

KARAKTERISTIK TURBIN PROPELER HEAD SANGAT RENDAH BERDASARKAN HASIL SIMULASI FLUENT DAN PENGUJIAN LAPANGAN

Henny Sudibyo¹, Indarto², Anjar Susatyo³, Adha Imam Cahyadi⁴

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik-LIPI Jl Sangkuriang, Bandung¹
Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik UGM Jalan Grafika 2, Jogjakarta²,
Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik-LIPI Jl Sangkuriang, Bandung³,
Diploma Teknik Elektro Fakultas Teknik UGM Jl Yacaranda, Sekip IV, Yogyakarta⁴
Email: henny.sudibyo@lipi.go.id¹, indarto@ugm.ac.id², anjarsusatyo@lipi.go.id³,
adha.imam@ugm.ac.id⁴

ABSTRACT

It has been conducted research about the design of propeller turbine for very low head river, otherwise it has not been analyzed yet about the simulation design and the characteristic of that turbine. Based on the result design of propeller turbine for very low head river with discharge (Q) designs $0.120 \text{ m}^3/\text{s}$, height of fall 0.9 m and design efficiency of 70% , it is obtained the effective turbine power about 740.936 watt with speed (N) design of 500 rpm , 573 rpm , specific revolution obtained from diameter dimensions outside the turbine at 0.3 m . To maximize the flow of fluid, then the low head propeller turbine used NACA 6412 airfoil blade profile with 6 blades where the shaft of the turbine blade and generator were in one shaft. To determine the characteristics of low head propeller turbine then it was conducted CFD Fluent 6.2 simulation and field testing. The field testing was conducted in two places, there were Lembang natural water river and in water channel Cibodas Botanical Garden, West Java. The result of simulation and field testing were analyzed and compared to the references. It was important in order to determine micro hydro potency in the two places. Based on the result of simulation using Fluent 6.2 with variation of discharge 120 lt/s - 200 lt/s and the variation of revolution 150 rpm - 500 rpm it is obtained the maximum power at 400 rpm revolution and discharge of 200 L/s at 718.78 watts . Characteristic Propeller, namely the increase in discharge will increase the turbine revolution, because revolution is proportional to the value of power, the turbine power will also increase too. Based on field testing, the lowest efficiency that produced by the turbine was about 16.94% and the highest efficiency turbine was about 80.42% . And from the field testing it obtained, the higher the turbine head from 0 to 0.63 m shows the real power produced even greater, as well as hydraulic power or shaft power increases too.

Keywords: propeller characteristic, Fluent 6.2 simulation, field testing

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengembangan turbin *low head* sangat cocok dengan kondisi potensi Indonesia, sungai-sungai di Indonesia memiliki debit besar dan *head* yang rendah. Untuk itu penelitian turbin air *head* sangat rendah sangat diperlukan, dimana turbin jenis ini dapat beroperasi pada *head* dibawah 1 meter. Turbin *head* sangat rendah juga dapat dipasang pada lokasi aliran yang deras yang terdapat pada saluran air/saluran irigasi. Jumlah saluran irigasi yang tersebar diseluruh wilayah Indonesia merupakan potensi energi yang perlu dimanfaatkan. Turbin yang optimal untuk beda ketinggian relatif kecil adalah turbin reaksi. Turbin ini bekerja memanfaatkan perubahan tekanan dan beroperasi terendam dalam air.

Contoh turbin reaksi adalah Turbin Francis, Propeler, dan Kaplan. Perkembangan penelitian saat ini telah dirancang turbin propeler head rendah, namun dari hasil rancangan tersebut belum dilakukan analisis simulasi dan pengujian turbin sehingga belum diketahui karakteristik turbin tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang diuraikan maka diambil rumusan masalah yaitu:

1. Melakukan simulasi turbin dengan perangkat software Fluent 6.2
2. Melakukan pengujian lapangan untuk mengetahui efisiensi dan keefektifan turbin sebagai pembangkit listrik mikrohidro.



1.3. Tujuan Penelitian

- Mengetahui karakteristik turbin propeler head rendah berdasarkan hasil simulasi dan pengujian lapangan serta membandingkan hasil simulasi dan pengujian dengan referensi.
- Melakukan Pengujian lapangan di aliran sungai Lembang dan di kawasan Kebun Raya Cibodas.
- Mengetahui Potensi Mikrohidro di Aliran Sungai Lembang dan kawasan Kebun Raya Cibodas (KRC).

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Frasher et.al (2007), mengungkapkan tentang turbin baru *very low head* (VLH) didesain dan diuji untuk *head* sangat rendah antara 1,4 m s/d 3,2 m. Perancangan model desain turbin *head* sangat rendah ini mempunyai efisiensi maksimum 86% dengan debit 0.4 s/d 0.8 m³/s.

2.2. Landasan Teori

Turbin reaksi adalah turbin air yang cara bekerjanya dengan mengubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi puntir. Turbin reaksi dibagi menjadi dua jenis, yaitu turbin Francis dan Propeler. Turbin Propeler memiliki karakteristik sebagai berikut: 1) suku tetap (*fixed blade*), turbin jenis ini merupakan turbin generasi pertama dari jenis ini. Karena suku tidak dapat diatur, maka efisiensinya berkurang jika digunakan pada kisaran debit air yang lebar. Oleh karena itu dikembangkan jenis suku yang dapat diatur agar efisiensi tetap tinggi walaupun kisaran debit air lebar, 2) suku dapat diatur (*adjustable blade*). Turbin reaksi, diperuntukkan untuk tinggi jatuh sedang dan tinggi jatuh rendah dengan debit air cukup besar. Contoh Kaplan, Nagler, Bulb dan Moody. Efisiensi turbin dapat dihitung secara rinci sebagai berikut :

Efisiensi hidrolis, dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta_h = \frac{P_h}{P_{potensi}} = \frac{\rho \cdot Q \cdot U_1 \cdot V_{u1}}{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q} \quad (1)$$

Efisiensi mekanis, dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_h} = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n}{\rho \cdot Q \cdot U_1 \cdot V_{u1}} \quad (2)$$

Efisiensi elektrik, dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta_e = \frac{P_{nyata}}{P_m} = \frac{P_{nyata}}{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n} \quad (3)$$

Efisiensi total, dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta_{total} = \eta_h \cdot \eta_m \cdot \eta_e \quad (4)$$

Berikut harga η_H dan η_e untuk turbin Propeler dan turbin Kaplan ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

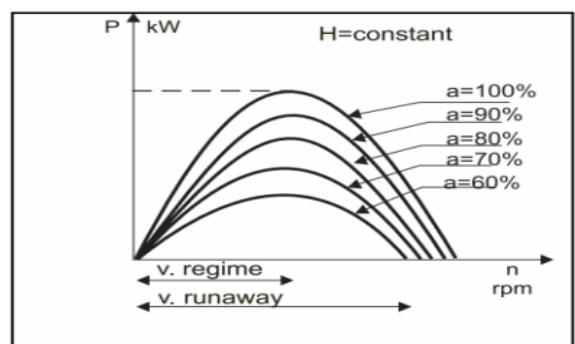
Tabel 1 Harga Praktis η_m , η_H dan η_e Untuk Turbin Propeller dan Kaplan

N_S	η_m	η_H	η_e
300	0,8	0,91	0,965
400	0,84	0,93	0,967
1000	0,9	0,96	0,985

Sumber : Jagdish Lal.(1975, Hal. 206)

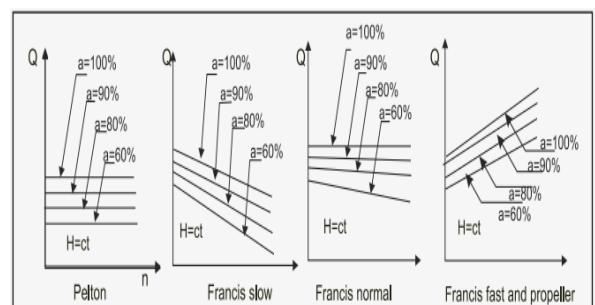
2.2.1 Karakteristik Turbin Propeler

Hubungan antara daya turbin dengan putaran turbin ditunjukkan seperti pada Gambar 1 dimana daya akan turun setelah putaran propeler mencapai putaran tertentu. Pada putaran yang relatif rendah, semakin besar putaran propeler maka daya akan meningkat dan pada saat putaran propeler mencapai kondisi propeller *stall* maka daya akan drop secara perlahan – lahan (Penche, 1998).



Gambar 1 Karakteristik propeler
(Penche et al,1998)

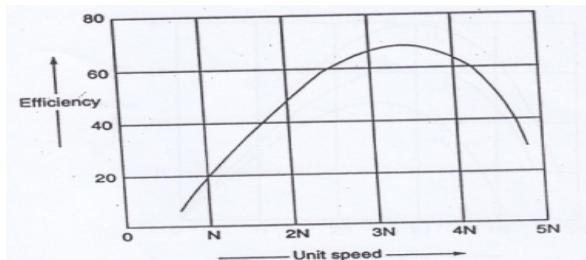
Turbin propeler memiliki karakteristik yang baik dengan meningkatnya debit dan putaran turbin seperti Gambar 2.



Gambar 2 Flow rate (Q) vs putaran turbin
(Penche et al, 1998)

Gambar 3 kurva berbentuk parabola yang menunjukkan efisiensi akan maksimum kemudian menurun seiring kenaikan putaran turbin.





Gambar 3 Karakteristik kurva dari putaran turbin terhadap efisiensi (Khurmi,2001:577)

2.2.2. Pemodelan Turbin menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)

Pada penelitian ini akan dibahas juga tentang simulasi perancangan turbin menggunakan CFD Gambit dan Fluent 6.2. CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika. Pada dasarnya, persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial (PDE=Partial Differential Equation) yang mempresentasikan hukum-hukum konversi massa, momentum, dan energi. Sebuah perangkat lunak CFD akan memberikan simulasi aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multi fasa, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur, dan sistem akuisisi hanya dengan pemodelan di komputer. Dengan menggunakan software ini kita dapat membuat *virtual prototype* dari sebuah sistem atau alat yang akan kita analisis dengan menerapkan kondisi nyata dilapangan. Software CFD akan memberikan data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang kita disain tersebut.

CFD memprediksi aliran berdasarkan:

1. Model matematika (persamaan deferensial parsial) khususnya memecahkan persamaan *Navier-Stokes* Persamaan *Navier-Stokes* adalah sistem persamaan differensial non-linier yang mendeskripsikan bagaimana fluida mengalir. Persamaan ini menjelaskan kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja pada fluida, serta menggambarkan hubungan laju perubahan suatu variabel terhadap variabel lain.
2. Metode numerik (teknik solusi dan diskritisasi)
3. Tools perangkat lunak.

Pada umumnya terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika kita melakukan simulasi CFD, yaitu :

1. Processing

Processing merupakan langkah awal dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah membuat model dalam paket CAD (*Computer Aided Design*), membuat mesh yang cocok/sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya.

2. Solving

Solvers (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat preprocessing.

3. Postprocessing

Adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan dalam langkah ini adalah mengorganisasi dan mengintrepertasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi.

2.2.3. Prosedur pada Pendekatan Program CFD

Prosedur pada pendekatan program CFD meliputi:

1. Pembuatan geometri dari model/problem.
2. Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi sel-sel kecil.
3. Pendefinisian model fisiknya misalnya persamaan persamaan gerak + entalpi + konservasi *species* (zat-zat yang kita definisikan, biasanya berupa komponen dari suatu reaktan)
4. Pendefinisian kondisi-kondisi batas, termasuk didalamnya sifat-sifat dan perilaku dari batas-batas model/problem, untuk kasus transient, kondisi awal juga didefinisikan.
5. Persamaan-persamaan matematika yang membangun CFD diselesaikan secara *iterative*, bisa dalam kondisi tunak (*steady state*) atau *transien*.
6. Analisis dan visualisasi dari solusi CFD.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Turbin Propeler Head Rendah

Pada tulisan ini akan disajikan deskripsi turbin propeler yang telah dirancang. Berdasarkan hasil perancangan turbin propeler dengan debit air (Q) desain $0,120 \text{ m}^3/\text{s}$, tinggi jatuh $0,9 \text{ m}$ dan efisiensi desain 70 % diperoleh daya turbin efektif 740,936 watt dengan kecepatan putar (N) desain 500 rpm, putaran spesifik 573 rpm dan diperoleh dimensi diameter luar turbin sebesar 0,3 m. Untuk memaksimalkan aliran fluida, maka turbin propeler head rendah ini menggunakan bentuk profil sudu airfoil NACA 6412 dengan jumlah sudu 6 blade dimana turbin dan generator dalam satu



poros. Desain global turbin propeler yang telah dirancang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Desain Global Rancangan Turbin Propeler Head Rendah

Head neto	0,9 m
Kapasitas maksimum	0,12 m ³ /s
Putaran	500 rpm
Daya maksimum	740 watt
Putaran spesifik	573 rpm
Diameter turbin	0,3 m
Diameter hub	0,15 m
Jumlah sudu	6 blade

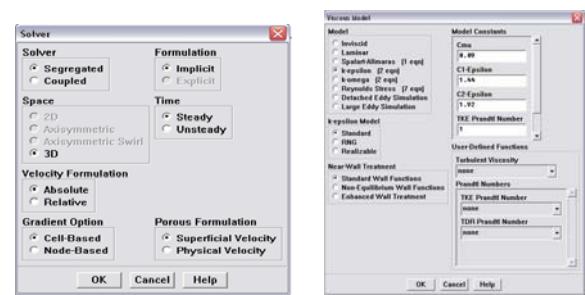
Pelaksanaan penggerjaan pembuatan prototipe turbin head rendah ini dikerjakan di Laboratorium Permesinan serta Laboratorium Mesin Listrik Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI Bandung. Berat turbin sebesar 45 kg. Turbin ini termasuk turbin *submersible*, komponennya tercelup dalam air. Generator yang digunakan mempunyai kecepatan 500 rpm, daya 500 watt dan merupakan rancangan Pusat Penelitian Tenaga Listrik Mekatronik-LIPI.



Gambar 4 Turbin Propeler Head Rendah

3.2. Hasil Simulasi Fluent

Perhitungan simulasi turbin dilakukan terhadap tekanan statik, tekanan dinamik turbin, serta kecepatan aliran fluida yang mengalir. Analisa dan simulasi dilakukan dengan menggunakan software komputasi fluida dinamik (*Computational Fluid Dynamics/CFD*) Fluent 6.2. Dalam melakukan analisa fluent ini, dilakukan beberapa variasi debit dan variasi putaran (rpm) turbin guna mengetahui daya output dan effisiensi turbin tersebut. Variasi debit yang mengalir ke dalam turbin mulai dari 120 lt/s - 200 lt/s serta variasi putaran pada 150-500 rpm. Sebelum melakukan iterasi, kita harus memasukkan inputan yang diperlukan pada fluent.

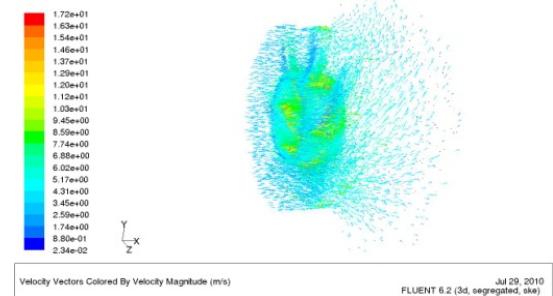


Gambar 5 Salah satu inputan Fluent Solver dan Model

Tabel 3 Nilai Input pada Simulasi Fluent

Item	Besaran
Solver	3 Dimensi, segregated
Model viskositas	k-epsilon
Material	Water liquid (H2O)
Density	998.2 kg/m ³
Viscositas	0.001003 kg/m-s
Tekanan operasi	101325 Pa
Intensitas turbulen outlet	3,39 %
Diamater Hidrolik outlet	0,28 m
Rotation axis direction	Sumbu X = 1
Rotational velocity	400 rpm
Faktor discretisasi	Orde kedu

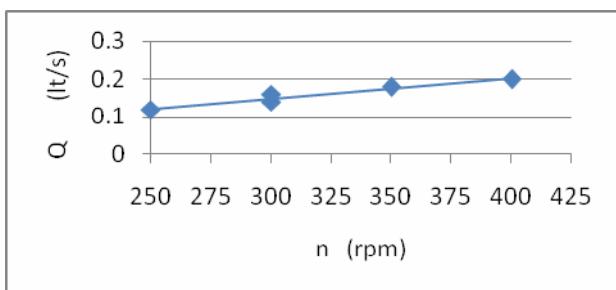
Dengan menggunakan simulasi fluent ini kita dapat mengetahui berbagai kontur turbin diantaranya kontur kecepatan dan tekanan pada sudu turbin.



Gambar 6 Kontur vektor kecepatan

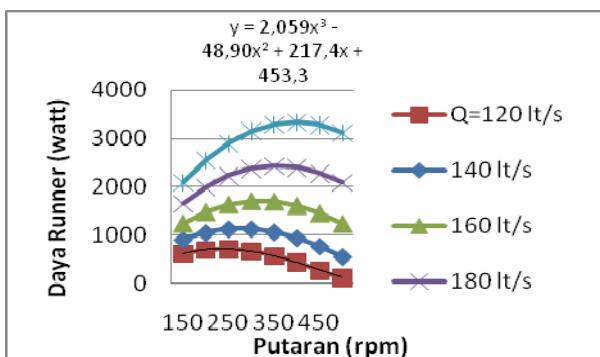
Pada Gambar 6 hasil simulasi CFD yang diperoleh untuk profil distribusi vektor kecepatan bahwa semakin jauh posisi *blade* dari inlet terlihat profil distribusi kecepatan besarnya semakin berkurang dibandingkan jika posisi *blade* dekat dengan inlet.



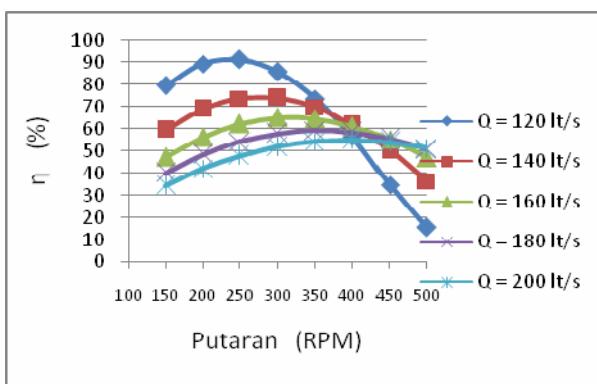


Gambar 7 Hubungan Putaran terhadap Debit

Gambar 7 merupakan grafik dari hasil simulasi menggunakan fluent. Berdasarkan grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar debit masuk maka akan terjadi peningkatan putaran turbin. Grafik diatas memperlihatkan hubungan debit dan putaran dari 150 – 500 rpm. Grafik diatas sesuai dengan karakteristik turbin propeler seperti dalam teori pada Gambar 2 yaitu hubungan putaran dan debit pada turbin Francis fast dan Propeller.



Gambar 8 Hubungan Daya terhadap Putaran
Hubungan antara daya turbin dengan putaran turbin ditunjukkan seperti Gambar 8 dimana daya akan turun setelah putaran propeler mencapai putaran tertentu. Hal ini sesuai dengan karakteristik turbin pada teori Gambar 1.



Gambar 9 Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Mekanis Turbin

Tinjauan efisiensi sangat penting dalam perancangan turbin. Efisiensi akan sangat dipengaruhi oleh faktor daya baik faktor daya hidrolik, mekanis maupun elektris. Faktor daya berhubungan dengan putaran turbin. Pada hasil simulasi Gambar 9 terlihat untuk berbagai variasi debit, efisiensi mekanis akan mencapai puncak optimum kemudian akan mengalami penurunan. Pada putaran 400 rpm efisiensi mekanis turbin pada debit 120 lt/s-200 lt/s berkisar antar 55% - 60%.

3.3. Pengujian Lapangan

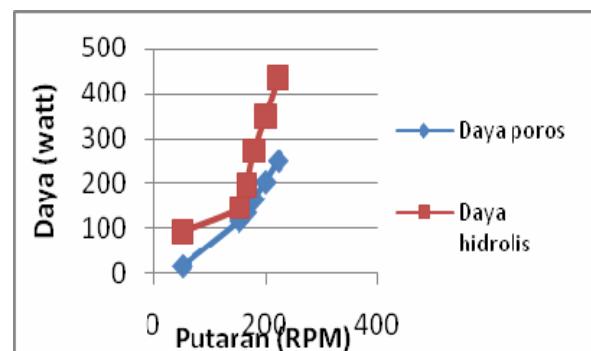
Parameter uji yang ingin diketahui dari turbin low head ini meliputi kecepatan putar turbin (rpm), daya hidrolik dan efisiensi. Pengujian lapangan dilakukan di dua tempat yaitu :

1. Sungai di Tempat Wisata Alam Sejuk Lembang,
2. Aliran air dari kolam air mancur Kebun Raya Cibodas yang berasal dari aliran mata air Gunung Gedhe Pangrango Jabar.

Tabel 4 Hasil Pengujian 1

Debit (m ³ /s)	Daya Hidrolik (watt)	Torsi (Nm)	Daya Poros (Watt)	Effisiensi Mekanis (%)
0,0555	92,255	2,94	15,62	16,94
0,0647	145,618	7,36	117,10	80,42
0,0740	195,363	7,85	135,43	69,32
0,0925	271,337	8,83	164,56	60,65
0,1017	348,216	9,81	203,80	58,53
0,1110	434,140	10,79	249,94	57,5

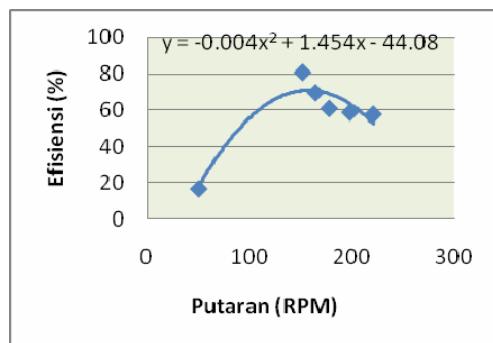
Pada hasil pengujian 1 yang dilakukan di sungai wisata alam Lembang diperoleh nilai daya poros tertinggi sebesar 249,94 watt seperti terlihat pada tabel 4.



Gambar 10 Hasil pengujian Daya terhadap Putaran



Karakteristik daya terhadap putaran pada pengujian di aliran sungai wisata alam sejuk Lembang menunjukkan kecenderungan daya akan semakin besar jika putaran turbin dinaikkan. Jika merujuk pada referensi Gambar 1 menggambarkan dimana daya akan turun setelah putaran propeler mencapai putaran tertentu. Pada putaran yang relatif rendah, semakin besar putaran propeler maka daya akan meningkat dan pada saat putaran propeler mencapai maksimum maka daya semakin menurun sehingga kurva berbentuk parabola. Hasil pengujian menunjukkan belum diperoleh data maksimal sehingga hasil karakteristik turbin belum sesuai dengan referensi.



Gambar 11 Hasil Pengujian Efisiensi vs Putaran

Pada pengujian ini diperoleh hasil hubungan antara efisiensi dan putaran turbin. Efisiensi turbin semakin menurun ketika telah mencapai putaran maksimal. Karakteristik propeler hasil pengujian seperti pada landasan teori Gambar 3 dimana kurva akan berbentuk parabola. Persamaan matematika dari hubungan efisiensi dan putaran yaitu $\eta = -0,004N^2 + 1,454 N - 44,08$.



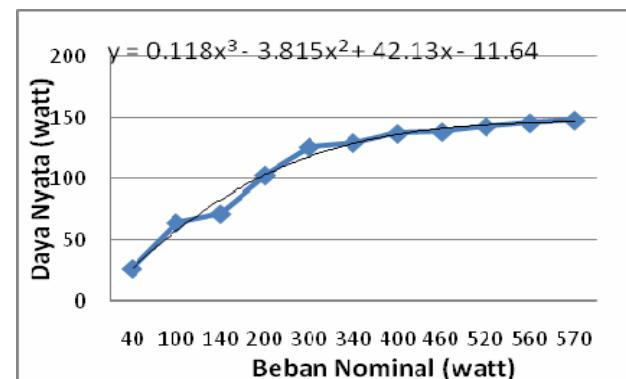
Gambar 12 Instalasi Turbin Saat Pengujian

Gambar 12 menunjukkan posisi turbin saat pengujian di Kebun Raya Cibodas, turbin propeler ditempatkan dengan posisi 60° terhadap dasar saluran air.

Tabel 5. Hasil Pengujian 2 di Kebun Raya Cibodas (KRC)

No	Beban	I	V	Daya Nyata	H
	watt	amp	volt	$I \times V_x$ (watt)	m
1	40	0,14	190	26,6	0,25
2	100	0,38	170	64,6	0,28
3	140	0,45	160	72	0,33
4	200	0,71	145	102,95	0,35
5	300	1.01	125	126,25	0,41
6	340	1.13	125	129,95	0,46
7	400	1,25	110	137,5	0,50
8	460	1,39	100	139	0,53
9	520	1,51	95	143,45	0,56
10	560	1,59	92	146,28	0,61
11	570	1,65	90	148,5	0,63

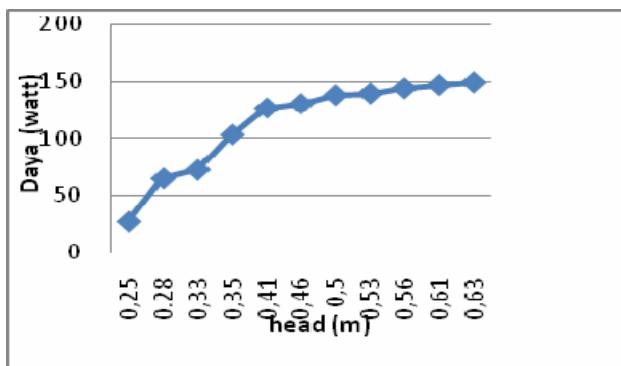
Dari hasil pengujian di lapangan, disaluran air di Kebun Raya Bogor diperoleh head tertinggi pengujian pada 0,63 m, ini merupakan kondisi dimana saluran air pada batas maksimal air yang dapat mengalir pada saluran itu. Pada head tersebut diperoleh daya nyata sebesar 148,5 watt.



Gambar 12 Hasil Pengujian Hubungan Daya Nyata dan Beban Nominal

Daya nyata/elektrik sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya daya hidrolik serta daya mekanis yang dibangkitkan. Hasil pengujian, daya nyata/daya elektrik yang dikeluarkan turbin cenderung mengalami kenaikan, sewaktu beban ditambahkan. Semakin besar beban ditambahkan, maka daya nyata/daya elektrik yang dikeluarkan semakin besar. Hubungan antara beban nominal pada lampu pijar dan daya nyata yang dikeluarkan oleh turbin sewaktu turbin beroperasi ditunjukkan pada Gambar 12.





Pada Gambar 13 menunjukkan hubungan antara *head* dan daya yang dihasilkan, semakin besar nilai *head* dari 0,25- 0,63 m maka daya yang dihasilkan semakin besar pula.

4. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Fluent 6.2 dengan variasi debit 120 lt/s -200 lt/s dan variasi putaran 150 rpm -500 rpm diperoleh daya maksimum pada putaran 400 rpm dan debit 200 lt/s sebesar 718,78 watt. Pada putaran runner 400 rpm, efisiensi runner berkisar 55 % - 60 % dengan variasi debit antara 120 lt/s – 200 lt/s. Hal ini menunjukkan karakteristik propeler yaitu kenaikan debit akan menaikkan putaran turbin, karena putaran sebanding dengan daya, maka daya turbin juga akan semakin naik.
2. Pengujian lapangan turbin dilaksanakan di aliran sungai wisata alam sejuk Lembang dan kawasan Kebun Raya Cibodas. Berdasarkan pengujian lapangan efisiensi terendah yang dihasilkan oleh turbin sebesar 16,94% dan efisiensi tertinggi turbin 80,42%.
3. Pada hasil pengujian lapangan, semakin tinggi head turbin dari 0- 0,63 m menunjukkan daya nyata yang dihasilkan semakin besar, demikian juga daya hidrolik maupun daya poros semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Airfoil Lift And Drag: Aerospace Engineering Laboratory, Department of Mechanical and Aerospace Engineering. Rutgers: The State University of New Jersey.
2. Arismunandar, A., dan Kuwahara, S., 2004. Teknik Tenaga Listrik Pembangkitan dengan Tenaga Air, Pradnya Paramitha, Jakarta.
3. Bacon,I., and Davison,I., 2004. Low Head Hydro Power in the South-East of England –A Review of the Resource and Associated Technical, Environmental and Socio-Economic Issues, TV Energy and Mongomery Watson Harza, February, 2004.
4. Busono,S., 2008. Pemanfaatan Teknologi Hidroelektrik Untuk Listrik Pedesaan Di Indonesia, IPTEK VOICE, Kementerian Negara Riset dan Teknologi, Jakarta.
5. DESDM, 2006, Blueprint Pengelolaan Energi Nasional (BP-PEN) 2005–2025, Departemen Energi Sumber Daya Mineral, Jakarta.
6. Fraser,R.,Deschênes,C., and Leclerc, M., 2007. VLH : Development of a new turbine for Very Low Head sites. Waterpower XV HCI Publication pp:157
7. Harvey,A.,Hettiarachi,P.,dan Inversin,A.,1993. Microhydro Design Manual A Guide to Small-scale Water Power Schemes.ITGD Publishing,Southampton Row, London,UK
8. Japan Electrotechnical Committee, 1968, Water Turbines, JEC-151, Denki Shoin.
9. Krompholz., D., 2008. Low Head Hidro Turbines, Small Hydro Power Schemes in the North West of England: Overcoming the Barriers. Joule Centre Annual Conference. England April 3, 2008.
10. Khurmi,R.S. 2001. Hidraulic Machines, S.Chand & Company LTD. Pam Nagar, New Delhi, 2001
11. Jagdishlal,DR. 1979. Hidarulics Machines including Fluidics, Metropolitan Book Co Pt, LTD., Delhi
12. Leclerc,M.,2006. The Very Low Head Turbo Generator for extremely low water falls, Conference Proceeding Hidroneregia 2006, MJ2 Technologies, France
13. Leclerc,M.,2007.The Very Low Head Turbo Generator A New Turbine For Profitable Harnessing of Very Low Head Application, MJ2 Technologies, France
14. Penche, Celso, dan Minas, Ingeneiro de 1998. Layman's Handbook On How To Develop A Small Hydro Sites Second Edition, Uropean



Commission: Belgia

15. Tuakia,F.,2008. Dasar-dasar Menggunakan CFD Fluent,Penerbit Informatika, Bandung.
16. Modul Pelatihan Gambit-Fluent , Pelatihan untuk LIPI Bidang Elektronika Daya,2007.Bandung
17. <http://www.microhydropower.net/turbine.html>

