

## KARAKTERISTIK TURBIN KAPLAN PADA SUB UNIT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR KEDUNGOMBO

Mulyono, Suwarti

Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50275, PO BOX 6199 / SMS

Telp. (024) 7473417, 7499585, Faks. (024) 7472396

<http://www.polines.ac.id>, e-mail : [visentias@ymail.com](mailto:visentias@ymail.com)

### ABSTRAK

*Turbin air adalah salah satu turbin yang digunakan untuk memutar generator untuk menghasilkan tenaga listrik yang menggunakan fluida air pada kecepatan tertentu untuk menghasilkan energi mekanis. Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik turbin Kaplan pada Sub Unit PLTA Kedungombo. Pengambilan data dilakukan dengan metode observasi, studi kepustakaan dan pengolahan data dari logsheet di PT. Indonesia Power Sub Unit PLTA Kedungombo UPB Mrica. Untuk mengetahui karakteristik turbin Kaplan pada Sub Unit PLTA Kedungombo ini dibedakan berdasarkan beban, efisiensi turbin, debit aliran dan ekonomi air. Dari hasil analisis didapatkan turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo dengan variasi daya generator 10 MW hingga 22.5 MW membutuhkan debit sebesar  $34 \text{ m}^3/\text{s}$  hingga  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  dan menghasilkan efisiensi turbin sebesar 66.80 % hingga 91.25% dan nilai kebutuhan air spesifiknya adalah  $12.24 \text{ m}^3/\text{kWh}$  hingga  $9.6 \text{ m}^3/\text{kWh}$ .*

**Kata Kunci:** karakteristik turbin air, turbin Kaplan, unjuk kerja

### I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan pembangkit yang mengandalkan energi potensial dan kinetik pada air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTA biasanya disebut sebagai hidroelektrik. PLTA merupakan energi terbarukan karena termasuk salah satu energi yang tidak pernah habis.

Pembangkit Listrik Tenaga Air sudah ada dari berpuh-puluh tahun yang lalu, Air yang mempunyai energi potensial digunakan untuk menggerakkan turbin (energi mekanik) yang akan membuat generator menghasilkan listrik (energi listrik). Salah satunya adalah Sub Unit PLTA Kedungombo yang menggunakan turbin Kaplan sebagai prime over-nya. PLTA Kedungombo beroperasi secara otomatis yang dikontrol dari UPB Mrica.

Seperti yang sudah diketahui bahwa turbin air adalah suatu mesin yang menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros dengan memanfaatkan energi potensial air. Energi ini selanjutnya diubah menjadi bentuk energi lain seperti energi listrik. Maka dari itu dalam penelitian kali ini akan menganalisis karakteristik turbin Kaplan pada Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan variasi daya generator, efisiensi turbin, debit aliran dan kebutuhan air spesifik.

Sub Unit PLTA Kedungombo terletak di tepi Sungai Serang yang merupakan bagian hulu dari bendungan Kedungombo. Sub Unit PLTA Kedungombo terletak kira-kira 60 KM di selatan sisi kiri Kota Semarang yang mempunyai elevasi kurang lebih 45 KM di atas permukaan laut. Daya yang dihasilkan dikarenakan penggerak turbin Kaplan oleh air, dari Turbin diarahkan ke Generator

sehingga menghasilkan daya sebesar 22,5 MW.

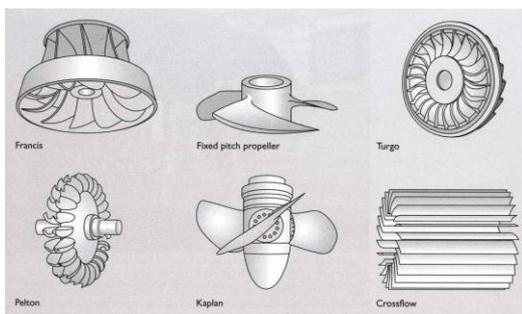
**II. DASAR TEORI**

**2.1. Turbin Air**

Turbin air adalah turbin dengan media kerja air. Secara umum, turbin adalah alat mekanik yang terdiri atas poros dan sudu-sudu. Sudu tetap atau *stationary blade*, tidak ikut berputar bersama poros, dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau *rotary blade*, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida tak kompresibel, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan. (Wibowo Paryatmo, 2007)

Kata "turbine" ditemukan oleh seorang insinyur Perancis yang bernama Claude Bourdin pada awal abad 19, yang diambil dari terjemahan bahasa Latin dari kata "whirling" (putaran) atau "vortex" (pusaran air). Perbedaan dasar antara turbin air awal dengan kincir air adalah komponen putaran air yang memberikan energi pada poros yang berputar. Komponen tambahan ini memungkinkan turbin dapat memberikan daya yang lebih besar dengan komponen yang lebih kecil. Turbin dapat memanfaatkan air dengan putaran lebih cepat dan dapat memanfaatkan head yang lebih tinggi. (Untuk selanjutnya dikembangkan turbin impulse yang tidak membutuhkan putaran air).

Gambar 2.1.1. Macam Sudu Turbin (Boyle, Renewable Energi, 2nd edition, Oxford



University Press, 2003)

**2.2. Klasifikasi Turbin Air**

Berdasarkan jenis turbin, maka turbin air diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Berdasarkan Tekanan
2. Berdasarkan Tinggi Tekan
3. Berdasarkan Arah Aliran
4. Berdasarkan Debit
5. Berdasarkan Kecepatan Spesifik
6. Berdasarkan Efisiensi

Penjelasan mengenai klasifikasi turbin air adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan Tekanan

Turbin impuls atau turbin aksi disebut turbin tak bertekanan karena sudunya beroperasi pada tekanan atmosfer. Banyak turbin jenis impuls yang telah dibuat, namun yang paling banyak ditemukan pada saat sekarang adalah turbin Pelton dengan bentuk bucket yang terbelah tengah. Posisi poros dapat dibuat tegak (vertical) atau mendatar (horizontal) (Wibowo Paryatmo, 2007). Sedangkan ciri utama turbin jenis rekasi adalah bahwa sebagian tekanan jatuh terjadi pada sudu tetap dan sebagian lagi pada sudu berputar. Persamaan kontinuitas dapat digunakan pada perhitungan aliran melalui sudu berputar, karena seluruh fluida kerja memenuhi seluruh saluran sudu. Karena fluida masuk memenuhi seluruh seksi sudu, maka untuk daya dan putaran sama, diameter nominalnya relative lebih kecil dibandingkan dengan turbin impuls (Wibowo Paryatmo, 2007).

2. Berdasarkan Tinggi Tekan, Arah Aliran, Debit dan Kecepatan Spesifik

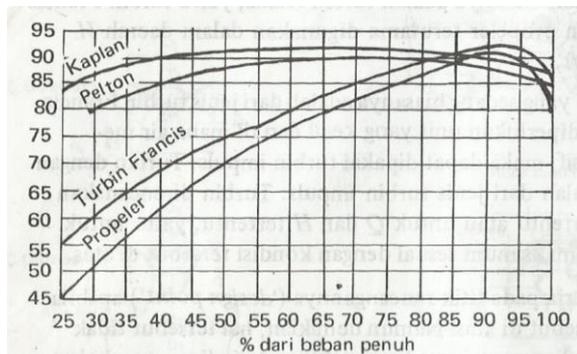
Tabel 2.2.1. Jenis Turbin Berdasarkan Klasifikasinya

Jenis Turbin	Tinggi Tekan (m)	Arah Aliran	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Kec. Spesifik (rpm)
Kaplan	2 – 50	Aksial	2 – 80	300 – 1100
Francis	10 – 350	Radial	0.2 – 20	60 – 400
Pelton	50 – 1300	Tangensial	0.02 – 7	4 – 70

3. Berdasarkan Efisiensi

Berdasarkan efisiensinya, masing-masing turbin mempunyai karakteristiknya sendiri, dapat dilihat pada gambar 2.2.1. berikut ini:

Gambar 2.2.1. Grafik Turbin berdasarkan



Persen Beban dan Efisiensinya (Wiranto Arismunandar, 1973)

### 2.3. Karakteristik Turbin

Karakteristik turbin digunakan untuk mengetahui kinerja turbin. Rumus yang digunakan untuk mengetahui karakteristik turbin Kaplan PLTA Kedungombo adalah sebagai berikut:

1. Head efektif

$$H_{ef} = p_{sc} - p_{dc} \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Efisiensi Turbin

$$\eta_t = \frac{P}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{ef} \cdot \eta_g} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

3. Daya Mekanik

$$P_m = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{ef} \cdot \eta_t \dots\dots\dots (2.3)$$

4. Kebutuhan Air Spesifik / Specific Water Consumption

$$SWC = \frac{Q}{P} \times \frac{3600}{1000} \dots\dots\dots (2.4)$$

## III. METODE PENELITIAN

### 3.1. Tempat dan Waktu Pengambilan Data

Penyusunan tugas akhir ini berdasarkan proses observasi pada saat Praktek Kerja Lapangan di PT Indonesia Power Sub Unit PLTA Kedungombo pada tanggal 2 Juli 2013 sampai dengan 2 Agustus 2013. Studi

kepustakaan dilakukan di perpustakaan Sub Unit PLTA Kedungombo. Data mekanik, manual book, dan log sheet didapat dari Control Room Sub Unit PLTA Kedungombo. Dikarenakan selama Praktek Kerja Lapangan unit hanya beroperasi selama dua kali, maka data yang digunakan adalah data Performance Test sebelum dilakukannya Annual Inspection dan data Performance Test sesudah dilakukannya Annual Inspection dimana terdapat variasi daya generator.

### 3.2. Parameter yang Dibutuhkan

Parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan dan analisa karakteristik turbin Kaplan antara lain:

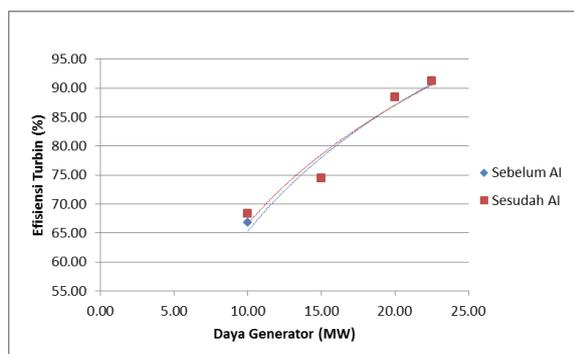
1. Daya Generator
2. Debit
3. Tekanan di Pipa Pesat
4. Tekanan di Draft Tube
5. Massa Jenis Air
6. Percepatan Gravitasi
7. Efisiensi Generator
8. Total Pemakaian Air
9. Hasil Keluaran Generator

## IV. ANALISA

Karakteristik turbin diketahui dari variasi daya generator, efisiensi turbin, debit aliran dan kebutuhan air spesifik. Dimana dalam kasus ini, Sub Unit PLTA Kedungombo menggunakan variasi daya generator untuk mendapatkan perbandingan pada daya minimal dan daya maksimal. Maka, karakteristik turbin kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo adalah sebagai berikut:

### 4.1. Berdasarkan Efisiensi Turbin

Dari data hasil perhitungan maka akan menghasilkan grafik karakteristik turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan efisiensi dan daya generator, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.1. Grafik Karakteristik Turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan Efisiensi Turbin

Dari gambar 4.1. diatas, dapat terlihat bahwa pada Performance Test sebelum Annual Inspection semakin besar daya generator pada generator, maka semakin besar pula efisiensi turbin. Pada keadaan daya generator 10 MW, menghasilkan efisiensi turbin sebesar 66.80 %, pada keadaan daya generator 15 MW menghasilkan efisiensi turbin sebesar 74.49 %, pada keadaan daya generator 20 MW menghasilkan efisiensi turbin sebesar 88.48 % dan pada keadaan daya generator maksimal 22.5 MW menghasilkan efisiensi turbin sebesar 91.25 %.

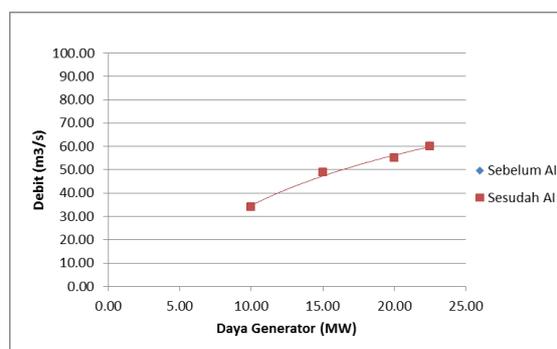
Pada keadaan sesudah Annual Inspection terlihat bahwa semakin besar daya generator pada generator, maka semakin besar pula efisiensi turbin. Pada keadaan daya generator 10 MW, menghasilkan efisiensi turbin sebesar 68.31 %, pada keadaan daya generator 15 MW menghasilkan efisiensi turbin sebesar 74.49 %, pada keadaan daya generator 20 MW menghasilkan efisiensi turbin sebesar 88.48 % dan pada keadaan daya generator maksimal 22.5 MW menghasilkan efisiensi turbin sebesar 91.25 %.

Pada grafik sebelum dan sesudah Annual Inspection terjadi kenaikan efisiensi turbin. Dimana pada Performance Test sebelum Annual Inspection efisiensi turbin pada daya generator 10 MW sebesar 66.80 % sedangkan pada Performance Test sesudah Annual Inspection efisiensi turbin meningkat menjadi 68.31 %. Pada keadaan daya generator lain, hasil efisiensi turbin tetap sama (tidak terjadi perubahan). Kenaikan

efisiensi turbin ini terjadi akibat adanya perbaikan pada turbin dan pengecatan pada turbin yang mengalami kavitasi, sehingga efisiensi turbin meningkat.

#### 4.2. Berdasarkan Debit Aliran

Dari data hasil perhitungan maka didapatkan grafik karakteristik turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan debit aliran dan daya generator. Yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.2. Grafik Karakteristik Turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan Debit Aliran

Dari gambar 4.2. terlihat bahwa pada Performance Test sebelum Annual Inspection pada daya generator 10 MW maka debit aliran yang dibutuhkan adalah 34 m<sup>3</sup>/s, pada daya generator 15 MW maka debit aliran yang dibutuhkan adalah 49 m<sup>3</sup>/s, pada daya generator 20 MW maka debit aliran yang dibutuhkan adalah 55 m<sup>3</sup>/s dan pada daya generator maksimal 22.5 MW maka debit yang dibutuhkan adalah 60 m<sup>3</sup>/s.

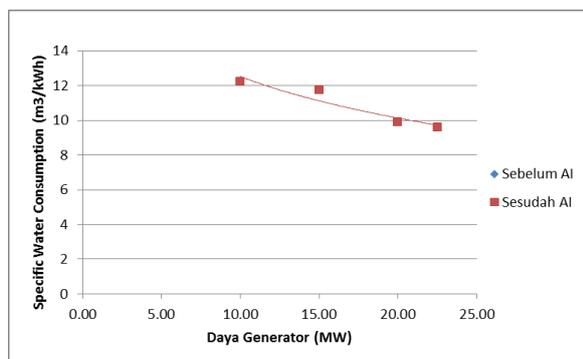
Pada Performance Test sesudah Annual Inspection pada daya generator 10 MW maka debit aliran yang dibutuhkan adalah 34 m<sup>3</sup>/s, pada daya generator 15 MW maka debit aliran yang dibutuhkan adalah 49 m<sup>3</sup>/s, pada daya generator 20 MW maka debit aliran yang dibutuhkan adalah 55 m<sup>3</sup>/s dan pada daya generator maksimal 22.5 MW maka debit yang dibutuhkan adalah 60 m<sup>3</sup>/s.

Terlihat dari grafik diatas, bahwa semakin besar daya generator pada generator maka semakin besar pula debit aliran yang dibutuhkan untuk memutar turbin. Pada keadaan sebelum dan sesudah Annual Inspection tidak terjadi perubahan pada

debit, hal ini karena dengan daya generator yang sama maka debit yang dibutuhkan akan tetap sama.

#### 4.3. Berdasarkan Kebutuhan Air Spesifik

Dari data hasil perhitungan maka didapatkan grafik karakteristik turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan kebutuhan air spesifik-nya. Yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.3. Grafik Karakteristik Turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan Kebutuhan Air Spesifik

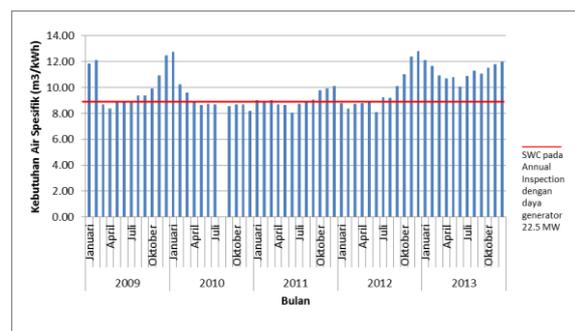
Dari gambar 4.3. terlihat bahwa pada Performance Test sebelum Annual Inspection pada daya generator 10 MW maka kebutuhan air spesifiknya adalah 12.24 m<sup>3</sup>/kWh, pada daya generator 15 MW maka kebutuhan air spesifiknya adalah 11.76 m<sup>3</sup>/kWh, pada daya generator 20 MW maka kebutuhan air spesifiknya adalah 9.9 m<sup>3</sup>/kWh dan pada daya generator maksimal 22.5 MW maka kebutuhan air spesifiknya adalah 9.6 m<sup>3</sup>/kWh.

Pada Performance Test sesudah Annual Inspection pada daya generator 10 MW maka kebutuhan air spesifiknya adalah 12.24 m<sup>3</sup>/kWh, pada daya generator 15 MW maka kebutuhan air spesifiknya adalah 11.76 m<sup>3</sup>/kWh, pada daya generator 20 MW maka kebutuhan air spesifiknya adalah 9.9 m<sup>3</sup>/kWh dan pada daya generator daya generator maksimal 22.5 MW maka kebutuhan air spesifiknya adalah 9.6 m<sup>3</sup>/kWh.

Terlihat dari grafik diatas, bahwa semakin besar daya generator pada generator

maka semakin kecil pula kebutuhan airnya untuk memutar turbin untuk menghasilkan daya 1 kWh. Pada keadaan sebelum dan sesudah Annual Inspection tidak terjadi perubahan pada kebutuhan air spesifik, hal ini karena dengan daya generator yang sama maka debit yang dibutuhkan akan tetap sama dan mengakibatkan kebutuhan air spesifik akan tetap sama.

Berdasarkan log sheet operasi bulanan tahun 2009 – 2013 maka akan didapatkan nilai kebutuhan air spesifik sebagai berikut:



Gambar 4.4. Grafik Karakteristik Turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan Kebutuhan Air Spesifik selama 5 tahun

Sub Unit PLTA Kedungombo merupakan PLTA peak load. Sehingga selama beroperasi selalu menggunakan daya generator maksimal (22.5 MW). Dari grafik diatas, garis merah merupakan nilai kebutuhan air spesifik turbin untuk daya generator maksimal dengan head tetap pada hasil performance test, sedangkan grafik berwarna biru merupakan nilai kebutuhan air spesifik pada log sheet harian dimana nilai head mengalami fluktuasi. Terlihat bahwa kebutuhan air spesifik selama PLTA beroperasi mengalami kenaikan dan penurunan, hal ini terjadi karena kebutuhan air spesifik juga dipengaruhi oleh elevasi air waduk (head). Dimana semakin tinggi elevasi air waduk (head), maka semakin kecil nilai kebutuhan air spesifik, karena tekanan air akibat elevasi besar sehingga dengan air yang sedikit dapat menghasilkan energi keluaran generator yang sama.

Kebutuhan air spesifik cenderung tinggi pada awal dan akhir tahun. Hal ini terjadi karena curah hujan yang tinggi mengharuskan PLTA beroperasi terus menerus agar elevasi waduk tidak mencapai titik banjir, sehingga akibat seringnya beroperasi, elevasi air waduk semakin turun mengakibatkan kebutuhan air spesifik menjadi besar. Pada pertengahan tahun, kebutuhan air spesifik cenderung kecil akibat jaranganya PLTA beroperasi sehingga elevasi air waduk stabil pada elevasi yang baik sehingga ketika PLTA beroperasi kebutuhan air spesifiknya kecil.

## V. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa tulisan ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan efisiensinya cenderung meningkat sesuai dengan peningkatan daya generator. Semakin besar daya generator pada generator (10 MW hingga 22.5 MW), maka semakin besar pula efisiensi turbin-nya (66.80 % hingga 91.25%). Terjadi kenaikan efisiensi pada keadaan sesudah Annual Inspection, karena adanya perbaikan pada turbin sehingga mengakibatkan efisiensi turbin meningkat.
2. Karakteristik turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan debitnya cenderung meningkat sesuai dengan peningkatan daya generator. Semakin besar daya generator pada generator (10 MW hingga 22.5 MW), maka semakin besar pula debit yang digunakan untuk memutar turbin ( $34 \text{ m}^3/\text{s}$  hingga  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Tidak adanya perbedaan debit pada saat sebelum dan sesudah Annual Inspection karena dengan daya generator yang sama maka debit yang dibutuhkan akan tetap sama.
3. Karakteristik turbin Kaplan Sub Unit PLTA Kedungombo berdasarkan kebutuhan air spesifiknya cenderung menurun sesuai dengan peningkatan daya generator. Semakin besar daya generator pada generator (10 MW

hingga 22.5 MW), maka semakin kecil kebutuhan air spesifiknya ( $12.24 \text{ m}^3/\text{kWh}$  hingga  $9.6 \text{ m}^3/\text{kWh}$ ). Tidak adanya perbedaan kebutuhan air spesifik pada saat sebelum dan sesudah Annual Inspection karena dengan daya generator yang sama maka debit yang dibutuhkan akan tetap sama hingga mengakibatkan kebutuhan air spesifiknya akan tetap sama.

4. Kebutuhan air spesifik pada log sheet dengan keadaan maksimal pada performance test mengalami perbedaan karena pengaruh elevasi air setiap bulannya sehingga kebutuhan air spesifik pada log sheet tidak selalu sama walaupun dengan beban yang sama (22.5 MW)

## DAFTAR PUSTAKA

- ..... Data Teknik PT. Indonesia Power Sub Unit PLTA Kedungombo UPB Mrica
- ..... <http://learnengineering.org> (11 Juni 2014 8:04)
- Arismunandar, Wiranto. 1998. *Penggerak Mula Turbin*. Bandung: ITB
- Boyle. 2003. *Renewable Energy, 2<sup>nd</sup> edition*. Oxford University Press.
- Mandekar, MM dan Sharma, KN. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: UI - Press
- Muis, Abdul. Tidak diketahui. *Turbin Air Pada PLTA Larona*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako
- Paryatmo, Wibowo. 2007. *Turbin Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu