

Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium Dengan Bahan Bakar LPG

Jatmiko Edi Siswanto

Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi
 Jl. Patimura No.100, Rawa Sari, Kota Baru, Jambi 36125
 Correspondence Email: jatmikoedis@mail.com

Abstrak. 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, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakan. Didalam penelitian untuk menganalisis kinerja turbin uap dengan bahan bakar gas LPG. Dimana dalam penelitian ini dengan menggunakan hasil uap basah untuk menggerakkan poros turbin yang mana dengan variasi tekanan (7Bar, 6Bar, 5Bar dan 4Bar). Sehingga diperoleh hasil maksimal yaitu 7 Bar diperoleh massa uap 0,09 dengan waktu 1,5 jam dengan pemanasan air 15 liter, daya uap yang dihasilkan 25,6 Watt, Daya Poros 18,01 Watt dan Daya Listrik maksimal yang dihasilkan adalah 20 Watt mendapatkan efisiensi kerja turbin 78,12 % dan mendapatkan hasil efisiensi generator 25%.

Kata Kunci : Turbin Uap, Effisiensi, Generator, LPG.

***Abstract—** The steam turbine is an initial drive that converts the potential energy of steam into kinetic energy and is subsequently converted 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 research to analyze the performance of a steam turbine using LPG gas as fuel. Where in this study using the results of wet steam to move the turbine shaft with variations in pressure (7Bar, 6Bar, 5Bar and 4Bar). So that the maximum result is 7 Bar, the steam mass obtained is 0.09 with a time of 1.5 hours by heating 15 liters of water, the steam power produced is 25.6 Watts, the shaft power is 18.01 Watts and the maximum electrical power produced is 20 Watts. the turbine work efficiency is 78.12% and the result is a generator efficiency of 25%.*

Keywords: Steam Turbine, Efficiency, Generator, LPG.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan suatu faktor penunjang yang sangat penting bagi perkembangan secara menyeluruh suatu bangsa. Di Indonesia, dengan semakin meningkatnya kegiatan industri dan sejumlah penduduknya maka kebutuhan energi listrik mengalami peningkatan. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat maka telah banyak dilakukan perencanaan dan pembangunan pusat-pusat pembangkit listrik seperti halnya pusat listrik tenaga uap (PLTU) di industri besar maupun industri kecil sudah banyak menggunakan listrik tenaga uap. Turbin uap adalah mesin konversi energi dengan mengkonversikan energi kalor menjadi energi mekanik, dan energi mekanik menjadi energi listrik pada generator.

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk steam. Steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Sistem boiler terdiri dari: sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ketitik pengguna. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada

sistem. Air yang disuplai ke boiler untuk dirubah menjadi steam disebut air umpan.

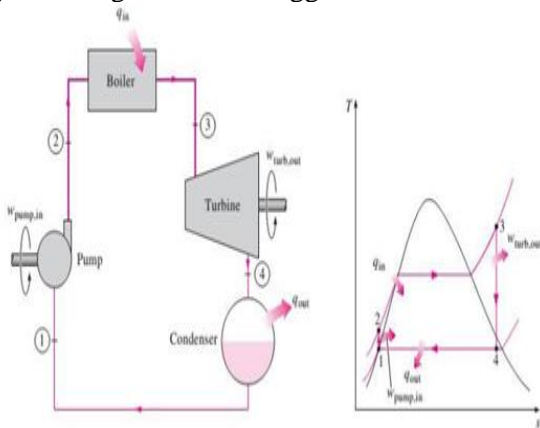
Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, 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.

2. TINJAUAN PUSTAKA

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 bebrapa masalah irreversibilitas internal. Irrversibilitas internal dihasilkan dari gesekan fluida, throttling, dan pencampuran, yang paling penting adalah irrversibilitas 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 kompersi isentropik karna 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, rektor 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 uapjatuh selama proses, dimana uap masuk ke kondesor dan pada kondisi ini uap biasanya merupakan campuran cairan-uap jenuh dengan kualitas tinggi.



Gambar . siklus rankine dan Diagram T-s

- 1-2 Proses kompersi 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.

Uap dikondisikan pada tekanan konstan di dalam kondensor yang merupakan alat penukar kalor mengeluarkan panas ke medium pendingin. Uap lajut dari katel memasuki turbin, setelah setelah melalui beberapa tingkat sudu turbin, sebagian uap diekstrasikan ke generator, sedangkan sisanya masuk ke kondensor dan dikondisikan di dalam kondensor. Selajutya air dari kondensor di pompakan ke dearator juga. Di dalam dearator, uap yang berasal dari turbin yang berupa uap basah bercampur dengan air yang berasal dari kondensor. Kemudian dari deaerator dipompakan kembali ke katel, dari katel ini air yang sudah menjadi

uap kering dialirkan kembali lewat turbin. Tujuan uap diekstraksikan ke dearator adalah untuk membuang gas-gas yang tidak terkondensasikan sehingga pemanasan pada ketel dapat berlangsung efektif, mencegah korosi pada ketel, dan meningkatkan efisiensi siklus. Untuk mempermudah pengelisaan siklus termodimika ini.

- Perbandingan Tekanan (p)

Dalam pengambilan perbandingan tekanan pada sistem orifice, Flange Tap lokasi tekanan berada pada flange, 1 inchi upstream dan 1 inchi down stream, diukur dari permukaan upstream orifice. Pada penggunaanya ada beberapa modifikasi proses sehingga didapatkan efisiensi thermal total yang lebih tinggi. Persamaan yang digunakan pada penelitian dalam penggunaan orifice sebagai berikut:

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

Dimana:

ΔP = Perbandingan tekanan (Psi)

P_1 = Tekanan masuk orifice (Psi)

P_2 = Tekanan keluar orifice (Psi)

Laju aliran masa(m) pada penelitian ini sangat penting hal ini dikarenakan berfungsi sebagai nilai menghitung nilai thermal, berikut dengan menggunakan persamaan:

$$m' = (A \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho}) / \sqrt{1 - [(d/D)]^4}$$

Dimana:

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 uap orifice (m)

Torsi (τ)

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 dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

τ = Torsi (N.m)

S = pembebanan (kg)

W = pembebanan awal (kg)

g = gravitasi (m/s²)

r = jari-jari (m²)

Daya Input

$$Pin = m' (h1 - h2)$$

Dimana:

Qin = Daya Input (watt)

m' = Laju aliran massa (kg/s)

Tin = Enthalpy keluar boiler (kJ/kg)

$Tout$ = Enthalpy masuk boiler (kJ/kg)

Daya Output (Watt)

Daya output yang keluar dari turbin dapat dilihat dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:
 P_{out} = Daya output (Watt)
 τ = Torsi (N.m)
 n = Putaran turbin (rpm)

Dimana: $W_t = \text{Daya turbin (Watt)}$
 $V = \text{Tegangan output dinamo (Volt)}$
 $I = \text{Arus output (A)}$

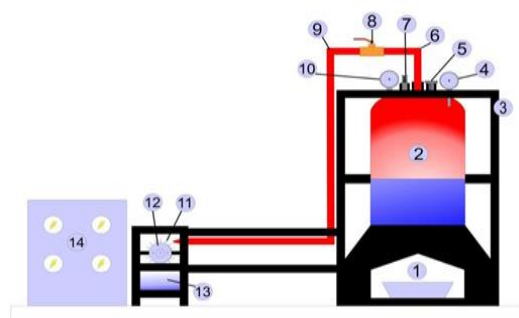
Dimana: $W_t = \text{Daya turbin (Watt)}$
 $V = \text{Tegangan output dinamo (Volt)}$
 $I = \text{Arus output (A)}$
 Efisiensi Generator
 $\eta_{generator} = (\text{Daya Pembebanan}) / (\text{Daya Generator}) \times 100\%$ (Joko Purnomo:2018)

Dimana:
 $\eta_{generator} = \text{Efisiensi Generator (\%)}$
 $\text{Daya Pembebanan} = \text{Hasil dari daya yang keluar (Watt)}$
 $\text{Daya Generator} = \text{Daya spesifikasi generator (Watt)}$

Efisiensi Turbin
 $\eta = P_{output} / P_{input} \times 100\%$

Dimana:
 $\eta = \text{Efisiensi (\%)}$
 $P_{output} = \text{Daya yang keluar (watt)}$
 $P_{input} = \text{Daya yang masuk (watt)}$

3. METODOLOGI



Gambar. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Keterangan

1. Bahan Bakar
2. Boiler
3. Rangka
4. Pressur Gauge
5. Air masuk
6. Pressure Gauge
7. Jalur buang tekanan
8. Valve jalur uap
9. Pipa Uap
10. Pengukur Air
11. Turbin Ua
12. Generator
13. Uap Basah
14. Tangki Air

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. Spesifikasi Generator

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

Persiapan alat penelitian

1. Pengecekan alat dan pengujian selama 60 detik.
2. Menyalakan gas lpg pada tungku.
3. Tunggu sampai tekanan uap mencapai (4, 5 dan 6)bar dan Catat temperatur.
4. Buka valve di nomor 8 .
5. Tunggu stabilnya putaran turbin.
6. Catat putran turbin dengan alat tachometer dan catat dalam tabel.
7. Catat voltace dan harus listrik pada generator.
8. Selesai pengujian dengan tekanan 3 kg dan tutup valve
9. Lanjutkan dengan pengujian dengan tekanan selanjutya dengan mengulangi langkah 1-9.

4. 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 LPG (Liquefied Petroleum Gas) dengan perbandingan setiap tekanan uap yang keluar yaitu (4 Bar, 5 Bar, 6 Bar dan 7 Bar).

Tabel. Data Pengamatan Bahan Bakar

Tekanan	Temperatur Boiler (°C)	Berat Bahan		Waktu Bahan Bakar (Jam : Menit)	Temperatur Ruang Bakar (°C)
		Awal (kg)	Akhir (kg)		
4	142	7,435	6,790	1:00	1022
5	148	6,790	6,750	1:15	1022
6	157	6,750	6,670	1:32	1022
7	164	6,790	6,635	1:50	1022

Tabel. Data Hasil Pengujian

Tekanan	P (masuk) (Bar)	T (Keluar) (°C)	Beban (kg)	RPM	Voltase (V)	Arus (Ampere)	Waktu (s)
7	6,8	94	4	940	20	1	120
6	5,8	81	3,5	947	17	1	120
5	4,8	78	2,8	1035	15	1	120
4	3,8	72	2,5	1085	14	1	120

Pengolahan Data Pengujian

Daya Uap (Watt)

Daya uap adalah energi yang dihasilkan oleh proses pemanasan pada tabung boiler yang mana hingga mencapai tekanan yang diinginkan dalam penelitian ini tekanan yang diuji adalah (7Bar, 6 Bar, 5 Bar dan 4 Bar) sehingga untuk mengetahui daya uap tersebut harus menentukan nilai enthalphy, volume spesifik, density tersebut berikut data yang diperoleh dari tabel A-3 properties of saturated water (Liquid-Vapor).

Tabel. Nilai Enthalphy , Volume Spesifik, Suhu Temperatur terhadap Tekanan masuk Turbin

Tekanan Awal (Bar)	Tekanan Masuk (Bar)	Suhu (°C)	(Volume Spesifik) (m ³ /kg)	Density (kg/ m ³)	Enthalpy (kJ/kg)
7	6,8	164	0.289	3,464	2086,30
6	5,8	157	0.371	2,69	2090,74
5	4,8	148	0.419	2,38	2113,38
4	3,8	142	0.487	2,05	2139,52

Tabel. Nilai Enthalphy, Volume Spesifik, Density dan Tekanan terhadap Temperatur Keluar Turbin

Tekanan Awal (Bar)	Suhu Keluar (°C)	Tekanan (Bar)	CP (kJ/kg.°K)	(Volume Spesifik) (m ³ /kg)	Density (kg/ m ³)	Enthalpy (kJ/kg)
7	94	0,82	4,199	2,053	0,48	2272,42
6	81	0,49	4,192	3,286	0,30	2306,78
5	78	0,44	4,187	3,699	0,27	2313,86
4	72	0,34	4,182	4,700	0,21	2331,03

Menghitung laju aliran udara (kg/s)

Diketahui bahwa diameter dari pipa nozle yang digunakan dalam penelitian adalah 0,0025 m

- Menghitung luas penampang

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi [(0,00125 \text{ m})]^2$$

$$A = 0,000049 \text{ m}^2$$

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 beri.

- Laju aliran masa uap (kg/s)

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

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

Setelah mendapatkan nilai dari laju aliran massa uap maka akan diperoleh

nilai dari masa uap, dalam penelitian ini dilakukan dengan waktu yang 120 s.

$$m = m \times s$$

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

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

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

$$Q = 0,09 \text{ kg} \times 4,199 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \times 342,93^\circ\text{K}$$

$$Q = 138,25 \text{ kJ}$$

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 7 diperoleh waktu 1:50 jam.

$$P_{in} = \frac{138,25 \text{ kJ}}{1,50 \text{ Jam}}$$

$$P_{in} = \frac{138960 \text{ J}}{(1,50 \times 3600 \text{ s})}$$

$$P_{in} = 25,60 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$P_{in} = 25,60 \text{ Watt}$$

Menghitung Torsi (N.m)

Diketahui pada tekanan 7 Bar maka diperoleh massa 7 kg dengan jari jari diameter 0,005 m dengan putaran poros yaitu 940 rpm.

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

$$\tau = 0,183 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Oleh karena itu diperoleh nilai torsi yaitu 0,183 N.m

$$P_{out} = \frac{0,183 \text{ N} \cdot \text{m} \times (2\pi \cdot 1045 \text{ rpm})}{60}$$

$$P_{out} = 18,01 \text{ Watt}$$

Oleh karena itu diperoleh nilai torsi yaitu 0,183 N.m

$$P_{out} = \frac{0,183 \text{ N} \cdot \text{m} \times (2\pi \cdot 1045 \text{ rpm})}{60}$$

$$P_{out} = 18,01 \text{ Watt}$$

Diperoleh daya lampu (Daya Poros) yaitu 18,01 Watt pada kondisi 7 Bar. Menghitung Daya Turbin (Watt) Diketahui bahwa nilai voltase 20 volt serta nilai arus 1 ampere dengan pengujian 7 Bar.

Menghitung Effisiensi Generator (%)

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

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

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

Diperoleh bahwa effisiensi generator terhadap daya yang dihasilkan adalah sebesar 25 % dengan daya yang dihasilkan 20 Watt.

Menghitung Efisiensi Turbin (%)

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

$$\eta_{turbin} = \frac{20 \text{ Watt}}{25,60 \text{ Watt}} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = 78,12 \%$$

Jadi, dapat diketahui bahwa efisiensi turbin uap skala laboratorium dengan tekanan 7 bar menghasilkan 78,12 %.

Analisa Data

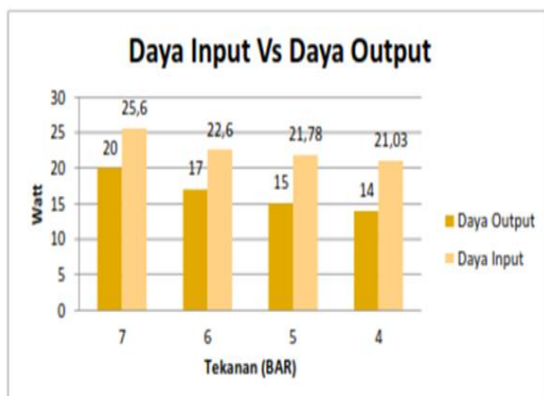
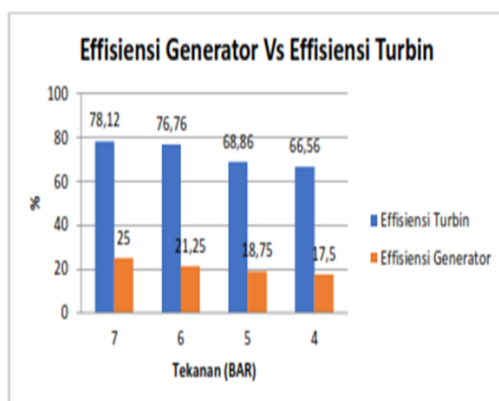
Dari data perolehan diatas pada kinerja turbin uap skala laboratorium dengan kapasitas 80 Watt menggunakan bahan bakar LPG dapat dianalisa dengan hasil pada tabel dibawah ini.

Tabel. Data Hasil Perhitungan Turbin Uap 80 Watt

Tabel. Data Hasil Perhitungan Turbin Uap 80 Watt

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 Generator (%)
7	6,8	94	0,09	20	25,60	78,12	18,01	80	22,5
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

Dari data tersebut diatas dapat digambarkan dalam bentuk grafik dibawah;



5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada proses uji pada turbin uap skala laboratorium bahan bakar LPG, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Daya listrik yang dihasilkan oleh generator dengan proses kerja turbin uap adalah pada tekanan 4 bar (14 Watt), 5 Bar (15 Watt), (6 Bar (17 Watt) dan 7 Bar (20 Watt).
- Efisiensi dari generator dan turbin uap yang mana setiap tekanan mengalami kenaikan 4 Bar (17,5% / 66,56%), 5.Bar (18,75 % / 68,86%), 6 Bar (21,25% / 76,76%) dan 7 Bar (25 % / 78,12%).

DAFTAR PUSTAKA

1. Asy'ari Daryus, 2012, Termodinamika Teknik Volume 1, Universitas Pesada Jakarta
2. Erna Rahyu Eko Wiriani, 2019, Analisa Pengaruh Beban Listrik Terhadap Efisiensi Termal PLTU Payo Selincah Jambi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi.
3. Joko Purnomo, 2018, Analisa Pengaruh Load Capacity Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Awar-Awar 350 MW Terhadap Efisiensi Turbin Generator QFSN-350-2 Unit 1. JTPM. Volume 07 No. 02.
4. Nurhani Amin, 2012, Sistem Proteksi Generator Turbin Uap, Universitas Tadulako, Palu. Jurnal Majalah Ilmiah Mektek.
5. Riyki Apriandi, Awqli Mursadin, 2016, Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU PT. Indocement P-12 Tarjun, Fakultas Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat. Jurnal SJME Kinematika Vol. 1, Juni PP.37-46.
6. Sunyoto, dkk, 2008, Teknik Mesin Industri Jilid, Direktorat Pembinaan Sekolah