

LAMPIRAN II 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:

$$Q = C \times A_2 \times \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{d_2^4}{d_1^4}}} \times \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

(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

Laju alir udara yang digunakan tetap yaitu pada pembacaan tekanan 0,6 cmH₂O

Diketahui :

- $D_1 = 1,5 \text{ m} \times \frac{2,54 \text{ cm}}{\text{in}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,0381 \text{ m}$
- $D_2 = 0,5 \text{ in} \times \frac{2,54 \text{ cm}}{\text{in}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,016 \text{ m}$
- $A = \frac{1}{4} \pi d^2$

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 = $29^\circ\text{C} + 273 = 302 \text{ K}$

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

pada $T = 300 \text{ K}$ adalah $1,1774 \text{ kg/m}^3$ (Sumber : Holman, J.P 2004: 589)

pada $T = 350 \text{ K}$ adalah $0,998 \text{ kg/m}^3$ (Sumber : Holman, J.P 2004: 589)

sehingga udara pada 302 K adalah $1,170224 \text{ Kg/m}^3$

Data yang terbaca pada manometer :

$$h_1 = -0,6 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$h_2 = 0,6 \text{ cmH}_2\text{O}$$

maka,

$$- P_1 + h_1 = P_2 + h_2$$

$$P_1 + (-0,6) = P_2 + 0,6$$

$$P_1 - P_2 = 0,6 + 0,6$$

$$= 1,2 \text{ cmH}_2\text{O} \times \left[\frac{98,1 \text{ Pa}}{1 \text{ cmH}_2\text{O}} \right] = 117,72 \text{ pa}$$

$$- \beta = \frac{d_2}{d_1} = \frac{0,016 \text{ m}}{0,0381 \text{ m}} = 0,41994751$$

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

$$= 0,61 \times 0,000201 \text{ m}^2 \times \sqrt{\frac{1}{1-(0,419947507)^4}} \times \sqrt{\frac{2 \times 117,72 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}}{1,170224 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$= 0,00176647 \text{ m}^3/\text{s} = 105,9881 \text{ liter/menit}$$

- Massa laju alir udara primer :

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

$$= 0,00176647 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,170224 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,002067164 \text{ kg/s}$$

2. Perhitungan Laju Pemakaian Bahan Baku

Laju pemakaian Bahan Baku Pada Laju Alir 105,9961 liter/menit

- Jumlah bahan baku yang disuplai = 2 kg = 2000 gr

- Jumlah abu (ash) sisa karbonisasi = 0,0716 kg = 71,6 gr

- Massa bahan baku terpakai = 2000 gr – 71,6 gr = 1928,4 gr

- Waktu (t) = 60 menit = 3600 s

$$- B_b = \frac{m_{bb}}{t} = \frac{1928,4 \text{ gr}}{3600 \text{ s}} = 0,535667 \text{ gr/s}$$

3. Perhitungan Laju Abu (ash) Sisa Pembakaran

laju abu (ash) sisa karbonisasi pada laju alir 105,9961 liter/menit

- Jumlah abu (*ash*) sisa karbonisasi = 0,0716 kg = 71,6 gr
- Waktu (t) = 60 menit = 3600 s
- $$\text{abu} = \frac{m_{\text{abu}}}{t} = \frac{71,6 \text{ gr}}{3600 \text{ s}} = 0,019889 \text{ gr/s}$$

4. Perhitungan Massa Jenis Syngas

a. Pada laju alir udara 105,9961 liter/menit, laju alir air 8 liter/menit

Massa jenis gas campuran (kg/m^3), Persamaan

$$\rho_{\text{mix}} = \rho_1 x_1 + \rho_2 x_2 + \dots + \rho_n x_n$$

Dimana:

$\rho_1 \dots \rho_n$ = massa jenis dari tiap komponen (kg/m^3)

$x_1 \dots x_n$ = fraksi mol dari tiap komponen gas

Name	Formula	Density ρ (kg/m^3)
Carbon dioxide	CO ₂	1,977
Carbon monoxide	CO	1,25
Hidrogen	H ₂	0,09
Nitrogen	N ₂	1,25
Oksigen	O ₂	1,49
Methane	CH ₄	0,68

(Sumber: Astari, Gita:2009)

- Perhitungan massa gas hasil pada ΔP udara 1 cmH₂O

$$\rho_{\text{mix}} = \rho_1 x_1 + \rho_2 x_2 + \dots + \rho_n x_n$$

- Fraksi volume dari tiap komponen gas (x_b), lihat lampiran hasil analisis komposisi gas

xCO	= 20,257 %	xN ₂	= 42,781 %
xCO ₂	= 11,894 %	xO ₂	= 8,182 %
xCH ₄	= 2,128 %	xH ₂	= 14,073 %

- Massa jenis tiap komponen (ρ), lihat tabel properties dari gas dan uap pada STP

$$\rho_{\text{mix}} = \rho_{\text{CO}} x_{\text{CO}} + \rho_{\text{CO}_2} x_{\text{CO}_2} + \rho_{\text{CH}_4} x_{\text{CH}_4} + \rho_{\text{O}_2} x_{\text{O}_2} + \rho_{\text{N}_2} x_{\text{N}_2} + \rho_{\text{H}_2} x_{\text{H}_2}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{mix}} &= (1,25 \times 0,2026) + (1,977 \times 0,1189) + (0,68 \times 0,02128) \\ &\quad + (1,49 \times 0,08182) + (1,25 \times 0,42781) + (0,09 \times 0,14073) \\ \rho_{\text{mix}} &= 1,1722 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

b. Pada laju alir udara 105,9961 liter/menit, laju alir air 12 liter/menit

- Fraksi volume dari tiap komponen gas (x_b), lihat lampiran hasil analisis komposisi gas

$$\begin{array}{ll}x_{\text{CO}} &= 20,547 \% & x_{\text{N}_2} &= 42,923 \% \\x_{\text{CO}_2} &= 12,245 \% & x_{\text{O}_2} &= 8,331 \% \\x_{\text{CH}_4} &= 2,224 \% & x_{\text{H}_2} &= 13,73 \% \\ \rho_{\text{mix}} &= 1,1871 \text{ kg/m}^3\end{array}$$

c. Pada laju alir udara 105,9961 liter/menit, laju alir air 16 liter/menit

- Fraksi volume dari tiap komponen gas (x_b), lihat lampiran hasil analisis komposisi gas

$$\begin{array}{ll}x_{\text{CO}} &= 21,23 \% & x_{\text{N}_2} &= 42,87 \% \\x_{\text{CO}_2} &= 10,505 \% & x_{\text{O}_2} &= 8,23 \% \\x_{\text{CH}_4} &= 2,324 \% & x_{\text{H}_2} &= 14,841 \% \\ \rho_{\text{mix}} &= 1,1607 \text{ kg/m}^3\end{array}$$

5. Perhitungan pada Laju Alir Syngas

a. Pada laju aliran air venturi *wet scrubber* 8 liter/menit

Didapatkan pembacaan bedat tekan *syngas* pada manometer yaitu sebesar 0,5 cmH₂O. Untuk menghitung laju alir *syngas*, dihitung/dikonversi satuan tekanan menjadi laju alir udara. Rumus untuk menghitung laju alir *syngas*, yaitu:

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

(Sumber: Mc Cabe. 1993:221)

- 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

Diketahui :

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

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

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

maka,

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

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

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

$$- \rho_{\text{mix}} = 1,1722 \text{ kg/m}^3$$

Data Syngas keluar yang terbaca pada manometer: 0,58 cmH₂O

$$h_1 = -0,58 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$h_2 = 0,58 \text{ cmH}_2\text{O}$$

maka,

$$- P_1 + h_1 = P_2 + h_2$$

$$P_1 + (-0,58) = P_2 + 0,58$$

$$P_1 - P_2 = 0,58 + 0,58$$

$$= 1,16 \text{ cmH}_2\text{O} \times \left[\frac{98,1 \text{ Pa}}{1 \text{ cmH}_2\text{O}} \right] = 113,796 \text{ pa}$$

$$- \frac{d_2}{d_1} \approx \frac{0,016 \text{ m}}{0,0381 \text{ m}} = 0,41994751$$

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

$$= 0,61 \times 0,000201 \text{ m}^2 \times \sqrt{\frac{1}{1-(0,41994751)^4}} \times \sqrt{\frac{2 \times 113,796 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}}{1,1722 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$= 0,00173534 \text{ m}^3/\text{s} = 104,1203 \text{ liter/menit}$$

b. Pada laju aliran air venturi *wet scrubber* 12 liter/menit

$$h_1 = -0,54 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$h_2 = 0,54 \text{ cmH}_2\text{O}$$

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

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

$$\rho_{\text{mix}} = 1,1871 \text{ kg/m}^3$$

Untuk menghitung laju alir syngas pada laju alir air 12 liter/menit digunakan rumus yang sama, sehingga laju alir syngas yang didapat 0,0016639 m³/s atau 99,83311 liter/menit.

c. Pada laju aliran air venturi *wet scrubber* 16 liter/menit

$$h_1 = -0,51 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$h_2 = 0,51 \text{ cmH}_2\text{O}$$

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

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

$$\rho_{\text{mix}} = 1,1607 \text{ kg/m}^3$$

Untuk menghitung laju alir syngas pada laju alir air 16 liter/menit digunakan rumus yang sama, sehingga laju alir syngas yang didapat 0,00163526 m³/s atau 98,11541 liter/menit.

6. Perhitungan Volume Syngas

a. Pada laju aliran air venturi *wet scrubber* 8 liter/menit

Untuk menghitung volume syngas dapat digunakan rumus, yaitu:

$$V = Q \times t$$

Dimana: V : Volume Syngas (m³)

Q : Laju alir syngas (m³/s)

t : Waktu operasi (s)

maka, $V = Q \times t$

$$= 0,00173534 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s}$$

$$= 6,2472156 \text{ m}^3$$

b. Pada laju aliran air venturi *wet scrubber* 12 liter/menit

$$V = Q \times t$$

$$= 0,0016639 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s}$$

$$= 6,2472156 \text{ m}^3$$

c. Pada laju aliran air venturi *wet scrubber* 16 liter/menit

$$V = Q \times t$$

$$= 0,0016639 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s}$$

$$= 5,9899869 \text{ m}^3$$

7. Nilai Kalor (Heating Value)

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

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot \text{LHV}_i) \quad (\text{Sumber : Anil Kr., 2000})$$

Dimana :

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = \text{Lower Heating Value (LHV) syngas (kJ/Nm}^3\text{)}$$

$$Y_i = \text{Fraksi volume (konsentrasi) dari unsur syngas (\%)}$$

$$\text{LHV}_i = \text{Lower Heating Value (LHV) dari unsur syngas (kJ/Nm}^3\text{)}$$

a. Pada laju alir udara 105,9961 liter/menit, laju alir air 8 liter/menit

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

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = (0,20257 \times 12,63 + 0,02128 \times 35,88 + 0,14073 \times 10,78) \text{ MJ/m}^3$$

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = 4,8390549 \text{ MJ/m}^3$$

b. Pada laju alir udara 105,9961 liter/menit, laju alir air 12 liter/menit

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

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = (0,20547 \times 12,63 + 0,0224 \times 35,88 + 0,1373 \times 10,78) \text{ MJ/m}^3$$

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = 4,8731513 \text{ MJ/m}^3$$

c. Pada laju alir udara 105,9961 liter/menit, laju alir air 16 liter/menit

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

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = (0,2123 \times 12,63 + 0,02324 \times 35,88 + 0,14841 \times 10,78) \text{ MJ/m}^3$$

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = 5,115060 \text{ MJ/m}^3$$

8. Kandungan Tar dalam Syngas

8.1 Kandungan Tar dalam Syngas Masuk Venturi Scrubber

a. Pada Laju Alir Air 8 liter/menit

$$\begin{aligned} \text{Kandungan tar} &= \frac{\text{massa tar (kg)}}{\text{Volume Syngas (m}^3\text{)}} && \text{(Sumber: Sianipar, 2012:48)} \\ &= \frac{2,175 \text{ gr}}{6,2472156 \text{ m}^3} \\ &= 0,34816 \text{ gr/m}^3 \end{aligned}$$

b. Pada Laju Alir Air 12 liter/menit

$$\begin{aligned} \text{Kandungan tar} &= \frac{\text{massa tar (kg)}}{\text{Volume Syngas (m}^3\text{)}} \\ &= \frac{2,175 \text{ gr}}{5,9899869 \text{ m}^3} \\ &= 0,36311 \text{ gr/m}^3 \end{aligned}$$

c. Pada Laju Alir Air 16 liter/menit

$$\begin{aligned} \text{Kandungan tar} &= \frac{\text{massa tar (kg)}}{\text{Volume Syngas (m}^3\text{)}} \\ &= \frac{2,175 \text{ gr}}{5,88692457 \text{ m}^3} \\ &= 0,36946 \text{ gr/m}^3 \end{aligned}$$

8.2 Kandungan Tar dalam Syngas Keluar Venturi Scrubber

a. Pada Laju Alir Air 8 liter/menit

$$\begin{aligned} \text{Kandungan tar} &= \frac{(\text{massa tar masuk VS} - \text{massa tar keluar VS})\text{gr}}{\text{Volume Syngas (m}^3\text{)}} && \text{(Sumber: Sianipar, 2012:48)} \\ &= \frac{(2,175 - 0,6)\text{gr}}{6,2472156 \text{ m}^3} \\ &= 0,252112 \text{ gr/m}^3 \end{aligned}$$

b. Pada Laju Alir Air 12 liter/menit

$$\begin{aligned} \text{Kandungan tar} &= \frac{(\text{massa tar masuk VS} - \text{massa tar keluar VS})\text{gr}}{\text{Volume Syngas (m}^3\text{)}} \\ &= \frac{(2,175 - 0,77)\text{gr}}{5,9899869 \text{ m}^3} \\ &= 0,234558 \text{ gr/m}^3 \end{aligned}$$

c. Pada Laju Alir Air 16 liter/menit

$$\begin{aligned} \text{Kandungan tar} &= \frac{(\text{massa tar masuk VS} - \text{massa tar keluar VS})\text{gr}}{\text{Volume Syngas (m}^3\text{)}} \\ &= \frac{(2,175-1,2)\text{gr}}{5,88692457 \text{ m}^3} \\ &= 0,165621 \text{ gr/m}^3 \end{aligned}$$

9. Efisiensi Venturi Scrubber

a. Pada Laju Alir Air 8 liter/menit

$$\begin{aligned} \% \text{ efisiensi} &= \frac{Ma-Mb}{Ma} \times 100\% \quad (\text{Sumber : Sianipar,2012:48}) \\ &= \frac{0,34816 \text{ gr/m}^3 - 0,252112 \text{ gr/m}^3}{0,34816 \text{ gr/m}^3} \times 100\% \\ &= 27,59 \% \end{aligned}$$

b. Pada Laju Alir Air 12 liter/menit

$$\begin{aligned} \% \text{ efisiensi} &= \frac{Ma-Mb}{Ma} \times 100\% \\ &= \frac{0,36311 \text{ gr/m}^3 - 0,234558 \text{ gr/m}^3}{0,36311 \text{ gr/m}^3} \times 100\% \\ &= 35,40 \% \end{aligned}$$

c. Pada Laju Alir Air 16 liter/menit

$$\begin{aligned} \% \text{ efisiensi} &= \frac{Ma-Mb}{Ma} \times 100\% \\ &= \frac{0,36946 \text{ gr/m}^3 - 0,165621 \text{ gr/m}^3}{0,36946 \text{ gr/m}^3} \times 100\% \\ &= 55,17 \% \end{aligned}$$