

LAMPIRAN 1

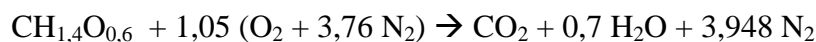
PERHITUNGAN

A. *Air Fuel Ratio (AFR)*

Sebelum melakukan pengambilan data dilakukan beberapa studi dan percobaan pembakaran bahan bakar pada kompor. Hal-hal tersebut dilakukan untuk mengetahui kebutuhan udara pembakaran yang ideal yaitu dengan mengetahui *Air Fuel Ratio (AFR)* atau rasio antara udara dan bahan bakar (Najib, 2012).

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

Dari data uji ultimate sekam padi diperoleh kandungan sekam padi adalah $\text{CH}_{1,4}\text{O}_{0,6}$ (Basu, 2010). Sekam padi dibakar dengan sempurna sehingga menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O). Reaksi pembakaran sempurna memerlukan udara, dimana kondisi udara stoikiometri adalah $\text{O}_2 + 3,76 \text{ N}_2$ (Najib, 2012).



Dari Persamaan diatas dapat kita ketahui massa molekul relatif (MR) dari bahan bakar dan udara dari penjumlahan massa-massa atom relatif (AR) yang terkandung, sehingga kita dapat menentukan nilai AFR.

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{AR C} &= 12 \text{ kg/kmol} \\ \text{AR H} &= 1 \text{ kg/kmol} \\ \text{AR O} &= 16 \text{ kg/kmol} \\ \text{AR N} &= 14 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

(Fengel, 1995)

$$\begin{aligned} \text{MR}_{\text{bahan bakar}} &= (\text{AR C} \times 1) + (\text{AR H} \times 1,4) + (\text{AR O} \times 0,6) \\ &= (12 \times 1) + (1 \times 1,4) + (16 \times 0,6) \\ &= 23 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MR}_{\text{udara}} &= (\text{AR O} \times 2) + 3,76 (\text{AR N} \times 2) \\ &= (16 \times 2) + 3,76 (14 \times 2) \\ &= 137,28 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{AFR} &= \frac{1,05 \times (\text{MR}_{\text{udara}})}{(\text{MR}_{\text{bahan bakar}})} \\
 &= \frac{1,05 \times 137,28}{23} \text{ kg/kmol} \\
 \text{AFR} &= 6,267 \text{ kg/kmol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan AFR untuk bahan bakar adalah 6,267 yang artinya setiap 1 kg bahan bakar udara yang dibutuhkan adalah 6,267 kg.

B. Laju Aliran Massa Udara

Laju aliran massa udara adalah perbandingan antara kebutuhan udara dan lamanya proses pembakaran.

$$\dot{m} = \frac{\text{massa udara}}{\text{waktu pembakaran}} \text{ (kg/detik)}$$

Pada tahap ini penulis melakukan sebuah percobaan pembakaran, yaitu membakar sekam padi sebanyak 1,3 kg dalam kompor gasifikasi. Proses pembakaran dilakukan dari awal hingga hanya tersisa abu pembakaran, dan dari percobaan tersebut didapatkan lamanya waktu pembakaran adalah 23 menit atau 1380 detik.

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \frac{m \times \text{AFR}}{t} \\
 &= \frac{(1,3 \times 6,267)}{1380} \text{ kg/detik} \\
 &= 0,00678 \text{ kg/detik}
 \end{aligned}$$

C. Kecepatan Udara Masuk

Setelah didapatkan laju aliran massanya, penulis dapat menentukan kecepatan udara masuk yang dibutuhkan untuk terjadi pembakaran sempurna, yaitu menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\dot{m} = \rho \times v \times A \text{ (kg/detik)}$$

Keterangan : \dot{m} : laju aliran massa
 ρ : masa jenis udara
 v : kecepatan udara masuk
 A : luas penampang

Untuk mencari kecepatan udara,

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \times A} \quad (\text{m/detik})$$

luas penampang yang digunakan yaitu, luas penampang lubang masuk udara yang mana digunakan untuk mengalirkan udara berbentuk lingkaran dan memiliki diameter lingkaran berlubang $D_o = 11$ cm atau 0,11 m dan diameter rotor $D_i = 6$ cm atau 0,06, oleh karena untuk mencari luasan menggunakan rumus lingkaran dimana lingkaran berlubang dikurangi lingkaran rotor.

Diketahui:

$$\dot{m} = 0,00678 \text{ kg/detik}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$A1 = \pi/4 \times 0,11 \times 0,11 = 0,0095$$

$$A2 = \pi/4 \times 0,06 \times 0,06 = 0,0028$$

Sehingga,

$$v = \frac{0,00678}{1,2 \times (A1 - A2)}$$

$$v = 0,844 \text{ m/s}$$

Dari hasil pengujian pembakaran sekam padi sebanyak 1300 gram selama 23 menit diperoleh kecepatan yang harus digunakan untuk terjadinya pembakaran sempurna adalah dengan menambahkan kecepatan udara sebesar 0,844 m/s. Namun dengan kecepatan demikian proses pembakaran didalam tidak terjadi karena aliran udara didalam tidak beraturan dan banyak oksigen yang tidak tereaksikan. Untuk mengatasinya adalah dengan menambah kecepatan udara masuk dengan tujuan dapat mengganti oksigen yang tidak dapat bereaksi.

kemudian dilakukan percobaan penyalaaan gas dari $V=0,5$ m/s sampai dengan $V=1,5$ m/s yang ditujukan untuk mengetahui pada kecepatan berapa saja kompor menyala stabil. Dari sepuluh pengujian kecepatan di dapatkan 3 kecepatan dengan nyala api paling stabil yaitu pada kecepatan $V=0,7$ m/s, $V=0,9$ m/s dan $V=1,05$ m/s, ketiga kecepatan tersebut yang di jadikan variasi dalam pengambilan data.

D. Komponen Hasil Gasifikasi

Komponen hasil gasifikasi yang didapatkan meliputi gas, arang dan abu. Adapun untuk kandungan (yield) dari gas, arang dan abu adalah perbandingan antara massa daripada komponen dibagi dengan massa total (massa bahan bakar + massa udara).

$$\text{Yield} = \frac{\text{Banyaknya komponen}}{\text{Massa udara + bahan bakar}} \quad (\%)$$

Dimana massa (m) udara diperoleh dari laju aliran massa udara dikali dengan lamanya waktu pengujian.

$$\begin{aligned} m_{\text{udara}} &= (\rho \times v \times A) t \\ &= (1,2 \times 0,7 \times 0,0067) 600 \text{ s} \\ m_{\text{udara}} &= 3,16512 \text{ kg} \\ &= 3.165, 12 \text{ gram} \end{aligned}$$

(Perhitungan variasi kecepatan 0,7 m/s)

$$\begin{aligned} m_{\text{gas}} &= m_{\text{bb}} - m_{\text{arang}} - m_{\text{abu}} \\ m_{\text{arang}} &= 662,5 \text{ gram} \\ m_{\text{abu}} &= 79,5 \text{ gram} \\ m_{\text{bb}} &= 1300 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Yield Gas} = \frac{m_{\text{gas}} + m_{\text{udara}}}{m_{\text{udara}} + m_{\text{bb}}} = \frac{(1300 - 662,5 - 79,5) + 3165,12}{1300 + 3165,12} = 83, 38 \%$$

$$\text{Yield Arang} = \frac{m_{\text{arang}}}{m_{\text{udara}} + m_{\text{bb}}} = \frac{662,5}{1300 + 3165,12} = 14,84 \%$$

$$\text{Yield Abu} = \frac{m_{\text{abu}}}{m_{\text{udara}} + m_{\text{bb}}} = \frac{79,5}{1300 + 3165,12} = 1,78 \%$$

E. Efisiensi Termal Gasifikasi

Belonio (2005) mengungkapkan bahwa efisiensi termal adalah perbandingan antara energi yang terpakai pada saat mendidihkan dan menguapkan air dengan energi kalor yang tersedia pada bahan bakar. Rumus untuk menghitung efisiensi termal adalah seperti berikut:

$$ET = \frac{KS + KL}{KB} \times 100\%$$

Keterangan :

- ET : Efisiensi Termal (%)
- KS : Kalor Sensibel (kJ/kg)
- KL : Kalor Laten (kJ/kg)
- KB : Kalor Bahan Bakar (kJ/kg)

(Perhitungan variasi kecepatan 0,7 m/s)

Diketahui :

$$KS = m_{\text{air}} (h_2 - h_1)$$

Didapatkan dari interpolasi table sifat Air A-4 (Bernhardt), dimana massa air yang digunakan adalah 1 kg.

$$\begin{aligned} - \quad T_1 = 26,45^\circ\text{C} &\rightarrow \quad hf \text{ Ta } (25^\circ\text{C}) = 104,83 \text{ kJ/kg} \\ &\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad hf \text{ Tb } (30^\circ\text{C}) = 125,74 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad h_1 &= \frac{(T_1 - T_a)}{(T_b - T_a)} \times (hf \text{ Tb} - hf \text{ Ta}) + hf \text{ Ta} \\ &= \frac{(26,54 - 25)}{(30 - 25)} \times (125,74 - 104,83) + 104,83 \\ &= 110,894 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- $T_2 = 97,4^\circ\text{C} \rightarrow$
 - $hf\ Ta\ (95^\circ\text{C}) = 398,9\ \text{kJ/kg}$
 - $hf\ Ta\ (100^\circ\text{C}) = 419,17\ \text{kJ/kg}$
- $h_2 = \frac{(T_2 - T_a)}{(T_b - T_a)} \times (hf\ T_b - hf\ T_a) + hf\ T_a$

$$= \frac{(97,4 - 95)}{(100 - 95)} \times (419,17 - 398,9) + 398,9$$

$$= 408,63\ \text{kJ/kg}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{KS} &= m_{\text{air}} (h_2 - h_1) \\ &= 1 \times (408,63\ \text{kJ/kg} - 110,894\ \text{kJ/kg}) \\ &= 297,736\ \text{kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\text{KL} = m_{\text{air}} (h_3 - h_2)$$

Didapatkan dari interpolasi table sifat Air A-4 (Bernhardt), dimana massa air yang digunakan adalah 1 kg.

- $T_2' = 97,4^\circ\text{C} \rightarrow$
 - $hfg\ Ta\ (95^\circ\text{C}) = 2269,6\ \text{kJ/kg}$
 - $hfg\ T_b\ (100^\circ\text{C}) = 2256,4\ \text{kJ/kg}$
- $h_2' = \frac{(T_2' - T_a)}{(T_b - T_a)} \times (hfg\ T_b - hfg\ T_a) + hfg\ T_a$

$$= \frac{(97,4 - 95)}{(100 - 95)} \times (2256,4 - 2269,6) + 2269,6$$

$$= 2263,26\ \text{kJ/kg}$$

- $h_3 = h_2(x \cdot h_2')$

dimana x merupakan kualitas pendidihan air yang diperoleh dari:

$x = \text{massa air yang menguap (y)} / \text{massa air awal (z)}$

$$y = 0,295\ \text{kg}$$

$$z = 1\ \text{kg}$$

$$\text{maka } x = 0,295/1 = 0,295$$

sehingga,

$$\begin{aligned} h_3 &= h_2(x \cdot h_2') \\ &= 408,63 \text{ kJ/kg} (0,295 \times 2263,26 \text{ kJ/kg}) \\ &= 1076,29 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Dengan demikian dapat diperoleh

$$\begin{aligned} \text{➤ KL} &= m_{\text{air}} (h_3 - h_2) \\ &= 1 \times (1076,29 \text{ kJ/kg} - 408,63 \text{ kJ/kg}) \\ &= 667,663 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\text{➤ KB} = 3454 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga,

$$\text{ET} = \frac{297,736 \text{ kJ/kg} + 667,663 \text{ kJ/kg}}{3454 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$\text{ET} = 27,95 \%$$

LAMPIRAN 2

DATA HASIL PERCOBAAN

A. Variasi Kecepatan Udara Masuk

1. Tabel Hasil Percobaan Kecepatan Udara 0,7 m/s

Variasi Kecepatan :			0,7	m/s
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T _{awal}	26,5	26,4	26,5	°C
T _{akhir}	97,5	97,3	97,4	°C
m _{awal}	1000	1000	1000	gram
m _{akhir}	702	708	705	gram
m _{uap}	298	292	295	gram
m _{bahan bakar}	1300	1300	1300	gram
m _{arang}	668	657	662,5	gram
m _{bb(sisa)}	127	100	113,5	gram
m _{abu}	98	96	97,0	gram

2. Tabel Hasil Percobaan Kecepatan Udara 0,9 m/s

Variasi Kecepatan :			0,9	m/s
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T _{awal}	26,9	26,8	26,85	°C
T _{akhir}	98,3	98,2	98,25	°C
m _{awal}	1000,0	1000	1000,0	gram
m _{akhir}	697,0	692	691,05	gram
m _{uap}	311,0	317	314,0	gram
m _{bahan bakar}	1300,0	1300	1300,0	gram
m _{arang}	647,0	638	642,5	gram
m _{bb(sisa)}	103	87	95,0	gram
m _{abu}	124	125	121,05	gram

3. Tabel Hasil Percobaan Kecepatan Udara 1,05 m/s

Variasi Kecepatan :			1,05	m/s
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T _{awal}	26,3	26,3	26,30	°C
T _{akhir}	98,6	98,5	98,55	°C
m _{awal}	1000,0	1000	1000,0	gram
m _{akhir}	690,0	684	687,0	gram
m _{uap}	317,0	319	318,0	gram
m _{bahan bakar}	1300,0	1300	1300,0	gram
m _{arang}	631,0	626	628,5	gram
m _{bb(sisa)}	78	83	80,5	gram
m _{abu}	148	153	150,5	gram

4. Tabel Kenaikan Temperatur Variasi Kecepatan Udara Masuk

Waktu (Menit)	Variasi Kecepatan		
	0,7 m/s (°C)	0,9 m/s (°C)	1,05 m/s(°C)
0	26,45	26,85	26,2
0,5	29,7	32	34,8
1	32,15	34	37,85
1,5	35,4	39	44,2
2	38,05	43	50,85
2,5	44,95	52	57,65
3	48,8	59	65,95
3,5	53,7	64	74,8
4	59,95	72	78
1,05	68,25	76	79,8
5	76,75	79	82,4
5,5	83,7	84,75	85
6	86,6	88,85	89
6,5	89,2	90,1	91
7	90,3	90,5	91,75
7,5	91,45	92,05	92,5
8	92,5	92,95	93,35
8,5	93,35	93,75	93,95
9	94	91,055	94,85
9,5	96,3	96,8	97
10	97,4	97,5	98

5. Tabel Penurunan Massa Variasi Udara Masuk

Waktu (Menit)	Variasi Kecepatan		
	0,7 m/s (gram)	0,9 m/s (gram)	1,05 m/s (gram)
0	1000	1000	1000
0,5	1000	1000	1000
1	1000	1000	1000
1,5	1000	1000	1000
2	1000	1000	1000
2,5	1000	1000	1000
3	1000	1000	1000
3,5	999	999	998,5
4	998	998	997
1,05	992,5	992	990
5	993	991	985,5
5,5	990,5	988	980,5
6	975,5	969	959,5
6,5	948,5	935,5	932,5
7	926	918,5	918
7,5	890,5	875,5	870
8	850,5	836	834
8,5	806,5	802,5	788
9	776,5	770	740,5
9,5	731	711,05	705
10	705	691,05	687

6. Tabel Perubahan Suhu Reaktor Variasi Kecepatan Udara Masuk

Waktu	Variasi Kecepatan		
	0,7 m/s (°C)	0,9 m/s (°C)	1,05 m/s (°C)
1	97,7	114,6	132,2
2	110,2	125,6	159,7
3	123,6	136,3	175,9
4	164,1	179,2	204,1
5	201,9	225,7	258,6
6	233,9	256,8	297
7	275,2	289,3	340,7
8	334,1	367,9	407,7
9	349,5	383,3	445,2
10	367,7	397,4	457,8

B. Variasi Campuran Bahan Bakar

1. Tabel Hasil Percobaan Persentase Campuran 0% Arang Kayu

Variasi Campuran :			0	%
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T_{awal}	26,5	26,4	26,5	°C
T_{akhir}	97,5	97,3	97,4	°C
$m_{awal\ air}$	1000	1000	1000	gram
$m_{akhir\ air}$	702	708	705	gram
m_{uap}	298	292	295	gram
$m_{sekam\ padi}$	1300	1300	1300	gram
$m_{arang\ sekam}$	668	657	662,5	gram
$m_{sekam(sisa)}$	127	100	113,5	gram
m_{abu}	98	96	97,0	gram

2. Tabel Hasil Percobaan Persentase Campuran 25% Arang Kayu

Variasi Campuran			25	%
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T _{awal}	26,4	26,4	26,40	°C
T _{akhir}	97,2	97,0	97,10	°C
m _{awal}	1000	1000	1000,0	gram
m _{akhir}	685	681	683,0	gram
m _{uap}	315	319	317,0	gram
m _{sekam padi}	975	975	975,0	gram
m _{arang sekam}	625	628	626,5	gram
m _{sekam(sisa)}	88	85	86,5	gram
m _{abu}	94	95	91,05	gram
m _{arang awal}	325	325	325,0	gram
m _{arang akhir}	195	192	193,5	gram

3. Tabel Hasil Percobaan Persentase Campuran 50% Arang Kayu

Variasi Campuran			50	%
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T _{awal}	25,5	25,2	25,35	°C
T _{akhir}	96,3	96,1	96,20	°C
m _{awal}	1000	1000	1000,0	gram
m _{akhir}	683	691	687,0	gram
m _{uap}	317	309	313,0	gram
m _{sekam padi}	650	650	650,0	Gram
m _{arang sekam}	421	423	422,0	Gram
m _{sekam(sisa)}	79	75	77,0	Gram
m _{abu}	69	65	67,0	Gram
m _{arang awal}	650	650	650,0	Gram
m _{arang akhir}	475	467	471,0	Gram

4. Tabel Hasil Percobaan Persentase Campuran 75% Arang Kayu

Variasi Campuran			75	%
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T _{awal}	26,3	26,1	26,20	°C
T _{akhir}	96,8	97,1	96,95	°C
m _{awal}	1000	1000	1000,0	Gram
m _{akhir}	694	697	695,5	Gram
m _{uap}	306	303	301,05	Gram
m _{sekam padi}	325	325	325,0	Gram
m _{arang sekam}	157	159	158,0	Gram
m _{sekam(sisa)}	74	75	71,05	Gram
m _{abu}	47	49	48,0	Gram
m _{arang awal}	975	975	975,0	Gram
m _{arang akhir}	795	817	806,0	Gram

5. Tabel Hasil Percobaan Persentase Campuran 100% Arang Kayu

Variasi Campuran			100	%
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T _{awal}	26,3	26,1	26,2	°C
T _{akhir}	97,2	96,8	97,0	°C
m _{awal}	1000	1000	1000	Gram
m _{akhir}	709	703	706	Gram
m _{uap}	291	297	294	Gram
m _{arang awal}	1300	1300	1300	Gram
m _{arang akhir}	1008	1015	1011,5	Gram
m _{abu}	34	38	36,0	Gram

6. Tabel Kenaikan Temperatur Variasi Campuran Bahan Bakar

Waktu	Campuran Arang Kayu				
	0%	25%	50%	75%	100%
(Menit)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0	26,3	26,4	25	25	26
0,5	30,3	35	33,2	33,5	33
1	30,7	38,2	35,9	34	34
1,5	36,7	44,75	43,2	42	40
2	38,8	51,15	49	48	46,3
2,5	46,6	58,15	56	55	53,4
3	50,4	66,2	64	63	62,5
3,5	54,3	75,1	73,6	73,1	72,3
4	61,3	78,15	77,8	78	78,1
1,05	70,7	80	79,65	78,5	78,2
5	77,6	82,85	82,2	82,4	82,55
5,5	85,8	84	83,55	80,9	84
6	90,1	88,3	87,55	87,9	88,2
6,5	90,3	90,9	89,65	89,95	90,6
7	90,7	91,7	91,3	91,75	91,65
7,5	92	92,6	92	92,5	92,45
8	93,3	93,55	92,9	93,35	93,3
8,5	93,7	94	93,3	93,95	93,95
9	91,05	95,25	94,35	94,85	95
9,5	96,8	96,35	95,05	95,7	95,2
10	98,5	97,9	97,2	96,95	96,7

7. Tabel Penurunan Massa Air Variasi Campuran Bahan Bakar

Waktu	Campuran Arang Kayu				
	0%	25%	50%	75%	100%
(Menit)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)
0	1000	1000	1000	1000	1000
0,5	1000	1000	1000	1000	1000
1	1000	1000	1000	1000	1000
1,5	1000	1000	1000	1000	1000
2	1000	1000	1000	1000	1000
2,5	1000	1000	1000	1000	1000
3	1000	1000	1000	1000	1000
3,5	999	999	999	999	999
4	998	997	997,5	998	998
1,05	992,5	992	993	993	993
5	993	989,5	991,5	992,5	992,5
5,5	990,5	987	990	990,5	991
6	975,5	955	963	969,5	976,5
6,5	948,5	926,5	940,5	946,5	947,5
7	926	909,5	916,5	919,5	921,05
7,5	890,5	854	864	877	887,5
8	850,5	845,5	837,5	848,5	853
8,5	806,5	785,5	793,5	801,5	806
9	776,5	749	764	766,5	774
9,5	731	706,5	711,5	724	729,5
10	705	683	687	695,5	706

8. Tabel Perubahan Suhu Reaktor Variasi Campuran Bahan Bakar

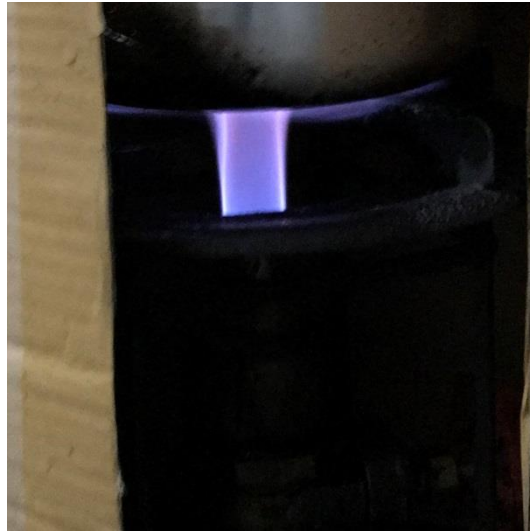
Waktu (Menit)	Campuran Arang Kayu				
	0%	25%	50%	75%	100%
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
1	97,7	100	104	106,6	113
2	110,2	112	121	125	131
3	123,6	124,9	136	139	143
4	164,1	168,3	179	185	193
5	201,9	204,7	219	224	235
6	233,9	236,7	247	251	263
7	275,2	280,6	291	298	309
8	334,1	342,5	362	371	388
9	349,5	357	372	380	396
10	367,7	378,8	401	421	441

LAMPIRAN 3

GAMBAR NYALA API GASIFIKASI

A. Variasi Kecepatan Udara Masuk

1. Nyala Api Pada Kecepatan 0,7 m/s



2. Nyala Api Pada Kecepatan 0,9 m/s

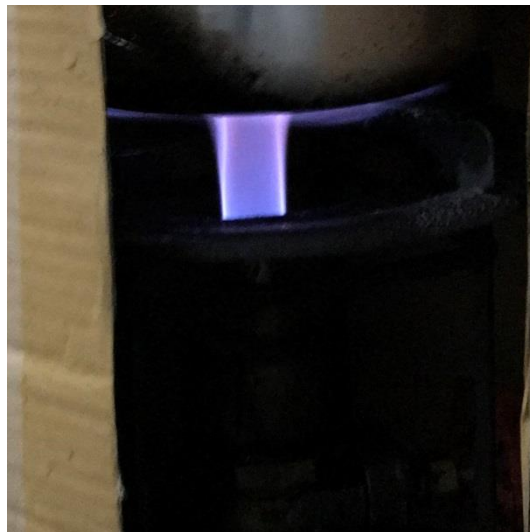


3. Nyala Api Pada Kecepatan 1,05 m/s

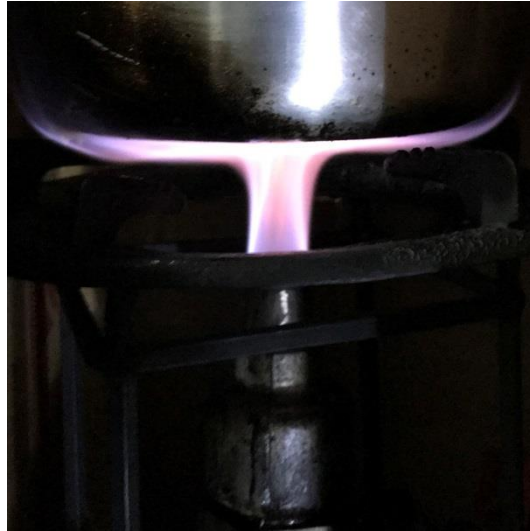


B. Variasi Campuran Bahan Bakar

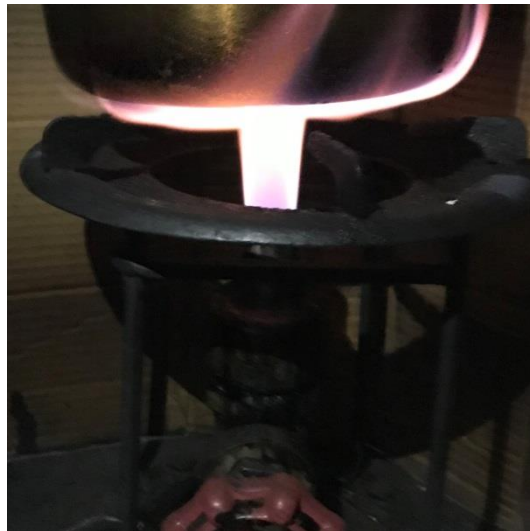
1. Nyala Api Pada Komposisi 0% Arang Kayu



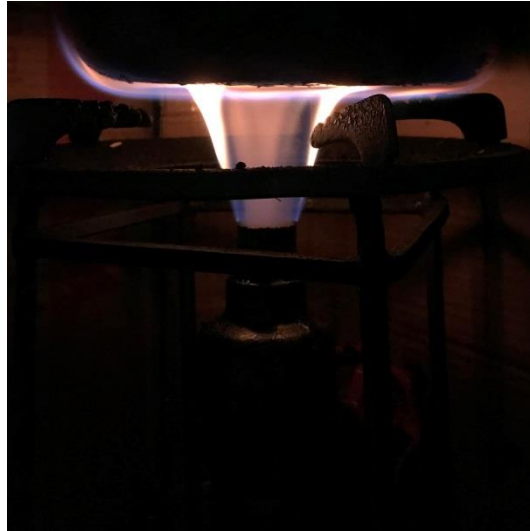
2. Nyala Api Pada Komposisi 25% Arang Kayu



3. Nyala Api Pada Komposisi 50% Arang Kayu



4. Nyala Api Pada Komposisi 75% Arang Kayu



5. Nyala Api Pada Komposisi 100% Arang Kayu

