

Perbandingan Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar Antara Arang Kayu dan Gas LPG Pada PLTU Tekanan Rendah

Jatmiko Edi Siswanto^{1*}, Wahyu Tri Purnomo²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi

*Corresponding author, e-mail: jatmikoedisiswanto@stiteknas.ac.id

ABSTRACT

Sources of electrical energy is a basic need in life, both in industry and the necessities of life. Along with the depletion of fossil energy, it is necessary to develop a biomass energy source as a fuel for electrical energy. For this reason, this study aims to create innovative power plants using biomass energy as fuel. The steam turbine is a prime mover that converts the potential energy of steam into kinetic energy and then converts it into mechanical energy in the form of a turbine shaft rotation, directly or with the help of a reduction gear, connected to the mechanism to be driven. In a study to analyze the performance of a steam turbine with gas fuel and wood charcoal. Wood charcoal is activated carbon from combustion, which in this study uses wet steam to drive the shaft with variations in pressure (7Bar, 6Bar, 5Bar and 4Bar). From the results of the study, the maximum power produced by a laboratory-scale steam turbine is 20.84 Watt at a given pressure of 7 Bar and the maximum efficiency of a laboratory-scale steam turbine with wood charcoal fuel is 70.02% with a pressure of 7 Bar and Generator efficiency is 21.87%. or 17.5 Watts, the electrical power generated from the speaker power generator is 80 Watts. For the results of the comparison of the performance of the steam turbine with wood charcoal fuel media with LPG gas, it can be proven from the turbine efficiency it is better to use gas fuel with a different ratio (at a pressure of 7 bar Wood Charcoal / LPG): 70.02%/78, 12%), while the efficiency of the generator is at a pressure of 7.Bar (21.87, 25%), so LPG fuel is more effective than wood charcoal but from local fuel Wood charcoal is more readily available and cheaper.

Keyword: Steam Turbine, Efficiency, Fuel

ABSTRAK

Sumber energi listrik merupakan kebutuhan pokok dalam kehidupan, baik dalam industri maupun kebutuhan hidup. Seiring dengan menipisnya energi fosil maka perlu adanya pengembangan sumber energi biomassa sebagai bahan bakar energi listrik. Untuk itu dalam penelitian ini bertujuan untuk membuat inovasi pembangkit listrik tenaga dengan bahan bakar energi biomassa. Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap mejadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakan. D I dalam penelitian untuk menganalisis kinerja turbin uap dengan bahan bakar gas dan arang kayu. Arang kayu adalah karbon aktif hasil pembakaran, dimana dalam penelitian ini dengan menggunakan hasil uap basah untuk menggerakkan poros yang mana dengan variasi tekanan (7 Bar, 6 Bar, 5 Bar dan 4 Bar). Dari hasil penelitian didapat daya maksimal yang dihasilkan turbin uap skala laboratorium adalah 20,84 Watt pada tekanan yang diberikan 7 Bar dan efisiensi turbin uap maksimal skala laboratorium dengan bahan bakar arang kayu 70,02% bertekanan 7 Bar dan efisiensi generator adalah 21,87% atau 17,5 Watt, daya listrik yang dihasilkan dari daya generator adalah 80 Watt. Perbandingan kinerja turbin uap dengan media bahan bakar arang kayu dengan gas LPG dapat dibuktikan dari efisiensi turbin lebih baik dengan menggunakan bahan bakar gas dengan selisih perbandingan (pada tekanan 7 bar arang kayu /LPG) sebesar (70,02% / 78,12%), sedang efisiensi generator pada tekanan 7.Bar (21.87% / 25%), jadi bahan bakar LPG lebih efektif dibanding arang kayu namun dari bahan bakar lokal arang kayu lebih tersedia keberadaannya dan lebih murah.

Kata kunci: Turbin uap, Efisiensi, Bahan bakar.

PENDAHULUAN

Sumber energi listrik merupakan kebutuhan pokok

dalam kehidupan, baik dalam industri maupun kebutuhan hidup. Seiring dengan menipisnya energi fosil maka perlu

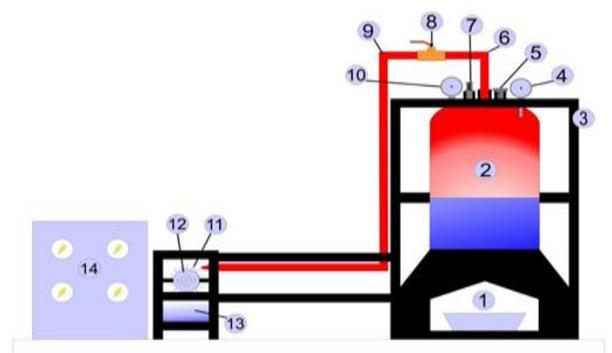
adanya pengembangan sumber energi biomassa sebagai bahan bakar energi listrik. Untuk itu perlu adanya inovasi pembangkit listrik tenaga dengan bahan bakar energi biomassa dengan sistem turbin. Di Indonesia sendiri telah tersebar luas berbagai macam rangkaian turbin, beberapa jenis turbin diantaranya mulai turbin gas, turbin air, turbin angin dan turbin uap. Jenis turbin yang paling umum digunakan sebagai pembangkit adalah turbin uap. Di Industri terhitung cukup banyak menggunakan penggerak seperti turbin uap yang dihubungkan ke kompresor, pompa, blower, dan fan guna memenuhi kebutuhan dalam proses produksinya. Energi yang dibutuhkan manusia untuk menunjang kehidupan salah satunya adalah energi listrik. Manusia membutuhkan energi listrik untuk kepentingan rumah tangga, industri serta untuk menunjang sarana prasarana yang lainnya. Kebutuhan hidup manusia semakin lama semakin meningkat, peningkatan kebutuhan manusia juga diikuti dengan kebutuhan energi yang juga semakin meningkat. Energi listrik yang besar serta penggunaannya yang terus menerus tidak dapat tersedia secara alami. Oleh sebab itu dibutuhkan pembangkit listrik yang handal. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit dapat dibangun dengan kapasitas yang bervariasi, dapat dioperasikan dengan berbagai operasi pembebanan, dan kontinyuitas operasi dan usia pakai yang relatif lama. PLTU memiliki lima komponen utama yaitu boiler, turbin uap, pompa, kondensor, dan generator. Komponen tersebut bekerja secara berkaitan untuk menghasilkan energi listrik. Boiler merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai penghasil uap yang digunakan untuk memutar turbin. Boiler menghasilkan uap dengan cara membakar batubara pada suatu ruang bakar (*furnace*) yang disekitar ruang bakar tersebut terdapat pipa-pipa air atau uap.

Biomasa merupakan salah satu energi yang ramah lingkungan, dapat digunakan kembali limbah dan mengurangi biaya tembat pembuangan akhir. Biomasa limbah seperti kayu karet dan batang kelapa yang di tebang lalu tidak dimanfaatkan dapat diolah menghasilkan briket arang kayu (karbon aktif). Dari penjelasan di atas bahwa sistem pembangkit tenaga uap adalah suatu hal yang vital dalam proses produksi dimana menggunakan bahan bakar arang kayu dan turbin salah satu alat yang

mempengaruhi kinerja dari keseluruhan sistem.

METODE

Sistem kerja dari peralatan adalah pemanasan air dalam boiler dengan tekanan (P) yang bervariasi yang dapat dilihat pada pressure gauge akan mendapatkan temperatur uap (T) yang dapat dilihat pada thermometer. Tekanan uap basah yang keluar melalui pipa uap akan memutar impeler dan poros dalam turbin, karena poros turbin dihubungkan langsung dengan generator, sehingga daya generator bisa dihitung melalui arus dan tegangan yang didapat. Sketsa pengujian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Alat Pengujian

Keterangan:

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1. Bahan Bakar | 8. Valve jalur uap |
| 2. Boiler | 9. Pipa Uap |
| 3. Rangka | 10. Pengukur Air |
| 4. Pressure Gauge | 11. Turbin Uap |
| 5. Katup Air masuk | 12. Generator |
| 6. Termometer | 13. Uap Basah |
| 7. Katup pengaman | 14. Volt dan Amper meter |

Spesifikasi Turbin Uap

Nama	: Turbin uap mini
Jumlah sudu	: 11 pcs
Tekanan Masuk Max.	: 7 Bar
Tekanan Masuk Min.	: 2 Bar
Berat	: 0,8 kg
Diameter luar	: 10 cm
Pitch	: 1,1 cm

Spesifikasi Generator

Tipe	: 775-0-36 V
Daya generator	: 80 Watt

Kecepatan putaran : 900
Tipe arus : DC

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan data pengujian pada penelitian turbin uap skala laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin STITEKNAS Jambi, adapun pengujian yang dilakukan pada analisa kinerja turbin uap dengan menggunakan bahan bakar arang kayu dengan perbandingan setiap tekanan uap yang keluar yaitu tekanan 4 Bar, 5 Bar, 6 Bar dan 7 Bar yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data pengamatan bahan bakar

Tekanan	Berat Bahan Bakar		Berat Total	Waktu Kenaikan	Temperatur Ruang Bakar
	Awal (kg)	Akhir (kg)	Bahan Bakar (kg)	Setiap Tekanan (Jam)	(°C)
	4	10	7,5	2,5	1,11
5	7,5	7,2	0,3	1,23	1199
6	7,2	6,8	0,4	1,36	1199
7	6,8	6,3	0,5	1,55	1199

Tabel 2A. Pengambilan data dengan bahan bakar arang kayu

Tekanan Awal (Bar)	Tekanan Masuk (Bar)	Temperatur Masuk (K)	Temperatur Keluar (K)	Beban (kg)
7	6,8	163,78	84	4
6	5,3	154,00	80	3,5
5	4,5	147,75	78	2,8
4	3,8	141,72	75	2,5

Tabel 2B. Pengambilan data dengan bahan bakar arang kayu

Tekanan Awal (Bar)	Putaran (rpm)	Volt (V)	Arus (A)	Waktu penurunan tekanan (Detik)
7	1015	17,5	1	120
6	1072	14,5	1	120
5	1185	13	1	120
4	1199	12	1	120

Daya uap adalah energi yang dihasilkan oleh proses pemanasan pada tabung boiler hingga mencapai tekanan yang diinginkan dalam penelitian ini tekanan yang diuji adalah 7 Bar, 6 Bar, 5 Bar dan 4 Bar sehingga untuk mengetahui daya uap tersebut harus menentukan nilai enthalpy, volume spesifik, density, yang didapat dari dari tabel A-3 properties of saturated water (Liquid-Vapor). Diameter dari pipa nozle yang digunakan dalam penelitian adalah 0,0025 m.

- Menghitung luas penampang

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(0,00125. m)^2$$

$$A = 0,00049 m^2$$

Dimana dalam mengetahui laju aliran massa sendiri diketahui diameter masuk nozzle yaitu 0,161 m dan diameter nozel 0,0025 m serta perbedaan tekanan pada proses masuk turbin dan keluar turbin sebagai berikut:

- Laju aliran massa uap (kg/s)

$$\dot{m} = \frac{c. A \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p}}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}}$$

$$\dot{m} = \frac{0,02 \cdot 0,00049 m \cdot \sqrt{2 \times 612000 \left(\frac{kg}{m \cdot s^2}\right) \cdot \left(0,58 \frac{kg}{m^3}\right)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,0025 m}{0,161 m}\right)^4}}$$

$$\dot{m} = 0,00076 \text{ kg/s}$$

Setelah mendapatkan nilai dari laju aliran massa uap maka akan diperoleh nilai dari masa uap, dalam penelitian ini dilakukan dengan waktu 20 s, sehingga massa uap bisa dihitung.

$$m = \dot{m} \times s$$

$$m = 0,00076 \text{ kg/s} \times 120 \text{ s}$$

$$m = 0,09 \text{ kg}$$

Besarnya kalor dapat dihitung dengan persamaan

$$Q = m \times c_p \times \Delta T$$

$$Q = 0,09 \text{ kg} \times 4,202 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times 78,17^\circ C$$

$$Q = 0,09 \text{ kg} \times 4,202 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times 351,32 \text{ K}$$

$$Q = 137,05 \text{ kJ}$$

Dari data diatas maka diperoleh nilai daya uap yang dihasilkan oleh boiler terhadap turbin dengan variasi setiap tekanan yang dicapai pada waktu pemanasan yang berbeda untuk tekanan 7 Bar pada tabel diperoleh waktu 1:55 jam. Sehingga Pin dapat dihitung dengan :

$$P_{in} = \frac{Q}{s}$$

$$P_{in} = \frac{137,05 \text{ kJ}}{1,55 \text{ Jam}}$$

$$P_{in} = \frac{75330 \text{ J}}{(1,55 \times 3600 \text{ s})}$$

$$P_{in} = 24,92 \text{ Watt}$$

- Menghitung Torsi (N.m)

Diketahui pada tekanan 7 Bar maka diperoleh massa 4 kg dengan jari-jari diameter 0,005 m dengan putaran poros yaitu 1015 rpm.

$$\tau = F \cdot r$$

$$\tau = (m \cdot g) \cdot r$$

$$\tau = \left(4 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot 0,005 \text{ m}$$

$$\tau = 0,196 \text{ N.m}$$

Oleh karena itu diperoleh nilai torsi yaitu 0,196 N.m

- Daya keluar turbin P.out

$$P_{out} = \frac{\tau \cdot (2\pi \cdot n)}{60}$$

$$P_{out} = \frac{0,196 \text{ N.m} \times (2\pi \cdot 1015 \text{ rpm})}{60}$$

$$P_{out} = 20,84 \text{ Watt}$$

Diperoleh daya lampu (daya poros) yaitu 20,84 Watt pada kondisi 7 Bar. Menghitung daya turbin (Watt) , Diketahui bahwa nilai voltase 17,5 volt serta nilai arus 1 ampere dengan pengujian 7 Bar didapat daya 17,5 watt

- Menghitung Efisiensi Generator (%)

Dari data yang dikeluarkan turbin maka diperoleh hasil 20 Watt sedangkan untuk daya speak generator yaitu 80 Watt maka dari itu diperoleh nilai efisiensi generator.

$$\eta_{generator} = \frac{\text{Daya Turbin}}{\text{Daya Generator}} \times 100 \%$$

$$\eta_{generator} = \frac{17,5 \text{ Watt}}{80 \text{ Watt}} \times 100 \%$$

$$\eta_{generator} = 21,88 \%$$

Diperoleh bahwa efisiensi generator terhadap daya yang dihasilkan adalah sebesar 21,88 % dengan daya yang dihasilkan 27,55 Watt.

- Menghitung Efisiensi Turbin (%)

$$\eta_{turbin} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = \frac{20,84 \text{ Watt}}{24,92 \text{ Watt}} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = 70,02 \%$$

Jadi, dapat diketahui bahwa efisiensi turbin uap skala laboratorium dengan tekanan 7 Bar menghasilkan 78,12%. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 3A dan 3B.

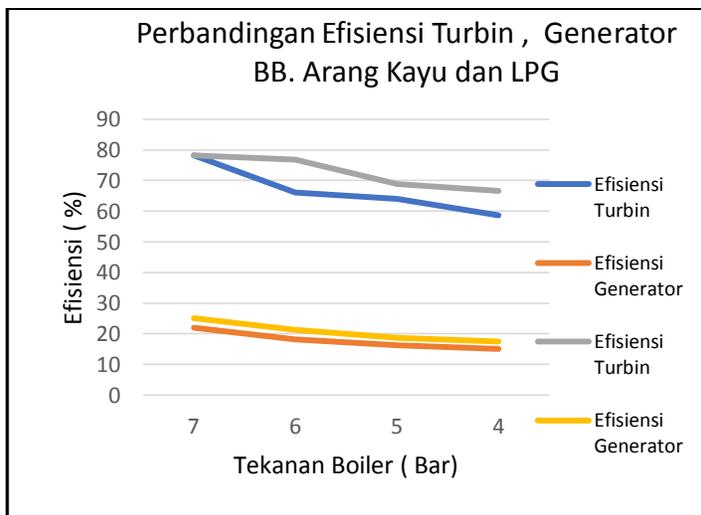
Tabel 3A. Data Rekap Hasil Perhitungan Turbin Uap 80 Watt

Tekanan Awal (Bar)	Tekanan Masuk (Bar)	Suhu Keluar (°C)	Massa Uap (kg)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)
7	6,8	93	0,09	20,84	24,92
6	5,3	90	0,07	14,5	21,86
5	4,5	85	0,06	13	20,38
4	3,8	77	0,05	12	19,01

Tabel 3B. Data Rekap Hasil Perhitungan Turbin Uap 80 Watt

Tekanan Awal (Bar)	Daya Poros (Watt)	Daya Generator (Watt)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi Generator (%)
7	17,5	80	70,02	21,87
6	14,5	80	66,04	18,23
5	13	80	63,97	16,2
4	12	80	58,65	15,0

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada tekanan operasional boiler makin besar akan mendapatkan baik efisiensi turbin dan generator meningkat dan makin besar, untuk pemakaian bahan bakar berbeda bahan bakar LPG pada tekanan yang sama menghasilkan efisiensi generator 25 % pada bahan bakar LPG dan 21,88% pada bahan bakar arang kayu, menurun 12,5 %.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin, Generator Terhadap Pemakaian Bahan Bakar

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian terhadap pembangkit listrik tenaga uap bertekanan rendah dengan bahan bakar arang kayu dapat disimpulkan bahwa daya yang dihasilkan turbin uap skala laboratorium adalah 20,84 Watt dengan tekanan yang diberikan 7 Bar. Efisiensi turbin uap skala laboratorium dengan bahan bakar arang kayu 70,02%

bertekanan 7 Bar dan efisiensi generator adalah 21,87% atau 17,5 Watt daya listrik yang dihasilkan dari daya generator adalah 80 Watt. Hasil perbandingan kinerja turbin uap dengan media bahan bakar arang kayu dengan gas LPG adalah dapat dibuktikan dari efisiensi turbin lebih baik digunakan bahan bakar gas dengan selisih perbandingan (arang kayu pada tekanan / LPG) pada 7 Bar (70,02% / 78,12%), sedang efisiensi generator pada tekanan 7 Bar (21,87% / 25,6%). Jadi bahan bakar LPG lebih efektif dibanding arang kayu namun dari bahan bakar lokal arang kayu lebih tersedia keberadaannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan telah selesainya penelitian ini kami ucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi (STITEKNAS Jambi) atas segala fasilitas penunjang yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asy'ari Daryus, *Termodinamika Teknik Volume 1*, Universitas Pesada Jakarta, 2012.
- [2] Budiarto, Imade Kartika D, Budiarto (Penerjemah), *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap Dan Panas*, Universitas Indonesia, 1989.
- [3] Dwi Dharma Risqiawan, dan Ary Bachtiar Khrisna Putra, "Studi eksperimen perbandingan pengaruh variasi tekanan inlet turbin dan variasi pembebanan terhadap karakteristik turbin pada organic rankine cycle". *Jurnal Teknik ITS*, 2013.
- [4] Muhammad Wahdani Insanto, "Eksperimental pengaruh variasi rasio sudu berpenampang datar terhadap daya dan efisiensi turbin reaksi cross flow poros horizontal", *Jurnal Teknik Mesin*, Volume 08 Nomor 01, 2020, Hal 93-102.
- [5] Soelaiman, dkk, "Analisa prestasi kerja turbin uap pada beban yang bervariasi". *Sintek Jurnal*, Universitas Muhammadiyah Jakarta