

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Karakteristik Biomassa

Karakteristik biomassa meliputi data tentang kandungan-kandungan yang terdapat pada bahan baku biomassa antara lain kandungan kadar air, kadar volatile meter, kadar abu, kadar karbon, dan nilai kalor. Karakteristik biomassa didapat melalui pengujian proksimat. Uji proksimat dilakukan untuk mendapatkan nilai kalor dan nilai berapa kandungan dari bahan baku biomassa dan dimana nilai kandungan tersebut merupakan nilai maksimum tercapainya pembakaran sempurna untuk menghasilkan energi. Hasil pegujian proksimat dari bahan baku kayu Sengon, Mahoni, dan Pelet kayu tersaji pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1. Hasil pengujian Proksimat

No	Bahan Baku	Kadar Air (%)	Kadar Volatile meter (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (Kalori/gram)
1	Kayu Sengon	7,21	74,63	0,79	17,36	4605,26
2	Kayu Mahoni	11,69	71,98	0,93	15,39	4522,04
3	Pelet Kayu	7,84	75,02	2,25	14,88	4173,59

Sumber: Hasil pengujian pada laboratorium PAU UGM (2013)

Dari tabel 4.1 dapat diamati bahwa nilai kalori tertinggi terdapat pada bahan baku Sengon, kemudian diikuti oleh Mahoni dan nilai kalor terendah terdapat pada bahan baku Pelet. Hal ini dipengaruhi oleh persentase kadar abu dari Sengon dan Mahoni yang jauh lebih kecil yaitu 0,79 % dan 0,93 % dari persentase kadar abu Pelet sebesar 2,25 %, walaupun kadar volatile meter Pelet memiliki persentase yang lebih tinggi dari bahan baku yang lain. Disamping itu persentase kadar air pada Mahoni jauh lebih tinggi dari kadar air Sengon, hal ini yang

## 4.2. Reaksi Operasi Generator Power Pallet

Reaksi-reaksi pada generator Power Pallet yang terbaca pada *Power Control Unit* (PCU) adalah :

- a. Temperatur atas reduksi/ *Top of reduction temperature* ( $T_{\text{tred}}$ ) dengan satuan ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- b. Temperatur dasar reduksi/ *Bottom of reduction temperature* ( $T_{\text{bred}}$ ) dengan satuan ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- c. Tekanan sirkulasi/ *Ratio pressure* ( $P_{\text{ratio}}$ ).
- d. Tekanan pembakaran/ *Combustion pressure* ( $P_{\text{comb}}$ ).
- e. Tekanan reaktor/ *Reactor pressure* ( $P_{\text{reac}}$ ).
- f. Tekanan saringan/ *Filter pressure* ( $P_{\text{filt}}$ ).

Nilai reaksi tekanan dan temperatur awal yang terbaca pada PCU Power Palet dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2. Temperatur dan tekanan awal Power Palet

Reaksi	$T_{\text{tred}}$	$T_{\text{bred}}$	$P_{\text{ratio}}$	$P_{\text{comb}}$	$P_{\text{reac}}$	$P_{\text{filt}}$
Nilai	25	25	120	-35	-29	0

Nilai reaksi temperatur dan tekanan yang terjadi dan tersaji pada tabel 4.2 merupakan nilai beberapa bagian dari mesin gasifikasi Power Pallet pada saat keadaan mesin dingin dan mati atau tidak beroperasi.

## 4.3. Persiapan Pengujian

Proses persiapan pengujian ini merupakan tahapan proses untuk mendapatkan temperatur gasifikasi yang baik, sebagai bahan bakar yang akan digunakan untuk penyalan awal mesin generator Power Pallet. Pada proses persiapan ini masing-masing bahan baku memiliki nilai yang bervariasi baik dari segi temperatur, tekanan, konsumsi bahan bakar, dan lama waktu yang diperlukan untuk mendapatkan  $T_{\text{tred}}$  (Temperatur atas reduksi), dimana nilai temperatur tersebut berkisar antara  $750^{\circ}\text{C}$  sampai lebih dari  $800^{\circ}\text{C}$ . Nilai reaksi temperatur

dan tekanan yang terbaca pada PCU dalam tahap persiapan ini dapat dilihat pada tabel reaksi temperatur dan tekanan tahap persiapan pengujian (terlampir).

Berikut ini pada tabel 4.3 dapat dilihat variasi nilai konsumsi bahan bakar dan lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai  $T_{\text{red}}$  minimum penyalaan awal mesin generator Power Pallet, pada setiap tahap percobaan untuk masing-masing bahan baku.

Tabel 4.3. Waktu tempuh, volume konsumsi dan laju aliran bahan bakar untuk gasifikasi persiapan penyalaan mesin generator

No	Bahan Bakar	Massa Jenis( $\rho$ ) (kg/ℓ)	Waktu( $\Delta t$ ) (menit)	Volume( $\Delta V$ ) (ℓ)	Laju Aliran Bahan Bakar ( $\dot{m}$ ) (kg/menit)
1	Sengon	0,12	21,14	15,31	0,0869
2	Mahoni	0,23	35,19	17,80	0,1163
3	Pelet	0,67	49,00	10,21	0,1396

Nilai laju aliran bahan bakar pada tabel 4.3 didapatkan dari persamaan laju aliran sebagai berikut:

$$\dot{m} = \frac{\rho}{\Delta t} \times \Delta V \quad \text{.....(4.1)}$$

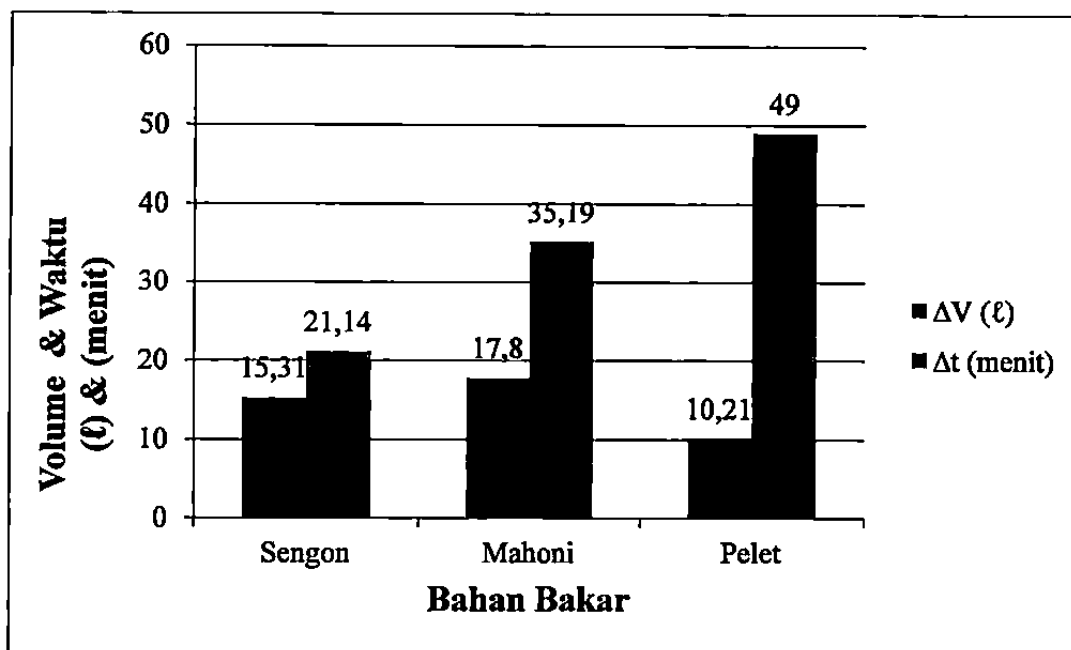
Dimana :  $\dot{m}$  = Laju aliran (kg/menit)

$\rho$  = Massa jenis (kg/ℓ)

$\Delta t$  = Waktu tempuh (menit)

$\Delta V$  = Volume (ℓ)

Untuk dapat mengetahui lebih jelas parameter perbedaan volume, waktu tempuh dan laju aliran dari masing-masing bahan bakar untuk tahap gasifikasi persiapan penyalaan mesin generator, data pada tabel 4.3 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut

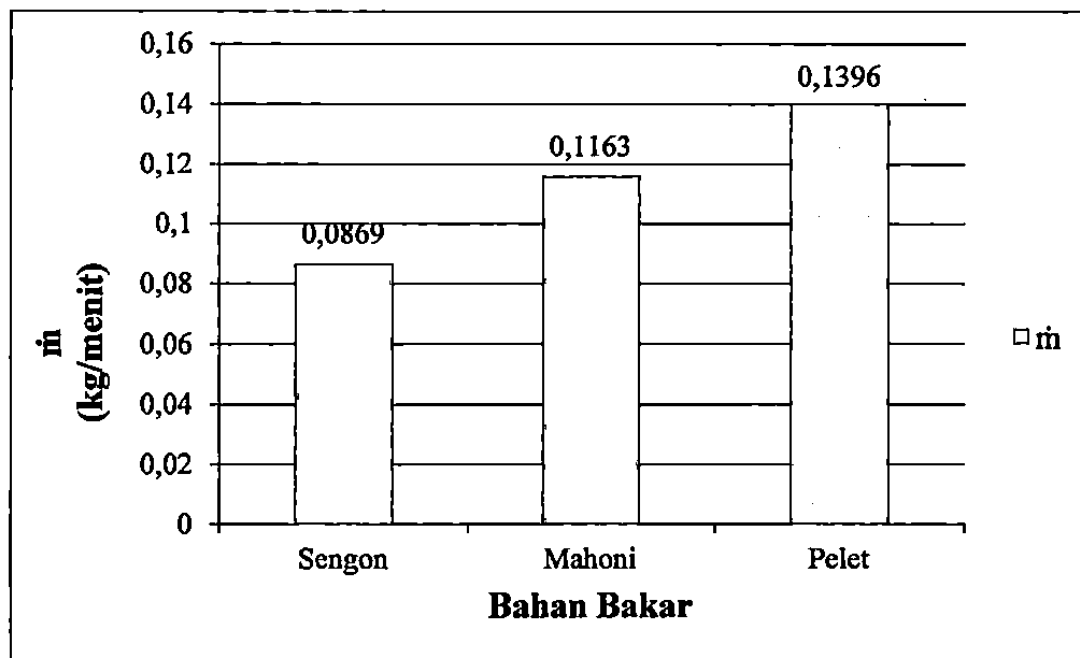


Gambar 4.1. Grafik perbandingan volume konsumsi bahan bakar dan waktu tempuh untuk gasifikasi persiapan penyalaan mesin generator

Waktu pembakaran tidak selalu berbanding lurus dengan jumlah konsumsi bahan bakar yang diperlukan, dimana semakin lama waktu pembakaran maka tidak selalu diikuti dengan konsumsi bahan bakar akan lebih banyak. Grafik pada gambar 4.1 menunjukkan variasi yang terjadi tidak berbanding lurus antara waktu tempuh dan konsumsi bahan bakar antara jenis bahan bakar yang satu dengan bahan bakar yang lainnya. Hal ini disebabkan karena masing-masing bahan bakar memiliki massa jenis yang berbeda. Nilai massa jenis ini akan mempengaruhi kelancaran suplai bahan bakar yang diatur secara otomatis oleh *auger* dari *hopper* menuju *totti*, dan dari *totti* menuju ruang pembakaran atau reaktor, pada *totti* sendiri bahan bakar akan mengandalkan gaya tarik bumi atau gravitasi dan dipicu oleh getaran yang dihasilkan *grate* untuk bergerak turun menuju reaktor. Tidak hanya nilai massa jenis yang akan mempengaruhi variasi waktu dan konsumsi bahan bakar, ukuran dimensi dari bahan bakar juga akan sangat mempengaruhi kelancaran perjalanan bahan bakar dari *hopper* menuju reaktor. Pada buku All Power Labs diberikan standar ukuran dimensi bahan bakar, ukuran dimensi bahan bakar yang direkomendasikan untuk Power Pallet dengan golongan kayu adalah 10-50 mm dalam bentuk serpihan.

Selain nilai setiap massa jenis bahan bakar yang akan mempengaruhi waktu tempuh dan volume konsumsi bahan bakar, pada gambar 4.1 menunjukkan grafik volume konsumsi bahan bakar Mahoni memiliki volume yang paling tinggi diantara ketiga bahan bakar. Nilai ini kemungkinan dipengaruhi oleh nilai kalor Mahoni yang tidak terlalu jauh berbeda dibawah nilai kalor Sengon dengan massa jenis Mahoni yang lebih tinggi.

Pada gambar 4.1 untuk grafik waktu tempuh pencapaian  $T_{\text{tred}}$  minimum penyalaan mesin generator, bahan bakar Pelet dengan nilai kalor paling rendah dan massa jenis paling tinggi memiliki waktu tempuh yang paling lama diikuti dengan Mahoni dan Sengon.



Gambar 4.2. Grafik laju aliran masing-masing bahan bakar untuk tahap persiapan gasifikasi

Dari grafik pada gambar 4.2 dapat diperhatikan laju aliran bahan bakar Sengon memiliki nilai yang paling rendah, dan bahan bakar Pelet memiliki nilai laju aliran paling tinggi dari ketiga variasi massa jenis bahan bakar. Kemungkinan hal ini dipengaruhi oleh nilai massa jenis bahan bakar yang akan berbanding lurus dengan nilai laju aliran, dimana semakin tinggi nilai massa jenis maka akan diikuti dengan nilai laju aliran yang semakin tinggi juga.

Dari grafik pada gambar 4.1 dan 4.2 dapat disimpulkan bahwa nilai massa jenis akan berbanding terbalik dengan volume konsumsi dan akan berbanding lurus dengan laju aliran bahan bakar, sedangkan nilai kalor bahan bakar akan mempengaruhi nilai volume konsumsi dan waktu tempuh pencapaian  $T_{\text{tred}}$  minimum penyalaan generator.

#### 4.4. Pengujian Gasifikasi

Tahap pengujian gasifikasi ini merupakan tahapan lanjutan dari tahapan sebelumnya yaitu tahap persiapan. Pada tahap ini temperatur  $T_{\text{tred}}$  telah tercapai dan gas hasil dari tahap persiapan gasifikasi dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada mesin generator dan dilakukan pembebanan daya listrik pada generator. Sama halnya dengan tahap persiapan dimana pada masing-masing bahan baku memiliki nilai yang bervariasi baik dari segi temperatur, tekanan, dan konsumsi bahan bakar, lebih juga pada saat pemberian variasi pembebanan daya listrik sebesar 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 W. Nilai reaksi temperatur dan tekanan yang terbaca pada PCU dalam tahap pengujian ini dapat dilihat pada tabel reaksi temperatur dan tekanan tahap pengujian gasifikasi (terlampir). Untuk nilai konsumsi bahan bakar dan kualitas daya listrik yang dihasilkan terhadap variasi pembebanan daya akan dibahas pada sub-sub bab selanjutnya.

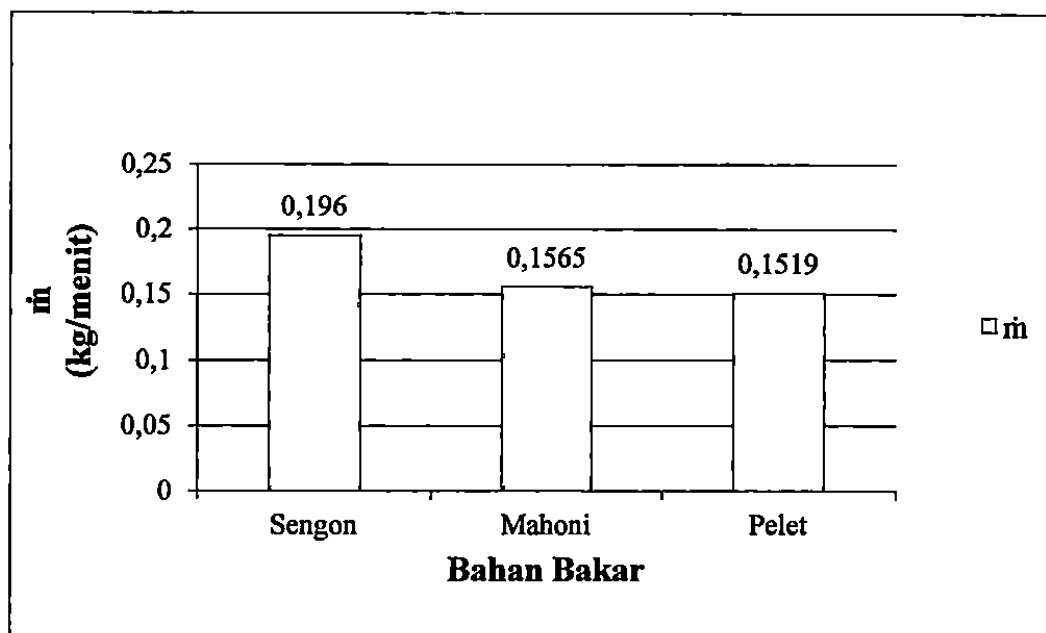
##### 4.4.1. Konsumsi bahan bakar

Untuk pengujian pembebanan daya sebesar 1000 sampai 5000 W, dimana masing-masing pemberian beban daya dilakukan selama 5 menit didapatkan data konsumsi bahan bakar sebagai berikut:

Tabel 4.4. Volume dan laju aliran bahan bakar terhadap pembebanan daya

No	Bahan Bakar	$\Delta$ Volume Bahan Bakar (l)	Laju Aliran Bahan Bakar (m) (kg/menit)
1	Sengon	40,8281	0,1960
2	Mahoni	17,0117	0,1565
3	Pelet	5,6705	0,1519

Dari tabel 4.4, volume dan laju aliran ( $\dot{m}$ ) bahan bakar terhadap pembebanan daya dapat digambarkan dalam bentuk grafik untuk lebih mempermudah pengamatan parameter perbedaan nilai laju aliran dari masing-masing bahan bakar, dan berikut bentuk grafiknya pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik laju aliran bahan bakar terhadap total pemberian beban daya listrik pada masing-masing massa jenis bahan bakar

Grafik pada gambar 4.3 dapat menunjukkan bahwa laju aliran konsumsi bahan bakar paling tinggi terdapat pada bahan bakar Sengon kemudian diikuti dengan nilai laju aliran bahan bakar Mahoni dan yang terendah adalah nilai laju aliran bahan bakar Pelet. Hal ini dimungkinkan karena pengaruh nilai kalor dan persentase karbon terikat dari setiap bahan bakar, dimana semakin tinggi nilai kalor maka semakin tinggi pula temperatur yang dihasilkan. Dari data hasil pengujian nilai kalor pada setiap massa jenis bahan bakar, Sengon memiliki nilai kalor dan kadar karbon terikat tertinggi, kemudian diikuti Mahoni dan Pelet. Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa pada proses gasifikasi, nilai kalor dan massa jenis dari setiap jenis bahan bakar akan mempengaruhi nilai laju aliran konsumsi bahan bakar. Hal ini dikarenakan semakin rendah massa jenis suatu bahan bakar akan menyebabkan bahan bakar itu semakin mudah terbakar.

Sedangkan nilai kalor yang tinggi akan menyebabkan panas hasil pembakarannya akan semakin tinggi sehingga akan semakin mempercepat proses pembakaran.

Untuk mengetahui massa konsumsi bahan bakar pada setiap variasi pembebanan daya yang dilakukan dibutuhkan persamaan sebagai berikut:

$$m = \left[ \frac{\bar{W}}{\sum \bar{W}} \times \frac{\Delta V}{\sum t} \right] \times \rho \times (60 \text{ menit}) \dots\dots\dots(4.2)$$

Dimana:  $m$  = Massa (kg)

$\bar{W}$  = Daya rata-rata (kW)

$\sum \bar{W}$  = Total daya rata-rata (kW)

$\Delta V$  = Volume total pembebanan ( $\ell$ )

$\sum t$  = Total waktu pembebanan (menit)

$\rho$  = Massa jenis (kg/ $\ell$ )

Persamaan menghitung daya yang dihasilkan untuk setiap pembebanan yang dilakukan selama 1 jam dari masing-masing massa jenis bahan bakar adalah:

$$W_{\text{hasil}} = \bar{W} \times \frac{t}{60} \dots\dots\dots(4.3)$$



Tabel 4.5. Tabel beban daya hasil dan SFC pada setiap bahan bakar berdasarkan daya pembebanan dari masing-masing bahan bakar

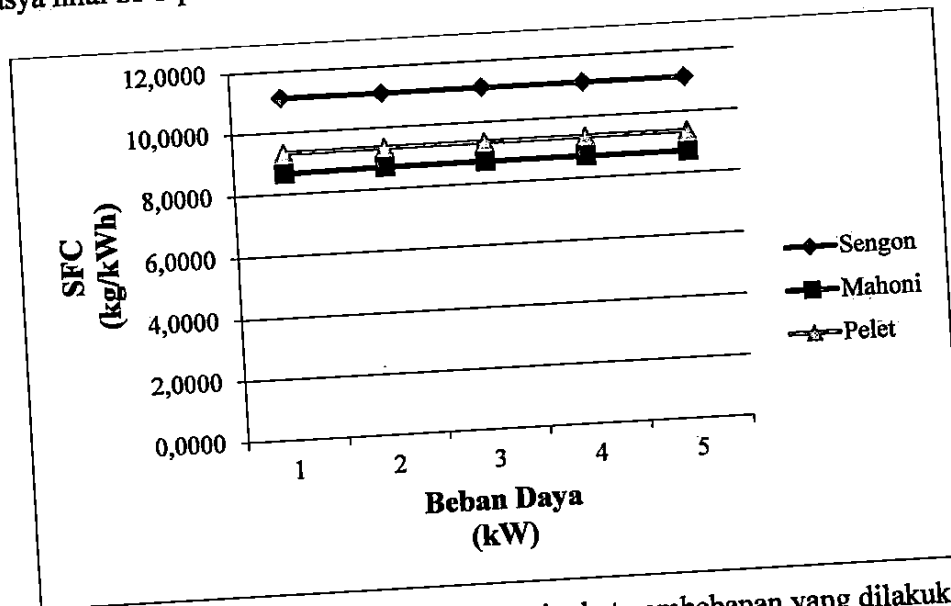
No	Bahan Bakar	Beban Daya (kW)	Daya rata-rata (kW)	Massa (kg)	Daya hasil (kWh)	SFC (kg/kWh)
1	Sengon	1	0,918	0,852	0,0765	11,1373
		2	1,599	1,482	0,1332	11,1261
		3	2,723	2,526	0,2269	11,1327
		4	3,301	3,06	0,2751	11,1232
		5	4,141	3,84	0,3451	11,1272
	$\Sigma$		<b>12,682</b>	<b>11,76</b>	<b>1,0568</b>	
	Rata-rata			<b>2,352</b>		<b>11,1293</b>
2	Mahoni	1	0,955	0,69	0,0796	8,6683
		2	1,894	1,374	0,1578	8,7072
		3	2,694	1,956	0,2245	8,7127
		4	3,331	2,418	0,2776	8,7104
		5	4,074	2,952	0,3395	8,6951
	$\Sigma$		<b>12,948</b>	<b>9,39</b>	<b>1,0790</b>	
	Rata-rata			<b>1,878</b>		<b>8,6988</b>
3	Pelet	1	0,903	0,702	0,0752	9,3351
		2	1,871	1,458	0,1559	9,3521
		3	2,442	1,902	0,2035	9,3464
		4	3,057	2,382	0,2547	9,3522
		5	3,431	2,676	0,2859	9,3599
	$\Sigma$		<b>11,704</b>	<b>9,12</b>	<b>0,9752</b>	
	Rata-rata			<b>1,824</b>		<b>9,3492</b>

Pada tabel 4.5 nilai SFC (*Specific Fuel Consumption*) didapatkan dari persamaan 4.4 berikut:

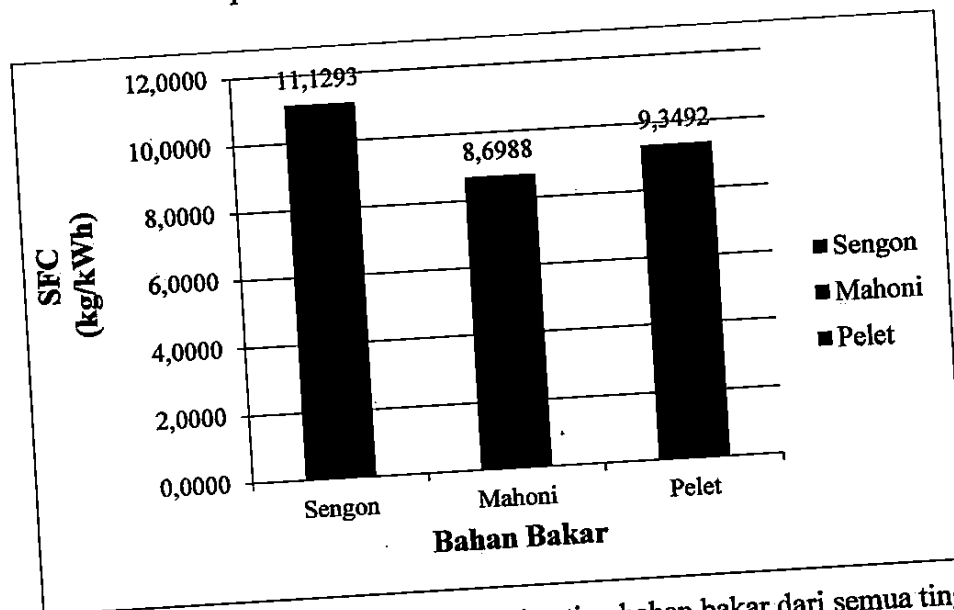
$$SFC = \frac{m}{W} \dots$$

$$(4.4)$$

Untuk dapat mengamati perbedaan nilai SFC yang terjadi pada setiap tingkat pembebanan dari masing-masing tipe bahan bakar, maka untuk lebih jelasnya nilai SFC pada tabel 4.5 tergambar pada grafik SFC sebagai berikut.



Gambar 4.4. Grafik nilai SFC dari setiap tingkat pembebanan yang dilakukan pada masing-masing tipe bahan bakar.



Gambar 4.5. Grafik SFC rata-rata pada setiap tipe bahan bakar dari semua tingkat pembebanan yang dilakukan

Berdasarkan gambar grafik nilai SFC yang tersaji pada gambar 4.4, bahan bakar kayu Mahoni memiliki nilai SFC yang paling rendah dari setiap tingkat pembebanan yang dilakukan, jika dibandingkan dengan bahan bakar kayu Sengon dan Pelet kayu. Sehingga untuk nilai SFC rata-rata dari tingkat pembebanan yang terdapat pada gambar 4.5 juga menunjukkan bahan bakar kayu Mahoni yang terendah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan bakar kayu Mahoni memiliki nilai konsumsi bahan bakar yang paling baik dari ketiga tipe bahan bakar untuk menghasilkan setiap 1 kWh daya listrik pada tingkat pembebanan 1 kW sampai 5 kW dalam operasi kerja mesin generator Power Pallet. Nilai konsumsi bahan bakar kayu Mahoni yang lebih rendah dari kayu Sengon dan Pellet kayu kemungkinan di akibatkan dari nilai karbon terikat yang dimiliki kayu Mahoni pada proses gasifikasi lebih tinggi walaupun pada tabel 4.1 hasil uji proksimat menyatakan nilai kalor kayu Mahoni lebih rendah dari kayu Sengon. Pada sisi lain dari hasil pengujian proksimat kadar air kayu Mahoni paling tinggi dari ketiga spesimen uji dan karena kadar air yang tinggi ini membuat nilai kalor kayu Mahoni pada waktu pengujian proksimat menjadi rendah dan berada diantara nilai kalor kayu Sengon dan Pelet kayu.

Pada proses pengujian gasifikasi dengan Power Pallet, bahan bakar akan mengalami pengeringan maksimum sebelum memasuki reaktor oleh gas panas hasil dari gasifikasi bahan bakar itu sendiri. Selain itu gas hasil dari gasifikasi pada reaktor yang akan mengalir menuju ruang bakar mesin akan melalui saluran yang sudah dirancang sedemikian rupa agar dapat membantu pengeringan bahan bakar pada saluran antara *hopper* dan *totti*.

Dari tahapan pengeringan yang dilalui dan dialami bahan bakar dalam proses gasifikasi pada Power Pallet tersebut, memungkinkan bahan bakar kayu Mahoni mengalami pengeringan yang sempurna sehingga didapatkan kadar air yang minimum untuk proses selanjutnya, hal ini tentu akan berpengaruh pada nilai karbon terikat yang dimiliki bahan bakar Mahoni menjadi lebih besar dari nilai karbon terikat yang terdapat pada hasil pengujian proksimat, sehingga tentu tidak lepas kemungkinan juga nilai karbon terikat akan ada di atas nilai karbon terikat

#### 4.4.2. Kualitas daya listrik

Pada pengujian kualitas daya listrik sebesar 1 kW sampai 5 kW yang dihasilkan dari setiap massa jenis bahan baku sebagai bahan bakar Power Pallet yang terbaca atau terekam pada alat rekam *Power Quality Analyzer 3945-B*, dilakukan perekaman data pada masing-masing pembebanan dari setiap percobaan yaitu lebih kurang 2 menit setelah beban daya diberikan. Pengambilan data berlangsung selama 1 menit dengan pembacaan kualitas listrik setiap 1 detik. Pengambilan data dengan durasi waktu lebih kurang setiap 2 menit dari setiap beban yang diberikan dilakukan karena sebelum perekaman data dengan alat *Power Quality Analyzer 3945-B*, perlu dilakukan penyetingan ulang secara manual yaitu nama data, durasi perekaman data dan waktu pelaksanaan perekaman dari data yang akan tersimpan pada alat rekam. Selain karena faktor perlunya penyetingan alat, perekaman data dengan durasi lebih kurang 2 menit setelah pembebanan ini juga dikarenakan *Air Fuel Ratio (AFR)* pada operasi mesin Power Pallet akan stabil membutuhkan waktu lebih kurang 1 menit setelah pemberian beban daya. Hasil rekaman berupa grafik parameter kualitas tegangan dan frekuensi dalam 1 menit terbaca setiap 1 detik dari semua pengujian dapat diamati pada gambar grafik (Lampiran 3).

Pada tabel 4.6 ditunjukkan data hasil rekaman kualitas listrik berupa nilai harga maksimal, minimal, dan rata-rata dari tegangan (V) dan frekuensi (Hz) pada masing-masing percobaan dari setiap massa jenis bahan bakar dengan pemberian variasi beban daya listrik.

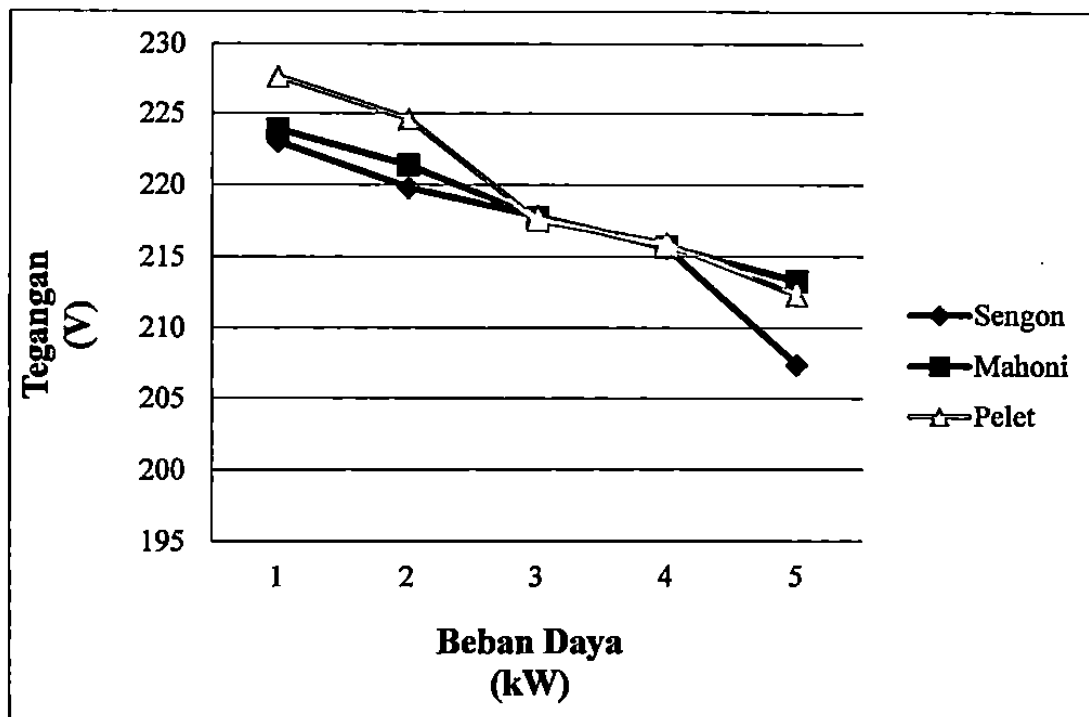
Tabel 4.6. Kualitas tegangan dan frekuensi pembebanan daya dari setiap pembebanan untuk masing-masing bahan bakar

Bahan bakar		Sengon					Mahoni					Pelet				
Beban (kW)		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Tegangan (V)	maksimal	230,6	222,2	220,6	217,9	215,5	230,3	226,4	221,3	217,9	219,4	233,2	229	219,7	217,3	214,9
	minimal	214,8	217,2	216,1	209,8	198,2	219,3	217,4	214,3	212,5	208,2	220,2	220,7	215,7	213,1	210,2
	rata-rata	223	219,8	217,8	215,6	207,4	223,9	221,4	217,7	215,7	213,3	227,6	224,6	217,5	215,9	212,3
Frekuensi (Hz)	maksimal	50,46	49,72	49,78	49,9	49,93	50,28	50,27	50,1	49,78	50,22	50,65	50,55	49,77	49,69	49,7
	minimal	48,48	48,97	49,19	48,67	47,51	48,84	48,95	48,87	48,91	48,74	49,02	49,47	49,2	48,98	49,08
	rata-rata	49,5	49,44	49,44	49,38	48,59	49,59	49,52	49,52	49,43	49,46	50	50	49,47	49,48	49,35

Dari tabel 4.6 yaitu data hasil rekaman kualitas tegangan dan frekuensi pembebanan daya, dapat diketahui kualitas listrik yang dihasilkan oleh Power Pallet masih berada pada standar ijin toleransi kualitas yang di terapkan oleh PLN. Standar toleransi tegangan yang diijinkan PLN adalah -10% sampai +5 % dari nilai tegangan sebesar 220 Volt, dan sedangkan untuk standar toleransi frekuensi adalah  $\pm 0,5$  Hz dari harga frekuensi yang digunakan yaitu 50 Hz.

a. Tegangan (V)

Pada gambar 4.6 berikut disajikan perbandingan harga tegangan rata-rata dalam bentuk grafik dari masing-masing massa jenis bahan bakar dengan variasi pembebanan daya.

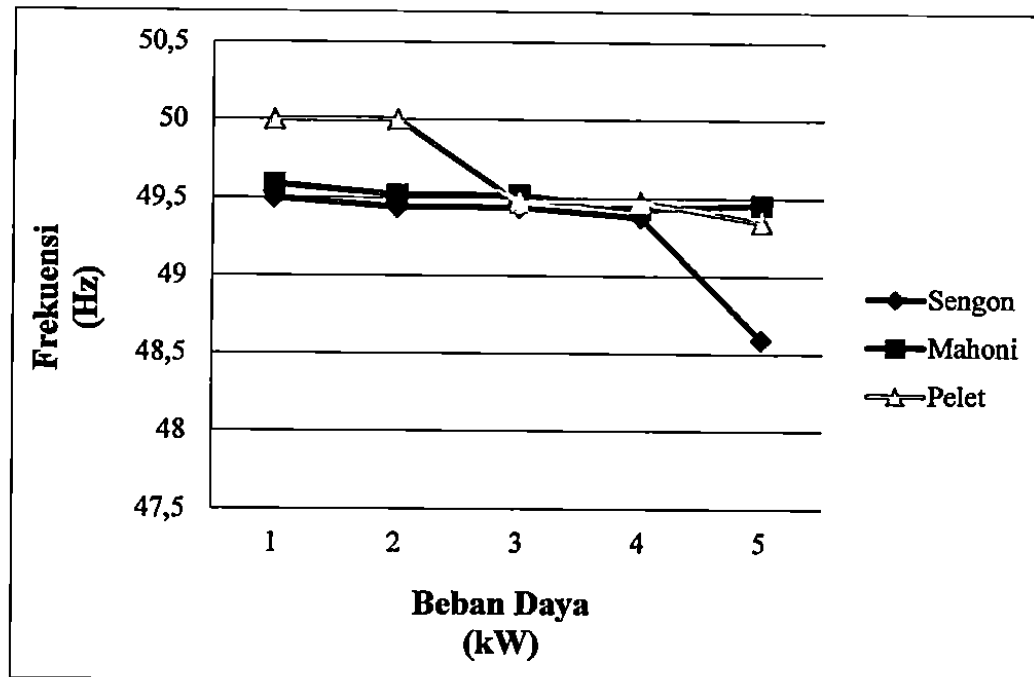


Gambar 4.6. Grafik tegangan (V) rata-rata dari setiap pembebanan pada masing-masing bahan bakar

Dari grafik perbandingan voltase tegangan rata-rata antara masing-masing bahan bakar dapat diamati, yakni semakin besar pembebanan daya yang diberikan maka nilai voltase tegangan akan turun. Pada gambar 4.6 grafik hasil percobaan menunjukkan penurunan tegangan yang terus bergerak turun seiring dengan pemberian beban daya yang lebih tinggi, hal ini kemungkinan disebabkan karena penambahan beban daya yang tidak diikuti dengan perubahan penampang medan magnet dan jumlah lilitan kumparan pada generator yang berpengaruh pada tinggi rendah voltase tegangan daya listrik. Untuk pemberian beban daya 3 kW dan 4 kW pada masing-masing memiliki harga voltase tegangan dari masing-masing bahan

b. Frekuensi (Hz)

Pada gambar 4.7 disajikan perbandingan harga frekuensi rata-rata dalam bentuk grafik dari masing-masing massa jenis bahan bakar pada setiap variasi pembebanan daya.



Gambar 4.7. Grafik frekuensi (Hz) rata-rata dari setiap pembebanan pada masing-masing bahan bakar

Dari gambar 4.7 dapat diamati harga frekuensi rata-rata bahan bakar Mahoni memiliki frekuensi yang cenderung stabil pada saat pemberian variasi beban daya karena tidak mengalami penurunan ataupun kenaikan yang tinggi. Pada percobaan untuk bahan bakar Sengon terjadi penurunan drastis harga frekuensi pada pembebanan 5 kW, dan pada percobaan bahan bakar Pelet mengalami dua kali penurunan yaitu pada pembebanan 3 kW memiliki frekuensi yang turun cukup drastis dan pada pembebanan 5 kW namun tidak mengalami penurunan drastis seperti pada 3 kW. Hal ini menunjukkan pengaruh kerja mesin khususnya suplai bahan bakar terhadap kerja generator pada saat pemberian beban daya tinggi. Suplai bahan bakar gas ke ruang bakar mesin yang diatur secara otomatis sesuai dengan beban daya yang diberikan, tidak mampu menyuplai bahan bakar gas secara maksimal untuk menaikkan RPM (rasio putaran permenit) mesin sebagai pendorong mula generator. Sehingga pada saat generator membutuhkan RPM

tinggi untuk pembebanan daya yang tinggi, mesin tidak mampu memenuhi kebutuhan itu, dan inilah faktor yang kemungkinan menyebabkan terjadinya penurunan frekuensi (Hz).

#### 4.4.3. Perhitungan segi finansial

Dari segi finansial dapat ditentukan harga pokok penjualan (HPP) untuk setiap penggunaan bahan baku sebagai bahan bakar generator gasifikasi Power Pallet 10 kW, terhadap daya keluaran yang dihasilkan pada tingkat pembebanan daya 1 kW sampai 5 kW. Mengacu pada buku manual (ALL Power Labs) untuk Power Pallet 10 kW dengan estimasi pembebanan 75 %, dinyatakan untuk menghasilkan 1 kWh daya listrik dibutuhkan biaya sebesar US\$0,02 – US\$0,05.

Perhitungan ini bertujuan mendapatkan berapa rupiah yang dibutuhkan untuk mendapatkan 1 kWh daya listrik dari masing-masing tipe bahan baku. Untuk mendapatkan nilai rupiah ini diasumsikan harga setiap 1 m<sup>3</sup> kayu Sengon dan kayu Mahoni merupakan harga terendah pasar. Sedangkan harga Pelet kayu didapatkan dari harga pasar perkemasan yang dimana setiap kemasan memiliki *netto* 20 kg.

Berikut pada tabel 4.7 tersaji data hasil pengamatan terhadap segi finansial dari setiap tipe bahan baku untuk menghasilkan 1 kWh daya listrik.

Tabel 4.7. Data hasil perhitungan nilai finansial

Bahan baku	Harga bahan baku (Rp/kg)	SFC rata-rata (kg/kWh)	HPP (Rp/kWh)
Sengon	3.000	11,1293	33.388
Mahoni	1.740	8,6988	15.136
Pelet	3.000	9,3492	28.048

Pada tabel 4.7 nilai HPP didapatkan dari persamaan berikut:

$$HPP = \overline{SFC} \times (\text{Harga bahan baku/kg}) \dots\dots\dots(4.5)$$

Dimana: HPP = Harga Pokok Penjualan (Rp/kWh)