

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang telah dilakukan serta pembahasan mendalam mengenai temuan – temuan tersebut. Data yang diperoleh dari penelitian akan diuraikan secara sistematis untuk memberikan gambaran yang jelas tentang capaian penelitian ini. Selanjutnya, hasil-hasil tersebut akan dianalisis dan diinterpretasikan dengan mengacu pada kerangka teori dan tinjauan pustaka yang telah dibahas sebelumnya.

#### **4.1 Perhitungan Komponen Alat**

##### **4.1.1 Perencanaan Kapasitas**

Sebelum menentukan kapasitas konveyor, perlu diketahui terlebih dahulu berapa jumlah kue yang dapat dimuat kedalam satu loyang, hal ini dapat ditentukan dengan membagi luas loyang dengan luas kue, apabila diameter loyang adalah  $150mm$  dan diameter kue adalah  $30mm$ , maka:

Luas permukaan loyang:

$$\begin{aligned}A_{loyang} &= \pi r^2 \\&= \pi \times (7.5)^2 \\&= \pi \times 56.25\end{aligned}$$

$$A_{loyang} = 176.71 \text{ cm}^2$$

Luas permukaan kue:

$$\begin{aligned}
 A_{kue} &= \pi r^2 \\
 &= \pi \times (1.5)^2 \\
 &= \pi \times 2.25 \\
 A_{kue} &= 7.07 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah kue dalam loyang:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah} &= \frac{A_{loyang}}{A_{kue}} \\
 &= \frac{176.71 \text{ cm}^2}{7.07 \text{ cm}^2} \\
 \text{Jumlah} &= 24.99 \text{ kue} \approx 25 \text{ kue}
 \end{aligned}$$

Namun karena terdapat sisa ruang pada saat penataan kue didalam loyang, maka estimasi efisiensi penataan kue adalah 50%, sehingga:

$$\begin{aligned}
 &25 \times \frac{50}{100} \\
 &= 12.5 \text{ Kue} \approx 12 \text{ Kue}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.1 Jumlah kue dalam loyang

Jumlah loyang yang dapat dimasukkan kedalam alat ini dapat ditentukan dengan membagi panjang konveyor dengan diameter loyang, apabila diketahui diameter konveyor ( $d$ ) sebesar  $890 \text{ mm}$ , jari-jari konveyor ( $r$ ) sebesar  $445 \text{ mm}$ ,

tinggi pitch ( $t_2$ ) 621,5 mm dan revolusi sebanyak 2 kali, maka:

$$\begin{aligned} K_{konveyor} &= \pi \times d \\ &= 3,14 \times 890 \text{ mm} \\ K_{konveyor} &= 2796 \text{ mm} \end{aligned}$$

A. Menentukan sudut pitch konveyor

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan \left( \frac{t_2}{K_{konveyor}} \right) \\ \alpha &= \arctan \left( \frac{621,5 \text{ mm}}{2796 \text{ mm}} \right) \\ \alpha &= \arctan (0,2223) \\ \alpha &= 12,53^\circ \end{aligned}$$

B. Menentukan panjang lintasan

$$\begin{aligned} l &= (\pi \times d \times \cos \alpha \times \text{revolusi}) \\ l &= (3,14 \times 890 \text{ mm} \times \cos 12,53^\circ \times 2) \\ l &= (2796 \text{ mm} \times 0.9762 \times 2) \\ l &= 5.458,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

Apabila diketahui jari-jari spiral konveyor adalah 445mm, sudut helix sebesar 12,53°, revolusi konveyor sebanyak 2 kali dan diameter loyang 150mm, maka:

$$Kapasitas = \frac{l}{\phi_{loyang}} \quad (2.1)$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} Kapasitas &= \frac{l}{\phi_{loyang}} \\ &= \frac{5.458,94}{150} \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$Kapasitas = 36.392 \text{ loyang} \approx 36 \text{ loyang}$$

Karena 1 loyang dapat menampung sekitar 12 kue, per pcs kue seberat 10 gram dan dikalikan 36 loyang, maka pemanggang ini dapat menampung 4,3 kg kue dalam satu proses pemanggangan.

#### 4.2 Fabrikasi Alat Pemanggang Kue Metode Spiral Konveyor Gravitasi

Setelah melewati proses perancangan komponen dan perhitungan konstruksi alat, maka tahapan selanjutnya yaitu dilakukan proses fabrikasi. Tahap fabrikasi ini merupakan tahapan untuk menghasilkan hasil jadi Alat Pemanggang Kue Metode Spiral Konveyor Gravitasi secara nyata. Pada tahap ini, barang mentah akan dipotong, ditekuk, dilas, dilubangi, dan pada akhirnya akan dirakit.

##### 1. Proses Fabrikasi Kerangka

Pembuatan kerangka ini menggunakan besi siku dengan ukuran 40 mm x 40 mm sebagai komponen utama pada rangka. Proses pembuatan rangka ini dilakukan dengan cara memotong besi siku dengan panjang 930 mm dan untuk tinggi kerangka 400 mm kemudian disambung dengan cara dilas. Rangka pada alat ini berfungsi sebagai penopang seluruh Alat Pemanggang

Kue Metode Spiral Konveyor Gravitasi, sehingga rangka alat ini membutuhkan bahan yang cukup kuat.



Gambar 4.2 Proses Fabrikasi Kerangka

## 2. Proses Fabrikasi Kerangka Tabung dan Spiral

Pembuatan rangka tabung ini menggunakan bahan plat strip alumunium sebagai komponen utama pada rangka. Proses pembuatan rangka ini dilakukan dengan cara memotong plat strip alumunium sesuai dengan rancangan kemudian disambung dengan cara diberi paku rivet.

Pembuatan kerangka spiral ini menggunakan plat stirp besi yang disambung ke kerangka tabung menggunakan paku rivet membentuk spiral sesuai dengan rancangan, dan untuk bagian roller pada rangka spiral terdapat dua bagian yaitu roller *axle* dan roller *pipe*. Pada bagian roller *axle* menggunakan bahan besi as ST41 yang sudah dipotong dengan panjang 210 mm dan berdiameter 10 mm sebanyak 238 buah, kemudian bagian roller *pipe*  $\frac{1}{2}$  inch menggunakan bahan alumunium yang sudah dipotong dengan panjang 200 mm sebanyak 238 buah, lalu besi as dimasukkan ke dalam roller *pipe* dan

disambung ke rangka spiral dengan cara dilas.



Gambar 4.3 Proses fabrikasi kerangka tabung dan spiral

### 3. Proses Fabrikasi *Cover* Tabung

Pada cover tabung ini menggunakan bahan plat alumunium ukuran 1.400 mm x 910 mm, pada pembuatan *cover* tabung ini dilakukan proses *bending*/rol pada plat hingga membentuk silinder. Pada bagian bawah silinder terdapat plat berukuran 910 mm x 910 mm yang dipotong melingkar sesuai dengan desain kemudian pada tengahnya diberi lubang guna memasukkan sumber panas ke dalam tabung secara langsung.



Gambar 4.4 Proses fabrikasi cover tabung dan cover bawah tabung

#### 4. Proses Fabrikasi Cover Atas

Pada pembuatan cover atas ini menggunakan plat alumunium ukuran 1.000 mm x 1.000 mm yang diporong dan dibentuk kerucut keatas dengan tinggi dan diameter sesuai dengan desain yang ditentukan.

#### 5. Proses Perakitan Alat

Tahap–tahap yang dilakukan dalam proses perakitan adalah sebagai berikut:

- a. Merakit kerangka oven
- b. Merakit kerangka spiral konveyor
- c. Memasang roller konveyor
- d. Merakit rangka *burner*
- e. Pengecatan rangka oven dan *burner*
- f. Membuat cover dan alas tabung
- g. Memasang tutup atas tabung sesuai desain
- h. Memasang thermometer pada tabung sesuai desain
- i. Memasang *burner* oven sesuai desain



Gambar 4.5 Selesai Fabrikasi

### 4.3 Perhitungan Perpindahan Massa

Perhitungan berikut ini menggunakan data percobaan massa bahan kering ( $M_{bk}$ ) seberat 9,6 g – 8,8 g.

#### 4.3.1 Perhitungan Kadar Air Akhir Kue

Diketahui:

Kadar air awal kue ( $m_2$ ) = 14,3 %

Massa bahan basah ( $M_{bb}$ ) = 10 g

Massa bahan kering ( $M_{bk}$ ) = 9,6 g

Menghitung massa padatan kering awal

$$\begin{aligned}
 & M_{bb} \left( 1 - \frac{m_1}{100} \right) \\
 &= 10 \left( 1 - \frac{0,143}{100} \right) \\
 &= 8,57 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Sehingga kadar air akhir kue dapat dihitung sebagai berikut

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{M_{bb} \left( 1 - \frac{m_1}{100} \right)}{M_{bk}} \right]$$

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{8,57 \text{ g}}{9,6 \text{ g}} \right]$$

$$m_2 = 10,73 \%$$

Jika massa bahan kering ( $M_{bk}$ ) sebesar 9,5 g maka kadar air akhir kue dapat dihitung sebagai berikut

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{M_{bb} \left( 1 - \frac{m_1}{100} \right)}{M_{bk}} \right]$$

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{8,57 \text{ g}}{9,5 \text{ g}} \right]$$

$$m_2 = 9,79 \%$$

Jika massa bahan kering ( $M_{bk}$ ) sebesar 9,2 g, maka kadar air akhir kue dapat dihitung sebagai berikut

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{M_{bb} \left( 1 - \frac{m_1}{100} \right)}{M_{bk}} \right]$$

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{8,57 \text{ g}}{9,2 \text{ g}} \right]$$

$$m_2 = 6,85 \%$$

Jika massa bahan kering ( $M_{bk}$ ) sebesar 9 g, maka kadar air akhir kue dapat dihitung sebagai berikut

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{M_{bb} \left( 1 - \frac{m_1}{100} \right)}{M_{bk}} \right]$$

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{8,57 \text{ g}}{9 \text{ g}} \right]$$

$$m_2 = 4,78 \%$$

Jika massa bahan kering ( $M_{bk}$ ) sebesar 8,9 g, maka kadar air akhir kue dapat dihitung sebagai berikut

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{M_{bb} \left( 1 - \frac{m_1}{100} \right)}{M_{bk}} \right]$$

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{8,57 \text{ g}}{8,9 \text{ g}} \right]$$

$$m_2 = 3,71 \%$$

Jika massa bahan kering ( $M_{bk}$ ) sebesar 8,8 g, maka kadar air akhir kue dapat dihitung sebagai berikut

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{M_{bb} \left( 1 - \frac{m_1}{100} \right)}{M_{bk}} \right]$$

$$m_2 = 100 \left[ 1 - \frac{8,57 \text{ g}}{8,8 \text{ g}} \right]$$

$$m_2 = 2,61 \%$$

### 4.3.2 Massa Air yang Diuapkan

Diketahui:

Kadar air awal bahan kue ( $m_1$ ) = 14,3 %

Kadar air akhir bahan kue ( $m_2$ ) = 10,73%

$$M_w = \frac{100 (m_1 - m_2)}{(100 - m_1) (100 - m_2)} \times 100\%$$

$$M_w = \frac{100 (14,3\% - 10,73\%)}{(100 - 14,3\%) (100 - 10,73\%)} \times 100\%$$

$$M_w = 4,67\%$$

Jika kadar air akhir bahan kue ( $m_2$ ) sebesar 9,79% maka massa air yang diuapkan kue dapat dihitung sebagai berikut

$$M_w = \frac{100 (14,3\% - 9,79\%)}{(100 - 14,3\%) (100 - 9,79\%)} \times 100\%$$

$$M_w = 5,83\%$$

Jika kadar air bahan kue ( $m_2$ ) sebesar 6,85 % maka massa air yang diuapkan kue dapat dihitung sebagai berikut

$$M_w = \frac{100 (14,3\% - 6,85\%)}{(100 - 14,3\%) (100 - 6,85\%)} \times 100\%$$

$$M_w = 9,33\%$$

Jika kadar air bahan kue ( $m_2$ ) sebesar 4,78 % maka massa air yang diuapkan kue dapat dihitung sebagai berikut

$$M_w = \frac{100 (14,3\% - 4,78\%)}{(100 - 14,3\%) (100 - 4,78\%)} \times 100\%$$

$$M_w = 11,67\%$$

Jika kadar air bahan kue ( $m_2$ ) sebesar 3,71 % maka massa air yang diuapkan kue dapat dihitung sebagai berikut

$$M_w = \frac{100 (14,3\% - 3,71\%)}{(100 - 14,3\%) (100 - 3,71\%)} \times 100\%$$

$$M_w = 12,85\%$$

Jika kadar air bahan kue ( $m_2$ ) sebesar 2,61 % maka massa air yang diuapkan kue dapat dihitung sebagai berikut

$$M_w = \frac{100 (14,3\% - 2,61\%)}{(100 - 14,3\%) (100 - 2,61\%)} \times 100\%$$

$$M_w = 14\%$$

#### 4.4 Perhitungan Perpindahan Kalor

Perhitungan berikut ini menggunakan data percobaan kedua dengan bukaan regulator gas sebesar 40° dalam waktu 30 menit, dengan suhu awal 31°C dan suhu akhir 140°C.

##### 4.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Diketahui:

|                               |   |                            |
|-------------------------------|---|----------------------------|
| Massa kue ( $M$ )             | = | 10 g                       |
| Kalor jenis kue ( $c$ )       | = | 1400 J/kg (Budzaki, 2014)  |
| Perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) | = | 413.15°K - 304.5°K = 109°K |
| Energi Kalor ( $Q$ )          | = | 1526 J                     |
| Waktu ( $t$ )                 | = | 1800 s                     |
| Tebal Kue ( $\Delta x$ )      | = | 0,009 m                    |
| Luas Penampang Kue ( $A$ )    | = | $7,07 \times 10^{-4} m^2$  |

## A. Menghitung Energi Kalor

$$\begin{aligned}
 Q &= M \times c \times \Delta T \\
 &= 0,01 \text{ Kg} \times 1400 \text{ J/Kg} \times 109^\circ\text{K} \\
 &= 1526 \text{ J}
 \end{aligned}$$

## B. Menghitung Koefisien Termal

Diketahui:

$$\text{Energi Kalor } (Q) = 1526 \text{ J}$$

$$\text{Waktu } (t) = 1800 \text{ s}$$

$$\text{Tebal Kue } (\Delta x) = 0,009 \text{ m}$$

$$\text{Luas Penampang Kue } (A) = 7,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{Q \times \Delta x}{A \times \Delta T \times t} \\
 &= \frac{1526 \text{ J} \times 0,009 \text{ m}}{(7,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \times 109^\circ\text{K} \times 1800 \text{ s}} \\
 K &= 0,99 \text{ W/m}^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

## C. Menghitung Perpindahan Kalor Konduksi

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{konduksi}} &= K \times A \times \frac{\Delta T}{\Delta x} \times t \\
 &= 0,99 \text{ W/m}^\circ\text{K} \times 7,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times \frac{109^\circ\text{K}}{0,009 \text{ m}} \times 1800 \text{ s} \\
 Q_{\text{konduksi}} &= 1,53 \times 10^4 \text{ J}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Diketahui:

|                               |   |                                   |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|
| Massa kue ( $M$ )             | = | 10 g                              |
| Kalor jenis kue ( $c$ )       | = | 1400 J/kg (Budzaki, 2014)         |
| Perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) | = | 140°C – 31°C = 109°C              |
| Energi Kalor ( $Q$ )          | = | 1526 J                            |
| Waktu ( $t$ )                 | = | 1800 s                            |
| Tebal Kue ( $L_c$ )           | = | 0,009 m                           |
| Luas Penampang Kue ( $A$ )    | = | $7,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ |

##### A. Menghitung Bilangan Grashof ( $Gr$ )

Diketahui:

|                                       |   |                                               |
|---------------------------------------|---|-----------------------------------------------|
| Gravitasi ( $g$ )                     | = | 9,81 m/s                                      |
| Koefisien ekspansi termal ( $\beta$ ) | = | 0,0027 °K <sup>-1</sup> (Incropera dkk.,2007) |
| Suhu permukaan ( $T_s$ )              | = | 54,5 °C                                       |
| Suhu Lingkungan ( $T_{ling}$ )        | = | 140 °C                                        |
| Viskositas kinematik ( $\nu$ )        | = | $2,27 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$    |
| Bilangan Prandtl (Pr)                 | = | 0,701                                         |

$$Gr = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_{ling}) \times L_c^3}{\nu^2}$$

$$= \frac{9,81 \times 0,00270 \times (54,5 - 140) \times (0,009)^3}{(2,27 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr = -2,57 \times 10^5$$

B. Menghitung Bilangan Rayleigh ( $Ra$ )

$$\begin{aligned}
 Ra &= Gr \times Pr \\
 &= (-2.57 \times 10^5) \times 0,701 \\
 Ra &= -1.80 \times 10^5
 \end{aligned}$$

Karena  $Ra < 10^9$ , maka aliran berupa laminar

C. Menghitung Bilangan Nuselt ( $Nu$ )

$$\begin{aligned}
 Nu &= \left[ 0,825 + \frac{0,387 \times Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \\
 &= \left[ 0,825 + \frac{0,387 \times (1,80 \times 10^5)^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{0,701} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \\
 &= \left[ 0,825 + \frac{2766}{1205} \right]^2 \\
 &= [3.121]^2 \\
 Nu &= 9,74
 \end{aligned}$$

D. Menghitung Perpindahan Konvektif ( $h$ )

Diketahui:

$$\text{Koefisien Termal } (K_{udara}) = 0,0315 W/m^\circ C$$

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{Nu \times K_{udara}}{L_c} \\
 &= \frac{9,74 \times 0,0315}{0,009} \\
 h &= 34,09 W/m^\circ C
 \end{aligned}$$

E. Menghitung Perpindahan Kalor Konveksi

$$\begin{aligned}
 Q_{konveksi} &= h \times A \times (T_{ling} - T_s) \\
 &= 34.09 W/m^{\circ}C \times 0,707 m^2 \times (88,5^{\circ}C - 85,5^{\circ}C) \\
 Q_{konveksi} &= 60,06 W
 \end{aligned}$$

#### 4.5 Perhitungan Efisiensi Pemanggangan

Perhitungan ini menggunakan data percobaan bukaan regulator pada  $20^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$  dan  $60^{\circ}$  dengan hanya 9 dari 36 loyang yang terisi dan terdapat 12 pcs kue pada tiap loyang.

##### 4.5.1 Perhitungan Energi Bahan Bakar (Bukaan $20^{\circ}$ )

Diketahui:

|                               |   |                  |
|-------------------------------|---|------------------|
| Massa bahan bakar ( $m$ )     | = | 0,13 Kg          |
| Massa jenis LPG ( $\rho$ )    | = | 0,00243 Kg/l     |
| Waktu pengeringan ( $s$ )     | = | 1800 s           |
| Nilai Kalor LPG ( $NK_{bb}$ ) | = | 11.254,6 Kkal/Kg |

A. Volume Bahan Bakar Terpakai ( $v$ )

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{m}{\rho} \\
 &= \frac{0,13 \text{ Kg}}{0,00247 \text{ Kg/l}} \\
 v &= 52,631 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

B. Laju Aliran Massa Bahan Bakar ( $m_{bb}$ )

$$\begin{aligned}
 m_{bb} &= \frac{v \times \rho}{t} \\
 &= \frac{52,631 \text{ l} \times 0,00247 \text{ Kg/l}}{1800 \text{ s}} \\
 m_{bb} &= 7,2221 \times 10^{-5} \text{ Kg/s}
 \end{aligned}$$

C. Energi Bahan Bakar ( $Q_{bb}$ )

$$\begin{aligned}
 Q_{bb} &= NK_{bb} \times m_{bb} \\
 &= 11.254,61 \text{ Kkal/Kg} \times 7,2221 \\
 &\quad \times 10^{-5} \text{ Kg/s} \\
 &= 0,81282 \text{ Kkal} \\
 &= 3403,11 \text{ Watt} \\
 &= 6.125.598 \text{ J}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.2 Perhitungan Energi Bahan Bakar (Bukaan 40°)

Diketahui:

|                               |   |                  |
|-------------------------------|---|------------------|
| Massa bahan bakar ( $m$ )     | = | 0,3 Kg           |
| Massa jenis LPG ( $\rho$ )    | = | 0,00243 Kg/l     |
| Waktu pengeringan ( $s$ )     | = | 1800 s           |
| Nilai Kalor LPG ( $NK_{bb}$ ) | = | 11.254,6 Kkal/Kg |

A. Volume Bahan Bakar Terpakai ( $v$ )

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

$$= \frac{0,3 \text{ Kg}}{0,00247 \text{ Kg/l}}$$

$$v = 121,457 \text{ liter}$$

B. Laju Aliran Massa Bahan Bakar ( $m_{bb}$ )

$$m_{bb} = \frac{v \times \rho}{t}$$

$$= \frac{121,457 \text{ l} \times 0,00247 \text{ Kg/l}}{1800 \text{ s}}$$

$$m_{bb} = 16,7056 \times 10^{-5} \text{ Kg/s}$$

C. Energi Bahan Bakar ( $Q_{bb}$ )

$$Q_{bb} = NK_{bb} \times m_{bb}$$

$$= 11.254,61 \text{ Kkal/Kg} \times 16,7056 \times 10^{-5} \text{ Kg/s}$$

$$= 1,88015 \text{ Kkal}$$

$$= 7871,81 \text{ Watt}$$

$$= 14.169.258 \text{ J}$$

#### 4.5.3 Perhitungan Energi Bahan Bakar (Bukaan 60°)

Diketahui:

|                               |   |                  |
|-------------------------------|---|------------------|
| Massa bahan bakar ( $m$ )     | = | 0,35 Kg          |
| Massa jenis LPG ( $\rho$ )    | = | 0,00243 Kg/l     |
| Waktu pengeringan ( $s$ )     | = | 1800 s           |
| Nilai Kalor LPG ( $NK_{bb}$ ) | = | 11.254,6 Kkal/Kg |

A. Volume Bahan Bakar Terpakai ( $v$ )

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{m}{\rho} \\
 &= \frac{0,35 \text{ Kg}}{0,00247 \text{ Kg/l}} \\
 v &= 141,7 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

B. Laju Aliran Massa Bahan Bakar ( $m_{bb}$ )

$$\begin{aligned}
 m_{bb} &= \frac{v \times \rho}{t} \\
 &= \frac{141,7 \text{ l} \times 0,00247 \text{ Kg/l}}{1800 \text{ s}} \\
 m_{bb} &= 19,4444 \times 10^{-5} \text{ Kg/s}
 \end{aligned}$$

C. Energi Bahan Bakar ( $Q_{bb}$ )

$$\begin{aligned}
 Q_{bb} &= NK_{bb} \times m_{bb} \\
 &= 11.254,61 \text{ Kkal/Kg} \times 19,4444 \\
 &\quad \times 10^{-5} \text{ Kg/s} \\
 &= 2,18839 \text{ Kkal} \\
 &= 9162,35 \text{ Wat} \\
 &= 16.492.230 \text{ J}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.4 Perhitungan Energi Proses Pemanggangan

Diketahui:

Massa kue ( $m$ ) = 1,08 kg

Kalor jenis ( $c$ ) = 1400 J/kg (Budzaki, 2014)

Selisih suhu ( $\Delta T$ ) = 140°C – 31°C = 109°C

A. Menghitung energi yang diserap bahan

- Energi yang diserap bahan 9 loyang (1,08 kg)

$$Q_{absorbed} = m \times c \times \Delta T$$

$$Q_{absorbed} = 1,08 \text{ kg} \times 1400 \text{ J/kg} \times 109^\circ\text{C}$$

$$Q_{absorbed} = 164.808 \text{ J}$$

- Energi yang diserap bahan 36 loyang (4,3 kg)

$$Q_{absorbed} = m \times c \times \Delta T$$

$$Q_{absorbed} = 4,3 \text{ kg} \times 1400 \text{ J/kg} \times 109^\circ\text{C}$$

$$Q_{absorbed} = 656.180 \text{ J}$$

B. Menghitung efisiensi energi beserta rugi-rugi material

Diketahui:

Massa jenis *stainless steel* = 8000 Kg/m<sup>3</sup>

Kalor jenis *stainless steel* = 500 J/Kg °C

Massa jenis alumunium = 2700 Kg/m<sup>3</sup>

Kalor jenis alumunium = 900 J/Kg °C

1. Menghitung rugi *cover* ovena. Menghitung volume *cover* oven

$$\begin{aligned}
 V &= L \times W \times t \\
 &= 2,859 \text{ m} \times 0,455 \text{ m} \times 0,001 \text{ m} \\
 V &= 0,0013 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b. Menghitung massa *cover* oven

$$\begin{aligned}
 m &= \rho \times v \\
 &= 8000 \text{ Kg/m}^3 \times 0,0013 \text{ m}^3 \\
 m &= 10,4 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

c. Menghitung kalor *cover* oven

$$\begin{aligned}
 Q &= m \times c \times \Delta T \\
 &= 10,4 \text{ Kg} \times 500 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C} \times 109^\circ\text{C} \\
 Q &= 567.000 \text{ J}
 \end{aligned}$$

## 2. Menghitung rugi loyang

## a. Menghitung volume loyang

$$\begin{aligned}
 V_{alas} &= \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times t \\
 &= \pi \times \left(\frac{0,15 \text{ m}}{2}\right)^2 \times 0,001 \text{ m} \\
 V_{alas} &= 5,303 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\
 V_{sisi} &= \pi \times d \times h \times t \\
 &= \pi \times 0,15 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} \times 0,001 \text{ m} \\
 V_{sisi} &= 9,425 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\
 V_{tot} &= 1,473 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b. Menghitung massa loyang

$$\begin{aligned} m &= \rho \times v \\ &= 2700 \text{ Kg/m}^3 \times 1,473 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ m &= 0,397 \text{ Kg} \end{aligned}$$

c. Menghitung kalor loyang

$$\begin{aligned} Q &= m \times c \times \Delta T \\ &= 0,397 \text{ Kg} \times 900 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C} \times 109^\circ\text{C} \\ Q &= 39.015 \text{ J} \end{aligned}$$

Karena terdapat 36 loyang disaat pengujian, maka  $39.015 \text{ J} \times 36 = 1.404.540 \text{ J}$

3. Menghitung rugi roller

a. Menghitung volume roller

$$\begin{aligned} V &= \pi \times d \times h \times t \\ &= \pi \times 0,254 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 0,001 \text{ m} \\ V &= 1,595 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Menghitung massa roller

$$\begin{aligned} m &= \rho \times v \\ &= 2700 \text{ Kg/m}^3 \times 1,595 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\ m &= 0,043 \text{ Kg} \end{aligned}$$

c. Menghitung kalor roller

$$\begin{aligned} Q &= m \times c \times \Delta T \\ &= 0,043 \text{ Kg} \times 900 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C} \times 109^\circ\text{C} \\ Q &= 4236 \text{ J} \end{aligned}$$

Karena terdapat 117 *roller*, maka  $4236 J \times 117 = 495.612 J$

Sehingga, seluruh kerugian kalor adalah  $567.000 J + 1.404.500 J + 495.612 J + 164.808 J = 2.612.920 J$ . (1,08kg) Maka:

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

Dengan:  $Q_{output} = Q_{absorbed} + Q_{rugi}$

Efisiensi pemanggangan untuk bukaan  $20^\circ$

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{2.612.920 J}{6.125.598 J} \times 100\%$$

$$\eta = 42,6\%$$

Efisiensi pemanggangan untuk bukaan  $40^\circ$

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{2.612.920 J}{14.169.258 J} \times 100\%$$

$$\eta = 18,4\%$$

Efisiensi pemanggangan untuk bukaan  $60^\circ$

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{2.612.920 J}{16.492.230 J} \times 100\%$$

$$\eta = 15,8\%$$

Karena terdapat 117 *roller*, maka  $4236 J \times 117 = 495.612 J$

Sehingga, seluruh kerugian kalor adalah  $567.000 J + 1.404.500 J + 495.612 J + 656.180 J = 3.123.292 J$ . (4,3 kg) Maka:

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

Dengan:  $Q_{output} = Q_{absorbed} + Q_{rugi}$

Efisiensi pemanggangan untuk bukaan  $20^\circ$

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3.123.292 J}{6.125.598 J} \times 100\%$$

$$\eta = 50,9 \%$$

Efisiensi pemanggangan untuk bukaan  $40^\circ$

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3.123.292 J}{14.169.258 J} \times 100\%$$

$$\eta = 22 \%$$

Efisiensi pemanggangan untuk bukaan  $60^\circ$

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3.123.292 J}{16.492.230 J} \times 100\%$$

$$\eta = 18,9\%$$

Tabel 4.1 Data hasil pengujian

| Bukaan<br>Katup<br>Regulator<br>(°) | Efisiensi<br>(%) | Berat akhir kue (g)   |                        |                      | Kadar air akhir (%) |                 |               | Kebutuhan<br>bahan<br>bakar (Kg) |
|-------------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|---------------|----------------------------------|
|                                     |                  | Kue<br>ruang<br>bawah | Kue<br>ruang<br>tengah | Kue<br>ruang<br>atas | Ruang<br>bawah      | Ruang<br>tengah | Ruang<br>atas |                                  |
| 20                                  | 42,6             | 9,5                   | 9                      | 8,8                  | 10,73               | 4,78            | 2,61          | 0,13                             |
| 40                                  | 18,4             | 9,5                   | 8,9                    | 8,8                  | 9,79                | 3,71            | 2,61          | 0,3                              |
| 60                                  | 15,8             | 9,2                   | 8,9                    | 8,8                  | 6,85                | 3,71            | 2,61          | 0,35                             |

Tabel 4.2 Energi bahan bakar

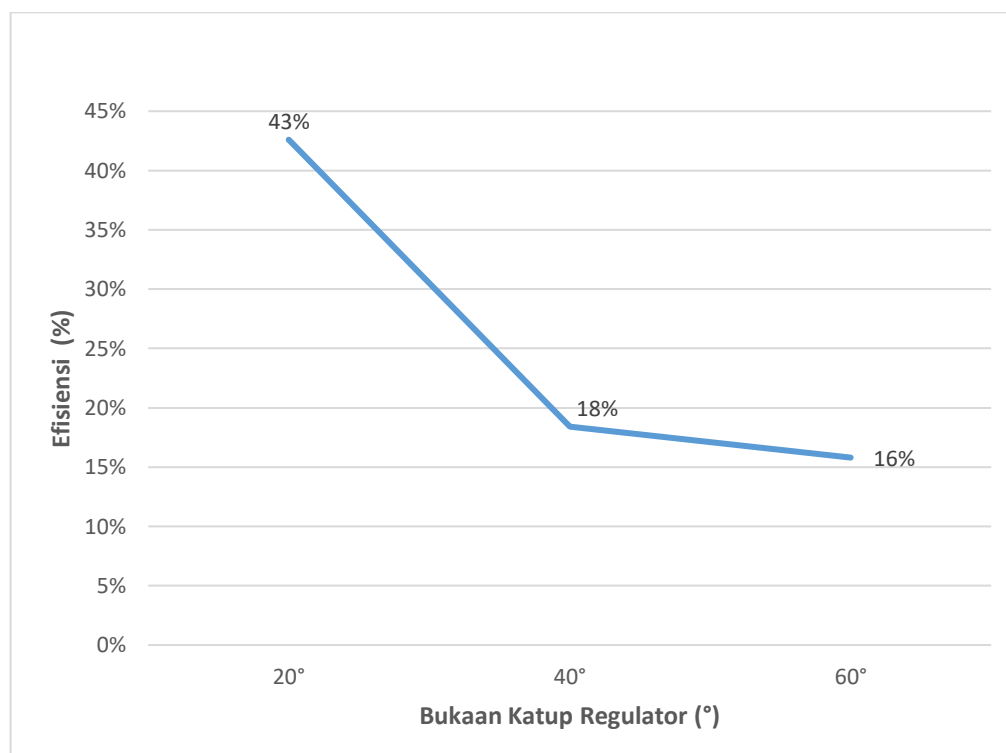
| Bukaan Katup<br>Regulator (°) | $Q_{bb}$ (J) |
|-------------------------------|--------------|
| 20                            | 6.125.598    |
| 40                            | 14.169.258   |
| 60                            | 16.492.230   |

## 4.6 Analisa Pemanggangan

### 4.6.1 Hubungan Antara Pengaturan Bukaannya Katup Regulator Dengan Efisiensi Pemanggangan

Tabel 4.3 Hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan efisiensi pemanggangan

| Pengaturan Bukaannya<br>Katup Regulator (°) | Efisiensi (%) |
|---------------------------------------------|---------------|
| 20                                          | 42,6          |
| 40                                          | 18,4          |
| 60                                          | 15,8          |



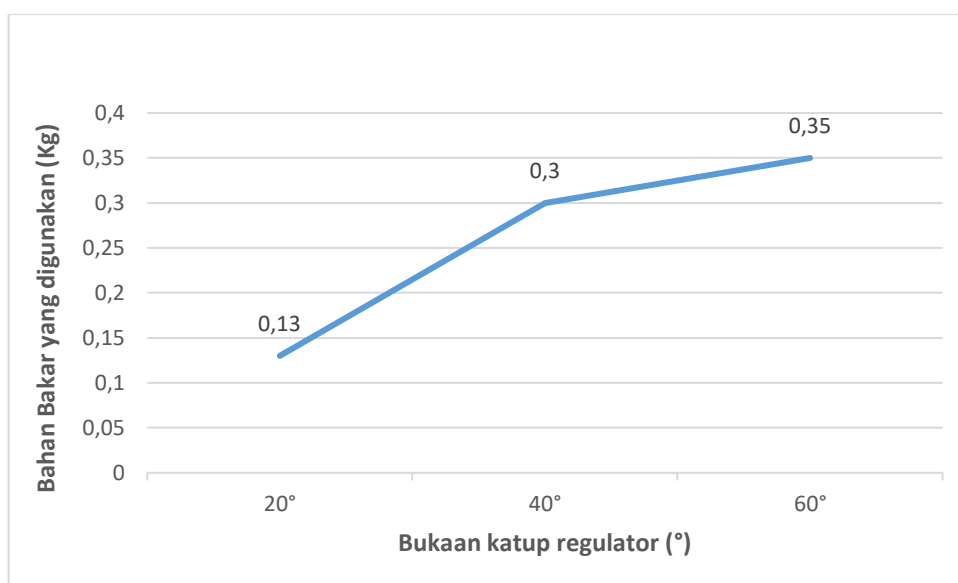
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan efisiensi pemanggangan

Bedasarkan grafik hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan efisiensi pemanggang menunjukkan adanya hubungan yang berbanding terbalik antara sudut bukaan katup regulator dengan efisiensi pemanggangan. Semakin besar sudut bukaan katup regulator, semakin rendah efisiensi pemanggangan yang dicapai. Efisiensi pemanggangan mencapai titik tertinggi, yaitu 42,6%, saat bukaan katup regulator diatur pada sudut 20°. Saat bukaan katup regulator ditingkatkan dari 20° menjadi 40°, terjadi penurunan efisiensi yang sangat signifikan (dari 42,6% menjadi 18,4%). Ketika bukaan katup regulator ditingkatkan lebih lanjut dari 40° menjadi 60°, efisiensi masih terus menurun, tetapi laju penurunannya jauh lebih lambat (dari 21,5% menjadi 15,8%).

#### 4.6.2 Hubungan Antara Pengaturan Bukaannya Katup Regulator Dengan Jumlah Bahan Bakar

Tabel 4.4 Hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan jumlah bahan bakar

| Pengaturan Bukaannya Katup Regulator (°) | Jumlah Bahan Bakar (Kg) |
|------------------------------------------|-------------------------|
| 20                                       | 0,13                    |
| 40                                       | 0,3                     |
| 60                                       | 0,35                    |



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan jumlah bahan bakar

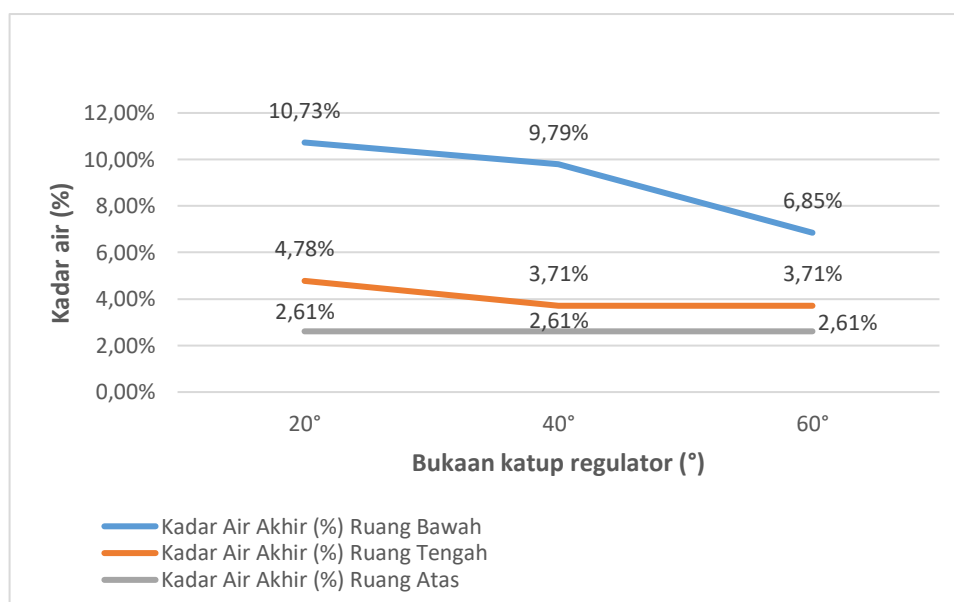
Berdasarkan grafik hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan jumlah bahan bakar Grafik menunjukkan adanya hubungan yang berbanding lurus (positif) antara sudut bukaan katup regulator dengan jumlah bahan bakar yang digunakan. Ini berarti, semakin besar sudut bukaan katup regulator , semakin banyak bahan bakar yang dikonsumsi. Saat bukaan katup regulator diatur

pada sudut  $20^\circ$ , konsumsi bahan bakar berada pada titik terendah, yaitu 0.13 Kg. Ketika bukaan katup regulator ditingkatkan dari  $20^\circ$  menjadi  $40^\circ$ , terjadi peningkatan signifikan dalam konsumsi bahan bakar (dari 0.13 Kg menjadi 0.30 Kg). Peningkatan ini mencapai 0.17 Kg. Untuk bukaan katup regulator dari  $40^\circ$  menjadi  $60^\circ$  masih menyebabkan kenaikan konsumsi bahan bakar (dari 0.30 Kg menjadi 0.35 Kg), tetapi laju peningkatannya melambat (hanya naik 0.05 Kg).

### 4.6.3 Hubungan Antara Pengaturan Bukaannya Katup Regulator Dengan Kadar Air Akhir

Tabel 4.5 Hubungan antara pengaturan bukannya katup regulator dengan kadar air akhir

| Pengaturan Bukaannya<br>Katup Regulator (°) | Kadar Air Akhir (%) |              |            |
|---------------------------------------------|---------------------|--------------|------------|
|                                             | Ruang Bawah         | Ruang Tengah | Ruang Atas |
| 20                                          | 10,73               | 4,78         | 2,61       |
| 40                                          | 9,79                | 3,71         | 2,61       |
| 60                                          | 6,85                | 3,71         | 2,61       |



Gambar 4.8 Hubungan antara pengaturan bukannya katup regulator dengan kadar air akhir

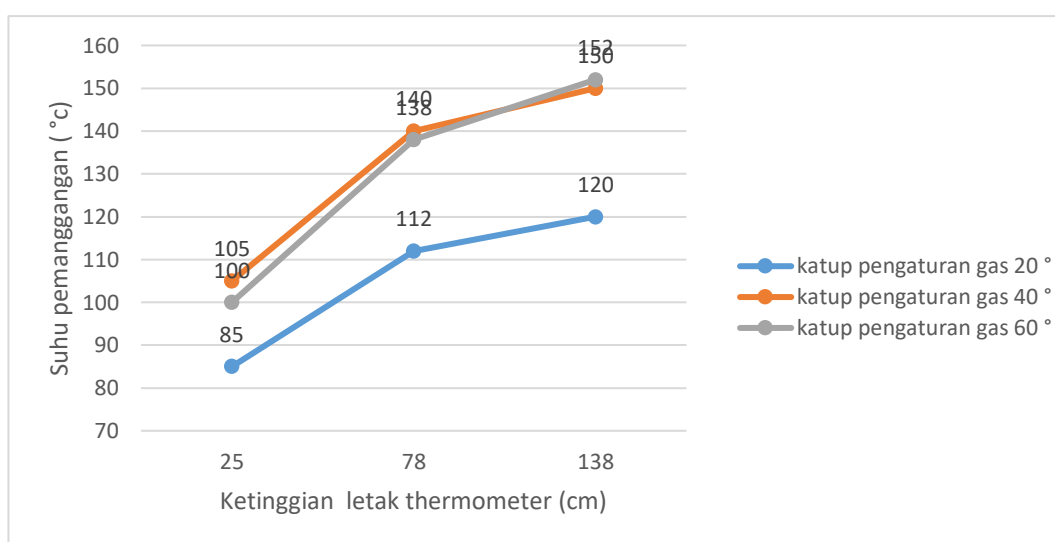
Berdasarkan grafik hubungan antara bukannya katup regulator dan kadar air akhir, terlihat bahwa semakin besar bukannya katup regulator yang digunakan, kadar air akhir bahan pangan semakin menurun pada seluruh posisi ruang pengering. Hal

ini menunjukkan bahwa peningkatan bukaan katup regulator menyebabkan peningkatan intensitas panas yang diterima bahan, sehingga laju penguapan air menjadi lebih tinggi dan proses pengeringan berlangsung lebih cepat. Pada ruang bawah, kadar air akhir mengalami penurunan yang cukup signifikan dari 10,73% pada bukaan katup regulator 20° menjadi 6,85% pada bukaan katup regulator 60°. Ruang tengah mengalami penurunan kadar air dari 4,78% menjadi 3,71% pada bukaan katup regulator 40°, kemudian nilainya stabil pada bukaan katup regulator 60°. Sementara itu, ruang atas memiliki kadar air yang konstan sebesar 2,61% pada semua variasi bukaan katup regulator. Hal ini menandakan bahwa ruang atas menerima panas paling tinggi dan mengalami pengeringan paling cepat, sehingga kadar airnya telah mencapai nilai minimum bahkan pada bukaan katup regulator rendah.

#### 4.6.4 Hubungan Antara Pengaturan Bukaannya Katup Regulator Dengan Suhu Pemanggang

Tabel 4.6 Hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan suhu pemanggang

| Ketinggian letak<br>thermometer (cm) | Suhu Pemanggangan (°C) |                 |                 |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|
|                                      | Bukaan<br>katup        | Bukaan<br>katup | Bukaan<br>katup |
|                                      | 20°                    | 40°             | 60°             |
| 20                                   | 85                     | 105             | 100             |
| 30                                   | 112                    | 140             | 138             |
| 60                                   | 120                    | 150             | 152             |



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan suhu pemanggang

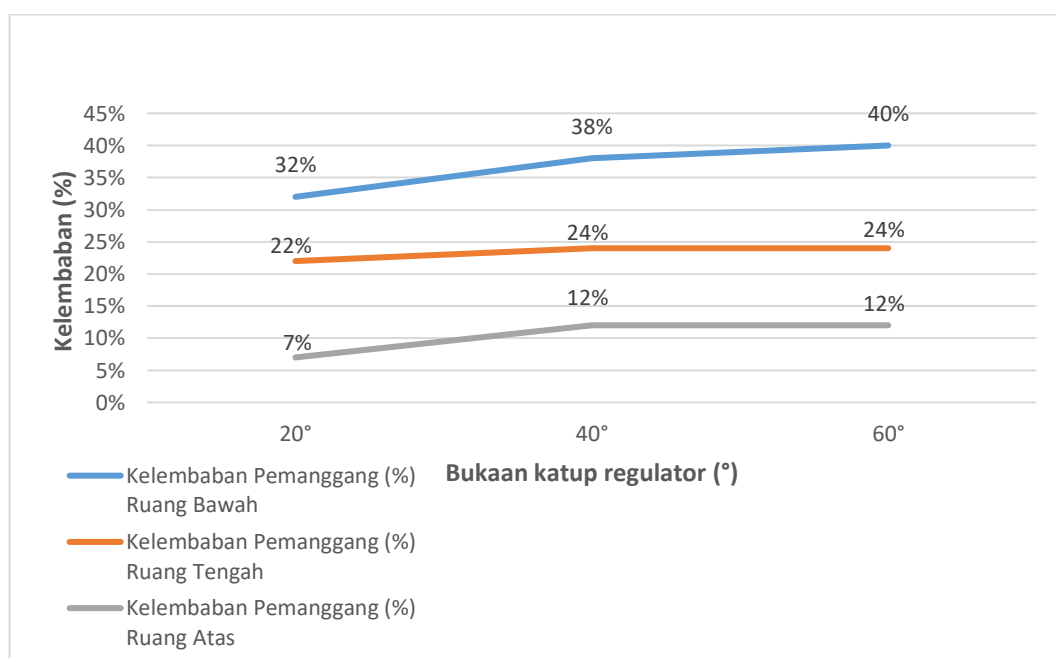
Bedasarkan grafik hubungan bukaan katup regulator dan suhu pemanggangan menunjukkan adanya gradien suhu vertikal yang konsisten, di mana ruang atas selalu mencatat suhu tertinggi (maksimum 152°C) dan ruang bawah mencatat suhu terendah, mengindikasikan akumulasi panas konveksi di bagian atas alat. Peningkatan bukaan katup regulator dari 20° ke 40° terbukti paling efektif

dalam menaikkan suhu di seluruh ruang (mencapai  $150^{\circ}\text{C}$  di atas dan  $140^{\circ}\text{C}$  di tengah). Namun, peningkatan bukaan lebih lanjut ke  $60^{\circ}$  menunjukkan titik jenuh termal, karena suhu di ruang bawah dan tengah justru sedikit menurun (menjadi  $100^{\circ}\text{C}$  dan  $138^{\circ}\text{C}$ ), menegaskan bahwa  $40^{\circ}$  adalah pengaturan optimal untuk mencapai suhu tinggi sekaligus menjaga efisiensi transfer panas.

#### 4.6.5 Hubungan Antara Pengaturan Bukaannya Katup Regulator Dengan Kelembaban Pemanggang

Tabel 4.7 Hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan kelembaban pemanggang

| Pengaturan Bukaannya Katup Regulator (°) | Kelembaban Pemanggang (%) |              |            |
|------------------------------------------|---------------------------|--------------|------------|
|                                          | Ruang Bawah               | Ruang Tengah | Ruang Atas |
| 20                                       | 32                        | 22           | 7          |
| 40                                       | 38                        | 24           | 12         |
| 60                                       | 40                        | 24           | 12         |



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan kelembaban pemanggang

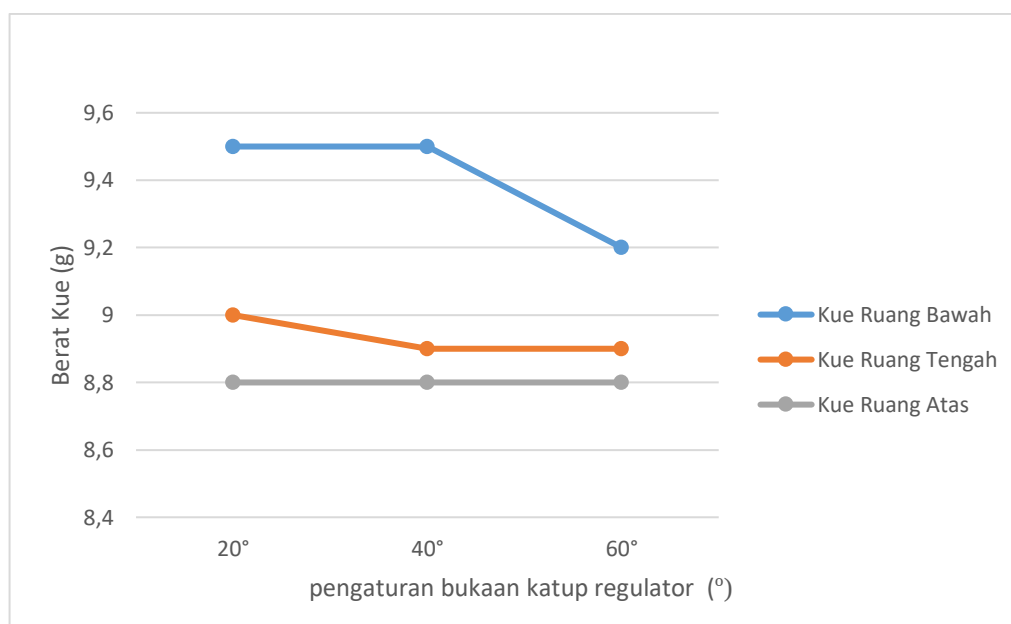
Berdasarkan grafik hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dengan kelembaban pemanggang menunjukkan hubungan antara bukaan katup regulator dengan kelembaban pemanggang pada tiga posisi ruang (bawah, tengah, atas). Terlihat bahwa semakin besar bukaan katup regulator, kelembaban cenderung

meningkat pada semua posisi, meskipun dengan laju berbeda. Ruang bawah memiliki kelembaban tertinggi (naik dari 32% ke 40%) karena posisi ini paling dekat dengan sumber panas dan uap air. Ruang tengah memiliki kelembaban stabil (22–24%), menandakan distribusi panas dan uap yang relatif seimbang. Ruang atas menunjukkan kelembaban terendah (7–12%) karena bagian ini paling jauh dari sumber panas dan uap cenderung naik keluar. Secara keseluruhan, peningkatan bukaan katup regulator meningkatkan suhu dan mempercepat penguapan, namun juga dapat menaikkan kelembaban di area bawah akibat akumulasi uap air dari bahan panggang.

#### 4.6.6 Hubungan Antara Pengaturan Buka-an Katup Regulator dan Berat Akhir Kue

Tabel 4.8 Hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dan berat akhir kue

| Pengaturan Buka-an<br>Katup Regulator (°) | Berat akhir kue (g) |                 |               |
|-------------------------------------------|---------------------|-----------------|---------------|
|                                           | Ruang<br>Bawah      | Ruang<br>Tengah | Ruang<br>Atas |
| 20                                        | 9,5                 | 9               | 8,8           |
| 40                                        | 9,5                 | 8,9             | 8,8           |
| 60                                        | 9,2                 | 8,8             | 8,8           |



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara pengaturan bukaan katup regulator dan berat kue

Bedasarkan grafik perbandingan berat kue menunjukkan adanya gradien berat kue yang konsisten di ruang tengah dan ruang atas, di mana ruang bawah selalu mencatat berat tertinggi dan ruang atas mencatat berat terendah, mengindikasikan akumulasi panas konveksi di bagian atas alat. Peningkatan bukaan

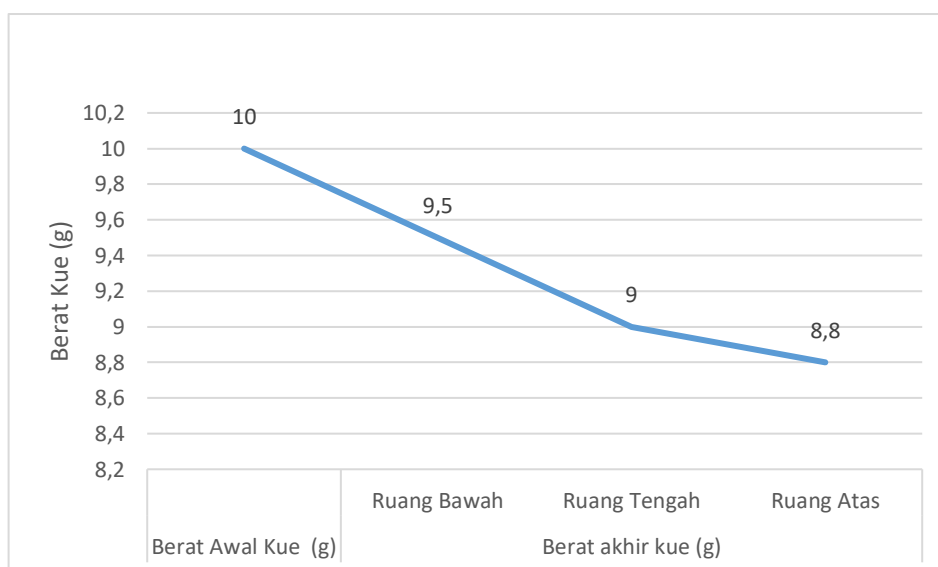
katup regulator dari 40° ke 60° terbukti paling efektif dalam mengurangi kadar air kue (yang selaras dengan menurunnya berat kue). Namun, semua peningkatan bukaan katup regulator lebih lanjut menunjukkan titik jenuh termal pada ruang atas, karena berat kue di ruang bawah dan tengah yang sedikit menurun (menjadi 8,9 g dan 9,2 g), menegaskan bahwa 40° adalah pengaturan optimal untuk mencapai suhu tinggi sekaligus menjaga efisiensi transfer panas.

#### 4.6.7 Perbandingan Massa Kue Sebelum Dan Sesudah Pemanggangan

- a) Perbandingan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan bukaan katup regulator 20°

Tabel 4. 9 Perbandingan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan bukaan katup regulator 20°

| Berat Awal Kue (g) | Berat akhir kue (g) |              |            |
|--------------------|---------------------|--------------|------------|
|                    | Ruang Bawah         | Ruang Tengah | Ruang Atas |
| 10                 | 9,5                 | 9            | 8,8        |



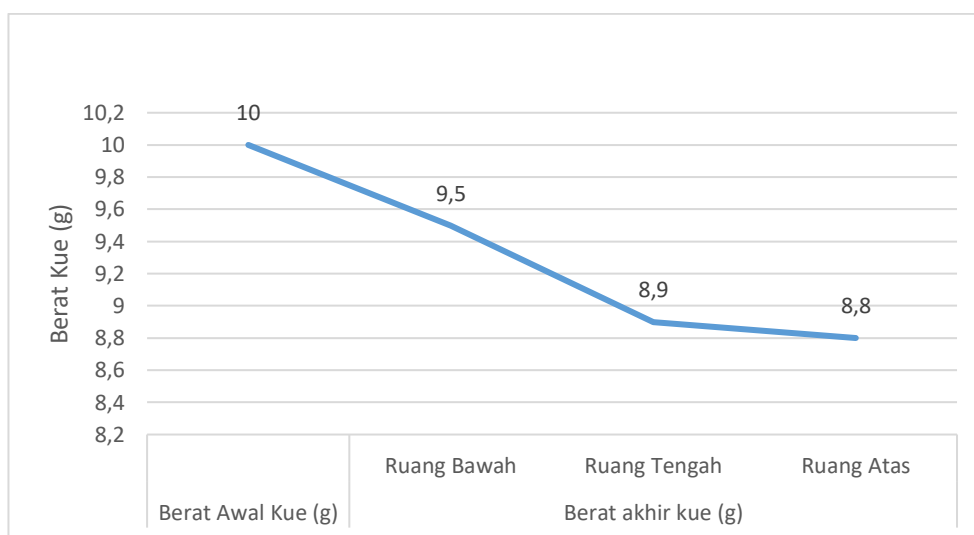
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan bukaan katup regulator 20°

Grafik menunjukkan perubahan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan pada setiap zona pemanggangan. Berat awal kue sebesar 10 g mengalami penurunan menjadi 9,5 g di ruang bawah, 9 g di ruang tengah, dan 8,8 g di ruang atas. Penurunan berat ini disebabkan oleh penguapan kadar air selama proses pemanggangan, di mana semakin tinggi posisi ruang pemanggangan, semakin besar kehilangan massa akibat suhu yang lebih tinggi.

- b) Perbandingan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan bukaan katup regulator 40°

Tabel 4. 10 Perbandingan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan bukaan katup regulator 40°

| Berat Awal<br>Kue (g) | Berat akhir kue (g) |              |            |
|-----------------------|---------------------|--------------|------------|
|                       | Ruang Bawah         | Ruang Tengah | Ruang Atas |
| 10                    | 9,5                 | 8,9          | 8,8        |



Gambar 4. 13 Grafik perbandingan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan bukaan katup regulator 40°

Grafik menunjukkan perubahan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan pada setiap zona pemanggangan. Berat awal kue sebesar 10 g mengalami penurunan menjadi 9,5 g di ruang bawah, 8,9 g di ruang tengah, dan 8,8 g di ruang atas. Penurunan berat ini disebabkan oleh penguapan kadar air selama proses pemanggangan, di mana semakin tinggi posisi ruang pemanggangan, semakin besar kehilangan massa akibat suhu yang lebih tinggi.

- c) Perbandingan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan bukaan katup regulator 60°

Tabel 4. 11 Perbandingan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan bukaan katup regulator 60°

| Berat Awal Kue (g) | Berat akhir kue (g) |              |            |
|--------------------|---------------------|--------------|------------|
|                    | Ruang Bawah         | Ruang Tengah | Ruang Atas |
| 10                 | 9,2                 | 8,8          | 8,8        |



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan

Grafik menunjukkan perubahan berat kue sebelum dan sesudah pemanggangan pada setiap zona pemanggangan. Berat awal kue sebesar 10 g mengalami penurunan menjadi 9,2 g di ruang bawah, 8,8 g di ruang tengah, dan 8,8 g di ruang atas. Penurunan berat ini disebabkan oleh penguapan kadar air selama proses pemanggangan, di mana semakin tinggi posisi ruang pemanggangan, semakin besar kehilangan massa akibat suhu yang lebih tinggi.