

Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>

# METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal

| ISSN (Print) 2477-3085 | ISSN (Online) 0000-0000 |



Research Paper

## Rancang Bangun dan Studi Eksperimental Pengaruh Perbedaan Jarak *Pitch* dan Kemiringan Poros terhadap Kinerja Mekanik Model Turbin Ulir 2 Blade Pada Aliran *Head* Rendah

Yul Hizhar<sup>1</sup>, Bambang Yulistianto<sup>2</sup>, Suryo Darmo<sup>3</sup><sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil dan Hidrolika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

#### Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 02 Februari 2017

Revisi Akhir: 01 Maret 2017

Diterbitkan Online: 01 April 2017

### KATA KUNCI

Screw turbine model

Pitch distance

Shaft slope

Rotation speed

Turbine power

Turbine efficiency

### KORESPONDENSI

E-mail: [yul\\_hizhar@ft.unand.ac.id](mailto:yul_hizhar@ft.unand.ac.id)

### ABSTRACT

Screw turbine uses low head and high flow rate of water to generate rotation speed. Screw turbine has many advantages such as simple in construction and installation, low cost in operating and maintenance, and fish-friendly. The influencing parameters to mechanics performance of screw turbine are pitch distance and the shaft slope. The purposes of this research are to design 2-blades screw turbine model and to test the influence of pitch distance variation and shaft slope to mechanics performance in laboratory. This research used experimental method which each of screw turbine model with pitch of  $2R_o$ ,  $1.6R_o$ , and  $1.2R_o$  were tested in variation of shaft slope of  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ , and  $45^\circ$ . The water flow rate was  $0.00728 \text{ m}^3/\text{s}$ . The data was acquisitioned at Hydraulics Laboratory Civil Diploma Universitas Gadjah Mada. The result of testing without load showed that screw turbine model pitch of  $2R_o$  had the higher rotation speed than pitch of  $1.6R_o$  and  $1.2R_o$  which the highest rotation speed was 255 rpm at shaft slope of  $35^\circ$ . The result of testing with load showed that each turbine produced the highest rotation speed and output power at the shaft slope of  $35^\circ$ , meanwhile the highest efficiency was produced at the shaft slope of  $25^\circ$ . The result of research showed that generally screw turbine model pitch of  $2R_o$  produced the higher mechanics performance (output power and efficiency) than pitch of  $1.6R_o$  and  $1.2R_o$ . At the shaft slope of  $25^\circ$ , pitch  $2R_o$  produced power 15.89 W and efficiency 73.08% (the highest), meanwhile at the shaft slope of  $35^\circ$ , pitch  $2R_o$  produced power 18.51 W (the highest) and efficiency 66.16%. These efficiencies result difference were caused by the influence of the difference of hydropower (input power) at the variations of the shaft slopes.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang cukup kaya dengan potensi energi terbarukan seperti energi mini/mikrohidro, energi biomassa, energi surya, energi angin, energi panas bumi, energi laut, dan energi

nuklir. Khusus untuk mikrohidro, pengembangannya biasanya memanfaatkan potensi aliran air dengan *head* (ketinggian) dan debit tertentu yang dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin dan generator. Pada kenyataannya, di Indonesia, rata-rata menunjukkan bahwa potensi sumber daya airnya memiliki debit besar dan *head*

yang rendah. Jadi, pengembangan turbin *head* rendah (*low head*) atau *head* sangat rendah (*ultra low head*) sangat cocok dikembangkan di Indonesia.

Maka dari permasalahan di atas, penulis tertarik untuk mengembangkan jenis turbin yang dapat beroperasi optimal pada *head* rendah debit tinggi. Di dalam penelitian ini, penulis mengembangkan penelitian tentang turbin ulir. Turbin ini beroperasi dengan putaran rendah dan masih tergolong baru dikembangkan di Indonesia, namun turbin ini memiliki beberapa keunggulan di antara jenis turbin *head* rendah yang lain tidak memerlukan sistem kontrol khusus karena penggunaan unit peralatan dan generator yang standar, mudah dalam konstruksi, mudah dalam instalasi dan perawatan, ramah lingkungan dan *fish-friendly*, efisiensi turbin yang tinggi untuk kondisi operasi *head* rendah dan debit tinggi.

Kinerja sebuah turbin ulir dipengaruhi oleh parameter-parameter yang terkait dalam perancangan turbin ulir itu sendiri. Salah satu parameter penting dalam perancangan turbin ulir adalah *pitch* atau jarak periode dari sebuah sudu (*blade*). Aspek lain dalam pertimbangan rancangan turbin ulir adalah pemasangan turbin atau kemiringan poros. Berdasarkan uraian tersebut diatas, penulis tertarik mengembangkan penelitian tentang turbin ulir yang bertujuan mengetahui pengaruh perbedaan jarak *pitch* dan kemiringan poros terhadap kinerja mekanik turbin ulir 2 *blade* serta sebagai referensi dalam pengembangan turbin ulir sebagai penggerak mula (*prime mover*) dalam pembangkit skala kecil (mikrohidro).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Rorres menyatakan bahwa geometri dari sebuah ulir Archimedes (*Archimedes screw*) ditentukan oleh beberapa parameter eksternal yaitu jari-jari terluar, panjang ulir, dan kemiringan. Parameter-parameter lain yang mempengaruhi adalah parameter internal seperti jari-jari dalam, jumlah *blade*, dan *pitch blade*. Parameter-parameter eksternal tersebut biasanya ditentukan oleh lokasi penempatan ulir Archimedes dan seberapa banyak air yang akan

diangkat. Sementara parameter-parameter internal adalah bebas ditentukan sendiri untuk mengoptimalkan performansi atau kinerja dari ulir [1].

Menurut Fraengel, *Archimedean screw pump* adalah pompa tertua yang pernah ada semenjak orang menaruh perhatian terhadap pemindahan cairan. Namun demikian jenis pompa ini sampai sekarang masih banyak digunakan karena beberapa kelebihanannya. Pompa ini dapat bekerja secara optimum pada sudut instalasi 30° sampai 40° [2].

Menurut Ritz-Atro Pumpwerksbau GmbH, prinsip kerja turbin ulir *Archimedean hydrodynamic* adalah pembalikan dari pompa Archimedean dimana turbin ini memanfaatkan energi aliran air menjadi energi mekanik. Kemiringan turbin ulir berkisar dari 22° - 30° [3].

Menurut Paish, ulir Archimedes telah digunakan sebagai pompa selama berabad-abad, namun baru saat ini fungsinya dibalikkan sebagai turbin. Akan tetapi, turbin ulir masih merupakan mesin kecepatan rendah yang membutuhkan sebuah *gearbox* bertingkat untuk menggerakkan sebuah generator [4].

## 3. METODOLOGI

Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

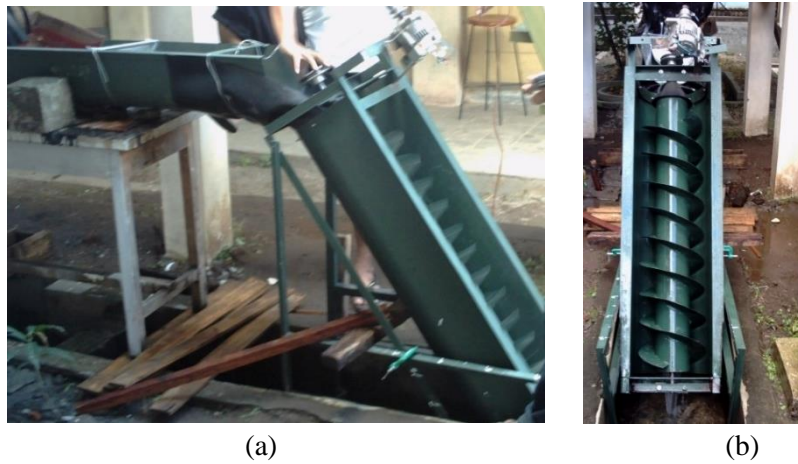
- a. Model turbin ulir yang akan diuji.
- b. *Tachometer* untuk mengukur kecepatan putaran turbin.
- c. Ember ukur kapasitas 60 liter dan *stopwatch* untuk mengukur debit.
- d. Busur untuk mengukur kemiringan poros turbin.
- e. Mistar baja untuk mengukur ketinggian muka air.
- f. Neraca pegas dan neraca digital untuk mengukur beban pengereman dalam pengukuran torsi.

Penelitian ini bersifat eksperimen dan variabel yang ada terbagi atas:

- a. Variabel bebas (*independent variable*), terdiri dari *pitch* ( $A$ ) dan kemiringan poros turbin ( $\theta$ ).
- b. Variabel terikat (*dependent variable*), terdiri dari kecepatan putar turbin ( $n$ ), torsi ( $T$ ), daya air ( $P_f$ ), daya turbin ( $P_t$ ), dan efisiensi turbin ( $\eta$ ).
- c. Variabel kontrol (*control variable*), terdiri dari debit ( $Q$ ), kecepatan aliran air ( $v$ ), jari-jari dalam ( $R_i$ ), jari-jari luar ( $R_o$ ), sudut ulir dalam

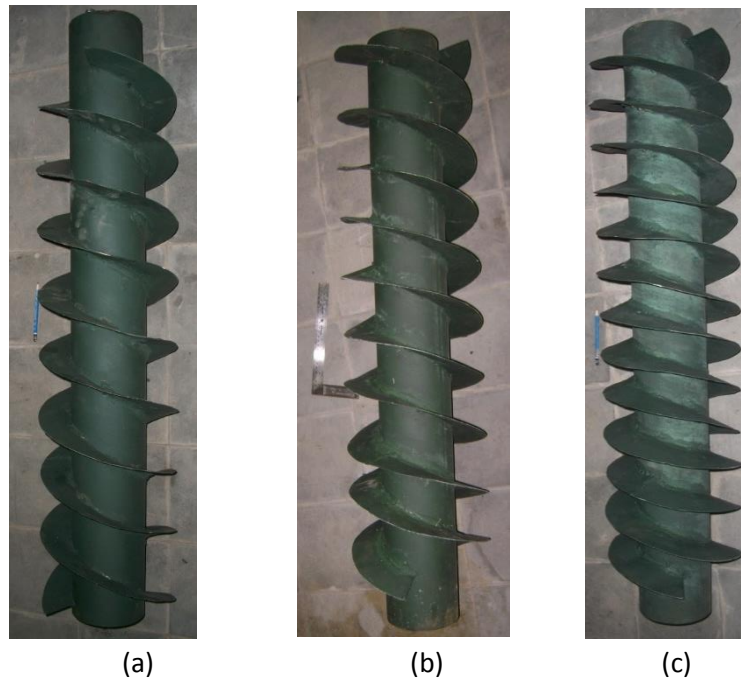
( $\beta$ ), sudut ulir luar ( $\alpha$ ), panjang turbin ( $L$ ), tinggi sudu ( $t$ ), jumlah lingkaran sudu ( $nb$ ), dan jumlah sudu ( $N$ ).

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika D3 Sipil Universitas Gadjah Mada. Gambar 1 menunjukkan rangkaian alat pengujian model turbin ulir 2 sudu.



Gambar 2. Rangkaian alat pengujian model turbin ulir 2 sudu, (a) tampak samping, (b) tampak depan

Model turbin ulir yang berbeda *pitch* ditunjukkan pada Gambar 2.



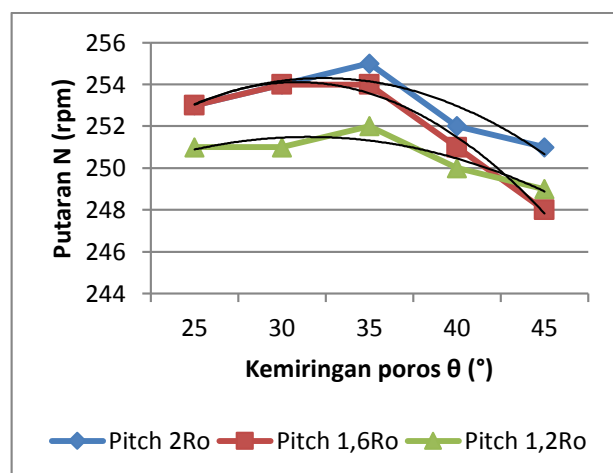
Gambar 2. Tiga macam model turbin ulir, (a) ulir *pitch*  $2R_o$ , (b) ulir *pitch*  $1,6R_o$ , (c) ulir *pitch*  $1,2 R_o$

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pengujian Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban bertujuan untuk melihat pengaruh variasi tiga *pitch* dan kemiringan poros model turbin ulir terhadap kecepatan putaran turbin pada saat turbin belum dibebani. Variasi kemiringan poros turbin adalah  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ , dan  $45^\circ$ . Debit aliran yang digunakan adalah konstan yaitu  $0,00728 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hubungan antara kemiringan poros dan kecepatan putaran turbin tanpa beban dapat dilihat pada Gambar 3.

Perubahan kecepatan putaran turbin ini terjadi karena pengaruh daya aliran yang menumbuk *blade*. Pada variasi kemiringan  $25^\circ$  hingga  $35^\circ$ , pola aliran masih stabil dan tidak terjadi loncatan ketika menumbuk lingkaran ulir *blade* sehingga gaya aliran  $F_a$  bekerja efisien untuk menghasilkan gaya tangensial dan putaran turbin. Namun, pada variasi kemiringan poros  $40^\circ$  dan  $45^\circ$ , terlihat adanya perubahan bentuk aliran di mana aliran air cenderung meloncat dari ujung *flume* dan tidak tepat lagi menumbuk lingkaran ulir pertama *blade*. Aliran air cenderung menumbuk bagian tengah rotor atau poros dalam ( $D_i$ ) sebelum menumbuk lingkaran ulir pertama dari *blade* turbin. Gaya aliran air  $F_a$  yang berkurang pada *blade* ini menyebabkan penurunan gaya tangensial, sehingga kecepatan putaran turbin juga berkurang.



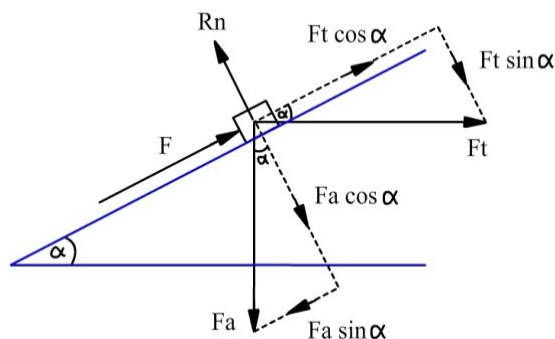
Gambar 3. Grafik hubungan antara putaran turbin dan kemiringan poros pada pengujian tanpa beban

Pada pengujian tanpa beban ini, meskipun selisih kecepatan putaran yang dihasilkan antara tiap model turbin ulir tidak begitu besar, namun secara umum model turbin ulir *pitch* 2Ro menghasilkan kecepatan putaran yang lebih tinggi dibandingkan model turbin ulir *pitch* 1,6Ro dan 1,2Ro. Kecepatan putaran tertinggi dihasilkan oleh masing-masing model turbin ulir pada kemiringan poros  $35^\circ$ , di mana model turbin ulir *pitch* 2Ro menghasilkan 255 rpm, model turbin ulir *pitch* 1,6Ro menghasilkan 254 rpm, dan model turbin ulir *pitch* 1,2Ro menghasilkan 252 rpm.

### 4.2. Perbandingan Kinerja Mekanik Model Turbin Ulir Antara Hasil Pengujian dan Hasil Teoritis

Torsi yang dihasilkan oleh setiap model turbin ulir dalam penelitian ini dapat di tentukan secara teoritis. Parameter-parameter yang harus diketahui untuk mencari torsi teoritis yang dihasilkan oleh sebuah turbin ulir adalah gaya tangensial  $F_t$  yang dihasilkan oleh sebuah lingkaran ulir, jari-jari momen puntir  $r$ , dan jumlah total lingkaran ulir  $nb$ .

Perhitungan untuk mencari gaya tangensial yang dihasilkan oleh sebuah turbin ulir dapat ditentukan secara teoritis dengan menggunakan pendekatan perhitungan pada ulir-ulir daya (*power screw*). Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah lingkaran *blade* ulir akibat gaya aksial aliran fluida air  $F_a$  ditunjukkan dalam Gambar 4.

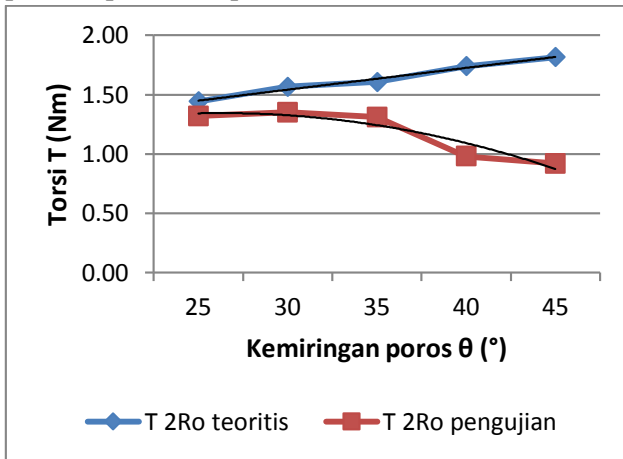


Gambar 4. Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah lingkaran *blade* turbin ulir

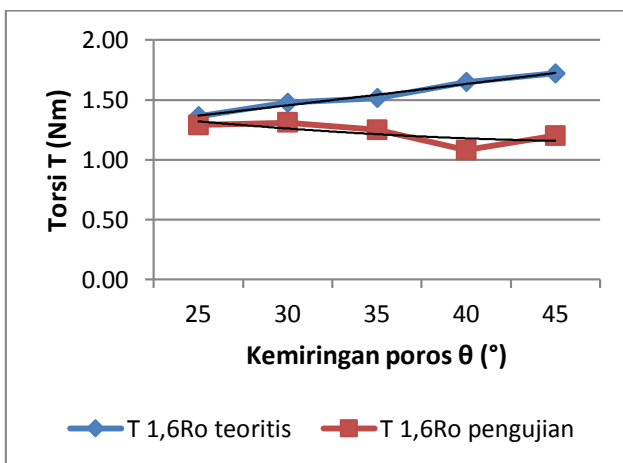
Gambar 4 menunjukkan fluida air dengan laju aliran tertentu menumbuk sebuah lingkaran *blade* turbin ulir secara aksial dan menghasilkan gaya aksial  $F_a$  yang arahnya sejajar sumbu poros. Adanya gaya aksial  $F_a$  menimbulkan reaksi dari turbin berupa gaya tangensial  $F_t$  yang arahnya tegak lurus sumbu poros. Sementara, gaya gesekan  $F$  yang timbul akibat kontak antara fluida air dan *blade* ulir akan mengurangi gaya aksial  $F_a$ . Harga gaya gesekan  $F$  merupakan perkalian dari koefisien gesekan yang terjadi dengan gaya normal ( $F = \mu \cdot R_n$ ).

4.2.1. Perbandingan Torsi Hasil Pengujian Terhadap Torsi Secara Teoritis

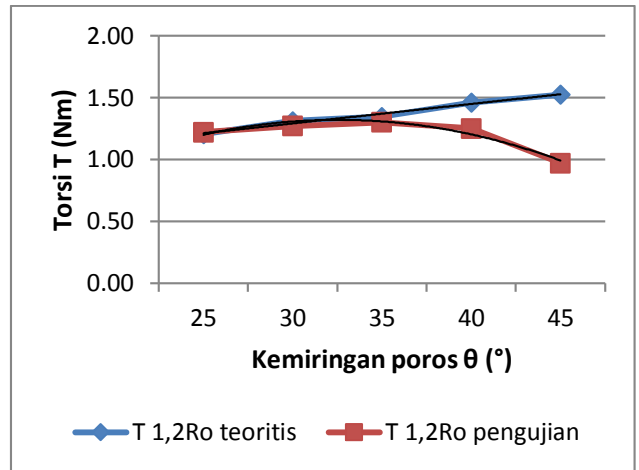
Grafik perbandingan antara torsi hasil pengujian dan torsi secara teoritis pada variasi kemiringan poros dapat dilihat pada Gambar 5 – 7.



Gambar 5. Perbandingan torsi teoritis terhadap torsi hasil pengujian *pitch* 2Ro



Gambar 6. Perbandingan torsi teoritis terhadap torsi hasil pengujian *pitch* 1,6Ro



Gambar 7. Perbandingan torsi teoritis terhadap torsi hasil pengujian *pitch* 1,6Ro

Gambar 5 – 7 menunjukkan perbandingan torsi teoritis terhadap torsi hasil pengujian masing-masing *pitch* model turbin ulir. Data torsi teoritis masing-masing *pitch* ulir ditentukan dengan menggunakan persamaan-persamaan ulir daya (*power screw*), sementara data turbin hasil pengujian diperoleh dengan menggunakan metode pengereman (*pronny brake*). Pada grafik terlihat torsi teoritis masing-masing *pitch* ulir cenderung naik pada setiap kenaikan sudut poros, sedangkan torsi hasil pengujian menunjukkan kecenderungan menurun pada setiap kenaikan sudut poros.

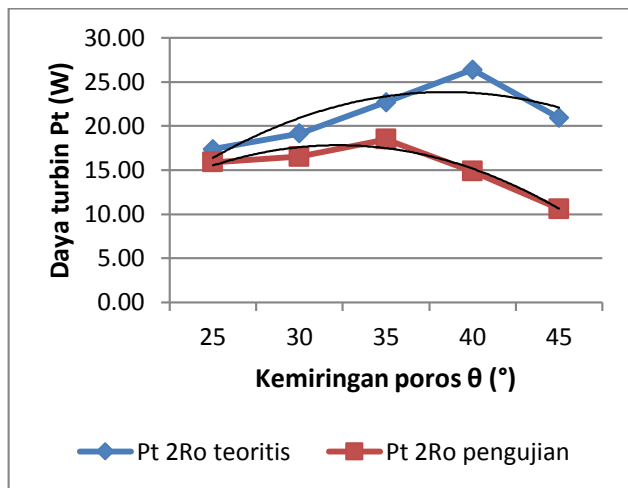
Perbedaan nilai antara torsi teoritis dengan torsi hasil pengujian ini disebabkan oleh perbedaan cara pengambilan data. Data torsi teoritis masing-masing *pitch* ditentukan dengan menggunakan pendekatan rumus-rumus atau persamaan-persamaan ulir daya, di mana torsi (momen puntir) model turbin ulir dihasilkan oleh perkalian gaya tangensial turbin  $F_t$  dengan jari-jari  $r$ . Gaya tangensial turbin dihasilkan oleh gaya aliran fluida  $F_a$  yang secara aksial menumbuk setiap lingkaran ulir *blade* yang ada pada sebuah turbin ulir. Peningkatan gaya aliran fluida  $F_a$  pada setiap variasi kenaikan sudut poros menyebabkan peningkatan gaya tangensial dan torsi turbin secara teoritis.

Jadi pada data torsi secara teoritis, gaya aliran fluida  $F_a$  yang menumbuk setiap lingkaran ulir adalah seragam. Namun, pengujian di laboratorium menunjukkan pola aliran yang berbeda sehingga

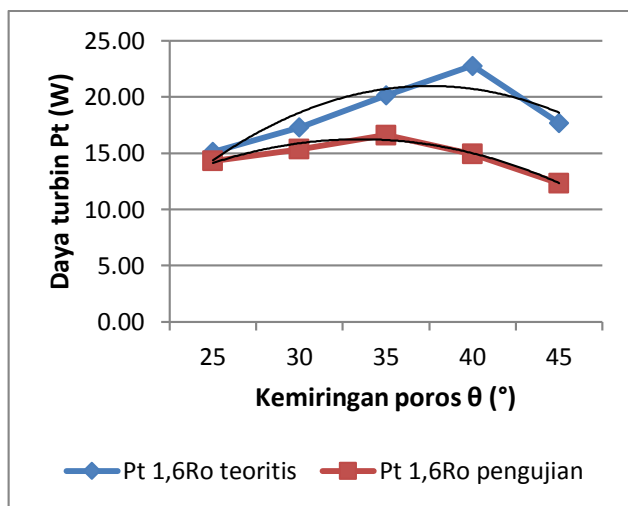
kecepatan aliran fluida yang menumbuk setiap lingkaran ulir tidak seragam. Hal inilah yang menyebabkan gaya tangensial dan torsi pengujian lebih rendah dari dari torsi teoritis. Kemungkinan lain penyebab torsi pengujian lebih rendah dari torsi teoritis adalah pengukuran selisih beban yang kurang akurat di laboratorium.

4.2.2. Perbandingan Daya Hasil Pengujian Terhadap Daya Secara Teoritis

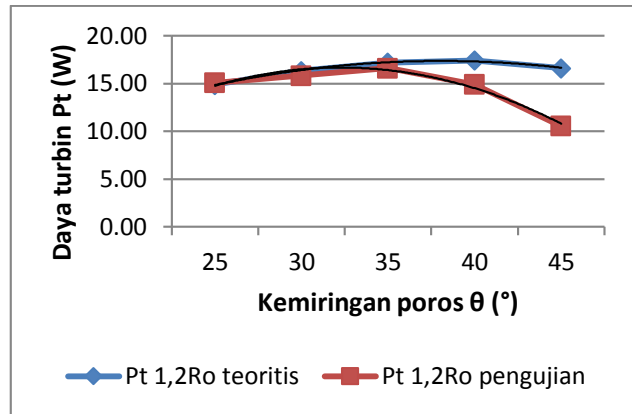
Grafik perbandingan antara daya hasil pengujian dan daya secara teoritis pada variasi kemiringan poros dapat dilihat pada Gambar 8 – 10.



Gambar 8. Perbandingan daya teoritis terhadap daya hasil pengujian *pitch* 2Ro



Gambar 9. Perbandingan daya teoritis terhadap daya hasil pengujian *pitch* 1,6Ro

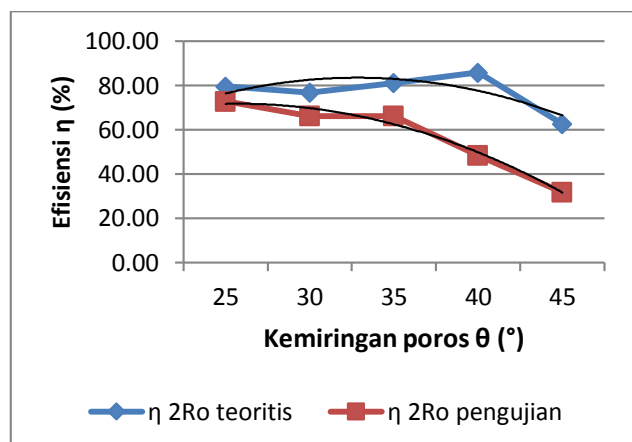


Gambar 10. Perbandingan daya teoritis terhadap daya hasil pengujian *pitch* 1,2Ro

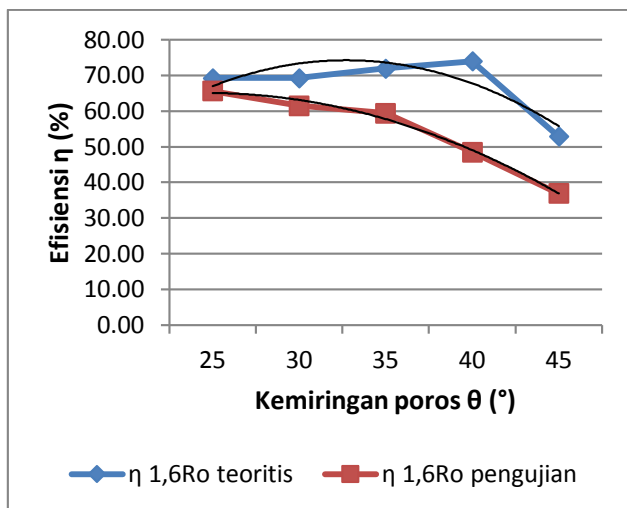
Gambar 8 – 10 menunjukkan nilai daya turbin teoritis cenderung lebih besar daripada daya turbin hasil pengujian. Daya hasil pengujian tertinggi masing-masing *pitch* ulir dihasilkan pada kemiringan poros 35°, sedangkan daya teoritis tertinggi dihasilkan pada kemiringan poros 40°. Turbin *pitch* 2Ro memberikan daya yang lebih baik daripada turbin *pitch* 1,6Ro dan 1,2Ro, di mana daya tertinggi *pitch* 2Ro adalah 18,51 W. Perbedaan nilai antara daya teoritis dengan daya hasil pengujian ini disebabkan perbedaan nilai torsi pada masing-masing *pitch* ulir.

4.2.3. Perbandingan Efisiensi Hasil Pengujian Terhadap Efisiensi Secara Teoritis

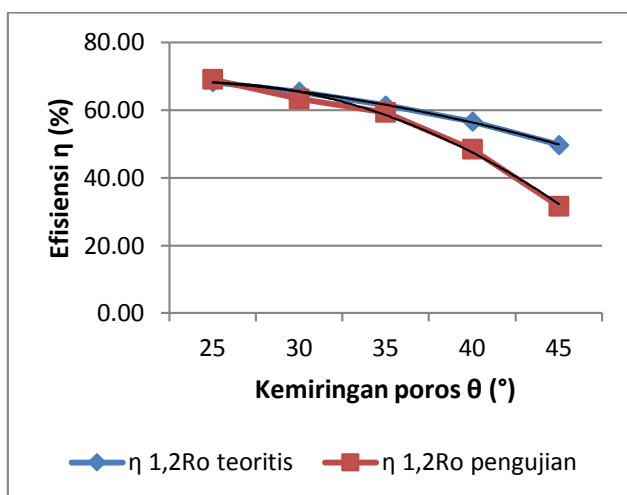
Grafik perbandingan antara efisiensi hasil pengujian dan efisiensi secara teoritis pada variasi kemiringan poros dapat dilihat pada Gambar 11 – 13.



Gambar 11. Perbandingan efisiensi teoritis terhadap efisiensi pengujian *pitch* 2Ro



Gambar 12. Perbandingan efisiensi teoritis terhadap efisiensi pengujian *pitch* 1,6Ro



Gambar 12. Perbandingan efisiensi teoritis terhadap efisiensi pengujian *pitch* 1,6Ro

Gambar 11 – 13 menunjukkan bahwa pada kemiringan sudut poros 25°, ulir *pitch* 2Ro menghasilkan daya sebesar 15,89 W dengan efisiensi 73,08% (tertinggi), sementara pada kemiringan sudut poros 35°, ulir *pitch* 2Ro menghasilkan daya sebesar 18,51 W (tertinggi) dengan efisiensi 66,16%. Perbedaan efisiensi ini diakibatkan oleh pengaruh perbedaan daya air (daya input) pada berbagai kemiringan sudut poros turbin.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisa serta pembahasan data hasil pengujian maka diambil

kesimpulan sebagai berikut: (1) Hasil rancangan model turbin ulir 2 *blade* berfungsi cukup baik pada pengujian di laboratorium dengan menggunakan debit aliran yang konstan sebesar sebesar 0,00728 m<sup>3</sup>/s dan variasi kemiringan sudut poros 25°, 30°, 35°, 40°, dan 45°; (2) Pada hasil pengujian tanpa beban, model turbin ulir dengan *pitch* 2Ro menghasilkan putaran lebih tinggi dibandingkan *pitch* 1,6Ro dan 1,2Ro; (3) Pada hasil pengujian berbeban, masing-masing model turbin ulir menghasilkan putaran dan daya tertinggi pada sudut kemiringan poros 35°, sementara efisiensi tertinggi dihasilkan pada kemiringan sudut poros 25°; (4) Pada kemiringan sudut poros 25°, ulir *pitch* 2Ro menghasilkan daya sebesar 15,89 W dengan efisiensi 73,08% (tertinggi), sementara pada kemiringan sudut poros 35°, ulir *pitch* 2Ro menghasilkan daya sebesar 18,51 W (tertinggi) dengan efisiensi 66,16%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Rorres. “The Turn of the Screw: Optimal Design of An Archimedes Screw”. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 126, No. 1, pp. 72-80, 2000.
- [2] P. L. Fraenkel. *Water Lifting*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1986, pp. 86–89.
- [3] Ritz-Atro Pumpwerksbau GmbH, “Hydrodynamic Screw”, Max-Brod, Nuremberg, Germany, Report No. 08/2010, 2010.
- [4] O. Paish. *Small Scale Hydro Feasibility Study*. Derwent Hydro, Derbyshire, UK, Report No. 10205, 2009.
- [5] R. S. Khurmi dan J. K. Gupta. *A Textbook of Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD., 2005, pp: 624-676.
- [6] B. R. Munson, D. F. Young, dan T. H. Okiishi. *Mekanika Fluida Jilid 2, Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga, 2005 pp: 111-266.

**NOMENKLATUR**

$n$	= kecepatan rotasi turbin (rpm)
$T$	= torsi (Nm)
$P_f$	= daya fluida air (W)
$P_t$	= daya turbin (W)
$H$	= head (m)
$Q$	= debit atau laju aliran ( $m^3/s$ )
$R_o$	= jari-jari luar (m)
$R_i$	= jari-jari dalam (m)
$D_o$	= diameter luar (m)
$D_i$	= diameter dalam (m)
$V$	= kecepatan aliran (m/s)
$L$	= panjang turbin
$t$	= tinggi sudu (t)
$nb$	= jumlah lingkaran sudu
$N$	= jumlah sudu
$F_a$	= gaya aliran air (N)
$F_t$	= gaya tangensial turbin (N)
$F$	= gaya gesekan antara air dan sudu (N)
$R_n$	= gaya normal (N)
$\Lambda$	= pitch atau jarak antar periode sudu (m)
$\theta$	= kemiringan poros turbin ( $^\circ$ )
$\eta$	= efisiensi turbin
$\alpha$	= sudut ulir luar ( $^\circ$ )
$\beta$	= sudut ulit dalam ( $^\circ$ )