

LAMPIRAN B PERHITUNGAN

1. Perhitungan Laju Alir Udara Primer

Untuk menghitung laju udara, dihitung/dikonversi satuan tekanan menjadi laju alir udara. Rumus untuk menghitung laju alir udara, yaitu:

$$Q = C \times A_2 \times \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \times \sqrt{2 (P_1 - P_2)}$$

(Sumber: Mc Cabe. 1993:221)

Dimana: d_1 = diameter luar orifice

d_2 = diameter dalam orifice

P = beda tekan udara

A_2 = luas penampang orifice

ρ = densitas udara

C_d = koefisien orifice

d = diameter orifice

a. Pada Tekanan 0,5 cmH₂O

Dik :

- $D_1 = 1,5 \text{ m} \times \frac{2,54 \text{ cm}}{\text{in}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,0381 \text{ m}$

- $D_2 = 0,5 \text{ in} \times \frac{2,54 \text{ cm}}{\text{in}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,016 \text{ m}$

- $A = \frac{1}{4} \pi d^2$

maka,

$A_1 = 0,00114 \text{ m}^2$

$A_2 = 0,000201 \text{ m}^2$

- $C_d = 0,61$ (Sumber : Mc Cabe. 1993 : 225)

- Temperatur udara = $29,7^\circ\text{C} + 273 = 302,7 \text{ K}$

Maka, udara pada 302,7 K dilakukan interpolasi antara :

pada $T = 300 \text{ K}$ adalah 1,1774 kg/m³

(Sumber : Holman, J.P 2004: 589)

pada $T = 350 \text{ K}$ adalah $0,9980 \text{ kg/m}^3$

(Sumber : Holman, J.P 2004: 589)

sehingga udara pada $302,7 \text{ K}$ adalah $1,17024 \text{ Kg/m}^3$

- Data yang terbaca pada manometer :

$$h_1 = -0,5 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$h_2 = 0,5 \text{ cmH}_2\text{O}$$

maka,

$$\begin{aligned} \bullet \quad P_1 + h_1 &= P_2 + h_2 \\ P_1 + (-0,5) &= P_2 + 0,5 \\ P_1 - P_2 &= 0,5 + 0,5 \\ &= 1 \text{ cmH}_2\text{O} \times \left[\frac{98,1 \text{ Pa}}{1 \text{ cmH}_2\text{O}} \right] = 98,1 \text{ pa} \end{aligned}$$

$$\bullet \quad = \frac{2}{1} = \frac{0,016 \text{ m}}{0,0381 \text{ m}} = 0,419947507$$

$$\bullet \quad Q = C \times A_2 \times \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \times \sqrt{\frac{2(P_1-P_2)}{\rho}}$$

(Sumber : Mc Cabe. 1993:221)

$$= 0,61 \times 0,000201 \text{ m}^2 \times \sqrt{\frac{1}{1-(0,419947507)^4}} \times \sqrt{\frac{2 \times 98,1 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}}{1,170224 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$= 0,00162 \text{ m}^3/\text{s} = 97,3 \text{ Lpm}$$

• Massa laju alir udara primer :

$$\text{udara primer} = Q \times \rho$$

$$= 0,00162 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,170224 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,00189 \text{ kg/s}$$

b. Pada $1 \text{ cmH}_2\text{O}$

$$\text{Dik : } h_1 = -1 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$h_2 = 1 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$\rho = 1,170224 \text{ kg/m}^3$$

$$A_1 = 0,00114 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,000201 \text{ m}^2$$

$$= 0,419947507$$

Untuk menghitung laju alir udara pada beda tekan udara 1 cmH₂O digunakan rumus yang sama, sehingga laju alir yang didapat 136,84 Lpm.

c. Pada 1,5 cmH₂O

$$\begin{aligned} \text{Dik : } h_1 &= - 1,5 \text{ cmH}_2\text{O} \\ h_2 &= 1,5 \text{ cmH}_2\text{O} \\ \rho_o &= 1,170224 \text{ kg/m}^3 \\ A_1 &= 0,00114 \text{ m}^2 \\ A_2 &= 0,000201 \text{ m}^2 \\ \beta &= 0,419947507 \end{aligned}$$

Untuk menghitung laju alir udara pada beda tekan udara 0,6 cmH₂O digunakan rumus yang sama, sehingga laju alir yang didapat 168 Lpm.

2. Menghitung Laju alir Bahan Baku

Dara data pada Lampiran A selanjutnya dilakukan perhitungan laju alir bahan baku dengan menggunakan persamaan :

$$Bb = \frac{m_{Bb}}{t}$$

a. Laju alir Tempurung Kelapa pada Laju Alir udara 97,3 lpm

Dimana :

Jumlah bahan baku yang disuplai = 1,5 kg = 1500 gr

Jumlah abu (ash) sisa karbonisasi = 0,035 kg = 35 gr

Massa bahan baku terpakai = 1,5 kg – 0,035 kg = 1,465 kg = 1465 gr

Waktu (t) = 35 menit = 2100 s

$$\text{Maka : } Bb = \frac{m_{Bb}}{t} = \frac{1965 \text{ gr}}{2100 \text{ s}} = 0,69 \text{ gr/s}$$

b. Laju alir Tempurung Kelapa pada Laju Alir udara 136,84 lpm

Dimana :

Jumlah bahan baku yang disuplai = 2 kg = 2000 gr

Jumlah abu (ash) sisa karbonisasi = 0,043 kg = 43 gr

Massa bahan baku terpakai = 2 kg – 0,043 kg = 1,957 kg = 1957 gr

Waktu (t) = 35 menit = 2100 s

$$\text{Maka : } B_b = \frac{m_{Bb}}{t} = \frac{1965 \text{ gr}}{2100 \text{ s}} = 0,93 \text{ gr/s}$$

c. Laju alir Tempurung Kelapa pada Laju Alir udara 168 lpm

Dimana :

Jumlah bahan baku yang disuplai = 2,5 kg = 2500 gr

Jumlah abu (ash) sisa karbonisasi = 0,057 kg = 57 gr

Massa bahan baku terpakai = 2,5 kg - 0,057 kg = 2,443 kg = 2443 gr

Waktu (t) = 35 menit = 2100 s

$$\text{Maka : } B_b = \frac{m_{Bb}}{t} = \frac{1965 \text{ gr}}{2100 \text{ s}} = 1,16 \text{ gr/s}$$

3. Udara Stoikiometri

Udara minimum yang diperlukan untuk pembakaran sempurna, berikut komposisi massa tempurung kelapa yang digunakan:

- C = 47,89 %
- H₂ = 6,09 %
- S = 0,05 %
- O₂ = 45,75 %

Sumber : (Najib et al,2012)

- Udara stoikiometri = $\frac{1}{0,23} \left[\frac{8}{3} C + 8H_2 + S - O_2 \right]$

Sumber : (Handika, Allin,2009)

$$= \frac{1}{0,23} \left[\frac{8}{3} (0,4789) + 8(0,0609) + 0,005 - 0,4575 \right]$$

= 5,703 kg udara/kg Bahan baku

- Massa jenis udara primer

$$= 1,170224 \text{ Kg/m}^3 \text{ (udara Pada } 30^\circ\text{C)}$$

(Sumber : Holman, J.P 2004: 589)

- Maka udara stoikiometri (AF_s)

$$AF_s = \frac{\text{Udara stoikiometri}}{1,170224} = \frac{5,70300926}{1,170224} = 4,87 \text{ m}^3/\text{kg}$$

4. Perhitungan pada Laju Alir Syngas

a. Pada laju alir udara 97,3 Lpm

Untuk menghitung laju udara, dihitung/dikonversi satuan tekanan menjadi laju alir udara. Rumus untuk menghitung laju alir udara, yaitu:

$$Q = C \times A_2 \times \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \times \sqrt{2 (P_1 - P_2)}$$

(Sumber: Mc Cabe. 1993:221)

Dimana: d_1 = diameter luar orifice

d_2 = diameter dalam orifice

P = beda tekan udara

A_2 = luas penampang orifice

= densitas udara

C_d = koefisien orifice

= diameter orifice

Dik :

- $D_1 = 1,5 \text{ m} \times \frac{2,54 \text{ cm}}{\text{in}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,0381 \text{ m}$

- $D_2 = 0,5 \text{ in} \times \frac{2,54 \text{ cm}}{\text{in}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,016 \text{ m}$

- $A = \frac{1}{4} \pi d^2$

maka,

$A_1 = 0,00114 \text{ m}^2$

$A_2 = 0,000201 \text{ m}^2$

- $C_d = 0,61$ (Sumber : Mc Cabe. 1993 : 225)

$\text{mix} = 1.1762 \text{ kg/m}^3$

Data Syngas keluar yang terbaca pada manometer:

$h_1 = -0,7 \text{ cmH}_2\text{O}$

$h_2 = 0,7 \text{ cmH}_2\text{O}$

maka,

• $P_1 + h_1 = P_2 + h_2$

$$P_1 + (-0,7) = P_2 + 0,7$$

$$P_1 - P_2 = 0,7 + 0,7$$

$$= 1,4 \text{ cmH}_2\text{O} \times \left[\frac{98,1 \text{ Pa}}{1 \text{ cmH}_2\text{O}} \right] = 137,34 \text{ pa}$$

$$\bullet \quad = \frac{2}{1} = \frac{0,016 \text{ m}}{0,0381 \text{ m}} = 0,419947507$$

$$Q = C_d \times A_2 \times \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \times \sqrt{\frac{2(P_1-P_2)}{\rho}} \quad (\text{Sumber : Mc Cabe. 1993:221})$$

$$= 0,61 \times 0,000201 \text{ m}^2 \times \sqrt{\frac{1}{1-(0,419947507)^4}} \times \sqrt{\frac{2 \times 137,34 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}}{1,1827 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$= 0,0011389 \text{ m}^3/\text{s} = 113,89 \text{ Lpm}$$

b. Pada laju alir udara 136,84 Lpm

$$h_1 = -0,85 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$h_2 = 0,85 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$A_1 = 0,00114 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,000201 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{mix}} = 1.1545 \text{ kg/m}^3$$

Untuk menghitung laju alir syngas pada laju alir udara 136,84 Lpm digunakan rumus yang sama, sehingga laju alir syngas yang didapat 124,4082 Lpm.

c. Pada laju alir udara 168 Lpm

$$h_1 = -0,925 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$h_2 = 0,925 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$A_1 = 0,00114 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,000201 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{mix}} = 1.1450 \text{ kg/m}^3$$

Untuk menghitung laju alir syngas pada laju alir udara 168 Lpm digunakan rumus yang sama, sehingga laju alir syngas yang didapat 129,95 Lpm.

5. Nilai Kalor (*Heating Value*)

Dari presentase komposisi *syngas* dapat dilakukan perhitungan *Lower Heating Value* (LHV) pada *syngas* dengan persamaan :

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot \text{LHV}_i)$$

Sumber : Anil Kr., 2000

Dimana :

$\text{LHV}_{\text{syngas}}$ = Lower Heating Value (LHV) syngas (kJ/Nm³)

Y_i = Fraksi volume (konsentrasi) dari unsur syngas (%)

LHV_i = Lower Heating Value (LHV) dari unsur syngas (kJ/Nm³)

a. Pada laju alir udara 97,3 Lpm

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = \% \text{CO} \times \text{LHV}_{\text{CO}} + \% \text{CH}_4 \times \text{LHV}_{\text{CH}_4} + \% \text{H}_2 \times \text{LHV}_{\text{H}_2}$$

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = (0,2126 \times 12,63 + 0,0302 \times 35,88 + 0,13836 \times 10,78) \text{ MJ/m}^3$$

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = 5,259 \text{ MJ/m}^3$$

b. Pada laju alir udara 136,84 Lpm

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = \% \text{CO} \times \text{LHV}_{\text{CO}} + \% \text{CH}_4 \times \text{LHV}_{\text{CH}_4} + \% \text{H}_2 \times \text{LHV}_{\text{H}_2}$$

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = (0,2381 \times 12,63 + 0,0338 \times 35,88 + 0,166 \times 10,78) \text{ MJ/m}^3$$

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = 6,008 \text{ MJ/m}^3$$

c. Pada laju alir udara 168 Lpm

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = \% \text{CO} \times \text{LHV}_{\text{CO}} + \% \text{CH}_4 \times \text{LHV}_{\text{CH}_4} + \% \text{H}_2 \times \text{LHV}_{\text{H}_2}$$

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = (0,2551 \times 12,63 + 0,0362 \times 35,88 + 0,1729 \times 10,78) \text{ MJ/m}^3$$

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = 6,36 \text{ MJ/m}^3$$

6. Efisiensi Gasifikasi

Untuk menghitung efisiensi gasifikasi digunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{\text{flowrate syngas (m}^3/\text{s)} \times \text{LHV syngas (MJ/m}^3\text{)}}{\text{mass flowrate bahan bakar (kg/s)} \times \text{LHV bahan bakar (MJ/kg)}}$$

Dimana :

Flowrate syngas = laju alir syngas (m³/s)

LHV syngas = Lower Heating Value (LHV) syngas (kkal/m³)

Mass flowrate bahan bakar = Laju alir massa bahan bakar (kg/s)

LHV bahan bakar = Lower Heating Value (LHV) bahan bakar (kkal/kg)

a. Pada laju alir udara 97,3 Lpm

$$\eta = \frac{0,0011389 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 5,259 (\text{MJ}/\text{m}^3)}{0,00069 (\text{kg}/\text{s}) \times 20,99 (\text{MJ}/\text{kg})}$$

$$\eta = 41,35 \%$$

b. Pada laju alir udara 136,84 Lpm

$$\eta = \frac{0,001244 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 6,008 (\text{MJ}/\text{m}^3)}{0,00093 (\text{kg}/\text{s}) \times 20,99 (\text{MJ})}$$

$$\eta = 38,28 \%$$

c. Pada laju alir udara 168 Lpm

$$\eta = \frac{0,001299 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 6,36 (\text{MJ}/\text{m}^3)}{0,00116 (\text{kg}/\text{s}) \times 20,99 (\text{MJ}/\text{kg})}$$

$$\eta = 33,93 \%$$