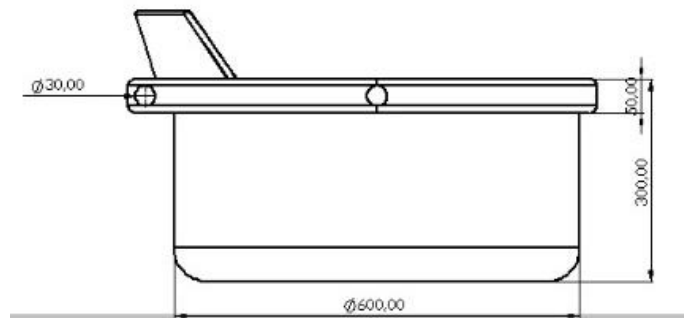


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Komponen dan Perhitungan

4.1.1 Panci Pemasakan



Gambar 4.1 Dimensi panci pemasakan

- a. Menghitung Kapasitas *Popcorn* (Sinambela, G. Y. et al. 2022).

$$Q = N \times t$$

Dimana :

Q = Kapasitas *popcorn* (kg)

N = Berat jagung mentah (kg)

t = Jumlah Batch

$$Q = N \times t$$

$$Q = 2\text{ kg} \times 1 \text{ batch}$$

$$Q = 2 \text{ kg per batch}$$

- b. Mencari Volume *Popcorn*

Diketahui volume jagung mentah 2 kg

Dimana :

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{2 \text{ kg}}{720 \text{ kg/m}^3} = 2,78 \text{ liter} \approx 2,80 \text{ liter}$$

$$V_p = N \times 20$$

Dimana :

$V_{popcorn}$ = Volume *popcorn* matang

N = Jagung mentah 2 kg (dalam satuan liter)

20 = Pengembangan *popcorn*

$$V_{popcorn} = 2,8 \text{ liter} \times 20$$

$$V_{popcorn} = 56 \text{ liter}$$

Jadi, volume *popcorn* matang adalah volume minimal dari panci pemasakan.

Jika volume *popcorn* matang yang direncanakan adalah 70% dari volume panci maksimal maka :

$$V_{panci_{maks}} = \frac{100}{70} \times V_p$$

$$V_{panci_{maks}} = \frac{100}{70} \times 56$$

$$V_{panci_{maks}} = 80 \text{ liter} \approx 80000 \text{ cm}^3$$

c. Mencari Diameter Panci Pemasakan

$$d = \pi \times r^2 \times t$$

Keterangan :

d = Diameter (cm)

$$\pi = 3,14$$

$$r = \text{Jari jari panci (cm)}$$

$$t = \text{Tinggi panci (cm)}$$

$$d = \pi \times r^2 \times t$$

$$80000 = 3,14 \times 30^2 \times t$$

$$t = \frac{80000}{3,14 \times 900}$$

$$t = 28,3 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Jadi tinggi yang digunakan untuk panci pemasakan adalah sebesar 30 cm.

4.1.2 Agitator / Mixer

- Menentukan Massa Spatula Pengaduk (Yurila Ernanda, 2017. hal: 46):

$$\rho_{\text{stainlissteel}} = 8 \text{ g/cm}^3$$

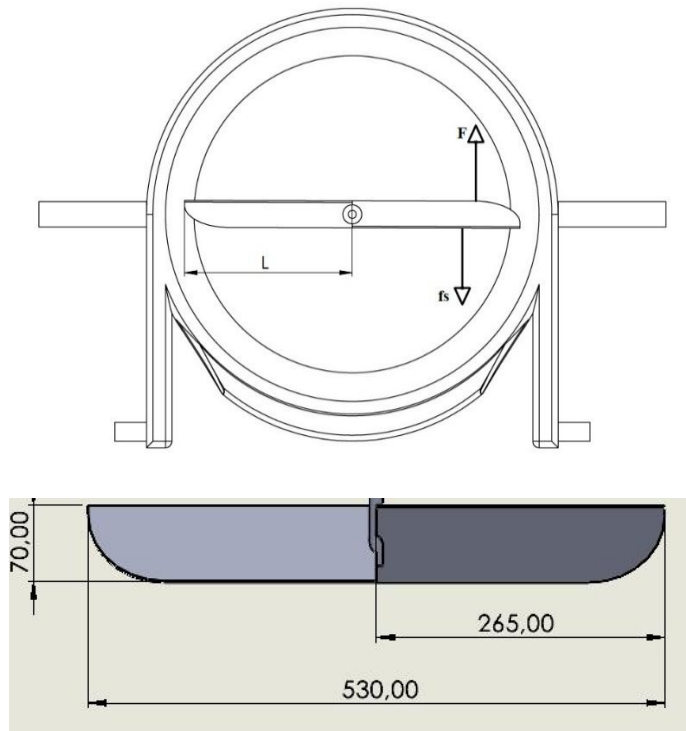
$$m = V \times \rho$$

Keterangan :

$$m = \text{Massa (kg)}$$

$$V = \text{Volume (m}^3\text{)}$$

$$\rho = \text{Massa jenis (kg/m}^3\text{)}$$



Gambar 4.2 Dimensi massa sepatula pengaduk

$$\begin{aligned}
 m &= V \times \rho \\
 &= (p \times l \times t) \times \rho \\
 &= (530 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}) \times 8 \text{ g/cm}^3 \\
 &= (53 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}) \times 8 \text{ g/cm}^3 \\
 &= 890,4 \text{ g} \approx 0,8904 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Kecepatan Pengadukan (ω) (Yessica Greselda et al. 2023):

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

Dimana:

ω = Kecepatan pengadukan (rad/s)
 n = Jumlah putaran (rpm)
 t = Waktu (s)

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 25 \text{ rpm}}{60}$$

$$\omega = \frac{157}{60}$$

$$\omega = 2,61 \text{ rad/sec}$$

c. Menghitung Gaya Normal (N) (Clara Dwipuan Munthe et al 2023):

$$N = m \times g$$

Keterangan :

m = Massa (kg)

g = Gravitasi (m/s^2)

$$N = m \times g$$

$$= (\text{massa jagung} + \text{masa mentega} + \text{massa penaduk}) \times g$$

$$= (2 + 0,5 + 0,8904) \times 9,81$$

$$= 33,26 \text{ N}$$

d. Menghitung Gaya Gesek (F_s) (Clara Dwipuan Munthe et al. 2024)

$$F_s = \mu \times N$$

Dimana :

μ = Koefisien Gesek

N = Gaya Normal (N)

$$F_s = \mu \times N$$

$$= 0,3 \times 33,26 \text{ N}$$

$$= 9,98 \text{ N}$$

e. Menghitung Torsi (Yessica Greselda et al. 2023):

$$T = F \times I$$

Di mana:

T = Torsi atau Momen Puntir (Nm)

F = Gaya yang Dibutuhkan (N)

I = Panjang Lengan (m)

$$T = F \times I$$

$$T = 9,98 \text{ N} \times 0,53 \text{ m}$$

$$T = 5,29 \text{ Nm}$$

4.1.3 Motor Servo DC

a. Menghitung Momen Inersia

$$I = \frac{1}{2} \times m \times r^2$$

Di mana :

I = Momen Inersia (Kg.m²)

m = Massa (Kg)

r = Jari – Jari (m)

$$I = \frac{1}{2} \times 0,8904 \times (0,256)^2$$

$$I = \frac{1}{2} \times 0,8904 \times 0,065536$$

$$I = 0.0291766 \text{ Kg.m}^2$$

b. Menghitung Torsi

$$T = I \cdot \frac{\omega}{\Delta t}$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

I = Momen Inersia (Kg.m²)

ω = Kecepatan pengadukan (rad/s)

Δt = Selang waktu (s)

$$T = I \cdot \frac{\omega}{\Delta t}$$

$$T = 0.0291766 \text{ kg.m}^2 \cdot \frac{2,61 \text{ rad/s}}{2 \text{ s}}$$

$$T = 0.0291766 \text{ kg.m}^2 \cdot 1.305$$

$$T = 0.038 \text{ Nm (tanpa beban)}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa torsi minimum yang dibutuhkan motor untuk memutar sistem tanpa beban adalah sekitar 0,038 N·m. Nilai ini menunjukkan kebutuhan torsi teoritis yang sangat kecil, namun dalam kondisi nyata akan meningkat karena adanya gesekan, hambatan fluida, dan beban material.

c. Menentukan Daya yang Dibutuhkan (Yessica Greselda et al. 2023)

Kecepatan motor yang direncanakan 25 rpm

$$P = \frac{T \times 2 \times \pi \times n}{60}$$

Di mana:

P = Daya (Watt)

T = Torsi atau Momen Puntir (Nm)

n = Kecepatan Motor yang Direncanakan (rpm)

π = (3,14)

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{T \times 2 \times \pi \times n}{60} \\
 &= \frac{5,29 \times 2 \times 3,14 \times 25}{60} \\
 &= \frac{830,53}{60} \\
 &= 13,84 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

d. Menghitung Daya Rencana (Sularso, 1997. hal: 4):

$$P_d = F_c \times P$$

Dimana:

P_d = Daya Rencana (kW)

F_c = Faktor Koreksi

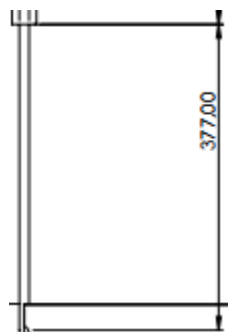
P = Daya Penggerak (kW)

$$P_d = F_c \times P$$

$$P_d = 1,2 \times 13,84 \text{ watt}$$

$$P_d = 16,61 \text{ watt} = 0,01661 \text{ Kw} = 0,0226 \text{ Hp}$$

4.1.4 Poros



Gambar 4.3 Dimensi poros

a. Daya Yang Direncanakan (Sularso, 1997. hal: 4):

$$P_d = f_c \cdot P$$

Dimana :

P_d = daya rencana (kW)

P = daya (kW)

f_c = faktor koreksi daya yang ditransmisikan

$$P_d = F_c \times P$$

$$P_d = 1,2 \times 13,84 \text{ watt}$$

$$P_d = 16,61 \text{ watt} = 0,01661 \text{ Kw} = 0,0226 \text{ Hp}$$

b. Momen Puntir (Sularso dan Kiyokatsu Suga,2004)

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1}$$

Dimana :

T = momen puntir ($N \cdot m$)

n_1 = putaran poros (rpm)

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1}$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,01661}{25}$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \times 0,0006644$$

$$T = 647,12 \text{ kg/mm} = 6,35 \text{ N.m}$$

c. Tegangan Geser yang Diijinkan (Sularso,2002):

Bahan Poros Kekuatan tarik bahan (σ_b) = SUS304 = 520 N/mm² = 52,5

kg/mm² dan dan Yield Point Strength (γ) = 205 N/mm² [menurut (Osaka Stainless)].

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{s f_1 \times s f_2}$$

Dimana :

$\tau\alpha$ = Tegangan yang Diizinkan (kg/mm^2)

σB = Kekuatan Tarik Bahan (kg/mm^2)

sf_1, sf_2 = Faktor Keamanan, untuk sf_1 memiliki harga 6,0

dan sf_2 memiliki harga 2,0

$$\tau\alpha = \frac{\sigma B}{sf_1 \times sf_2}$$

$$\tau\alpha = \frac{52,5 \text{ kg/mm}^2}{6 \times 2}$$

$$\tau\alpha = 4,375 \text{ kg/mm}^2$$

d. Diameter poros yang dibutuhkan (Falikhul Ibriza et al, 2022):

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau\alpha} \times Kt \times Cb \times T \right]^{1/3}$$

Dimana :

d_s = Diameter poros (mm)

$\tau\alpha$ = Tegangan geser yang diijinkan (N.m)

Kt = Faktor koreksi momen puntir

*1,0 jika beban dikenakan halus

*1,0 – 1,5 jika beban terjadi sedikit kejutan atau tumbukan

*1,5 – 3,0 jika beban dikenakan dengan kejutan atau tumbukan besar

Cb = Faktor koreksi untuk kemungkinan terjadinya beban lentur,

*1,0 jika diperkirakan tidak akan terjadi pembebanan lentur

*1,2 – 2,3 jika diperkirakan akan terjadi pemakaian dengan beban lentur.

Maka dimana untuk perkiraan sementara ditetapkan bahwa beban hanya terjadi karena momen puntir saja, dan diperkirakan tidak akan terjadi pembebanan lentur, sehingga harga C_b ini diambil sebesar 1,0.

T = Momen puntir ($N.m$).

$$\begin{aligned}
 d_s &= \left[\frac{5,1}{\tau \alpha} \times K_t \times C_b \times T \right]^{1/3} \\
 &= \left[\frac{5,1}{0,04290 \text{ N.m}} \times 3,0 \times 1,0 \times 3,30 \text{ N.m} \right]^{1/3} \\
 &= [118,88 \times 3,0 \times 1,0 \times 3,30 \text{ N.m}]^{1/3} \\
 &= 11,21 \text{ mm} \approx 12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk hasil perhitungan diameter poros didapatkan 11,03 mm. Akan tetapi dibulatkan menjadi 12 mm, hal tersebut disebabkan karena ukuran poros di pasaran yang paling mendekati hasil perhitungan tersebut adalah poros 12 mm.

4.1.5 Bantalan

1. Beban Ekuivalen Dinamis

Beban ekuivalen dinamis adalah suatu beban yang memberikan umur yang sama dengan umur yang diberikan oleh beban dan kondisi putaran yang sebenarnya, maka nilai $V = 1$, harga faktor $X = 0,56$, dan $Y = 2$. (Niemen, 1992). Beban ekuivalen dinamis dihitung dengan rumus (Khurmi, R.S. and Gupta, J.K. (2005). *a Textbook of Machine Design*)

$$Pr = X \cdot V \cdot Wr + Y \cdot Wa$$

Dimana :

Pr = Beban Ekivalen Dinamis (kg)

X = Faktor Beban Radial

V = Faktor Putaran

Wr = Beban Radial (kg)

Y = Faktor Beban Aksial

Wa = Beban Aksial (kg)

$$Pr = X \cdot V \cdot Wr + Y \cdot Wa$$

$$Pr = 0,56 \cdot 1 \cdot 0 \text{ kg} + 2 \cdot 3,30$$

$$Pr = 6,6 \text{ kg}$$

Adapun beberapa faktor yang diperhatikan dalam perencanaan bantalan ini yaitu :

a. Faktor Kecepatan Putaran Bantalan (Fn) (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004):

$$f_n = \left| \frac{33,3}{n} \right|^{1/3}$$

Dimana :

fn = Faktor Kecepatan Putaran

n = Putaran

$$f_n = \left| \frac{33,3}{n} \right|^{1/3}$$

$$f_n = \left| \frac{33,3}{25} \right|^{1/3}$$

$$f_n = 1,100$$

b. Faktor Umur Bantalan (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004):

$$f_h = f_n \frac{C}{P}$$

Dimana :

f_n = Faktor Kecepatan Putaran

f_h = Faktor Umur

C = Beban Normal Spesifik (kg)

P = Beban Ekivalen Dinamis (kg)

$$f_h = f_n \frac{C}{P}$$

$$f_h = 1,100 \frac{41,49}{6,6}$$

$$f_h = 6,915$$

c. Menghitung Beban Dinamis

Diketahui data dari perhitungan putaran mesin dan beban ekivalen yaitu :

$$Pr = 6,6 \text{ kg}$$

$$n = 25 \text{ rpm}$$

$$L_h = 5000$$

Dengan menggunakan rumus beban dinamis, maka dapat menghitung beban dinamis dari data yang sudah didapat sebagai berikut :

$$f_h = f_n \frac{C}{P}$$

$$C = Pr \times \frac{f_h}{f_n}$$

$$C = 6,6 \times \frac{\sqrt[10]{\frac{L_n^3}{500}}}{1,100}$$

$$C = 6,6 \times \frac{6,915}{1,100}$$

$$C = 41,49 \text{ kg}$$

Dari hasil perhitungan diketahui, nilai C bantalan (1427 kg) > nilai C perhitungana (41,49 kg), maka bantalan tersebut aman dan memenuhi persyaratan untuk $L_h = 5000$ jam.

d. Faktor Keandalan Umur Bantalan (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004):

$$L_n = a_1 \times a_2 \times a_3 \times L_h$$

Dimana :

L_n = Faktor Keandalan Umur Bantalan

a_1 = Faktor Keandalan (Tabel 4.4) yaitu $a_1 = 1$ bila keandalan 90% dipakai seperti biasanya atau 0,21 bila keandalan 99% dipakai.

a_2 = Faktor Bahan yaitu jika $a_2 = 1$ untuk bahan baja bearing yang dicairkan secara terbuka, dan kurang lebih = 3 untuk baja bearing de gas hampa.

a_3 = Faktor Kerja yaitu jika $a_3 = 1$ untuk kondisi kerja normal, dan kurang 1 untuk hal-hal berikut ini:

- Bearing bola, dengan pelumasan minyak berviskositas 13 (cSt) atau kurang.
- Bearing rol, dengan pelumasan minyak berviskositas 20 (cSt) atau kurang.
- Kecepatan rendah, yang besarnya sama dengan atau kurang dari 10000 rpm dibagi diameter jarak bagi elemen gelinding.

Keandalan umur bantalan, jika mengambil 95% dimana:

a_1 = Faktor Keandalan 95% - 0,62

a_2 = Faktor Bahan = 1

$$a_3 = \text{Faktor Kerja} = 1 \text{ (kondisi kerja normal)}$$

$$L_n = a_1 \times a_2 \times a_3 \times L_h$$

$$L_5 = 0,62 \times 1 \times 1 \times 5000$$

$$L_5 = 3.100 \text{ jam}$$

e. Umur Nominal Bantalan (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004):

$$L_h = 500 \times f_h^3$$

Dimana :

$$L_h = \text{Umur Nominal Bantalan (jam)}$$

$$f_h = \text{Umur Bantalan}$$

$$L_h = 500 \times f_h^3$$

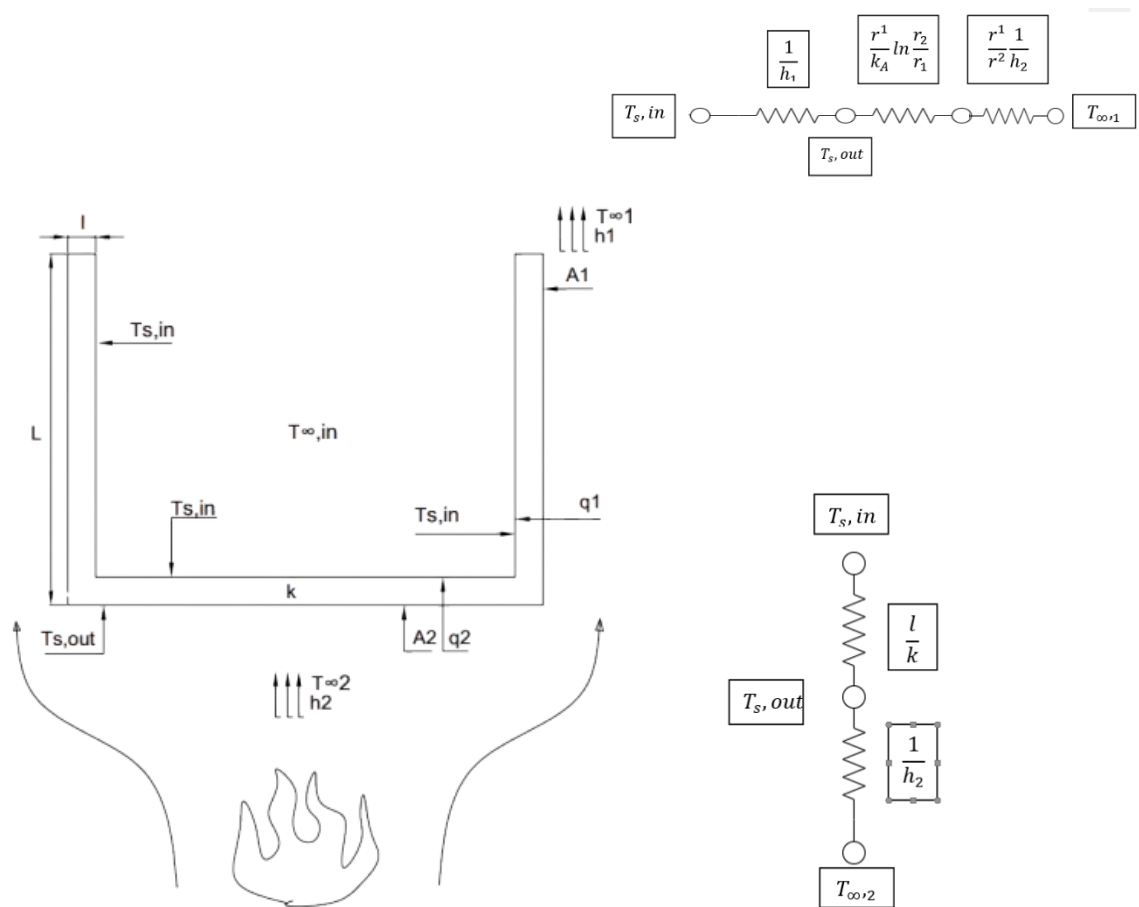
$$L_h = 500 \times 6,915^3$$

$$L_h = 165.328 \text{ jam}$$

4.2 Perhitungan Perpindahan Panas

4.2.1 Single Burner Gas Stove (Kompur Gas)

Perpindahan panas yang terjadi pada mesin pembuat berondong jagung ini yaitu perpindahan panas secara konduksi dan konveksi (konveksi alamiah). Maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :



Gambar 4.4 Skema perpindahan panas panci

Keterangan :

$T_{s, in}$: Temperatur Permukaan Dalam Sisi Vertikal dan Horizontal Panci ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{s, out}$: Temperatur Permukaan Luar Sisi Vertikal dan Horizontal Panci ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{\infty,1}$: Temperatur Udara Sekitar Panci ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{\infty,2}$	: Temperature Udara Sekitar Kompor ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\infty,\text{in}}$	: Temperature Udara Dalam Panci ($^{\circ}\text{C}$)
L	: Ketinggian Panci (cm)
l	: Ketebalan Panci (cm)
A_1	: Luas Permukaan Vertikal (cm)
A_2	: Luas Permukaan Horizontal (cm)
h_1	: Koefisien konveksi sisi dalam ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
h_2	: Koefisien konveksi sisi luar ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
k	: Konduktivitas thermal bahan ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$)

Berdasarkan gambar skema kalkulasi perpindahan kalor diatas diasumsikan bahwa kalkulasi dilakukan dengan batasan analisis yaitu heat loss keatas diabaikan, kalor panci sisi atas ke popcorn diabaikan, dan radiasi yang keluar ke lingkungan juga diabaikan.

1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi yaitu terjadi antara bagian permukaan luar panci dengan permukaan dalam panci, maka dapat dihitung dengan rumus (Frank P. Incropera et al. (2006). '*Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition*'. John Wiley & Sons, Inc.):

$$q = -kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} = -\frac{\Delta T}{\Delta x/kA}$$

Keterangan :

q = Laju perpindahan panas konduksi (W)

A = Luas permukaan aliran panas (m^2)

k = Konduktivitas thermal bahan ($\text{W/m}^\circ\text{K}$)

$\frac{dT}{dx}$ = Gradien suhu pada penampang atau perubahan suhu T ($^\circ\text{K}$)

Terhadap jarak x (m)

Panci berbentuk tabung $d = 600$ mm, $t = 300$ mm

A = $2.826 \text{ cm}^2 = 0,2826 \text{ m}^2$

k = $186 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ (ketika suhu 371°C (644°K))

ΔT = $644^\circ\text{K} - 301^\circ\text{K} = 343^\circ\text{K}$ (70°C)

Δx = $0,015 \text{ m}$ ($1,5 \text{ cm} = 15 \text{ mm}$)

$$\begin{aligned} q &= -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \\ &= -186 \times 0,2826 \times \frac{70}{0,015} \\ &= -186 \times 0,2826 \times 4667 \\ &= 245,296 \text{ W} \end{aligned}$$

Jadi untuk hasil perhitungan perpindahan panas secara konduksi didapatkan nilai $245,296 \text{ W}$. Hasil tersebut secara realita adalah perpindahan perambatan panas dari permukaan bawah panci sisi luar (T_s, out) menuju permukaan bawah panci sisi dalam (T_s, in), konsep ini sesuai dengan prinsip kalor konduksi yaitu kalor mengalir dari sisi yang bersuhu tinggi ke sisi yang bersuhu rendah sesuai pada gambar diatas.

2. Perpindahan Panas Konveksi (Konveksi Alamiyah – Kondisi Vertikal dan Horizontal Panci)

Perpindahan panas secara konveksi terjadi karena pergerakan massa fluida dimana kalor yang ditimbulkan dari api dengan temperatur kinerja kompor yang mengenai permukaan bawah panci sisi luar (horizontal) (T_s, out) dan merambat atau

bergerak menuju sisi dinding luar panci bagian samping kiri dan kanan (vertikal) ($T_{s, in}$). Diduga bahwa suhu dinding luar panci samping kiri dan kanan (vertikal) ($T_{s, in}$) dianggap sama dengan kondisi suhu bagian bawah panci sisi luar (horizontal) ($T_{s, out}$) yang terkena hantaran panas api dari kompor, dengan tetap memperhatikan suhu udara sekitar luar panci ($T_{\infty, 1}$) yang diketahui dengan melakukan pengukuran menggunakan alat ukur suhu (*thermocouple*). Selanjutnya diduga bahwa *heat loss* pada panci yang arah kalor menuju ke atas, bawah, kiri, dan kanan panci diabaikan. Maka pada panci (plat datar) dapat dihitung dengan rumus (Frank P. Incropera et al. (2006). '*Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition*'. John Wiley & Sons, Inc.):

a. Konveksi Vertikal

- Rayleigh Number

$$Ra_L = \frac{g \times \beta \times (T_{s,out} - T_{\infty,1}) \times L^3}{\nu \times \alpha}$$

- Mencari T_{film}

$$T_{film} = \frac{T_s + T_{\infty}}{2}$$

$$= \frac{371 \text{ }^{\circ}\text{C} + 28 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$= 199,5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 473 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{film}}$$

$$= \frac{1}{473 \text{ } ^\circ K}$$

$$= 0,002114 \text{ } K^{-1} \approx 2,114 \times 10^{-3} / K^{-1}$$

$$Ra_L = \frac{g \times \beta \times (T_{s,out} - T_{\infty,1}) \times L^3}{V \times \alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \text{ } m/s \times 2,114 \times 10^{-3} / K^{-1} \times (371 \text{ } ^\circ C - 28 \text{ } ^\circ C) \times (0,3)^3 m^3}{78,57 \times 10^{-6} \text{ } m^2/s \times 100,82 \times 10^{-6} \text{ } m^2/s}$$

$$= \frac{9,81 \text{ } m/s \times 2,114 \times 10^{-3} / K^{-1} \times (343 \text{ } ^\circ C) \times 0,027 \text{ } m^3}{78,57 \times 10^{-6} \text{ } m^2/s \times 100,82 \times 10^{-6} \text{ } m^2/s}$$

$$= \frac{0,192077}{7,885 \times 10^{-9}}$$

$$= 2,42 \times 10^7$$

- Nusselt Number

$$Nu_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0,492 / Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times (2,42 \times 10^7)^{1/6}}{[1 + (0,492 / 0,6915)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= \left\{ 0,825 + \frac{7,728}{1,364} \right\}^2$$

$$= \{0,825 + 5,666\}^2$$

$$= 40,09$$

- Nilai h_1

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{Nu_L \times k_{fluida}}{L} \\
 &= \frac{40,09 \times 0,032 \text{ W/m}^\circ\text{K}}{0,3 \text{ W/m}^\circ\text{K}} \\
 &= 4,28 \text{ W/m}^2\text{K}
 \end{aligned}$$

- Nilai U_1

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{r^1}{k_A} \ln \frac{r^2}{r_1} + \frac{r^1}{r^2} \frac{1}{h_2}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{4,28 \text{ W/m}^2\text{K}} + \frac{0,285 \text{ m}}{205 \text{ W/m}^\circ\text{K}} \ln \frac{0,3 \text{ m}}{0,285 \text{ m}} + \frac{0,285 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} \frac{1}{4,94 \text{ W/m}^2\text{K}}} \\
 &= \frac{1}{0,2336 + 0,0000713 + 0,1923} \\
 &= \frac{1}{0,4260} \\
 &= 2,35 \text{ W/m}^2\text{K}
 \end{aligned}$$

- Nilai Q_1

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= U_1 \times A_1 \times (\Delta T) \\
 &= 2,35 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,565 \text{ m} \cdot 343^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$Q_1 = 455 \text{ W}$$

b. Konveksi Horizontal

a.) $Ra_L = 2,42 \times 10^7$

b.) $T_\infty = 28^\circ C$

Tabel 4.1 Data perhitungan konveksi horizontal

	T_{fluida}	k	ν	α	Pr	$\beta(\frac{1}{T_{fluida}})$
Udara	$478^\circ K$	$39,20 \times 10^3$	$35,98 \times 10^6$	$52,52 \times 10^6$	0,684	$2,092 \times 10^{-3} K^{-1}$
Aluminium	$659^\circ K$	227,17	—	—	—	$1,517 \times 10^{-3} K^{-1}$

Maka:

a.) $Nu_L = 0,27 Ra_L^{\frac{1}{4}}$

$$= (2,42)^{\frac{1}{4}} \times (10^7)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 1,246 \times 10^{1,75}$$

$$= 1,246 \times 56,23$$

$$= 70,08$$

$$= 0,27 \times 70,08$$

$$= 18,92$$

b.) $L = \frac{A_s}{P}$

$$A_s = \pi r^2$$

$$= 3,14 \times 30^2$$

$$= 2.826 \text{ cm}^2$$

$$\text{Perimeter (keliling panci)} = \pi \times D$$

$$= 3,14 \times 60 \text{ cm}$$

$$= 188,4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Maka, } L = \frac{A_s}{P} = \frac{2.826 \text{ cm}^2}{188,4 \text{ cm}^2} = 15 \text{ cm}^2 = 0,15 \text{ m}^2$$

$$\text{c.) } h_2 = \frac{Nu_L \times k_{fluida}}{L}$$

$$h_2 = \frac{18,92 \times 39,20 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2\text{K}}{0,15}$$

$$h_2 = 4,94 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{d.) } U_2 = \frac{1}{\frac{1}{h_2} + \frac{l}{k}}$$

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{4,94} + \frac{0,0015}{227,17}}$$

$$U_2 = \frac{1}{0,2024 + 0,000006605}$$

$$U_2 = \frac{1}{0,2024066}$$

$$U_2 = 4,94 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Maka nilai Q_2 dapat ditentukan dengan:

$$Q_2 = U_2 \times A_2 \times (\Delta T)$$

$$Q_2 = 4,94 \text{ W/m}^2\text{K} \times 2826 \text{ cm}^2 \times (371^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C})$$

$$Q_2 = 4,94 \text{ W/m}^2\text{K} \times 2826 \text{ cm}^2 \times 343^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 478,85 \text{ W}$$

3. Perpindahan Panas Transient

Perpindahan panas konduksi transien adalah permasalahan yang biasanya muncul ketika kondisi batas dari suatu sistem berubah. Misalnya, jika temperatur permukaan dari suatu sistem diubah, temperatur di setiap titik dalam sistem juga akan berubah.

Perubahan akan terus terjadi hingga distribusi temperatur tunak tercapai.

Maka untuk menentukan perpindahan panas konduksi secara transient yaitu dengan :

a. Mencari nilai h yaitu :

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{\rho \left(\pi D^{\frac{3}{6}} \right) C_p}{t (\pi D^2)} \ln \frac{T_{\infty} - T_i}{T_{\infty} - T} \\
 &= \frac{720 \frac{kg}{mm^3} \left(3,14 \times 0,586 m^{\frac{3}{6}} \right) \times 1.112 kJ/kg^{\circ}C}{366s (3,14 \times 0,586^2 m^2)} \ln \frac{324^{\circ}C - 28^{\circ}C}{324^{\circ}C - 295^{\circ}C} \\
 &= \frac{1.924.490,3589}{394.644,41904} \times 2,323063624 \\
 &= 11,3284 W/m^2K
 \end{aligned}$$

b. Mencari nilai konstanta waktu thermal (τ_t) yaitu :

$$\tau_t = \left(\frac{1}{h \cdot A} \right) \times (\rho \times V \times C_p)$$

Dikarenakan bentuk biji jagung diasumsikan sebagai bentuk menyerupai bola, maka perlu menentukan karakteristik panjang (L_c) dengan *lump capacitance* berbentuk bola diketahui rumus volume dan perhitungan luas untuk biji jagung yaitu :

$$V = \frac{\pi D^3}{6} \text{ dengan } A = \pi D^2$$

Maka,

$$\tau_t = \left(\frac{1}{hA} \right) \times (\rho \times V \times C_p) = \frac{\rho \times C_p}{h} \times \frac{V}{A} = \frac{\rho \times C_p}{h} \times \left(\frac{D}{6} \right)$$

Jadi terlebih dahulu menentukan length characteristic atau karakteristik panjang (L_c)

xsebagai berikut :

$$L_c = \frac{V}{A} = \frac{D}{6} = \frac{0,586 \text{ m}^2}{6} = 0,09767 \text{ m}^2$$

Maka nilai konstanta waktu thermal (τ_t) dapat ditentukan dengan :

$$\tau_t = \left(\frac{1}{hA}\right) \times (\rho \times V \times Cp) = \frac{\rho \times Cp \times D}{h}$$

$$\tau_t = \frac{\rho \times Cp \times D}{h} = \frac{720 \text{ kg/mm}^2 \times 1.112 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 0,09767 \text{ m}^2}{11,3284 \text{ W/m}^2\text{K}} = 6903 \text{ s}$$

$$\tau_t = 6,9 \times 10^3 \text{ s} = 6,9\tau_t \text{ atau } 1,92 \text{ jam}$$

c. Mencari nilai Q yaitu :

Nilai Q ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = (\rho \times V \times Cp) \times \theta_i \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_t}\right)\right]$$

Maka, terlebih dahulu mengetahui nilai θ_i yaitu :

$$\theta_i = T_\infty - T_i = 324^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C} = 296^\circ\text{C}$$

Nilai θ_i sebesar 296°C

Melanjutkan perhitungan nilai Q yaitu :

$$Q = (\rho \times V \times Cp) \times \theta_i \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_t}\right)\right]$$

Maka, sebelum menentukan nilai Q, ditentukan dahulu mengenai volume, karena biji jagung menyerupai bentuk bola maka volume dapat dihitung dengan :

$$V = \frac{\pi D^3}{6} = \frac{3,14 \times 0,586^3}{6} = 0,10536 \text{ m}^3$$

Setelah mengetahui volume biji jagung (menyerupai bentuk bola) maka nilai Q dapat ditentukan dengan :

$$Q = (720 \text{ kg/mm}^2 \times 0,10536 \text{ m}^2 \times 1.112 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) \times 296^\circ\text{C} \left[e^{-\left(\frac{t}{\tau_t}\right)} \right]$$

$$Q = (84.571 \text{ J/K}) \times 296^\circ\text{C} \left[e^{-\left(\frac{366}{6903}\right)} \right]$$

$$Q = (84.571 \text{ J/K}) \times 296^\circ\text{C} \times [0,051639]$$

$$Q = 3524 \text{ W}$$

4.2.2 Liquefied Pteroleum Gas (LPG)

Pada perhitungan gas LPG ini digunakan untuk mengetahui seberapa banyak konsumsi gas LPG per pemasakan jagung menjadi berondong jagung (*popcorn*) dan dapat digunakan sebagai nilai ekonomis. 1 kg LPG dapat menghasilkan energi panas sebesar 46,6 MJ (Riesta et al., 2019). Maka jumlah energi panas yang digunakan untuk pemasakan berondong jagung adalah:

$$Q_{total} = Q_{konduksi} + Q_{konveksi}(\text{vertikal} + \text{horizontal} + \text{transien})$$

Keterangan:

$$Q_{konduksi} = 245,296 \text{ W}$$

$$Q_{konveksi} = 829,10 \text{ W (vertikal)}$$

$$= 478,85 \text{ W (horizontal)}$$

$$= 3524 \text{ W (transien)}$$

$$Q = Q_{konduksi} + Q_{konveksi}(\text{vertikal} + \text{horizontal} + \text{transien})$$

$$Q = 245,296 \text{ W} + (455 \text{ W} + 478,85 \text{ W} + 3524 \text{ W})$$

$$Q_{total} = 4.703,146 \text{ W} = 4,7 \text{ kW} = 16.920 \text{ kJ}$$

Hasil tersebut didapat dengan menghitung Q_{total} yaitu jumlah dari $Q_{konduksi}$ ditambah $Q_{konveksi}(\text{vertikal} + \text{horizontal} + \text{transien})$ dari perhitungan sebelumnya. Jadi, 1 kg gas LPG yang menghasilkan energi panas sebesar 46,6 MJ dapat mencukupi

kebutuhan energi panas (kalor) pemasakan berondong jagung kapasitas 2 kg yang energi panasnya 16.920 kJ. Maka perkiraan berat LPG yang terpakai dalam pemasakan 2 kg berondong jagung adalah sebesar :

$$\text{Berat gas LPG terpakai} = \frac{\text{Total energi memasak (kJ)}}{\text{Energi per 1 kg gas LPG (kJ/kg)}}$$

$$\text{Berat gas LPG terpakai} = \frac{16.920 \text{ kJ}}{46.600 \text{ kJ}}$$

$$\text{Berat gas LPG terpakai} = 0.3629 \text{ kg} = 362,9 \text{ gram}$$

Maka diketahui konsumsi gas jika pemasakan 2 kg sesuai perhitungan berondong jagung adalah sebesar 0.3629 kg atau 362,9 gram gas LPG.

Kemudian untuk konsumsi gas secara eksperimen yaitu didapat berat awal tabung gas sebelum pemasakan sebesar 5.380 gram dan berat tabung gas setelah pemasakan didapat sebesar 5.290 gram, maka selisihnya adalah 90 gram atau 0,09 kg.

- a. Menghitung energi gas eksperimen

$$\begin{aligned} Q_{gas} &= 0,09 \text{ kg} \times 46,6 \text{ MJ} \\ &= 4,194 \text{ MJ} = 4.194.000 \text{ J} \end{aligned}$$

- b. Menghitung daya gas eksperimen

$$\begin{aligned} P_{gas} &= \frac{Q_{gas}}{t} \\ &= \frac{4.194.000}{366} \\ &= 11.445,74 \text{ W} = 11,45 \text{ kW} \end{aligned}$$

- c. Menghitung *heat losses*

$$H_{ls} = \frac{P_{gas} - Q_{total}}{P_{gas}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{11,45 \text{ kW} - 4,7 \text{ kW}}{11,45 \text{ kW}} \\
 &= \frac{6,75 \text{ kW}}{11,45 \text{ kW}} \\
 &= 0,5895 \approx 58,95\%
 \end{aligned}$$

e. Menghitung efisiensi

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{Q_{total}}{P_{gas}} \times 100 \% \\
 &= \frac{4,7 \text{ kW}}{11,45 \text{ kW}} \times 100\% \\
 &= 0,4105 \approx 41,05 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengamatan, total energi panas yang dibutuhkan untuk proses pemasakan berondong jagung seberat 2 kg adalah sebesar 568,689 kJ atau setara dengan 1,553246 kW. Dengan asumsi bahwa 1 kg gas LPG menghasilkan energi sebesar 46,6 MJ, maka kebutuhan gas LPG secara teoritis diperkirakan h sekitar 362,9 gram. Sementara itu, hasil pengukuran eksperimental menunjukkan bahwa konsumsi aktual gas LPG mencapai 0,09 kg atau 90 gram, yang setara dengan energi sebesar 4,194 MJ atau 11,45 kW. Perbedaan ini menggambarkan adanya sebagian energi panas yang tidak sepenuhnya terserap oleh sistem pemasakan.

Melalui perhitungan, diperoleh bahwa efisiensi termal proses pemasakan berada pada kisaran 41,05%, dengan indikasi adanya kehilangan panas sebesar 59,95%. Meskipun demikian, nilai efisiensi ini masih wajar untuk sistem pemasakan terbuka atau semi-terbuka, dan dapat ditingkatkan lebih lanjut melalui optimalisasi desain alat, peningkatan isolasi termal, serta pengaturan distribusi panas yang lebih merata.

4.3 Fabrikasi Alat

Setelah melalui tahap perancangan desain menggunakan *SolidWorks* dan perhitungan komponen, tahap selanjutnya adalah proses fabrikasi atau perakitan. Proses ini dilakukan dengan mengacu pada gambar kerja dan spesifikasi material yang telah ditentukan. Hasilnya adalah sebuah prototipe mesin pembuat berondong jagung (*popcorn*) yang siap untuk diuji.

Berikut adalah wujud fisik dari mesin pembuat berondong jagung (*popcorn*) kapasitas 2 kg per *batch* yang telah berhasil kami bangun, dengan dimensi keseluruhan alat dengan panjang 200 cm, lebar 75 cm, dan tinggi 115 cm. Alat ini difabrikasi di Workshop STr. Rekayasa Perancangan Mekanik yang berlokasi di Jl. Hayam Wuruk No. 03, Pleburan, Kec. Semarang Sel., Kota Semarang, Jawa Tengah, 50241.

Mesin ini merupakan integrasi dari beberapa sistem utama yaitu sistem pemanas, sistem pengadukan mekanis, dan sistem kontrol. Setiap komponen dibuat dengan material yang telah direncanakan untuk memastikan kekuatan, keamanan pangan (*food safety*), dan daya tahan mesin.



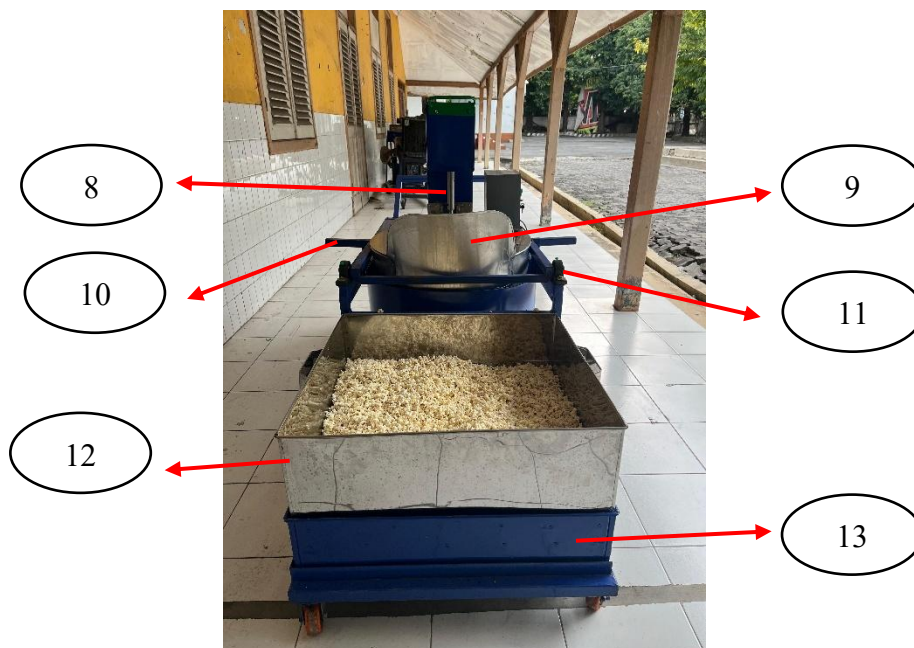
Gambar 4.5 Mesin Berondong Jagung

4.3.1 Bagian Komponen Mesin

Berikut merupakan hasil dan fabrikasi mesin pembuat berondong jagung :



Gambar 4.6 Mesin berondong jagung tampak samping kiri



Gambar 4.7 Mesin berondong jagung tampak depan



Gambar 4.8 Mesin berondong jagung tampak belakang

Tabel 4.2 Nama bagian komponen

No	Bagian Komponen
1	Motor Servo
2	Sensor <i>Mixer</i>
3	Tutup Panci
4	Pintu Tabung Gas
5	Kompor
6	Rangka Utama
7	Wadah Peniris Minyak
8	<i>Mixer</i>
9	Corong Panci
10	Tuas Penuang Panci
11	<i>Bearing</i>
12	Wadah <i>Popcorn</i>
13	Rangka Penopang Wadah
14	Panel <i>Box</i>
15	Tuas Pendorong Mesin
16	Roda Mesin

4.3.2 Spesifikasi Mesin Pembuat Berondong Jagung

Adapun spesifikasi pada mesin pembuat berondong jagung (*popcorn*) adalah seperti pada tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4.3 Spesifikasi mesin pembuat berondong jagung

Bagian	Komponen	Material	Spesifikasi (cm)
Kerangka	Rangka Utama	Besi <i>Hollow</i>	200 x 75 x 45
	Rangka Kepala <i>Mixer</i>	Besi <i>Hollow</i>	68 x 54 x 20
	Rangka <i>Box</i>	Besi <i>Hollow</i>	70 x 44 x 45
	Rangka Tuas Pendorong Mesin	Besi <i>Hollow</i>	62 x 43 x 4
	Rangka Wadah Penampung <i>Popcorn</i>	Galvanis	75 x 73 x 36
Panci	Panci <i>Popcorn</i>	<i>Aluminium</i>	60 x 30
	Corong Panci	<i>Aluminium</i>	
	Tutup Panci	<i>Stainless Steel</i>	65 x 35
	Lubang Tutup Panci	<i>Stainless Steel</i>	10 x 5
Pengaduk	<i>Mixer</i>	<i>Stainless Steel</i>	53 x 60
	<i>Popcorn</i> Sensor Level	<i>Stainless Steel</i>	
	Sambungan <i>Mixer</i> dengan Motor	<i>Stainless Steel</i>	14 x 3
Penampung	Wadah Penampung <i>Popcorn</i>	<i>Stainless Steel</i>	74 x 73 x 35
	Wadah Peniris Minyak	<i>Stainless Steel</i>	74 x 73 x 7
Pemasakan	Kompur <i>Single Burner</i>	Besi Cor	58 x 33 x 13
Penggerak	Motor Servo	<i>Aluminium</i>	25 RPM, 250 Watt, 24 V

4.3.3 Cara Kerja Mesin

Cara kerja mesin pembuat berondong jagung (*popcorn*) yaitu:

Hubungkan streker ke stop kontak/sumber listrik, dan putar tuas *on* ke kanan maka kelistrikan mesin akan hidup dan lampu indikator menyala berwarna hijau. Kemudian angkat kepala *mixer* ke arah luar mesin agar tutup panci dan *mixer* terangkat supaya dapat melihat kondisi panci. Atur suhu pada *microcontroller* ke suhu yang ingin di tetapkan. Pada saat mengatur suhu, *display* akan menunjukkan menu PV (*Proces Value*) dan SV (*Set Value*). Tekan menu *set* kemudian *display* akan menunjukkan nilai SV yang berkedip, setelah itu set ke angka yang diinginkan dengan menekan tombol

panah atas atau panah bawah. Setelah selesai mengatur suhu yang diinginkan, tekan kembali tombol *set* atau biarkan sampai SV tidak berkedip. Kemudian nyalakan kompor dan masukkan margarin 500 gram dan jagung 2 kilogram ke dalam panci. Selanjutnya, tutup kepala *mixer* kembali agar posisi *mixer* dapat lurus vertikal dan panci tertutup rapat oleh tutup panci. Kemudian hidupkan *mixer* dengan tombol putar ke kanan, maka *mixer* akan berputar memutar bahan yaitu mentega dan jagung yang sudah dimasukkan ke dalam panci. Selanjutnya menunggu jagung matang dengan tetap memperhatikan suhu panci yang dapat dilihat pada *microcontroller* dan menghitung waktu matang jagung menjadi berondong jagung dengan *timer* pada jam, jika suhu melebihi suhu pada panci maka api kompor akan mengecil. Kemudian jika jagung mencapai waktu pematangan dan menimbulkan bunyi meledaknya jagung maka tunggu proses meledak jagung menjadi *popcorn* selesai sesuai waktu pemasakan dan suhu kematangan yang dicapai. Selanjutnya, untuk mengecek kematangan jagung menjadi berondong jagung dapat dilihat pada bukaan tutup lubang pada panci, jika sudah matang merata maka tutup kembali dan tunggu hingga mati sendiri akibat *popcorn* mendorong sensor *off* pada *mixer* yang terdapat di dalam panci dalam posisi menggantung disamping *mixer* jika sudah kemudian matikan kompor serta *mixer* pada panel *box*. Buka kepala *mixer* keluar dan tutup panci lalu angkat tuas penuang panci ke samping kiri pada wadah penampung *popcorn*, tuang dengan hati-hati ke wadah penampung *popcorn*. Kemudian jika sudah tertuang dalam wadah penampung *popcorn*, posisikan kembali panci seperti semula. Sisa minyak atau pun remahan *popcorn* akan jatuh ke dalam wadah peniris minyak. Selanjutnya matikan sumber kelistrikan mesin yaitu dengan memutar tuas sumber ke arah kiri sampai lampu indikator mati dan berondong jagung sudah siap.

4.4 Pengujian

Berikut merupakan proses dan hasil pengujian mesin pembuat berondong jagung (*popcorn*) kapasitas 2 kg per *batch*. Proses pengujian dilakukan sebanyak lima kali dengan variasi suhu dalam panci pemasakan yaitu 280°C, 285°C, 290°C, 295°C, 300°C :

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian

PARAMETER UJI	PENGUJIAN DENGAN SUHU				
	280°C	285°C	290°C	295°C	300°C
Suhu jagung mentah	27,2°C	28°C	27,5°C	28°C	28°C
Suhu jagung meletup	310°C	317°C	328°C	324°C	334°C
Suhu panci bawah	360°C	363°C	366°C	371°C	377°C
Suhu panci atas	333°C	347°C	350°C	352°C	356°C
Suhu kompor	380°C	384°C	385°C	390°C	396°C
Suhu sensor saat jagung meletup	286°C	289°C	292°C	298°C	311°C
<i>Popcorn</i> matang	216°C	229°C	233°C	243°C	261°C
Waktu pemasakan	13 menit	9,2 menit	7,5 menit	6,1 menit	4,9 menit
Berat jagung awal	2 kg	2 kg	2 kg	2 kg	2 kg
Berat <i>popcorn</i> jadi	1,8 kg	1,82 kg	1,89 kg	2,075 kg	2,050 kg
Berat awal tabung gas + isi	5,92 kg	5,56 kg	5,70 kg	5,38 kg	5,26 kg
Berat akhir gas tabung gas + isi	5,75 kg	5,42 kg	5,59 kg	5,29 kg	5,11 kg
Pengurangan berat gas	0,17 kg	0,14 kg	0,11 kg	0,09 kg	0,15 kg
Efisiensi gas LPG	19,29%	23,42%	26,62%	41,05%	18,28%

Berikut ini merupakan tabel dokumentasi beserta analisa grafik hasil pengambilan data sebanyak lima kali dengan variasi suhu dalam panci pemasakan yaitu 280°C, 285°C, 290°C, 295°C, 300°C.

Pengambilan data dengan variasi suhu dalam panci pemasakan akan menghasilkan beberapa perbedaan diantaranya yaitu, perbedaan pada lama waktu pemasakan, perbedaan banyak sedikitnya pemakaian gas pada pemasakan, dan perbedaan pada berat hasil berondong jagung itu sendiri seperti warna *popcorn* serta

banyaknya jagung yg tidak meletup atau bahkan gosong. Diduga jika berat berondong jagung matang merata melebihi berat jagung mentah awal (diduga kadar air jagung mentah sekitar 13%) dikarenakan ada faktor kadar air (mentega yang sudah dicairkan meresap ke berondong jagung) yang terkandung didalam berondong jagung. Kemudian mengenai berat berondong jagung yang beratnya dibawah (1,8 kg) berat jagung mentah awal (2 kg), diduga ada beberapa faktor yang mempengaruhinya seperti jagung tidak matang sempurna, terdapat jagung yang gosong, jagung tidak meletup menjadi berondong jagung serta faktor nyala api yang tidak stabil, dan oleh karena itu mempengaruhi berat akhir berondong jagung.

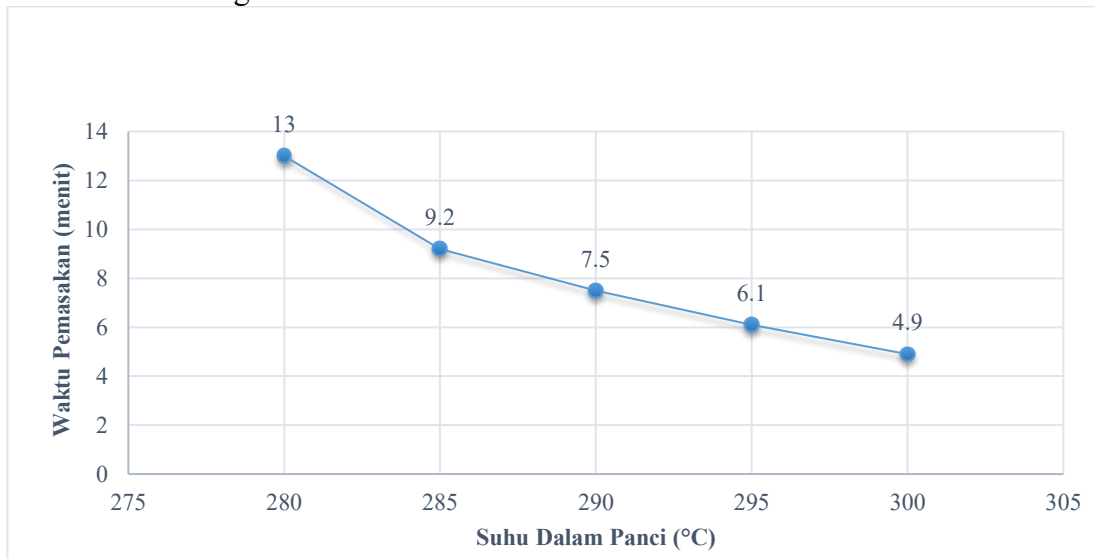
Tabel 4.5 Dokumentasi Hasil Pengujian

Percobaan	Suhu (°C)	Hasil Percobaan	Keterangan
1	280		<i>Popcorn</i> berwarna putih dengan bau sangit banyak biji yang belum meledak.
2	285		Rasa sedikit sangit karena menunggu <i>Popcorn</i> yang lain meletup.

Tabel 4.6 Lanjutan

3	290		Pengembangan merata rasa gurih.
4	295		Pengembangan merata warna bagus rasanya gurih.
5	300		<i>Popcorn</i> sedikit banyak yang gosong rasanya gosong.

1. Grafik Hubungan Suhu Dalam Panci dan Waktu Pemasakan



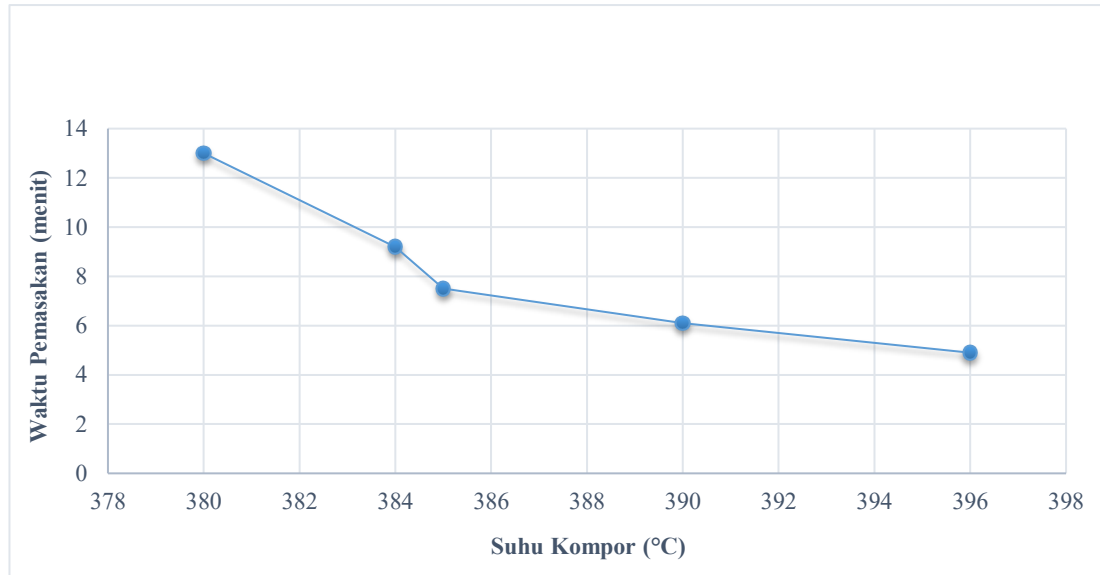
Gambar 4.9 Grafik hubungan Suhu Dalam Panci dan Waktu Pemasakan

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa Untuk mengetahui pengaruh variabel suhu terhadap efisiensi waktu proses, telah dilakukan pengujian dengan mengatur suhu dalam panci dengan rentang 280°C hingga 300°C. Hasil pengujian, yang disajikan pada gambar grafik 4.9, menunjukkan adanya korelasi negatif yang signifikan antara suhu yang diatur dengan waktu pemasakan *popcorn*. Tercatat pada pengaturan suhu terendah (280°C), waktu pemasakan mencapai 13 menit, sedangkan pada pengaturan suhu tertinggi (300°C), waktu pemasakan dapat direduksi secara drastis hingga 4,9 menit.

Hal ini dapat dijelaskan melalui prinsip fundamental perpindahan panas. Peningkatan suhu dalam panci akan meningkatkan gradien temperatur antara elemen pemanas dengan biji jagung, sehingga laju perpindahan kalor (*heat flux*) menjadi lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan energi termal yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu internal biji jagung hingga mencapai titik letup (sekitar 180°C) dapat dicapai dalam interval waktu yang lebih singkat. Dengan demikian, terbukti bahwa efisiensi waktu

pemasakan berbanding lurus dengan peningkatan suhu yang dikontrol oleh sistem."

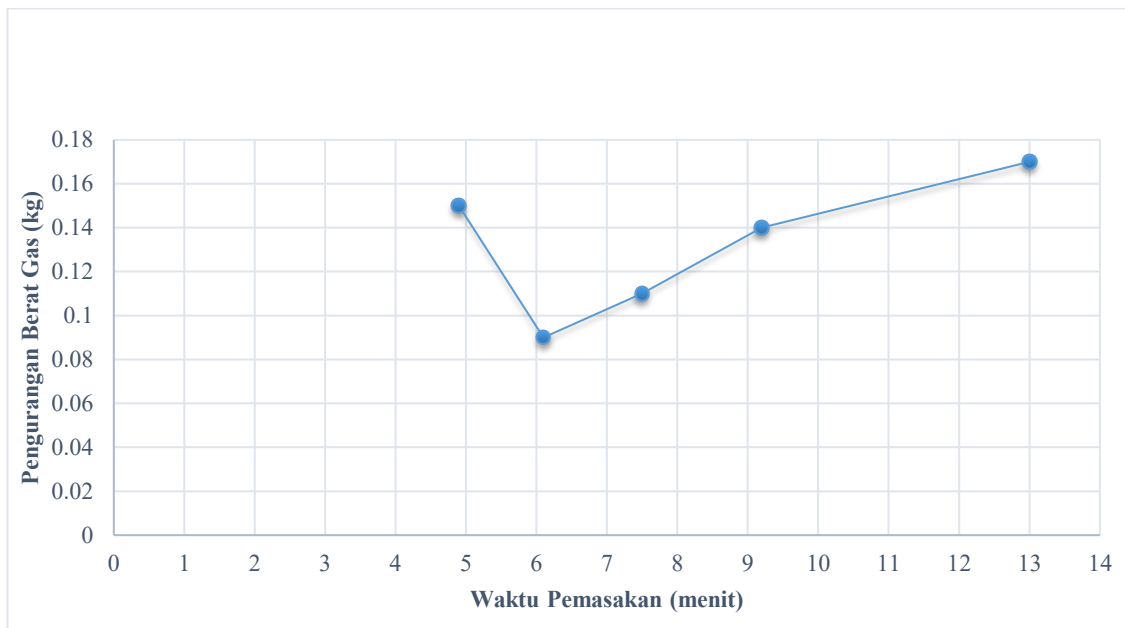
2. Grafik Hubungan Waktu Pemasakan dan Suhu Kompor



Gambar 4.10 Grafik hubungan Waktu Pemasakan dan Suhu Kompor

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data hubungan antara variabel suhu kompor dengan durasi waktu pemasakan, seperti yang disajikan pada gambar grafik 4.10. Data tersebut secara jelas menunjukkan adanya korelasi negatif yang signifikan, di mana peningkatan suhu operasional kompor berbanding terbalik dengan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pemasakan. Tercatat pada suhu terendah yang diuji, yaitu 380°C, waktu pemasakan mencapai 13 menit. Sebaliknya, ketika suhu dinaikkan hingga 396°C, waktu pemasakan dapat direduksi secara drastis hingga 4,9 menit. Fenomena ini konsisten dengan teori perpindahan panas fundamental, di mana gradien temperatur yang lebih tinggi antara sumber panas (kompor) dan objek (bahan masakan) akan meningkatkan laju transfer energi termal, sehingga mempercepat proses pemasakan secara keseluruhan.

3. Grafik Hubungan Pengurangan Berat Gas dan Waktu Pemasakan



Gambar 4.11 Grafik hubungan Pengurangan Berat Gas dan Waktu Pemasakan

Untuk menganalisis efisiensi energi sistem, dilakukan pengujian untuk memetakan hubungan antara lama waktu pemasakan dengan jumlah massa gas yang dikonsumsi. Hasil pengujian, seperti yang disajikan pada gambar grafik 4.11 menunjukkan hubungan non-linear yang unik. Ditemukan bahwa terdapat sebuah titik kerja optimal, di mana konsumsi gas mencapai titik terendah (paling efisien) sebesar 0.09 kg pada durasi pemasakan sekitar 6,15 menit.

Data ini mengindikasikan bahwa durasi pemasakan yang terlalu singkat (sekitar 5 menit), yang dicapai dengan suhu sangat tinggi, ternyata membutuhkan konsumsi gas yang lebih tinggi (0.15 kg) akibat laju aliran yang deras. Sebaliknya, durasi yang terlalu lama (di atas 6,40 menit) juga secara progresif meningkatkan konsumsi gas total, mencapai 0.17 kg pada 13 menit. Hal ini disebabkan oleh perlunya mempertahankan panas dalam interval waktu yang lebih panjang, sehingga terjadi rugi-rugi kalor (*heat loss*) yang lebih besar ke lingkungan. Penemuan titik optimal ini

krusial untuk kalibrasi sistem kontrol mesin agar dapat beroperasi dengan tingkat efisiensi energi yang maksimal. Dari data yang sudah didapat dari proses pengujian maka dapat disimpulkan bahwa suhu yang optimal untuk proses pemasakan yaitu dengan mengatur suhu *microcontroller* di angka 295 celcius.

4.5 Analisis Teknoekonomi

Analisis teknoekonomi dilakukan untuk mengetahui kelayakan ekonomis dari penggunaan mesin pembuat berondong jagung (*popcorn*) otomatis dengan kapasitas 2 kg per *batch*. Analisis ini bertujuan memberikan gambaran mengenai besaran biaya produksi, pendapatan, dan keuntungan yang dapat diperoleh apabila mesin ini dioperasikan untuk kegiatan usaha komersial, khususnya pada skala UMKM atau industri rumah tangga. Pada uji coba yang telah dilakukan, diketahui bahwa 2 kg jagung dalam satu kali pemasakan (1 *batch*) dapat menghasilkan *popcorn* sebanyak 56 liter. Analisis ini hanya berfokus pada biaya produksi, pendapatan, serta keuntungan tanpa memperhitungkan modal awal, hal tersebut menyebabkan tidak perlu menghitung *break event point* (BEP) dan *interna read of retrun* (IRR). Hasil ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk menghitung efisiensi produksi secara ekonomis.

4.5.1 Asumsi dan Harga Bahan Baku

Untuk menyusun perhitungan teknoekonomi, digunakan asumsi harga bahan baku dan hasil produksi sebagai berikut:

- Investasi awal Rp 10.000.000
- Jagung *popcorn* sebanyak 2 kg seharga Rp36.000
- Margarin 500 gram seharga Rp10.000
- Perasa/penyedap rasa per batch Rp6.000.
- Plastik *zipper* panjang seharga Rp81.000 per 100 lembar (Rp810/lembar).

- Hasil *popcorn* dari 1 batch: 56 liter.
- Setiap liter *popcorn* dikemas dalam 1 lembar plastik *zipper*.
- Harga jual per liter *popcorn* adalah Rp10.000.

4.5.2 Perhitungan Biaya Produksi

Tabel berikut menunjukkan rincian biaya produksi yang dibutuhkan untuk satu kali pemasakan (1 *batch*) :

Tabel 4.6 Tekno Ekonomi

No	Bahan/Jasa Produksi	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total Biaya
1	Jagung <i>Popcorn</i>	2	kg	Rp. 18.000	Rp. 36.000
2	Margarin	1	pcs	Rp. 10.000	Rp. 10.000
3	Perasa	1	pcs	Rp. 6.000	Rp. 6.000
4	Plastik <i>Zipper</i>	56	lembar	Rp. 810	Rp. 45.360
5	Operator	1	produksi	Rp. 50.000	Rp. 50.000
6	Gas	0,15	kg	Rp. 23.000	Rp. 3.450
7	Listrik	0,1	kWh	Rp. 1.500	Rp. 150
Total Biaya Produksi					Rp150.960

4.5.3 Perhitungan Pendapatan

Dengan asumsi seluruh hasil *popcorn* dari 1 *batch* terjual dengan harga Rp10.000 per *pack*, maka total pendapatan adalah:

1 *batch* = 26 *pack*

1 *pack* = 75 gram

Total = 26 x 75 = 1950 gram (*popcorn* murni)

= 1950 + 150 (*margarin*)

= 2100 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah pack} &= \frac{\text{total berat}}{\text{berat/pack}} \\
 &= \frac{2100}{75} \\
 &= 28 \text{ pack}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total pendapatan} &= \text{Jumlah pack} \times \text{harga satuan} \\
 &= 28 \times \text{Rp. 10.000} \\
 &= \text{Rp. 280.000}
 \end{aligned}$$

4.5.4 Perhitungan Keuntungan

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan} &= \text{Pendapatan} - \text{Biaya Produksi} \\
 &= \text{Rp.280.000} - \text{Rp150.960} \\
 &= \text{Rp.129.040}
 \end{aligned}$$

4.5.5 Persentase Margin Keuntungan

$$\begin{aligned}
 \text{Margin Keuntungan} &= \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Biaya produksi}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{Rp.129.040}}{\text{Rp.150.960}} \times 100\% \\
 &= 85,48 \%
 \end{aligned}$$

4.5.6 Kesimpulan Teknoekonomi

Dari hasil perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa mesin pembuat berondong jagung kapasitas 2 kg per *batch* memiliki nilai keekonomian yang tinggi. Dalam satu kali proses produksi, mesin ini mampu menghasilkan *popcorn* hingga 56 liter dengan jumlah produk 28 pack, memperoleh keuntungan mencapai Rp.129.040 atau sekitar 85,48% dari biaya bahan. Hasil ini menunjukkan bahwa mesin ini sangat cocok untuk dikembangkan pada skala usaha mikro hingga menengah, dengan peluang pengembalian modal yang cepat apabila dioperasikan secara konsisten.