

## LAMPIRAN I

Data *ultimate* dan proksimat batubara yang digunakan sebagai bahan baku proses gasifikasi sistem *crossdraft gasifier* dapat dilihat pada Tabel L1.1 dan Tabel L1.2.

**Tabel L1.1** Data *Ultimate* Batubara

Komponen	Adb (%)
C	60,96
H	6,21
O	30,93
N	0,80
S	0,86
Ash	0,24

(sumber: PT. Bukit Asam, TBK)

**Tabel L1.2** Data Proksimat Batubara

Komponen	Nilai	Satuan
<i>Moisture</i>	15,1	% adb
<i>Ash Content</i>	1,1	% adb
<i>Volatile Matter</i>	39,2	% adb
<i>Fixed Carbon</i>	44,6	% adb
<i>GCV</i>	5794	Kkal/kg

(sumber: PT. Bukit Asam, TBK)

**Tabel L1.3** Data Hasil Analisis *Syngas* dengan Variasi Ukuran Bahan Bakar Batubara

Ukuran Batubara (cm)	Komposisi <i>Syngas</i> (%)					
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
-4+2	1,89	10,47	9,9	10,17	61,1	6,47
-6+4	1,85	10,82	9,3	11,37	60,4	6,26
-8+6	1,72	11,05	8,68	10,89	61,66	6,0

(sumber : *Laboratorium Analisis Batubara Politeknik Negeri Sriwijaya*)

**Tabel L1.4** Data Pengamatan Proses Gasifikasi Crossdraft

Ukuran Batubara (cm)	Massa Bahan Bakar (Kg)	Kecepatan <i>Syngas</i> <i>Output</i> (m/s)	Temperatur <i>Syngas</i> (°C)	Lama Nyala Api (Menit)
-2	2	1,5	38	0,35
-2	2	1,3	38	1,0
-2	2	1,26	37	3,0

(sumber : *Laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya*)

**Tabel L1.5** Data Pendukung Gasifikasi *Crossdraft*

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	Jari-Jari Pipa <i>Syngas</i>	0,0217	m
2	T Pipa <i>Syngas</i>	1,11	m
3	Panjang Reaktor	78	m
4	Lebar Reaktor	30,5	m

(sumber : *Laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya*)

**Tabel L1.6** Pengaruh Ukuran Batubara dan Waktu Proses Pembakaran Terhadap Perubahan Temperatur Gasifikasi

Waktu (Menit Ke-)	Ukuran Batubara (cm)		
	-4+2	-6+4	-8+6
Temperatur (°C)			
0	34	34	35
10	47	50	61
20	58	63	73
30	63	72	87
40	69	74	100*
50	71	79	109
60	74	90*	114
70	85*	100	119
80	94	108	124
90	99	112	128
100	101	116	131
110	107	120	134
120	110	125	136

\*Range Temperatur dan Waktu Proses saat menghasilkan *syngas*

(Sumber : Laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya)

## LAMPIRAN II PERHITUNGAN

Batubara = 5794 kkal/kg

Massa BB= 2000 gr

Ukuran Batubara -4+2 cm

Komposisi Batubara

C 60,96%

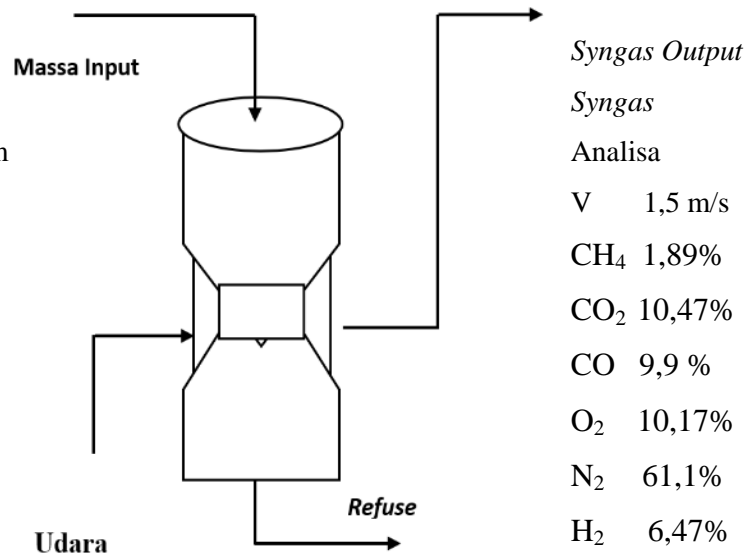
H 6,21%

O 30,93%

N 0,80%

S 0,86%

Ash 0,24%



**Gambar L2.1** Diagram Alir Proses Gasifikasi *Crossdraft*

### L2.1 1. Menghitung massa dan mol BB

$$\text{massa} = \frac{\text{komposisi (\%)} \times \text{massa bahan bakar (gr)}}{100}$$

$$\text{massa karbon} = \frac{0,6096 \times 2000 \text{ gr}}{100} = 1219,2 \text{ gr}$$

$$\text{Mol} = \frac{\text{massa (gr)}}{\text{BM} \left( \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \right)}$$

$$\text{Mol karbon} = \frac{2000 \text{ gr}}{12 \text{ gr/mol}} = 101,6 \text{ mol}$$

Dengan cara yang sama maka didapat massa dan mol pada setiap komponen

**Tabel L2.1** Massa Komponen Batubara

Komponen	Komposisi Adb (%)	BM (gr/mol)	Massa (gr)	Mol
C	60,96	12	1219,2	101,6
H	6,21	1	124,2	124,2
O	30,93	16	618,6	38,66
N	0,8	14	16	1,143
S	0,86	32	17,2	0,538
Ash	0,24	0	4,8	0
Total	100		2000	266,1

### L2.2 Menghitung Mol Udara

Diketahui :

Rumus Molekul Batubara = C<sub>x</sub> H<sub>x</sub> O<sub>x</sub> N<sub>x</sub> S<sub>x</sub>

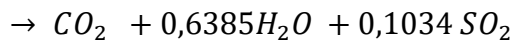
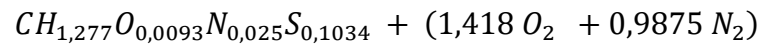
$$\begin{aligned} \text{Mol Komponen} &= \frac{\text{Komposisi}}{\text{BM}} \\ &= \frac{60,96\%}{12 \text{ gr/mol}} = 5,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Karbon} &= \frac{\text{mol komponen}}{\text{mol karbon}} \\ &= \frac{5,08}{5,08} = 1 \end{aligned}$$

**Tabel L2. 2** Mol Komponen Batubara

Komponen	Komposisi	BM (gr/mol)	Mol Komponen (mol)	Mol Karbon (mol)
C	60,96	12	5,08	1
H	6,21	1	6,21	1,222
O	30,93	16	1,933	0,381
N	0,8	14	0,057	0,011
S	0,86	32	0,027	0,005

Batubara + Udara  $\rightarrow$  Produk



$$AFR = \frac{\text{Massa udara}}{\text{Massa Bahan Bakar}}$$

(Pulkarabek, 1994)

$$AFR = \frac{(1,418 \cdot 32) + (0,9875 \cdot 28)}{12 + (1 \cdot 1,277) + (16 \cdot 0,0093) + (14 \cdot 0,025) + (32 \cdot 0,1034)}$$

$$AFR = \frac{(35,8573) + (27,8432)}{12 + (1,222) + (6,088) + (0,1568) + (0,16928)}$$

$$AFR = 3,2441$$

$$\text{Massa udara} = AFR \times \text{massa bahan baku}$$

$$= 3,2441 \times 2000 \text{ gr}$$

$$= 6488,2 \text{ kg udara}$$

$$\text{Jadi AFR yang didapat} = \frac{6488,2 \text{ gr udara}}{2000 \text{ gr bahan bakar}} = 3,2441 \text{ gr udara/gr bb}$$

### L2.3 Perhitungan Laju Alir Syngas

Diketahui :

$$r \text{ pipa output} = 1,27 \text{ cm} = 0,0127 \text{ m}$$

$$t \text{ pipa} = 111 \text{ cm} = 1,11 \text{ m}$$

$$V \text{ syngas} = 1,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Luas Pipa Output} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t$$

$$= 2 \times 3,14 \times 0,0127 \text{ m} \times 1,11 \text{ m}$$

$$= 0,0885 \text{ m}^2$$

$$\text{Laju Alir Syngas} = \text{Luas Pipa Output} \times v \text{ syngas}$$

$$= 0,0885 \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Laju Alir Syngas} = 0,1328 \text{ m}^3/\text{s}$$

### L2.4 Perhitungan Komposisi Syngas

Diketahui :

$$V_{\text{syngas}} = 0,1328 \text{ m}^3/\text{s} = 132,8 \text{ L/s}$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 38 \text{ }^\circ\text{C} = 311 \text{ K}$$

$$R = 0,08205 \text{ L.atm/mol.K}$$

$$\text{Dit} = n ?$$

$$PV = n R T$$

(Sumber: Gas Ideal Law, Termodinamika)

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{1 \text{ atm} \times 132,8 \text{ L}}{0,08205 \frac{\text{L.atm}}{\text{mol.K}} \times 311 \text{ K}}$$

$$n = 5,204 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Komponen} = \frac{\text{mol total}}{\text{komposisi komponen syngas}}$$

$$= \frac{5,2040 \text{ mol}}{0,93} = 0,4840 \text{ mol}$$

$$\text{Massa Komponen} = \text{mol komponen} \times \text{BM komponen}$$

$$\text{Massa CH}_4 = 0,098 \text{ mol} \times 16 \text{ gr/mol}$$

$$= 1,574 \text{ gr}$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan mol dan massa pada setiap komponen

**Tabel L2.3** Massa Komposisi Syngas

Komponen	Komposisi (%)	BM (gr/mol)	Mol	Massa (gr)
CH <sub>4</sub>	1,89	16	0,098	1,574
CO <sub>2</sub>	10,47	44	0,545	23,97
CO	9,9	28	0,515	14,43
O <sub>2</sub>	10,17	32	0,529	16,94
N <sub>2</sub>	61,1	28	3,18	89,03
H <sub>2</sub>	6,47	28	0,337	9,428
Total	100		5,204	155,4

### L2.6 Neraca Karbon

$$\begin{aligned}
 \text{Atom C input} &= \text{Atom C Output} \\
 \text{Atom C input} &= \text{Atom C pada (CH}_4 + \text{CO +CO}_2 \text{ )} \\
 \text{C pada CH}_4 &= \frac{Ar}{BM} \times \text{Massa CH}_4 \\
 &= \frac{12}{16} \times 1,574 \text{ gr} \\
 &= 1,1803 \text{ gr} \\
 \text{C pada CO}_2 &= \frac{Ar}{BM} \times \text{Massa CO}_2 \\
 &= \frac{12}{16} \times 23,974 \text{ gr} \\
 &= 6,5838 \text{ gr} \\
 \text{C pada CO} &= \frac{Ar}{BM} \times \text{Massa CO} \\
 &= \frac{12}{16} \times 14,426 \text{ gr} \\
 &= 6,1824 \text{ gr} \\
 \text{Total C pada Syngas} &= 1,1803 \text{ gr} + 6,5383 \text{ gr} + 6, 1824 \text{ gr} \\
 &= 13,901 \text{ gr} \\
 \text{Menghitung C pada Refuse} & \\
 \text{C pada Refuse} &= \text{C bahan bakar} - \text{C syngas} \\
 \text{C pada Refuse} &= 1219,2 \text{ gr} - 13,901 \text{ gr} \\
 &= 1205,3 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

**Tabel L2.4** Neraca Massa Karbon

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Komponen	Massa (gr)	Komponen	Massa (gr)
C pada BB	1219,2	C pada <i>syngas</i>	13,901
		C pada <i>refuse</i>	1205,3
Total	1219,2		1219,2

### L2.7 Menghitung Total Refuse

$$\begin{aligned}
 \text{Total Refuse} &= (\text{massa bahan bakar} + \text{massa udara}) - \text{massa syngas} \\
 &= (2000 \text{ gr} + 6488,2 \text{ gr}) - 155,37 \text{ gr} \\
 &= 8332,7 \text{ gr}
 \end{aligned}$$



## L2.8 Neraca massa total

**Tabel L2.5** Neraca Massa Gasifikasi

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Komponen	Massa (gr)	Komponen	Massa
Bahan Bakar	2000	<i>Syngas</i>	155,37
Udara	6488,1	<i>Refuse</i>	8332,7
Total	8488,1		8488,1

## L2.9 Menghitung LHV Batubara

$$\text{HHV} = 5794 \text{ Kkal/gr}$$

$$\text{Moisture} = 15,1 \% = 0,151$$

$$\text{H}_2 = 6,47\% = 0,000647$$

$$\begin{aligned} \text{HHV} &= 5794 \times \frac{4.184 \text{ Kj}}{1 \text{ kkal}} \\ &= 24.242 \text{ kj/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LHV Batubara} &= \text{HHV} - (22.604 \times \text{H}_2) - (2.581 \times \text{M}) \\ &= 22389,9 \text{ kj/kg} \end{aligned}$$

(sumber : Ganapathy, 1994)

## 10. Menghitung LHV Syngas

$$\text{LHV Komponen} = \text{komposisi komponen} \times \text{HV komponen}$$

$$\begin{aligned} \text{LHV CO} &= 0,099 \times 12.696 \text{ kj/kg} \\ &= 1256,9 \text{ kj/kg} \end{aligned}$$

**Tabel L2.6** LHV Komponen

<i>HV</i> Komponen			
Komponen	Komposisi	<i>kj/kg</i>	<i>LHV</i> Komponen ( <i>kj/kg</i> )
CO	0,099	12.696	1256,9
CH <sub>4</sub>	0,0189	10.768	203,52
H <sub>2</sub>	0,0647	35.866	2320,5

$$\begin{aligned} \text{LHV Syngas} &= (\% \text{CO} \times \text{HV CO}) + (\% \text{CH}_4 \times \text{HV CH}_4) + (\% \text{H}_2 \times \text{HV H}_2) \\ &= (0,099 \times 12.696 \text{ kj/kg}) + (0,0189 \times 10.768 \text{ kj/kg}) \\ &\quad + (0,0647 \times 35.866 \text{ kj/kg}) \\ &= 3780,95 \text{ kj/kg} \end{aligned}$$

(Sumber : Balenio, 2005)

### 11. Menghitung Efisiensi Termal

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Thermal} &= \frac{Q_{\text{Produk syngas}}}{Q_{\text{Bahan Bakar}}} \times 100\% \\
 &= \frac{3780,9 \text{ kJ/kg}}{22389,9 \text{ kJ/kg}} \times 100\% \\
 &= 16,89 \%
 \end{aligned}$$

**Tabel L2.7** Nilai *LHV* dan Efisiensi Termal Gasifikasi

Ukuran Bahan Bakar (cm)	Komposisi	Konsentrasi (%)	<i>LHV</i> (Kj/kg)	Efisiensi Termal (%)
-4+2	CH <sub>4</sub>	1,89	3780,9	16,89
	CO	9,9		
	H <sub>2</sub>	6,47		
-6+4	CH <sub>4</sub>	1,85	3625,15	16,16
	CO	9,3		
	H <sub>2</sub>	6,26		
-8+6	CH <sub>4</sub>	1,72	3439,18	15,33
	CO	8,68		
	H <sub>2</sub>	6,0		

**LAMPIRAN III  
DOKUMENTASI**



**Gambar L.3.1** Preparasi Bahan Baku





**Gambar L.3.2 BB Ukuran -4+2 cm**



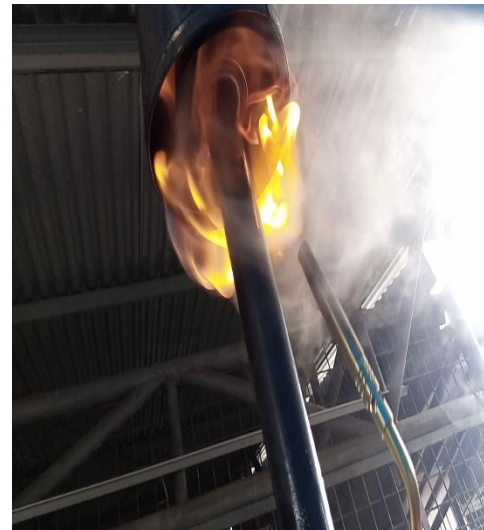
**Gambar L.3.3 BB Ukuran -6+4 cm**



**Gambar L.3.4 BB Ukuran -8+6 cm**



**Gambar L.3.5 Menimbang Batubara**



**Gambar L.3.6 Menimbang Filter**

**Gambar L.3.7 Tes Nyala Api**



**Gambar L.3.8** Nyala Api**Gambar L.3.10** Hasil Syngas**Gambar L.3.9** Pengambilan Syngas**Gambar L.3.11** Analisis Syngas**Gambar L.3.12** Alat Gasifikasi Sistem *Crossdraft Gasifier*