

## **Study on Pressure Distribution in the Blade Passage of the Francis Turbine.**

**Djoko Sutikno, Rudy Soenoko, Pratikto, Fery Putra PT, Ponco Muchamad Nur Cahyo**  
Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya  
Jl. MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
Email : [bp\\_djoko@ub.ac.id](mailto:bp_djoko@ub.ac.id)

### **Abstract**

*Pressure distribution along a series of guide and runner blade passages of the Francis turbine are useful to be known in order to predict flowing water pressure through the passages whether the pressure under the vapor pressure or not. Furthermore, when at any section of the passages the water pressure under the vapor pressure a cavitations will occur. In this study, the pressure of flowing water throughout the blade passages were measured at four sections along the passages by using four mercury deflection manometers and conditions of the flowing water were recorded by using a stroboscope and camera. The turbine was operated at 5 different heads with the same guide blade openings. Water pressures at the inlet and outlet turbine were measured by a Bourdon manometer of each. The flow rates were measured by using an orifice plate equipped with a mercury deep well manometer. The forces were measured by using a prony brake and turbine rotations were detected by using a digital tachometer. The result of the research state that head drop on the guide and runner blades, and turbine efficiency changing as the head, flow rate and turbine speed changed. The head drop on the runner was greater than that on the guide blade. Cavitations were not occurred because the lower pressure along the passages were still higher than vapor pressure. Water pressure decreased from the guide blade inlet to the runner outlet.*

**Keywords** : Francis turbine, Pressure distribution, guide and runner passages, head drop, cavitations, efficiency.

### **PENDAHULUAN**

Pada turbin Francis perubahan energi potensial air menjadi energi mekanis melalui tahapan dengan mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, yang diikuti penurunan tekanan, dan selanjutnya energi kinetik diubah menjadi energi mekanik pada poros rotor (*runner*). Perubahan energi potensial menjadi energi kinetik sebagian besar terjadi dalam *nozzle* (*guide blade*) dan sebagian lagi terjadi dalam lorong *runner* [1].

Penurunan tekanan yang terlalu besar pada lorong dapat menyebabkan tekanan dalam lorong sangat rendah, bila tekanan dalam lorong hingga mencapai tekanan di bawah tekanan uap jenuh air maka kavitasi terbentuk dalam aliran tersebut [2,3]. Terjadinya kavitasi dalam lorong sudu dapat menyebabkan kerusakan akut pada dinding *lorong sudu akibat proses korosi hasil persinggungan antara uap dan dinding*

*lorong*. Selain itu terjadinya kavitasi dapat mengakibatkan getaran pada *runner* dan menurunkan daya mekanis pada poros turbin [2,4]. Penurunan daya mekanis dikarenakan uap yang terbentuk mengambil ruang yang semestinya terisi oleh air, yang demikian ini dikarenakan kavitasi mengurangi masa aliran air yang seharusnya menghantam *runner* [2,5]. Selanjutnya akibat penurunan tekanan yang sangat tinggi dalam lorong *runner* ini berpengaruh terhadap efisiensi turbin.

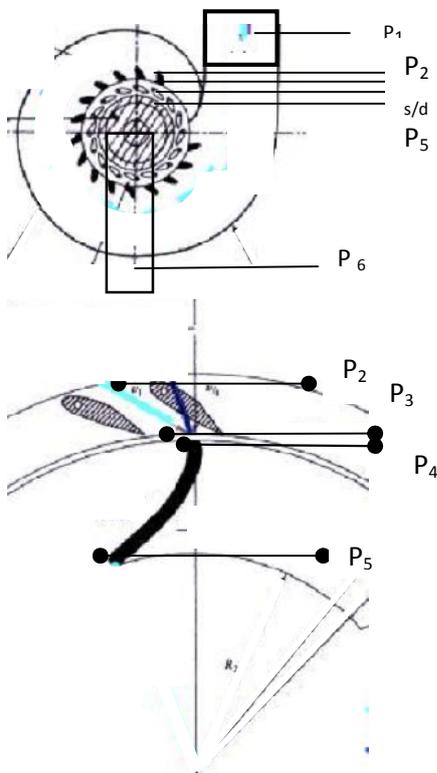
Pada penelitian ini yang dimaksud dengan Lorong sudu adalah lorong sudu tetap (*guide blade*) dan lorong sudu gerak (*runner*). Pengujian turbin dilakukan pada *head* 13, 14, 15, 16 dan 17 meter, untuk putaran turbin 1000 rpm dan 1500 rpm.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mendapatkan :

1. Grafik hubungan antara:
  - a) distribusi tekanan terhadap variasi *head drop* dan kapasitas aliran
  - b) *Head drop* pada sudu dan *head* turbin
  - c) Efisiensi dan *head* turbin
2. informasi apakah pada lorong sudu terjadi kavitasi dan daerah aman pengoperasian turbin air Francis.

**METODE PENELITIAN**

Distribusi tekanan dalam lorong sudu diukur dengan menggunakan manometer defleksi, dan tekanan masuk serta keluar turbin diukur menggunakan manometer Bourdon. Flowrate air masuk turbin diukur menggunakan *orifice flowmeter*. Gaya Torsi diukur menggunakan *Prony Brake*. Variasi putaran turbin ditera menggunakan *hand held digital tachometer* dan kondisi aliran air dalam lorong sudu direkam dengan *stroboscope* dan *camera*.



Gambar 1. Seksi Pengukuran Tekanan

Keterangan:

- $P_1$  = Tekanan masuk turbin
- $P_6$  = Tekanan keluar turbin
- $P_{2 \text{ s/d } 5}$  = Tekanan pada penampang (seksi) lorong sudu

*Head drop* turbin

$$\Delta H_T = P_1 - P_6$$

*Head drop* *guide blade*

$$\Delta H_{GB} = P_2 - P_3$$

*Head drop* *runner*

$$\Delta H_{SJ} = P_3 - P_5$$

**Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Brawijaya.

**Variabel Penelitian**

- a. Variabel Bebas : *Head*
- b. Variabel Terkontrol : Putaran turbin
- c. Variabel Terikat : Distribusi tekanan, *head drop* pada *guide blade*, *head drop* pada *runner* dan efisiensi turbin.

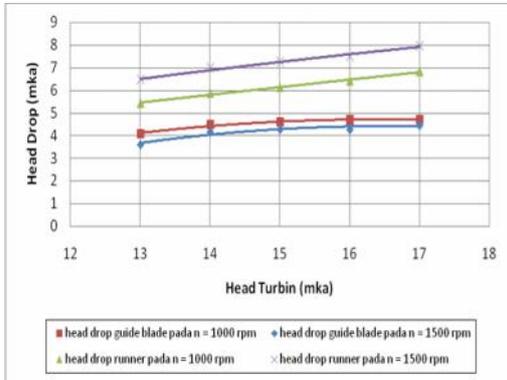
**Instalasi Penelitian**

Instalasi penelitian yang digunakan satu unit *test bed* turbin Francis.



Gambar 2. Instalasi Penelitian

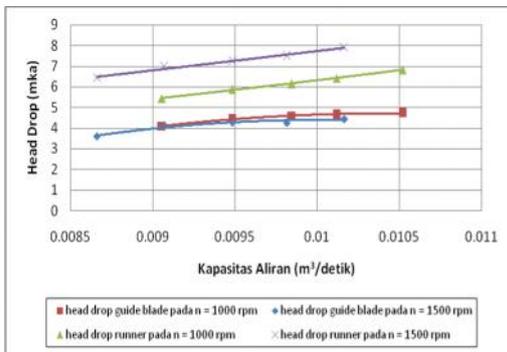
**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**  
**Hubungan antara Head Turbin terhadap Head Drop Lorong Sudu**



Gambar 3. Grafik hubungan antara head turbin terhadap head drop lorong sudu

Pada gambar 3 di atas menunjukkan head drop pada guide blade dan runner meningkat dengan meningkatnya head turbin. Head drop pada guide blade lebih rendah daripada head drop pada runner. Head drop pada guide blade menurun dengan meningkatnya putaran, sedangkan head drop pada runner meningkat dengan meningkatnya putaran. Naiknya kedua head drop tersebut dikarenakan naiknya kecepatan aliran dalam lorong yang menurut hukum kekekalan energi merupakan fungsi dari head drop turbin.

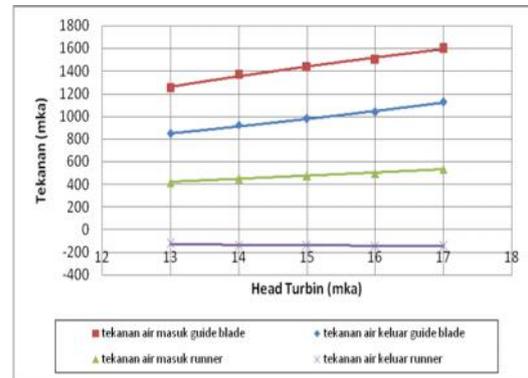
**Hubungan antara Kapasitas Aliran terhadap Head Drop Lorong Sudu**



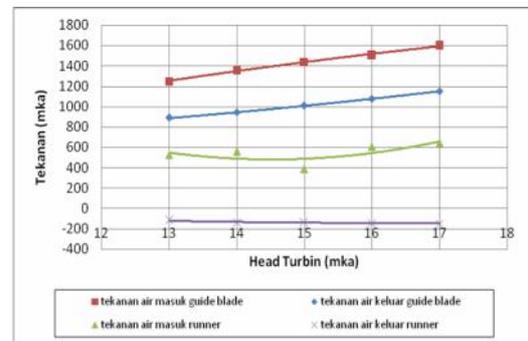
Gambar 4. Grafik hubungan antara kapasitas aliran terhadap head drop lorong sudu

Grafik pada gambar 4. di atas menunjukkan bahwa head drop pada guide blade dan head drop pada runner meningkat dengan meningkatnya kapasitas aliran. Kenaikan kedua head drop dalam lorong tersebut konsisten dengan pernyataan penjelasan gambar 3 bahwa head drop turbin akan menyebabkan kenaikan kapasitas aliran.

**Distribusi Tekanan pada Lorong Sudu terhadap Head Turbin**



Gambar 5. Grafik hubungan antara distribusi tekanan terhadap head turbin pada putaran 1000 rpm

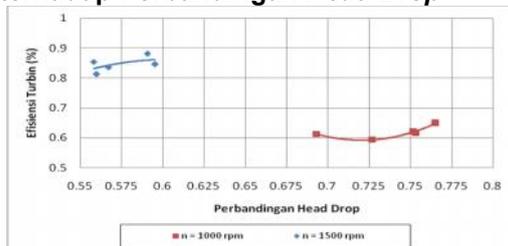


Gambar 6. Grafik hubungan antara distribusi tekanan terhadap head turbin pada putaran 1500 rpm

Berdasarkan gambar 5 dan 6 dapat dinyatakan bahwa distribusi tekanan meningkat dengan meningkatnya head drop turbin. Tekanan terbesar terjadi pada kondisi air masuk guide blade, terus menurun hingga mencapai yang terkecil pada bagian sisi keluar runner. Hal yang demikian ini konsisten terhadap prinsip kerja turbin reaksi dimana terjadi

penurunan tekanan fluida kerja baik didalam lorong *guide blade* maupun didalam lorong *runner blade*.

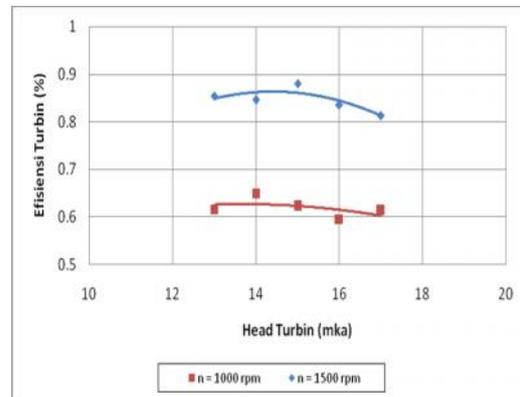
**Hubungan antara Efisiensi Turbin terhadap Perbandingan Head Drop**



Gambar 7 Grafik hubungan antara efisiensi turbin terhadap perbandingan head drop

Dari grafik gambar 7 dapat dinyatakan bahwa efisiensi yang dicapai pada putaran turbin 1500 rpm lebih tinggi dari pada efisiensi yang dicapai pada putaran turbin 1000 rpm, lengkung efisiensi pada putaran 1500 rpm cenderung melengkung ke bawah, sedangkan untuk putaran 1000 rpm cenderung melengkung ke atas. Efisiensi maksimum untuk putaran 1500 rpm dicapai pada perbandingan head drop sekitar 0,58, sedangkan untuk putaran 1000 rpm efisiensi maksimum dicapai pada perbandingan head drop sekitar 0,76. Efisiensi turbin untuk putaran 1500 rpm yang lebih tinggi dibandingkan terhadap efisiensi turbin yang dicapai pada putaran 1000 rpm, hal ini memberikan pengertian bahwa pada putaran operasi turbin 1500 rpm menghasilkan putaran spesifik operasi turbin lebih mendekati putaran spesifik disain turbin dibandingkan putaran spesifik operasi turbin yang dihasilkan pada putaran operasi turbin 1000 rpm.

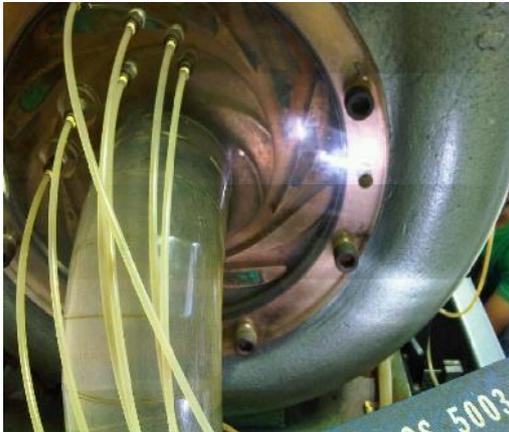
**Hubungan antara Efisiensi terhadap Head Turbin**



Gambar 8 Grafik hubungan antara efisiensi terhadap head turbin

Gambar 8 di atas juga menunjukkan bahwa efisiensi yang dicapai pada putaran turbin 1500 rpm lebih tinggi daripada efisiensi yang dicapai pada putaran turbin 1000 rpm (konsisten dengan gambar 7) dan efisiensi pada putaran 1000 rpm cenderung lebih stabil terhadap perubahan head turbin dibandingkan dengan efisiensi yang dicapai pada putaran 1500 rpm. Efisiensi maksimum pada putaran 1500 rpm terjadi pada head 15 meter, sedangkan pada putaran 1000 rpm efisiensi maksimum terjadi pada head 14 meter. Hal yang demikian konsisten terhadap penjelasan pernyataan gambar 7 sehubungan dengan kecepatan spesifik operasi. Sedangkan dalam hal keandalan terhadap perubahan pembebanan, pengoperasian turbin pada 1000 rpm menunjukkan karakter yang lebih andal dari pada karakter pengoperasian turbin pada putaran 1500 rpm. Hal yang demikian ditunjukkan kurva karakteristik efisiensi turbin yang lebih landai pada putaran 1000 rpm dibandingkan pada putaran 1500 rpm.

### Kondisi Aliran melalui Lorong Sudu



Gambar 9. Kondisi aliran melalui lorong sudu

Gambar 9 di atas menunjukkan bahwa kondisi aliran melalui lorong sudu tidak terjadi kavitas walaupun pada tekanan paling rendah (-148 cm kolom air). Jadi kondisi kavitas tidak dicapai pada pengoperasian baik pada putaran 1000 rpm maupun 1500 rpm untuk head drop turbin 12 mka sampai 17 mka.

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

- a). Distribusi tekanan dalam lorong sudu dipengaruhi oleh *head* turbin
- b). Perbandingan antara *head drop* pada *guide blade* dan *head drop* pada *runner* dipengaruhi oleh putaran dan *head* turbin.
- c). Efisiensi meningkat dengan meningkatnya *head* dan putaran turbin, efisiensi pada putaran 1000 rpm lebih stabil dari pada efisiensi pada putaran 1500 rpm.
- d). Pengoperasian turbin pada *head drop* 12 mka sampai dengan 17 mka untuk putaran 1000 rpm 1500 rpm aman dikarenakan tidak terjadi kavitas.

#### Saran

Untuk keperluan pengoperasian dan disain direkomendasikan adanya penelitian mengenai perbandingan kecepatan terhadap efisiensi turbin

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Warnick C.C; Mayo JR. P.E; Carson J.L. and Sheldon P.E, *Hydropower Engineering*, Prentice-Hall Inc, Englewood.
- [2] Djoko Sutikno, "Microhydro Power Systems in Indonesia, Report on Field Investigation 1988-1989", University of Technology, Sydney; IDP, Sydney, March 1989, 53 pp.
- [3] Giles R.V.,1977,*Fluid Mechanics and Hydraulics*, Second Edision, McGrawhill, New York.
- [4] Creager W.P and Justin J.D. ,1963, *Hydroelectric Handbook*, Second Edition, Fourth Printing, John Wiley & Sons Inc., New York, Januari, pp. 834-836
- [5] Vennard J.K, 1961,*Elementary Fluid Mechanics*, Fourth Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.