

ANALISA KETEBALAN PANGCI PRESTO SESUAI TEKANAN PENGGUNAAN BERBASIS KOMPUTASI NUMERIK

Muhammad Sayyidul Ummam Ryo Saputra

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhammad.20011@mhs.unesa.ac.id

Agung Prijo Budijono

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: agungbudijono@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketebalan optimal dinding panci presto berbahan stainless steel 304 dalam menahan tekanan kerja 3 bar. Simulasi dilakukan dengan metode Finite Element Analysis (FEA) melalui perangkat lunak ANSYS. Variasi ketebalan dinding yang diuji adalah 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm. Sementara itu, ketebalan tutup panci sebesar 3 mm dan dasar 5 mm. Model panci berbentuk silinder berdiameter 40 cm dan tinggi 50 cm dianalisis terhadap tegangan Von Mises, deformasi total, regangan, faktor keamanan, dan umur kelelahan. Hasil menunjukkan bahwa ketebalan 1 mm memiliki tegangan Von Mises sebesar 60,234 MPa dengan faktor keamanan 3,406, di bawah batas aman 3,5. Ketebalan 1,5 mm memberikan hasil optimal dengan tegangan 40,157 MPa, deformasi 0,049 mm, regangan 0,00019791 mm/mm, faktor keamanan 5,1391, dan umur kelelahan lebih dari 1 juta siklus. Ketebalan 2 mm dan 3 mm menunjukkan performa lebih tinggi namun dianggap overdesign. Dasar panci 5 mm tidak memenuhi standar keamanan karena memiliki faktor keamanan hanya 0,76787. Oleh karena itu, ketebalan optimal yang direkomendasikan adalah 1,5 mm.

Kata Kunci: panci presto, ketebalan optimal, tekanan kerja, metode elemen hingga, ANSYS, faktor keamanan

Abstract

This study aims to analyze the optimal wall thickness of a pressure cooker made from stainless steel 304 to withstand a working pressure of 3 bar. Numerical simulation was conducted using Finite Element Analysis (FEA) through ANSYS software. The wall thickness variations examined were 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, and 3 mm, with the lid and base thicknesses set at 3 mm and 5 mm respectively. The cylindrical model, 40 cm in diameter and 50 cm in height, was analyzed for Von Mises stress, total deformation, strain, safety factor, and fatigue life. Results showed that a 1 mm thickness had a Von Mises stress of 60.234 MPa and a safety factor of 3.406, below the minimum requirement of 3.5. A 1.5 mm thickness yielded the best performance with 40.157 MPa stress, 0.049 mm deformation, 0.00019791 mm/mm strain, a 5.1391 safety factor, and fatigue life exceeding one million cycles. While 2 mm and 3 mm provided higher mechanical performance, they were considered overdesign. The 5 mm base failed to meet the safety requirement with a safety factor of only 0.76787. Therefore, 1.5 mm thickness is recommended as the most efficient and safe option.

Keywords: pressure cooker, optimal thickness, working pressure, finite element method, ANSYS, safety factor

PENDAHULUAN

Panci mesin presto merupakan salah satu komponen penting dalam mesin presto otomatis karena Keberhasilan proses presto sangat bergantung pada kemampuannya menahan tekanan dan suhu yang sesuai. Stainless steel 304 dipilih sebagai material panci mesin presto karena diperuntukkan pada industri makanan, sehingga lebih aman. Material ini juga dipilih agar tidak cepat berkarat (Rijianto & Efendi, 2018). Namun, analisis kekuatan dan penentuan ketebalan yang tepat diperlukan untuk memastikan efisiensi material dan keselamatan operasional.

Panci presto beroperasi dengan memanfaatkan tekanan tinggi untuk mempercepat proses memasak.



Gambar 1 Mesin Presto Otomatis

Meskipun menawarkan banyak keuntungan, penggunaan tekanan tinggi ini juga membawa risiko besar jika tidak ditangani dengan benar. Salah satu risiko utama adalah kemungkinan terjadinya ledakan yang dapat menyebabkan cedera serius dan kerusakan

material. Ketebalan dinding panci yang tidak memadai dapat menyebabkan kegagalan struktural, membuat penentuan ketebalan yang optimal menjadi sangat penting untuk keselamatan pengguna. *Safety Factor* digunakan untuk mencari tegangan maksimum yang diizinkan untuk memastikan tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan yang diizinkan agar konstruksi dapat dikategorikan aman. (Khoryanton, Karuniawan, & Putri, 2023).

Stainless steel 304 sering digunakan dalam pembuatan panci presto karena sifatnya yang tahan korosi dan kekuatan yang tinggi. Namun, material ini relatif mahal, sehingga mengoptimalkan penggunaan material ini penting untuk menekan biaya produksi. Penentuan ketebalan yang tepat dapat membantu mengurangi penggunaan material tanpa mengorbankan keamanan dan kinerja produk, sehingga dapat menghasilkan produk yang lebih ekonomis.

Pasar mesin presto sangat kompetitif, dengan banyak produsen yang berlomba-lomba menawarkan produk dengan harga yang lebih rendah. Dalam situasi ini, produsen harus menemukan cara untuk mengurangi biaya produksi tanpa mengorbankan kualitas. Dengan mengoptimalkan ketebalan panci presto berbasis analisis komputasi numerik, produsen dapat menghasilkan produk yang lebih efisien secara material dan biaya, sehingga dapat bersaing lebih baik di pasar.

Menghadapi risiko tinggi dari penggunaan tekanan, mahalnya material stainless steel 304, persaingan harga yang ketat di pasar, serta biaya dan waktu yang tinggi dalam uji eksperimen, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penentuan ketebalan panci presto menggunakan komputasi numerik. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan desain yang lebih aman, efisien, dan ekonomis, memberikan keuntungan kompetitif bagi produsen dalam pasar yang kompetitif.

Solidworks merupakan software yang digunakan untuk membantu proses desain suatu rancangan dan mampu mengetahui tingkat kekuatan rangka desain (Wahab, Rohman, Saepuddin, & Sulaiman, 2022). FEA telah banyak digunakan sebagai tool analysis untuk memperoleh gambaran distribusi tegangan dan memprediksi kekuatan struktur. Penggunaan FEA dalam memprediksi kekuatan suatu konstruksi sistem mekanikal dapat menekan biaya desain bila dibandingkan dengan eksperimen (Waluyo, Ahmad, Pramono, & Fahrulrizal, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis simulasi pembebanan pada panci mesin presto menggunakan pendekatan komputasi numerik. Fokus

utama penelitian adalah empat variasi ketebalan pada dinding panci presto dengan material stainless steel 304 yaitu 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, dan 3 mm dengan ketebalan tutup 3 mm dan ketebalan dasar 5 mm yang sama. Tiga variasi tersebut sebagai perbandingan dan disimulasikan dengan dimensi serta beban yang sama menggunakan metode analisa karakteristik material yaitu metode elemen hingga atau finite element analysis (FEA). Dalam panci mesin presto dengan material stainless steel 304. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik pembebanan pada panci mesin presto dan potensinya untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam proses presto terhadap industri makanan.

METODE

Jenis penelitian ini adalah kuantitatif eksperimental berbasis simulasi numerik. Model panci disederhanakan menjadi geometri silinder vertikal dengan diameter 40 cm dan tinggi 50 cm. Objek penelitian adalah panci presto dari stainless steel 304 dengan variasi ketebalan dinding: 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, dan 3 mm. Data material diperoleh dari literatur dan digunakan dalam simulasi. Software ANSYS digunakan dengan pemodelan mesh hex-dominant validasi hasil. Tekanan kerja ditetapkan sebesar 3 bar. Analisis dilakukan terhadap Von Mises stress, strain, deformasi, faktor keamanan, dan umur fatigue life.

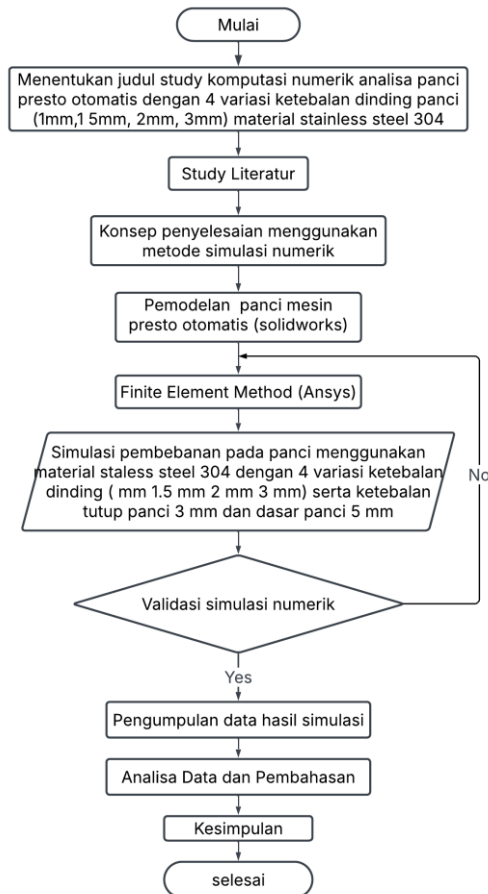
Proses simulasi dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap, yakni:

- 1) *Pre-processing* (Proses Awal)
 - a. Pendefinisian Masalah dengan menentukan tipe analisis dalam penelitian ini menggunakan Static Structural.
 - b. Memasukkan data material yang akan disimulasikan.
 - c. Input geometri pada Design Modeler.
 - d. Melakukan meshing pada model yang sesuai hasil Grid Independence Test.
- 2) *Solution* (Proses Solusi)

Pada proses solution menentukan data perhitungan yang ingin ditampilkan pada hasil setelah dilakukan proses simulasi. Pada penelitian ini hasil yang ingin dihitung oleh komputer adalah analisis distribusi *stress*, *strain*, *deformasi*, *fatigue*, dan *safety factor*. Pada tahap ini juga diberikan informasi mengenai estimasi waktu pada proses perhitungan (running).

- 3) *Post-processing*

Merupakan tahap pembacaan hasil berupa visualisasi hasil perhitungan berupa contour plot, grafik, dan tabel. Pada penelitian ini didapatkan data distribusi *stress*, *strain*, *deformasi*, *fatigue*, dan *safety factor* untuk selanjutnya diolah menggunakan Microsoft Excel.

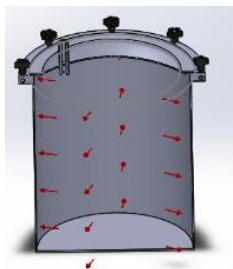


Gambar 2 Rancangan Penelitian

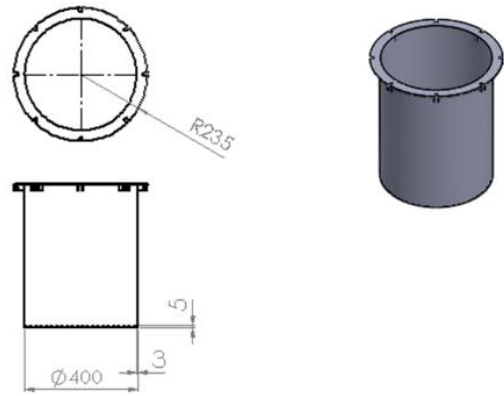
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan data dalam bentuk gambar, tabel, grafik, dan penjelasan dari hasil simulasi. Hasil dari simulasi yang dimaksud ialah nilai stress, deformasi, strain, safety factor dan fatigue life yang diperoleh dari simulasi numerik pada panci mesin presto otomatis berdiameter 40 cm dan tinggi 50 cm, menggunakan material *stainless steel 304* dengan empat jenis variasi ketebalan plat 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, dan 3 mm. Pada hasil simulasi terdapat beberapa kontur warna yang menunjukkan besar nilai dari suatu kondisi mulai terendah hingga tertinggi.



Gambar 3 Tekanan Yang Bekerja Pada Panci Mesin Presto Otomatis



Gambar 4 Data Awal Dimensi Panci Mesin Presto Otomatis

Pada gambar 4 menunjukkan dimensi Panci Mesin Presto Otomatis yang menjadi acuan untuk dilakukannya simulasi.

Tabel 1 *Material Properties*

Parameter	Stainless Steel 304
Density (kg/m^3)	8000
Tensile Streght (MPa)	505
Yield Streght (MPa)	205
Moudulus of Elasticity (GPa)	193
Poisson's Ratio	0,29

1. Penyederhanaan Model

Penyederhanaan model merupakan tahap dimana panci mesin presto otomatis yang didesain akan digabungkan antara tutup, dinding, dan dasar panci yg telah di desain

2. Simulasi

Simulasi yang dilakukan pada percobaan ini ada ketika panci presto diberikan tekanan. Pada proses simulasi kondisi beban yang diberikan oleh panci presto dalam keadaan statis.

Proses simulasi yang dilakukan pada panci presto menggunakan tipe pressure yang ada pada software Ansys. Proses simulasi yang dilakukan pada analisa panci presto ini menggunakan beban statis yang didapat dari tekanan yang dibutuhkan saat proses presto, analisa simulasi statis yang digunakan untuk mengetahui *stress*, *strain*, *fatigue*, dan *safety factor*.

3. Meshing

Proses meshing merupakan suatu proses untuk membagi keseluruhan sistem kedalam elemen-elemen kecil yang seragam dengan tujuan agar analisa akan semakin detail pada setiap titik dalam keseluruhan sistem tersebut. Meshing dalam permodelan ini sangat penting diperhatikan.

Agar proses simulasi yang dilakukan mendapatkan hasil yang valid, maka uji konvergensi pada setiap geometri model harus

dilakukan. Uji konvergensi mesh adalah langkah penting dalam analisis kekuatan panci presto menggunakan metode elemen hingga. Ini adalah proses yang bertujuan untuk memastikan bahwa mesh (jaringan elemen) yang digunakan dalam model FEA telah cukup halus dan cukup mendekati solusi eksak, sehingga hasil analisis dapat diandalkan.

Pada penelitian ini, konvergensi dilakukan dengan memvariasikan mesh size, kemudian tegangan pada satu titik uji diamati hingga error yang dihasilkan mendekati nol. Pada awal tahapan, beberapa variasi ukuran mesh dipilih kemudian proses set up model dilakukan dengan cara yang sama dengan simulasi static structural. Proses selanjutnya adalah mengatur ukuran mesh pada set up simulasi mengikuti variasi ukuran mesh. Setelah dilakukan solving pada simulasi tersebut, maka dapat ditentukan ukuran mesh yang cukup konvergen untuk digunakan.

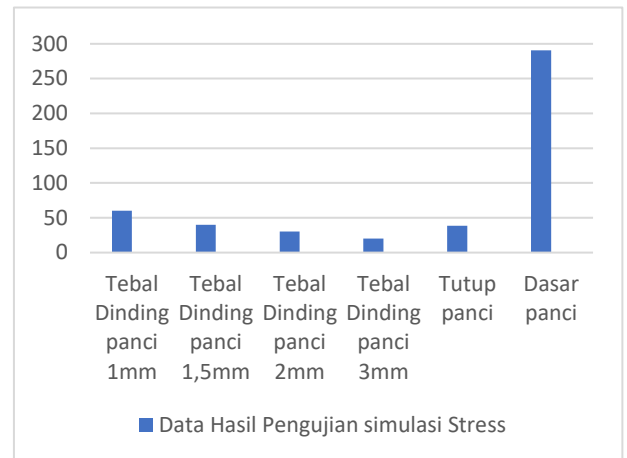
4. Hasil Uji Simulasi Static Structural

Simulasi dilakukan dengan memberikan tekanan secara statis pada model untuk melihat besar *stress*, deformasi, *strain*, *fatigue*, dan *safety factor* yang diterima sehingga performa panci presto dapat diketahui. Selain itu juga bisa melihat *critical area* pada panci mesin presto otomatis setelah diberi tekanan secara statis sebesar 3 bar. Sehingga, peneliti dapat mengetahui performa tiap variasi ketebalan material *stainless steel 304* yang dijadikan perbandingan pada penelitian kali ini.

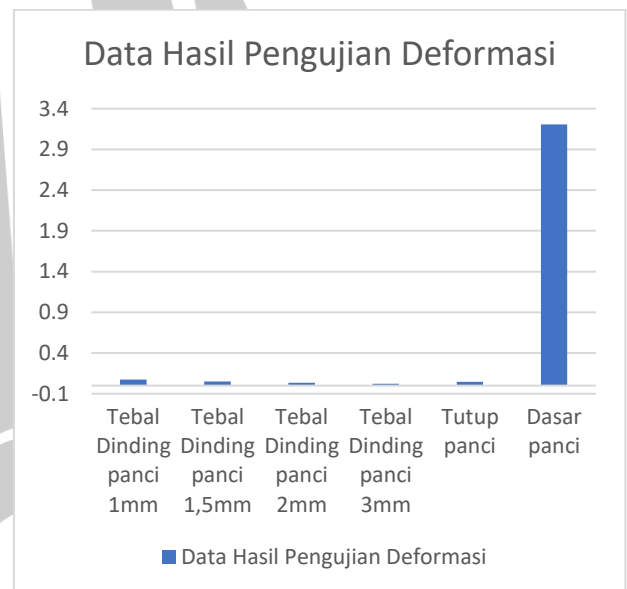
Tabel 2 Hasil Uji Static Structural dari panci presto

No.	Variasi ketebalan	Hasil uji simulasi				
		Stress (MPa)	Deformasi (mm)	Strain (mm/mm)	Safety Factor	Fatigue Life (cycle)
1.	Tebal Dinding panci 1mm	60,234	0,075337	0,00029733	3,406	518.820
2.	Tebal Dinding panci 1,5mm	40,157	0,049381	0,00019791	5,1391	≥1.000.000
3.	Tebal Dinding panci 2mm	30,182	0,036640	0,00017319	6,5578	≥1.000.000
4.	Tebal Dinding panci 3mm	20,021	0,024196	0,00015326	10,222	≥1.000.000
5.	Tutup panci	38,367	0,045643	0,00023613	5,3253	≥1.000.000

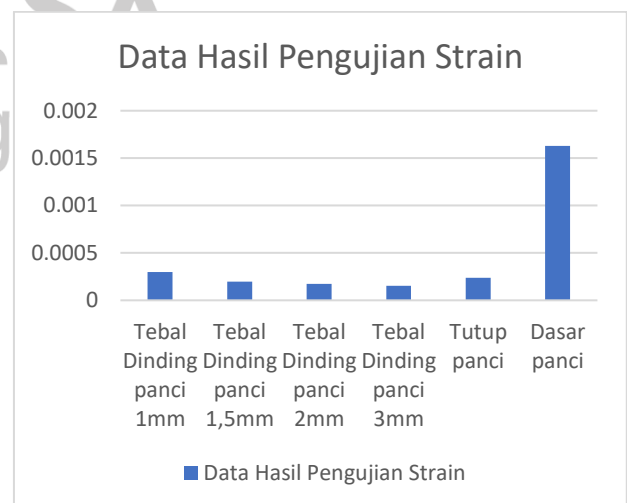
6	Dasar panci	290,66	3,2052	0,0016298	0,72256	5.104,3
---	-------------	--------	--------	-----------	---------	---------



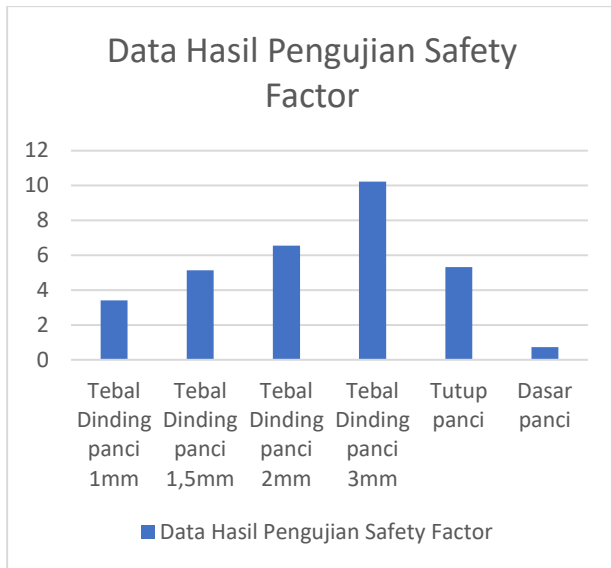
Gambar 5 Grafik Nilai Von Mises Stress



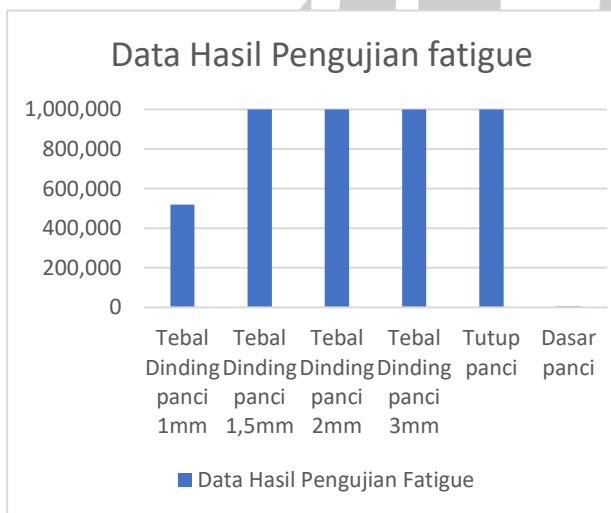
Gambar 6 Grafik Nilai Deformasi



Gambar 7 Grafik Nilai Strain

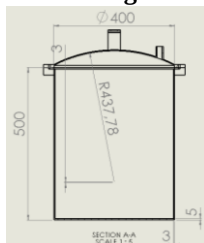


Gambar 8 Grafik Hasil Safety Factor



Gambar 9 Grafik Nilai Fatigue Life

5. Perhitungan Teori



Gambar 10 desain panci presto otomatis

Perhitungan teori pada panci mesin presto otomatis dengan diameter 40 cm dan tinggi 50 cm ketika diberi tegangan sebesar 3 bar sebagai berikut:

a. Perhitungan Teori stress pada dinding panci dengan ketebalan 1 mm

Diketahui:

Diameter panci (D) = 40 cm = 0.4 m
 Tinggi panci (h) = 50 cm = 0.5 m
 Ketebalan dinding (t) = 1 mm = 0.001 m
 Tekanan internal (P) = 3 bar = 300 kPa = 300,000 N/m²
 Material : Stainless Steel 304

Tegangan tangensial (tangensial stress)

$$\sigma_t = \frac{pr}{2t}$$

$$\sigma_t = \frac{(300.000)(0.4)}{2(0.001)}$$

$$\sigma_t = \frac{120.000}{0.002} = 60.000.000 \text{ N/m}^2 = 60 \text{ MPa}$$

Tegangan aksial (longitudinal stress)

$$\sigma_a = \frac{pr}{4t}$$

$$\sigma_a = \frac{(300.000)(0.4)}{4(0.001)}$$

$$\sigma_a = \frac{120.000}{0.004} = 30.000.000 \text{ N/m}^2 = 30 \text{ MPa}$$

Perhitungan Tegangan von Mises

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_a^2 - \sigma_t \cdot \sigma_a}$$

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{60^2 + 30^2 - 60 \cdot 30}$$

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{3600 + 900 - 1800}$$

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{1700} = 41,23 \text{ MPa}$$

b. Perhitungan Teori stress pada dinding panci dengan ketebalan 1,5 mm

Diketahui:

Diameter panci (D) = 40 cm = 0.4 m
 Tinggi panci (h) = 50 cm = 0.5 m
 Ketebalan dinding (t) = 1.5 mm = 0.0015 m
 Tekanan internal (P) = 3 bar = 300 kPa = 300,000 N/m²
 Material = Stainless Steel 304

Tegangan tangensial (tangensial stress)

$$\sigma_t = \frac{pr}{2t}$$

$$\sigma_t = \frac{(300.000)(0.4)}{2(0.0015)}$$

$$\sigma_t = \frac{120.000}{0.003} = 40.000.000 \text{ N/m}^2 = 40 \text{ MPa}$$

Tegangan aksial (longitudinal stress)

$$\sigma_a = \frac{pr}{4t}$$

$$\sigma_a = \frac{(300.000)(0.4)}{4(0.0015)}$$

$$\sigma_a = \frac{120.000}{0.006} = 20.000.000 \text{ N/m}^2 = 20 \text{ MPa}$$

Perhitungan Tegangan von Mises

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{\sigma t^2 + \sigma a^2 - \sigma t \cdot \sigma a} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{40^2 + 20^2 - 40 \cdot 20} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{1600 + 400 - 800} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{1200} = 34,64 \text{ MPa}\end{aligned}$$

c. Perhitungan Teori stress pada dinding panci dengan ketebalan 2 mm**Diketahui:**

Diameter panci (D) = 40 cm = 0.4 m
 Tinggi panci (h) = 50 cm = 0.5 m
 Ketebalan dinding (t) = 2 mm = 0.002 m
 Tekanan internal (P) = 3 bar = 300 kPa = 300,000 N/m²
 Material : Stainless Steel 304

Tegangan tangensial (tangensial stress)

$$\begin{aligned}\sigma t &= \frac{pr}{2t} \\ \sigma t &= \frac{(300.000)(0.4)}{2(0.002)} \\ \sigma t &= \frac{120.000}{0.004} = 30.000.000 \text{ N/m}^2 = 30 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tegangan aksial (longitudinal stress)

$$\begin{aligned}\sigma a &= \frac{pr}{4t} \\ \sigma a &= \frac{(300.000)(0.4)}{4(0.002)} \\ \sigma a &= \frac{120.000}{0.008} = 15.000.000 \text{ N/m}^2 = 15 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan Tegangan von Mises

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{\sigma t^2 + \sigma a^2 - \sigma t \cdot \sigma a} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{30^2 + 15^2 - 30 \cdot 15} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{900 + 225 - 450} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{675} = 25,98 \text{ MPa}\end{aligned}$$

d. Perhitungan Teori stress pada dinding panci dengan ketebalan 3 mm**Diketahui:**

Diameter panci (D) = 40 cm = 0.4 m
 Tinggi panci (h) = 50 cm = 0.5 m
 Ketebalan dinding (t) = 3 mm = 0.003 m
 Tekanan internal (P) = 3 bar = 300 kPa = 300,000 N/m²
 Material : Stainless Steel 304

Tegangan tangensial (tangensial stress)

$$\begin{aligned}\sigma t &= \frac{pr}{2t} \\ \sigma t &= \frac{(300.000)(0.4)}{2(0.003)} \\ \sigma t &= \frac{120.000}{0.006} = 20.000.000 \text{ N/m}^2 = 20 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tegangan aksial (longitudinal stress)

$$\begin{aligned}\sigma a &= \frac{pr}{4t} \\ \sigma a &= \frac{(300.000)(0.4)}{4(0.003)} \\ \sigma a &= \frac{120.000}{0.012} = 10.000.000 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan Tegangan von Mises

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{\sigma t^2 + \sigma a^2 - \sigma t \cdot \sigma a} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{20^2 + 10^2 - 20 \cdot 10} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{20^2 + 10^2 - 20 \cdot 10} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{400 + 100 - 200} \\ \sigma_{\text{von Mises}} &= \sqrt{300} = 17,32 \text{ MPa}\end{aligned}$$

e. Perhitungan Teori stress pada tutup panci dengan ketebalan 3 mm berbentuk ellipsoidal**Diketahui:**

Diameter tutup (D) = 40 cm = 0.4 m
 Jari-jari ellipsoidal (R) = 437 mm = 0.437 m
 Ketebalan tutup (t) = 3 mm = 0.003 m
 Tekanan internal (P) = 3 bar = 300,000 N/m²
 Material = Stainless Steel 304

Rumus Tegangan pada Ellipsoidal Head

Menurut ASME, tegangan meridional (longitudinal) dan tegangan circumferensial (hoop stress) untuk ellipsoidal head dihitung dengan:

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \frac{pr}{2t} \\ \sigma_h &= \frac{pr}{t}\end{aligned}$$

dimana:

σ_m = tegangan meridional (longitudinal stress)
 σ_h = tegangan hoop (circumferential stress)

Perhitungan Tegangan Meridional:

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \frac{(300.000)(0.437)}{2(0.003)} \\ \sigma_m &= \frac{131.100}{0,006}\end{aligned}$$

$$\sigma_m = 21.850.000 \text{ N/m}^2 = 21.85 \text{ MPa}$$

Perhitungan Tegangan Hoop:

$$\sigma_h = \frac{(300.000)(0.437)}{(0.003)}$$

$$\sigma_h = \frac{131.100}{0,003}$$

$$\sigma_h = 43.700.000 \text{ N/m}^2 = 43,7 \text{ MPa}$$

Tegangan von Mises dihitung dengan rumus:

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_h^2 - \sigma_m \cdot \sigma_h}$$

Di mana:

$\sigma_m = 21.85$ MPa (tegangan meridional)

$\sigma_h = 43.7$ MPa (tegangan circumferensial)

$\sigma_{\text{von Mises}} =$

$$\sqrt{(21,85)^2 + (43,7)^2 - (21,85 \cdot 43,7)}$$

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{477,42 + 1909,69 - 955,80}$$

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{1431,31}$$

$$\sigma_{\text{von Mises}} = 37,8 \text{ MPa}$$

f. Perhitungan Teori stress pada dasar panci dengan ketebalan 5 mm berbentuk datar
Langkah Perhitungan Tegangan Maksimum pada Dasar Panci

a) Diketahui:

- Diameter dasar panci (D) = 40 cm = 0.4 m
- Tekanan internal (P) = 3 bar = 300,000 N/m²
- Ketebalan dasar (t) = 5 mm = 0.005 m
- Poisson's ratio (ν) = 0.3

b) Perhitungan Tegangan Bending Radial

Karena dasar panci berbentuk pelat datar, kita gunakan teori pelat bundar dengan tumpuan di tepi. Tegangan maksimum di pusat pelat diberikan oleh rumus:

$$\sigma_r = \frac{3(1+\nu)pR^2}{8t}$$

Substitusi nilai:

$$\sigma_r = \frac{3(1+0,3)(300.000)(0,2)^2}{8(0,005)}$$

$$\sigma_r = \frac{3 \times 1,3 \times 360.000 \times 0,04}{8 \times 0,000025}$$

$$\sigma_r = \frac{46800}{0,0002} = 234.000.000 \text{ Pa} = 234 \text{ MPa}$$

c) Perhitungan Tegangan Bending Tangensial

Tegangan bending Tangensial terjadi pada pusat pelat dan dihitung dengan rumus:

$$\sigma_\theta = \frac{(3+\nu)pR^2}{8t^2}$$

Substitusi nilai:

$$\sigma_\theta = \frac{(3+0,3)(300.000)(0,2)^2}{8(0,005)^2}$$

$$\sigma_{\text{bending}} = \frac{3,3 \times 300.000 \times 0,04}{0,0002}$$

$$\sigma_{\text{bending}} = \frac{39.600}{0,0002} = 198.000.000 \text{ Pa} = 198 \text{ MPa}$$

d) Perhitungan Tegangan von Mises

Untuk mendapatkan tegangan von Mises yang memperhitungkan tegangan utama dalam berbagai arah:

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_r \cdot \sigma_\theta}$$

Substitusi nilai:

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{234^2 + 198^2 - 234 \times 198}$$

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{54756 + 39204 - 46332}$$

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{47628} = 218 \text{ MPa}$$

6. Perhitungan Nilai Error (%)

Untuk menentukan nilai error dari hasil study komputasi numerik dan perhitungan teori yaitu dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Nilai error (\%)} = \frac{|\text{Hasil simulasi} - \text{Hasil Teori}|}{\text{Nilai Terbesar}} \times 100\%$$

a. Perhitungan Nilai Error pada dinding panci dengan ketebalan 1 mm

$$\text{Nilai error (\%)} = \frac{|60,234 - 60|}{60,234} \times 100\% = 0,388\%$$

b. Perhitungan Nilai Error pada dinding panci dengan ketebalan 1,5 mm

$$\text{Nilai error (\%)} = \frac{|40,157 - 40|}{40,157} \times 100\% = 0,390\%$$

c. Perhitungan Nilai Error pada dinding panci dengan ketebalan 2 mm

$$\text{Nilai error (\%)} = \frac{|30,182 - 30|}{30,182} \times 100\% = 0,603\%$$

d. Perhitungan Nilai Error pada dinding panci dengan ketebalan 3 mm

$$\text{Nilai error (\%)} = \frac{|20,021 - 20|}{20,021} \times 100\% = 0,104\%$$

e. Perhitungan Nilai Error pada tutup panci dengan ketebalan 3 mm

$$\text{Nilai error (\%)} = \frac{|38,367 - 37,8|}{38,367} \times 100\% = 1,47\%$$

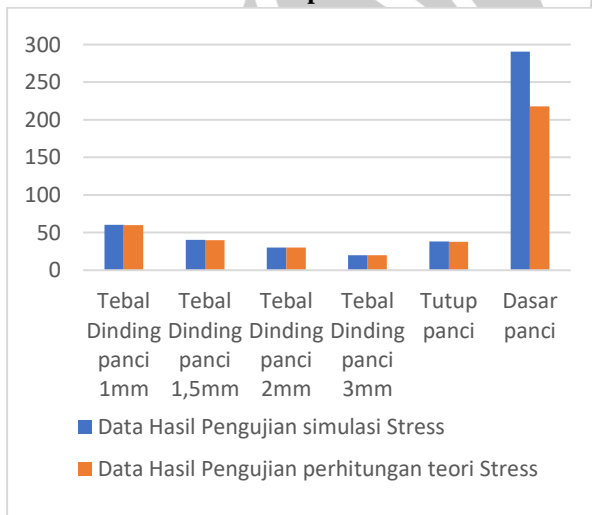
f. Perhitungan Nilai Error pada dasar panci dengan ketebalan 5 mm derbentuk datar

$$\text{Nilai error (\%)} = \frac{|290,66 - 218|}{290,66} \times 100\% = 24,99\%$$

Tabel 2 Hasil perhitungan nilai eror

No.	Variasi ketebalan	Hasil uji simulasi Stress (MPa)	Hasil teori Stress (MPa)	Nilai Eror
1.	Tebal Dinding panci 1mm	60,234	60	0,388%
2.	Tebal Dinding panci 1,5mm	40,157	40	0,390%
3.	Tebal Dinding panci 2mm	30,182	30	0,603%
4.	Tebal Dinding panci 3mm	20,021	20	0,104%
5.	Tutup panci	38,367	37,8	1,47%
6.	Dasar panci	290,66	218	24,99%

7. Analisa Perbandingan Hasil Uji Static Structural dari Panci presto



Gambar 11 Grafik Nilai Von Mises Stress

Pengujian dilakukan pada panci mesin presto otomatis menggunakan empat variasi ketebalan 1mm, 1.5mm, 2mm, 3mm pada dinding panci mesin presto. Tekanan yang diterapkan sebesar 3 Bar. Berikut adalah hasil pengujiannya:

Pada ketebalan dinding panci 1mm berdasarkan hasil analisis, *Von Mises stress* sebesar 60,234 MPa yang berada di bawah *yield strength* 205 MPa menunjukkan bahwa dinding panci tidak mengalami deformasi plastis, yang berarti dinding panci dengan ketebalan 1 mm masih dalam kondisi aman. Deformasi sebesar 0,075337 mm dan strain 0,00029733mm/mm menunjukkan bahwa perubahan bentuk masih dalam batas elastisitas material, mendukung hasil

bahwa material belum mencapai kondisi *yield*. Faktor keamanan 3,406 menunjukkan bahwa material memiliki cadangan kekuatan namun masih dibawah standar faktor keamanan dengan standar minimum 3,5. *Fatigue life* sebesar 518.820 siklus sebelum mengalami kegagalan akibat kelelahan.

Ketebalan 1,5 mm pada dinding panci mesin presto menunjukkan *Von Mises stress* sebesar 40,157 MPa yang berada di bawah *yield strengt* 205 MPa, menunjukkan bahwa material tidak mengalami deformasi plastis, sehingga dinding panci tetap dalam kondisi aman. Deformasi sebesar 0,049381 mm dan strain 0,00019791 mm/mm menunjukkan bahwa perubahan bentuk masih dalam batas elastisitas material, mendukung hasil bahwa material belum mencapai kondisi *yield*. Faktor keamanan 5,1391 menunjukkan bahwa material memiliki cadangan kekuatan yang cukup besar dibandingkan dengan standar minimum 3,5 bahwa dinding panci mesin presto akan berfungsi dengan baik dan aman dalam kondisi operasional normal. *Fatigue life* sebesar $\geq 1.000.000$ siklus, menunjukkan bahwa material mampu bertahan terhadap beban berulang dalam jangka waktu yang sangat lama sebelum mengalami kegagalan akibat kelelahan.

Ketebalan 2 mm pada dinding panci mesin presto menunjukkan *Von Mises stress* sebesar 30,182MPa yang mendekati *yield strength*-nya yaitu 205 MPa. Deformasi yang dihasilkan sebesar 0,036640 mm dan *strain* 0,00015649 mm/mm menunjukkan bahwa perubahan bentuk masih dalam batas elastisitas material, mendukung hasil bahwa material stainless steel 304 dengan ketebalan 2 mm jauh dalam kondisi *yield*. Faktor keamanan sebesar 6,5578 menunjukkan keamaan yang sangat tinggi. *Fatigue life* tertinggi sebesar $\geq 1.000.000$ siklus menunjukkan bahwa material ini mampu bertahan terhadap beban berulang dalam jangka waktu yang sangat lama sebelum mengalami kegagalan akibat kelelahan.

Ketebalan 3 mm pada dinding panci mesin presto menunjukkan *Von Mises stress* sebesar 20,021 MPa yang mendekati *yield strength*-nya yaitu 205 MPa. Deformasi yang dihasilkan sebesar 0,024196 mm dan *strain* 0,00015326 mm/mm menunjukkan bahwa perubahan bentuk masih dalam batas elastisitas material, mendukung hasil bahwa material stainless steel 304 dengan ketebalan 3mm jauh dalam kondisi *yield*. Faktor keamanan sebesar 10,222menunjukkan keamaan yang sangat tinggi. *Fatigue life* tertinggi sebesar

$\geq 1.000.000$ siklus menunjukkan bahwa material ini mampu bertahan terhadap beban berulang dalam jangka waktu yang sangat lama sebelum mengalami kegagalan akibat kelelahan.

Pada tutup panci mesin presto dengan ketebalan 3mm berdasarkan hasil analisis, *Von Mises stress* sebesar 38,367 MPa yang berada di bawah *yield strength* 205 MPa menunjukkan bahwa material tidak mengalami deformasi plastis, yang berarti tutup panci masih dalam kondisi aman. Deformasi sebesar 0,045643 mm dan strain 0,00023613mm/mm menunjukkan bahwa perubahan bentuk masih dalam batas elastisitas material. Faktor keamanan 5,3253 menunjukkan bahwa material memiliki cadangan kekuatan di atas standar faktor keamanan dengan minimum 3,5. *Fatigue life* sebesar $\geq 1.000.000$ siklus sebelum mengalami kegagalan akibat kelelahan.

Pada dasar panci mesin presto dengan ketebalan 5 mm berdasarkan hasil analisis, *Von Mises stress* sebesar 290,66 MPa yang berada di bawah *yield strength* 205 MPa menunjukkan bahwa material mengalami deformasi plastis, yang berarti dasar panci dalam kondisi tidak aman. Deformasi sebesar 3,2052 mm dan strain 0,0016298 mm/mm menunjukkan bahwa perubahan bentuk, dan hasil bahwa material melebihi kondisi *yield* nya. Faktor keamanan 0,76787 menunjukkan bahwa dasar panci sangat tidak aman ketika diberikan tekanan sebesar 3 bar, yang seharusnya standar faktor keamanan dengan standar minimum 3,5. *Fatigue life* sebesar 5.104,3 siklus sebelum mengalami kegagalan akibat kelelahan.

Dari analisis ini, dapat disimpulkan bahwa ketebalan dasar panci dengan ketebalan 5 mm ketika diberikan tekanan sebesar 3 bar sangat tidak aman, karena sudah melebihi batas *yield strength* nya. namun pada ketebalan dinding 1mm, apabila diberikan tekanan sebesar 3 bar, masih aman karena berada di bawah *yield strength* 205 MPa namun kurang dari standar faktor keamanan, yang seharusnya standar faktor keamanan dengan standar minimum 3,5. Sedangkan dinding panci dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, 3mm dan tutup dengan ketebalan 3 mm apabila diberikan tekanan sebesar 3 bar, masih berada dalam kondisi aman untuk digunakan pada panci mesin presto otomatis. Sehingga pada empat variasi ketebalan dinding panci presto dengan material stainless steel 304 yang paling tipis namun masih dalam standar *safety factor* adalah 1,5mm.

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa ketebalan optimal dinding panci presto berbahan stainless steel 304 untuk menahan tekanan kerja 3 bar adalah 1,5 mm. Ketebalan ini memenuhi semua kriteria desain seperti tegangan, deformasi, strain, faktor keamanan, dan umur kelelahan. Ketebalan di atas 1,5 mm tidak diperlukan karena menghasilkan desain yang overdesign dan tidak efisien secara material maupun biaya. Sementara itu, ketebalan di bawah 1,5 mm tidak memenuhi standar keamanan. Oleh karena itu, 1,5 mm merupakan pilihan terbaik untuk desain panci presto yang aman, efisien, dan ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Nugroho, F. (2023). *Proses Pembuatan Shell pada Bejana Tekan di PT. XYZ Cikarang*. VIII(4).
- Ari, L., Wibawa, N., Penerbangan, L., Nasional, A., Satrio, U., Lembaga, Y., Dan, P., Haryanto, Y., & Kurniawan, A. (n.d.). PENGARUH KETEBALAN DINDING DAN TEKATAN INTERNAL TERHADAP FAKTOR KEAMANAN TABUNG MOTOR ROKET DEXTROSE MENGGUNAKAN ANSYS WORKBENCH. In *Jurnal Media Mesin* (Vol. 22, Issue 2).
- Beer, F. P. ., Johnston, E. Russell., DeWolf, J. T. ., & Mazurek, D. F.. (2015). *Mechanics of materials*. McGraw-Hill Education.
- Chen, Z., & Akbarzadeh, A. (n.d.). *Advanced Thermal Stress Analysis of Smart Materials and Structures*. <http://www.springer.com/series/15775>
- David V. Hutton. (2004). *Fundamentals of Finite Element Analysis*. New York: Mc Graw Hill.
- Fahrudin, A., Rahmat, M., & Waluyo, R. (2019). Rancang Bangun Tabung Udara Dingin Terkompresi dengan Tekanan 5 Bar. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 4(2), 175. <https://doi.org/10.31544/jtera.v4.i2.2019.175-184>
- Firharmawan, H., & Lunnadiyah Aprilia, R. (n.d.). *PENGOLAHAN IKAN DURI LUNAK (PRESTO) SECARA MODERN*.
- GNK Yudhyadi, I., Rachmanto, T., Made Suartika, I., & Wijana, M. (n.d.). ANALISA KELAYAKAN BEJANA BERTEKANAN TIPE VERTIKAL DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI AUTODESK INVENTOR FEASIBILITY ANALYSIS OF VERTICAL TYPE PRESSURE VESSEL USING OFAUTODESK INVENTOR SIMULATION.

- <https://journal.unram.ac.id/index.php/empd>
- Handayanu. (2005). *Metode Elemen Hingga*. ITS.
- Kaminski, C. (2005). *Stress Analysis & Pressure Vessels*. University Of Cambridge.
- Hibbeler, R.C. (2017). *Mechanics of Materials*. 10th Edition. Pearson Education
- Khakim, L., Miftachul Munir, M., Ari, M., Studi, P., Pengelasan, T., Teknik, J., Kapal, B., Perkapalan, P., Surabaya, N., & 60111, S. (n.d.). *RE-RATING PRESSURE VESSEL SETELAH PENINGKATAN TEMPERATUR DAN INTERNAL PRESSURE SERTA AKIBATNYA TERHADAP FATIGUE DAN REMAINING LIFE*.
- Khoryanton, A., Karuniawan, A. D., & Putri, F. T. (2023). Analisis Pembebanan Rangka Penopang Tangki IBC Dumping Table Hidrolik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 305-312.
- Manullang, E., Tangkuman, S., & Maluegha, B. L. (n.d.). ANALISIS TEGANGAN PADA BEJANA TEKAN VERTIKAL 13ZL100040291 DI PT. ANEKA GAS INDUSTRI.
- Prajapati, D., & Patel, D. A. (n.d.). Pressure Vessel Design as Per ASME Section VIII Division 2 and Its Optimization. *International Journal of Management*. <https://www.researchgate.net/publication/335159870>
- Pratama, J., Fajar Fitriyana, D., Rusiyanto, Parlaungan Siregar, J., & Caesarendra, W. (2020). A low cost validation method of finite element analysis on a thin walled vertical pressure vessels. *Journal of Physics: Conference Series*, 1444(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1444/1/012042>
- Ridho, M. H., Fathallah, Z. M., & Eng, M. (n.d.). *ANALYSIS THERMAL AND PRESSURE STRESS ON LNG STORAGE TANK STRUCTURE HARBOUR TUG 2 X 2500 HP*.
- Rijianto, A., & Efendi, I. B. (2018). Rancang Bangun Mesin Parut Kelapa dengan Menggunakan Bahan Bakar Gas. *Warta Industri Hasil Pertanian*, 60-67.
- Roache, P.J. (1998). *Verification and Validation in Computational Science and Engineering*. Hermosa Publishers.
- Roylance , & David. (2001). *Finite Element Analysis*. Cambridge, MA 02139.
- Satrijo, D. (2012). PERANCANGAN DAN ANALISATEGANGAN PADA BEJANA TEKAN HORIZONTAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA. *Jurnal Teknik Mesin*, 32-40.
- Stephens, R.I. et al. (2000). *Metal Fatigue in Engineering*. Wiley.
- Stephens, Murray R., & Spiegel Larry J. (2007). *Statistik, Edisi Ketiga*. Erlangga.
- Stevenlona. (2013). *Analisa Perhitungan, Pembuatan dan Pengujian Kekuatan Material Plate Sa 516 Gr 70 Untuk Shell Test Separator 1219 Mm Id X 3048 Mm S/S*.
- Sugiono. (2009). *METODE PENELITIAN KUANTITATIF, KUALITATIF DAN R&D*. bandung: Alfabeta.
- Tangkuman, S., & Luntungan, H. (2018). GAMBAR 3D MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK SEBAGAI BENTUK PEMANFAATAN TEKNOLOGI MULTIMEDIA DALAM PERANCANGAN PRODUK. *Jurnal Tekno Mesin*, Volume 5 Nomor 1.
- Ulfa, R. (2021). VARIABEL PENELITIAN DALAM PENELITIAN PENDIDIKAN. *Jurnal Pendidikan dan Keislaman*, 342-351.
- Vidosic, J. P. (1957). *Machine Design Projects*. Ronald Press Co .
- Waluyo, R., Ahmad, A. R., Pramono, G. E., & Fahrulrizal. (2020). Perancangan dan Analisis Kekuatan Rangka Cetakan Komposit Kayu-Plastik Menggunakan Finite Element Analysis. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 63-72
- Wahab, A., Rohman, M., Saepuddin, A., & Sulaiman, M. (2022). Desain dan simulasi uji kekuatan chassis mobil SEM jenis prototype menggunakan material aluminium alloy 7075. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 78-85.