

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Data Hasil Percobaan

➤ **Data variasi laju kecepatan udara**

Variasi Kecepatan :			0,7	m/s
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T_0	28,0	28,5	28,3	°C
T_1	88,9	90,3	89,6	°C
m_0	1000	1000	1000	gram
m_1	845,0	839	842	gram
m_{uap}	155	161	158	gram
m_{bb}	1300	1300	1300	gram
m_{arang}	631,0	630	630,5	gram
$m_{bb(sisa)}$	75	83	79,0	gram
m_{abu}	100	120	110,0	gram

Variasi Kecepatan :			0,9	m/s
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T_0	28,0	28,3	28,15	°C
T_1	90,3	92,1	91,20	°C
m_0	1000,0	1000	1000,0	gram
m_1	842,0	834	838,0	gram
m_{uap}	158,0	166,0	162,0	gram
m_{bb}	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	124,5	gram

Variasi Kecepatan :			1,05	m/s
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T ₀	29,9	30,2	30,05	°C
T ₁	95,6	95,9	95,75	°C
m ₀	1000,0	1000	1000,0	gram
m ₁	810,0	807	808,5	gram
m _{uap}	190,0	193,0	191,5	gram
m _{bb}	1300,0	1300	1300,0	gram
m _{arang}	668	657	662,5	gram
m _{bb(sisa)}	127	120	123,5	gram
m _{abu}	180	185	182,5	gram

➤ **Data pada variasi campuran arang**

Variasi Kecepatan : 1,05 m/s			25	% mix
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T ₀	26,5	26,8	26,65	°C
T ₁	97,8	98,5	98,13	°C
m ₀	1000	1000	1000,0	gram
m ₁	690,0	692	691,0	gram
m _{uap}	310	308	309,0	gram
m _{bb}	975	975	975,0	gram
m _{arang}	605	620	612,5	gram
m _{bb(sisa)}	100	105	102,5	gram
m _{abu}	75	78	76,5	gram
m _{kayu}	325	325	325,0	gram
m _{argkayu}	194	199	196,5	gram

Variasi Kecepatan : 1,05 m/s			50	% mix
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T ₀	26,0	26,5	26,25	°C
T ₁	97,3	97,75	97,50	°C
m ₀	1000	1000	1000,0	gram
m ₁	695,0	692	693,5	gram
m _{uap}	305	308	306,5	gram
m _{bb}	650	650	650,0	gram
m _{arang}	443	451	447,0	gram
m _{bb(sisa)}	79	85	82,0	gram
m _{abu}	65	69	67,0	gram
m _{kayu}	650	650	650,0	gram
m _{argkayu}	435	440	437,5	gram

Variasi Kecepatan : 1,05 m/s			75	% mix
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T ₀	26,0	26,8	26,40	°C
T ₁	97,0	97,5	97,25	°C
m ₀	1000	1000	1000,0	gram
m ₁	705,0	700	702,5	gram
m _{uap}	295,0	300,0	297,5	gram
m _{bb}	325	325	325,0	gram
m _{arang}	145	149	147,0	gram
m _{bb(sisa)}	80	84	82,0	gram
m _{abu}	54,0	55	54,5	gram
m _{kayu}	975	975	975,0	gram
m _{argkayu}	812,0	801	806,5	gram

Variasi Kecepatan : 1,05 m/s			100	% mix
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T_0	26,3	26,1	26,2	°C
T_1	97,2	96,8	97,0	°C
m_0	1000	1000	1000	gram
m_1	709	703	706	gram
m_{uap}	291	297	294	gram
m_{bb}	1300	1300	1300	gram
m_{arang}	1008	1015	1011,5	gram
$m_{bb(sisa)}$				gram
m_{abu}	34	38	36,0	gram

Lampiran 2. Tabel Data Penurunan Massa Air dan Kenaikan Temperatur Air

➤ Data kenaikan temperatur air pada variasi laju kecepatan udara

No	Waktu	0,7 m/s			0,9 m/s			1,05 m/s		
		Temp 1	Temp 2	Rata-Rata	Temp 1	Temp 2	Rata-Rata	Temp 1	Temp 2	Rata-Rata
	Detik	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1	0	28,00	28,5	28,25	28	28,3	28,15	30	30,3	30,15
2	30	30,10	29,50	29,80	30,00	30,90	30,45	32,10	33,2	32,65
3	60	32,10	33,2	32,65	33,9	33,6	33,75	35,60	35,20	35,40
4	90	35,60	35,20	35,40	36,00	36,30	36,15	38,60	39,2	38,90
5	120	38,60	39,2	38,90	39,2	40	39,60	42,90	44,70	43,80
6	150	42,90	44,70	43,80	44,70	45,00	44,85	47,90	49,1	48,50
7	180	47,90	49,1	48,50	49,1	50,9	50,00	53,60	53,80	53,70
8	210	53,60	53,80	53,70	54,90	55,00	54,95	57,90	55,6	56,75
9	240	57,90	55,6	56,75	57,00	57,2	57,10	59,60	59,80	59,70
10	270	59,60	59,80	59,70	61,00	61,10	61,05	62,10	62,30	62,20
11	300	60,50	62,3	61,40	62,3	62	62,15	63,30	65,90	64,60
12	330	63,30	65,90	64,60	65,00	65,00	65,00	66,10	67	66,55
13	360	66,10	67	66,55	67	70,5	68,75	69,70	70,60	70,15
14	390	69,70	70,60	70,15	70,60	72,10	71,35	71,20	73,1	72,15
15	420	71,20	73,1	72,15	73,1	76,9	75,00	74,40	79,90	77,15
16	450	74,40	79,90	77,15	79,90	78,00	78,95	79,70	82,3	81,00
17	480	79,70	82,3	81,00	82,3	82,9	82,60	83,50	84,40	83,95
18	510	83,50	84,40	83,95	84,40	87,40	85,90	85,60	86,50	86,05
19	540	85,60	86,50	86,05	86,00	88,00	87,00	86,50	89,80	88,15
20	570	86,50	89,80	88,15	89,80	90,10	89,95	88,90	94,20	91,55
21	600	88,90	90,30	89,60	90,30	91,20	90,75	95,60	95,90	95,75

➤ **Data penurunan massa air pada variasi laju kecepatan udara**

No	Waktu	0,7 m/s			0,9 m/s			1,05 m/s		
		Temp 1	Temp 2	Rata-Rata	Temp 1	Temp 2	Rata-Rata	Temp 1	Temp 2	Rata-Rata
	Detik	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram
1	0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2	30	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
3	60	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4	90	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	120	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
6	150	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
7	180	990	988	989	999	990	995	988	986	987
8	210	989	980	985	986	980	983	979	976	978
9	240	983	976	980	980	974	977	974	972	973
10	270	977	965	971	977	967	972	960	960	960
11	300	973	959	966	971	953	962	958	956	957
12	330	966	946	956	959	948	954	948	945	947
13	360	958	937	948	954	932	943	940	938	939
14	390	950	925	938	949	920	935	933	932	933
15	420	938	910	924	940	910	925	920	918	919
16	450	929	890	910	940	880	910	900	891	896
17	480	913	878	896	925	869	897	890	888	889
18	510	890	872	881	897	860	879	875	860	868
19	540	869	861	865	880	853	867	855	853	854
20	570	850	849	850	859	845	852	825	820	823
21	600	845	839	842	842	834	838	810	807	809

➤ **Data kenaikan temperatur air pada variasi campuran arang**

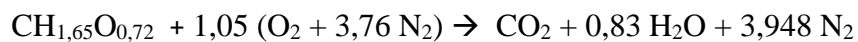
No	Waktu	25% Arang			50% arang			75% Arang			100% Arang		
		Temp 1	Temp 2	Rata-Rata	Temp 1	Temp 2	Rata-Rata	Temp 1	Temp 2	Rata-Rata	Temp 1	Temp 2	Rata-Rata
	Detik	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1	0	26,5	26,8	26,7	26,0	26,5	26,25	26,0	26,8	26,40	26,30	26,40	26,35
2	30	35,20	35,40	35,3	33,90	34,20	34,05	32,70	32,90	32,80	35,20	34,70	34,95
3	60	39,70	38,10	38,9	37,70	37,90	37,80	36,40	37,00	36,70	38,10	38,00	38,05
4	90	46,70	47,00	46,9	44,20	45,00	44,60	45,50	45,00	45,25	44,90	44,50	44,70
5	120	52,00	55,80	53,9	51,00	53,80	52,40	52,70	53,70	53,20	51,20	50,80	51,00
6	150	58,90	62,60	60,8	59,60	60,70	60,15	61,40	62,00	61,70	58,20	58,10	58,15
7	180	67,50	69,70	68,6	66,40	67,60	67,00	67,00	67,00	67,00	66,40	65,90	66,15
8	210	75,00	78,00	76,5	74,20	72,70	73,45	70,60	72,80	71,70	75,00	74,60	74,80
9	240	78,00	78,50	78,3	76,20	76,80	76,50	75,30	75,70	75,50	78,20	78,00	78,10
10	270	81,40	83,70	82,6	81,50	80,00	80,75	79,50	81,80	80,65	80,10	79,80	79,95
11	300	84,60	86,10	85,4	84,10	84,00	84,05	82,80	82,90	82,85	82,70	82,40	82,55
12	330	87,00	88,00	87,5	87,50	87,90	87,70	85,70	87,00	86,35	84,10	83,90	84,00
13	360	89,60	89,90	89,8	88,10	88,90	88,50	88,90	85,90	87,40	88,30	88,10	88,20
14	390	91,00	91,80	91,4	89,20	89,60	89,40	89,00	89,70	89,35	90,70	90,50	90,60
15	420	92,10	93,00	92,6	88,00	92,10	90,05	91,00	91,20	91,10	91,80	91,50	91,65
16	450	93,20	93,70	93,5	91,50	91,00	91,25	91,50	92,70	92,10	92,70	92,20	92,45
17	480	94,70	94,90	94,8	92,00	93,90	92,95	92,80	93,90	93,35	93,40	93,20	93,30
18	510	95,30	95,40	95,4	94,70	94,60	94,65	94,10	94,20	94,15	94,00	93,90	93,95
19	540	95,80	96,00	95,9	95,40	95,70	95,55	94,20	96,10	95,15	95,20	94,80	95,00
20	570	97,30	97,40	97,4	97,00	97,40	97,20	95,80	96,90	96,35	96,30	95,50	95,90
21	600	97,75	98,50	98,1	97,3	97,75	97,50	97,0	97,5	97,25	97,21	96,80	97,01

➤ **Data penurunan massa air pada variasi campuran arang**

No	Waktu	25% Arang			50% arang			75% Arang			100% Arang		
		Massa 1	Massa 2	Rata-Rata	Massa 1	Massa 2	Rata-Rata	Massa 1	Massa 2	Rata-Rata	Massa 1	Massa 2	Rata-Rata
	Detik	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram
1	0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2	30	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
3	60	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4	90	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	120	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
6	150	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
7	180	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
8	210	999	999	999	999	999	999	1000	1000	1000	999	999	999
9	240	997	995	996	998	998	998	998	998	998	998	998	998
10	270	994	993	994	996	993	995	994	993	994	993	993	993
11	300	992	991	992	994	992	993	992	993	993	992	993	993
12	330	989	990	990	990	991	991	989	990	990	991	991	991
13	360	960	967	964	965	970	968	968	971	970	979	974	977
14	390	935	927	931	947	931	939	945	940	943	950	945	948
15	420	900	895	898	910	904	907	918	909	914	927	922	925
16	450	860	858	859	869	860	865	877	880	879	889	886	888
17	480	820	810	815	830	820	825	845	834	840	856	850	853
18	510	785	775	780	794	783	789	800	785	793	809	803	806
19	540	745	740	743	759	746	753	763	758	761	775	773	774
20	570	710	709	710	721	713	717	723	720	722	731	728	730
21	600	690,0	692	691	695,0	692	694	705,0	700	703	709	703	706

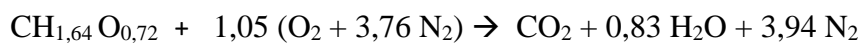
Lampiran 3. Perhitungan Laju Kecepatan Udara

Proses perhitungan AFR dan laju kecepatan udara yang masuk pada gasifier. Reaksi pembakaran sempurna memerlukan udara, dimana kondisi udara stoikiometri adalah $O_2 + 3,76 N_2$. Biomassa yang digunakan merupakan unsur selulosa ($C_6H_{10}O_5$) yang dibakar secara sempurna dan akan menghasilkan gas karbondioksida (CO_2) dan uap air (H_2O).



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 :	C	=	47,2% _{massa}	=	3,93 kg/mol
	H	=	6,6% _{massa}	=	6,5 kg/mol
	O	=	45,4% _{massa}	=	2,84 kg/mol
	N	=		=	14 kg/mol



$$(1 \times 12) + (1 \times 1,65) + (16 \times 0,72) + 1,05 \times (16 \times 2) + 3,76 (2 \times 14)$$

$$25,22 \quad + \quad 144,42$$

$$\begin{aligned} \text{AFR} &= \frac{\dot{m}_u}{\dot{m}_{b \text{ ha } b}} \\ &= \frac{1,4 \text{ k / K}}{2,2 \text{ k / K}} = 5,73 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan AFR untuk bahan bakar adalah 5,73 untuk setiap 1 kg bahan bakar.

Laju aliran massa udara merupakan perbandingan antara kebutuhan udara dengan proses pembakaran.

$$\dot{m}_u = \frac{m_u}{w \quad p\epsilon}$$

Penulis melakukan sebuah percobaan pembakaran awal, yaitu membakar bahan bakar sebanyak 1300 gram dalam kompor gasifikasi. Pembakaran dilakukan sampai hanya tersisa abu pembakaran saja. Pada percobaan tersebut didapatkan lamanya waktu pembakaran adalah 58 menit atau 3480 detik

Sehingga,

$$\dot{m}_{ud} = \frac{5,73 \times 1,3 \text{ k}}{3480} \text{ k /d}$$

$$\dot{m}_u = 0,00214 \text{ k /d}$$

Setelah mendapatkan laju aliran massa udara, maka dapat menentukan kecepatan udara masuk yang dibutuhkan supaya terjadi pembakaran sempurna.

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

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 merupakan diameter kipas dengan diameter luar 10,5 dan diameter dalam 5,5, maka menggunakan menggunakan rumus.

$$\begin{aligned} &= 5,73 \times \frac{1,3 \text{ kg}}{3480 \text{ detik}} \\ &= 0,00214 \text{ kg/detik} \\ &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{\pi}{4} d^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} 0,11^2 \text{ m} \\
 &= 0,0095 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_2 &= \frac{\pi}{4} d^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} 0,06^2 \\
 &= 0,0028 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$V = \frac{0,00214 \text{ kg/detik}}{1,2 \text{ kg/m}^3 \times (0,0095 \text{ m}^2 - 0,0028 \text{ m}^2)}$$

$$V = 0,2661 \text{ m/s}$$

Dari hasil pengujian pembakaran limbah gergaji kayu sengon sebanyak 1,3 kg membutuhkan waktu 58 menit sampai habis. Kecepatan yang harus digunakan adalah 0,2661 m/s, namun dengan reaksi pembakaran pada kecepatan udara tersebut hanya akan menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O).

Kemudia melakukan pengujian penyalaan gas di 10 kecepatan udara masuk yaitu pada kecepatan 0,5 m/s sampai 1,5 m/s dengan tujuan mencari kecepatan dengan nyala api yang stabil. Maka ditemukan 3 kecepatan dengan nyala api paling stabil yaitu 0,7 m/s, 0,9 m/s dan 1,05 m/s.

Komponen hasil gasifikasi yang didapatkan yaitu gas, arang, dan abu, adapun untuk kandungan dari komponen tersebut adalah perbandingan antara massa komponen dengan massa total yang sudah ditambah dengan massa udara.

(Perhitungan variasi kecepatan 0,7)

Variasi Kecepatan :			0,7	m/s
Indikator	Data 1	Data 2	Rata-rata	Satuan
T ₀	28,0	28,5	28,3	°C
T ₁	88,9	90,3	89,6	°C
m ₀	1000	1000	1000	gram
m ₁	850,0	847	849	gram
m _{uap}	150	153	152	gram
m _{bb}	1300	1300	1300	gram
m _{arang}	662,0	660	661,0	gram
m _{abu}	65	68	66,5	gram

$$m_{\text{gas}} = m_{\text{bb}} - m_{\text{arang}} - m_{\text{abu}}$$

$$m_{\text{udara}} = 3165,12$$

$$\text{Yield Gas} = \frac{m_{\text{gas}}}{m_{\text{gas}} + m_{\text{udara}}} = \frac{(1300 - 661,0 - 66,5) + 3165,12}{1300 + 3165,12} = 83,71 \%$$

$$\text{Yield Arang} = \frac{m_{\text{arang}}}{m_{\text{arang}} + m_{\text{udara}}} = \frac{661,0}{1300 + 3165,12} = 14,80 \%$$

$$\text{Yield Abu} = \frac{m_{\text{abu}}}{m_{\text{abu}} + m_{\text{udara}}} = \frac{66,5}{1300 + 3165,12} = 1,49 \%$$

$$\text{Efisiensi Termal} = \frac{Q_b}{Q} \times 100$$

Diketahui :

Massa air : 1000 g

h_1 h_f : 28,3

h_{atas} : 25 : 104,83 kJ/kg

h_{bawah} : 30 : 125,74 kJ/kg

h_1 : 118,63 kJ/kg (interpolasi)

h_2 h_f : 89,6

h_{atas} : 85 : 356,02 kJ/kg

h_{bawah} : 90 : 377,04 kJ/kg

h_2 : 375,36 kJ/kg (interpolasi)

h_2' h_{fg} : 89,6

h_{atas} : 85 : 2295,3 kJ/kg

h_{bawah} : 90 : 2282,5 kJ/kg

h_2' : 2283,53 kJ/kg (interpolasi)

x (kualitas uap) : Massa uap / Massa total

: 0,1515

h_3 : $h_f + (x \cdot h_{fg})$

: 721,312 kJ/kg

Q_{1-2} (sensibel) : Massa ($h_2 - h_1$)

: 256,728 kJ/kg

Q_{2-3} (laten) : Massa ($h_3 - h_2$)

: 345,954 kJ/kg

Q_{total} : Q_{1-2} (sensibel) + Q_{2-3} (laten)

: 602,68 kJ/kg

$$\begin{aligned}HV_{\text{bahan bakar}} &: 17,785 \text{ MJ/kg} \\HV_{\text{arang}} &: 27,684 \text{ MJ/kg} \\Q_{\text{bahan bakar}} &: (m \times HV_{\text{bahan bakar}}) - (m \times HV_{\text{arang}}) - (m \times HV_{\text{sisa}}) \\&: 3416,4 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi Termal} &= \frac{6,6}{3,4} \times 100 \\&= 17,641 \%\end{aligned}$$

Lampiran 6. Gambar Nyala Api

- Hasil gasifikasi dengan variasi kecepatan laju udara.
- Nyala api pada kecepatan 0,7 m/s



- Nyala api pada kecepatan 0,9 m/s



- Nyala api pada kecepatan 1,05 m/s



- Hasil gasifikasi dengan variasi campuran arang
- Nyala api pada campuran 25% arang



- Nyala api pada campuran 50% arang



- Nyala api pada campuran 75% arang



- Nyala api pada campuran 100% arang

