

Studi Eksperimental Kinerja Turbin Ulir *Archimedes*

Herman Budi Harja¹, Halim Abdurrachim², Sigit Yoewono² dan Hendi Riyanto²

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl. Kanayakan No. 21 - Dago, Bandung 40135
Phone/Fax: 022-250 0241 / 250 2649
E-mail : h_b_harja@yahoo.com

²Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10, Bandung 40132
Phone/Fax: 022-250 4243 / 253 4099

Abstrak

Turbin ulir *Archimedes* yang mampu beroperasi pada *head* sangat rendah (di bawah 3 m) telah dibuat dan dikaji secara eksperimental di Laboratorium Teknik Manufaktur Polman Bandung. Turbin ini dirancang dengan menggunakan metoda yang dikembangkan oleh Chris Rorres dan dibuat dari bahan St 37. Turbin ulir *Archimedes* ini memiliki 2 buah sudu ulir dengan kisar ulir 413 mm, radius sudu luar (R_o) 204 mm dan radius sudu dalam (R_i) 109 mm. Panjang turbin adalah 346 cm. Sudut optimum kemiringan poros turbin, yaitu 32° , dihitung berdasarkan gaya berat dan gaya hidrostatis yang dihasilkan volume air di antara 2 sudu ulir.

Pengujian kinerja turbin ulir dilakukan di kampus Polman Bandung dengan memanfaatkan aliran sungai kecil yang memiliki debit maksimum 20 liter per detik. Pengujian dilakukan dengan kemiringan poros turbin terhadap bidang horizontal antara 17° s.d. 50° dan dengan debit air 12 liter per detik dan 18 liter per detik. Daya mekanik yang dihasilkan turbin diukur melalui pengukuran torsi poros turbin dan kecepatan poros yang dilakukan menggunakan *push-pull gauge* dan *tachometer*.

Hasil pengujian pada dua variasi debit air menunjukkan bahwa sudut optimum turbin ulir terjadi pada sudut 34° . Pada 12 liter per detik dihasilkan daya 110,8 watt dan efisiensi 61%. Pada debit 18 liter per detik dihasilkan daya 197 watt dan efisiensi 72%.

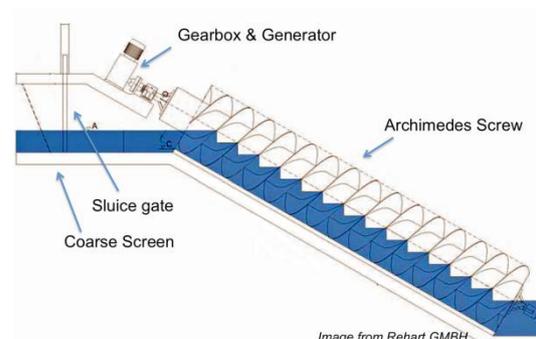
Perbedaan sudut optimum kemiringan poros antara hasil perhitungan dan eksperimen adalah karena belum dipertimbangkannya faktor gaya impuls, gaya reaksi, *clearance* dan gesekan pada *lower bearing*.

Dengan daya listrik sebesar 200 watt, turbin jenis ini akan dapat digunakan untuk menerangi rumah-rumah masyarakat di sekitar aliran sungai yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN.

Kata kunci: turbin ulir *Archimedes*, efisiensi, debit air, sudut kemiringan, torsi

Pendahuluan

Ulir *Archimedes* merupakan teknologi yang sejak zaman kuno telah ditemukan dan diterapkan sebagai pompa, dimana pada konstruksinya terdiri dari satu atau beberapa sudu berbentuk heliks yang terpasang pada poros dan berfungsi sebagai *bucket* bergerak untuk membawa air ke atas. Kemudian seiring dengan kebutuhan pemanfaatan sumber potensi energi air dengan *head* rendah, penggunaan ulir *Archimedes* diterapkan sebagai turbin air (Lakeside Equipment 2011 dan Hellmann 2003).



Gambar 1. Skema turbin ulir (Lakeside Equipment).

Prinsip kerja turbin ulir *Achimedes* ialah (seperti ditunjukkan pada gambar 1):

- air dari ujung atas mengalir masuk ke ruang di antara kisar sudu ulir (*bucket*) dan keluar dari ujung bawah;
- gaya berat air dan beda tekanan hidrostatik dalam *bucket* di sepanjang rotor mendorong sudu ulir dan memutar rotor pada sumbunya dan
- rotor turbin memutar generator listrik yang disambungkan dengan ujung atas poros turbin ulir.

Pada penelitian ini dilakukan kajian terhadap turbin ulir *Archimedes* yang telah dibuat di Polman menggunakan material St 37 (gambar 2), dimana dalam perancangannya menggunakan metoda yang dikembangkan oleh Chris Rorres untuk pemanfaatan potensi energi air sungai dengan debit maksimum 20 liter per detik dan *head* 2 meter (Budi, Yoewono dan Riyanto 2012).



Gambar 2. Turbin ulir *archimedes* yang diuji.

Spesifikasi turbin ulir yang dikaji adalah sebagai berikut:

- Dimensi rangka 310 cm x 109,5 cm x 219 cm
- Dimensi sudu turbin ulir
 - N = 2 buah
 - $\Lambda = 319$ mm
 - $m \approx 9$ buah
 - L = 278 cm
 - $R_i = 108$ mm
 - $R_o = 387$ mm
- *Upper Bearing* menggunakan *Self Aligning Ball Bearing* dengan *Housing Plumber*.
- *Lower Bearing* menggunakan *Taper Roller Bearing*.

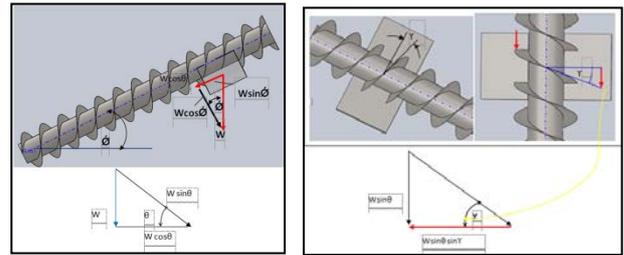
Metoda Penelitian & Fasilitas Yang Digunakan

Kajian penelitian dilakukan dengan 2 metoda yaitu (1)perhitungan torsi akibat gaya berat dan gaya hidrostatik, (2)kajian eksperimen melalui pengukuran

besar torsi dan putaran poros rotor.

Sesuai dengan prinsip kerja turbin ulir *Archimedes* bahwa berputarnya rotor turbin ulir adalah disebabkan oleh gaya berat dan gaya hidrostatik dari volume air yang berada di antara dua sudu sepanjang rotor turbin ulir. Oleh karena itu pendekatan perhitungan torsi yang dihasilkan poros turbin ulir dikaji dari gaya berat dan gaya hidrostatik fluida yang berada di antara dua sudu (Nagel dan Radlik 1988 dan Muller 2009).

Perhitungan Gaya Berat



Gambar 3. Skema perhitungan torsi akibat gaya berat.

Perhitungan gaya berat air dengan volume air pada *bucket* dapat dihitung menggunakan persamaan (1):

$$F_m = \rho * V * g \quad (1)$$

Dan gaya berat arah aksial (sejajar sumbu rotor) dapat dihitung menggunakan persamaan (2) :

$$F_m \sin \theta \quad (2)$$

Sehingga gaya pada poros dihitung dari gaya yang terjadi pada sudut ulir dengan sudut γ .

$$\gamma = (\alpha + \beta) / 2 \quad (3)$$

$$F_{tangensial} = F_m \sin \theta \sin \gamma \quad (4)$$

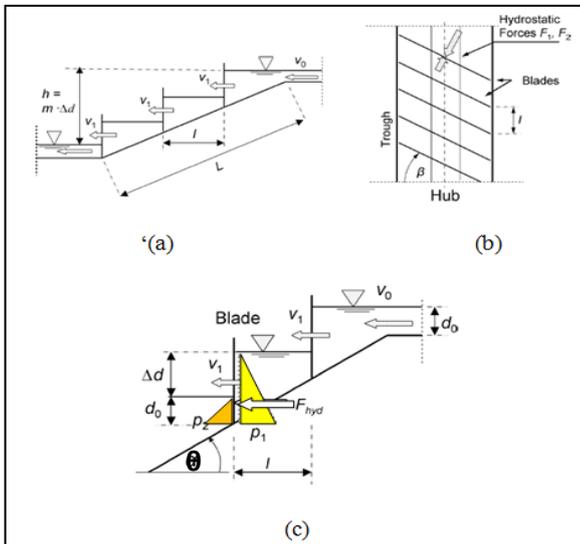
Torsi dari gaya berat (seperti diperlihatkan pada gambar 3) merupakan perkalian gaya tangensial pada sudu akibat gaya berat dari volume air di *bucket* dengan jarak titik berat volume *bucket* tersebut terhadap sumbu putar.

Perhitungan Gaya Hidrostatik

Perbedaan gaya hidrostatik pada sudu turbin ulir (seperti ditunjukkan pada gambar 4) terjadi karena

adanya perbedaan *head* air antara *head* air di atas sudu (*head upper*) dengan *head* air di bawah sudu (*head down*). Pengurangan besar gaya hidrostatik di atas kisar dengan gaya hidrostatik di bawah kisar merupakan gaya dan menjadi torsi yang menyebabkan rotor berputar.

ditunjukkan bahwa pengujian dilakukan dengan kemiringan poros turbin terhadap bidang horizontal (sudut θ) antara 17° sampai 50° dan debit air 12 liter per detik dan 18 liter per detik .



Gambar 4. Skema pendekatan gaya hidrostatik pada turbin ulir (a) Pandangan samping (b) Pandangan atas, (c) Gaya hidrostatik pada sudu (Muller 2009).

Perhitungan gaya hidrostatik pada turbin ulir dapat menggunakan persamaan (5) dan (6) (Muller 2009):

$$F_{hyd} = \frac{(d_0 + \Delta d)^2 - d_0^2}{2} * \rho * g \tag{5}$$

Dimana

$$\Delta d = \frac{h}{m}$$

$$h_u = \Delta d + d_0$$

$$h_d = d_0$$

Sehingga gaya hidrostatik fluida adalah:

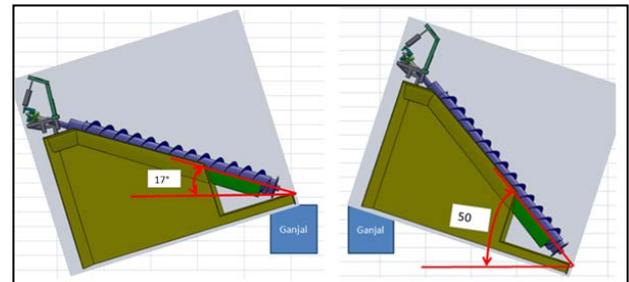
$$F_{hyd} = \frac{h_u^2 - h_d^2}{2} * \rho * g \tag{6}$$

Gaya tangensial hidrostatik fluida ($F_{hyd t}$) :

$$F_{hyd t} = F_{hyd} \cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \tag{7}$$

Pengujian Turbin Ulir

Pengujian kinerja turbin ulir yang dilakukan dengan memanfaatkan aliran sungai kecil yang memiliki debit maksimum 20 liter per detik. Pada gambar 5



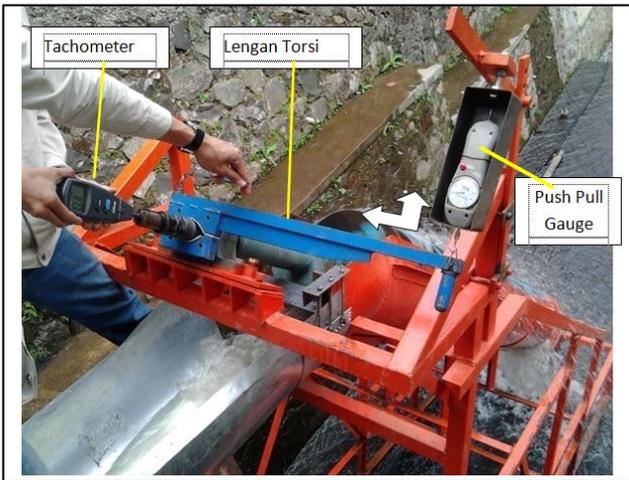
Gambar 5. Skema pengaturan sudut kemiringan rotor sudu turbin ulir dari 17° sampai 50° .

Pengujian parameter besar sudut kemiringan rotor turbin ulir hanya dapat dilakukan pada sudut $17^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$, hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

- Pada sudut kemiringan poros turbin $\theta > 50^\circ$ tidak dapat dilakukan karena dibatasi oleh ketinggian konstruksi sipil tanggul sungai.
- Semakin besar sudut kemiringan poros turbin maka semakin banyak air yang terlempar ke luar karena saluran turbin ulir terbuka.
- Pada sudut kemiringan poros turbin $\theta < 17^\circ$ tidak dapat dilakukan karena dibatasi oleh ketinggian konstruksi sipil saluran (pengarah) air ke turbin ulir.

Pengukuran data diawali dengan pemberian ganjal pada *frame* turbin sebagai langkah penyetingan sudut kemiringan rotor turbin, kemudian pengukuran *head* dan debit air. Langkah berikutnya adalah pengukuran daya mekanik.

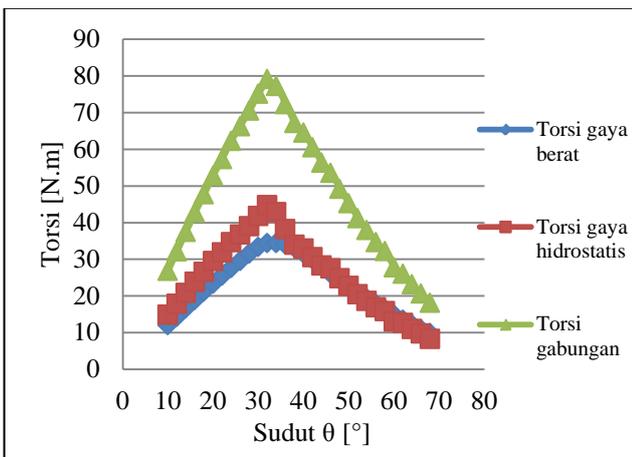
Proses pengukuran data turbin ulir difokuskan pada data potensi daya fluida dan data daya mekanik yang dihasilkan turbin ulir. Data potensi daya fluida adalah berupa *head* dan debit air yang masuk pada turbin ulir, data daya mekanik yang diukur terdiri dari putaran rotor turbin dan besarnya gaya yang terjadi pada lengan pengukur torsi dengan menggunakan *push-pull gauge* dan *tachometer* (gambar 6).



Gambar 6. Pengujian turbin ulir.

Hasil dan Pembahasan

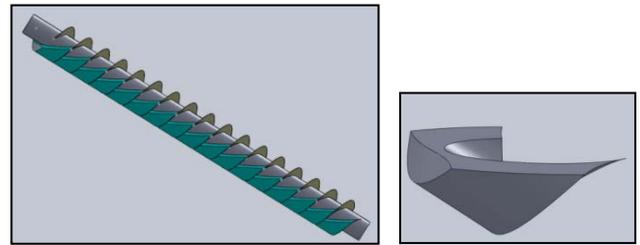
Hasil perhitungan torsi akibat gaya berat dan gaya hidrostatik dengan volume bucket maksimum ditunjukkan pada gambar 7 dimana sudut optimum kemiringan poros (θ) adalah pada sudut 32° yang dapat menghasilkan torsi terbesar.



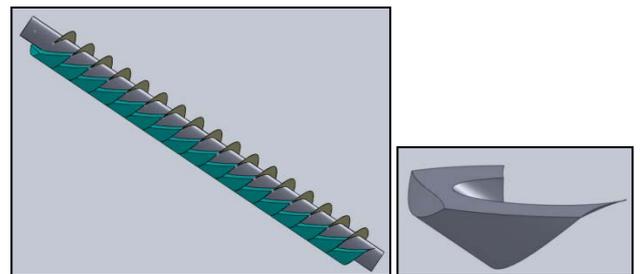
Gambar 7. Grafik pengaruh sudut (θ) kemiringan poros terhadap torsi akibat gaya berat dan gaya hidrostatik.

Besar sudut kemiringan poros berpengaruh terhadap banyaknya volume air pada ruang di antara dua sudu (bucket). Pada sudut di atas 32° , banyaknya air pada bucket akan semakin berkurang karena sebagian volume air akan mengalir pada bagian atas sudu ulir dan tidak menghasilkan gaya pada poros.

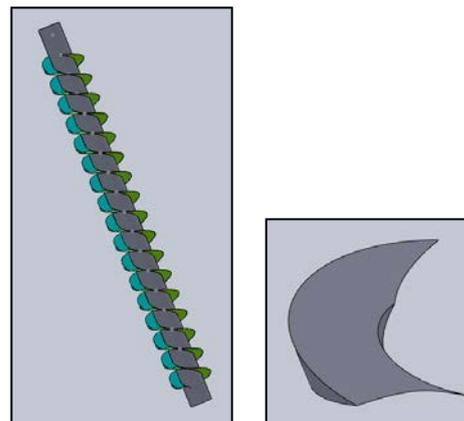
Pada gambar 8,9 dan 10 diperlihatkan bentuk air pada volume bucket pada saat sudut kemiringan poros 32° dan 68° , dimana volume air pada bucket dengan sudut $\theta=68^\circ$ lebih sedikit dari pada volume air pada bucket dengan sudut $\theta=32^\circ$.



Gambar 8. Bentuk air pada volume bucket sebesar $0,120 \text{ m}^3$ sudut (θ) kemiringan poros 32° .

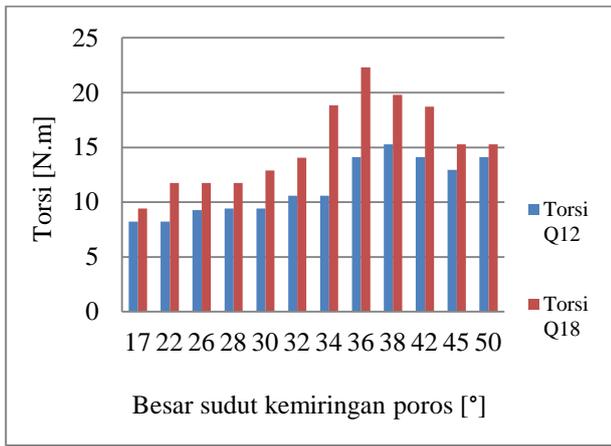


Gambar 9. Bentuk air pada volume bucket sebesar $0,110 \text{ m}^3$ dengan sudut θ kemiringan poros 34° .

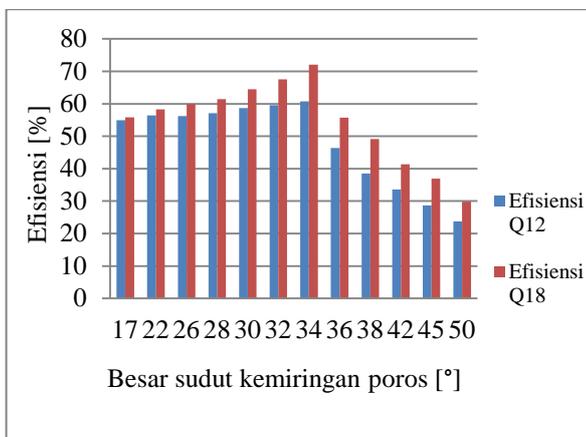


Gambar 10. Bentuk air pada volume bucket sebesar $0,0154 \text{ m}^3$ sudut (θ) kemiringan poros 68° .

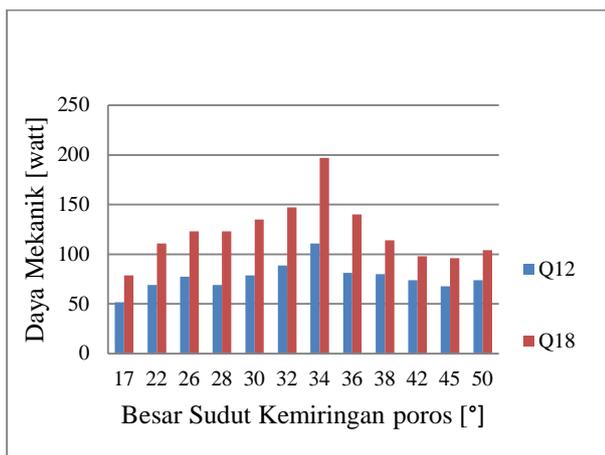
Grafik hasil pengujian turbin ulir dapat ditunjukkan pada gambar 11 yang memperlihatkan bahwa besar torsi terbesar yang dihasilkan turbin ulir adalah pada sudut (θ) optimum kemiringan poros 36° .



Gambar 11. Grafik pengaruh sudut (θ) kemiringan poros terhadap besar torsi turbin air.



Gambar 12. Grafik pengaruh sudut (θ) kemiringan terhadap efisiensi daya turbin ulir.



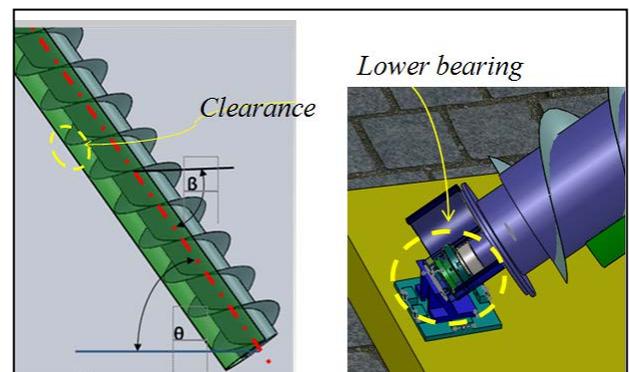
Gambar 13. Grafik pengaruh sudut kemiringan terhadap besar daya yang dihasilkan turbin ulir.

Pada gambar 12 dan gambar 13 ditunjukkan bahwa pada sudut 34° dihasilkan daya dan efisiensi terbesar. Pada debit air (Q) 12 liter per detik menghasilkan daya 110 watt dengan efisiensi 61% dan pada debit air (Q) 18 liter per detik menghasilkan daya 197 watt

dengan efisiensi 72 %.

Pada sudut kemiringan poros $\theta > 34^\circ$ terjadi penurunan nilai torsi, daya maupun efisiensi yang disebabkan oleh:

- Air yang berada di antara sudu mulai terbuang dan mengalir langsung melalui bagian atas sudu sehingga tidak menghasilkan torsi pada poros.
- Gesekan pada *lower bearing* karena semakin besar sudut θ maka gaya berat rotor semakin tertumpu pada *lower bearing*.
- Adanya *clearance* (seperti ditunjukkan pada gambar 14) antara rotor dan *channel*, semakin besar sudut θ maka banyaknya air yang mengalir pada celah *clearance* akan semakin cepat.



Gambar 14. Clearance dan lower bearing pada turbin ulir.

Kesimpulan

- Turbin ulir *Archimedes* yang dikaji telah mampu beroperasi pada *head* 2 meter.
- Kinerja turbin ulir telah diperoleh dari penelitian ini, dimana hasil perhitungan gaya berat dan gaya hidrostatik pada volume *bucket* maksimum diperoleh sudut optimum pada sudut $\theta=32^\circ$ dan hasil eksperimen adalah sudut $\theta=34^\circ$.
- Hasil pengujian dengan dua variasi debit air menunjukkan bahwa pada sudut optimum kemiringan poros 34° , dihasilkan 110,8 watt dan efisiensi 61% pada debit air 12 liter per detik dan dihasilkan daya 197 watt dan efisiensi 72% pada debit 18 liter per detik.

Ucapan Terima kasih

Para penulis mengucapkan terimakasih kepada Polman Bandung yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Nomenklatur

d	ketinggian air pada <i>bucket</i> (m)	Hellmann, H., Gutachten zur Wirkungsgradbestimmung einer Wasserkraftschnecke Fabrikat Ritz-Atro [Report on determination of hydraulic screw efficiency manufactured by Ritz-Atro Ltd.], Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Technical University, Kaiserslautern, Germany (2003)
F	gaya (newton)	
g	gravitasi ($m.s^{-2}$)	
h	<i>head</i> (m)	
L	panjang rotor berulir turbin ulir (cm)	
m	jumlah kisar ulir (buah)	
N	jumlah sudu ulir (buah)	
Q	debit air ($l.s^{-1}$)	
R	jari-jari (mm)	
St	material <i>steel</i>	
V	volume (m^3)	Http://www.lakeside-equipment.com/Lakeside screw pump diakses 1 oktober 2011.

Muller, G. Simplified Theori of Archimedean Screw, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.47, No.5, (2009)

Nagel, G. dan Radlik, K. Wasserförderschnecken [Water lifting screws] Bauverlag, Wiesbaden/Berlin, German (1988)

Greek letters

α	sudut ulir pada jari-jari luar sudu ($^{\circ}$)
β	sudut ulir pada jari-jari dalam sudu ($^{\circ}$)
θ	sudut kemiringan poros ($^{\circ}$)
Λ	kisar sudu ulir (mm)
Υ	sudut ulir pada tengah sudu ($^{\circ}$)

Subsripts

d	<i>Down</i>
hyd	Hidrostatik
hyd t	Hidrostatik arah tangensial
i	<i>Inner</i>
m	Massa
o	<i>Outter</i>
u	<i>Upper</i>

Referensi

Budi, H., Yoewono, S. dan Riyanto, H. Perancangan Dan Pembuatan Sudu Turbin Ulir Archimedes, Prosiding STEMAN, Polman Bandung, (2012)