

ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP SKALA LABORATORIUM DENGAN BAHAN BAKAR ARANG TEMPURUNG KELAPA DAN LPG

Jatmiko Edi Siswanto*¹

Program Studi Teknik Mesin

Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi

Jl. Patimura No.100, Rawa Sari, Kota Baru, Jambi. 36125

e-Mail :Jatmikoedis@Gmail.Com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi turbin uap tekanan rendah dengan bahan bakar arang tempurung kelapa dan gas LPG (Liquid Petroleum Gas). Dengan data yang diperoleh pada pengujian ini adalah daya uap, daya turbin dan daya listrik. Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana tekanan dapat konstan ketika sedang beroperasi dimana berpengaruh dari uap yang digunakan peneliti uap basah . Metodologi perhitungan dengan menggunakan variasi tekanan masuk (4,5,6 dan 7 Bar), untuk mendapatkan daya yang dihasilkan serta efisiensi turbin dan efisiensi generator. Dari hasil penelitian diperoleh hasil Efisiensi turbin uap skala laboratorium dengan bahan bakar arang tempurung kelapa 78,12% pada tekanan 7 Bar dan Efisiensi Generator adalah 25% atau 20 Watt daya listrik yang dihasilkan dari spek daya generator adalah 80 Watt. Hasil perbandingan kinerja turbin uap dengan media bahan bakar arang tempurung kelapa dengan gas LPG adalah dapat dibuktikan dari efisiensi turbin lebih baik dengan bahan bakar gas dengan selisih perbandingan (Tempurung / LPG): 7 Bar (78,12%/78,12%), 6 Bar (66,04%/76,76%), 5 Bar (63,97%/68,86%) dan 4 Bar (58,65%/66,56%). Jadi bahan bakar LPG lebih efektif dibanding arang tempurung kelapa namun dari bahan bakar lokal tempurung kelapa lebih tersedia keberadaannya .

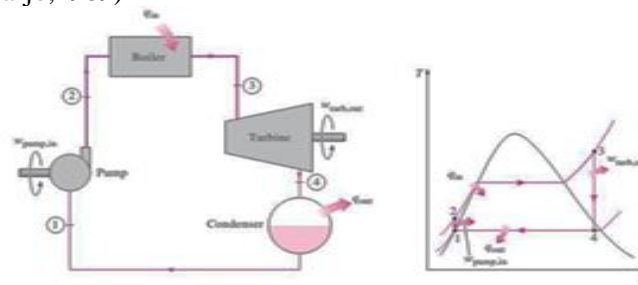
Kata Kunci : Turbin Uap, Efisiensi, Arang Tempurung Kelapa, LPG, Generator.

1. PENDAHULUAN

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanis yaitu dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara. Salah satunya yang digunakan di PLTU.

Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian di tambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya seperti bantalan, kopling dan sistem bantu lainnya agar kerja turbin dapat lebih baik. Sebuah turbin uap memanfaatkan energi kinetik dari fluida kerjaya yang bertambah akibat penabahan energi termal. Siklus rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus rankine berada dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjaya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensi, oleh karena itu fluida kerja untuk siklus rankine harus merupakan uap. Siklus rankine ideal tidak melibatkan beberapa masalah irreversibilitas internal. Irreversibilitas internal dihasilkan dari gesekan fluida, throttling, dan pencampuran, yang paling penting adalah irreversibilitas dalam turbin dan pompa dan kerugian-kerugian tekanan dalam penukar-penukar panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan, dan katup-katup. Temperatur air sedikit meningkat selama proses kompresi isentropik karena ada penurunan kecil dari volume jenis air. Air masuk boiler sebagai cairan kompresi dan meninggalkan boiler uap kering. Boiler pada dasarnya penukar kalor yang besar dimana sumber panas dari pembakaran gas, reaktor nuklir atau sumber yang lain ditransfer secara esensial ke air pada tekanan konstan. Uap superheater masuk ke turbin yang mana uap diexpansikan secara isentropik dan menghasilkan kerja oleh putaran poros yang dihubungkan pada generator listrik. Temperatur dan tekanan uap jatuh selama proses, dimana uap masuk ke kondensor dan pada kondisi ini uap biasanya merupakan campuran cairan-uap

jenuh dengan kualitas tinggi. uraian dari proses ini merupakan siklus rankine yang dapat disajikan pada gambar.1 (Budiarjo,1989)



Gambar.1 Siklus rankine dan Diagram T-s

Keterangan :

- 1-2 Proses kompresi adiabatik berlangsung pada pompa.
- 2-3 proses pemasukan panas pada tekanan konstan terjadi boiler.
- 3-4 proses ekspansi adiabatik berlangsung pada turbin uap.
- 4-1 proses pengeluaran panas pada tekanan konstan pada kondensor.

Dalam pengambilan perbandingan tekanan pada sistem orifice, lokasi tekanan berada pada flange 1 inci upstream dan 1 inci down stream, diukur dari permukaan upstream orifice .Persamaan yang digunakan pada penelitian dalam penggunaan orifice disajikan pada Persamaan 1:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (1)$$

Laju aliran masa (\dot{m}) pada penelitian ini sangat penting hal ini dikarenakan berfungsi sebagai nilai menghitung nilai thermal, disajikan pada Persamaan 2

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

Dimana:

- \dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)
- A = Luas penampang orifice (m²)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m³)
- d = diameter pipa dalam orifice (m)
- D = diameter pipa luar orifice (m)

Neraca pegas dan dinamometer adalah salah satu alat pengukur dari torsi yang mana dengan satuan (N.m) dengan alat ini dapat mengukur putaran dari mesin dan torsi, sehingga saat mesin atau poros yang berputar maka daya atau tenaganya dapat dihitung , disajikan pada Persamaan 3

$$\tau = (S - W) \times g \times r \quad (3)$$

Daya input yang masuk ke turbin dapat disajikan pada Persamaan 4:

$$P_{in} = \dot{m} (h_1 - h_2) \quad (4)$$

Daya output yang keluar dari turbin dapat disajikan pada Persamaan 5:

$$P_{out} = (\tau \cdot 2 \times \pi \times n) / 9550 \quad (5)$$

Daya pembebanan generator dapat disajikan pada Persamaan 6:

$$W_t = V \cdot I \quad (6)$$

Efisiensi generator dapat disajikan pada Persamaan 7

$$\eta_{\text{generator}} = (\text{Daya Pembebanan}) / (\text{Daya Generator}) \times 100\% \quad (7)$$

Efisiensi Turbin dapat disajikan pada Persamaan 8

$$\eta = P_{\text{output}} / P_{\text{input}} \times 100\% \quad (8)$$

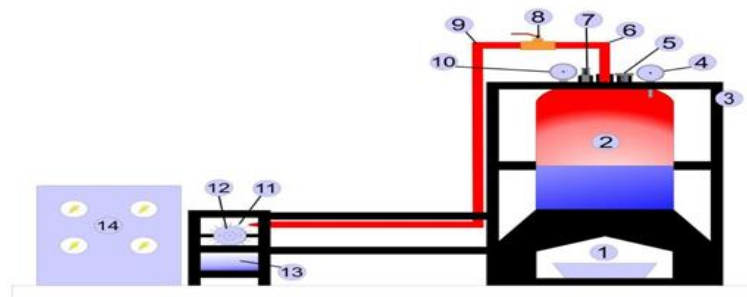
Dari data pengujian awal dengan bahan bakar LPG diperoleh hasil pengujian yang disajikan pada tabel.1

Tabel.1 Data Bahan Bakar Gas LPG

Tekanan Awal (Bar)	Tekanan Masuk (Bar)	Suhu Keluar (°C)	Massa Uap (kg)	Daya Turbin (Watt)	Daya Uap (Watt)	Efisiensi Turbin (%)	Daya Listrik (Watt)	Daya Generator (Watt)	Efisiensi Geerat (%)
7	6,8	94	0,09	20	25,60	78,12	18,01	80	25
6	5,3	81	0,07	17	22,15	76,76	16,95	80	21,25
5	4,5	78	0,06	15	21,78	68,86	14,84	80	18,75
4	3,8	72	0,05	14	21,03	66,56	13,86	80	17,5

2. METODOLOGI

Sistem kerja dari peralatan : 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 impeller dan poros dalam turbin, karena poros turbin dihubungkan langsung dengan generator, sehingga daya generator bisa dihitung melalui Arus dan Tegangan yang didapat. Skema pengujian disajikan pada gambar.2 sedangkan spesifikasi turbin disajikan pada Tabel.2 dan Tabel.3 untuk Spesifikasi generator.



Gambar 2 Skema Pengujian

Keterangan

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

Tabel 2. Spesifikasi Turbin Uap

Nama	Spesifikasi
------	-------------

Turbin Uap	Mini Turbin
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

Tabel 3 Spesifikasi Generator

Nama	Spesifikasi
Tipe	775-0-36 V
Daya Generator	80 Watt
Kecepatan Putaran	900
Tiper Arus	DC

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan data pengujian pada penelitian turbin uap skala laboratorium yang dilakukan pengujian di Laboratorium Teknik Mesin STITEKNAS Jambi, adapun pengujian yang dilakukan pada analisa kinerja turbin uap dengan menggunakan bahan bakar Arang Tempurung Kelapa dengan perbandingan setiap tekanan uap yang keluar yaitu tekanan 4.Bar, 5.Bar, 6.Bar dan 7.Bar) yang disajikan pada tabel.4 dan tabel 5

Tabel.4 Data Pengamatan Bahan Bakar

Tekanan	Berat Bahan Bakar (kg)		Berat Total Bahan Bakar (kg)	Waktu Kenaikan Setiap Tekanan (Jam)	Temperatur Ruang Bakar (°C)
	Awal	Akhir			
4	10,20	7,95	2,25	1,15	1486
5	7,95	7,05	0,90	1,37	1486
6	7,05	6,15	0,90	1,52	1486
7	6,15	5,20	0,95	2,07	1486

Tabel.5 Data Pengamatan Pengujian

Tekanan	Tekanan Masuk (Bar)	Temperatur Keluar (°C)	Beban (kg)	RP M	Voltase (V)	Arus (A)	Waktu kenaikan Tekanan (detik)
7	6,7	85	4	952	20	1	120
6	5,7	79	3	965	16	1	120
5	4,7	74	2,8	972	14	1	120
4	3,7	68	1,8	1092	12	1	120

3.1. Pengolahan Data Pengujian

3.1.1 Daya Uap (Watt)

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 enthalphy, 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 sehingga luas penampang adalah :

$$A = \pi r^2$$

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

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

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 sehingga :

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

$$\dot{m} = \frac{0,02 \cdot 0,0000049 \text{ m} \cdot \sqrt{2 \times 612000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}\right) \cdot \left(0,58 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,0025 \text{ m}}{0,161 \text{ m}}\right)^4}}$$

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

Setelah mendapatkan nilai dari laju aliran massa uap maka akan diperoleh nilai dari masa uap, dalam penelitian ini dilakukan dengan waktu yang 120 s., sehingga massa uap bisa dihitung.

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

$$m = 0,00075 \text{ kg/s} \times 120 \text{ s}$$

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

Besarnya kalaor dapat dihitung denga persamaan

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

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

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

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

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 1:50 jam.

$$Pin = \frac{Q}{s}$$

$$Pin = \frac{137,05 \text{ kJ}}{2,07 \text{ Jam}}$$

$$Pin = \frac{75330 \text{ J}}{(2,07 \times 3600 \text{ s})}$$

$$Pin = 25,38 \text{ Watt}$$

Diketahui pada tekanan 7 Bar maka diperoleh massa 7 kg dengan jari jari diameter 0,005 m dengan putaran poros yaitu 940 rpm. Sehingga nilai torsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\tau = F \cdot r$$

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

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

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

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

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

$$P_{out} = \frac{0,196 \text{ N.m} \times (2\pi \cdot 952 \text{ rpm})}{60}$$

$$P_{out} = 19,82 \text{ Watt}$$

Diperoleh daya lampu (Daya Poros) yaitu 19,82 Watt pada kondisi 7 Bar. Menghitung Daya Turbin (Watt). Diketahui bahwa nilai voltase 20 volt serta nilai arus 1 ampere dengan pengujian 7 Bar.

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.

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

$$\eta_{generator} = \frac{20 \text{ Watt}}{80 \text{ Watt}} \times 100 \%$$

$$\eta_{generator} = 25 \%$$

Diperoleh bahwa efisiensi generator terhadap daya yang dihasilkan adalah sebesar 25 % dengan daya yang dihasilkan 20 Watt. Sehingga dapat diketahui efisiensi turbin sebagai berikut :

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

$$\eta_{turbin} = \frac{20 \text{ Watt}}{25,38 \text{ Watt}} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = 78,81 \%$$

Jadi, dapat diketahui bahwa efisiensi turbin uap skala laboratorium dengan tekanan 7 bar menghasilkan 78,81 %.

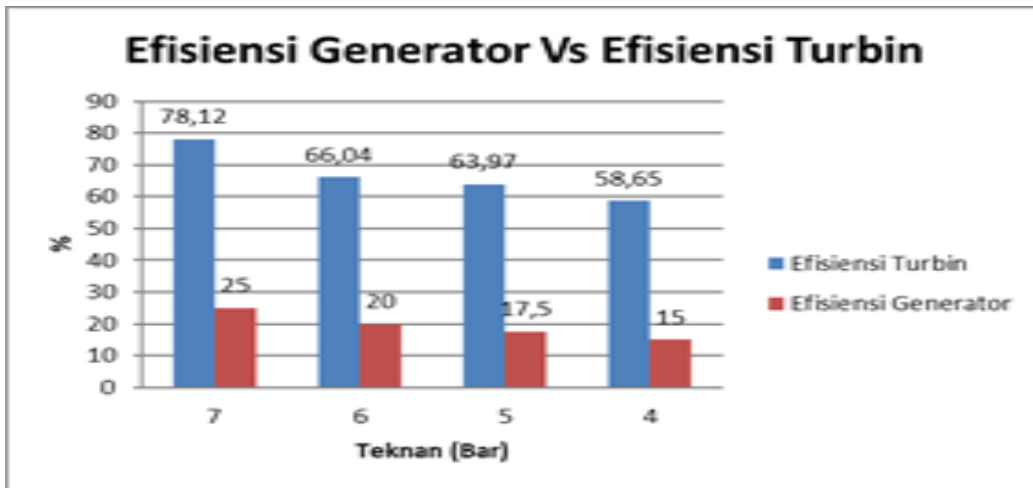
4. Analisa Data

Dari data perolehan diatas pada kinerja turbin uap skala laboratorium dengan kapasitas 80 Watt menggunakan bahan bakar LPG dapat dianalisa dengan hasil seperti disajikan pada tabel.6

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Turbin Uap 80 Watt

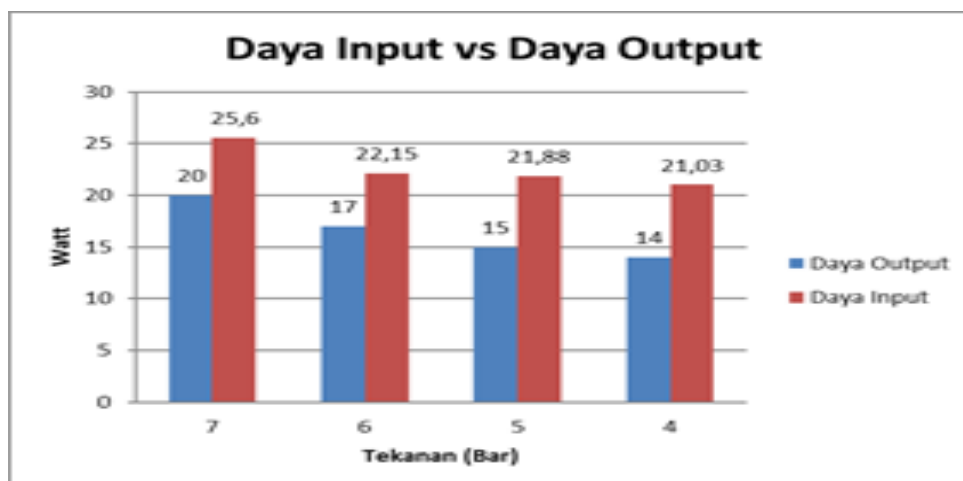
Tekanan Awal (Bar)	Tekanan Masuk (Bar)	Suhu Keluar (°C)	Massa Uap (kg)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	Daya Poros (Watt)	Daya Generator (Watt)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi Generator (%)
7	6,7	85	0,09	20	25,60	19,82	80	78,12	25
6	5,7	79	0,08	17	22,15	15,94	80	66,04	20
5	4,7	74	0,06	15	21,88	15,48	80	63,97	17,5
4	3,7	68	0,05	14	21,03	13,86	80	58,65	15

Dari data tersebut diatas dapat digambarkan dalam bentuk grafik dengan hasil seperti disajikan pada gambar.3

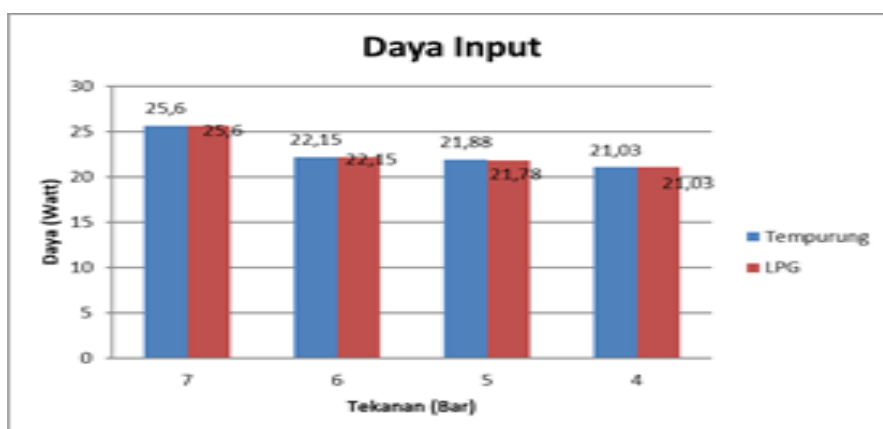


Gambar 3 Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin dan Generator

Seperti yang telah dirumuskan dan tujuan penelitian guna mengetahui bahan bakar yang efisien untuk pembangkit listrik tekanan rendah dengan kapasitas generator 80 Watt menggunakan bahan bakar arang tempurung kelapa. Berikut ini data perbandingan dari bahan bakar gas LPG yang disajikan pada gambar.4

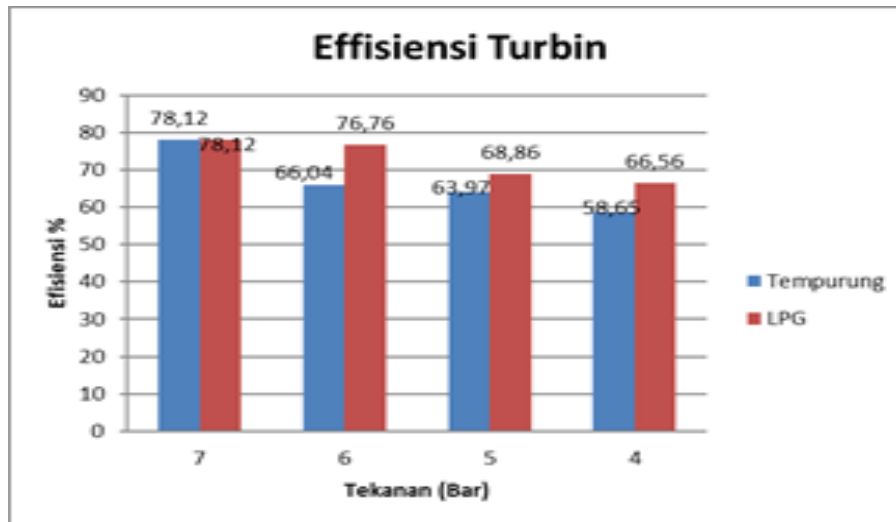


Gambar.4 Grafik Perbandingan Daya Input Bahan Bakar Tempurung dan LPG



Gambar.5 Grafik Perbandingan Daya Input Bahan Bakar Tempurung dan LPG

Dari grafik diatas maka diperoleh daya input yang dihasilkan oleh daya uap pada alat pembangkit listrik tenaga uap pada tekanan 7,6 dan 4 angkanya sama namun terjadi perbedaan pada tekanan 5 Bar hal ini dapat karena dipengaruhi oleh tekanan masuk dan tekanan keluar yang jauh berbeda dan hal lain juga dapat disebabkan oleh adanya perbedaan nilai tekanan yang keluar setelah pembukaan katup yang mana pada kondisi bahan bakar arang tempurung menghasil 4,7 Bar seangkan LPG yaitu 4,5 Bar.



Gambar.6 Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin dengan bahan bakar arang tempurung vs LPG

Jadi, pada penelitian alat pembangkit listrik tenaga uap dengan tekanan rendah menggunakan bahan bakar tempurung kelapa mendapatkan efisiensi turbin terting 78,12 % pada tekaanan 7 Bar dan terendah 58,65% pada 4 Bar, daya yang dihasilkan maksimal adalah 20 Watt minimal 14 Watt dan memiliki efisiensi generator maksimal 25% pada tekanan 7 Bar terendah pada tekanan 4 Bar yaitu 15%. Serta hasil perbandingan kinerja turbin uap dengan media bahan bakar arang tempurung kelapa dengan gas LPG adalah dapat dibuktikan dari efisiensi turbin lebih baik digunakan bahan bakar gas dengan selisih perbandingan (Tempurung/LPG):7Bar(78,12%/78,12%),6Bar (66,04%/ 76,76%), 5 Bar (63,97%/68,86%) dan 4 Bar (58,65%/ 66,56%). Jadi bahan bakar LPG lebih efektif dibanding arang tempurung kelapa

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian terhadap pembangkit listrik tenaga uap bertekanan rendah dengan bahan bakar arang tempurung kelapa dapat dilihat sebagai berikut:

1. Daya Yang dihasilkan turbin uap skala laboratorium adalah 20 Watt dengan tekanan yang diberikan 7 Bar.
2. Efisiensi turbin uap skala laboratorium dengan bahan bakar arang tempurung kelapa 78,12% bertekanan 7 Bar dan Efisiensi Generator adalah 25% atau 20 Watt daya listrik yang dihasilkan dari speak daya generator adalah 80 Watt.
3. Hasil perbandingan kinerja turbin uap dengan media bahan bakar arang tempurung kelapa dengan gas LPG adalah dapat dibuktikan dari efisiensi turbin lebih baik digunakan bahan bakar gas dengan selisih perbandingan (Tempurung / LPG): 7 Bar (78,12%/78,12%), 6.Bar(66,04%/76,76%),5.Bar (63,97%/68,86%) dan 4.Bar (58,65%/ 66,56%). Jadi bahan bakar LPG lebih efektif dibanding arang tempurung kelapa namun dari bahan bakar lokal tempurung kelapa lebih tersedia keberadaannya

DAFTAR PUSTAKA

- Asy'ari Daryus, 2012, Termodinamika Teknik Volume 1, Universitas Pesada Jakarta
- Budiarjo, Imade Kartika D, Budiarso (Penerjemah), 1989. Buku Teks Termodinamika Terpakai, Teknik Uap Dan Panas. Universitas Indonesia
- Erna Rahyu Eko Wiriani, 2019, Analisa Pengaruh Beban Listrik Terhadap Efisiensi Termal PLTU Payo Selincih Jambi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi.
- 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*. ISSN 2337-3539 Seminar Nasional Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya
- Hammada abbas, dkk. Analisa Pembangkit Tenaga Listrik dengan tenaga uap di PLTU. ISSN 1907-0772 Seminar Teknik Mesin Universitas Islam Makasar
- Jamaludin, Iwan Kurniawan. Analisis Perhitungan Daya Turbin yang dihasilkan dan Efisiensi turbin uap pada unit 1 dan unit 2 di PT. Indonesia Power Uboh Ujp Banten. Seminar Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang
- Muhammad Wahdani Insanto. 2020. Eksperimental pengaruh variasi rasio sudu berpenampang datar terhadap daya dan efisiensi turbin reaksi *cross flow* poros horizontal. jtm. Volume 08 Nomor 01. Hal 93-102.
- Soelaiman, dkk. Analisa prestasi kerja turbin uap pada beban yang bervariasi. Jurusan Mesin Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Sitorus, T.B. Tinjauan Pengembangan Bahan Bakar Gas Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Jurnal Teknik. Universitas Sumatera Utara.