

## BAB IV

### PROSEDUR DAN HASIL PENELITIAN

#### 4.1 Analisis Proksimat dan Ultimat

##### 4.1.1 Analisis Proksimat

Analisis proksimat adalah suatu analisis pada batubara yang memberikan penjelasan pada batubara mengenai kandungan kadar air, kadar abu, zat terbang, dan zat tertambat. Proses analisa dilakukan oleh pihak *tekMIRA* terhadap sampel batubara yang akan digunakan untuk penelitian. Berikut adalah hasil analisis proksimat pada sampel batubara yang digunakan untuk bahan bakar gasifikasi:

**Tabel 4.1**  
**Data Hasil Analisis Proksimat**

No	Analisis Proksimat	unit	Basis	Standar	sampel 1	sampel 2	sampel 3	sampel 4
1	Lengas Total	%	ar	ASTM D 3302	24.59	27.27	26.38	25.93
2	Lengas dalam ADB	%	adb	ASTM D 3173	18	11.08	16.04	16.33
3	Abu	%	adb	ASTM D 3174	3.91	3.78	3.01	3.92
4	Zat Terbang	%	adb	ASTM D 3175	38.82	42.82	41.74	41.16
5	Karbon Tertambat	%	adb	ASTM D 3172	39.27	42.32	39.21	38.13
6	Kalori	cal/g	adb	ASTM D5865	5555	5948	5787	5286

Sumber: Data Hasil Pengujian Lab di *tekMIRA* 2019.

##### 4.1.2 Analisis Ultimat

Analisis Ultimat dilakukan untuk mengetahui nilai kadar karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sulfur (S) dalam batubara. Analisis ultimat menggunakan alat yang sudah terhubung dengan komputer. Analisis proksimat terhadap sampel batubara dilakukan oleh pihak *tekMIRA*. Berikut hasil dari Analisis ultimat batubara:

**Tabel 4.2**  
**Data Hasil Analisis Ultimat**

No	Analisis Ultimat	unit	Basis	Standar	sampel 1	sampel 2	sampel 3	sampel 4
1	Karbon	%	adb	ASTM D 5373	58.4	63.04	60.96	65.02
2	Hidrogen	%	adb	ASTM D 5373	6.28	5.68	6.8	5.17
3	Nitrogen	%	adb	ASTM D 5373	0.87	0.65	0.99	0.85
4	Total Sulfur	%	adb	ASTM D 4239	0.79	0.48	0.68	0.52
5	Oksigen	%	adb	ASTM D 3176	29.75	26.68	27.29	25.36

Sumber: Data Hasil Pengujian lab di tekMIRA 2019.

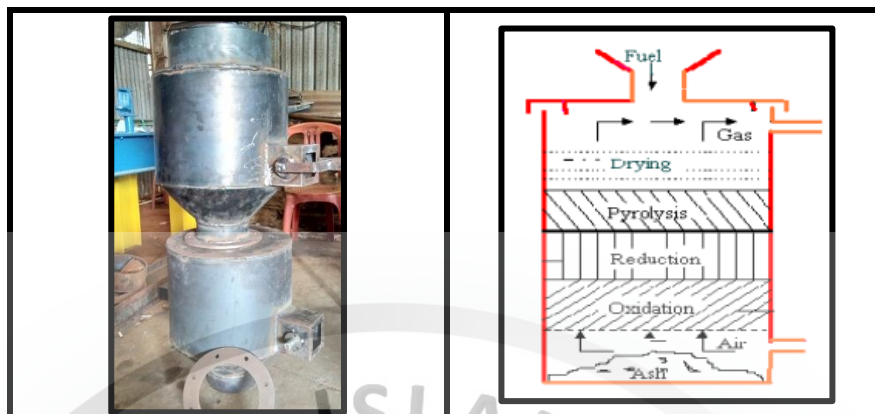
#### 4.2 Proses Gasifikasi *Fixed Bed Updraft Gasifier*

Alat gasifikasi yang digunakan adalah alat gasifikasi tipe *fixed bed updraft gasifier* dengan kapasitas 30 kg/jam. Prinsip kerja alat gasifikasi *Fixed Bed Updraft Gasifier* yaitu mengubah batubara menjadi gas produser dengan memanfaatkan panas, dimana batubara dimasukan di bagian atas rekator (*gasifier*) dan udara dimasukan dari bagian bawah *gasifier*, sehingga batubara yang ditumpuk di dalam *gasifier* akan dipanaskan dan dikeringkan oleh gas produser yang dihasilkan dari proses gasifikasi yang nantinya akan keluar dari *gasifier* sebagai gas produser.



Sumber: Dokumentasi Kegiatan Tugas Akhir 2019.

**Foto 4.1**  
**Alat *Fixed Bed Updraft Gasifier***



Sumber: Dokumentasi Kegiatan Tugas Akhir 2019.

Foto 4.2

### Proses Gasifikasi Didalam Reaktor (Gasifier)

#### 4.2.1 Pengambilan Data Berat Umpan Batubara

Pengambilan data berat umpan batubara, dilakukan dengan memasukan batubara ke dalam suatu wadah kemudian di timbang, karena wadah tersebut merupakan karung plastik yang ringan maka berat wadah di abaikan. Selain data berat umpan, data waktu setiap memasukan batubara juga di catat. Berikut data hasil pengamatan berat umpan batubara dan waktu memasukan batubara ke dalam *gasifier*:

Tabel 4.3

Data Berat Umpan Batubara

Tanggal	Jam	Umpan (kg)	Keterangan
2019-04-24	8:10		<i>Start-up</i>
	9:15	6,5	
	9:57	6,5	
	10:26	6,5	
	10:45	6,5	
	11:05	6,5	
	11:20	6,5	
	11:30	6,5	
	11:48	6,5	
	11:50	6,5	
	12:05	6,5	
	12:30	6,5	
	12:44	13	
	13:14	15	
13:30	15		
14:00	0	<i>Shut-down</i>	

Sumber: Data pengamatan tugas akhir 2019.

#### 4.2.2 Pembacaan Nilai *Inverter*

Angka pada alat *Inverter* merupakan angka yang mengatur kinerja pada blower yang berfungsi sebagai pemasok udara kedalam *gasifier*.



Sumber: Dokumentasi Kegiatan Tugas Akhir di tekMIRA, 2019.

Foto 4.3  
*Inverter*

Untuk mengetahui nilai *inverter* kita dapat membaca angka pada alat *inverter*, selain nilai *inverter* informasi waktu pada waktu pengambilan alat juga di ambil.

Berikut contoh data *inverter*:

Tabel 4.4  
Data Nilai *Inverter*

Tanggal	Jam	Inverter (Hz)	Keterangan
2019-04-24	8:10	10	<i>Start-up</i>
	9:15	21	
	9:57	21	
	10:26	21	
	10:45	21	
	11:05	23	
	11:20	24	
	11:30	24	
	11:48	24	
	11:50	24	
	12:05	24	
	12:30	24	
	12:44	24	
	13:14	24	
	13:30	24	
14:00	24	<i>Shut-down</i>	

Sumber: Data pengamatan tugas akhir di tekMIRA, 2019.

### 4.2.3 Pembacaan Temperatur *Input Air Blower* dan *Output Gas*

Untuk mengetahui nilai temperatur *input air blower* dan *output gas* bisa dilihat dari nilai *thermocouple* yang sudah terpasang di dalam *gasifier*. Temperatur *input Air blower* adalah temperatur udara yang akan di masukan ke dalam *gasifier*, sedangkan suhu *output gas* adalah suhu gas akhir yang telah melewati serangkaian proses dalam alat *gasifier*. Berikut contoh data hasil pengamatan temperatur *input* dan *output* gas:

Tabel 4.5  
Data Nilai Temperatur *Air Blower* dan *Gas Output*

Tanggal	Jam	Temperature		Keterangan
		T Air blower (°C)	T Output gas (°C)	
2019-04-24	8:10			<i>Start-up</i>
	9:15	38	90	
	9:57	36	95	
	10:26	52	140	
	10:45	46	120	
	11:05	45	129	
	11:20	54	106	
	11:30	52	125	
	11:48	55	100	
	11:50	53	130	
	12:05	55	121	
	12:30	52	120	
	12:44	53	127	
	13:14	45	154	
	13:30	53	167	
14:00	54	130	<i>Shut-down</i>	

Sumber: Data pengamatan tugas akhir di tekMIRA, 2019.

### 4.2.4 Pembacaan *Flow Meter*

Nilai alir udara dapat diketahui dengan pembacaan pada alat *flow meter* yang sudah terpasang pada *gasifier*. sendiri dapat diatur berdasarkan nilai *inverter* dimana nilai *inverter* mengatur kinerja dari blower yang menyuplai udara ke dalam *gasifier*. Berikut contoh data laju alir udara:

**Tabel 4.6**  
**Data Nilai Laju Air Udara**

Tanggal	Jam	Ring Blower primer		Keterangan
		Inverter	Laju Alir Udara	
		(Hz)	(Nm <sup>3</sup> /Jam)	
2019-04-24	8:10	10		<i>Start-up</i>
	9:15	21	20	
	9:57	21	30	
	10:26	21	40	
	10:45	21	40	
	11:05	23	52	
	11:20	24	52	
	11:30	24	56	
	11:48	24	56	
	11:50	24	56	
	12:05	24	56	
	12:30	24	56	
	12:44	24	56	
	13:14	24	56	
	13:30	24	80	
	14:00	24	84	<i>Shut-down</i>

Sumber: Data pengamatan tugas akhir di tekMIRA, 2019.

#### 4.2.5 Durasi Proses Gasifikasi

Untuk waktu durasi pada proses gasifikasi di dapat dengan cara menghitung *interval* waktu memasukan batubara kedalam *gasifier* kemudia menjumlahkan seluruh *interval* waktu dalam satu kali proses gasifikasi. Berikut contoh perhitungannya:

Diketahui

Waktu memasukan batubara pertama pada jam 9:15 (A)

Waktu memasukan batubara kedua pada jam 9:57 (B)

$$\text{Durasi Proses} = B - A$$

Karena data tersebut dalam jam yang sama dan hanya berbeda menitnya saja maka:

$$57 \text{ Menit} - 15 \text{ Menit} = 42 \text{ Menit}$$

**Tabel 4.7**  
**Durasi Proses Gasifikasi**

Tanggal	Jam	Durasi Proses (Menit)	Durasi Total (Menit)	Keterangan
2019-04-24	8:10			Start-up
	9:15	42	285	
	9:57	29		
	10:26	19		
	10:45	20		
	11:05	15		
	11:20	10		
	11:30	18		
	11:48	2		
	11:50	15		
	12:05	25		
	12:30	14		
	12:44	30		
	13:14	16		
	13:30	30		
14:00				Shut-down

Sumber: Pengolahan Data tugas akhir di tekMIRA, 2019.

#### 4.2.6 Berat Konsumsi Batubara

Untuk menghitung konsumsi berat konsumsi batubara setiap jam, yaitu dengan cara membagi total umpan batubara dengan total durasi proses gasifikasi pada satu kali percobaan.

$$\frac{\text{Berat Total Batubara (Kg)}}{\text{Total Durasi Proses (Menit)}} \times 60 = \dots (\text{Kg/jam})$$

Diketahui:

Berat total umpan batubara = 114,5 Kg

Total durasi gasifikasi = 285 Menit

$$\text{Konsumsi Batubara} = \frac{114,5 \text{ Kg}}{285 \text{ Menit}} \times 60$$

$$= 24,11 \text{ Kg/jam}$$

**Tabel 4.8**  
**Konsumsi Batubara**

Tanggal	Jam	Umpan (kg)	Durasi Proses (Menit)	Durasi Total (Menit)	Berat Batubara Total (kg)	Berat Batubara Kg/Jam	Keterangan
2019-04-24	8:10						Start-up
	9:15	6,5	42	285	114,50	24,11	
	9:57	6,5	29				
	10:26	6,5	19				
	10:45	6,5	20				
	11:05	6,5	15				
	11:20	6,5	10				
	11:30	6,5	18				
	11:48	6,5	2				
	11:50	6,5	15				
	12:05	6,5	25				
	12:30	6,5	14				
	12:44	13	30				
	13:14	15	16				
	13:30	15	30				
14:00	0						

Sumber: Pengolahan Data tugas akhir di tekMIRA, 2019.

#### 4.2.7 Berat Input Udara

Untuk mendapatkan data berat input udara ada beberapa tahap perhitungan yang harus dilakukan terlebih dahulu yaitu:

1. Mencari volume udara berdasarkan waktu durasi kegiatan dengan cara:

$$\frac{\text{Laju alir udara (Nm}^3\text{/Jam)}}{60} \times \text{Durasi Proses (menit)} = \dots \text{m}^3$$

Diketahui:

$$\text{Laju alir udara (Nm}^3\text{/jam)} = 20 \text{ Nm}^3\text{/jam}$$

$$\text{Durasi proses (menit)} = 42 \text{ Menit}$$

$$\text{Volume udara (m}^3\text{)} = \frac{20}{60} \times 42 = 14 \text{ m}^3$$



Tabel 4.9  
Volume Laju Alir Udara (m<sup>3</sup>)

Tanggal	Laju Alir Udara (Nm <sup>3</sup> /Jam)	Durasi Proses (Menit)	Durasi Total (Menit)	Volume Udara (M <sup>3</sup> )	Total Volume Udara (M <sup>3</sup> )	Keterangan
2019-04-24						Start-up
	20	42	285	14,00	228,17	
	30	29		14,50		
	40	19		12,67		
	40	20		13,33		
	52	15		13,00		
	52	10		8,67		
	56	18		16,80		
	56	2		1,87		
	56	15		14,00		
	56	25		23,33		
	56	14		13,07		
	56	30		28,00		
	56	16		14,93		
	80	30		40,00		
84						

Sumber: Pengolahan Data tugas akhir di tekMIRA, 2019.

2. Mencari laju alir udara dalam jam yaitu dengan cara:

$$\frac{\text{Volume alir udara (m}^3\text{)}}{\left(\frac{\text{Total durasi waktu (menit)}}{60}\right)} = \dots \text{m}^3/\text{jam}$$

Diketahui:

Jumlah volume udara (m<sup>3</sup>) = 228,17 m<sup>3</sup>

Total durasi proses (menit) = 285 Menit

Jumlah laju alir udara (m<sup>3</sup>/jam) =  $\frac{228,17}{285/60} = 48,04 \text{ m}^3/\text{jam}$

Tabel 4.10  
Jumlah Berat Laju Alir Udara setiap jam

Tanggal	Durasi Proses (Menit)	Durasi Total (Menit)	Volume Udara (M <sup>3</sup> )	Total Volume Udara (M <sup>3</sup> )	Laju Alir Udara (M <sup>3</sup> /Jam)	Keterangan
2019-04-24						Start-up
	42	285	14,00	228,17	48,04	
	29		14,50			
	19		12,67			
	20		13,33			
	15		13,00			
	10		8,67			
	18		16,80			
	2		1,87			
	15		14,00			
	25		23,33			
	14		13,07			
	30		28,00			
	16		14,93			
	30		40,00			

Sumber: Pengolahan Data tugas akhir di tekMIRA, 2019.

3. Untuk menghitung berat udara yaitu merubah satuan laju alir udara m<sup>3</sup>/jam menjadi kg dengan cara dikalikan dengan *density* udara pada suhu normal ruangan antara 20 °C sampai 25 °C, dikatakan normal karena jika dibawah 20 °C suhu terlalu dingin dan jika di atas 25 °C suhu terlalu tinggi (Standar internasional), pada kegiatan kali ini memakai *density* pada suhu 20 °C berikut contoh perhitungan berat udara dan tabel pengaruh udara terhadap pada sifat udara dan cara menghitung berat *input* udara pada *gasifier*:

Diketahui:

Laju alir udara (m<sup>3</sup>/jam) = 48,04 m<sup>3</sup>/jam

*Density* udara pada kondisi suhu 20°C (kg/m<sup>3</sup>) = 1,2 kg/ m<sup>3</sup>

Berat Udara (kg) = 48,04 x 1,2 = 57,64 kg

**Tabel 4.11**  
**Tabel Pengaruh Suhu Terhadap Sifat Udara**

Suhu $T (^{\circ}C)$	Kecepatan suara $c (m/s)$	Kepadatan udara $\rho (kg/m^3)$	Impedansi akustik spesifik yang khas $z_0 (Pa \cdot s/m)$
35	351.88	1.1455	403.2
30	349.02	1.1644	406.5
25	346.13	1.1839	409.4
20	343.21	1.2041	413.3
15	340.27	1.2250	416.9
10	337.31	1.2466	420.5
5	334.32	1.2690	424.3
0	331.30	1.2922	428.0
-5	328.25	1.3163	432.1
-10	325.18	1.3413	436.1
-15	322.07	1.3673	440.3
-20	318.94	1.3943	444.6
-25	315.77	1.4224	449.1

Sumber: S. Herrmann, H.-J. Kretzschmar, dan DP Gatley (2009).

**Tabel 4.12**  
**Bera Input Udara (kg)**

Tanggal	Durasi Proses (Menit)	Durasi Total (Menit)	Laju Alir Udara ( $M^3$ )	Volume Udara ( $M^3$ )	Laju Alir Udara ( $M^3/Jam$ )	Berat Udara (Kg/Jam)
2019-04-24						Start-up
	42	285	14,00	228,17	48,04	57,64
	29		14,50			
	19		12,67			
	20		13,33			
	15		13,00			
	10		8,67			
	18		16,80			
	2		1,87			
	15		14,00			
	25		23,33			
	14		13,07			
	30		28,00			
	16		14,93			
30	40,00					
						Shut-down

Sumber: Pengolahan Data tugas akhir di tekMIRA, 2019.

#### 4.2.8 Air Fuel Ratio (AFR)

Untuk menghitung AFR yaitu dengan cara membagi berat input udara (Kg/Jam) dengan berat konsumsi batubara (Kg/Jam).

$$\text{AFR} = \frac{\text{Berat Udara} \left( \frac{\text{kg}}{\text{Jam}} \right)}{\text{Berat Umpan} \left( \frac{\text{kg}}{\text{Jam}} \right)}$$

$$\begin{aligned} \text{AFR} &= \frac{57,64 \left( \frac{\text{kg}}{\text{Jam}} \right)}{24,11 \left( \frac{\text{kg}}{\text{Jam}} \right)} \\ &= 2,39 \end{aligned}$$

Tabel 4.13  
Nilai AFR

Tanggal	Berat Batubara Kg/Jam	Laju Alir Udara (M <sup>3</sup> /Jam)	Berat Udara (Kg/Jam)	Air Fuel Ratio
24-Apr	24,11	48,04	57,64	2,39
25-Apr	35,06	113,24	135,89	3,88
26-Apr	45,00	120,00	144,00	3,20
29-Apr	29,45	119,71	143,65	4,88
30-Apr	25,71	87,71	105,26	4,09
1-Mei	28,89	111,93	134,32	4,65
2-Mei	17,95	77,17	92,61	5,16

Sumber: Pengolahan Data tugas akhir di tekMIRA, 2019.

#### 4.2.8 Air Fuel Ratio Stoich (AFR<sub>Stoich</sub>)

Untuk mendapatkan nilai AFR<sub>Stoich</sub> yaitu berdasarkan hasil analisa *proximate* pada bahan baku batubara dimana hasilnya merupakan persentase komponen batubara yang terdiri dari Karbon (C), Hidrogen (H<sub>2</sub>), Nitrogen (N), Sulfur (S), Oksigen (O<sub>2</sub>) untuk mencari nilai AFR<sub>Stoich</sub> adalah:

- a. Massa molar: Nilai massa molar diketahui dari tabel periodik berdasarkan unsur tertentu.
  - C = 12

- $H_2 = 1 \times 2$   
= 2
- $N = 14$
- $S = 32$
- $O_2 = 16 \times 2$   
= 32

b. Berat Mol (Kg mol)

% Unsur x Berat umpan batubara

- $C = 61,855\% \times 1 \text{ Kg}$   
= 0,62 Kg
- $H_2 = 5,9825\% \times 1 \text{ Kg}$   
= 0,06 Kg
- $N = 0,84\% \times 1 \text{ Kg}$   
= 0,01 Kg
- $S = 0,6175\% \times 1 \text{ Kg}$   
= 0,01 Kg
- $O_2 = 27,27\% \times 1 \text{ Kg}$   
= 0,27 Kg

c. Kebutuhan Oksigen Untuk Pembakaran

$\text{Kg mol Unsur} \times \frac{\text{Masa Molar Oksigen}}{\text{Masa Molar Unsur}}$

- $C = 0,62 \text{ Kg} \times \frac{32}{12}$   
= 1,65 Kg

- $H_2 = 0,06 \text{ Kg} \times \frac{32}{2}$   
= 0,96 Kg
  - $S = 0,01 \text{ Kg} \times \frac{32}{32}$   
= 0,0062 Kg
- d. Total Kebutuhan Oksigen Pembakaran  
1,65 Kg + 0,96 Kg + 0,0062 Kg = 2.62 Kg
- e.  $AFR_{Stoich}$

$$\frac{\text{Total Kebutuhan Oksigen}}{0.233 \text{ (Fraksi massa oksigen keadaan Kering)}}$$

$$AFR_{Stoich} = \frac{2,62}{0,233}$$

$$= 11,24 \text{ Kg}$$

**Tabel 4.14**  
**Nilai  $AFR_{Stoich}$**

Komponen	%	Massa Molar	Kg	Kebutuhan oksigen	Total Oksigen yang dibutuhkan (Kg)	Udara yang dibutuhkan secara teoritis ( $AFR_{stoich}$ )
Karbon ( C )	61,86	12	0,62	1,65	2,62	11,24
Hidrogen ( H <sub>2</sub> )	5,98	2	0,06	0,96		
Nitrogen ( N )	0,84	14	0,01	Tidak bereaksi dengan O <sub>2</sub>		
Total Sulfur ( S )	0,62	32	0,01	0,01		
Oksigen ( O <sub>2</sub> )	27,27	32	0,27			

Sumber: Pengolahan Data tugas akhir di tekMIRA, 2019.

#### 4.2.10 Ekuivalen Ratio (ER)

Untuk mendapatkan nilai *ekuivalen ratio* (ER) dengan menggunakan rumus

$$\frac{AFR \text{ Aktual}}{AFR \text{ Stoich}}$$

$$ER = \frac{2,39}{11,24}$$

$$= 0,21$$

**Tabel 4.15**  
**Nilai *Equivalent Ratio* (ER)**

Tanggal	Berat Batubara Kg/Jam	Berat Udara (kg/Jam)	Air Fuel Ratio	Air Fuel Ratio Teoritis (AFR <sub>Stoich</sub> )	<i>Equivalent Ratio</i> (ER)
24-Apr	24,11	57,64	2,39	11,24	0,21

Sumber: Pengolahan Data tugas akhir di tekMIRA, 2019.