

# **Analisa Pengaruh Variasi Tekanan Udara Pembakaran terhadap Efisiensi Pengujian pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium**

**Jatmiko Edi Siswanto**

Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi  
Jl. Lingkar Timur Mendalo Darat Jambi Luar Kota, Muaro Jambi, Jambi  
Correspondence email: jatmikoedisiswanto@stitekna.ac.id

**Abstrak** Penelitian ini tentang perbandingan efisiensi pembangkit listrik tenaga uap skala laboratorium dengan bahan bakar arang tempurung kelapa (Coconut shell charcoal). Pengujian dilaksanakan di Lab. STITEKNAS – JAMBI, dengan data yang diperoleh pada pengujian ini adalah daya uap, daya poros dan daya listrik. Salah satu dalam penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap performa pembangkit listrik tenaga arang tempurung kelapa. Uap yang digunakan peneliti uap basah. Metodologi penelitian dengan menggunakan variasi tekanan pembakaran (1,2 dan 3 bar) untuk mendapatkan data penelitian, dari data pengujian hasil penelitian skala laboratorium dengan bahan bakar arang tempurung kelapa variasi tekanan pembakaran pada tungku bahwa makin besar tekanan pembakaran akan menghasilkan temperatur ruang bakar makin tinggi terbesar pada tekanan pembakaran 3 bar menghasilkan temperatur ruang bakar 746 °C dan terkecil pada tekanan 1 bar sebesar 883.75 °C dan dari perhitungan data hasil penelitian diperoleh hasil efisiensi turbin uap skala laboratorium dengan bahan bakar arang tempurung kelapa daya yang dihasilkan semakin tinggi tekanan pembakaran semakin tinggi daya yang dihasilkan, daya input tertinggi pada tekanan pembakaran 3 bar dengan nilai sebesar 27,26 watt dan terkecil pada tekanan pembakaran 1 bar dengan besar daya input 22,94 bar, sedangkan pada perhitungan efisiensi, efisiensi tekanan pembakaran bahwa efisiensi turbin lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi generator. Dimana pada tekanan 1 bar efisiensi tertinggi turbin sebesar 63,30% sedangkan efisiensi generator 18% dan pada tekanan pembakaran 3 bar didapat efisiensi terendah yaitu efisiensi turbin sebesar 51,36% sedangkan efisiensi generator 17,5%, sehingga kenaikan tekanan pembakaran tidak bisa menaikkan efisiensi turbin maupun generator.

**Kata Kunci:** Turbin Uap, Udara pembakaran, Daya, Efisiensi

**Abstract.** This research is about comparing the efficiency of a laboratory-scale steam power plant with coconut shell charcoal as fuel. The test was carried out at the STITEKNAS Lab – JAMBI, with the data obtained in this test were steam power, shaft power and electrical power. The error in this study aims to determine the effect of pressure on the performance of a coconut shell charcoal power plant. Steam used by wet steam researchers. The research methodology uses variations in combustion pressure (1,2 and 3 bar) to obtain research data. From the test data of laboratory-scale research results with coconut shell charcoal as fuel, variations in combustion pressure in the furnace that the greater the combustion pressure will produce the higher combustion chamber temperature, the largest at a combustion pressure of 3 bar produces a combustion chamber temperature of 746 °C and the smallest at a pressure of 1 bar of 883.75 °C and from the calculation of research data obtained results of laboratory-scale steam turbine efficiency with coconut shell charcoal fuel the higher the combustion pressure the higher the power produced, the highest input power at a combustion pressure of 3 bar with a value of 27.26 watts and the smallest at a combustion pressure of 1 bar with a large input power of 22.94 bar, while in the calculation of efficiency, the efficiency of the combustion pressure is that the turbine efficiency is higher than the efficiency of the generator. 18% and at a combustion pressure of 3 bar the lowest efficiency is obtained, namely the turbine efficiency of 51.36% while the generator efficiency is 17.5%, so that the increase in combustion pressure cannot increase the efficiency of the turbine and generator.

**Keywords:** Steam Turbine, Combustion Air, Power, Efficiency

## **PENDAHULUAN**

Pembakaran adalah reaksi kimia yang terjadi antara material yang dapat terbakar dengan oksigen pada volume dan temperatur tertentu. Pembakaran akan terjadi bila bahan bakar oksigen sumber panas bereaksi menjadi satu dan sebagai hasil dari proses pembakaran adalah temperatur (A Asy'ari Daryus, 2012) dan berdasarkan berbagai macam variasi tekanan bahan bakar yang dilakukan, semakin besar tekanan bahan bakar, maka badan api semakin tinggi, Q radiasi semakin tinggi, sedangkan temperatur pembakaran tergantung dari bahan yang dibakar (Hammada abbas, dkk.)

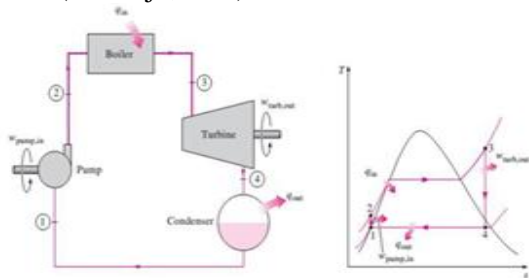
Pembangkit listrik tenaga uap merupakan salah satu pembangkit yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik, yang menggunakan turbin uap sebagai

pemutar generator, yang di konversikan untuk menghasilkan energi listrik dimana pada proses tenaga uap diperoleh dari pembakaran bahan bakar menggunakan tungku untuk pemanas air pada tabung boiler. ( Budiarjo,all ).1989

Pembangkit tenaga listrik dapat dihasilkan dari berbagai system konversi energi baik dari turbin uap dimana uap sebagai penggerak turbin dan pemutar generator untuk menghasilkan listrik, namun karena di sekitar lingkungan banyak material biomasa yang belum dimanfaatkan secara maksimal, untuk itu dalam analisa ini saya akan menganalisa pembangkit listrik dengan tenaga uap yang dikaitkan dengan pengaruh variasi tekanan pada proses pembakaran bahan bakar.

### Kajian Pustaka

Untuk proses tenaga uap secara ideal 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.

- Perbandingan Tekanan ( p )

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

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

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

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

Dimana:

- $\dot{m}$  = Laju aliran massa (kg/s)
- A = Luas penampang orifice (m<sup>2</sup>)
- $\rho$  = massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)
- d = diameter pipa dalam orifice (m)
- D = diameter pipa luar 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 , disajikan pada Persamaan 3

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

Daya Input

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

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

Daya Output (Watt)

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

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

Daya Pembebanan (Watt)

Daya pembebanan generator dapat disajikan pada Persamaan 6:

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

Efisiensi Generator

Efisiensi generator dapat disajikan pada Persamaan 7  
 $\eta_{generator} = \frac{(\text{Daya Pembebanan})}{(\text{Daya Generator})} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$

Efisiensi Turbin

Efisiensi Turbin dapat disajikan pada Persamaan 8  
 $\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$

- Jumlah bahan bakar yang dipakai pada proses pengujian alat adalah :

Dimana:

- Ba1= Bahan bakar awal (kg)
- Ba2= Bahan Bakar Akhir (kg)
- Ba2= Bahan Bakar akhir (kg) – Abu (kg)

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian pembangkit listrik tenaga uap dengan tekanan rendah dimana menggunakan bahan bakar arang temburung kelapa sebagai media pemanas dari boiler. Pengujian ini juga dilakukan dengan variasi tekanan udara pembakaran dari kompresor dengan Variasi tekanan ( 1,2,3 ) Bar. Oleh karena itu dapat dilihat hasil alat pembangkit listrik tenaga uap pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Skema Pengujian Turbin Uap

Dari penjelasan gambar diatas bahwa pengujian ini dilakukan dengan air yang dipanaskan dengan sebanyak 15 liter berbahan bakar arang tempurung kelapa serta dilakukan pengambilan data tekanan (4,5,6 dan 7 Bar), menggunakan turbin pabrikan turbochager mobil dan menggunakan generator berkapasitas 80 Watt

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 udara pembakaran yaitu ( 1,2 dan 3 Bar). Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali pengulangan dan setiap waktu penggunaan uap selama 120 detik. Maka dari itu dapat dilihat pada tabel dibawah ini data hasil pengujian.

**Daya Input (Watt)**

Daya input atau 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 (4,5,6 dan 7 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 1. Data Pengamatan Bahan Bakar pada rata tekanan boiler

Tekanan Kompresor	Tekanan Tabung Boiler	Berat Bahan Awal (kg)	Berat Bahan Akhir (kg)	Berat Total Bahan Bakar (kg)	Waktu Kenaikan Setiap Tekanan (Jam)	Temperatu Ruang Bal (°C)
1	5,5	10,00	8,17	1,83	1,60	683,75
2	5,5	10,00	7,83	2,17	1,47	729,00
3	5,5	10,00	7,17	2,83	1,47	746,00

Tabel.2 Data Pengamatan Pengujian rata tekanan boiler

Tekanan Kompresor	Tekanan Awal (Bar)	Tekanan Masuk (Bar)	Tekanan Keluar (Bar)	Suhu Masuk (°C)	(Volume Spesifik) (m <sup>3</sup> /kg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Enthalphy (kJ/kg)
1	5,5	4,50	0,37	153,00	0,367	2,72	2749
2	5,5	5,20	0,50	152,75	0,375	2,67	2753
3	5,5	5,30	0,58	164,75	0,281	3,55	2762

Tabel 3. Nilai Enthalphy, Volume Spesifik, Density dan Tekanan terhadap Temperatur Keluar Turbin

Tekanan Kompresor	Tekanan Awal (Bar)	Suhu Keluar (°C)	(Volume Spesifik) (m <sup>3</sup> /kg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Enthalphy (kJ/kg)
1	4,50	81,25	3,305	0,302	2295,96
2	5,20	78,75	3,715	0,269	2310,92
3	5,30	76,50	3,916	0,255	2314,37

Pada pengolahan daya uap diketahui nilai density dan enthalphy pada tekanan masuk turbin dan keluar turbin. Dimana nilai tersebut telah diperoleh pada tabel 8 dan 9, namun sebelum mendapat nilai daya input harus mengetahui kecepatan aliran (m/s) dan laju aliran masa (kg/s).

**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.

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

$$\dot{m} = \frac{0,02 \cdot 0,0000049 \text{ m} \cdot \sqrt{2 \times 413000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}\right) \cdot \left(0,302 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,0025 \text{ m}}{0,161 \text{ m}}\right)^4}}$$

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

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

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

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

$$m = 0,0912 \text{ kg}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Massa Uap (kg)

Tekanan Kompresor	Laju Aliran Massa Uap (kg/s)	Massa Uap (kg)
1	0,00076	0,0912
2	0,00055	0,0822
3	0,00044	0,0672

Setelah mendapatkan nilai laju aliran masa peneliti melakukan pencarian data nilai panas masuk yaitu Q (kJ).

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

$$Q = 0,0912 \text{ kg} \times 4,202 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 71,75 \text{ C}$$

$$Q = 0,0912 \text{ kg} \times 4,202 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 344,75 \text{ K}$$

$$Q = 132,12 \text{ kJ}$$

Dari data diatas maka diperoleh nilai Daya Uap yang dihasilkan oleh boiler terhadap turbin dengan variasi setiap tekanan kompresor yang dicapai pada waktu pemanasan yang berbeda untuk tekanan 1 Bar pada tabel 12 diperoleh waktu 1,60Jam atau 96 menit

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

$$P_{in} = \frac{132,12 \text{ kJ}}{1,60 \text{ Jam}}$$

$$P_{in} = \frac{132120 J}{(1,60 \times 3600 s)}$$

$$P_{in} = 22,94 \frac{J}{s}$$

$$P_{in} = 23 \text{ Watt}$$

Tabel.5 Hasil Perhitungan Daya Uap Yang dihasilkan (Watt)

Tekanan Kompresor	Panas Masuk (kJ)	Waktu Bahan Bakar (Jam)	Daya Uap (Watt)
1	132,12	1,60	22,94
2	122,15	1,47	23,08
3	144,24	1,47	27,26

### Menghitung daya Poros (Watt)

Menghitung Torsi  $\tau$  (N.m)

Diketahui pada tekanan 7 Bar maka diperoleh massa 4 kg dengan jari jari diameter 0,005 m dengan putaran poros yaitu 952rpm.

$$\tau = F \cdot r$$

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

$$\tau = (2,80 \text{ kg} \times 9,81 \text{ s}^2) \cdot 0,005 \text{ m}$$

$$\tau = 0,137 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Oleh karena itu diperoleh nilai torsi yaitu 0,137 N.m

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

$$P_{out} = \frac{0,137 \text{ N} \cdot \text{m} \times (2\pi \cdot 997,75 \text{ rpm})}{60}$$

$$P_{out} = 14,31 \text{ Watt}$$

Diperoleh daya output (Daya Poros) yaitu 14,31 Watt pada kondisi 1 Bar.

Tabel.6.Hasil Perhitungan Daya Output

Tekanan Kompresor)	Beban (kg)	Torsi (N.m)	Kecepatan (rpm)	Daya Poros (Watt)
1	2,80	0,137	997,75	14,31
2	3,17	0,155	998,50	16,30
3	3,00	0,147	1007,50	15,30

### Menghitung Daya Turbin (Watt)

Diketahui bahwa nilai voltase 14,5 volt serta nilai arus 1 ampere dengan pengujian 1 Bar.

$$\text{Daya Turbin} = 14,5 \text{ Volt} \times 1 \text{ Ampere}$$

$$\text{Daya Turbin} = 14,5 \text{ Watt}$$

Daya yang dihasilkan dari kinerja turbin uap dengan memutar poros turbin dan menggerakkan poros generator pada tekanan 1 Bar dapat menghasilkan daya 14,5 Watt.

### Menghitung Efisiensi Generator (%)

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

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

$$\eta_{generator} = \frac{14,5 \text{ Watt}}{80 \text{ Watt}} \times 100 \%$$

$$\eta_{generator} = 18 \%$$

Diperoleh bahwa efisiensi generator terhadap daya yang dihasilkan adalah sebesar 18 % dengan daya yang dihasilkan 14,5 Watt.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Efisiensi Generator (%)

Tekanan Kompresor)	Daya Turbin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Efisiensi Generator (%)
1	14,52	80	18
2	14	80	17,5
3	14	80	17,5

### Menghitung Efisiensi Turbin (%)

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

$$\eta_{turbin} = \frac{14,52 \text{ Watt}}{22,94 \text{ Watt}} \times 100\%$$

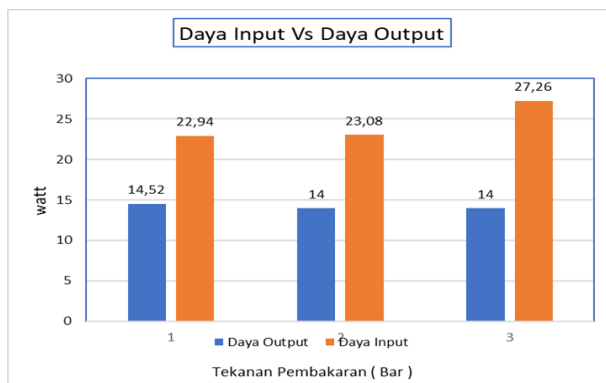
$$\eta_{turbin} = 63,29 \%$$

Jadi, dapat diketahui bahwa efisiensi turbin uap skala laboratorium dengan tekanan kompresor 1 bar menghasilkan 63,29 %.

Tabel 8. Nilai Efisiensi Turbin

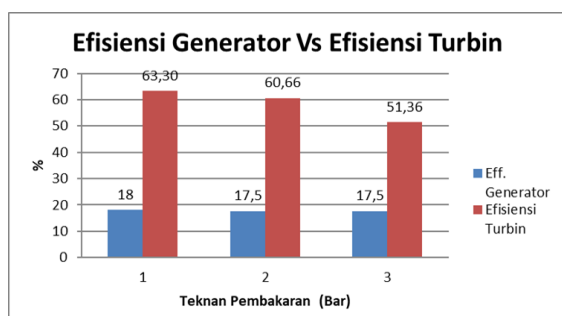
Tekanan Kompresor)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	Efisiensi Turbin (%)
1	14,52	22,94	63,29
2	14	23,08	60,68
3	14	27,26	51,6

Dari data hasil pengujian pada tekanan kompresor 1 Bar, 2 Bar dan 3 Bar dapat tersebut peneliti dapat menganalisa dari hasil pengujian pembangkit listrik tenaga uap dengan bahan bakar arang tempurung kelapa kapasitas generator 80 Watt. Dalam hal ini juga dapat diperoleh hasil perhitungan dan dengan analisa data dengan serta penjelasan menggunakan grafik dibawah ini sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik Daya Output vs Daya Input

Dari grafik diatas dapat dianalisa bahwa semakin tinggi tekanan maka semakin tinggi daya input dan output relatif sama. Daya input tertinggi pada tekanan pembakaran 3 bar dengan nilai daya input sebesar 27,26 watt dan terkecil pada tekanan pembakaran 1 bar dengan besar daya input 22,94 bar.



Gambar 4. Grafik Efisiensi Turbin Vs Efisiensi Generator

Pada grafik diatas dapat kita lihat bahwa efisiensi turbin lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi generator. Dapat dilihat pada tekanan 1 Bar efisiensi tertinggi turbin / efisiensi generator (63,30%/18%) dan terendah pada tekanan pembakaran 3 bar efisiensi turbin / efisiensi generator (51,36%/17,5%) sehingga kenaikan tekanan pembakaran tidak bisa menaikkan efisiensi turbin maupun generator

## SIMPULAN

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

1. Pada variasi tekanan pembakaran pada tungku bahwa makin besar tekanan pembakaran akan menghasilkan temperatur ruang bakar makin tinggi terbesar pada tekanan pembakaran 3 bar menghasilkan temperatur ruang bakar 746 °C dan terkecil pada tekanan 1 bar sebesar 883.75 °C
2. Daya Yang dihasilkan semakin tinggi tekanan maka semakin tinggi daya input dan output relatif sama. Daya input tertinggi pada tekanan pembakaran 3 bar dengan nilai daya input sebesar 27,26 watt dan

terkecil pada tekanan pembakaran 1 bar dengan besar daya input 22,94 bar.

3. Efisiensi tekanan pembakaran bahwa efisiensi turbin lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi generator. Dapat dilihat pada tekanan 1 bar efisiensi tertinggi turbin / efisiensi generator (63,30%/18%) dan terendah pada tekanan pembakaran 3 bar efisiensi turbin / efisiensi generator (51,36%/17,5%) sehingga kenaikan tekanan pembakaran tidak bisa menaikkan efisiensi turbin maupun generator.

## 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
- 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