

## LAMPIRAN II PERHITUNGAN

### 2.1 Perhitungan Kapasitas *Water Distiller*

Kapasitas *Water Distiller* sebenarnya dapat dilihat pada Tabel 18 di bawah ini.

Tabel 19

Ukuran	Simbol	Nilai (cm)
Ketinggian air yang dapat dicapai	T	19
Diameter tabung bagian bawah	D	7,64
Ketebalan	x	0,30

$$\begin{aligned}
 \text{Volume air di dalam } \textit{water distiller} &= \frac{1}{4} \pi D^2 T \\
 &= \frac{1}{4} (3,14) (7,64 \text{ cm})^2 (19 \text{ cm}) \\
 &= 870,58 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ cm}^3}{1000 \text{ L}} \\
 &= 0,871 \text{ L}
 \end{aligned}$$

### 2.2 Perhitungan Neraca Panas pada *Water Distiller*

#### A. Panas yang Dilepaskan ke *Water Distiller*

##### 1. Menghitung Panas Sensibel Umpan Masuk ( $Q_1$ )

$$\text{Laju alir umpan } (u_v) = 0,2055 \text{ L/min} \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} = 12,33 \text{ L/jam}$$

$$\text{Waktu operasi } (t) = 5 \text{ menit} \times \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} = 0,083 \text{ jam}$$

$$\text{Volume umpan } (V_{\text{H}_2\text{O}}) = u_v \times t = 12,33 \text{ L/h} \times 0,83 \text{ h} = 1,0275 \text{ L}$$

$$\text{Temperatur } \textit{reference} = 25^\circ\text{C} + 273 = 298 \text{ K}$$

$$\text{Temperatur air masuk } (\textit{feed}) = 28,9^\circ\text{C} + 273 = 301,9 \text{ K}$$

$$\rho \text{ air pada } 28,9^\circ\text{C} = 0,9960 \text{ kgL}^{-1} \text{ (} \textit{www.engineeringtoolbox.com}, 2019)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol H}_2\text{O (l)} &= V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \\
 &= 1,0275 \text{ L} \cdot 0,9960 \text{ kgL}^{-1} \\
 &= 1,0234 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{18,02 \text{ kg}} \\
 &= 0,0568 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Komponen Cp H<sub>2</sub>O sebagai berikut :

$$A = 7,136$$

$$B = 2,640 \times 10^{-3}$$

$$C = 0,0459 \times 10^{-6}$$

$$Q_1 = \int_{T_{ref}}^{T_{feed}} n \cdot Cp \cdot dT$$

$$\text{Maka, } Q_1 =$$

$$0,0568 \int_{298}^{301,9} [7,136(301,9 - 298) + (\frac{2,640 \times 10^{-3}}{2})(301,9^2 - 298^2) + (\frac{0,0459 \times 10^{-6}}{3})(301,9^3 - 298^3)]$$

$$= 1,7568 \text{ kkal}$$

Untuk melihat hasil Panas Sensibel Air Masuk ( $Q_1$ ) dengan variasi waktu operasi, dapat dilihat pada Tabel 19 di bawah ini.

Tabel 20

Waktu operasi (menit)	$Q_1$ (kkal)
5	1,7568
10	3,5136
15	6,3508
20	8,4678
25	10,5847

## 2. Menghitung Panas dari Sumber Pemanas Elektrik

$$\text{Waktu operasi unit } water \text{ distiller} = 5 \text{ menit}$$

$$\text{Energi listrik yang disuplai } (Q_2) = P \cdot t$$

$$= 1 \text{ kWh} \times 5 \text{ menit} \times \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}}$$

$$= 0,0833 \text{ kWh} \cdot \frac{859,84 \text{ kkal}}{1 \text{ kWh}}$$

$$= 71,6533 \text{ kkal}$$

Energi listrik terus bertambah seiring berjalannya waktu seperti yang ditampilkan pada Tabel berikut ini :

Tabel 21

Waktu Operasi (menit)	$Q_2$ (kkal)
5	71,6533
10	143,3067
15	214,9600
20	286,6133
25	358,2667

## B. Panas yang Diterima *Water Distiller*

### 1. Menghitung Panas Sensibel Air Menjadi Uap(Q<sub>3</sub>)

$$\begin{aligned}
 \text{Temperatur } feed &= 25^{\circ}\text{C} + 273 = 298 \text{ K} \\
 \text{Temperatur uap} &= 100^{\circ}\text{C} + 273 = 373 \text{ K} \\
 \rho \text{ air pada } 100^{\circ}\text{C} &= 0,9584 \text{ kgL}^{-1} (\text{www.engineeringtoolbox.com, 2019}) \\
 V_{\text{air dalam unit}} &= 0,871 \text{ L} \\
 \text{Mol H}_2\text{O (l)} &= V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \\
 &= 0,871 \text{ L} \cdot 0,9584 \text{ kgL}^{-1} \\
 &= 0,8343 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{18,02 \text{ kg}} \\
 &= 0,0463 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$Q_3 = n \int_{T_{\text{reff}}}^{T_{\text{uap}}} C_p dT$$

Maka, Q<sub>3</sub> menjadi,

$$\begin{aligned}
 0,0463 \int_{298}^{373} [7,136(373 - 298) + (\frac{2,64 \times 10^{-3}}{2})(373^2 - 298^2) + (\frac{0,0459 \times 10^{-6}}{3})(373^3 - 298^3)] \\
 = 27,8739 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

### 2. Menghitung Panas Laten Penguapan (Q<sub>4</sub>)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume umpan pada } t \text{ 5 min} &= 0,049 \text{ L} \\
 \rho \text{ air pada } 100^{\circ}\text{C} &= 0,95837 \text{ kgL}^{-1} \\
 \text{Massa H}_2\text{O (g)} &= 0,047 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ lb}}{2,205 \text{ kg}} = 0,1035 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Entalpi penguapan pada suhu 100°C (212°F) (Sumber : Kern, *Process Heat Transfer*, hal. 815, 1986)

$$\lambda = 970 \text{ Btu/lb}$$

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= m_{\text{uap}} \cdot \lambda \\
 &= 0,1035 \text{ lb} \cdot 970 \text{ Btu/lb} \\
 &= 100,4407 \text{ Btu} \cdot \frac{0,252 \text{ kkal}}{1 \text{ Btu}} \\
 &= 25,3110 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Untuk melihat panas laten penguapan berdasarkan lama waktu operasi, dapat dilihat Tabel di halaman berikut.

Tabel 22

Waktu operasi (menit)	Q <sub>4</sub> (kkal)
5	25,3110
10	49,5890
15	74,3835
20	98,6614
25	115,1911

### 5. Menghitung Panas Konveksi pada *Water Distiller* (Q<sub>5</sub>)

Panas yang merambat dari dinding *water distiller* ke cairan terjadi secara konveksi.

$$\begin{aligned} \text{Laju air umpan } (u_v) &= 0,2055 \text{ L/min} \\ &= 3,425 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik} \\ \text{Area selang } feed &= 7,1220 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \\ \text{Kecepatan alir } (u) &= \frac{u_v}{A} = \frac{3,425 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}}{7,1220 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 0,0481 \text{ m/s} \\ \text{Waktu operasi} &= 0,0833 \text{ jam} \\ \text{Diameter alas} &= 0,0764 \text{ m} \\ \text{Level cairan (L)} &= 0,19 \text{ m} \\ \text{Area konveksi} &= 0,0274 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{T. Dinding dalam awal proses} = 28,9^\circ\text{C} + 273 = 301,9 \text{ K}$$

$$\text{T. Dinding dalam akhir proses} = 98^\circ\text{C} + 273 = 371 \text{ K}$$

$$\text{Konduktivitas termal air} = 0,3784 \text{ Btu/hr.ft}^2\text{F/ft.} \frac{1,7296 \text{ W/mK}}{1 \text{ Btu/hrft}^2 \text{ F/ft}} = 0,6545 \text{ W/mK}$$

$$\mu \text{ air pada } 98^\circ\text{C} = 0,27 \text{ cPoise} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$$

$$\rho \text{ air pada } 98^\circ\text{C} = 959,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dengan persamaan } \text{Re} = \frac{\rho \cdot u_v \cdot D}{\mu}, \text{ maka } \text{Re} = 13.060,8455$$

$$\text{Cp air} = 1.588,5673 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Dengan persamaan } \text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{k}, \text{ maka } \text{Pr} = 0,6553$$

Oleh karena itu, untuk mencari Nu dapat dilakukan dengan persamaan,

$$\text{Nu} = f \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^n \text{ di mana } f = 0,023 \text{ dan } n = 0,4 \text{ (pemanasan)}$$

$$\text{Maka, } \text{Nu} = 38,1143$$

$$\text{Sehingga } h \text{ dicari dengan persamaan, } h = \frac{\text{Nu} \cdot k}{L}$$

$$\text{Diperoleh } h = 131,2942 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 q_5 &= h \cdot A \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \\
 &= 131,2942 \text{ W/m}^2\text{C} \cdot 0,0274 \text{ m}^2 \cdot (98 - 28,9) \text{ }^\circ\text{C} \\
 &= 248,3316 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= q_5 \cdot t \\
 &= 248,3316 \text{ watt} \cdot \frac{1\text{kW}}{1000\text{w}} \cdot 0,0833 \text{ jam} \\
 &= 0,0207 \text{ kWh} \cdot \frac{859,84\text{kcal}}{1\text{kWh}} \\
 &= 17,7938 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui panas konveksi *water distiller* terhadap lama waktu operasi dapat diamati pada Tabel 22 di bawah ini.

Tabel 23

Waktu operasi (menit)	$Q_7$ (kkal)
5	17,7938
10	35,5876
15	52,5151
20	70,5154
25	88,1442

Dari perhitungan di atas, maka didapatkan neraca panas setiap lama waktu operasi yaitu,

Tabel 24. Neraca Panas *Water Distiller*  $t = 5$  menit

	Panas Input	Panas Output
$Q_1$	1,7568	
$Q_2$	71,6533	
$Q_3$		27,8739
$Q_4$		25,3110
$Q_5$		17,7938
$Q_{\text{Loss}}$		2,4314
	73,4101	73,4101

Tabel 25. Neraca Panas *Water Distiller*  $t = 10$  menit

	Panas Input	Panas Output
$Q_1$	3,5136	
$Q_2$	143,3067	
$Q_3$		27,8739
$Q_4$		49,5890
$Q_5$		35,5876
$Q_{\text{Loss}}$		33,7698
	146,8203	146,8203

Tabel 26. Neraca Panas *Water Distiller*  $t = 15$  menit

	Panas Input	Panas Output
Q <sub>1</sub>	6,3508	
Q <sub>2</sub>	214,96	
Q <sub>3</sub>		27,8739
Q <sub>4</sub>		74,3835
Q <sub>5</sub>		52,5151
Q <sub>Loss</sub>		66,5384
	221,3108	221,3108

Tabel 27. Neraca Panas *Water Distiller*  $t = 20$  menit

	Panas Input	Panas Output
Q <sub>1</sub>	8,4678	
Q <sub>2</sub>	286,6133	
Q <sub>3</sub>		27,8739
Q <sub>4</sub>		98,6614
Q <sub>5</sub>		70,5154
Q <sub>Loss</sub>		98,0304
	295,0811	295,0811

Tabel 28. Neraca Panas *Water Distiller*  $t = 25$  menit

	Panas Input	Panas Output
Q <sub>1</sub>	10,5847	
Q <sub>2</sub>	358,2667	
Q <sub>3</sub>		27,8739
Q <sub>4</sub>		115,1911
Q <sub>5</sub>		88,1442
Q <sub>Loss</sub>		137,6421
	368,8514	368,8514

Dengan demikian, efisiensi pemanasan yaitu berupa rasio antara panas yang dimanfaatkan dengan panas input yang dimiliki oleh *water distiller* per lama waktu operasi dapat dilihat pada Tabel 29 berikut.

Waktu operasi (menit)	Efisiensi Pemanasan (%)
5	96,69
10	77,00
15	69,93
20	66,78
25	62,68

**C. Perhitungan *Specific Energy Consumption Water Distiller***

Tabel SEC Water terhadap Waktu

Lama Waktu Operasi (menit)	SEC (kWh/kg.produk)
5	1,77
10	1,81
15	1,81
20	1,82
25	1,95