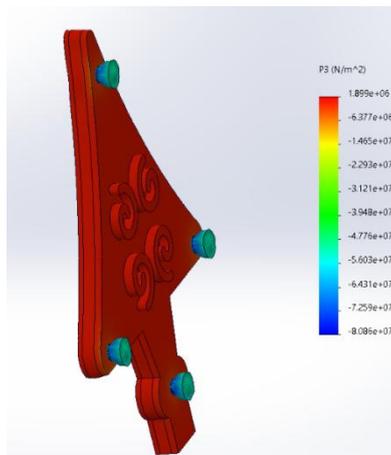


Gambar 4.21 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

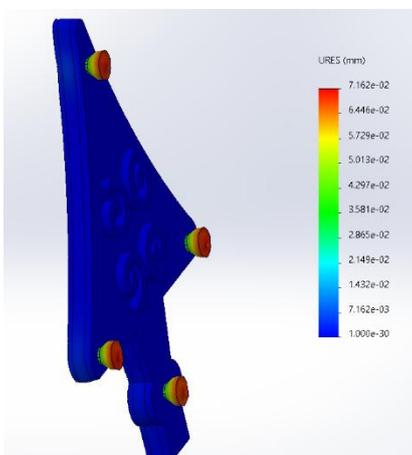
Pada Gambar 4.22 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 1 mm, PP 2,5 mm dan PET 1,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.93 MPa. Pada Gambar 4.23 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 1 mm, PP 2,5 mm dan PET 1,5 mm, dengan ketebalan 5 mm. Pada Gambar 4.24 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.072 mm.



Gambar 4.22 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



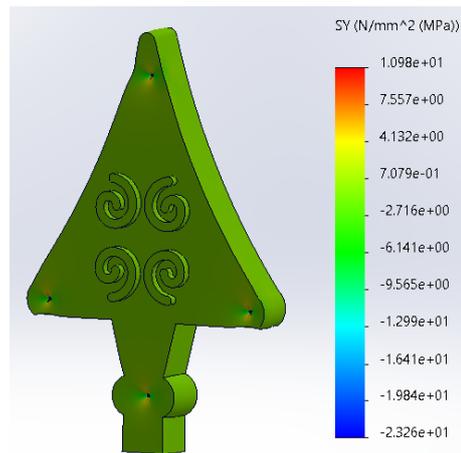
Gambar 4.23 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar



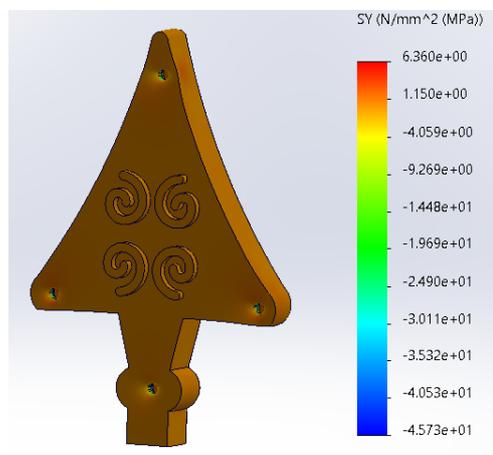
Gambar 4.24 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

4.1.2 Simulasi Ketebalan 10 mm

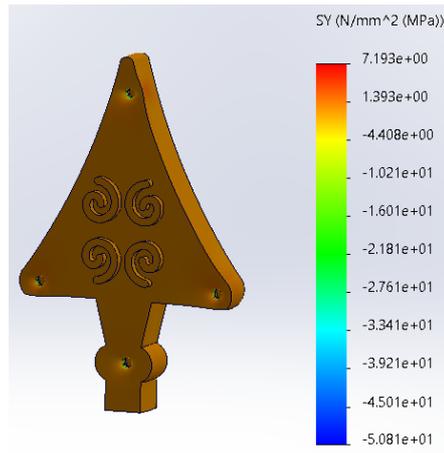
Sebelum dilakukan simulasi menggunakan material yang berbeda dilakukan pengujian dengan menggunakan material yang sama pada desain ornamen pagar berikut merupakan hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.25 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar 10.98 MPa. Pada Gambar 4.26 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PET sebesar 6.360 MPa. Pada Gambar 4.27 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material HDPE sebesar 7.193 MPa.



Gambar 4.25 Tegangan Maksimal Material PP

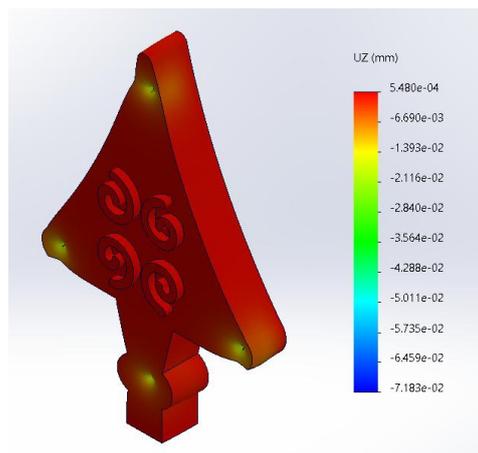


Gambar 4.26 Tegangan Maksimal Material PET

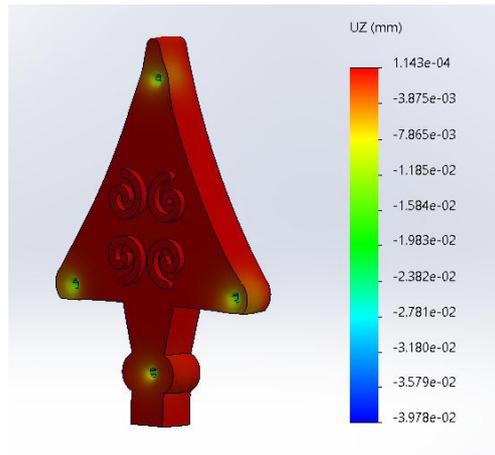


Gambar 4.27 Tegangan Maksimal Material HDPE

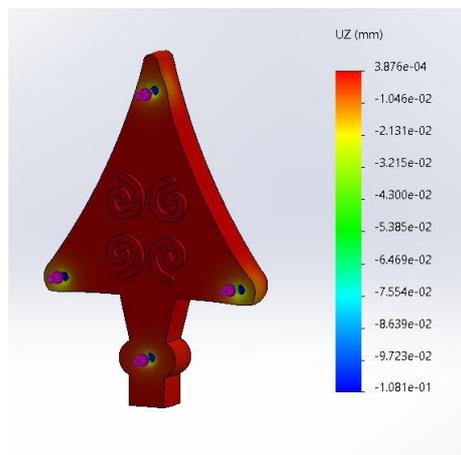
Berikut merupakan nilai *displacement* hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.28 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar 0.00055 mm. Pada Gambar 4.29 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PET sebesar 0.00011 mm. Pada Gambar 4.30 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material HDPE sebesar 0.00039 mm.



Gambar 4.28 *Displacement* Material PP

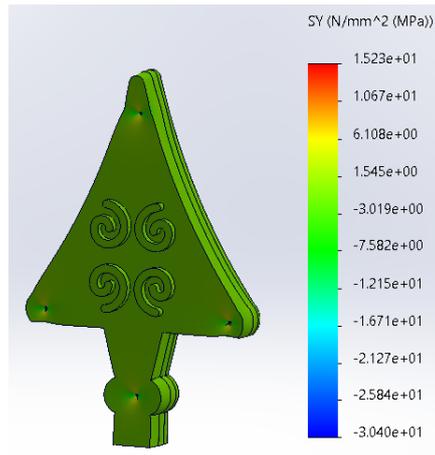


Gambar 4.29 *Displacement Material PET*

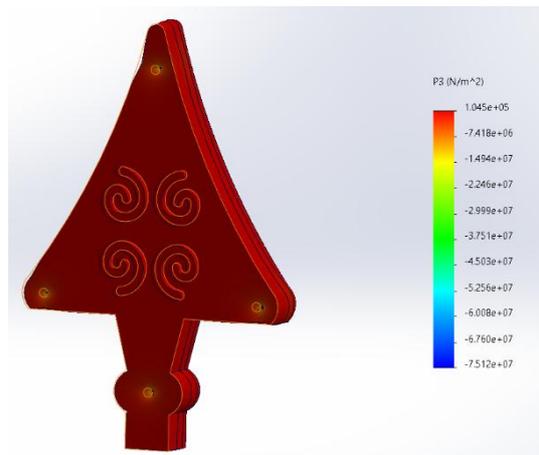


Gambar 4.30 *Displacement Material HDPE*

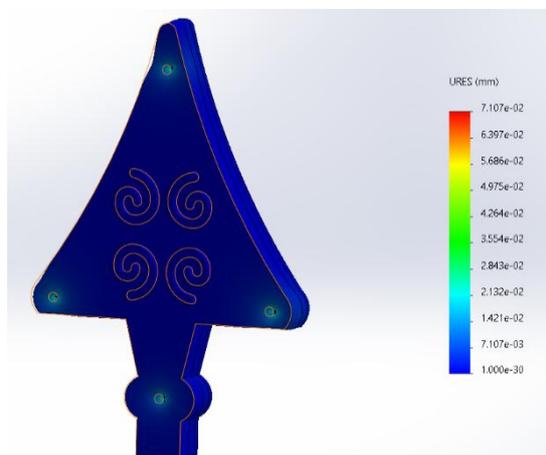
Pada Gambar 4.31 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 5 mm, PET 3 mm, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 15.23 MPa. Pada Gambar 4.32 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 5 mm, PET 3 mm, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.33 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.071 mm.



Gambar 4.31 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

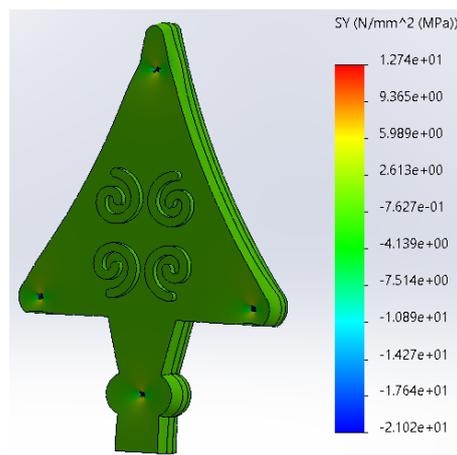


Gambar 4.32 3rd principal Desain Ornamen Pagar

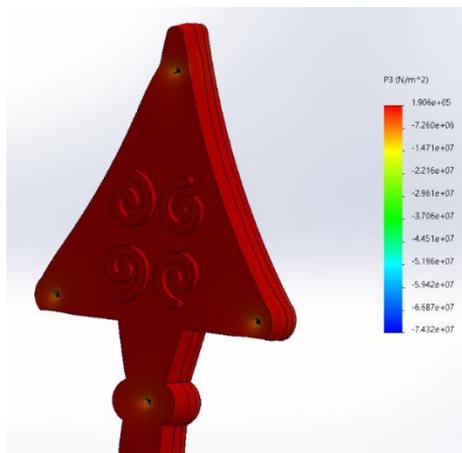


Gambar 4.33 Displacement Desain Ornamen Pagar

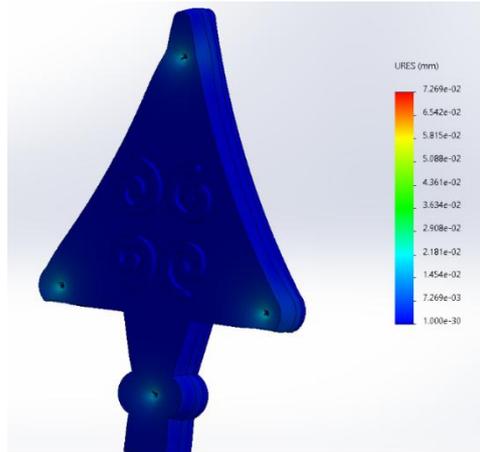
Pada Gambar 4.34 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 5 mm, HDPE 2 mm, dan PET 3 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 12.74 MPa. Pada Gambar 4.35 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 5 mm, HDPE 2 mm, dan PET 3, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.36 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.073 mm.



Gambar 4.34 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

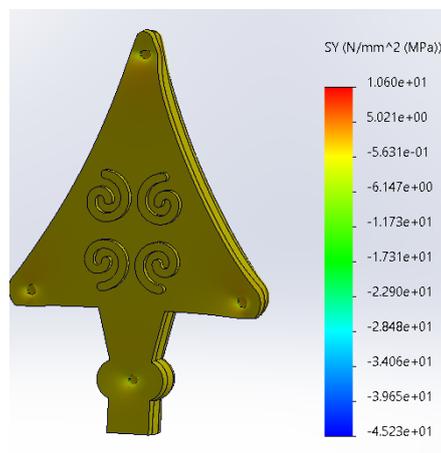


Gambar 4.35 3rd principal Desain Ornamen Pagar

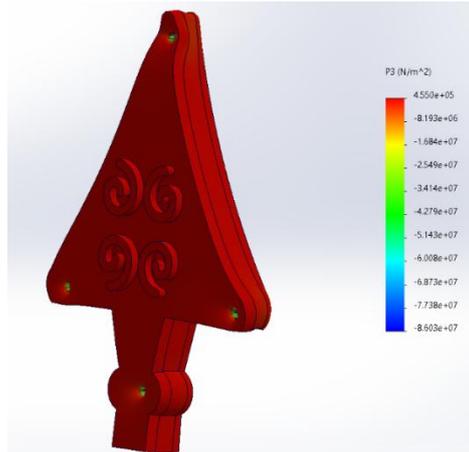


Gambar 4.36 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

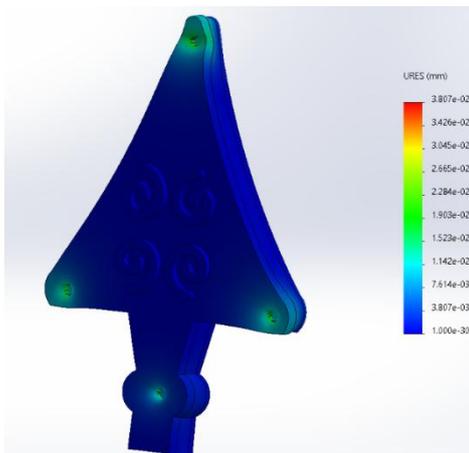
Pada Gambar 4.37 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 3 mm, PP 5 mm, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 10.60 MPa. Pada Gambar 4.38 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 3, PP 5 mm, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.39 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.038 mm.



Gambar 4.37 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

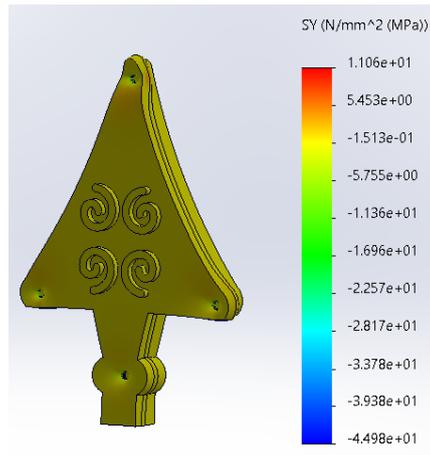


Gambar 4.38 *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

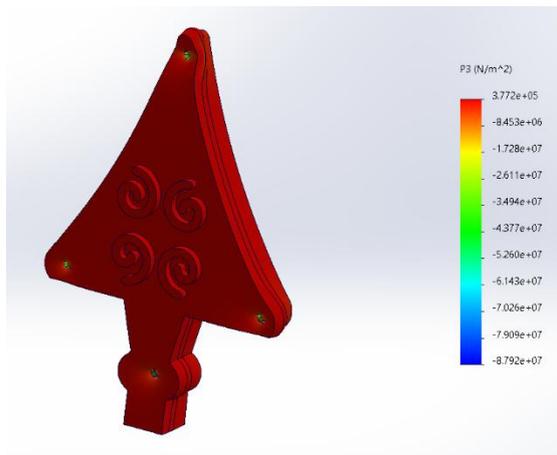


Gambar 4.39 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

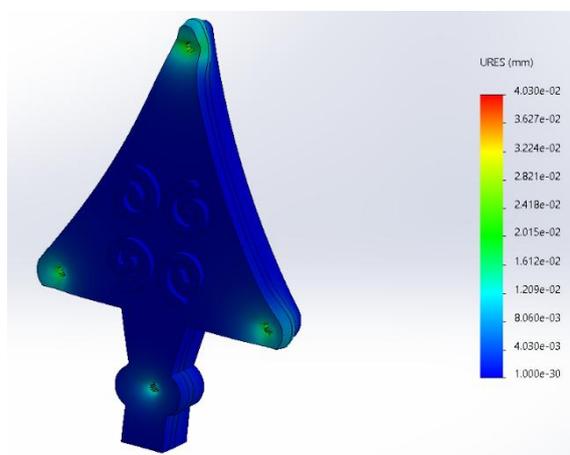
Pada Gambar 4.40 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 3, HDPE 2 mm, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.06 MPa. Pada Gambar 4.41 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 3, HDPE 2 mm, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.42 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.040 mm.



Gambar 4.40 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

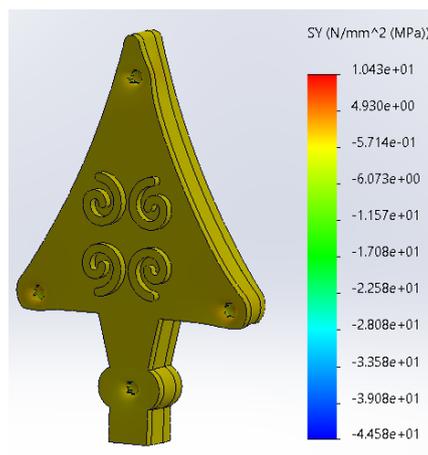


Gambar 4.41 3rd principal Desain Ornamen Pagar

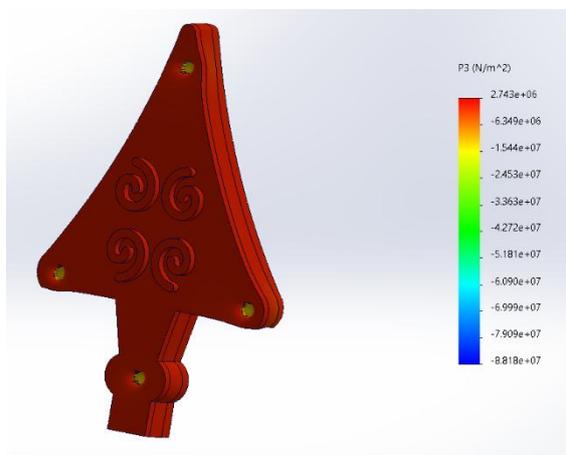


Gambar 4.42 Displacement Desain Ornamen Pagar

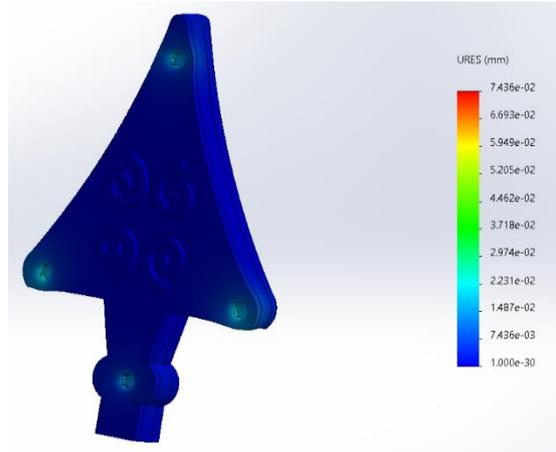
Pada Gambar 4.43 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 2 mm, PP 5 mm, dan PET 3 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 10.43 MPa. Pada Gambar 4.44 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 2 mm, PP 5 mm, dan PET 3 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.45 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.074 mm.



Gambar 4.43 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

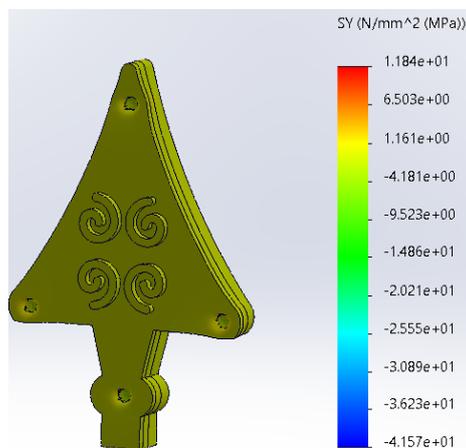


Gambar 4.44 3rd principal Desain Ornamen Pagar

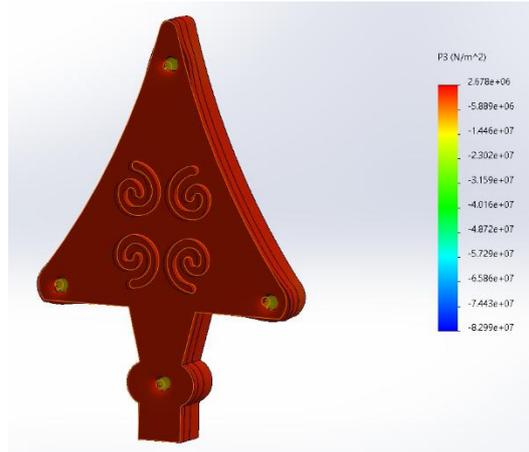


Gambar 4.45 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

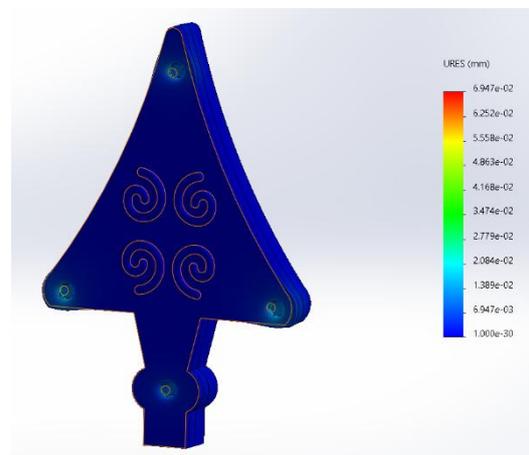
Pada Gambar 4.46 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 2 mm, PET 3, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.84 MPa. Pada Gambar 4.47 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 2 mm, PET 3, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm. Pada Gambar 4.48 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.069 mm.



Gambar 4.46 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



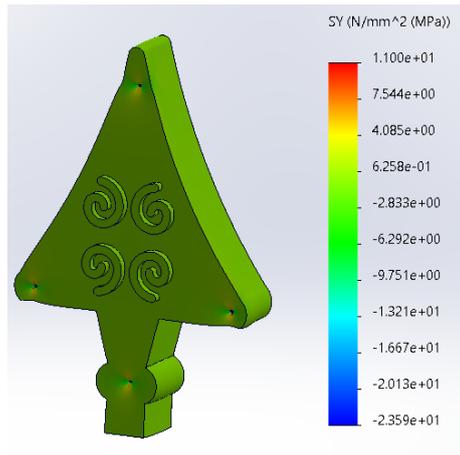
Gambar 4.47 *3rd principal* Desain Ornamen Pagar



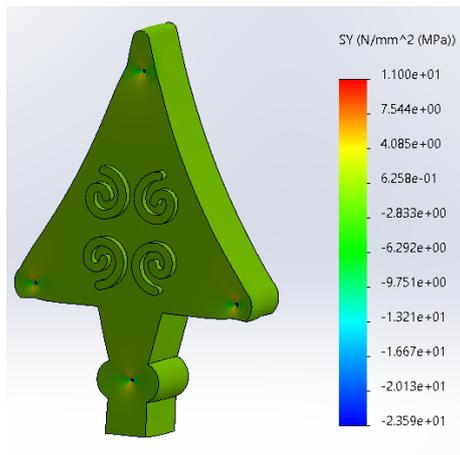
Gambar 4.48 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

4.1.3 Simulasi Ketebalan 15 mm

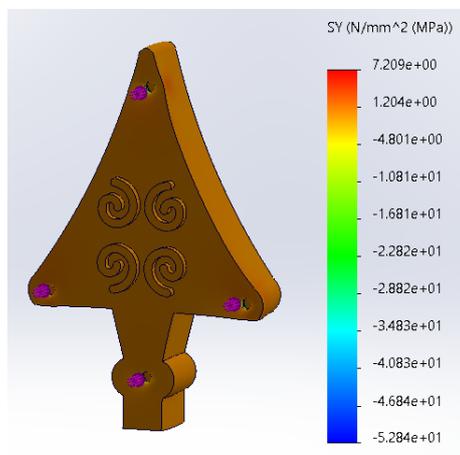
Sebelum dilakukan simulasi menggunakan material yang berbeda dilakukan pengujian dengan menggunakan material yang sama pada desain ornamen pagar berikut merupakan hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.49 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar 11.00 MPa. Pada Gambar 4.50 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PET sebesar 11.00 MPa. Pada Gambar 4.51 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material HDPE sebesar 7.209 MPa.



Gambar 4.49 Tegangan Maksimal Material PP

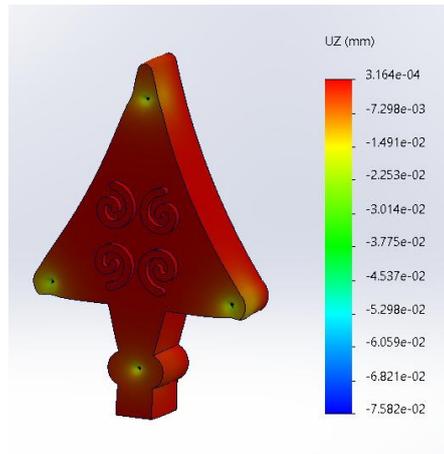


Gambar 4.50 Tegangan Maksimal Material PET

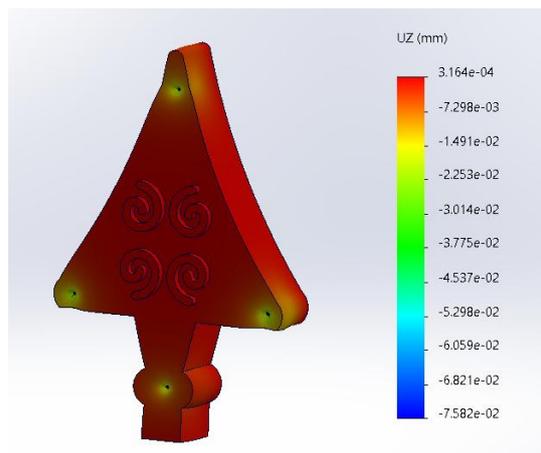


Gambar 4.51 Tegangan Maksimal Material HDPE

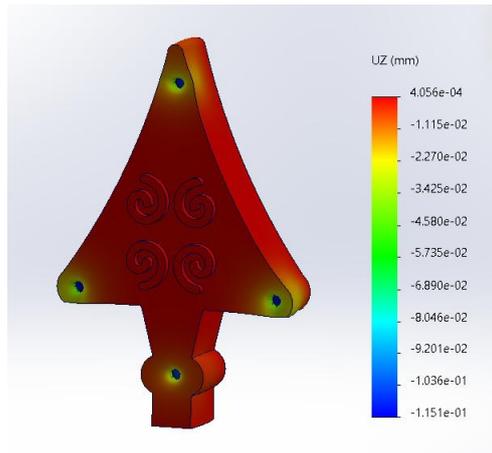
Berikut merupakan nilai *displacement* hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.52 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar 0.00032 mm. Pada Gambar 4.53 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PET sebesar 0.00032 mm. Pada Gambar 4.54 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material HDPE sebesar 0.00041 mm.



Gambar 4.52 *Displacement* Material PP

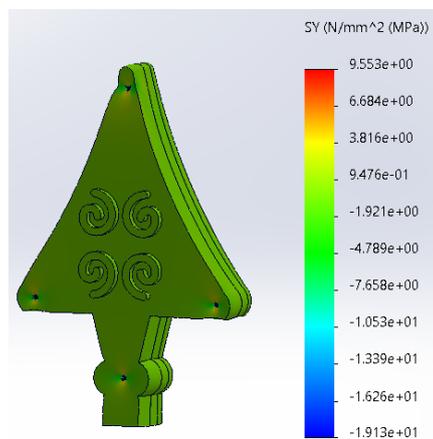


Gambar 4.53 *Displacement* Material PET

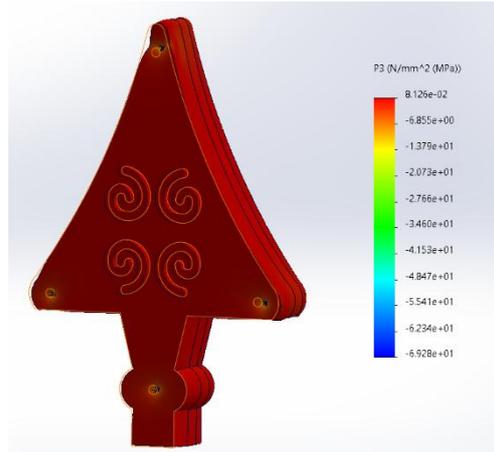


Gambar 4.54 *Displacement* Material HDPE

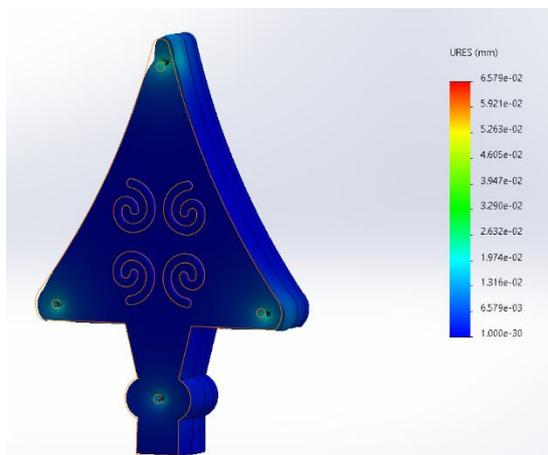
Pada Gambar 4.55 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 7,5 mm, PET 4,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 9.553 MPa. Pada Gambar 4.56 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 7,5 mm, PET 4,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.57 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.066 mm.



Gambar 4.55 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

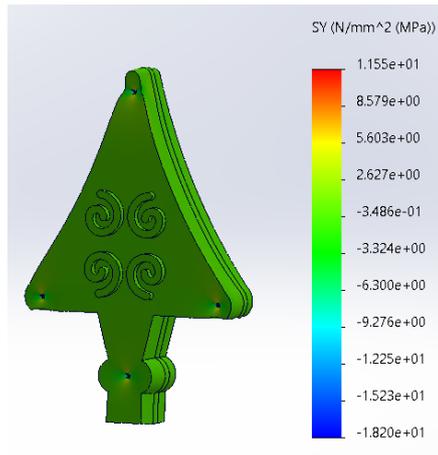


Gambar 4.56 *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

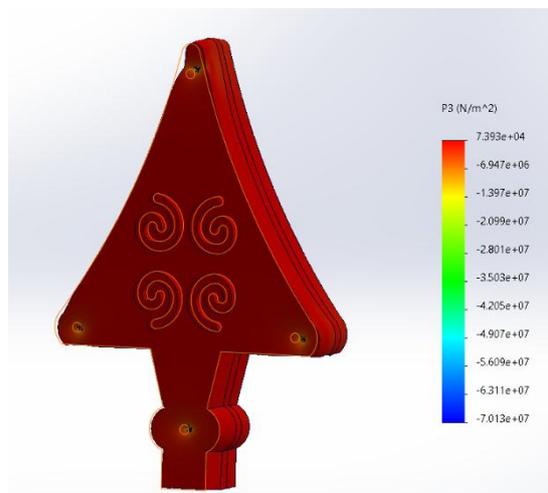


Gambar 4.57 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

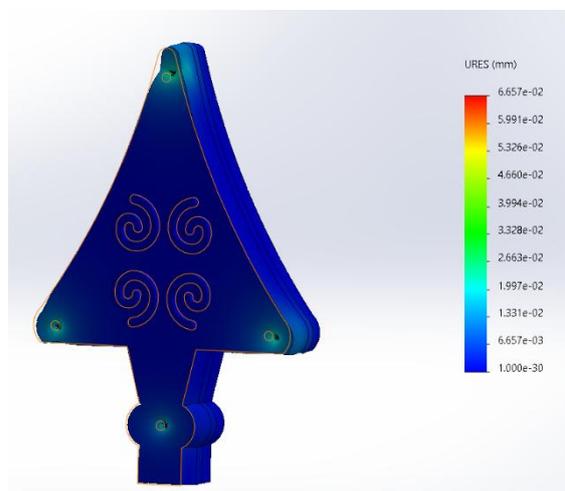
Pada Gambar 4.58 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 7,5 mm, HDPE 3 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.55 MPa. Pada Gambar 4.59 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 7,5 mm, HDPE 3 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.60 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.067 mm.



Gambar 4.58 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

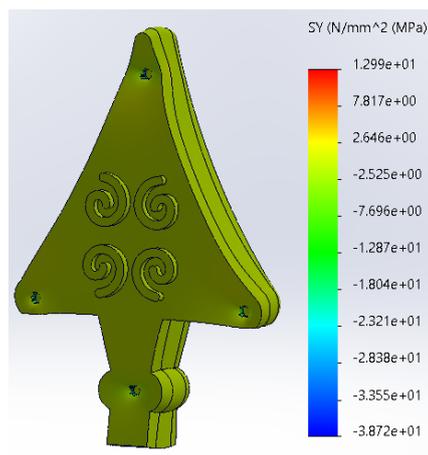


Gambar 4.59 3rd principal Desain Ornamen Pagar

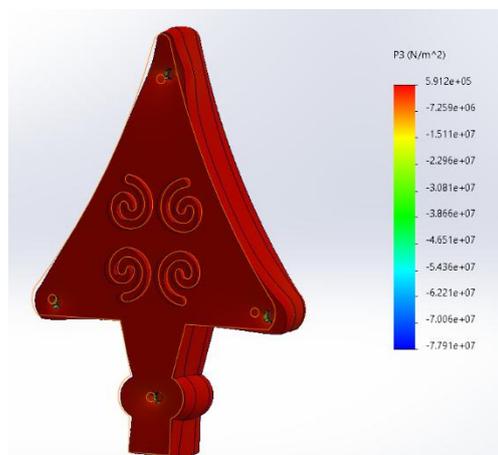


Gambar 4.60 Displacement Desain Ornamen Pagar

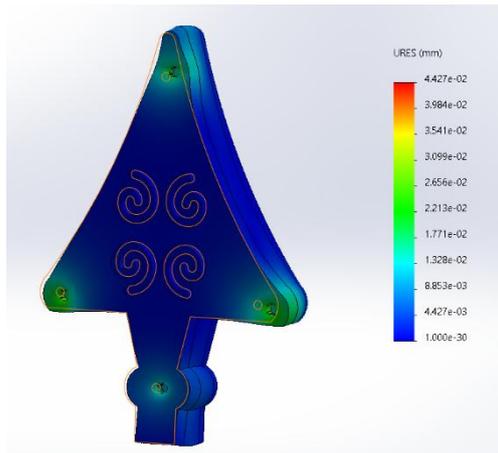
Pada Gambar 4.61 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 4,5 mm, PP 7,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 12.99 MPa. Pada Gambar 4.62 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 4,5 mm, PP 7,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.63 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.044 mm.



Gambar 4.61 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

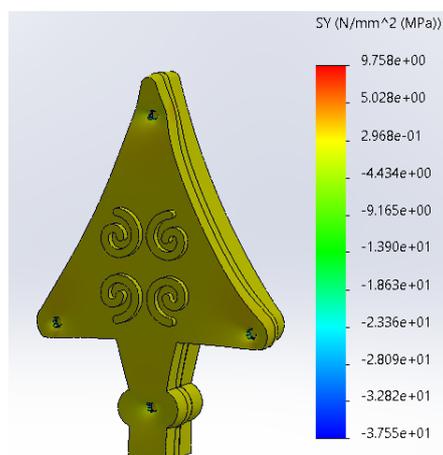


Gambar 4.62 3rd principal Desain Ornamen Pagar

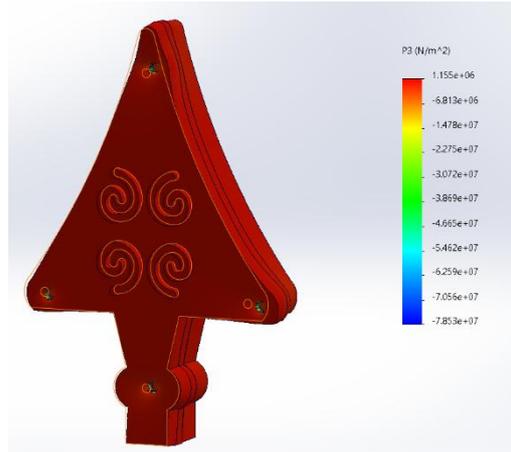


Gambar 4.63 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

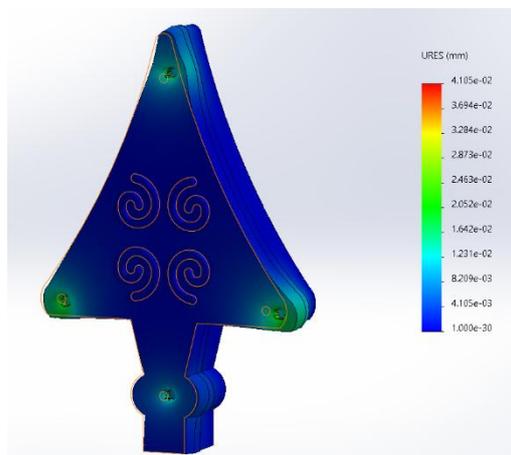
Pada Gambar 4.64 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 4,5 mm, HDPE 3 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 9.758 MPa. Pada Gambar 4.65 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 4,5 mm, HDPE 3 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.66 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.041 mm.



Gambar 4.64 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

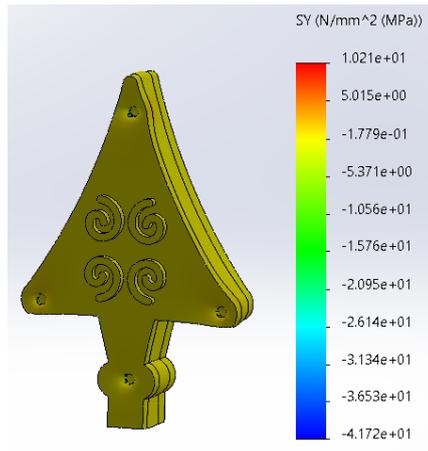


Gambar 4.65 *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

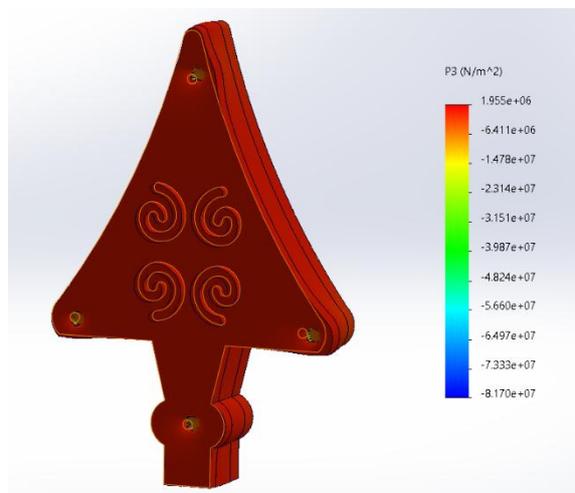


Gambar 4.66 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

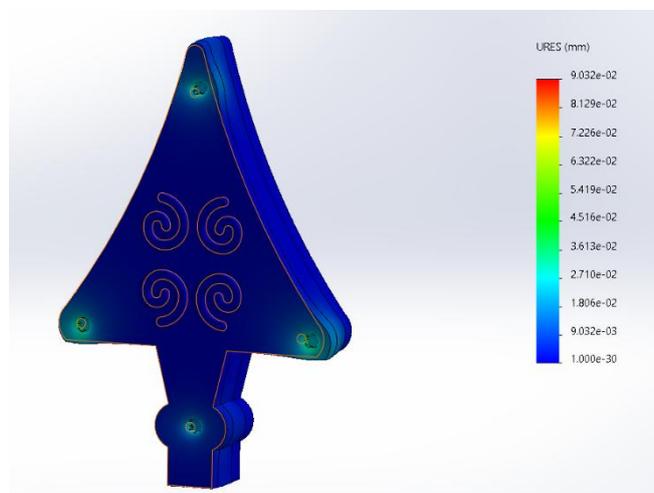
Pada Gambar 4.67 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 3 mm, PP 7,5 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 10.21 MPa. Pada Gambar 4.59 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 3 mm, PP 7,5 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.60 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.09 mm.



Gambar 4.67 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar

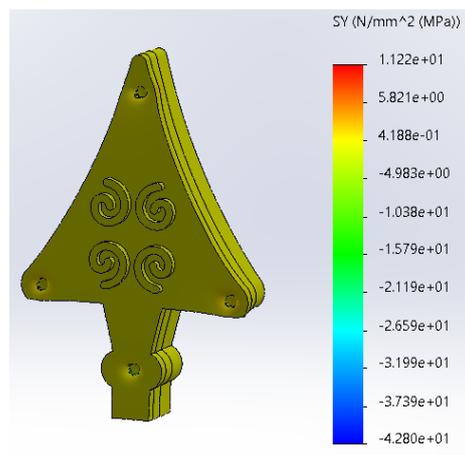


Gambar 4.68 3rd principal Desain Ornamen Pagar

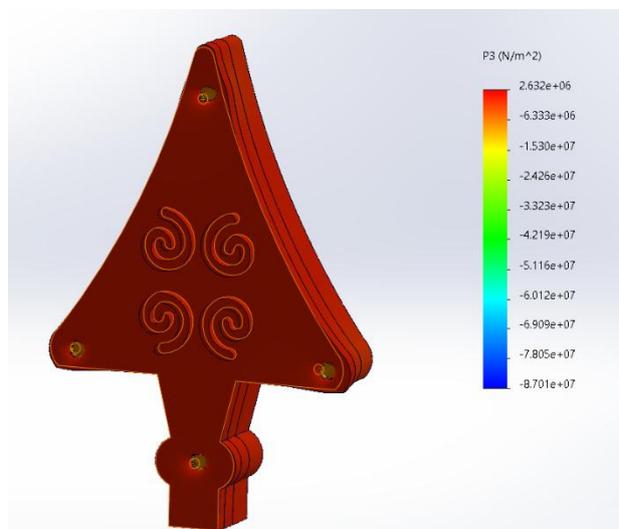


Gambar 4.69 Displacement Desain Ornamen Pagar

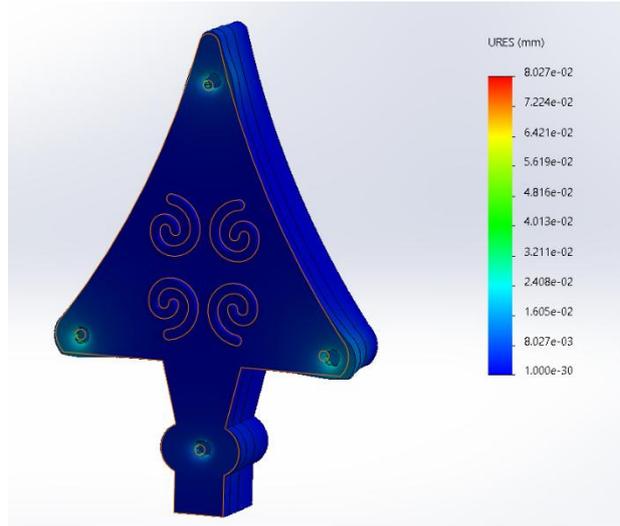
Pada Gambar 4.70 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 3 mm, PET 4,5 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.22 MPa. Pada Gambar 4.71 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 3 mm, PET 4,5 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm. Pada Gambar 4.72 menunjukkan *displacement* yang dihasilkan pada desain ornamen pagar dengan nilai maksimal yang didapat sebesar 0.08 mm.



Gambar 4.70 Tegangan Maksimal Desain Ornamen Pagar



Gambar 4.71 3rd principal Desain Ornamen Pagar



Gambar 4.72 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

4.2 Pembahasan Simulasi

Untuk mempermudah pemahaman terhadap simulasi data pada setiap material dengan ketentuan tebal yang sudah dipilih maka dibuat tabel dibawah.

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

No.	Ketebalan (mm)	Material	Tegangan Maksimal (Mpa)	<i>Displacement</i> (mm)
1	5	PP	14.05	0.00067
2	5	PET	8.436	0.00014
3	5	HDPE	6.184	0.00046
4	10	PP	10.98	0.00055
5	10	PET	6.360	0.00011
6	10	HDPE	7.193	0.00039
7	15	PP	11.00	0.00032
8	15	PET	11.00	0.00032
9	15	HDPE	7.209	0.00041

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 maksimum (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	12.21	0.054
		PET	2	1.5		
		HDPE	3	1		
2	5	PP	1	2.5	11.28	0.055
		PET	3	1.5		
		HDPE	2	1		
3	5	PP	3	2.5	13.74	0.038
		PET	1	1.5		
		HDPE	2	1		
4	5	PP	2	2.5	13.65	0.038
		PET	1	1.5		
		HDPE	3	1		
5	5	PP	2	2.5	10.67	0.072
		PET	3	1.5		
		HDPE	1	1		
6	5	PP	3	2.5	11.93	0.062
		PET	2	1.5		
		HDPE	1	1		
7	10	PP	1	5	15.23	0.071
		PET	2	3		
		HDPE	3	2		
8	10	PP	1	5	12.74	0.073
		PET	3	3		
		HDPE	2	2		

9	10	PP	2	5	10.60	0.038
		PET	1	3		
		HDPE	3	2		
10	10	PP	3	5	11.06	0.040
		PET	1	3		
		HDPE	2	2		
11	10	PP	2	5	10.43	0.074
		PET	3	3		
		HDPE	1	2		
12	10	PP	3	5	11.84	0.069
		PET	2	3		
		HDPE	1	2		
13	15	PP	1	7.5	9.553	0.066
		PET	2	4.5		
		HDPE	3	3		
14	15	PP	1	7.5	11.55	0.067
		PET	3	4.5		
		HDPE	2	3		
15	15	PP	2	7.5	12.99	0.044
		PET	1	4.5		
		HDPE	3	3		
16	15	PP	3	7.5	9.758	0.041
		PET	1	4.5		
		HDPE	2	3		
17	15	PP	2	7.5	10.21	0.090
		PET	3	4.5		
		HDPE	1	3		
18	15	PP	3	7.5	11.22	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 maksimal diantara 10.67 MPa pada nomor 5 hingga yang terbesar 13.74 MPa pada nomor 3 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 maksimal saja maka komposisi material terbaik yang digunakan pada No. 3 dengan komposisi material PP di layer 3, PET di layer 1, dan HDPE di layer 2. Sedangkan pada analisis *displacement* komposisi terbaik yang dihasilkan pada simulasi berada pada nomor 3 dengan nilai tegangan maskimal sebesar 13.74 dan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm.

Pada produk ornamen pagar dengan ketebalan 10 mm dihasilkan nilai tegangan sebesar 10.43 MPa pada nomor 9 hingga yang terbesar 15.23 MPa pada nomor 7, dan nilai *displacement* sebesar 0.038 mm pada nomor 10, hingga 0.074 mm pada komposisi nomor 15. Hasil terbaik dengan mempertimbangkan kedua hasil variabel yakni tegangan dan *displacement* berada pada komposisi material nomor 7 dengan komposisi material PP di layer 1, PET di layer 2 dan HDPE di layer 3, dengan nilai tegangan sebesar 15.23 MPa dan nilai *displacement* sebesar 0.071 mm.

Pada produk ornamen pagar dengan tebal 15 mm dihasilkan nilai tegangan sebesar 9.553 MPa pada komposisi nomor 13, hingga 12.99 MPa pada komposisi nomor 15. Sedangkan nilai *displacement* sebesar 0.041 mm pada komposisi nomor 16, hingga 0.090 mm pada komposisi nomor 15. Hasil terbaik ketika mempertimbangkan kedua hasil variabel yakni tegangan dan *displacement* berada pada komposisi material nomor 15 dengan komposisi material PP di layer 2, PET di layer 1 dan HDPE di layer 3, dengan nilai tegangan sebesar 12.99 MPa dan nilai *displacement* sebesar 0.044 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 inersia, nilai tegangan (*stress*), dan defleksi (*displacement*). Langkah pertama menghitung nilai 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 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 ¼ ellips yang akan dicari menggunakan persamaan 4.2 diatas dan bagian total berbentuk persegi panjang yang akan dicari nilai inersianya menggunakan persamaan 4.1 diatas.

Setelah itu dilakukan perhitungan pada bagian bawah, pada bagian ini dibagi menjadi 4 bagian, bagian 1 merupakan bagian yang akan dicari nilai 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:

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

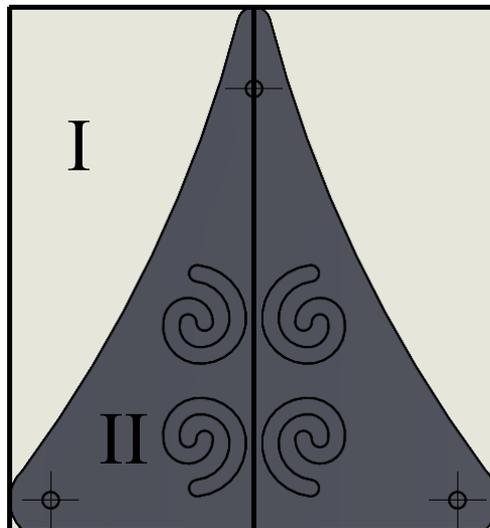
$$I = \frac{bh^3}{36} \dots\dots\dots (4.4)$$

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

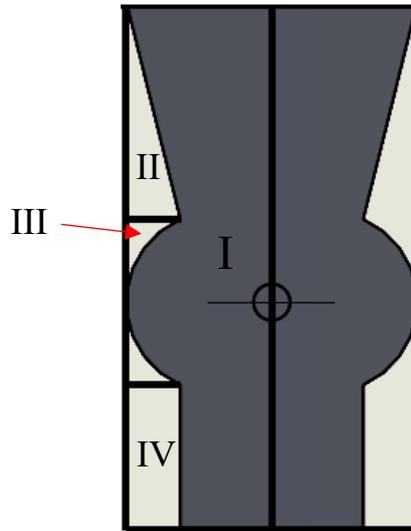
Berikut merupakan hasil perhitungan mencari nilai inersia pada produk ornamen pagar:

Tabel 4.2 Perhitungan Inersia

Bagian	Perhitungan	Inersia (mm ⁴)
Atas		
	Bagian I	3.28×10^5
	Seluruh bagian	6.45×10^5
	Total bagian atas	6.34×10^5
Bawah		
	Bagian II	1.42×10^2
	Bagian III	0.57×10^2
	Bagian IV	1.23×10^2
	Persegi total	1.64×10^4
	Perhitungan total bagian bawah	3.21×10^4
Total Inersia		6.66×10^5



Gambar 4.73 Bagian Atas Ornamen Pagar



Gambar 4.74 Bagian Bawah Ornamen Pagar

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

Tabel 4.3 Perhitungan Luas Penampang

Bagian	Bentuk	Luas Area (mm ²)
Atas		
	Bagian I	1.49×10^3
	Seluruh bagian	1.90×10^3
	Total bagian atas	0.82×10^3
Bawah		
	Bagian II	0.017×10^3
	Bagian III	0.017×10^3
	Bagian IV	0.023×10^3
	Persegi total	0.23×10^3
	Perhitungan total bagian bawah	0.34×10^3
Luas luas penampang		1.162×10^3

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:

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

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

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 maksimal, perpanjangan maksimal, 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 4.75 Sampel Uji Tarik Sebelum Diuji

Gambar 4.75 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 4.4 Hasil Pengujian A

A		
Display Name	Value	Unit
AWidth (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	

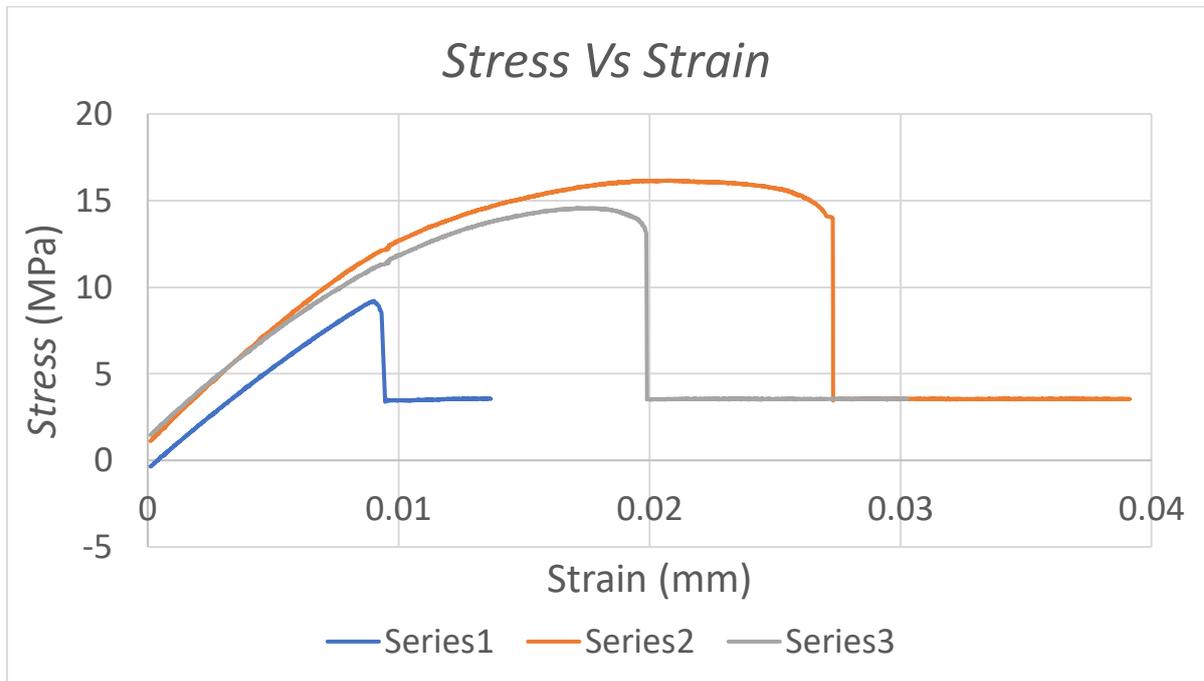
Tabel 4.5 Hasil Pengujian B

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 4.6 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	



Gambar 4.76 Grafik *Stress Vs Strain*



Gambar 4.77 Sampel Uji Tarik Sesudah Diuji

Berdasarkan hasil pengujian spesimen ornamen pagar diatas menghasilkan nilai tegangan yang berbeda beda, pada spesimen A menghasilkan tegangan maksimal sebesar 9.215 MPa, pada spesimen B sebesar 16.171 MPa, sedangkan pada spesimen C sebesar 14.527 MPa. Pada spesimen B menghasilkan tegangan maksimal tertinggi, hal ini menunjukkan

kapasitas maksimal material dalam menahan beban sebelum mengalami kerusakan.

Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi

Sampel	Tegangan Maksimum (Mpa)	Sampel Simulasi	Ketebalan (mm)	Tegangan Maksimum (MPa)
A	9.215	1	5	12.35
B	16.171	2	10	12.38
C	14.572	3	15	11.06

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan hasil pengujian B adalah yang terbaik untuk dilakukan perbandingan dengan hasil simulasi, pada hasil ekperimen didapatkan nilai tegangan sebesar 14.572 MPa, pada hasil simulasi yang terbaik didapatkan nilai tegangan sebesar 12.38 MPa, dengan nilai *displacement* sebesar 0.071 mm. Perbandingan antara hasil ekperimen dengan hasil pengujian jelas sangat berbeda hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor yang menjadi penyebab nilai tegangan dapat terpaut jauh. Pertama pada sampel ekperimen 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, 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 maksimal diantara 10.67 MPa hingga 13.74 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 10.43 MPa, hingga yang terbesar 15.23 MPa, dan nilai displacement sebesar 0.038 mm, hingga 0.074 mm. Pada produk ornamen pagar dengan tebal 15 mm dihasilkan nilai tegangan sebesar, 9.553 MPa, hingga 12.99 MPa, dan nilai displacement sebesar 0.041 mm, hingga 0.090 mm. Untuk susunan layer terbaik pada ketebalan 5 mm terdapat pada sampel nomor 3 dengan komposisi material PP di layer 3, PET di layer 1 dan HDPE di layer 2 dengan nilai tegangan maksimum 13.74 MPa, dan nilai displacement 0.038 mm. Untuk susunan layer terbaik pada ketebalan 10 mm terdapat pada sampel nomor 7 dengan komposisi material PP di layer 1, PET di layer 2 dan HDPE di layer 3 dengan nilai tegangan maksimum 15.23 MPa, dan nilai displacement 0.071 mm. Untuk susunan layer terbaik pada ketebalan 15 mm terdapat pada sampel nomor 15 dengan komposisi material PP di layer 2, PET di layer 1 dan HDPE di layer 3 dengan nilai tegangan maksimum 12.99 MPa, dan nilai displacement 0.044 mm. Diantara ketiga variasi ketebalan yakni 5 mm, 10 mm, dan 15 mm, yang terbaik adalah ketebalan 10 mm dengan nilai tegangan maksimum sebesar 15.23 MPa dan nilai displacement 0.071 mm.

2. Pada hasil ekperimen didapatkan nilai tegangan sebesar 16.17 MPa, pada hasil simulasi dengan nilai gaya sebesar 160 N yang terbaik didapatkan nilai tegangan sebesar 12.38 MPa, dengan nilai *displacement* sebesar 0.071 mm. Pada saat dilakukan uji tarik dengan nilai gaya 160 N, dihasilkan nilai tegangan maksimum sebesar 14 MPa dan nilai *displacement* sebesar 0.071 mm. Perbandingan antara hasil ekperimen dengan hasil pengujian jelas sangat berbeda hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor yang menjadi penyebab nilai tegangan pada produk ornamen pagar berbeda. Pertama karena campuran dari bahan baku yang berbeda pada produk ekperimen 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. Memodifikasi desain ornamen pagar dengan menghilangkan garis lengkung dengan garis lurus. Mengganti cara pemasangan pada ornamen pagar seperti menggunakan ulir pada bagian bawah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. W. A. E. S. W. A. Arieyanti 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 penyunt., 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. Guttierrez, *Powder Injection Molding of Metal and Ceramic Parts*, 67 penyunt., vol. 1, Slovenia: University of Ljubljana,, 2012, p. 67.
- [8] K. S. Ir. Sularso, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, 11 penyunt., Jakarta: PT. Pradnya Pramita, 2004.
- [9] P. P. H. A. H. Joni Arif, “Analisis Static Pada Aluminium 5052 dengan Variasi Sudut Menggunakan Solidworks,” *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 38-50, 2023.

- [10] W. Deglas, "Pengaruh Jenis Plastik PolyEthylene (PE), PolyPropylene (PP), High Density PolyEthylene (HDPE), dan Overheated PolyPropylene (OPP) Terhadap Kualitas Buah Pisang Mas," *AGROFOOD Jurnal Pertanian dan Pangan*, vol. 5, no. 1, pp. 33-42, 2023.

LAMPIRAN

Lampiran L.1 Mencari gaya yang digunakan pada uji *Static*

$$m = 0.4 \text{ Kg}$$

$$v = 20 \text{ m/s}$$

$$s = 0.5$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} \times 0.4 \times 20^2 = 80 \text{ J}$$

$$F = \frac{W}{s}$$

$$F = \frac{80}{0.5} = 160 \text{ N}$$

Lampiran L.2 Mencari nilai inersia pada produk ornamen pagar

- 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

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

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

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

- 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 inersia total ornamen pagar

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

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

Lampiran L.3 Mencari luas penampang

- 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

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

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

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

- Perhitungan luas I

$$L_I = L_{\text{tot}} - L_{II}$$

$$L_I = 1896.89 - 1489.06$$

$$L_I = 407.83 \times 2$$

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

Berikut merupakan perhitungan pada bagian bawah dari produk ornamen pagar:

- Perhitungan segitiga siku-siku

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

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

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

- Perhitungan segiempat dengan setengah lingkaran didalam

$$L_2 = (P \times L) - \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \right)$$

$$L_2 = (9.13 \times 2.96) - \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 5^2 \right)$$

$$L_2 = 27.02 - 9.81$$

$$L_2 = 17.21 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan persegi panjang

$$L_3 = (P \times L)$$

$$L_3 = 7.94 \times 2.96$$

$$L_3 = 23.5 \text{ mm}^2$$

- 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
 $L_a = L_{total} - L_1 - L_2 - L_3$
 $L_a = 231.87 - 17.76 - 17.21 - 23.5$
 $L_a = 173.4 \text{ mm}^2$
 $L_a = 173.4 \times 2$
 $L_a = 346.8 \text{ mm}^2$
- Perhitungan luas total
 $L_{total} = 815.66 + 346.84$
 $L_{total} = 1162.5 \text{ mm}^2$

Tabel L.1 Hasil Simulasi Sumbu X

No	Ketebalan (mm)	Material	Posisi Layer	Komposisi Material (mm)	Tegangan maksimal (MPa)	<i>Displacement</i> (mm)
1	5	PP	1	2.5	6.801	0.054
		PET	2	1.5		
		HDPE	3	1		
2	5	PP	1	2.5	7.107	0.055
		PET	3	1.5		
		HDPE	2	1		
3	5	PP	3	2.5	12.35	0.038
		PET	1	1.5		
		HDPE	2	1		
4	5	PP	2	2.5	8.302	0.038
		PET	1	1.5		
		HDPE	3	1		
5	5	PP	2	2.5	11.89	0.072
		PET	3	1.5		
		HDPE	1	1		
6	5	PP	3	2.5	10.30	0.062
		PET	2	1.5		

		HDPE	1	1		
7	10	PP	1	5	12.38	0.071
		PET	2	3		
		HDPE	3	2		
8	10	PP	1	5	6.91	0.073
		PET	3	3		
		HDPE	2	2		
9	10	PP	2	5	9.194	0.038
		PET	1	3		
		HDPE	3	2		
10	10	PP	3	5	11.79	0.040
		PET	1	3		
		HDPE	2	2		
11	10	PP	2	5	10.71	0.074
		PET	3	3		
		HDPE	1	2		
12	10	PP	3	5	8.764	0.069
		PET	2	3		
		HDPE	1	2		
13	15	PP	1	7.5	8.660	0.066
		PET	2	4.5		
		HDPE	3	3		
14	15	PP	1	7.5	7.189	0.067
		PET	3	4.5		
		HDPE	2	3		
15	15	PP	2	7.5	8.340	0.044
		PET	1	4.5		
		HDPE	3	3		
16	15	PP	3	7.5	11.06	0.041
		PET	1	4.5		
		HDPE	2	3		

17	15	PP	2	7.5	9.765	0.090
		PET	3	4.5		
		HDPE	1	3		
18	15	PP	3	7.5	9.783	0.080
		PET	2	4.5		
		HDPE	1	3		