

# Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Air Memanfaatkan Teknologi Sistem Pipa Kapiler

Yogo Pratisto, Hari Prastowo, Soemartoyo WA

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*e-mail:* yogopratiso@gmail.com, hariprastowo@gmail.com

Skripsi yang berjudul “Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Air Memanfaatkan Teknologi Sistem Pipa Kapiler” membahas tentang analisa dan percobaan tentang proses naiknya fluida dari bawah menuju ke atas dan pembuatan prototipe pembangkit listrik tenaga air. Proses naiknya fluida ini merujuk pada proses transportasi pada tumbuhan yang terjadi pada akar, batang dan daun. Pada percobaan yang telah dilakukan dengan memvariasikan ketinggian (75 cm, 90 cm, 105 cm, 120 cm, 135 cm, 150, 165 cm dan 180 cm) dan diameter pipa ( $\Phi$  2 mm,  $\Phi$  6 mm,  $\Phi$  8 mm) maka didapatkan hasil percobaan berupa debit, kecepatan fluida didalam pipa dan laju aliran massa fluida kemudian dilakukan perhitungan daya listrik pada alternator. Setelah percobaan dan analisa data telah dilakukan maka dilakukan perancangan prototype pembangkit listrik tenaga air.

**Kata Kunci**—Pipa Kapiler, Naiknya Fluida, Tinggi Pipa Kapiler, Diameter Pipa Kapiler, Pembangkit Listrik.

## PENDAHULUAN

**E**NERGI listrik merupakan kebutuhan utama bagi manusia. Energi Listrik digunakan dalam kehidupan masyarakat yang hanya berkapasitas rendah sampai ke dunia Industri dalam jumlah yang sangat besar. Namun penggunaan energi listrik yang berasal dari Pembangkit Listrik Negara (PLN) berbahan bakar minyak, batubara dan gas alam. Bahan bakar tersebut merupakan energi fosil dimana energi tersebut merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui dan akan habis jika terus digunakan.

Banyak sekali inovasi yang dibuat untuk menciptakan sumber energi yang dapat diperbaharui seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Suara (PLTS).

Inovasi sumber energi listrik yang akan dibuat pada Tugas Akhir ini adalah pembuatan prototipe pembangkit listrik yang memanfaatkan naiknya fluida melalui pipa kapiler di batang tumbuhan yang aliran airnya berasal dari akar menuju batang, mengalir naik terus menuju daun serta kembali lagi dari daun menuju ke bawah tanah sehingga sifat fluidanya berotasi. Dari peristiwa naik dan turunnya air pada tumbuhan, maka dibuatkan protipe yang mengacu pada proses naiknya air ke atas secara natural. Air yang berada di atas ditampung ke bak kemudian disalurkan untuk menggerakkan baling - baling pada generator sehingga menghasilkan listrik

## METHODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan yang berjudul “Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Air

Memanfaatkan Teknologi Sistem Pipa Kapiler adalah sebagai berikut

### A. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Dimulai dengan mengidentifikasi dan merumuskan masalah mengenai pengerjaan yang akan dilakukan dan juga batasan masalahnya. Pengidentifikasi dan perumusan ini dilakukan untuk menyederhanakan masalah sehingga memudahkan pengerjaan dan penyelesaian penulisan skripsi.

### B. Studi Literatur

Pengumpulan bahan pustaka seperti proses yang terjadi pada pipa kapiler dan fluida cair yang bersumber dari buku, artikel, paper dan internet sedangkan tempat pencarian literatur mengenai desain prototipe pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan teknologi sistem pipa kapiler di beberapa tempat, diantaranya Perpustakaan Pusat ITS, Ruang Baca FTK, Ruang Baca Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK.

### C. Penentuan Spesifikasi Teknis Komponen

Pada tahapan ke tiga ini, sebelum melakukan percobaan dan pembuatan alat maka dilakukan penentuan spesifikasi komponen untuk dapat menunjang percobaan dan perancangan yang akan dilakukan.

### D. Pembuatan Model Percobaan

Pembuatan prototipe percobaan ini mengacu pada proses naiknya fluida pada tumbuhan mulai dari akar lalu menuju ke batang dan naik ke atas menuju ke daun. Proses transportasi tumbuhan ini disebabkan oleh tekanan akar, daya kapilaritas batang dan daya hisap daun. Tiga proses inti inilah maka dibuatkan perancangan sebuah alat yang mengacu pada proses transportasi tumbuhan tersebut sehingga fluida dapat naik ke atas secara natural tanpa adanya energi tambahan seperti pompa.

### E. Percobaan

Pelaksanaan dilakukan di dalam ruangan sehingga suhunya merupakan suhu ruang 27°C. Langkah - langkah percobaan sebagai berikut

1. Mempersiapkan alat ukur seperti penggaris, busur, *stopwatch*, tachometer dan multimeter.
2. Variasi jumlah dan volume dari bak hisap, bak penampung fluida.
3. Variasi ukuran panjang dan diameter pipa kapiler.
4. Karakteristik dari fluida yang digunakan.



Gambar 1 Alat Percobaan

**F. Pengumpulan Data Percobaan**

Setelah dilakukan percobaan maka percobaan yang berhasil karena fluida naik ke atas secara natural diambil data - data percobaan seperti

1. Diameter pipa kapiler
2. Ketinggian pipa kapiler
3. Jenis fluida
4. Debit fluida
5. Jumlah dan ketinggian bak hisap

Dari data - data tersebut maka didapatkan alat percobaan yang terbaik untuk digunakan dalam perancangan alat Pembangkit Listrik Tenaga Air.

**G. Analisa Data Percobaan**

Pada tahapan analisa data percobaan, data-data yang telah dikumpulkan dan prototipe yang sudah dirancang nantinya akan dianalisa sesuai teori yang ada.

**H. Perancangan Alat**

Setelah percobaan selesai maka dilakukan perancangan alat Pembangkit Listrik. Desain peralatan sebagai berikut

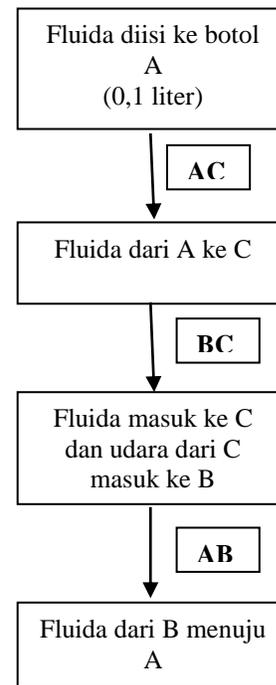
**I. Pengumpulan Data Perancangan**

Setelah dilakukan perancangan alat Pembangkit Listrik Tenaga Air maka diambil data - data percobaan seperti

1. Jumlah model percobaan yang dibutuhkan
2. Daya yang dihasilkan

**J. Analisa Data Perancangan**

Pada tahapan analisa data perancangan, data-data yang telah dikumpulkan dan prototipe yang sudah dirancang nantinya akan dianalisa sesuai teori yang ada.



Tabel 1 Aliran fluida percobaan

**K. Kesimpulan dan Saran**

Pada tahapan kesimpulan ini diharapkan dapat menjawab tujuan dari percobaan yang telah dilakukan. Kemudian diberikan pula saran sesuai desain yang ada. Maka dengan saran tersebut diharapkan dapat memperbaiki penelitian serupa selanjutnya.

**ANALISA DATA**

**A. Analisa Alat Percobaan**

Alat percobaan yang fluidanya dapat naik ke atas dan kembali lagi ke bawah secara natural tanpa adanya pompa berdasarkan percobaan “Helon Fountain” (Lihat Gambar 1).

Pada perancangan percobaan diatas, botol A, B dan C disusun seperti diatas dengan volume botol A dan B sebesar 1,5 liter sedangkan botol C sebesar 0,75 liter. Botol A sebagai reservoir sehingga botol A berhubungan dengan udara luar dengan tekanan 1 atm. Botol B berisi air dengan volume fluida air 1 liter dan udara 0,5 liter sedangkan botol C berisi udara dengan volume 1,5 liter. Aliran fluida di perancangan percobaan ini sebagai berikut (Lihat Tabel 1)

**B. Pengambilan Data Ketinggian Selang, Diameter Selang, Jenis Fluida, Debit, Kecepatan Fluida di Pipa dan Laju Aliran Massa**

Proses pengambilan data untuk ketinggian selang menggunakan penggaris dan waktu menggunakan stopwatch. Jenis fluida yang digunakan adalah air dan oli (massa jenis 1000 kg/ m<sup>3</sup> dan massa jenis oli 1200 kg/ m<sup>3</sup>). Setiap pengambilan pada alat percobaan dilakukan secara teliti dan berulang – ulang agar mendapatkan hasil data yang akurat. Sedangkan untuk mendapatkan debit menggunakan persamaan berikut

$$Q = \frac{V}{t}$$

No	Φ	Tinggi Output (ho)	Waktu (t)	Debit (Q)	Kecepatan	ṁ
1	2	75	884	1,13 x 10 <sup>-6</sup>	0,36	1,13 x 10 <sup>-3</sup>
2	2	90	978	1,02 x 10 <sup>-6</sup>	0,33	1,02 x 10 <sup>-3</sup>
3	2	105	1043	0,96 x 10 <sup>-6</sup>	0,31	0,95 x 10 <sup>-3</sup>
4	2	120	1145	0,87 x 10 <sup>-6</sup>	0,28	0,87 x 10 <sup>-3</sup>
5	2	135	1232	0,81 x 10 <sup>-6</sup>	0,26	0,81 x 10 <sup>-3</sup>
6	2	150	1353	0,74 x 10 <sup>-6</sup>	0,24	0,73 x 10 <sup>-3</sup>
7	2	165	1431	0,7 x 10 <sup>-6</sup>	0,22	0,69 x 10 <sup>-3</sup>
8	2	180	-	-	-	-

Tabel 2 Pada Diameter 2 mm

No	Φ	Tinggi Output (ho)	Waktu (t)	Debit (Q)	Kecepatan	ṁ
1	6	75	109	9,17 x 10 <sup>-6</sup>	0,32	9,17 x 10 <sup>-3</sup>
2	6	90	132	7,58 x 10 <sup>-6</sup>	0,27	7,57 x 10 <sup>-3</sup>
3	6	105	144	6,94 x 10 <sup>-6</sup>	0,25	6,94 x 10 <sup>-3</sup>
4	6	120	169	5,92 x 10 <sup>-6</sup>	0,21	5,91 x 10 <sup>-3</sup>
5	6	135	-	-	-	-
6	6	150	-	-	-	-
7	6	165	-	-	-	-
8	6	180	-	-	-	-

Tabel 3 Pada Diameter 6 mm

No	Φ	Tinggi Output (ho)	Waktu (t)	Debit (Q)	Kecepatan	ṁ
1	8	75	45	22,2 x 10 <sup>-6</sup>	0,44	2,2 x 10 <sup>-2</sup>
2	8	90	55	18,1 x 10 <sup>-6</sup>	0,36	1,8 x 10 <sup>-2</sup>
3	8	105	61	16,4 x 10 <sup>-6</sup>	0,33	1,6 x 10 <sup>-2</sup>
4	8	120	-	-	-	-
5	8	135	-	-	-	-
6	8	150	-	-	-	-
7	8	165	-	-	-	-
8	8	180	-	-	-	-

Tabel 4 Pada Diameter 8 mm

Dimana,

- Q = debit (m<sup>3</sup>/s)
- V = volume (m<sup>3</sup>)
- t = waktu (sekon)

Kemudian dilakukan perhitungan kecepatan fluida di dalam pipa kapiler. Persamaannya sebagai berikut

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dimana,

- v = kecepatan fluida di dalam pipa (m/s)
- Q = debit (m<sup>3</sup>/s)
- A = luas penampang pipa (m<sup>2</sup>) = πr<sup>2</sup>

Setelah mengetahui nilai dari kecepatan di dalam pipa kapiler yang berhubungan dengan debit fluida dan luas permukaan pipa kemudian dilakukan perhitungan laju aliran massa fluida. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui berapa banyak massa yang mengalir pada kecepatan tertentu yang akan menabrak sudu pada turbin. Laju aliran massa merupakan hasil perkalian antara massa fluida (air atau oli), luas penampang pipa dan kecepatan fluida di dalam pipa sehingga persamaan laju aliran massa fluida sebagai berikut

$$\dot{m} = \rho_{fluida} \cdot A \cdot v$$

dimana,

- ṁ = laju aliran massa fluida (kg/s)
- ρ = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)
- A = luas permukaan pipa (m<sup>2</sup>)
- v = kecepatan fluida (m/s)

data percobaan dan analisa data sebagai berikut (Lihat Tabel 2, 3, dan 4).

No	Φ	Tinggi Output (ho)	Waktu (t)	Debit (Q)	Kecepatan	ṁ
1	2	75	1239	0,81 x 10 <sup>-6</sup>	0,26	1,21 x 10 <sup>-3</sup>
2	2	90	1625	0,62 x 10 <sup>-6</sup>	0,2	0,92 x 10 <sup>-3</sup>
3	2	105	1949	0,51 x 10 <sup>-6</sup>	0,16	0,76 x 10 <sup>-3</sup>
4	2	120	2351	0,43 x 10 <sup>-6</sup>	0,14	0,63 x 10 <sup>-3</sup>
5	2	135	2778	0,36 x 10 <sup>-6</sup>	0,11	0,54 x 10 <sup>-3</sup>
6	2	150	-	-	-	-
7	2	165	-	-	-	-
8	2	180	-	-	-	-

Tabel 5 Pada Diameter 2 mm pada Fluida Oli

No	Φ	Tinggi Output (ho)	Waktu (t)	Debit (Q)	Kecepatan	ṁ
1	2	75	178	5,62 x 10 <sup>-6</sup>	0,2	8,42 x 10 <sup>-3</sup>
2	2	90	258	3,88 x 10 <sup>-6</sup>	0,14	5,81 x 10 <sup>-3</sup>
3	2	105	322	3,11 x 10 <sup>-6</sup>	0,11	4,65 x 10 <sup>-3</sup>
4	2	120	-	-	-	-
5	2	135	-	-	-	-
6	2	150	-	-	-	-
7	2	165	-	-	-	-
8	2	180	-	-	-	-

Tabel 6 Pada Diameter 6 mm pada Fluida Oli

No	Φ	Tinggi Output (ho)	Waktu (t)	Debit (Q)	Kecepatan	ṁ
1	2	75	83	12 x 10 <sup>-6</sup>	0,24	1,8 x 10 <sup>-2</sup>
2	2	90	107	9,35 x 10 <sup>-6</sup>	0,19	1,4 x 10 <sup>-2</sup>
3	2	105	-	-	-	-
4	2	120	-	-	-	-
5	2	135	-	-	-	-
6	2	150	-	-	-	-
7	2	165	-	-	-	-
8	2	180	-	-	-	-

Tabel 7 Pada Diameter 8 mm pada Fluida Oli

Untuk percobaan dan analisa pada fluida jenis oli dengan viskositas dan massa jenis fluida yang lebih besar daripada air adalah sebagai berikut (Lihat Tabel 5-7 )

Setelah data percobaan maka didapatkan hasil hubungan antara ketinggian pipa dengan debit, kecepatan dan laju aliran massa sebagai berikut (Lihat Grafik 1 dan 2).

### C. Perhitungan Daya Listrik

Setelah mengetahui pengaruh ketinggian terhadap diameter pipa, debit, kecepatan dan *mass flowrate* maka selanjutnya dilakukan perhitungan daya listrik yang mengacu pada jurnal "Pengaruh Jarak dan Ukuran Nozzle pada Putaran Sudu terhadap Daya Listrik Turbin Pelton" oleh Dr. Sri Purnomo Sari, S.T, M.T dan Rendi Yusuf. Data sebagai berikut (Lihat Tabel 8)

Sebelum dilakukan perhitungan daya, maka dilakukan pengukuran tinggi minimum dari tinggi input (h input) menuju ke tinggi output (h out). Maka didapatkan,

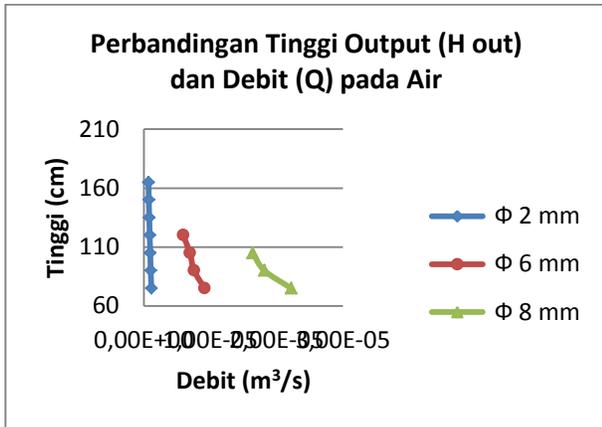
- a. Jarak nozzle terhadap sudu turbin peleton adalah 9 cm.
- b. Diameter sudu turbin peleton adalah 20 cm, maka jari – jarinya sebesar 10 cm.
- c. Tebal daun sudu sebesar 1 cm
- d. Bak penampung air mempunyai ketinggian 10 cm
- e. Bak penampung air dari turbin mempunyai ketinggian 5 cm.

Total minimum ketinggian sebesar 200 cm sehingga

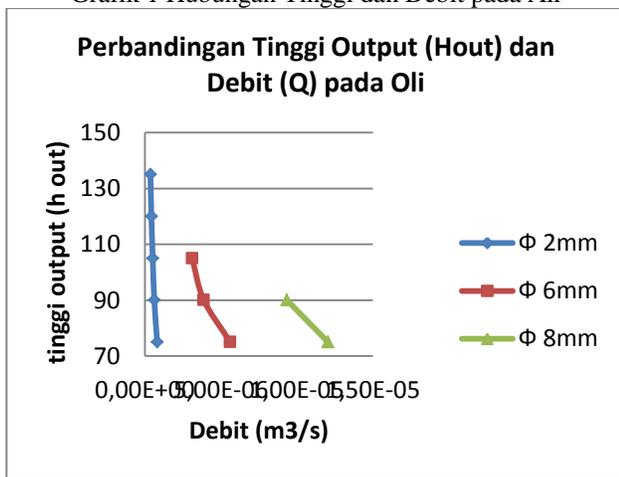
$$h_{out\_min} = h_{in} + 35 \text{ cm}$$

$$h_{out\_min} = 66 + 35$$

$h_{out, min} = 101 \text{ cm}$



Grafik 1 Hubungan Tinggi dan Debit pada Air



Grafik 2 Hubungan Tinggi dan Debit pada Oli

Jadi tinggi minimum *output* sebesar 101 cm. jika kurang dari 101 cm maka tinggi output pada variasi percobaan untuk fluida air maupun oli tidak dapat digunakan.

Dari data tersebut maka dilakukan pengkalibrasian data mulai dari diameter 2 mm, 6 mm dan 8 mm serta variasi ketinggian 75 cm sampai 180 didapatkan data bahwa diameter dan ketinggian yang sesuai adalah 8 mm dan ketinggian 105 cm. sehingga jumlah pipa kapiler yang dibutuhkan sebagai berikut (Lihat Tabel 9)

**D. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Air**

Setelah melakukan percobaan dan analisa data serta spesifikasi alat pada Pembangkit Listrik Tenaga Air maka desain Pembangkit Listrik Tenaga Air sebagai berikut (Lihat Gambar 2)

**KESIMPULAN**

Kesimpulan yang dapat diambil pada Tugas Akhir yang berjudul “Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Air Memanfaatkan Teknologi Sistem Pipa Kapiler” adalah

1. Ketinggian, diameter dan jeni pipa kapiler
2. menggunakan diameter yang berukuran kecil (2 mm, 6 mm, 8 mm) sehingga debit yang dihasilkan kecil. Debit terbesar pada diameter 8 mm sebesar  $16,4 \times 10^{-6}$  Liter/ $m^3$

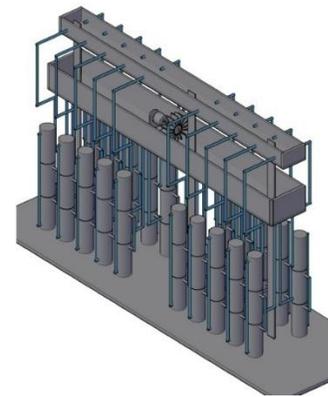
dengan tinggi 105 cm. namun pada diameter lebih dari 10 mm, fluida tidak dapat naik.

No	Bukaan Katup	Q (m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	ṁ (kg/s)	RPM	Ampere	Daya
1	45°	$0,16 \times 10^{-3}$	0,34	0,162	142	0,125	1,5
2	55°	$0,19 \times 10^{-3}$	0,40	0,188	198	0,128	1,53
3	65°	$0,23 \times 10^{-3}$	0,48	0,225	254	0,131	1,57
4	75°	$0,32 \times 10^{-3}$	0,225	0,320	332	0,135	1,6
5	85°	$0,30 \times 10^{-3}$	0,320	0,301	325	0,132	1,58
6	90°	$0,29 \times 10^{-3}$	0,320	0,291	317	0,130	1,56

Tabel 8 RPM dan Daya pada Turbin Pelton

No	Φ 8 mm	ṁ data	RPM data	Daya	h <sub>o</sub>	Debit (Q)	v Φ 8 mm	ṁ Φ 8 mm	RPM	Daya	Total
1	8	0.162	142	1.5	105	1.6E-05	0.33	0.0163934	14.3696	0.15179	33
2	8	0.162	142	1.5	120	0	0	0	0	0	0
3	8	0.162	142	1.5	135	0	0	0	0	0	0
4	8	0.162	142	1.5	150	0	0	0	0	0	0
5	8	0.162	142	1.5	165	0	0	0	0	0	0
6	8	0.162	142	1.5	180	0	0	0	0	0	0

Tabel 9 RPM, Daya dan Total setelah dikalibrasi



Gambar 2 Pembangkit Listrik

3. Pipa kapiler yang cocok untuk pembuatan pembangkit listrik tenaga air menggunakan diameter 8 mm dengan ketinggian 105 cm. Jumlah pipa kapiler mempengaruhi debit, kecepatan fluida di pipa kapiler, *mass flowrate*, RPM dari turbin dan daya dari generator.
4. Pipa yang digunakan adalah 33 buah, debit  $16,4 \times 10^{-6}$  Liter/ $m^3$ , kecepatan fluida di dalam pipa 0,33 m/s dan *mass flowrate*  $1,6 \times 10^{-2}$  serta ukuran dimensi pembangkit listrik 4 meter x 2 meter dengan hasil 5 watt.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. Thamrin, Abdul Jamal. Rahasia Penerapan Rumus – Rumus Fisika SMA. Gitamedia Press. 2005
- [2]. K Adi Gunawan, Roeswati. Tangkas Fisika - IPA SMU. Kartika. 2010
- [3]. Purnomo, Sari; Yusuf Rendi. Pengaruh Jarak dan Nozzle Pada Putaran Sudu Terhadap Daya Listrik Turbin Pelton”.
- [4]. Fitriani, Alivia. Transpirasi pada Tumbuhan. <http://blog.uad.ac.id/aliviaff/>. 24 Januari 2014.
- [5]. Hanafie, Jahja; Hans de Tongh. Teknologi Pompa Hidraulik Ram. 1979

- [6]. Heron. Heron Fountain by Adam.  
<http://www.youtube.com/watch?v=n0DPKFCqTNY>. 28  
Desember 2013