

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Proksimat

Untuk mengetahui karakteristik komposisi dari bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan bakar Generator Gasifikasi maka dilakukan uji proksimat terlebih dahulu. Pengujian proksimat bertujuan untuk menganalisa nilai kalor, kandungan air (*moisture*), *volatile metter*, abu, karbon tetap. Pengujian proksimat dilakukan di Laboratorium PAU UGM. Hasil dari pengujian proksimat dari kayu sengon, Mahoni dan Pelet Hutan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Proksimat di Laboratorium PAU UGM

No	Bahan Baku	ρ (kg/L)	Kadar Air (%)	Kadar Volatile (%)	Kadar abu (%)	Kadar Karbon Terikat (%)	Nilai Kalori (Kalori/gram)
1	Kayu Sengon	0,12	7,210	74,628	0,797	17,362	4605,257
2	Kayu Mahoni	0,23	11,695	71,980	0,930	15,394	4522,042
3	Pelet Hutan	0,67	7,844	75,018	2,255	14,882	4173,588

(Sumber : Laboratorium PAU UGM)

Dari hasil pengujian proksimat di atas, dapat dilihat perbedaan nilai kalori dari masing-masing bahan bakar. Nilai kalori tertinggi ditunjukkan pada bahan baku Kayu Sengon (4605,257 Kalori/gram), kemudian Kayu Mahoni (4522,042 Kalori/gram) dan nilai kalori terendah ditunjukkan pada Pelet Hutan (4173,588 Kalori/gram). Perbedaan nilai kalori ini disebabkan oleh tiga faktor utama yaitu kadar air, kadar abu dan kadar karbon terikat. Semakin tinggi kadar air dan kadar abu yang terdapat pada bahan bakar padat, maka semakin rendah nilai kalorinya. Tetapi semakin tinggi kadar karbon pada bahan bakar, maka semakin tinggi nilai kalorinya, begitu juga sebaliknya. Pada Kayu Sengon memiliki kadar air paling

rendah (7,210 %), kadar abu (0,797 %) dan kadar karbon terikat (17,362 %) sehingga menunjukkan nilai kalori tertinggi.

4.2. Reaksi Temperatur dan Tekanan pada PCU (*Power Control Unit*)

Sebelum menyalakan *Gek Gasifier*, reaksi-reaksi yang terbaca di PCU pada Power Pallet adalah :

- Temperatur reduksi atas/ *Top of reduction temperature* (T_{tred}) dalam satuan ($^{\circ}\text{C}$).
- Temperatur reduksi bawah/ *Bottom of reduction temperature* (T_{bred}) dalam satuan ($^{\circ}\text{C}$).
- Tekanan Pelindung/ *Ratio pressure* (P_{ratio}) dalam satuan (atm).
- Tekanan Pembakaran/ *Combustion pressure* (P_{comb}) dalam satuan (atm).
- Tekanan reaktor/ *Reactor pressure* (P_{reac}) dalam satuan (atm).
- Tekanan saringan/ *Filter pressure* (P_{reac}) dalam satuan (atm).

Tabel 4.2. Temperatur dan tekanan awal pada PCU

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

Tabel di atas menunjukkan nilai reaksi tekanan dan temperatur awal yang terbaca pada PCU sebelum *Gek Gasifier* dinyalakan.

4.3. Persiapan sebelum Pengujian

Putaran Mesin Gasifikasi sangat berpengaruh terhadap kualitas listrik yang akan dihasilkan, karena daya poros mesin diteruskan ke Generator Gasifikasi. Agar proses pengujian menghasilkan listrik yang berkualitas, maka suplay bahan bakar/*syngas* ke mesin gasifikasi juga harus berkualitas. *Syngas* yang berkualitas, dapat dihasilkan oleh *Gek Gasifier* jika suhu di dalam reaktor berada pada rentang ($800\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{tred}} < 900\text{ }^{\circ}\text{C}$). Oleh karena itu, selama proses penyalaan *Gek Gasifier* harus ditunggu sampai suhu tersebut dapat tercapai.

Tabel di bawah menjelaskan laju aliran pada masing-masing bahan bakar dari awal penyalaan *Gek Gasifier* hingga mencapai temperatur $T_{\text{tred}} \geq 800^{\circ}\text{C}$.

Tabel 4.3. Laju aliran bahan bakar untuk mencapai Temperatur $T_{\text{tred}} \geq 800^{\circ}\text{C}$ dari awal penyalaan

No	Bahan Bakar	ρ (kg/l)	Waktu (menit)	Penurunan Bahan Bakar (dm)	Δ Volume (l)	\dot{m}_f (kg/menit)
1	Sengon	0,12	21,23	0,6	15,31	0,0865
2	Mahoni	0,23	35,32	0,7	17,80	0,1159
3	Pelet Hutan	0,67	49,00	0,4	10,21	0,1396

Dari tabel di atas, laju aliran bahan bakar diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\dot{m}_f = \left(\frac{\rho \cdot \Delta V}{t} \right)$$

dimana :

\dot{m}_f = Laju aliran bahan bakar (kg/menit)

ρ_{bb} = massa jenis bahan bakar (kg/l)

t = Waktu perubahan volume (menit)

ΔV = Perubahan Volume (l)

Diameter *Hopper* = 5,7 dm, $r = 2,85\text{dm}$

Sehingga, $\Delta V = \pi \cdot r^2 \cdot \text{penurunan bahan bakar (dm)}$

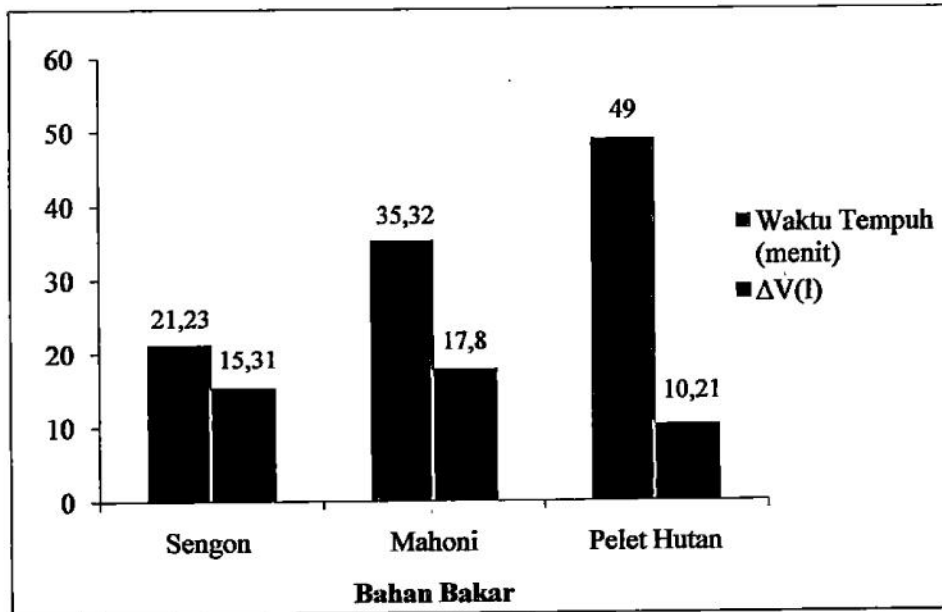
Contoh perhitungan (\dot{m}_f) untuk bahan bakar sengon:

$$\dot{m}_f = \left(\frac{\rho \cdot \Delta V}{t} \right) \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_f = \left(\frac{0,12 \left(\frac{\text{kg}}{\text{l}} \right) \cdot (\pi \cdot 2,85^2 \cdot 0,6 \text{ (dm)})}{21,23 \text{ (menit)}} \right) \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_f = 0,0865 \text{ (kg/menit)}$$

a. Grafik perbandingan waktu tempuh dan volume bahan bakar

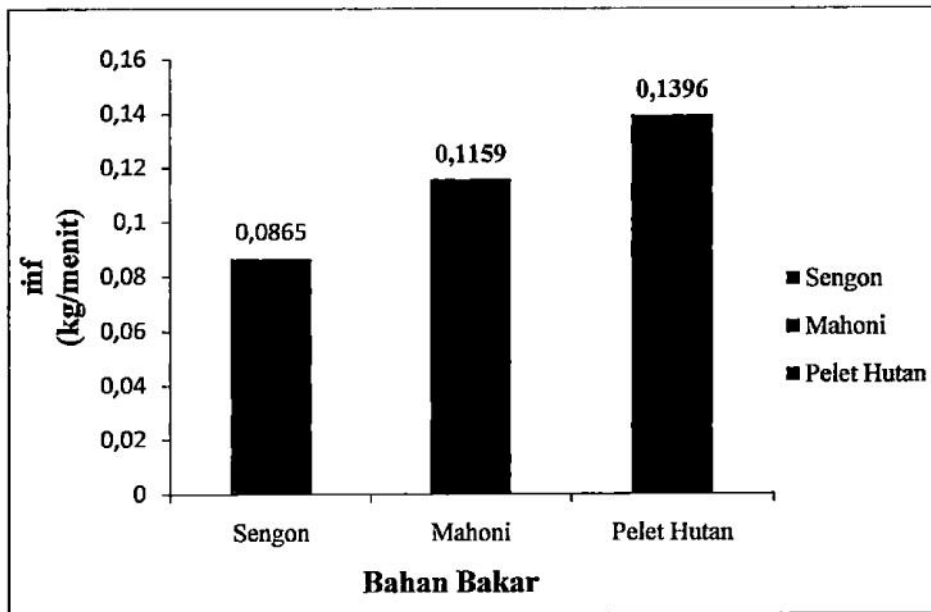


Gambar 4.1. Grafik volume dan waktu tempuh untuk mencapai $T_{\text{tred}} \geq 800^\circ\text{C}$

Dari gambar di atas, dapat dilihat perbandingan waktu tempuh dan perubahan volume untuk masing-masing bahan bakar. Pada grafik perbandingan waktu tempuh di atas, Sengon menunjukkan waktu tercepat untuk mencapai Temperatur $T_{\text{tred}} \geq 800^\circ\text{C}$ (21,14 menit), kemudian Mahoni (35,19 menit), sedangkan waktu terlama ditunjukkan pada Pelet Hutan (49 menit). Faktor utama yang menyebabkan perbedaan waktu tempuh adalah nilai *volatile matter*, dimana semakin banyak kandungan *volatile matter* pada bahan bakar padat, maka bahan bakar semakin mudah untuk terbakar dan memiliki kecepatan pembakaran yang lebih tinggi pula. Namun kecepatan pembakaran juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : kadar air, kadar karbon terikat dan massa jenis bahan bakar. Semakin rendah kadar air dan massa jenisnya maka biomassa akan mudah terbakar dan memiliki kecepatan pembakaran yang lebih tinggi pula, sedangkan semakin rendah nilai karbon terikat akan memperlambat laju pembakaran. Sengon memiliki kadar *volatile* 74,628 %, kadar air paling rendah (7,210 %), nilai karbon terikat paling tinggi (17,362 %) dan massa jenis paling ringan (0,12kg/l) sehingga Sengon menunjukkan waktu tercepat untuk mencapai Temperatur $T_{\text{tred}} \geq 800^\circ\text{C}$.

Dari gambar 4.1, pada grafik perubahan volume, Mahoni menunjukkan perubahan volume untuk mencapai $T_{\text{tred}} \geq 800^{\circ}\text{C}$ terbanyak (17,8 ℓ), kemudian Sengon (15,31 ℓ) sedangkan Pelet Hutan perubahan volumenya paling sedikit (10,21 ℓ). Perbedaan perubahan volume ini dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu adanya perbedaan waktu tempuh untuk mencapai $T_{\text{tred}} > 800^{\circ}\text{C}$ dan massa jenis dari masing-masing bahan bakar. Semakin lama waktu pembakaran, maka semakin banyak perubahan volumenya dan semakin berat massa jenis dari bahan bakar akan memiliki daya tahan panas yang lebih lama, sehingga perubahan volumenya lebih sedikit. Pada bahan bakar Pelet Hutan, menunjukkan perubahan volume yang paling rendah, karena Pelet Hutan memiliki massa jenis yang paling tinggi yaitu 0.67 kg/ℓ hampir tiga kali lipat dari massa jenis Mahoni, meskipun Pelet Hutan memiliki waktu untuk pembakaran yang paling lama (49 menit).

b. Grafik perbandingan laju aliran bahan bakar



Gambar 4.2. Grafik perbandingan laju aliran bahan bakar untuk mencapai $T_{\text{tred}} \geq 800^{\circ}\text{C}$

Grafik perbandingan laju aliran bahan bakar di atas, menunjukkan bahwa laju aliran tertinggi untuk mencapai $T_{\text{tred}} \geq 800^{\circ}\text{C}$ ditunjukkan pada bahan bakar

Pelet Hutan (0,1396 kg/menit), diikuti Mahoni (0,1159 kg/menit) sedangkan laju aliran bahan bakar paling rendah ditunjukkan pada Sengon (0,0865 kg/menit). Perbedaan laju aliran dari ketiga bahan bakar di atas, dipengaruhi oleh massa jenis dari setiap bahan bakar. Semakin tinggi massa jenis dari bahan bakar padat, maka semakin cepat laju aliran bahan bakarnya. Pada Pelet Hutan menunjukkan laju aliran bahan bakar tertinggi karena Pelet Hutan memiliki massa jenis yang paling tinggi (0,67 kg/l) sedangkan Sengon menunjukkan laju aliran terendah karena Sengon memiliki massa jenis paling rendah (0,12 kg/l).

4.4. Pengujian Power Pallet

4.4.1. Konsumsi Bahan Bakar

Pengujian konsumsi bahan bakar, dilakukan dengan cara memberikan pembebanan pada Generator Gasifikasi sebesar 6 – 9 kW menggunakan Lampu dan waktu setiap pembebanan dilakukan selama 5 menit, jadi waktu total pembebanan selama 20 menit untuk setiap bahan bakar.

Tabel 4.4. Perbandingan \dot{m}_f , Daya Listrik dan SFC terhadap tingkat pembebanan 6 – 9 kW selama 20 menit.

Bahan Bakar		Sengon	Mahoni	Pelet Hutan
ρ_{bb} (kg/l)		0,12	0,23	0,67
Penurunan bahan bakar (dm)		1,279	0,533	0,178
ΔV (l)		32,637	13,600	4,542
Daya Listrik (kW)	6 kW	4,836	4,165	4,967
	7 kW	5,183	4,383	5,310
	8 kW	5,619	4,329	5,353
	9 kW	5,324	4,337	5,381
	P_{avg}	5,240	4,304	5,253
\dot{m}_f (kg/l)	6 kW	0,180	0,151	0,144
	7 kW	0,193	0,159	0,154
	8 kW	0,209	0,157	0,155
	9 kW	0,199	0,158	0,156
	$\dot{m}_{f avg}$	0,196	0,156	0,152
SFC (kg/kWh)	6 kW	2,233	2,175	1,739
	7 kW	2,234	2,176	1,740
	8 kW	2,232	2,176	1,737
	9 kW	2,242	2,185	1,739

Dari tabel 4.4., \dot{m}_f dan SFC dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Contoh perhitungan \dot{m}_f dan SFC untuk bahan bakar Sengon.

➤ Laju aliran bahan bakar rata – rata ($\dot{m}_{f \text{ avg}}$)

$$\dot{m}_{f \text{ avg}} = \left(\frac{\rho \cdot \Delta V}{t} \right) \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_{f \text{ avg}} = \left(\frac{0,12 \left(\frac{\text{kg}}{\text{l}} \right) \cdot (\pi \cdot 2,85^2 \cdot 1,279 \text{ (dm)})}{20 \text{ (menit)}} \right) \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_{f \text{ avg}} = 0,1958 \text{ kg/menit}$$

➤ Daya listrik rata – rata (P_{avg})

$$P_{\text{avg}} = \frac{(P_6 + P_7 + P_8 + P_9)}{4} \text{ (kW)}$$

$$P_{\text{avg}} = \frac{(4,836 + 5,183 + 5,619 + 5,324)}{4} \text{ (kW)}$$

$$P_{\text{avg}} = 5,2405 \text{ kW}$$

➤ Laju aliran bahan bakar (\dot{m}_f) 6 – 9 kW

$$\dot{m}_f \text{ 6 kW} = \frac{\dot{m}_{f \text{ avg}}}{\dot{m}_f \text{ 6 kWh}} = \frac{P_{\text{avg}}}{P \text{ 6 kW}} \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_f \text{ 6 kW} = \frac{\dot{m}_{f \text{ avg}} \cdot P \text{ 6 kW}}{P_{\text{avg}}} \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_f \text{ 6 kW} = \frac{0,1958 \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \times 4,836 \text{ kW}}{5,2405 \text{ kW}} \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_f \text{ 6 kW} = 0,180 \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_f \text{ 7 kW} = \frac{0,1958 \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \times 5,183 \text{ kW}}{5,2405 \text{ kW}} \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_f \text{ 7 kW} = 0,193 \text{ (kg/kW)}$$

$$\dot{m}_f \text{ 8 kW} = \frac{0,1958 \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \times 5,619 \text{ kW}}{5,2405 \text{ kW}} \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_f \text{ 8 kW} = 0,209 \text{ (kg/kW)}$$

$$\dot{m}_f \text{ 9 kW} = \frac{0,1958 \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \times 5,324 \text{ kW}}{5,2405 \text{ kW}} \text{ (kg/menit)}$$

$$\dot{m}_f \text{ 9 kW} = 0,199 \text{ (kg/kW)}$$

➤ SFC 6 – 9 kW

$$\text{SFC} = \frac{\dot{m}_f \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \cdot 60 \left(\frac{\text{menit}}{\text{jam}} \right)}{P \text{ (kW)}} \text{ (kg/kWh)}$$

Dimana :

SFC = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)

\dot{m}_f = Laju aliran bahan bakar (kg/menit)

P = Daya listrik (kW)

60 = untuk mengkonversi dari menit ke jam

$$\text{SFC 6 kW} = \frac{\dot{m}_f \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \cdot 60 \left(\frac{\text{menit}}{\text{jam}} \right)}{P \text{ (kW)}} \text{ (kg/kWh)}$$

$$\text{SFC 6 kW} = \frac{0,180 \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \cdot 60 \left(\frac{\text{menit}}{\text{jam}} \right)}{4,836 \text{ (kW)}} \text{ (kg/kWh)}$$

$$\text{SFC 6 kW} = 2,233 \text{ (kg/kWh)}$$

$$\text{SFC 7 kW} = \frac{0,193 \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \cdot 60 \left(\frac{\text{menit}}{\text{jam}} \right)}{5,183 \text{ (kW)}} \text{ (kg/kWh)}$$

$$\text{SFC 7 kW} = 2,234 \text{ (kg/kWh)}$$

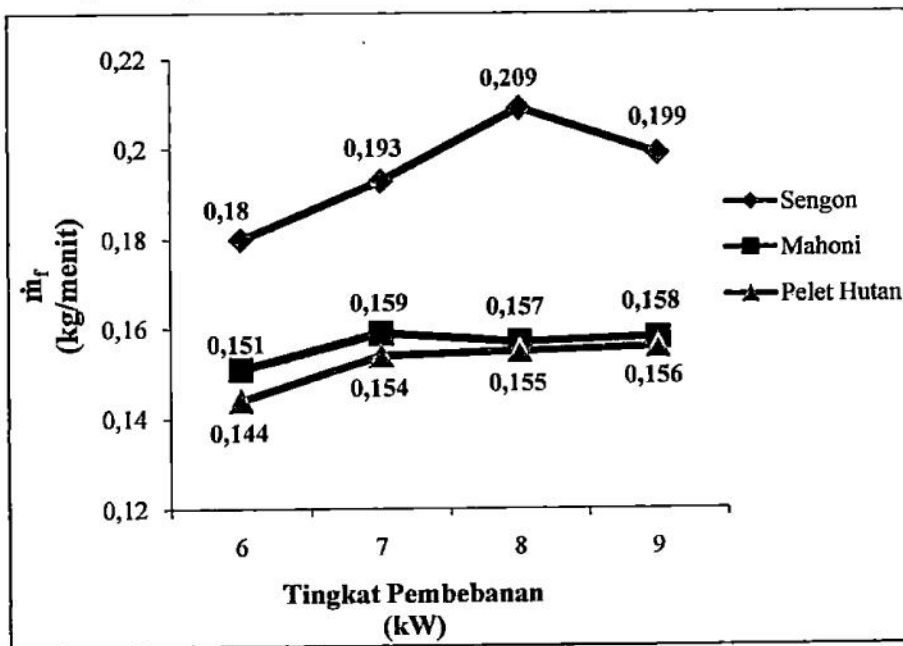
$$\text{SFC } 8 \text{ kW} = \frac{0,209 \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \cdot 60 \left(\frac{\text{menit}}{\text{jam}} \right)}{5,619 \text{ (kW)}} \text{ (kg/kWh)}$$

$$\text{SFC } 8 \text{ kW} = 2,232 \text{ (kg/kWh)}$$

$$\text{SFC } 9 \text{ kW} = \frac{0,199 \left(\frac{\text{kg}}{\text{menit}} \right) \cdot 60 \left(\frac{\text{menit}}{\text{jam}} \right)}{5,324 \text{ (kW)}} \text{ (kg/kWh)}$$

$$\text{SFC } 9 \text{ kW} = 2,242 \text{ (kg/kWh)}$$

Dari Tabel 4.4, laju aliran bahan bakar (\dot{m}_f) dapat digambarkan dalam bentuk grafik sebagai berikut.

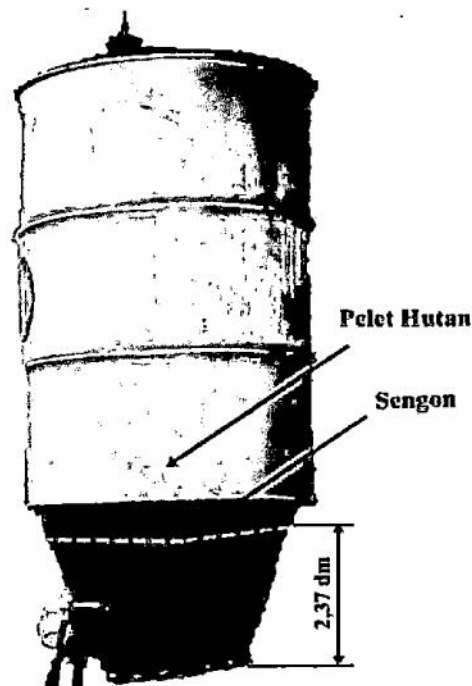


Gambar 4.3. Grafik laju aliran bahan bakar terhadap tingkat pembebanan 6 – 9 kW selama 20 menit

Dari gambar di atas, dapat dilihat perbedaan laju aliran bahan bakar pada masing-masing bahan bakar dalam waktu 20 menit. \dot{m}_f tertinggi ditunjukkan pada Sengon, kemudian Mahoni sedangkan \dot{m}_f terendah ditunjukkan pada Pelet Hutan. Hal ini dikarenakan, Sengon memiliki massa jenis yang paling ringan (0,12 kg/l)

sehingga proses pembakaran pada Sengon akan berlangsung secara singkat dan panas yang dihasilkan tidak mampu bertahan lama, sehingga bahan bakar Sengon akan cepat habis dan laju aliran bahan bakarnya tinggi. Sedangkan pada Pelet Hutan, memiliki massa jenis paling berat (0,76 kg/l) menghasilkan m_f paling rendah, karena semakin berat massa jenisnya maka proses pembakaran terjadi sangat lambat tetapi panas yang dihasilkan mampu bertahan lama, sehingga penurunan volume bahan bakar di dalam hopper hanya sedikit.

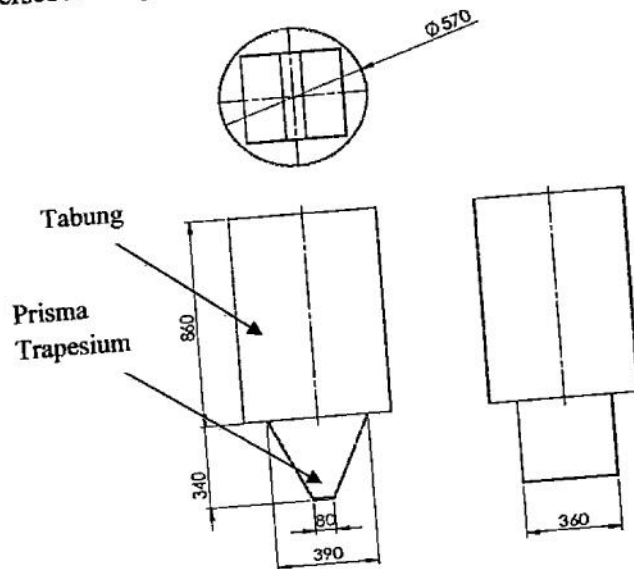
Dari penjelasan gambar 4.2 dan 4.3, laju aliran bahan bakar yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sementara, yaitu agar penggunaan bahan bakar pada Power Pallet lebih efisien, saat penyalaan awal *Gek Gasifier* hingga mencapai temperatur $T_{ired} \geq 800^\circ\text{C}$ sebaiknya menggunakan bahan bakar Sengon tetapi ketika *Engine* dihidupkan untuk dilakukan pembebanan menggunakan bahan bakar Pelet Hutan.



Gambar 4.4. Variasi volume bahan bakar Sengon dan Pelet Hutan

Gambar di atas menunjukkan bahwa variasi antara volume Sengon dan Pelet Hutan untuk mendapatkan nilai ekonomis sebagai bahan bakar Power Pallet

10 kW. Sebelum Pelet Hutan digunakan sebagai bahan bakar, terlebih dahulu Sengon dimasukkan ke dalam *Hopper* kurang lebih sebanyak 15,5 ℓ atau setinggi 2,37 dm pada bagian prisma trapesium agar penyalaan awal gek gasifier hingga mencapai $T_{ired} \geq 800^{\circ}\text{C}$ lebih cepat dan hemat bahan bakar. Asumsi tersebut didapatkan dengan rumus sebagai berikut:



Gambar 4.5. Skema Hopper

a. Volume Prisma Trapesium

$$\text{Vol Prisma} = \frac{\text{Jumlah sisi sisi sejajar} \cdot \text{tinggi trapesium}}{2} \times \text{tinggi prisma (dm}^3\text{)}$$

Diketahui: Sisi trapesium = 0,8 dm dan 3,90 dm
 Tinggi Trapesium = 3,4 dm
 Tinggi Prisma = 3,6 dm

Sehingga:

$$\text{Vol Prisma} = \frac{(0,8 + 3,90) \cdot 3,4}{2} \times 3,6 \quad (\text{dm}^3)$$

$$\text{Vol Prisma} = 28,764 \text{ dm}^3$$

$$\text{Vol Prisma} = 28,764 \ell$$

Untuk menentukan ketinggian bahan bakar Sengon dengan volume 15,31 ℓ di dalam prisma, dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{\text{Vol Prisma}}{\text{Vol Sengon}} = \frac{\text{Luas trapesium}}{\text{Luas Penampang Sengon}}$$

$$\frac{28,764 \text{ l}}{15,31 \text{ l}} = \frac{\frac{\text{Jumlah sisi sisi sejajar} \cdot \text{tinggi trapesium}}{2}}{\text{Luas Penampang Sengon}}$$

$$\frac{28,764 \text{ l}}{15,31 \text{ l}} = \frac{\frac{0,8 + 3,9}{2} \times 3,4}{\text{Luas Penampang Sengon}}$$

$$\text{LPS} = \frac{122,335}{28,764}$$

$$\text{LPS} = 4,253 \text{ dm}^2$$

Tinggi bahan bakar Sengon :

$$\text{LPS} = \frac{\text{Jumlah sisi sisi sejajar} \cdot \text{tinggi trapesium}}{2}$$

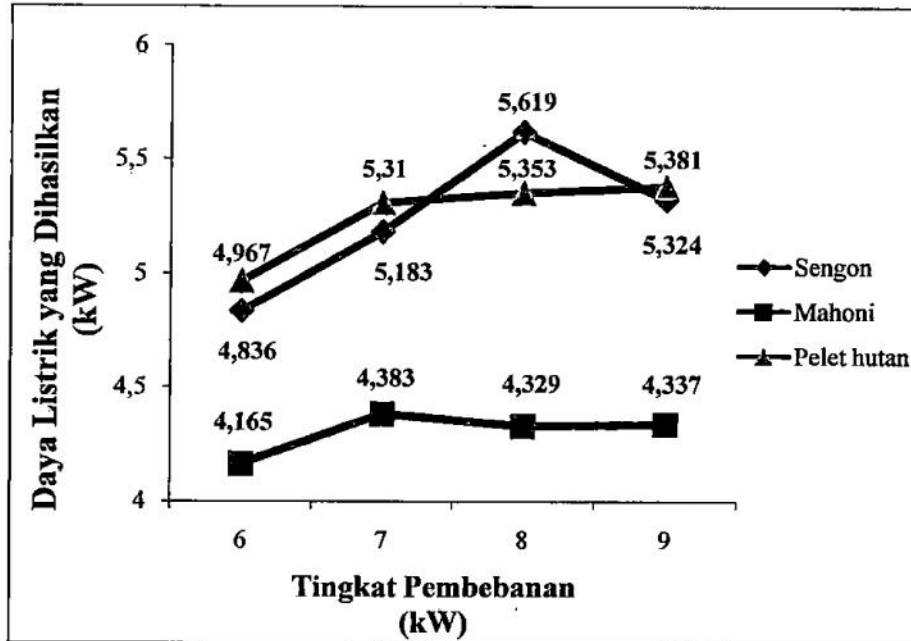
$$4,253 = \frac{(0,8 + 2,8) \cdot T_{\text{trap}}}{2}$$

$$T_{\text{trap}} = \frac{4,253}{1,8} \text{ dm}^2/\text{dm}$$

$$T_{\text{trap}} = 2,37 \text{ dm}$$

4.4.2. Daya Listrik

Pada pengujian daya listrik, dilakukan dengan cara memberikan pembebanan pada Generator Gasifikasi sebesar 6 – 9 kW menggunakan lampu dan waktu untuk pengambilan data berlangsung selama satu menit dengan menggunakan *Power Quality Analyzer 3945-B*.

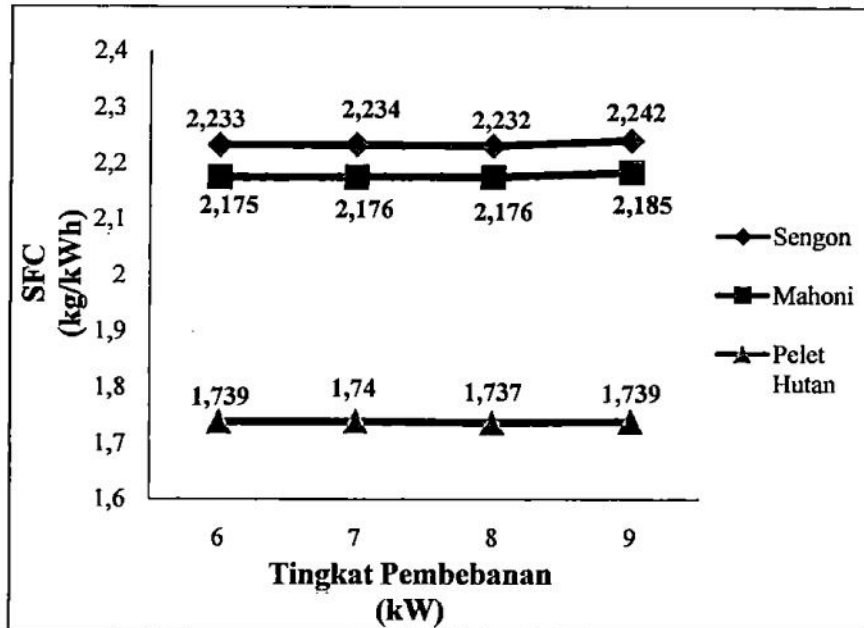


Gambar 4.6. Grafik daya listrik terhadap tingkat pembebanan 6 – 9 kW

Gambar di atas, menunjukkan daya listrik maksimal yang dihasilkan Power Pallet 10 kW adalah 5,619 kW yaitu saat Sengon diberikan pembebanan 8 kW. Artinya, Power Pallet tidak mampu mensuplay daya listrik saat diberikan pembebanan lebih dari 6 kW. Hal ini dikarenakan terjadi kebocoran pada pipa yang menghubungkan saringan udara dengan engine sehingga suplay bahan bakar menuju engine tidak terdistribusi maksimal. Selain itu, pecahnya *Engine Condensate Jar* juga mengakibatkan uap air yang terbawa oleh *syngas* tidak dapat terperangkap, tetapi ikut masuk ke ruang bakar.

Dari gambar 4.6 di atas, dapat dilihat daya listrik antara Pelet Hutan dan Sengon nilainya hampir sama, sedangkan pada Mahoni daya listrik paling rendah. Perbedaan ini, dikarenakan kualitas *syngas* yang dihasilkan sebagai bahan bakar *Engine* pada setiap bahan bakar berbeda. Faktor utama yang menyebabkan bagus tidaknya kualitas *syngas* tergantung dari kadar air pada bahan bakar tersebut. Semakin rendah kadar air, maka *syngas* yang dihasilkan akan lebih bagus, begitu juga sebaliknya. Mahoni memiliki kadar air yang paling tinggi (11,695%) sehingga daya listrik yang dihasilkan paling rendah.

Jika dilihat dari konsumsi bahan bakar spesifiknya, maka diperoleh SFC seperti grafik garis di bawah ini.



Gambar 4.7. Grafik SFC terhadap tingkat pembebanan 6 – 9 kW

Gambar di atas, menunjukkan bahwa SFC tertinggi ditunjukkan pada Sengon, kemudian Mahoni sedangkan SFC terendah ditunjukkan pada Pelet Hutan. Hal ini dikarenakan, Pelet Hutan memiliki massa jenis paling berat ($0,67 \text{ kg/l}$) dan memiliki kadar air yang rendah ($7,844\%$), sehingga proses pembakaran pada Pelet Hutan terjadi sangat lambat tetapi panas yang dihasilkan mampu bertahan lama dan kualitas *syngas* yang dihasilkan sebagai bahan bakar engine juga bagus. Oleh karena itu, pada Pelet Hutan dapat diperoleh hasil η_f yang paling rendah dan daya listrik yang tinggi. SFC yang rendah pada Pelet Hutan menunjukkan bahwa saat *engine* dihidupkan, Power Pallet hanya membutuhkan konsumsi bahan bakar yang sedikit sehingga lebih ekonomis.

4.4.3. Kualitas Daya Listrik

Pada pengujian kualitas daya listrik, Generator diberikan pembebanan 6000 – 9000 Watt menggunakan Lampu. Pada pengujian ini dilakukan sekitar 3 menit, tetapi pengambilan/ perekaman data menggunakan *Power Quality Analyzer 3945-B* berlangsung selama 1 menit dengan periode pembacaan 1 detik. 2 menit

sebelum dilakukan pengambilan data, *Power Quality Analyzer* harus diseting ulang secara manual nama data, durasi rekaman dan waktu mulai merekam. Selain itu, saat Generator diberi pembebanan, AFR (*Air Fuel Ratio*) pada Power Pallet akan stabil kurang lebih 1 menit. Hasil rekaman dari pengujian kualitas daya listrik, dapat dilihat pada grafik di bawah ini.

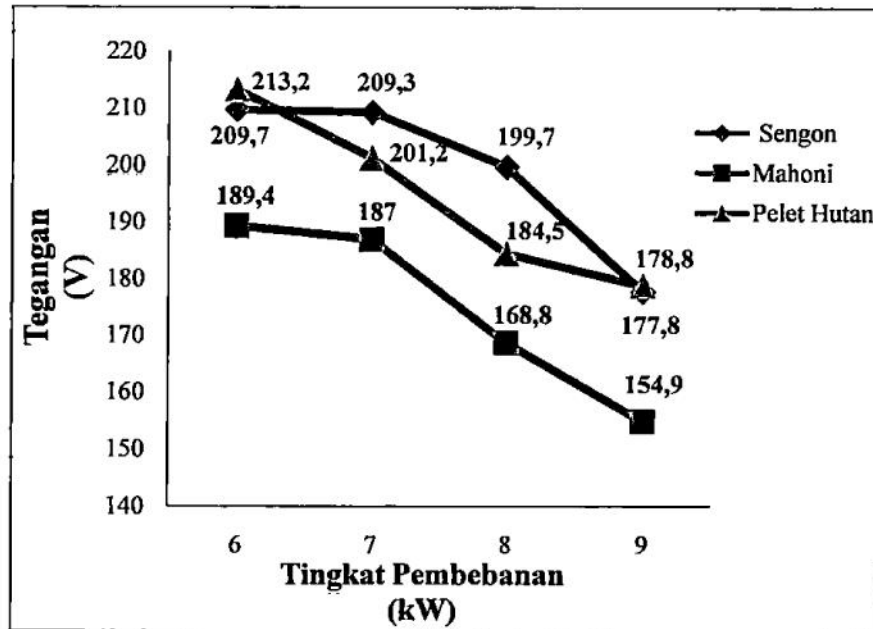
Tabel 4.6. Tegangan dan Frekuensi bahan bakar terhadap pembebanan 6 – 9 kW

Bahan Bakar		Sengon				Mahoni				Pelet Hutan			
Tingkat Pembebanan (kW)		6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
Tegangan (V)	Maksimal	213,9	211,1	203,2	185,0	195,2	194,8	172,2	162,8	215,9	203,5	186,7	181,8
	Minimal	202,6	206,2	196,0	166,8	179,2	179,5	165,7	147,4	209,8	199,0	183,5	171,6
	Rata-rata	209,7	209,3	199,7	177,8	189,4	187,0	168,8	154,9	213,2	201,2	184,5	178,8
Frekuensi (Hz)	Maksimal	49,88	49,75	49,23	47,86	47,70	47,81	45,45	44,86	50,05	49,05	47,75	47,31
	Minimal	48,03	48,95	48,44	45,81	45,53	45,86	44,52	42,73	49,40	48,51	47,25	45,98
	Rata-rata	49,35	49,48	48,86	46,95	46,95	46,87	44,99	43,81	49,75	48,81	47,47	46,96

Dari Tabel 4.6, dapat digambarkan dalam bentuk grafik tegangan dan frekuensi sebagai berikut :

a. Tegangan (V)

Grafik di bawah ini, menjelaskan perbandingan tegangan pada masing-masing bahan bakar dengan tingkat pembebanan 6 – 9 kW.



Gambar 4.8. Grafik hubungan Tegangan dan Tingkat Pembebanan 6 – 9 kW

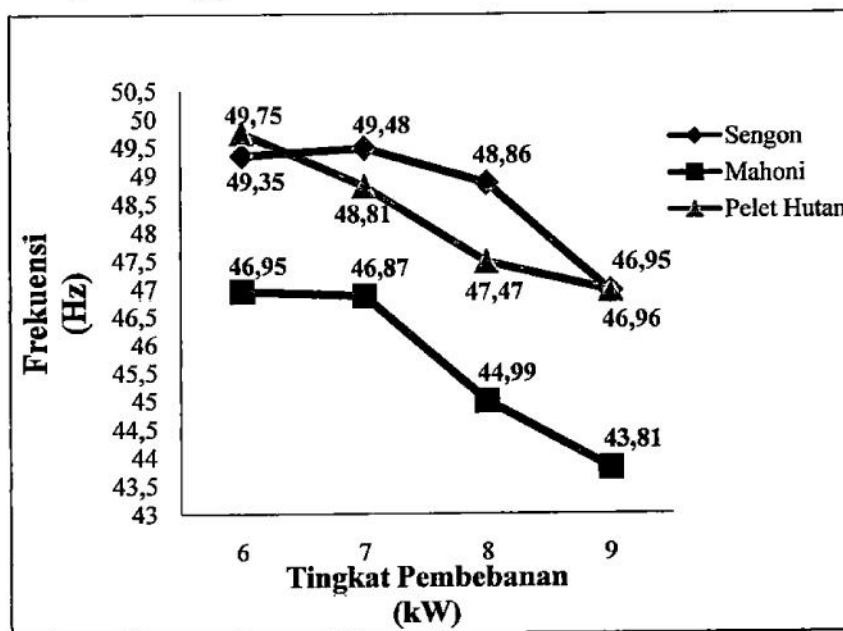
Dari gambar di atas, dapat dilihat perbandingan tegangan untuk masing-masing bahan bakar. Grafik tegangan dari semua bahan bakar memiliki pola yang cenderung sama, yaitu semakin tinggi tingkat pembebanan yang diberikan, maka tegangannya semakin menurun. Hal ini dikarenakan suplay arus listrik dari generator menuju ke beban tetap/stabil tetapi daya pembebanan yang diberikan semakin besar sehingga tegangannya akan turun. Ini dapat dibuktikan saat generator diberikan pembebanan 1 – 5 kW nyala lampu normal tetapi saat diberikan pembebanan 6 – 9 kW nyala lampu semakin meredup. Dari ke tiga jenis bahan bakar tersebut, Mahoni memiliki nilai tegangan yang paling rendah, karena daya listrik yang dihasilkan oleh mahoni nilainya paling rendah.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa tingkat pembebanan berbanding terbalik dengan tegangan, yaitu semakin besar tingkat pembebanan maka tegangannya semakin menurun, begitu juga sebaliknya. Data hasil pengujian tegangan di atas, dapat diketahui bahwa tegangan listrik Power Pallet 10 kW yang masih berada pada toleransi ijin menurut standarisasi PLN yaitu Sengon saat pembebanan 6 – 8 kW dan Pelet Hutan saat pembebanan 6 – 7 kW. Standarisasi tegangan ijin PLN adalah -10% sampai $+5\%$ untuk tegangan

220V/50Hz. Dan jika dalam kondisi darurat berdasarkan IEEE Sdt. 446-1995 "Recommended Practice for Emergency and Standby Power System Industrial and Commercial Applications" teloransi tegangan adalah -13% s/d + 6% untuk tegangan 220V/50Hz.

b. Frekuensi (Hz)

Grafik di bawah dilihat perbandingan Frekuensi rata-rata dari masing-masing bahan bakar pada setiap percobaan.



Gambar 4.9. Grafik hubungan Frekuensi dan Daya Pembebanan 6 – 9 kW

Dari gambar di atas, dapat dilihat perbandingan Frekuensi untuk masing-masing bahan bakar. Grafik frekuensi dari semua bahan bakar memiliki pola yang cenderung sama, yaitu semakin tinggi tingkat pembebanan yang diberikan, maka frekuensinya semakin menurun. Hal ini dikarenakan saat generator diberikan pembebanan yang semakin tinggi, maka putaran mesin akan semakin rendah, sehingga frekuensinya akan turun.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa tingkat pembebanan berbanding terbalik dengan frekuensi, yaitu semakin besar tingkat pembebanan maka frekuensinya semakin menurun, begitu juga sebaliknya. Data hasil pengujian frekuensi di atas, dapat diketahui bahwa frekuensi Power Pallet 10 kW

yang masih berada pada toleransi ijin menurut standarisasi PLN adalah Pelet Hutan saat pembebanan 6 kW. Standarisasi frekuensi yang diijinkan oleh PLN adalah $\pm 1 \%$ atau $\pm 0,5 \text{ Hz}$ (49,5 s/d 50,5 Hz) untuk 220V/50Hz.

Dari penjelasan gambar 4.8. – 4.9., dapat diambil kesimpulan sementara yaitu Power Pallet 10 kW dapat diaplikasikan untuk kebutuhan listrik rumah tangga jika diberikan pembebanan maksimal 6 kW menggunakan bahan bakar Pelet Hutan. Sedangkan untuk bahan bakar yang lainnya tidak mampu menghasilkan kualitas daya listrik yang diijinkan oleh PLN.