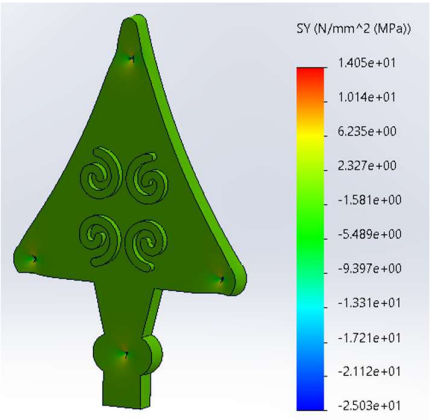
BAB IV
DATA DAN ANALISA

4.1 Hasil Simulasi Pada Ornamen Pagar

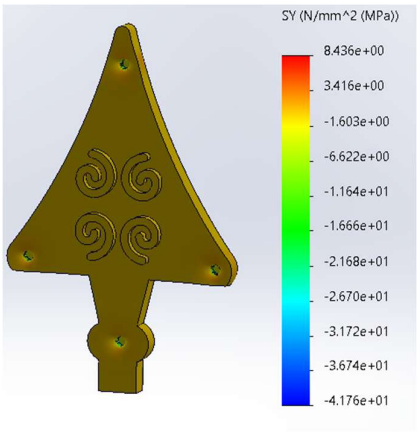
Simulasi yang dilakukan pada produk ornamen pagar dilakukan dengan variasi komposisi PP sebanyak 50%, PET 30%, HDPE 20%, dan variasi ketebalan 5 mm, 10 mm, 15 mm. Berikut hasil simulasi yang sudah dilakukan.

4.1.1 Simulasi Ketebalan 5 mm

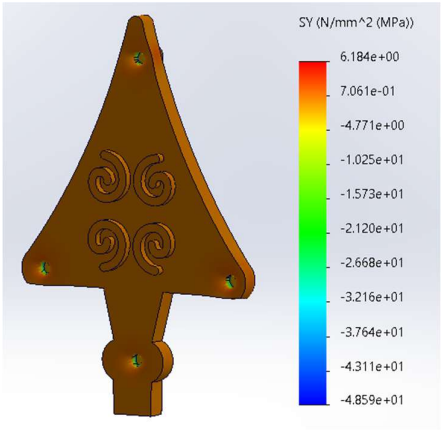
Sebelum dilakukan simulasi menggunakan material yang berbeda dilakukan pengujian dengan menggunakan material yang sama pada desain ornamen pagar berikut merupakan nilai tegangan maksimum hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.1 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan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

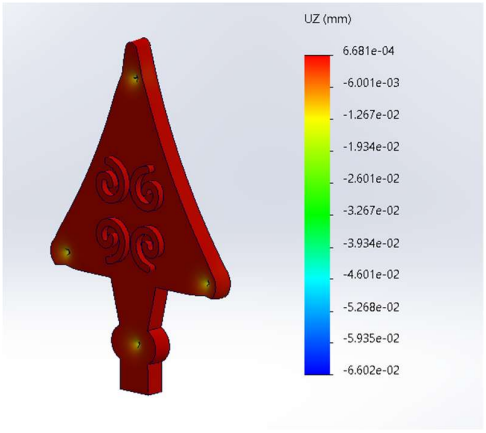


Gambar 4.2 Tegangan Maksimal Material PET

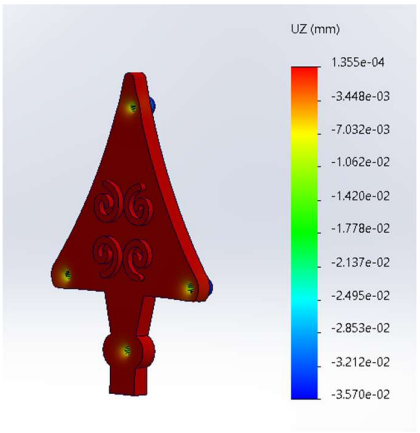


Gambar 4.3 Tegangan Maksimal Material HDPE

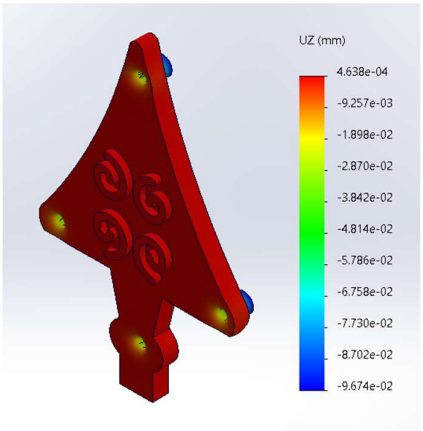
Berikut merupakan nilai *displacement* hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.4 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar 0.00067 mm. Pada Gambar 4.5 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PET sebesar 0.00014 mm. Pada Gambar 4.6 menunjukkan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



Gambar 4.4 *Displacement* Material PP

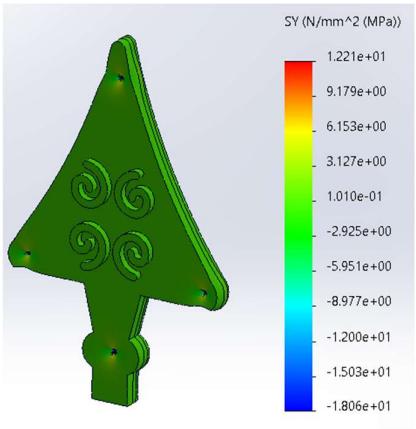


Gambar 4.5 *Displacement* Material PET

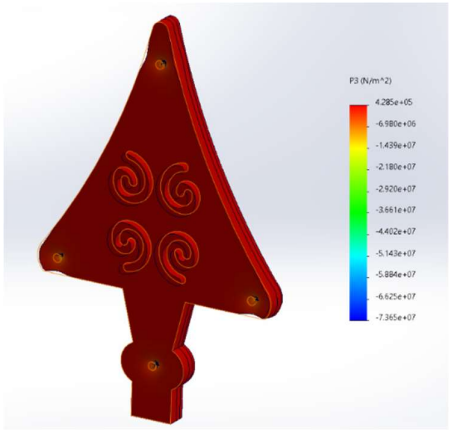


Gambar 4.6 *Displacement* Material HDPE

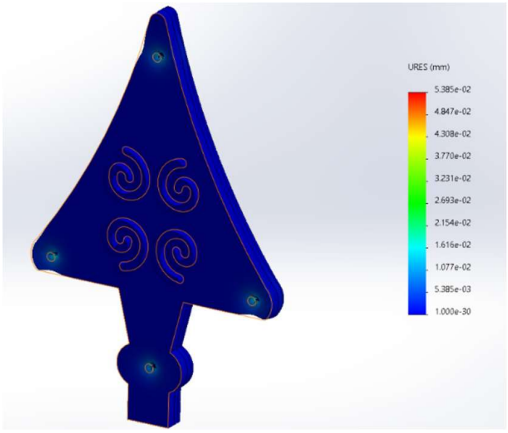
Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, PET 1,5 mm , dan HDPE 1 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 12.21 MPa. Pada Gambar 4.8, menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material 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

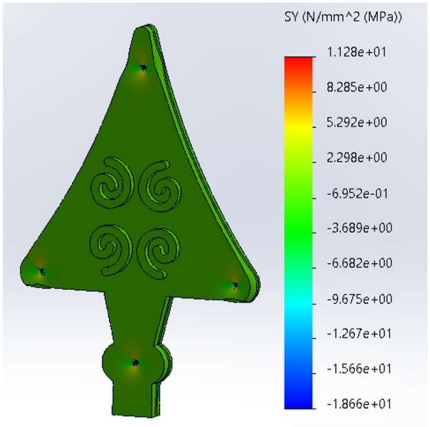


Gambar 4.8 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

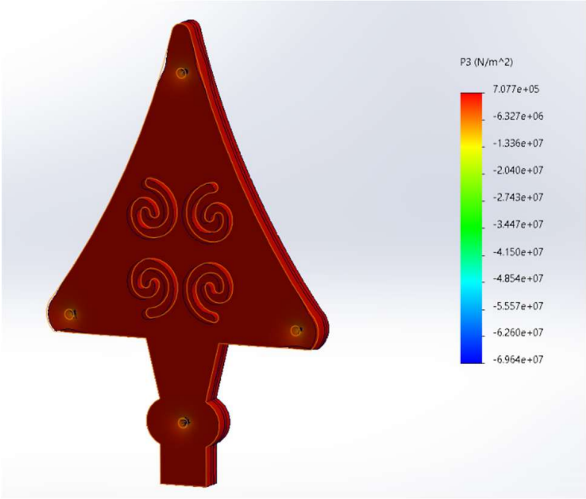


Gambar 4.9 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

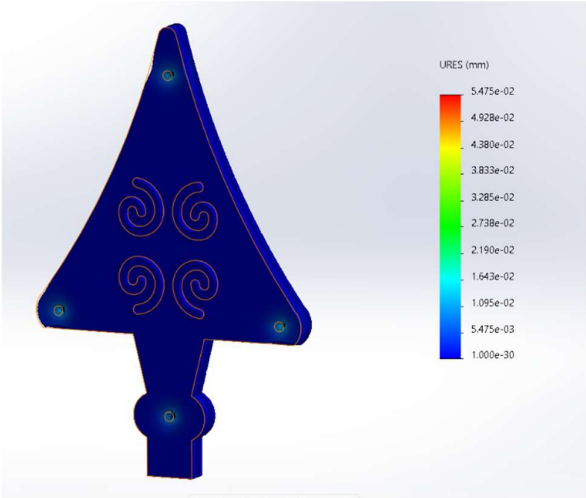
Pada Gambar 4.10 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP sebanyak 2,5 mm, HDPE 1 mm, dan PET 1,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.28 MPa. Pada Gambar 4.11, menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi 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

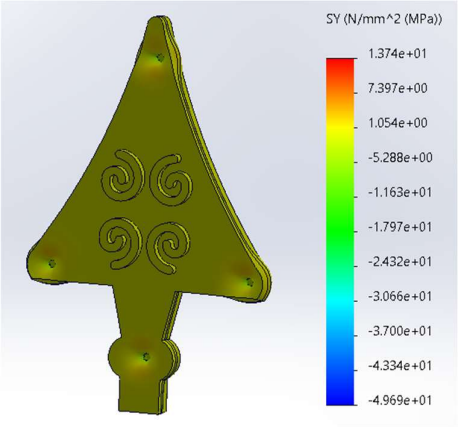


Gambar 4.11 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

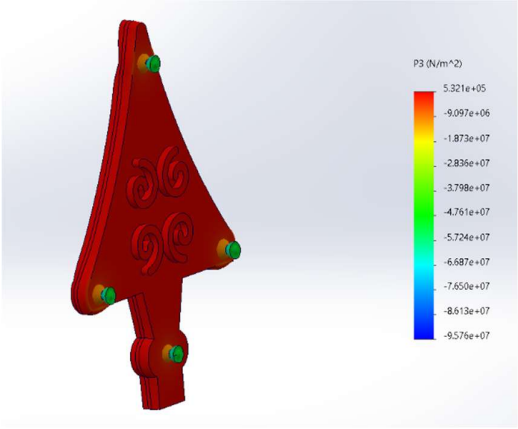


Gambar 4.12 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

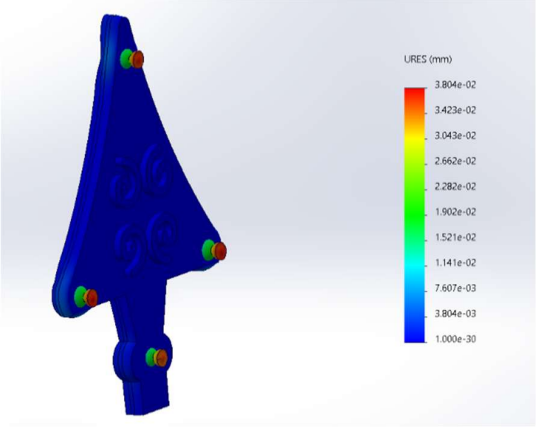
Pada Gambar 4.13 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 1,5 mm, HDPE 1 mm, dan PP 2,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 13.74 MPa. Pada Gambar 4.14, menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material 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

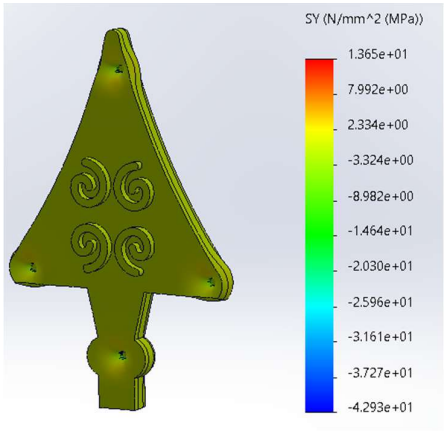


Gambar 4.14 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

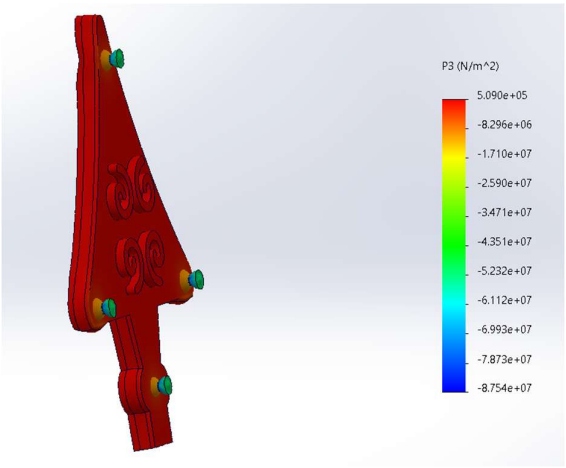


Gambar 4.15 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

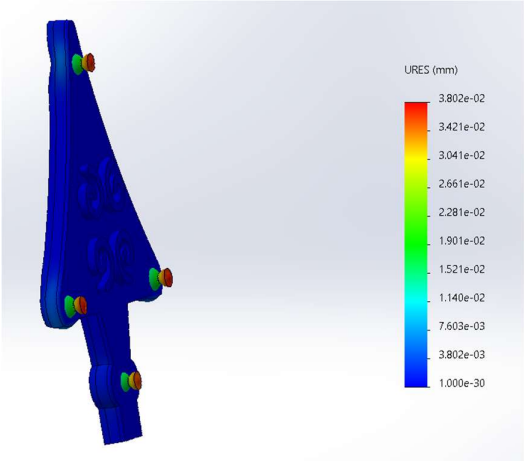
Pada Gambar 4.16 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 1,5 mm, PP 2,5 mm, dan HDPE 1 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 13.65 MPa. Pada Gambar 4.17 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 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

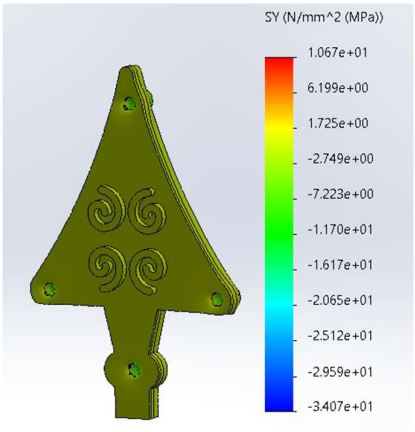


Gambar 4.17 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

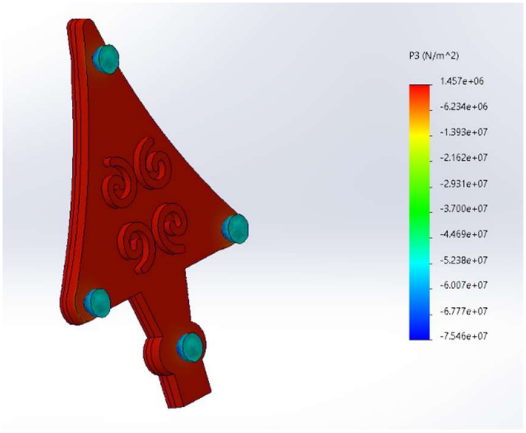


Gambar 4.18 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

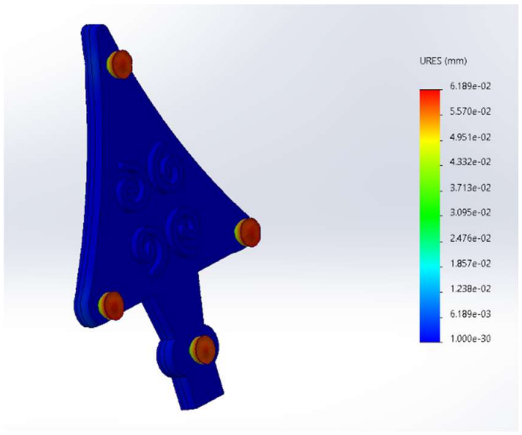
Pada Gambar 4.19 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 1 mm, PET 1,5 mm, dan PP 2,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 10.67 MPa. Pada Gambar 4.20 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 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

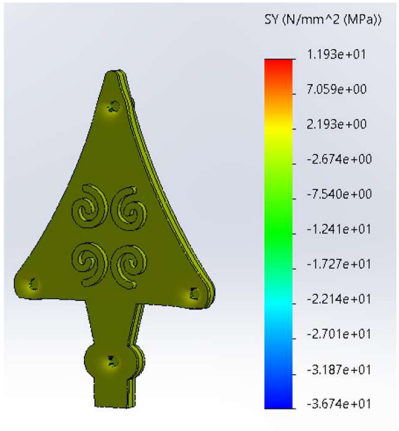


Gambar 4.20 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar

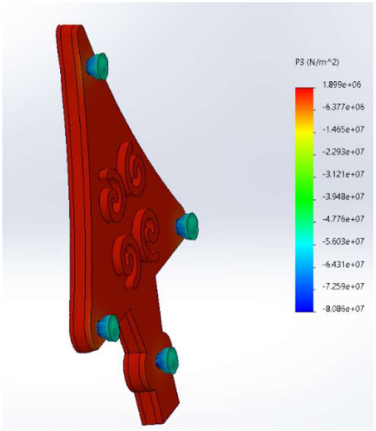


Gambar 4.21 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

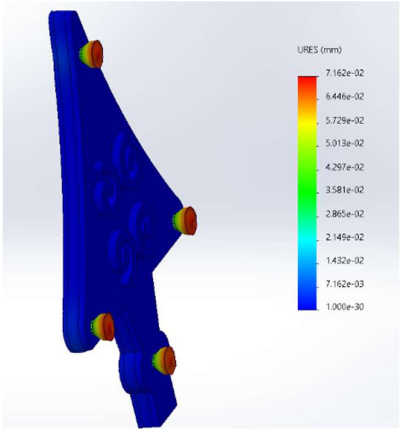
Pada Gambar 4.22 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 1 mm, PP 2,5 mm dan PET 1,5 mm, dengan ketebalan 5 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.93 MPa. Pada Gambar 4.23 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 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



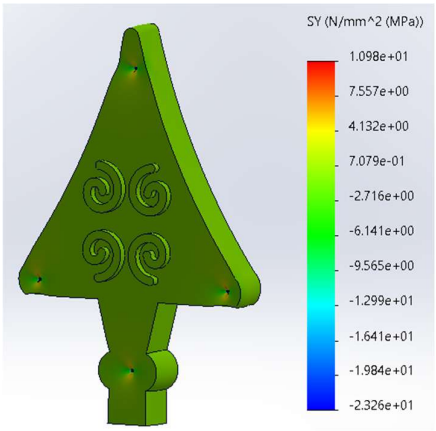
Gambar 4.23 3rd *principal* Desain Ornamen Pagar



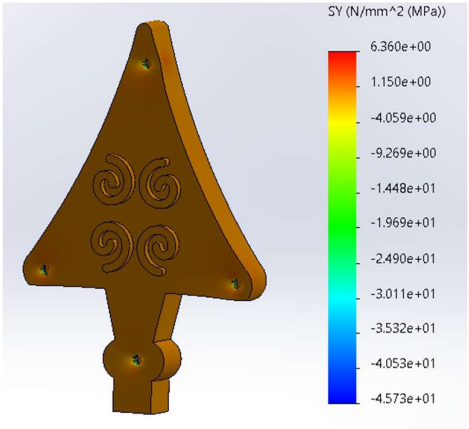
Gambar 4.24 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

4.1.2 Simulasi Ketebalan 10 mm

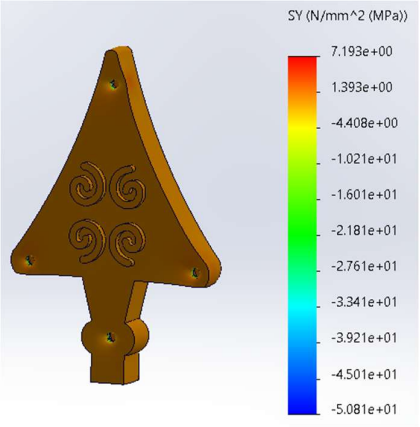
Sebelum dilakukan simulasi menggunakan material yang berbeda dilakukan pengujian dengan menggunakan material yang sama pada desain ornamen pagar berikut merupakan hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.25 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar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

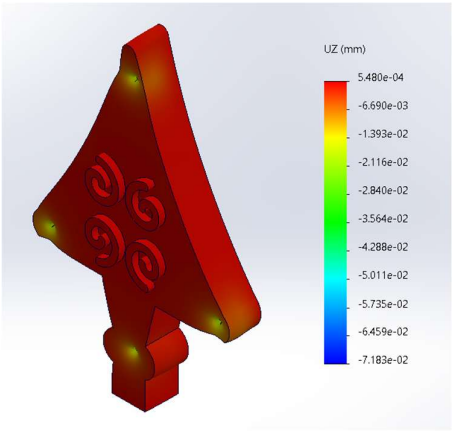


Gambar 4.26 Tegangan Maksimal Material PET

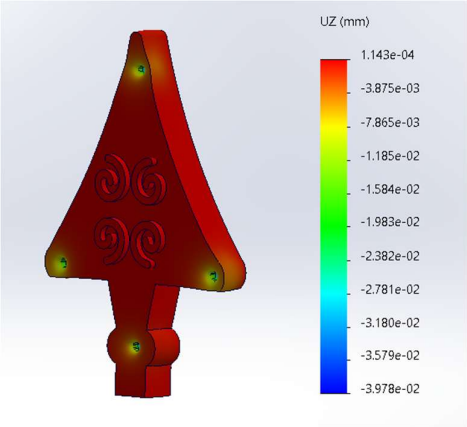


Gambar 4.27 Tegangan Maksimal Material HDPE

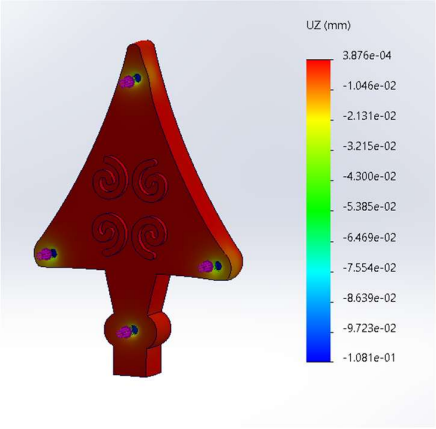
Berikut merupakan nilai *displacement* hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.28 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar 0.00055 mm. Pada Gambar 4.29 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PET sebesar 0.00011 mm. Pada Gambar 4.30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



Gambar 4.28 *Displacement* Material PP

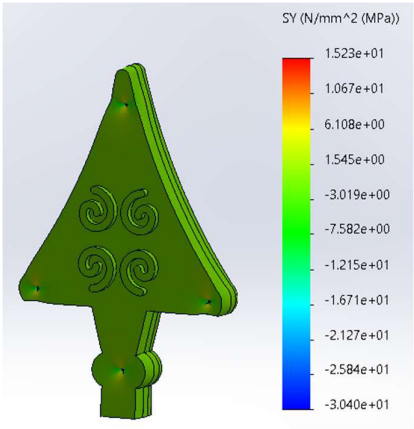


Gambar 4.29 *Displacement* Material PET

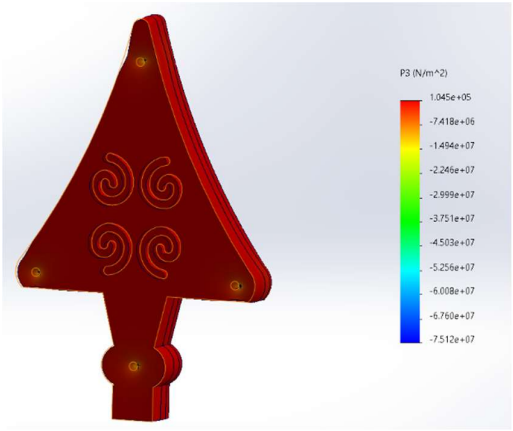


Gambar 4.30 *Displacement* Material HDPE

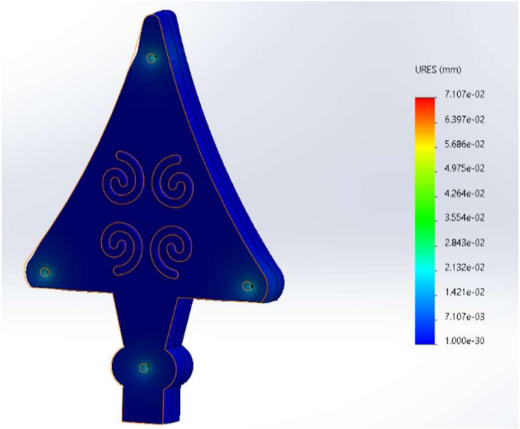
Pada Gambar 4.31 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 5 mm, PET 3 mm, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 15.23 MPa. Pada Gambar 4.32 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 5 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

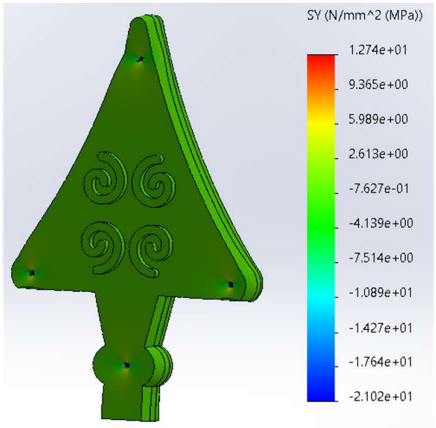


Gambar 4.32 *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

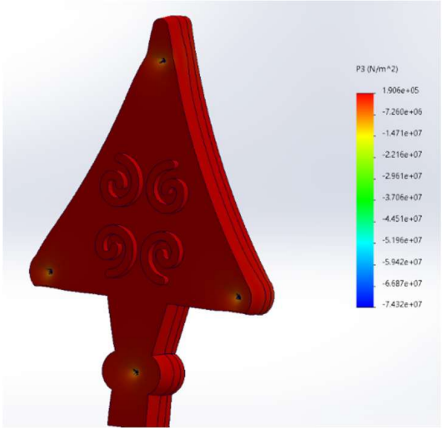


Gambar 4.33 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

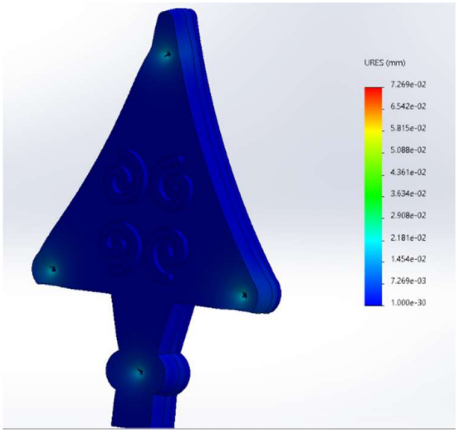
Pada Gambar 4.34 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 5 mm, HDPE 2 mm, dan PET 3 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 12.74 MPa. Pada Gambar 4.35 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PP 5 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

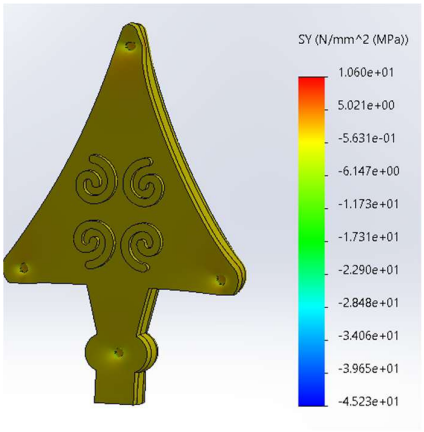


Gambar 4.35 3*rd principal* Desain Ornamen Pagar

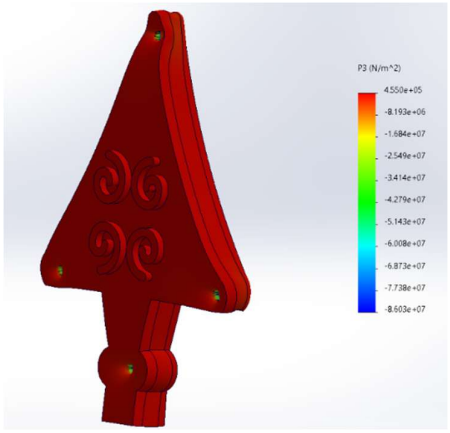


Gambar 4.36 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

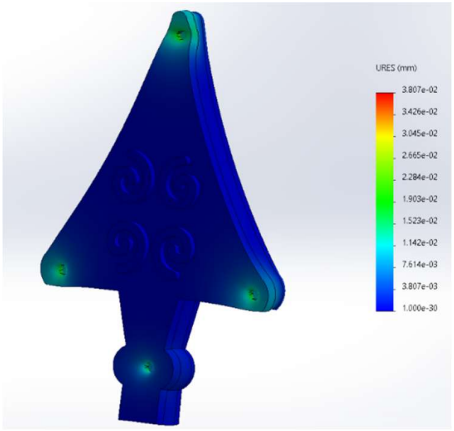
Pada Gambar 4.37 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 3 mm, PP 5 mm, dan HDPE 2 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 10.60 MPa. Pada Gambar 4.38 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 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

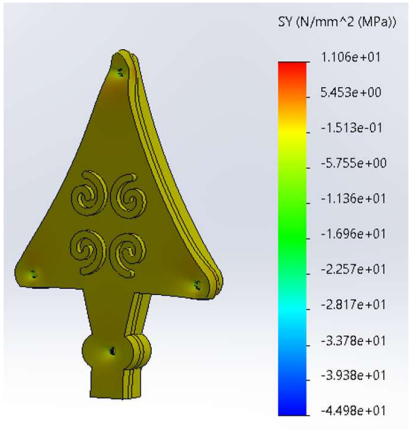


Gambar 4.38 *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

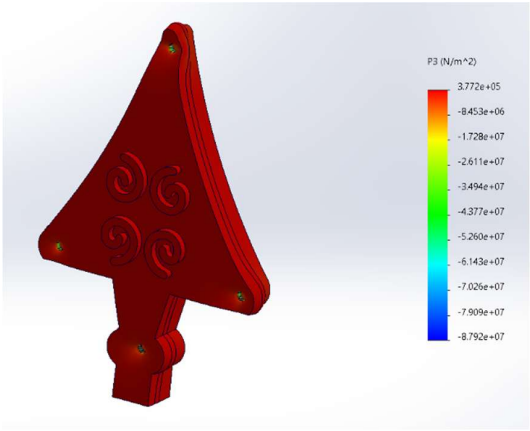


Gambar 4.39 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

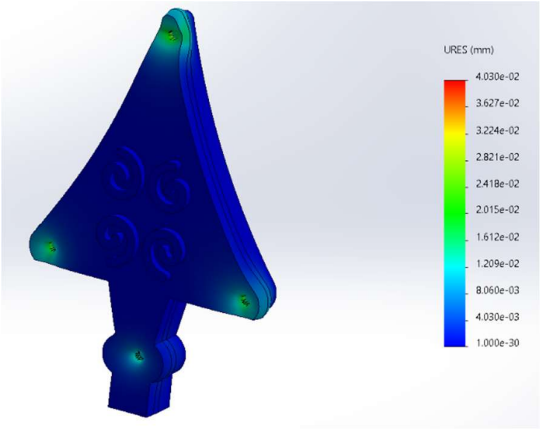
Pada Gambar 4.40 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 3, HDPE 2 mm, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.06 MPa. Pada Gambar 4.41 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material PET 3, 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

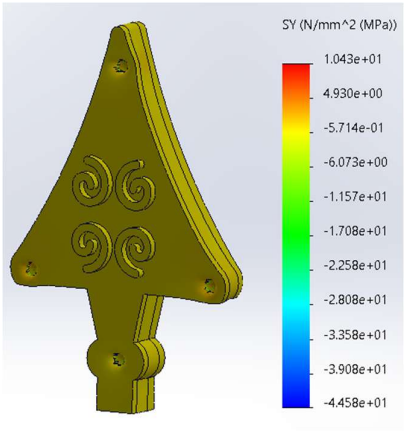


Gambar 4.41 *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

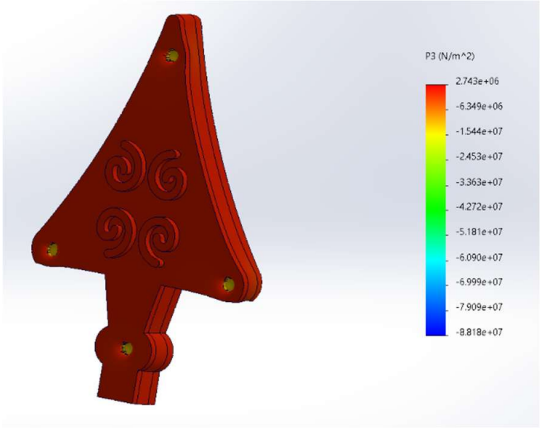


Gambar 4.42 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

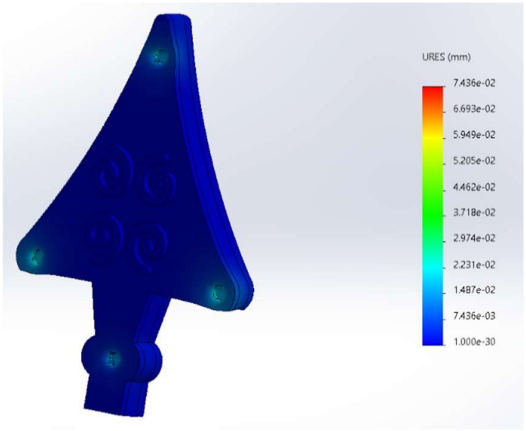
Pada Gambar 4.43 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 2 mm, PP 5 mm, dan PET 3 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 10.43 MPa. Pada Gambar 4.44 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 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

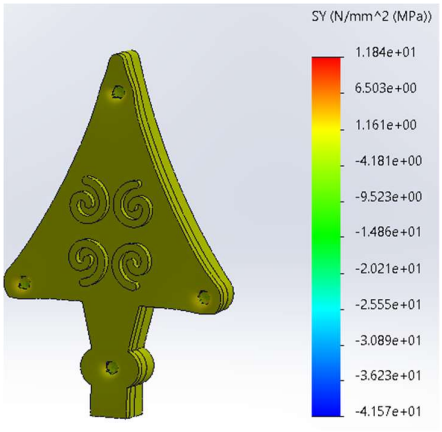


Gambar 4.44 3*rd principal* Desain Ornamen Pagar

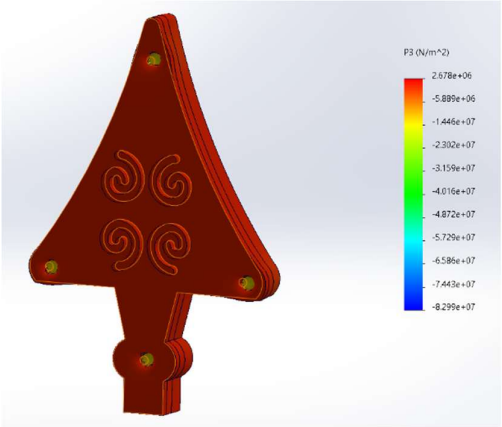


Gambar 4.45 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

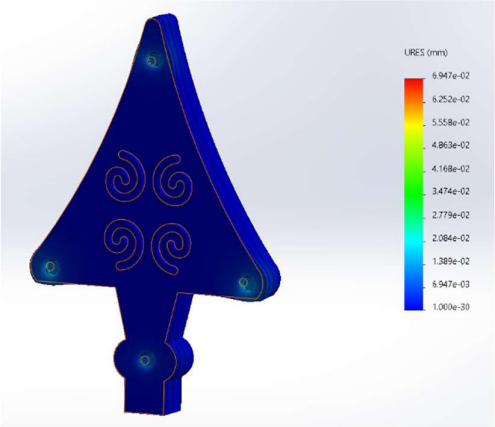
Pada Gambar 4.46 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 2 mm, PET 3, dan PP 5 mm, dengan ketebalan 10 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.84 MPa. Pada Gambar 4.47 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material HDPE 2 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



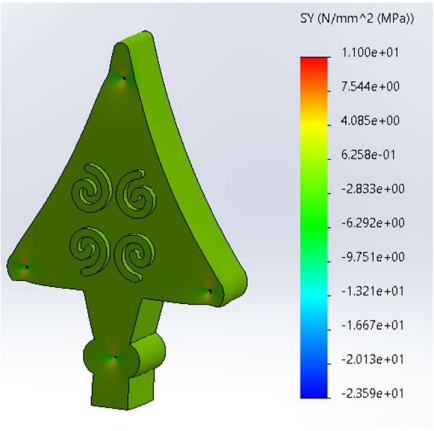
Gambar 4.47 *3rd principal* Desain Ornamen Pagar



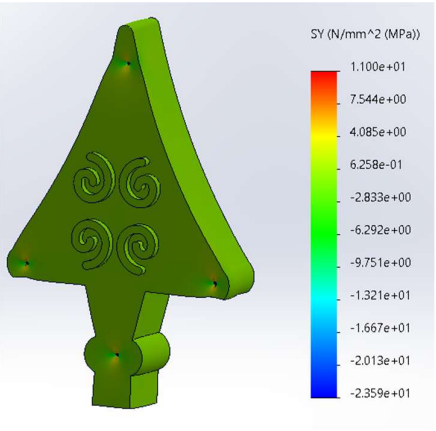
Gambar 4.48 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

4.1.3 Simulasi Ketebalan 15 mm

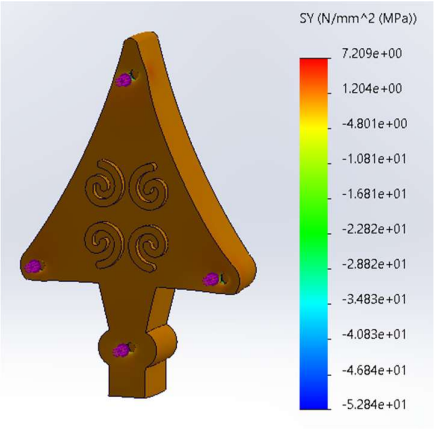
Sebelum dilakukan simulasi menggunakan material yang berbeda dilakukan pengujian dengan menggunakan material yang sama pada desain ornamen pagar berikut merupakan hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.49 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar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

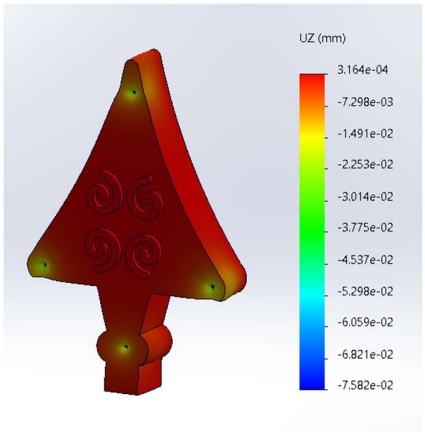


Gambar 4.50 Tegangan Maksimal Material PET

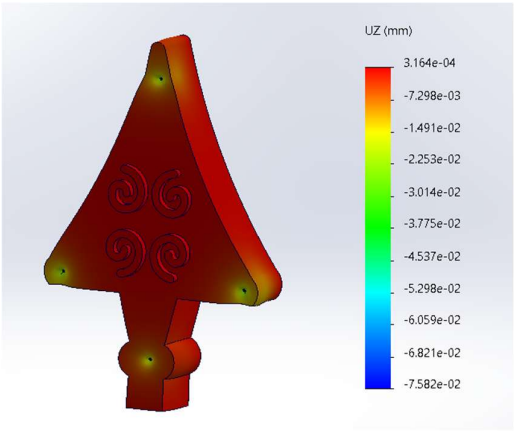


Gambar 4.51 Tegangan Maksimal Material HDPE

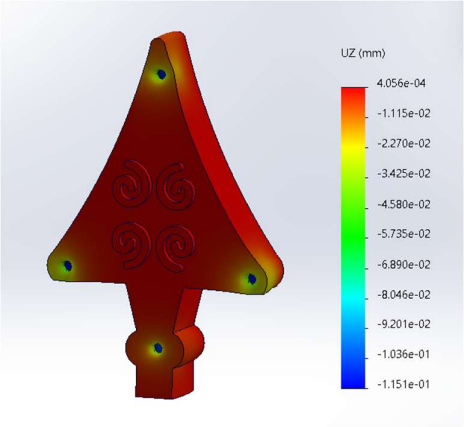
Berikut merupakan nilai *displacement* hasil simulasi menggunakan material PP, PET, dan HDPE. Pada Gambar 4.52 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PP sebesar 0.00032 mm. Pada Gambar 4.53 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan material PET sebesar 0.00032 mm. Pada Gambar 4.54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



Gambar 4.52 *Displacement* Material PP

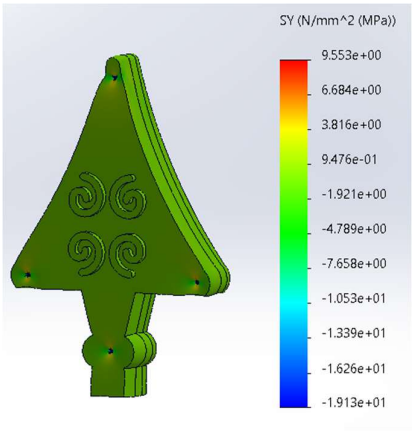


Gambar 4.53 *Displacement* Material PET

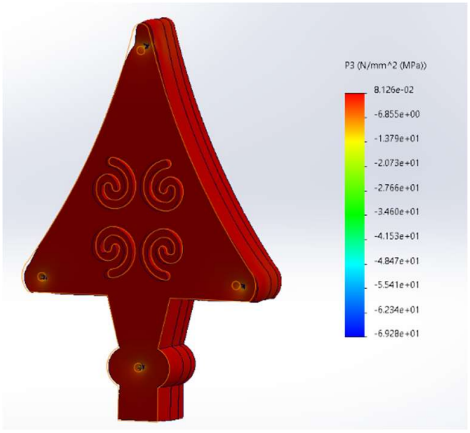


Gambar 4.54 *Displacement* Material HDPE

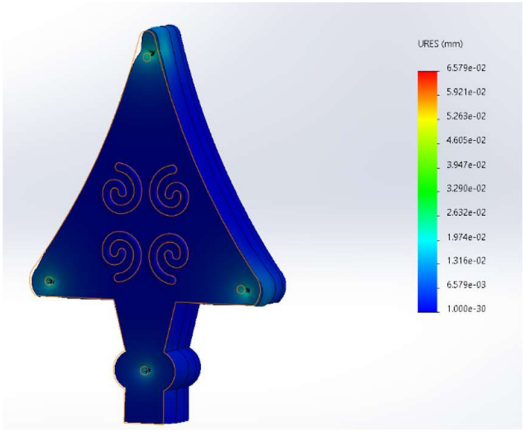
Pada Gambar 4.55 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 7,5 mm, PET 4,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 9.553 MPa. Pada Gambar 4.56 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material 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

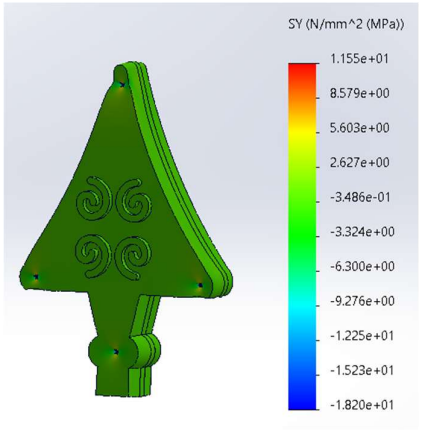


Gambar 4.56 3*rd principal* Desain Ornamen Pagar

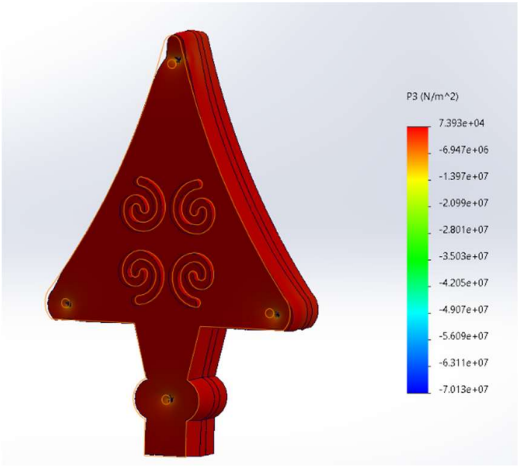


Gambar 4.57 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

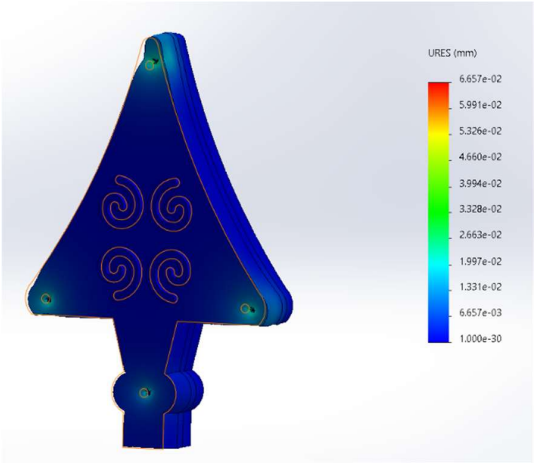
Pada Gambar 4.58 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PP 7,5 mm, HDPE 3 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.55 MPa. Pada Gambar 4.59 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material 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

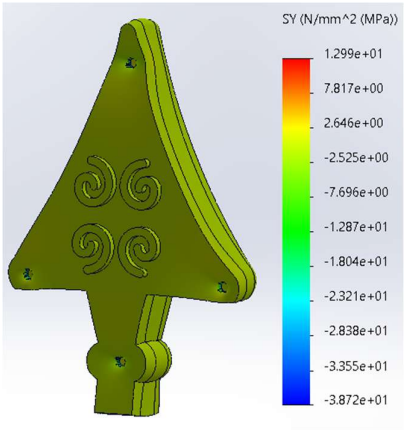


Gambar 4.59 *3rd principal* Desain Ornamen Pagar

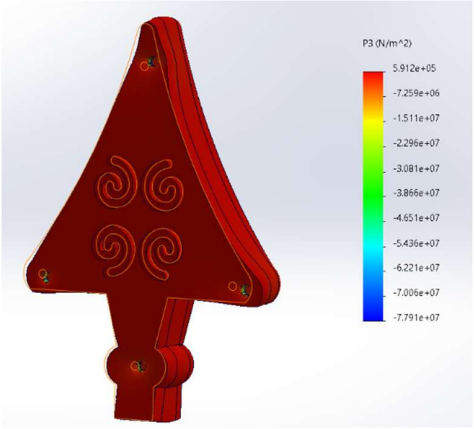


Gambar 4.60 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

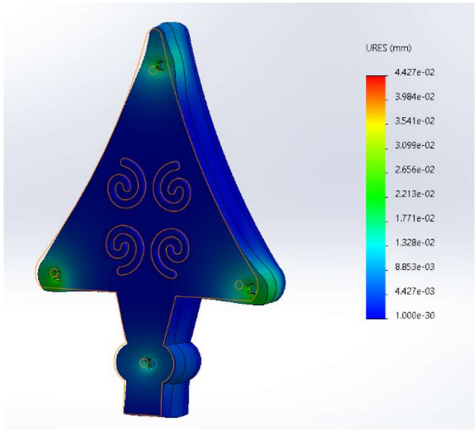
Pada Gambar 4.61 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 4,5 mm, PP 7,5 mm, dan HDPE 3 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 12.99 MPa. Pada Gambar 4.62 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material 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

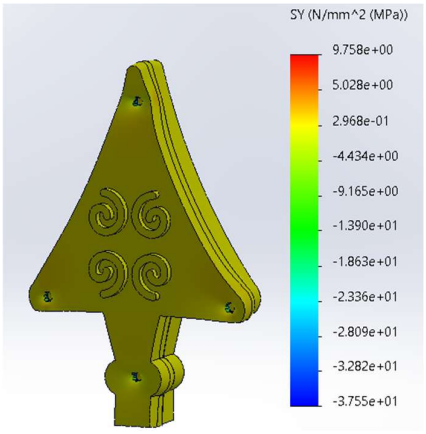


Gambar 4.62 3*rd principal* Desain Ornamen Pagar

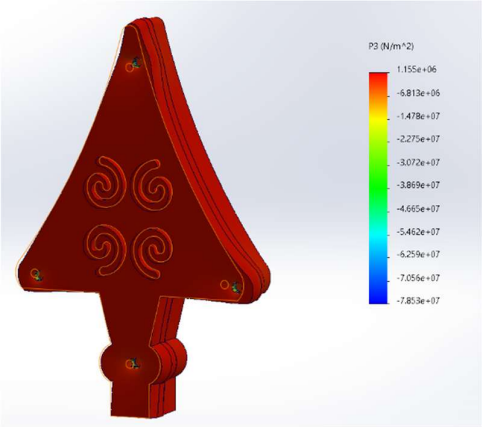


Gambar 4.63 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

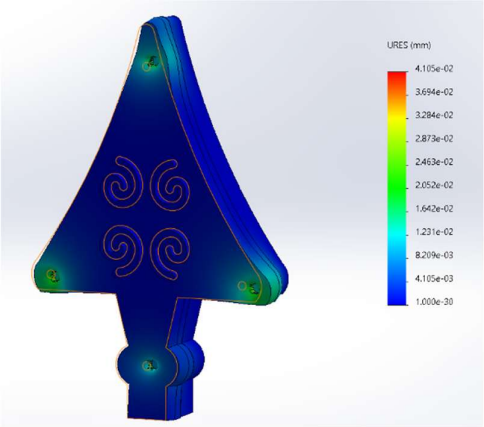
Pada Gambar 4.64 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material PET 4,5 mm, HDPE 3 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 9.758 MPa. Pada Gambar 4.65 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material 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

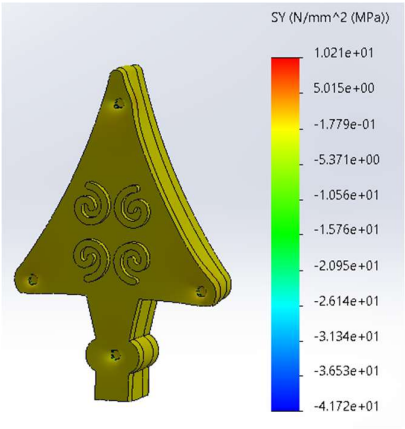


Gambar 4.65 3*rd principal* Desain Ornamen Pagar

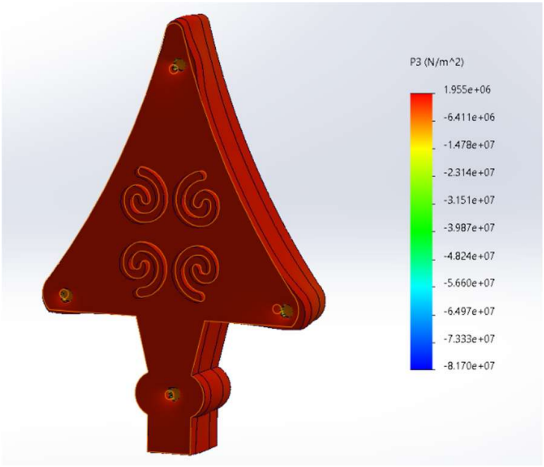


Gambar 4.66 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

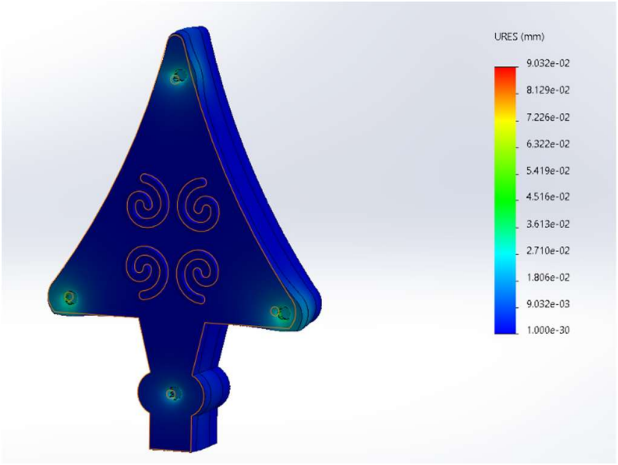
Pada Gambar 4.67 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 3 mm, PP 7,5 mm, dan PET 4,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 10.21 MPa. Pada Gambar 4.59 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material 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

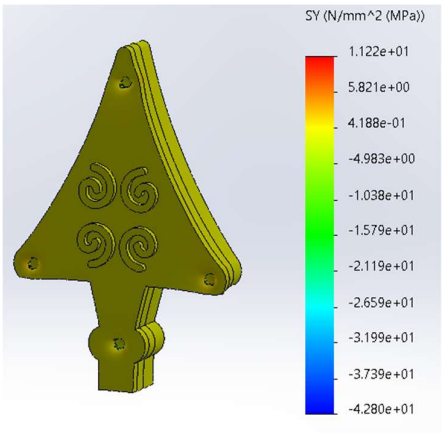


Gambar 4.68 3*rd principal* Desain Ornamen Pagar

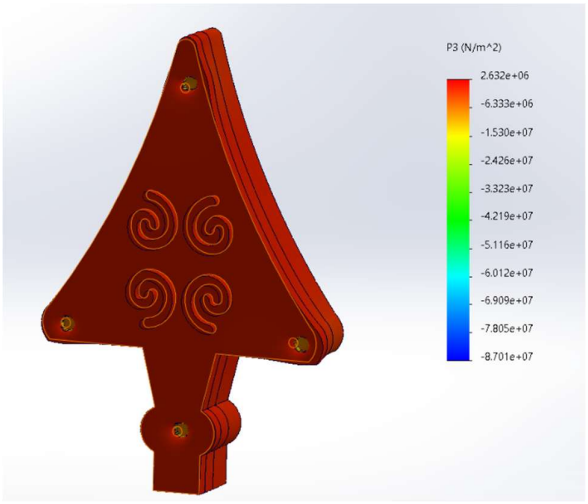


Gambar 4.69 *Displacement* Desain Ornamen Pagar

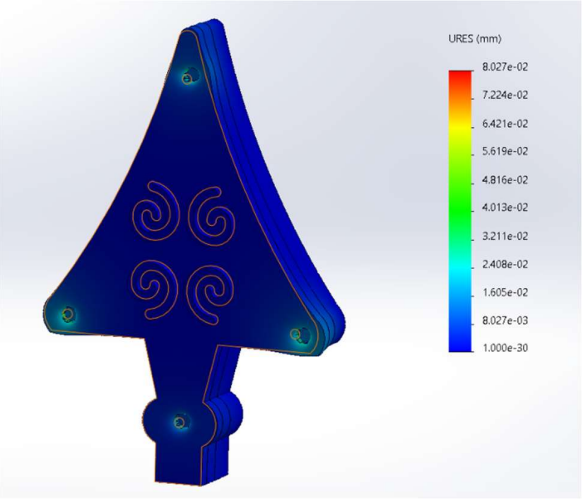
Pada Gambar 4.70 menunjukkan hasil simulasi dengan komposisi material HDPE 3 mm, PET 4,5 mm, dan PP 7,5 mm, dengan ketebalan 15 mm, tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 11.22 MPa. Pada Gambar 4.71 menunjukkan hasil simulasi pada area yang berpotensi mengalami kegagalan dengan komposisi material 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 3*rd 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)	*Displacement* (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)	*Displacement* (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 menunjukan 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 masksimal 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:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{..... (4.1)}$$

$$I = \frac{\pi a^{\ 3}}{4} \quad \text{.....(4.2)}$$

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:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{.....(4.3)}$$

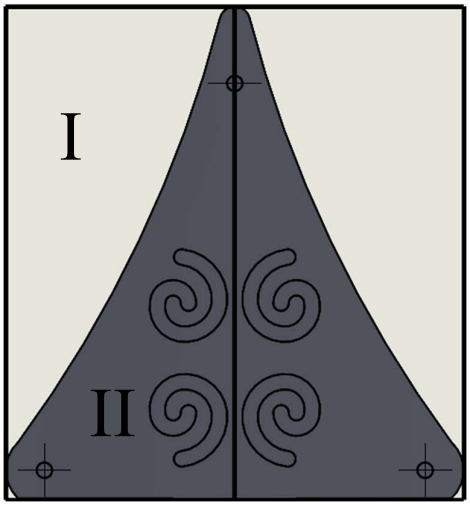
$$I = \frac{bh^3}{36} \quad \text{.....(4.4)}$$

$$I = \frac{\pi r^4}{8} \quad \text{.....(4.5)}$$

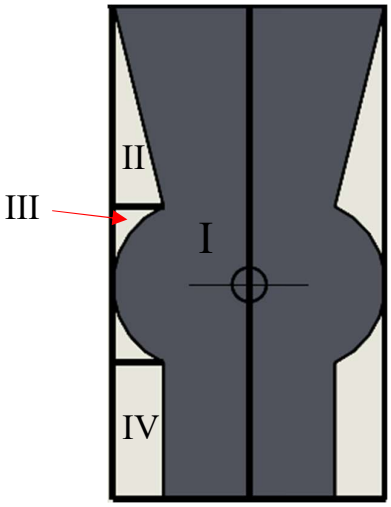
Berikut merupakan hasil perhitungan mencari nilai inersia pada produk ornamen pagar:

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:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{.....(4.6)}$$

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

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

- Perhitungan tegangan

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

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

  $\sigma = 0.138$ N/mm^2

- Perhitungan defleksi

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

  $\delta = \frac{160\times59.38}{1414\times666346.24^2}$

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

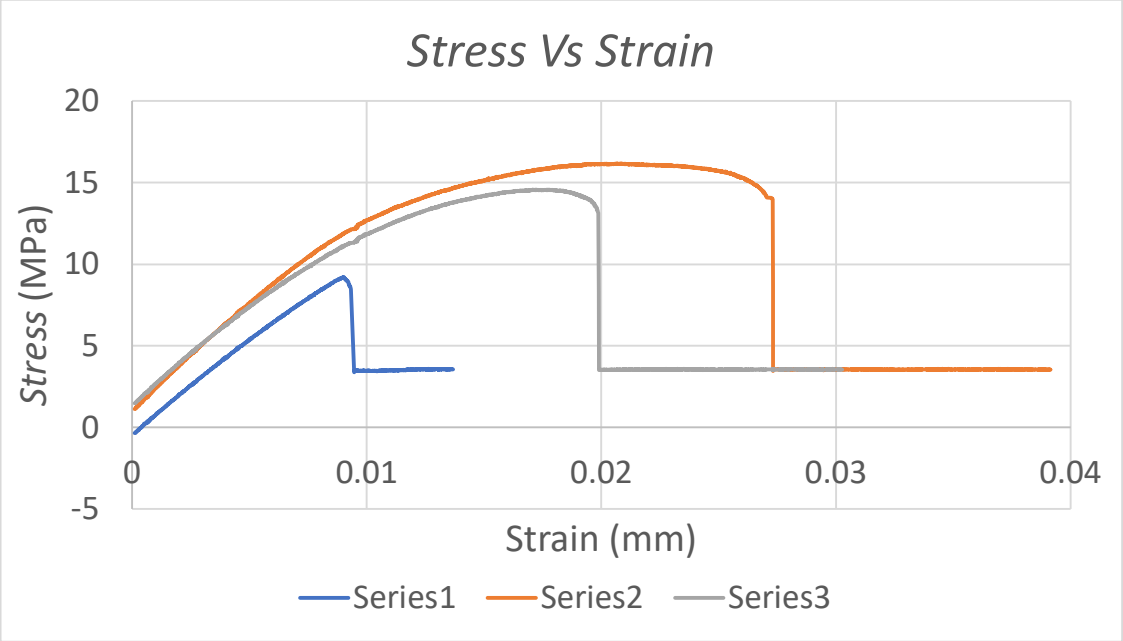
Tabel 4.5 Hasil Pengujian B

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.