

LAMPIRAN II PERHITUNGAN

Tabel 11. Komposisi Briket Batubara

Komponen	Komposisi (%) mol	BM gr / mol
Carbon (C)	60	12
Hidrogen (H ₂)	3,5	2
Nitrogen (N ₂)	1,3	28
Air (H ₂ O)	6,31	18
Sulfur (S)	4,38	32
Oksigen (O ₂)	5,93	32
Abu	18,58	
Total	100	1206,9

2.1 Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi pada Rasio Udara Bahan Bakar 4 : 1

2.1.1 Menghitung Neraca Massa

Basis 100 Kmol Briket Batubara

$$\begin{aligned} \text{Waktu yang dibutuhkan} &= 164 \text{ menit} = 164 \text{ menit} / 60 \\ &= 2,75 \text{ jam} \end{aligned}$$

Komposisi Briket Batubara :

$$\begin{aligned} \text{C} &= 60 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 60 \text{ kmol} \times 12 \text{ kg/kmol} = 720 \text{ kg} \\ \text{H}_2 &= 3,5 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 3,5 \text{ kmol} \times 2 \text{ kg/kmol} = 7 \text{ kg} \\ \text{N}_2 &= 1,3 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 1,3 \text{ kmol} \times 28 \text{ kg/kmol} = 36,4 \text{ kg} \\ \text{H}_2\text{O} &= 6,31 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 6,31 \text{ kmol} \times 18 \text{ kg/kmol} = 113,58 \text{ kg} \\ \text{S} &= 4,38 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 4,38 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} = 140,16 \text{ kg} \\ \text{O}_2 &= 5,93 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 5,93 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} = 189,76 \text{ kg} \\ \text{Abu} &= 18,58 \% \\ \hline \text{Total} &= 100 \% \qquad \qquad \qquad = 1206,9 \text{ kg} \end{aligned}$$

C	+	O ₂	→	CO ₂
60		60		60 kmol
12		32		44 kg/kmol
720		1920		2640 kg
H ₂	+	½ O ₂	→	H ₂ O
3,5		1,75		3,5 kmol
2		32		18 kg/kmol
7		56		63 kg
S	+	O ₂	→	SO ₂
4,38		4,38		4,38 kmol
32		32		64 kg/kmol
140,16		140,16		280,32 kg

a. Menghitung Udara Teoritis

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ teoritis} &= (60 + 1,75 + 4,38) \\
 &= 66,13 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} \\
 &= 2116,16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung Udara Berlebih

$$\% \text{ excess} = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (\text{O}_2 \text{ teoritis} - \text{O}_2 \text{ BB}))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$10 \% = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (66,13 - 5,93))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$0,1 \text{ O}_2 \text{ masuk} = \text{O}_2 \text{ masuk} - 66,13 \text{ kmol}$$

$$(0,1 - 1) \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$0,9 \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$\text{O}_2 \text{ masuk} = 66,89 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ masuk} &= 66,89 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg kmol} \\
 &= 2140,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ sisa} &= (66,89 - 66,13) \text{ kmol} \\
 &= 0,76 \text{ kmol} \\
 \text{N}_2 \text{ masuk} &= 79/21 \times 66,89 \text{ kmol} \\
 &= 251,63 \text{ kmol} \times 28 \text{ kg/kmol} \\
 &= 7,045,64 \text{ kg} \\
 \text{Udara masuk} &= (\text{O}_2 + \text{N}_2) \\
 &= (66,89 + 251,63) \text{ kmol} \\
 &= 318,52 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

c. Komposisi Flue Gas Hasil dari Pembakaran

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 &= 0,76 \text{ kmol} = 0,76 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 0,24 \% \\
 \text{N}_2 &= 251,63 \text{ kmol} = 251,63 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 79,44 \% \\
 \text{CO}_2 &= 60 \text{ kmol} = 60 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 18,94 \% \\
 \text{SO}_2 &= 4,38 \text{ kmol} = 4,38 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 1,38 \% \\
 \hline
 \text{Total} &= 316,77 \text{ kmol} = 100 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 12. Neraca Massa Total

Komponen	Input (kg)	Output (kg)
C	720	0
H ₂	7	0
N ₂	7082,04	7082,04
H ₂ O	113,54	176,58
S	140,16	0
O ₂	2140,48	24,32
CO ₂	0	2640
SO ₂	0	280,32
Abu	18,58	18,58
Total	10221,84	10221,84

2.2.2 Menghitung Neraca Energi

Untuk menghitung neraca energi dibutuhkan kapasitas panas. Kapasitas panas sumber Hougen satuannya adalah Kcal/kgC. Kapasitas panas fungsi temperatur dapat dilihat pada tabel 14 dan 16 sebagai berikut :

Tabel 13. Kapasitas Panas Bahan

Komponen	A	Bx10 ⁻⁶	Cx10 ⁻⁹
Batubara	0,262	390	0
Udara	0,237	23	0

(Sumber : Hougen, *Eng.Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$C_p = 0,262 + (0,00039 \times 9) + (0 \times 25)$$

$$= 0,26551 \text{ Kca/Kg C}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku yang lain ditabulasikan pada tabel 14. Sebagai berikut :

Tabel 14. Kapasitas Panas Bahan Baku

Komponen	A	B*10 ⁻⁶	C*10 ⁻⁹	Δt	Cp
Batubara	0,262	0,00039	0	9	0,26551
Udara	0,237	0,000023	0	9	0,237207

Tabel 15. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶
O ₂	6,117	3,167	-1,005
N ₂	6,457	1,389	-0,069
CO ₂	6,339	10,14	-3,145
CO	6,35	1,811	-0,2675
SO ₂	6,945	10,01	-3,794
H ₂ O	7,136	2,64	0,0459

(Sumber : Hougen, *Eng.Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas gas hasil pembakaran batubara digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$C_p = 6,117 + (0,0013167 \times 9) + (0,000001005 \times 100)$$

$$= 6,14542 \text{ Kca/Kg C}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 14. Sebagai berikut :

Tabel 16. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶	Δt	Cp
O ₂	6,117	0,003167	-0,000001005	9	6,14542
N ₂	6,457	0,001389	-0,000000069	9	6,4695
CO ₂	6,339	0,01014	-0,000003145	9	36,43001
SO ₂	6,945	0,01001	-0,000003794	9	7,03478
H ₂ O	7,136	0,00264	0,000000459	9	7,1598

a. Panas Input**1. Panas sensibel batubara**

$$M = 3 \text{ kg/jam}$$

$$T_{\text{masuk}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_1 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 3 \text{ Kg/jam} \times 0,265551 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 3,98265 \text{ Kcal/jam}$$

2. Panas pembakaran batubara

$$Q_2 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 3 \text{ Kg/jam} \times 5400 \text{ Kcal/ KgC}$$

$$= 16200 \text{ Kcal/jam}$$

3. Panas sensibel udara (rasio 4:1)

$$Q_3 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 9186,22667 \text{ Kg/jam} \times 0,237207 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 10895,186 \text{ Kcal/jam}$$

4. Panas air masuk

$$Q_3 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,1597971 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 35,798985 \text{ Kcal/jam}$$

b. Panas Output**1. Panas sensibel exhaust gas**

$$T_{\text{out}} = 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ref} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$\begin{aligned} C_p &= 6,117 + (0,0013167 \times 9) + (0,000001005 \times 100) \\ &= 6,145421595 \text{ Kca/Kg C} \end{aligned}$$

$$Q_4 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 0,76 \text{ Kg/jam} \times 6,145421595 \text{ Kcal/ KgC} \times (34 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 42,035 \text{ Kcal/jam}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 17. Sebagai berikut :

Tabel 17. Panas sensibel exhaust gas

Komponen	Mol	Cp(Kcal/molK)	Δt (K)	Q(Kcal/jam)
O ₂	0,76	6,1485695	9	42,035
N ₂	251,63381	6,4708831	9	14651
CO ₂	60,00	6,4400855	9	3472,2
SO ₂	4,38	7,0447206	9	277,31
Total (Q ₄)				18443

2. Panas yang diserap Air

$$M = 1 \text{ Kg/jam}$$

$$T_{out} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ref} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_5 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,159797 \text{ Kcal/ KgC} \times (100 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 536,9848 \text{ Kcal/jam}$$

Tabel 18. Neraca Energi Total

Komponen	Input (Kcal)	Output (Kcal)
Panas ensibel batubara	3,98265	0
Panas pembakaran batubara	16200	0
Panas sensibel udara	10895,1863	0
Panas air masuk	35,7989859	0
Panas sensibel exhaust gas	0	18443,04264
Panas yang diserap air	0	536,9847884
Heat loss	0	8154,940553
Total	27134,968	27134,968

2.3.2 Menghitung Efisiensi Termal pada kompor

Untuk menghitung efisiensi termal pada sistem kompor briket digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{Head loss}}{\text{Panas Masuk}} \times 100 \% \\ &= \frac{8154,940553}{27134,96798} \times 100 \% \\ &= 30,05 \%\end{aligned}$$

2.2 Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi pada Rasio Udara Bahan Bakar 6 : 1

2.1.2. Menghitung Neraca Massa

Basis 100 Kmol Briket Batubara

$$\begin{aligned}\text{Waktu yang dibutuhkan} &= 1 \text{ menit} = 148 \text{ menit} / 60 \\ &= 2,46 \text{ jam}\end{aligned}$$

Komposisi Briket Batubara :

$$\begin{aligned}\text{C} &= 60 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 60 \text{ kmol} \times 12 \text{ kg/kmol} = 720 \text{ kg} \\ \text{H}_2 &= 3,5 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 3,5 \text{ kmol} \times 2 \text{ kg/kmol} = 7 \text{ kg} \\ \text{N}_2 &= 1,3 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 1,3 \text{ kmol} \times 28 \text{ kg/kmol} = 36,4 \text{ kg} \\ \text{H}_2\text{O} &= 6,31 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 6,31 \text{ kmol} \times 18 \text{ kg/kmol} = 113,58 \text{ kg} \\ \text{S} &= 4,38 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 4,38 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} = 140,16 \text{ kg} \\ \text{O}_2 &= 5,93 \% \quad \times 100 \text{ kmol} = 5,93 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} = 189,76 \text{ kg} \\ \text{Abu} &= 18,58 \%\end{aligned}$$

$$\text{Total} = 100 \% \qquad \qquad \qquad = 1206,9 \text{ kg}$$



H ₂	+	½ O ₂	—————>	H ₂ O
3,5		1,75		3, kmol
2		32		18 kg/kmol
<hr/>				
7		56		63 kg
S	+	O ₂	—————>	SO ₂
4,38		4,38		4,38 kmol
32		32		64 kg/kmol
<hr/>				
140,16		140,16		280,32 kg

a. Menghitung Udara Teoritis

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ teoritis} &= (60 + 1,75 + 4,38) \\
 &= 66,13 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} \\
 &= 2116,16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung Udara Berlebih

$$\% \text{ excess} = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (\text{O}_2 \text{ teoritis} - \text{O}_2 \text{ BB}))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$10 \% = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (66,13 - 5,93))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$0,1 \text{ O}_2 \text{ masuk} = \text{O}_2 \text{ masuk} - 66,13 \text{ kmol}$$

$$(0,1 - 1) \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$0,9 \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$\text{O}_2 \text{ masuk} = 66,89 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ masuk} &= 66,89 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} \\
 &= 2140,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ sisa} &= (66,89 - 66,13) \text{ kmol} \\
 &= 0,76 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{N}_2 \text{ masuk} &= 79/21 \times 66,89 \text{ kmol} \\
 &= 251,63 \text{ kmol} \times 28 \text{ kg/kmol} \\
 &= 7,045,64 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Udara masuk} &= (\text{O}_2 + \text{N}_2) \\
 &= (66,89 + 251,63) \text{ kmol} \\
 &= 318,52 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

c. Komposisi Flue Gas Hasil dari Pembakaran

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 &= 0,76 \text{ kmol} = 0,76 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 0,24 \% \\
 \text{N}_2 &= 251,63 \text{ kmol} = 251,63 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 79,44 \% \\
 \text{CO}_2 &= 60 \text{ kmol} = 60 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 18,94 \% \\
 \text{SO}_2 &= 4,38 \text{ kmol} = 4,38 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 1,38 \% \\
 \hline
 \text{Total} &= 316,77 \text{ kmol} = 100 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 19. Neraca Massa Total

Komponen	Input (kg)	Output (kg)
C	720	0
H ₂	7	0
N ₂	7082,04	7082,04
H ₂ O	113,54	176,58
S	140,16	0
O ₂	2140,48	24,32
CO ₂	0	2640
SO ₂	0	280,32
Abu	18,58	18,58
Total	10221,84	10221,84

2.2.2 Menghitung Neraca Energi

Untuk menghitung neraca energi dibutuhkan kapasitas panas. Kapasitas panas sumber Hougén satuannya adalah Kcal/kgC. Kapasitas panas fungsi temperatur dapat dilihat pada tabel 21 dan 23 sebagai berikut :

Tabel 20. Kapasitas Panas Bahan

Komponen	A	Bx10 ⁻⁶	Cx10 ⁻⁹
Batubara	0,262	390	0
Udara	0,237	23	0

(Sumber : Hougén, *Eng.Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$\begin{aligned} C_p &= 0,262 + (0,00039 \times 5) + (0 \times 25) \\ &= 0,26395 \text{ Kca/Kg C} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku yang lain ditabulasikan pada tabel 21. Sebagai berikut :

Tabel 21. Kapasitas Panas Bahan Baku

Komponen	A	B*10 ⁻⁶	C*10 ⁻⁹	Δt	Cp
Batubara	0,262	0,00039	0	5	0,26395
Udara	0,237	0,000023	0	5	0,237115

Tabel 22. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶
O ₂	6,117	3,167	-1,005
N ₂	6,457	1,389	-0,069
CO ₂	6,339	10,14	-3,145
CO	6,35	1,811	-0,2675
SO ₂	6,945	10,01	-3,794
H ₂ O	7,136	2,64	0,0459

(Sumber : Hougen, *Eng. Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas gas hasil pembakaran batubara digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$\begin{aligned} C_p &= 6,117 + (0,0013167 \times 10) + (0,000001005 \times 100) \\ &= 6,14857 \text{ Kca/Kg C} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 23. Sebagai berikut :

Tabel 23. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶	Δt	Cp
O ₂	6,117	0,003167	-0,000001005	10	6,14857
N ₂	6,457	0,001389	-0,000000069	10	6,470883
CO ₂	6,339	0,01014	-0,000003145	10	6,440086
SO ₂	6,945	0,01001	-0,000003794	10	7,044721
H ₂ O	7,136	0,00264	0,000000459	10	7,162446

a. Panas Input**1. Panas sensibel batubara**

$$M = 3 \text{ kg/jam}$$

$$T_{\text{masuk}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= n \times C_p \times \Delta t \\ &= 3 \text{ Kg/jam} \times 0,26395 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 3,95925 \text{ Kcal/jam} \end{aligned}$$

2. Panas pembakaran batubara

$$\begin{aligned} Q_2 &= n \times C_p \times \Delta t \\ &= 3 \text{ Kg/jam} \times 5400 \text{ Kcal/ KgC} \\ &= 16200 \text{ Kcal/jam} \end{aligned}$$

3. Panas sensibel udara (rasio 6:1)

$$\begin{aligned} Q_3 &= n \times C_p \times \Delta t \\ &= 9186,22667 \text{ Kg/jam} \times 0,237115 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 10890,9607 \text{ Kcal/jam} \end{aligned}$$

4. Panas air masuk

$$\begin{aligned} Q_3 &= n \times C_p \times \Delta t \\ &= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,1624459 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 35,8122295 \text{ Kcal/jam} \end{aligned}$$

b. Panas Output**1. Panas sensibel exhaust gas**

$$T_{\text{out}} = 35 \text{ C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ C}$$

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$\begin{aligned} C_p &= 6,117 + (0,0013167 \times 10) + (0,000001005 \times 100) \\ &= 6,14857 \text{ Kca/Kg C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= n \times C_p \times \Delta t \\
 &= 0,76 \text{ Kg/jam} \times 6,1485695 \text{ Kcal/ KgC} \times (35 - 25) ^\circ\text{C} \\
 &= 46,7291282 \text{ Kcal/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 24. Sebagai berikut :

Tabel 24. Panas sensibel exhaust gas

Komponen	Mol	Cp(Kcal/molK)	Δt (K)	Q(Kcal/jam)
O ₂	0,76	6,1485695	10	46,7291282
N ₂	251,63381	6,4708831	10	16282,9297
CO ₂	60,00	6,4400855	10	3864,0513
SO ₂	4,38	7,0447206	10	308,558762
Total (Q ₄)				20502,2688

2. Panas yang diserap Air

$$M = 1 \text{ Kg/jam}$$

$$T_{\text{out}} = 100 ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= n \times C_p \times \Delta t \\
 &= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,162446 \text{ Kcal/ KgC} \times (100 - 25) ^\circ\text{C} \\
 &= 537,1834 \text{ Kcal/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 25. Neraca Energi Total

Komponen	Input (Kcal)	Output (Kcal)
Panas sensibel batubara	3,95925	0
Panas pembakaran batubara	16200	0
Panas sensibel udara	10890,9607	0
Panas air masuk	35,8122295	0
Panas sensibel exhaust gas	0	20502,26884
Panas yang diserap air	0	537,1834425
Heat loss	0	6091,279872
Total	27130,7322	27130,7322

2.3.2. Menghitung Efisiensi Termal pada kompor

Untuk menghitung efisiensi termal pada sistem kompor briket digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{Head loss}}{\text{Panas Masuk}} \times 100 \% \\ &= \frac{6091,279872}{27130,7322} \times 100 \% \\ &= 22,5 \%\end{aligned}$$

2.3 Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi pada Rasio Udara Bahan Bakar 7 : 1

2.1.3 Menghitung Neraca Massa

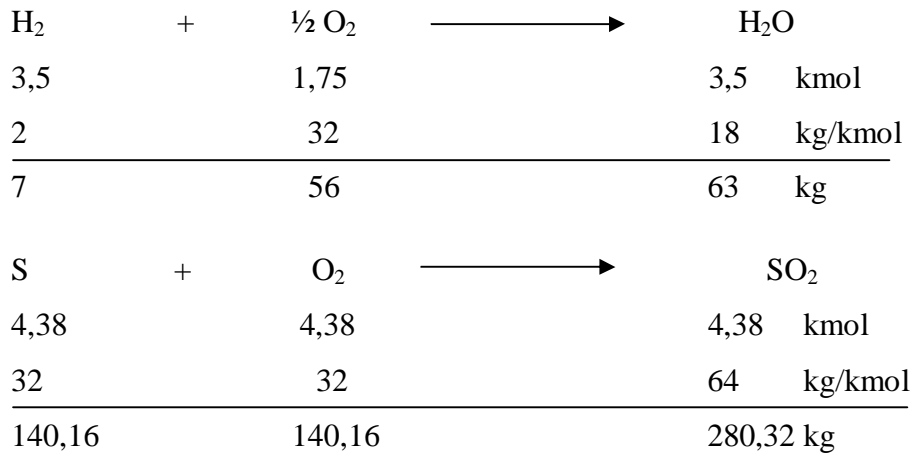
Basis 100 Kmol Briket Batubara

Waktu yang dibutuhkan = 120 menit = 120 menit / 60
= 2 jam

Komposisi Briket Batubara :

C	= 60 %	x 100 kmol	= 60 kmol	x 12 kg/kmol	= 720 kg
H ₂	= 3,5 %	x 100 kmol	= 3,5 kmol	x 2 kg/kmol	= 7 kg
N ₂	= 1,3 %	x 100 kmol	= 1,3 kmol	x 28 kg/kmol	= 36,4 kg
H ₂ O	= 6,31 %	x 100 kmol	= 6,31 kmol	x 18 kg/kmol	= 113,58 kg
S	= 4,38 %	x 100 kmol	= 4,38 kmol	x 32 kg/kmol	= 140,16 kg
O ₂	= 5,93 %	x 100 kmol	= 5,93 kmol	x 32 kg/kmol	= 189,76 kg
Abu	= 18,58 %				
<hr/>					
Total	= 100 %				= 1206,9 kg

C	+	O ₂	→	CO ₂
60		60		60 kmol
12		32		44 kg/kmol
<hr/>				
720		1920		2640 kg



a. Menghitung Udara Teoritis

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ teoritis} &= (60 + 1,75 + 4,38) \\
 &= 66,13 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} \\
 &= 2116,16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung Udara Berlebih

$$\% \text{ excess} = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (\text{O}_2 \text{ teoritis} - \text{O}_2 \text{ BB}))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$10 \% = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (66,13 - 5,93))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$0,1 \text{ O}_2 \text{ masuk} = \text{O}_2 \text{ masuk} - 66,13 \text{ kmol}$$

$$(0,1 - 1) \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$0,9 \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$\text{O}_2 \text{ masuk} = 66,89 \text{ kmol}$$

$$\text{O}_2 \text{ masuk} = 66,89 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg kmol}$$

$$= 2140,48 \text{ kg}$$

$$\text{O}_2 \text{ sisa} = (66,89 - 66,13) \text{ kmol}$$

$$= 0,76 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{N}_2 \text{ masuk} &= 79/21 \times 66,89 \text{ kmol} \\
 &= 251,63 \text{ kmol} \times 28 \text{ kg/kmol} \\
 &= 7,045,64 \text{ kg} \\
 \text{Udara masuk} &= (\text{O}_2 + \text{N}_2) \\
 &= (66,89 + 251,63) \text{ kmol} \\
 &= 318,52 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

c. Komposisi Flue Gas Hasil dari Pembakaran

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 &= 0,76 \text{ kmol} = 0,76 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 0,24 \% \\
 \text{N}_2 &= 251,63 \text{ kmol} = 251,63 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 79,44 \% \\
 \text{CO}_2 &= 60 \text{ kmol} = 60 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 18,94 \% \\
 \text{SO}_2 &= 4,38 \text{ kmol} = 4,38 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 1,38 \% \\
 \hline
 \text{Total} &= 316,77 \text{ kmol} = 100 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 26. Neraca Massa Total

Komponen	Input (kg)	Output (kg)
C	720	0
H ₂	7	0
N ₂	7082,04	7082,04
H ₂ O	113,54	176,58
S	140,16	0
O ₂	2140,48	24,32
CO ₂	0	2640
SO ₂	0	280,32
Abu	18,58	18,58
Total	10221,84	10221,84

2.3.2 Menghitung Neraca Energi

Untuk menghitung neraca energi dibutuhkan kapasitas panas. Kapasitas panas sumber Hougen satuannya adalah Kcal/kgC. Kapasitas panas fungsi temperatur dapat dilihat pada tabel 28 dan 30 sebagai berikut :

Tabel 27. Kapasitas Panas Bahan

Komponen	A	Bx10 ⁻⁶	Cx10 ⁻⁹
Batubara	0,262	390	0
Udara	0,237	23	0

(Sumber : Hougen, *Eng.Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$C_p = 0,262 + (0,00039 \times 8) + (0 \times 25)$$

$$= 0,26512 \text{ Kca/Kg C}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku yang lain ditabulasikan pada tabel 28. Sebagai berikut :

Tabel 28. Kapasitas Panas Bahan Baku

Komponen	A	B*10 ⁻⁶	C*10 ⁻⁹	Δt	Cp
Batubara	0,262	0,00039	0	8	0,26512
Udara	0,237	0,000023	0	8	0,237184

Tabel 29. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶
O ₂	6,117	3,167	-1,005
N ₂	6,457	1,389	-0,069
CO ₂	6,339	10,14	-3,145
CO	6,35	1,811	-0,2675
SO ₂	6,945	10,01	-3,794
H ₂ O	7,136	2,64	0,0459

(Sumber : Hougen, *Eng.Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas gas hasil pembakaran batubara digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$C_p = 6,117 + (0,0013167 \times 8) + (0,000001005 \times 100)$$

$$= 6,14227 \text{ Kca/Kg C}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 30. Sebagai berikut :

Tabel 30. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶	Δt	Cp
O ₂	6,117	0,003167	-0,000001005	8	6,14227
N ₂	6,457	0,001389	-0,000000069	8	6,46811
CO ₂	6,339	0,01014	-0,000003145	8	6,41992
SO ₂	6,945	0,01001	-0,000003794	8	7,02484
H ₂ O	7,136	0,00264	0,000000459	8	7,15715

a. Panas Input

1. Panas sensibel batubara

$$M = 3 \text{ kg/jam}$$

$$T_{\text{masuk}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= n \times C_p \times \Delta t \\ &= 3 \text{ Kg/jam} \times 0,26512 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 3,9768 \text{ Kcal/jam} \end{aligned}$$

2. Panas pembakaran batubara

$$\begin{aligned} Q_2 &= n \times C_p \times \Delta t \\ &= 3 \text{ Kg/jam} \times 5400 \text{ Kcal/ KgC} \\ &= 16200 \text{ Kcal/jam} \end{aligned}$$

3. Panas sensibel udara (rasio 7:1)

$$\begin{aligned} Q_3 &= n \times C_p \times \Delta t \\ &= 9186,22667 \text{ Kg/jam} \times 0,237184 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 10894,1299 \text{ Kcal/jam} \end{aligned}$$

4. Panas air masuk

$$\begin{aligned} Q_3 &= n \times C_p \times \Delta t \\ &= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,15714938 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 35,7857469 \text{ Kcal/jam} \end{aligned}$$

b. Panas Output

1. Panas sensibel exhaust gas

$$T_{\text{out}} = 33 \text{ C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ C}$$

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$\begin{aligned} C_p &= 6,117 + (0,0013167 \times 8) + (0,000001005 \times 100) \\ &= 6,14227168 \text{ Kca/Kg C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= n \times C_p \times \Delta t \\
 &= 0,76 \text{ Kg/jam} \times 6,14227168 \text{ Kcal/ KgC} \times (35 - 25) ^\circ\text{C} \\
 &= 37,345 \text{ Kcal/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 31. Sebagai berikut :

Tabel 31. Panas sensibel exhaust gas

Komponen	Mol	Cp(Kcal/molK)	Δt (K)	Q(Kcal/jam)
O ₂	0,76	6,1485695	10	37,345
N ₂	251,63381	6,4708831	10	13021
CO ₂	60,00	6,4400855	10	3081,6
SO ₂	4,38	7,0447206	10	246,15
Total (Q ₄)				16386

2. Panas yang diserap Air

$$M = 1 \text{ Kg/jam}$$

$$T_{\text{out}} = 100 ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= n \times C_p \times \Delta t \\
 &= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,157149 \text{ Kcal/ KgC} \times (100 - 25) ^\circ\text{C} \\
 &= 536,7862 \text{ Kcal/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 32. Neraca Energi Total

Komponen	Input (Kcal)	Output (Kcal)
Panas sensibel batubara	3,9768	0
Panas pembakaran batubara	16200	0
Panas sensibel udara	10894,1299	0
Panas air masuk	35,7857469	0
Panas sensibel exhaust gas	0	16385,81271
Panas yang diserap air	0	536,7862032
Heat loss	0	10211,29357
Total	27133,8925	27133,8925

2.3.2. Menghitung Efisiensi Termal pada kompor

Untuk menghitung efisiensi termal pada sistem kompor briket digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{Head loss}}{\text{Panas Masuk}} \times 100 \% \\ &= \frac{10211,29357}{27133,8925} \times 100 \% \\ &= 37,63 \%\end{aligned}$$

2.4 Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi pada Rasio Udara Bahan Bakar 8 : 1

2.1.4 Menghitung Neraca Massa

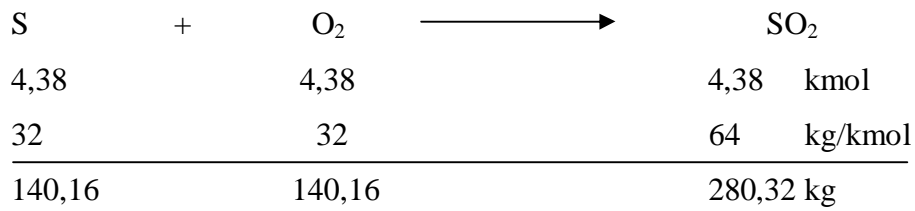
Basis 100 Kmol Briket Batubara

$$\begin{aligned}\text{Waktu yang dibutuhkan} &= 90 \text{ menit} = 90 \text{ menit} / 60 \\ &= 1,5 \text{ jam}\end{aligned}$$

Komposisi Briket Batubara :

C	= 60 %	x 100 kmol	= 60 kmol	x 12 kg/kmol	= 720 kg
H ₂	= 3,5 %	x 100 kmol	= 3,5 kmol	x 2 kg/kmol	= 7 kg
N ₂	= 1,3 %	x 100 kmol	= 1,3 kmol	x 28 kg/kmol	= 36,4 kg
H ₂ O	= 6,31 %	x 100 kmol	= 6,31 kmol	x 18 kg/kmol	= 113,58 kg
S	= 4,38 %	x 100 kmol	= 4,38 kmol	x 32 kg/kmol	= 140,16 kg
O ₂	= 5,93 %	x 100 kmol	= 5,93 kmol	x 32 kg/kmol	= 189,76 kg
Abu	= 18,58 %				
<hr/>					
Total = 100 %					= 1206,9 kg

C	+	O ₂	→	CO ₂
60		60		60 kmol
12		32		44 kg/kmol
<hr/>				
720		1920		2640 kg
H ₂	+	½ O ₂	→	H ₂ O
3,5		1,75		3,5 kmol
2		32		18 kg/kmol
<hr/>				
7		56		63 kg



a. Menghitung Udara Teoritis

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ teoritis} &= (60 + 1,75 + 4,38) \\
 &= 66,13 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} \\
 &= 2116,16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung Udara Berlebih

$$\% \text{ excess} = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (\text{O}_2 \text{ teoritis} - \text{O}_2 \text{ BB}))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$10 \% = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (66,13 - 5,93))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$0,1 \text{ O}_2 \text{ masuk} = \text{O}_2 \text{ masuk} - 66,13 \text{ kmol}$$

$$(0,1 - 1) \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$0,9 \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$\text{O}_2 \text{ masuk} = 66,89 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ masuk} &= 66,89 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg kmol} \\
 &= 2140,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ sisa} &= (66,89 - 66,13) \text{ kmol} \\
 &= 0,76 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{N}_2 \text{ masuk} &= 79/21 \times 66,89 \text{ kmol} \\
 &= 251,63 \text{ kmol} \times 28 \text{ kg/kmol} \\
 &= 7,045,64 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Udara masuk} &= (\text{O}_2 + \text{N}_2) \\
 &= (66,89 + 251,63) \text{ kmol} \\
 &= 318,52 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

c. Komposisi Flue Gas Hasil dari Pembakaran

O ₂	= 0,76 kmol	= 0,76 kmol / 316,77 kmol x 100 %	= 0,24 %
N ₂	= 251,63 kmol	= 251,63 kmol / 316,77 kmol x 100 %	= 79,44 %
CO ₂	= 60 kmol	= 60 kmol / 316,77 kmol x 100 %	= 18,94 %
SO ₂	= 4,38 kmol	= 4,38 kmol / 316,77 kmol x 100 %	= 1,38 %
Total	= 316,77 kmol		= 100 %

Tabel 33. Neraca Massa Total

Komponen	Input (kg)	Output (kg)
C	720	0
H ₂	7	0
N ₂	7082,04	7082,04
H ₂ O	113,54	176,58
S	140,16	0
O ₂	2140,48	24,32
CO ₂	0	2640
SO ₂	0	280,32
Abu	18,58	18,58
Total	10221,84	10221,84

2.4.2 Menghitung Neraca Energi

Untuk menghitung neraca energi dibutuhkan kapasitas panas. Kapasitas panas sumber Hougen satuannya adalah Kcal/kgC. Kapasitas panas fungsi temperatur dapat dilihat pada tabel 35 dan 37 sebagai berikut :

Tabel 34. Kapasitas Panas Bahan

Komponen	A	Bx10 ⁻⁶	Cx10 ⁻⁹
Batubara	0,262	390	0
Udara	0,237	23	0

(Sumber : Hougen, *Eng.Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$C_p = 0,262 + (0,00039 \times 11) + (0 \times 25)$$

$$= 0,26629 \text{ Kca/Kg C}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku yang lain ditabulasikan pada tabel 35. Sebagai berikut :

Tabel 35. Kapasitas Panas Bahan Baku

Komponen	A	B*10 ⁻⁶	C*10 ⁻⁹	Δt	Cp
Batubara	0,262	0,00039	0	11	0,26629
Udara	0,237	0,000023	0	11	0,237253

Tabel 36. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶
O ₂	6,117	3,167	-1,005
N ₂	6,457	1,389	-0,069
CO ₂	6,339	10,14	-3,145
CO	6,35	1,811	-0,2675
SO ₂	6,945	10,01	-3,794
H ₂ O	7,136	2,64	0,0459

(Sumber : Hougen, *Eng.Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas gas hasil pembakaran batubara digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$\begin{aligned} C_p &= 6,117 + (0,0013167 \times 11) + (0,000001005 \times 100) \\ &= 6,15172 \text{ Kca/Kg C} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 37. Sebagai berikut :

Tabel 37. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶	Δt	Cp
O ₂	6,117	0,003167	-0,000001005	11	6,15172
N ₂	6,457	0,001389	-0,000000069	11	6,47227
CO ₂	6,339	0,01014	-0,000003145	11	6,45016
SO ₂	6,945	0,01001	-0,000003794	11	7,05465
H ₂ O	7,136	0,00264	0,000000459	11	7,1651

a. Panas Input

1. Panas sensibel batubara

$$M = 3 \text{ kg/jam}$$

$$T_{\text{masuk}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= n \times C_p \times \Delta t \\
 &= 3 \text{ Kg/jam} \times 0,26629 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) ^\circ\text{C} \\
 &= 3,99435 \text{ Kcal/jam}
 \end{aligned}$$

2. Panas pembakaran batubara

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= n \times C_p \times \Delta t \\
 &= 3 \text{ Kg/jam} \times 5400 \text{ Kcal/ KgC} \\
 &= 16200 \text{ Kcal/jam}
 \end{aligned}$$

3. Panas sensibel udara (rasio 8:1)

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= n \times C_p \times \Delta t \\
 &= 9186,22667 \text{ Kg/jam} \times 0,237253 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) ^\circ\text{C} \\
 &= 10897,2992 \text{ Kcal/jam}
 \end{aligned}$$

4. Panas air masuk

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= n \times C_p \times \Delta t \\
 &= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,16509554 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) ^\circ\text{C} \\
 &= 35,8254777 \text{ Kcal/jam}
 \end{aligned}$$

b. Panas Output

1. Panas sensibel exhaust gas

$$T_{out} = 36 \text{ C}$$

$$T_{ref} = 25 \text{ C}$$

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$\begin{aligned}
 C_p &= 6,117 + (0,0013167 \times 11) + (0,000001005 \times 100) \\
 &= 6,157115395 \text{ Kca/Kg C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= n \times C_p \times \Delta t \\
 &= 0,76 \text{ Kg/jam} \times 6,157115395 \text{ Kcal/ KgC} \times (35 - 25) ^\circ\text{C} \\
 &= 51,428 \text{ Kcal/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 38. Sebagai berikut :

Tabel 38. Panas sensibel exhaust gas

Komponen	Mol	Cp(Kcal/molK)	Δt (K)	Q(Kcal/jam)
O ₂	0,76	6,1485695	11	51,428
N ₂	251,63381	6,4708831	11	17915
CO ₂	60,00	6,4400855	11	4257,1
SO ₂	4,38	7,0447206	11	339,89
Total (Q ₄)				22563

2. Panas yang diserap Air

$$M = 1 \text{ Kg/jam}$$

$$T_{out} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ref} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_5 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,165096 \text{ Kcal/ KgC} \times (100 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 537,3822 \text{ Kcal/jam}$$

Tabel 39. Neraca Energi Total

Komponen	Input (Kcal)	Output (Kcal)
Panas ensibel batubara	3,99435	0
Panas pembakaran batubara	16200	0
Panas sensibel udara	10897,2992	0
Panas air masuk	35,8254777	0
Panas sensibel exhaust gas	0	22563,48998
Panas yang diserap air	0	537,3821654
Heat loss	0	4036,246854
Total	27137,119	27137,119

2.4.3. Menghitung Efisiensi Termal pada kompor

Untuk menghitung efisiensi termal pada sistem kompor briket digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{Head loss}}{\text{Panas Masuk}} \times 100 \% \\ &= \frac{4036,246854}{27137,119} \times 100 \% \\ &= 14,87 \% \end{aligned}$$

2.5 Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi pada Rasio Udara Bahan Bakar 8,5 : 1

2.1.5 Menghitung Neraca Massa

Basis 100 Kmol Briket Batubara

$$\begin{aligned} \text{Waktu yang dibutuhkan} &= 110 \text{ menit} = 110 \text{ menit} / 60 \\ &= 1,84 \text{ jam} \end{aligned}$$

Komposisi Briket Batubara :

C	= 60 %	x 100 kmol	= 60 kmol	x 12 kg/kmol	= 720 kg
H ₂	= 3,5 %	x 100 kmol	= 3,5 kmol	x 2 kg/kmol	= 7 kg
N ₂	= 1,3 %	x 100 kmol	= 1,3 kmol	x 28 kg/kmol	= 36,4 kg
H ₂ O	= 6,31 %	x 100 kmol	= 6,31 kmol	x 18 kg/kmol	= 113,58 kg
S	= 4,38 %	x 100 kmol	= 4,38 kmol	x 32 kg/kmol	= 140,16 kg
O ₂	= 5,93 %	x 100 kmol	= 5,93 kmol	x 32 kg/kmol	= 189,76 kg
Abu	= 18,58 %				
<hr/>					
Total	= 100 %				= 1206,9 kg

C	+	O ₂	→	CO ₂
60		60		60 kmol
12		32		44 kg/kmol
<hr/>				
720		1920		2640 kg

H ₂	+	½ O ₂	→	H ₂ O
3,5		1,75		3,5 kmol
2		32		18 kg/kmol
<hr/>				
7		56		63 kg

S	+	O ₂	→	SO ₂
4,38		4,38		4,38 kmol
32		32		64 kg/kmol
<hr/>				
140,16		140,16		280,32 kg

a. Menghitung Udara Teoritis

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ teoritis} &= (60 + 1,75 + 4,38) \\
 &= 66,13 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} \\
 &= 2116,16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung Udara Berlebih

$$\% \text{ excess} = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (\text{O}_2 \text{ teoritis} - \text{O}_2 \text{ BB}))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$10 \% = \frac{(\text{O}_2 \text{ masuk} - (66,13 - 5,93))}{\text{O}_2 \text{ masuk}} \times 100 \%$$

$$0,1 \text{ O}_2 \text{ masuk} = \text{O}_2 \text{ masuk} - 66,13 \text{ kmol}$$

$$(0,1 - 1) \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$0,9 \text{ O}_2 \text{ masuk} = - 60,2 \text{ kmol}$$

$$\text{O}_2 \text{ masuk} = 66,89 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ masuk} &= 66,89 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg kmol} \\
 &= 2140,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ sisa} &= (66,89 - 66,13) \text{ kmol} \\
 &= 0,76 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{N}_2 \text{ masuk} &= 79/21 \times 66,89 \text{ kmol} \\
 &= 251,63 \text{ kmol} \times 28 \text{ kg/kmol} \\
 &= 7,045,64 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Udara masuk} &= (\text{O}_2 + \text{N}_2) \\
 &= (66,89 + 251,63) \text{ kmol} \\
 &= 318,52 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

c. Komposisi Flue Gas Hasil dari Pembakaran

$$\text{O}_2 = 0,76 \text{ kmol} = 0,76 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 0,24 \%$$

$$\text{N}_2 = 251,63 \text{ kmol} = 251,63 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 79,44 \%$$

$$\text{CO}_2 = 60 \text{ kmol} = 60 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 18,94 \%$$

$$\text{SO}_2 = 4,38 \text{ kmol} = 4,38 \text{ kmol} / 316,77 \text{ kmol} \times 100 \% = 1,38 \%$$

$$\text{Total} = 316,77 \text{ kmol} = 100 \%$$

Tabel 40. Neraca Massa Total

Komponen	Input (kg)	Output (kg)
C	720	0
H ₂	7	0
N ₂	7082,04	7082,04
H ₂ O	113,54	176,58
S	140,16	0
O ₂	2140,48	24,32
CO ₂	0	2640
SO ₂	0	280,32
Abu	18,58	18,58
Total	10221,84	10221,84

2.2.5 Menghitung Neraca Energi

Untuk menghitung neraca energi dibutuhkan kapasitas panas. Kapasitas panas sumber Hougen satuannya adalah Kcal/kgC. Kapasitas panas fungsi temperatur dapat dilihat pada tabel 42 dan 44 sebagai berikut :

Tabel 41. Kapasitas Panas Bahan

Komponen	A	Bx10 ⁻⁶	Cx10 ⁻⁹
Batubara	0,262	390	0
Udara	0,237	23	0

(Sumber : Hougen, *Eng.Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$\begin{aligned} C_p &= 0,262 + (0,00039 \times 13) + (0 \times 25) \\ &= 0,26707 \text{ Kca/Kg C} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku yang lain ditabulasikan pada tabel 42. Sebagai berikut :

Tabel 42. Kapasitas Panas Bahan Baku

Komponen	A	B*10 ⁻⁶	C*10 ⁻⁹	Δt	Cp
Batubara	0,262	0,00039	0	13	0,26707
Udara	0,237	0,000023	0	13	0,237299

Tabel 43. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶
O ₂	6,117	3,167	-1,005
N ₂	6,457	1,389	-0,069
CO ₂	6,339	10,14	-3,145
CO	6,35	1,811	-0,2675
SO ₂	6,945	10,01	-3,794
H ₂ O	7,136	2,64	0,0459

(Sumber : Hougen, *Eng.Chem*, 1954:255)

Untuk menghitung kapasitas panas gas hasil pembakaran batubara digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$\begin{aligned} C_p &= 6,117 + (0,0013167 \times 13) + (0,000001005 \times 100) \\ &= 6,158 \text{ Kca/Kg C} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 41. Sebagai berikut :

Tabel 44. Kapasitas Panas Gas Hasil Pembakaran Batubara

Komponen	A	B*10 ⁻³	C*10 ⁻⁶	Δt	Cp
O ₂	6,117	0,003167	-0,000001005	13	6,158
N ₂	6,457	0,001389	-0,000000069	13	6,47505
CO ₂	6,339	0,01014	-0,000003145	13	6,47029
SO ₂	6,945	0,01001	-0,000003794	13	7,07449
H ₂ O	7,136	0,00264	0,000000459	13	7,1704

a. Panas Input

1. Panas sensibel batubara

$$M = 3 \text{ kg/jam}$$

$$T_{\text{masuk}} = 30 \text{ C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ C}$$

$$Q_1 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 3 \text{ Kg/jam} \times 0,26707 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 4,00605 \text{ Kcal/jam}$$

2. Panas pembakaran batubara

$$Q_2 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 3 \text{ Kg/jam} \times 5400 \text{ Kcal/ KgC}$$

$$= 16200 \text{ Kcal/jam}$$

3. Panas sensibel udara (rasio 8,5:1)

$$Q_3 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 9186,22667 \text{ Kg/jam} \times 0,237299 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) ^\circ\text{C}$$

$$= 10899,412 \text{ Kcal/jam}$$

4. Panas air masuk

$$Q_3 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,17039757 \text{ Kcal/ KgC} \times (30 - 25) ^\circ\text{C}$$

$$= 35,8519879 \text{ Kcal/jam}$$

b. Panas Output

1. Panas sensibel exhaust gas

$$T_{out} = 36 \text{ C}$$

$$T_{ref} = 25 \text{ C}$$

$$C_p = A + B \times 10^{-6} \times T + C \times 10^{-9} \times T^2 \quad (\text{Sumber : Hougen, 255})$$

$$C_p = 6,117 + (0,0013167 \times 11) + (0,000001005 \times 100)$$

$$= 6,158001155 \text{ Kca/Kg C}$$

$$Q_4 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 0,76 \text{ Kg/jam} \times 6,158001155 \text{ Kcal/ KgC} \times (35 - 25) \text{ C}$$

$$= 65,521 \text{ Kcal/jam}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan kapasitas panas bahan baku dan produk yang lain ditabulasikan pada tabel 45. Sebagai berikut :

Tabel 45. Panas sensibel exhaust gas

Komponen	Mol	Cp(Kcal/molK)	Δt (K)	Q(Kcal/jam)
O ₂	0,76	6,1485695	14	65,521
N ₂	251,63381	6,4708831	14	22811
CO ₂	60,00	6,4400855	14	5435
SO ₂	4,38	7,0447206	14	433,81
Total (Q ₄)				28745

2. Panas yang diserap Air

$$M = 1 \text{ Kg/jam}$$

$$T_{\text{out}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_5 = n \times C_p \times \Delta t$$

$$= 1 \text{ Kg/jam} \times 7,170398 \text{ Kcal/ KgC} \times (100 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 537,7798 \text{ Kcal/jam}$$

Tabel 46. Neraca Energi Total

Komponen	Input (Kcal)	Output (Kcal)
Panas ensibel batubara	4,00605	0
Panas pembakaran batubara	16200	0
Panas sensibel udara	10899,412	0
Panas air masuk	35,8519879	0
Panas sensibel exhaust gas	0	28745,13568
Panas yang diserap air	0	537,7798178
Heat loss	0	2143,64545
Total	27139,27	27139,27

2.5.3. Menghitung Efisiensi Termal pada kompor

Untuk menghitung efisiensi termal pada sistem kompor briket digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{Head loss}}{\text{Panas Masuk}} \times 100 \% \\ &= \frac{2143,64545}{27139,27} \times 100 \% \\ &= 7,89 \% \end{aligned}$$