

UNJUK KERJA KINCIR AIR SUDU LENGKUNG YANG BEKERJA PADA SALURAN HORIZONTAL

Rahmad Hidayat Boli⁽¹⁾, Abdul Makhsud⁽²⁾, Mahmuddin⁽³⁾

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Gorontalo⁽¹⁾

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia Makassar^{(2), (3)}

Email : rh668132@gmail.com

ABSTRAK

Kincir air sudu lengkung berdiameter 100 cm, dengan panjang sudu 25 cm, dan lebar sudu 30 cm. Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat diolah sedemikian rupa sehingga dapat membangkitkan listrik untuk dimanfaatkan oleh masyarakat. Penelitian yang dilakukan dengan tujuan mengetahui seberapa besar kemampuan kincir air sudu lengkung menghasilkan daya dan efisiensi. Dalam pengujian kincir air tersebut, maka dibuatlah model saluran terbuka yang menyerupai saluran irigasi dengan dimensi saluran 1225 cm panjang saluran, 33,4 cm lebar saluran, 600 cm tinggi saluran, dan 45^o sudut kemiringan. Dengan adanya variasi debit antara 0,050 m³/s sampai 0,032 m³/s terhadap beban poros sebesar 2 kg sampai dengan 22 kg, maka daya dan efisiensi dapat diketahui. Daya maksimum sebesar 30,187 watt pada debit 0,050 m³/s sedangkan efisiensi sebesar 47,124% pada debit 0,036 m³/s.

Kata kunci : Kincir air, sudu lengkung, daya dan efisiensi.

ABSTRACT

The waterwheel of the curved blade has a diameter of 100 cm, with a blade length of 25 cm and a blade width of 30 cm. Water energy was a renewable energy that can be processed in such a way that it can generate electricity to be utilized by the community. research conducted with the aim of knowing how much the ability of the curved blade waterwheel to produce power and efficiency. In testing the waterwheel, an open channel model that resembles an irrigation canal was made with the channel dimensions of 1225 cm channel length, 33.4 cm channel width, 600 cm channel height, and 45^o slope angles. With the variation of the discharge between 0.050 m³ / s to 0.032 m³ / s against a shaft load of 2 kg to 22 kg, the power and efficiency can be determined. The maximum power was 30,187 watts at a discharge of 0.050 m³ / s while the efficiency was 47.124% at a discharge of 0.036 m³ / s.

Keywords: water wheels, curved blade, power and efficiency.

PENDAHULUAN

Indonesia sampai saat ini mengedepankan energi listrik dari bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi, batu bara dan minyak bumi tersebut akan mengalami pengurangan pasokan seiring dengan perkembangan zaman dari tahun ke tahun. Untuk itu dibutuhkan sebuah ide atau pemikiran yang dapat menanggulangi energi listrik yang terbatas.

Energi terbarukan merupakan salah satu energi yang ramah lingkungan dan mudah untuk perawatannya, sehingga dalam hal ini dibumihkan untuk terus dikembangkan demi memenuhi sebuah kebutuhan yang dapat dimanfaatkan. Oleh sebab itu untuk menempuh pasokan energi yang dapat menyalurkan ke setiap daerah yang belum

ditempuh energi listrik, dengan demikian maka dibutuhkan pemikiran-pemikiran untuk terus mengembangkan kondisi yang ada.

Energi terbarukan saat ini sebagai energi alternatif untuk keberlangsungan atau kesejahteraan masyarakat, untuk itu kita dituntut dalam penerapan ilmu pengetahuan untuk terus melakukan penelitian-penelitian, sehingga menjadi sebuah informasi yang dapat disebarluaskan. Dalam hal ini energi terbarukan meliputi (1) energi surya (2) energi biomassa (3) energi pasang surut (4) energi air (5) energi angin. Energi terbarukan tersebut mempunyai potensi yang besar dikembangkan pada daerah-daerah terpencil bahkan perkotaan.

Beberapa energi terbarukan yang telah disajikan di atas sehingga dalam penelitian yang dilakukan adalah energi air. Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang telah banyak dilakukan oleh para peneliti dan kelompok masyarakat lainnya. Akan tetapi pada kenyataannya saat ini masih banyak masyarakat pedesaan yang belum teraliri energi tersebut.

Energi air merupakan energi yang memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik aliran yang kemudian dapat dimanfaatkan dengan sebuah media yaitu roda air (*water wheel*). Air yang diciptakan oleh Tuhan Yang Maha Kuasa dengan aliran secara *continue* artinya bahwa air mengalir dari hulu ke hilir yang kemudian dihisap oleh embun selanjutnya dibawa ke hulu.

Roda air atau kincir air terbagi atas tiga bagian yaitu (1) tipe *breashot* (2) tipe *overshot* dan (3) tipe *undershot*. Dalam penelitian yang dilakukan adalah menggunakan tipe *undershot* sehingga dapat mengetahui *performance* dari kincir air yang dilakukan.

Tujuan penelitian yang akan dicapai yaitu mengetahui *performance* dari kincir air dengan menggunakan tipe sudu lengkung dan variasi debit aliran sehingga dapat mengungkapkan seberapa besar daya dan *efisiensi* yang dihasilkan.

Tinjauan Pustaka

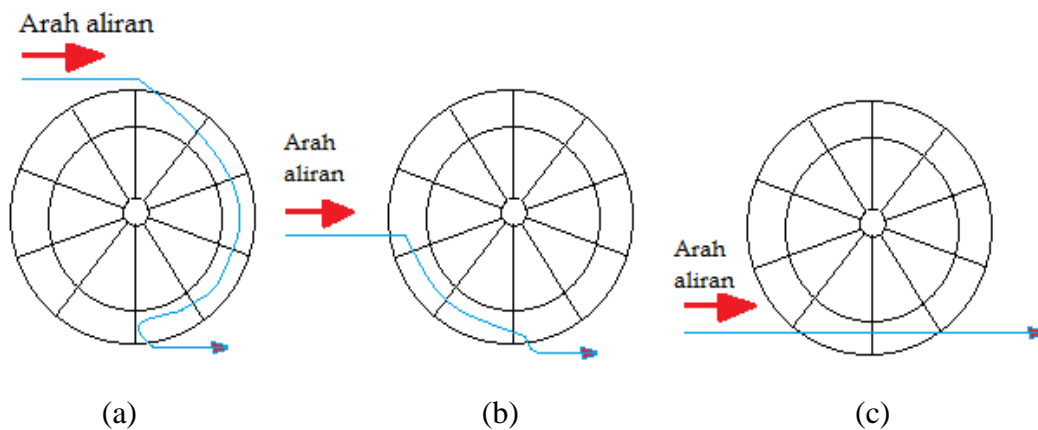
Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan metode variasi jumlah sudu dan debit aliran yaitu sudu 8, sudu 10 dan sudu 12 dengan debit $0,040 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,047 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $0,048 \text{ m}^3/\text{s}$. Hasil menunjukkan bahwa jumlah daya keluaran sebesar 161,18 watt, 175,1 watt dan 181,3 watt pada putaran sebesar 64,61 rpm, 66,19 rpm dan 67,48 rpm.

Pengujian kincir air arus bawah pada bentuk sudu mangkok dengan variasi jumlah sudu yang bekerja pada jumlah sudu 4, 6 dan 8 sudu tersebut, hasil yang diperoleh yaitu

sebesar 57,84 % efisiensi maksimum pada debit 0,010 m³/s. kategori dari bentuk sudu mangkok tersebut berdasarkan hasil yang diperoleh hanya dapat dilakukan pada pembangkit listrik skala kecil.

Landasan Teori

Kincir air terbagi atas 3 tipe sesuai gaya yang bekerja seperti kincir air tipe *overshot*, kincir air tipe *breastshot* dan kincir air tipe *undershot*. Kincir air tersebut sebagai salah satu sarana untuk mengubah energi potensial aliran ke energi mekanik aliran. Energi mekanik tersebut dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui energi mekanis pada perputaran poros yang terkoneksi langsung ke generator.



Gambar 1. Tipe kincir air sesuai gaya gerakannya
(a) *overshot*, (b) *breastshot*, (c) *Undershot*

Kincir air tersebut terus menerus untuk dikembangkan dikarenakan biaya perakitan dan *maintanance* serta pengoperasiannya terhitung mudah dan murah.

Potensi energi air atau pemanfaatan energi potensial sanggup diolah sedemikian rupa sehingga dapat membangkitkan listrik melalui beberapa tahapan yakni energi kinetik, energi kinetis dan energi listrik.

Energi Potensial air tersebut dimiliki massa (kg) dan berpengaruh terhadap gravitasi bumi (m/s²) seperti dinyatakan pada persamaan (1) :

$$E_p = m \times g \times h \quad (1)$$

Dengan melihat tinggi jatuh aliran atau biasa disebut dengan energi potensial, maka energi horizontal atau energi kinetik aliran dapat dimanfaatkan sebagai pemutar sebuah media kincir air seperti pada persamaan (2):

$$E_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (2)$$

Banyaknya aliran air yang dapat difungsikan sebagai media utama untuk memutar roda kincir air disebut juga dengan banyaknya air yang mengalir pada satuan volume terhadap waktu seperti yang dirumuskan pada persamaan (3):

$$Q = \frac{v}{t} \quad (3)$$

Kecepatan aliran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4):

$$v = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

$$A = L_{\text{sudu}} \times T_{\text{dalam saluran}} \quad (5)$$

1. Daya air

Jumlah daya air (N_A) yang dapat ditransfer melalui roda kincir air tersebut sehingga dapat menghasilkan momen putar dari energi kinetik aliran. Besar daya air yang dihasilkan dengan memanfaatkan kecepatan aliran untuk memutar sudu kincir air tergantung pada tingkat kecepatan aliran dan debit aliran air seperti pada persamaan (6):

$$N_{\text{Air}} = \frac{1}{2} \times \rho \times a \times v^3 \quad (6)$$

2. Daya kincir air

Energi kinetik aliran yang diubah menjadi energi mekanik pada putaran poros sehingga roda kincir air berputar secara *rotation* kemudian menjadi energi kinetis pada generator, energi listrik yang dihasilkan oleh generator dapat disalurkan melalui distribusi panel ke masyarakat. Daya kincir air tersebut dapat dituliskan seperti pada persamaan (7) untuk melihat seberapa besar daya yang dibangkitkan oleh roda kincir air sudu lengkung.

$$N_{\text{Kincir Air}} = \text{Torsi} \times \text{omega } (\omega) \quad (\text{Watt}) \quad (7)$$

$$T = m \times g \times r \quad (\text{N/m}) \quad (8)$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (\text{rad/s}) \quad (9)$$

$$N_{\text{KA}} = \frac{T \times 2 \times \pi \times n}{60} \quad (10)$$

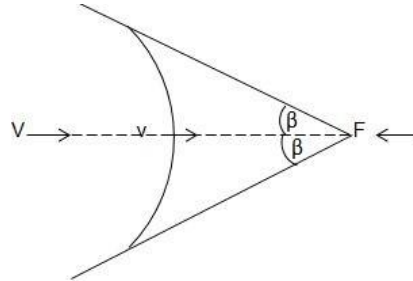
Kinerja yang dihasilkan oleh roda kincir air sudu lengkung dapat uraikan dalam efisiensi kincir air (η_{KA}) dapat dilihat pada persamaan 11:

$$\eta_{\text{KA}} = \frac{N_{\text{KA}}}{N_a} \times 100 \% \quad (11)$$

3. Gaya pancaran aliran pada sudu lengkung.

Apabila gaya pancaran aliran yang menghantam sudu lengkung dengan kecepatan v seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Pancaran air pada kecepatan v yang menerpa sudu kincir air dengan kecepatan relatif, $V_r = V - v$. dari hantaman air tersebut

mengakibatkan roda kincir air berputar dan membentuk sudut (β) terhadap arah putaran kincir air sudu lengkung. Gaya yang dihasilkan oleh sudu lengkung terhadap terpaan air dapat dituliskan seperti persamaan 12:



Gambar 2. Gaya pancaran aliran terhadap sudu lengkung.

$$R = -F = -\rho a (V-v) [-(V-v) \cos \beta - (V-v)] \text{ atau}$$

$$R = \rho a (V-v)^2 (1 + \cos \beta) \quad (12)$$

dengan:

R = gaya pancaran aliran terhadap sudu (N)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

a = luasampang pancaran aliran (m^2)

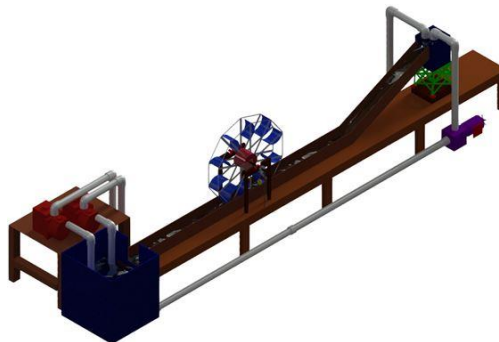
v = kecepatan aliran (m/s)

METODE

Dimensi saluran horizontal

Tipe saluran air yang dibuat menyerupai saluran irigasi dengan model saluran terbuka (*open channel*) dengan bahan tripleks 3mm, dimensi saluran air dengan panjang 1225 cm, lebar saluran 33,4 cm, *head* saluran 600 cm, dan sudut kemiringan saluran 45° .

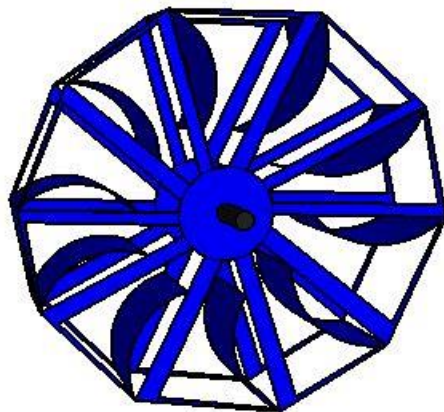
Metode untuk menyalurkan air dari *reservoir* 1 ke *reservoir* 2 menggunakan pompa *centrifugal* untuk mensirkulasikan air menuju *reservoir* 2 sehingga energi potensial dapat meningkatkan kecepatan aliran yang akan menerpa sudu kincir air seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.



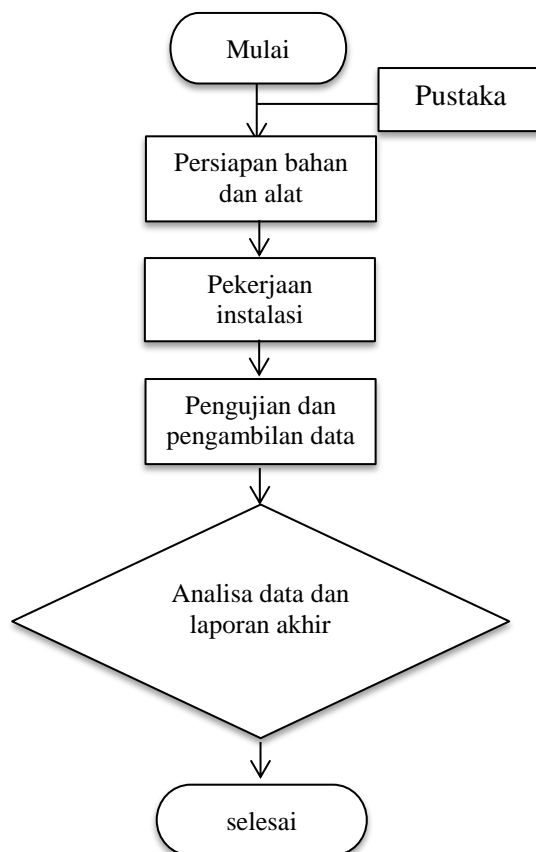
Gambar 3. Dimensi saluran.

Kincir air sudu lengkung

Roda kincir air yang dibuat dengan diameter roda 100 cm, tinggi sudu 25 cm dan lebar sudu 30 cm. Bahan roda dan sudu kincir air terbuat dari *acrylic* yang dibentuk sedemikian rupa sehingga membentuk sudu lengkung seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Roda kincir air sudu lengkung



Gambar 5. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan

1. Debit aliran

Pengukuran debit air dengan metode *bucket* dapat diperoleh dengan menghitung volume *bucket* sebesar 50 liter terhadap waktu.

- Data pengambilan atau pengukuran

$$\text{Volume } bucket \quad (V) \quad = 50 \text{ liter} = 0,05 \text{ m}^3$$

$$\text{Lebar saluran (B)} \quad = 33,4 \text{ cm} = 0,334 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi air dalam saluran (h)} \quad = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$$

$$\text{Luaspenampang (A)} \quad = B \times h = 0,334 \times 0,08 = 0,02672 \text{ m}^2$$

$$\text{Debit aliran } Q = \frac{V}{t} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\dot{t} = \text{waktu rata-rata (s)}$$

$$\dot{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4}$$

$$\dot{t} = \frac{1,00 + 0,93 + 1,03 + 1,07}{4} = 1,01 \text{ s}$$

$$Q = \frac{0,05 \text{ m}^3/\text{s}}{1,01 \text{ s}}$$

$$= 0,050 \text{ m}^3/\text{s}$$

Daya luaran dan efisiensi kincir air sudu lengkung

Perhitungan daya dan efisiensi kincir air sudu lengkung terhadap beban poros sebesar 2 kg dengan data-data sebagai berikut:

Pada beban poros sebesar 2 kg menghasilkan putaran poros sebesar 60 rpm.

$$\text{Massa jenis air } (\rho) \quad = 995 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Jarak dasar saluran dengan sudu (y)} \quad = 0,5 \text{ cm} = 0,005 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi basah saluran (h)} \quad = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$$

$$\text{Lebar sudu (I)} \quad = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Temperatur air } (t_a) \quad = 31^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Jari-jari pully (r)} \quad = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} \quad = 1,871 \text{ m/s}$$

$$\text{Debit aliran (Q)} \quad = 0,050 \text{ m}^3/\text{s}$$

1. Daya air (N_a)

Daya air (N_a) yang menerpa kincir air sudu lengkung seperti pada persamaan (5) yang diuraikan sebagai berikut:

$$N_a = \frac{1}{2} \times \rho \times a \times v^3$$

$$a = I \times (h - y)$$

$$0.5 \times 995 \times [(0.3 \times (0,08 - 0,005))] \times 1.871^3$$

$$0.5 \times 995 \times 0.023 \times 1.871^3$$

$$N_a = 73,316 \text{ watt}$$

Besar daya air yang dapat transfer oleh kincir air sudu lengkung adalah 73,316 watt dengan debit 0,050 m³/s pada beban poros sebesar 2 kg.

2. Daya kincir air sudu lengkung (N_{KA})

Daya kincir air sudu lengkung (N_{KA}) adalah meninjau kemampuan kinerja yang dilakukan untuk menghasilkan seberapa besar daya luaran yang dapat dibangkitkan seperti pada persamaan (9):

$$N_{KA} = \frac{2 \times m \times g \times r \times \pi \times n}{60}$$

$$N_{KA} = \frac{2 \times 2 \times 9,81 \times 0,060 \times 3,14 \times 60}{60}$$

$$N_{KA} = 7,393 \text{ watt}$$

Pada beban poros 2 kg dapat menghasilkan daya luaran sebesar 7,393 watt terhadap kincir air air sudu lengkung.

3. Efisiensi roda kincir air (η)

Efisiensi kincir air dapat diperoleh dari hasil perhitungan daya kincir air dan daya air dengan menggunakan persamaan 10.

$$\eta_{KA} = \frac{N_{KA}}{N_a} \times 100\%$$

$$= \frac{7,393 \text{ watt}}{73,316} \times 100\%$$

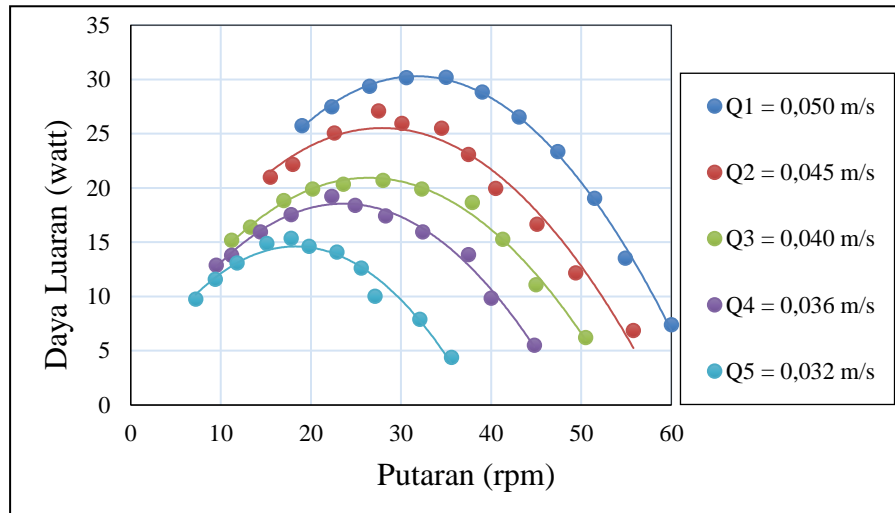
$$\eta_{KA} = 10,084 \%$$

Pembahasan

1. Daya kincir air

Dengan adanya meningkatnya jumlah debit aliran, maka semakin besar pula daya luaran yang dihasilkan. Gaya tumbukan yang besar tergantung pada besar jumlah debit

yang diberikan terhadap beban poros yang konstan. Semakin besar beban poros yang diberikan maka semakin kecil putaran poros yang dihasilkan akan tetapi torsi yang dihasilkan semakin besar seperti pada Gambar (6)



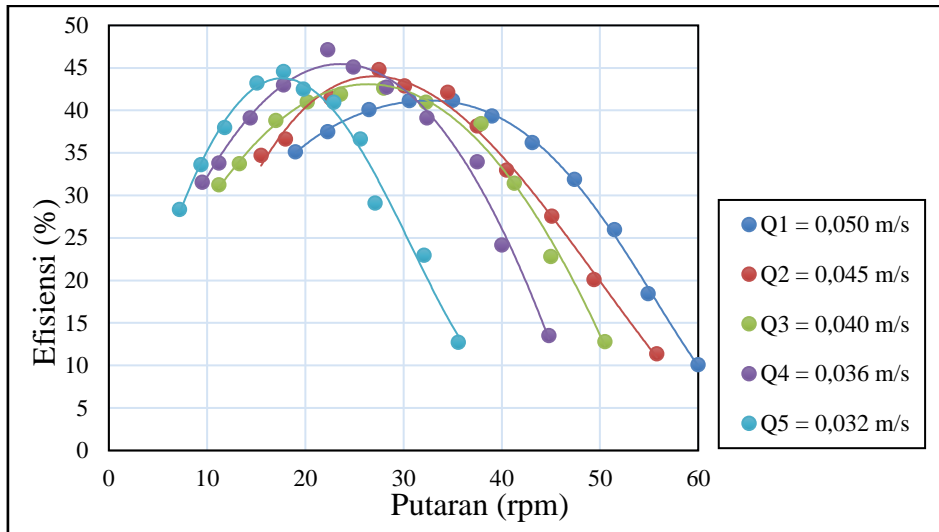
Gambar 6. Kurva daya kincir air (N_{KA}) Vs Putaran (rpm).

Tumbukan aliran air mengakibatkan kincir air sudu lengkung bergerak secara tangensial. Kecepatan putar kincir air sudu lengkung secara tangensial menyebabkan daya roda kincir air berputar, disisi lain tumpukan air dibelakang sudu lengkung memiliki momen sebagai hambatan akan tetapi tumbukan air tersebut diabaikan, sehingga sudu lengkung dapat bekerja secara efektif seperti pada Gambar 6.

Debit aliran $0.050 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.045 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.040 \text{ m}^3/\text{s}$, 0.036 dan $0.032 \text{ m}^3/\text{s}$ terhadap beban sebesar 2 kg sampai dengan 22 kg, kincir air sudu lengkung menghasilkan daya sebesar 7.393 Watt sampai dengan 4.386 Watt terhadap putaran poros 60 rpm sampai 35.6 rpm. Sedangkan pada posisi beban 22 kg menghasilkan daya sebesar 25.752 watt sampai dengan 9.59 watt pada putaran poros 19.0 rpm sampai dengan 7.2 rpm. Hal tersebut memberikan informasi bahwa ketika beban poros kecil maka semakin besar putaran yang dihasilkan akan tetapi torsi semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa beban poros yang diberikan dapat mempengaruhi torsi yang dihasilkan.

2. Efisiensi kincir air (η)

Debit aliran $0.050 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.045 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.040 \text{ m}^3/\text{s}$, 0.036 dan $0.032 \text{ m}^3/\text{s}$ terhadap beban poros 2 kg sampai dengan 22 kg, kincir air sudu lengkung menghasilkan efisiensi 10.084% sampai dengan 12.734% dalam putaran poros 60 rpm sampai 35,6 rpm. Sedangkan beban 22 kg menghasilkan efisiensi sebesar 35,124 % sampai 28,329 % pada putaran 19,0 rpm sampai 7,2 rpm seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva efisiensi η (%) Vs putaran (rpm)

Pada Gambar 7 kurva efisiensi vs putaran menghasilkan efisiensi maksimum kincir air sudu lengkung sebesar 47.124% pada putaran 22.3 rpm dengan torsi yang dihasilkan sebesar 8.240 N.m. hal ini menunjukkan bahwa apabila potensi daya air yang tersedia sebesar 40,815 watt dapat dikonversi menjadi daya mekanik melalui poros kincir air sudu lengkung sebesar 47,124 %. Hasil yang diperoleh memiliki kesamaan dengan hasil yang didapatkan oleh Y. Yessi (2013) yang mengatakan bahwa semakin meningkat beban yang diberikan maka semakin menurun pula putaran poros yang dihasilkan, akan tetapi torsi yang dihasilkan semakin besar.

SIMPULAN DAN SARAN

Sesuai dengan hasil yang diutarakan di atas, maka dapat menarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Daya luaran yang dihasilkan semakin besar sesuai dengan penambahan debit aliran yang besar terhadap kincir air sudu lengkung. Daya luaran maksimal yang dihasilkan sebesar 30.187 watt dengan debit sebesar 0,050 m³/s.
2. Efisiensi maksimal yang diperoleh pada debit 0,036 m³/s sebesar 47.124 %. Sejalan dengan menaikkan debit maksimum, maka efisiensi yang dihasilkan cenderung menurun.

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan di atas, maka beberapa hal yang perlu disarankan sebagai berikut :

1. Dengan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dijadikan referensi untuk terus mengembangkan pembangkit tenaga listrik dengan skala rumah tangga.

2. Dengan adanya peninjauan beberapa daerah terpencil yang di Indonesia yang memiliki sumber daya alam, maka harapan penulis untuk pembuatan pembangkit listrik dapat diaplikasikan langsung kepada masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada:

- (1). Nurmala Santi Dera, ST.,MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gorontalo yang telah memberikan izin melakukan penelitian dilaboratorium Pengujian Mesin-mesin.
- (2) Mohamad Rival Arbie, ST.,MT selaku kepala labratorium Pengujian Mesin-mesin yang telah memberikan izin menggunakan fasilitas alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini.
- (3) Terima kasih kepada Dosen-dosen Teknik Mesin yang telah meluangkan waktunya untuk membantu peneliti.
- (4) Terima kasih kepada adik-adik mahasiswa yang telah membantu dalam penelitian ini sehingga dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- ESDM, (2007)., “Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional”. Dirjen Listrik dan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan. Jakarta 2006
- Fachruddin, Adi Syuriadi , Ainun Nidhar, Febri Ramdhan dan Rian Aji Candra (2015)., “Pengujian Variasi Jumlah Dan Sudut Bilah Kincir Air Tipe *Breastshot*”.
- Frank M. White., 2009., “Fluid Mechanics, seventh Edition”. Americas, New York.
- Hangga Putra Prabawa, Mungsidi, Moh. Yusuf, Oktarina Heriyani (2016) “Pengaruh Variasi Ukuran Diameter *Nozzle* Terhadap daya dan efisiensi kincir Air Sudu datar, p-ISSN : 2407 – 1846.
- Havendri, A. dan Lius, H. (2009)., “Perancangan Dan Realisasi Model Prototipe Turbin Air Type Screw (Archimedean Turbine) Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Head Rendah Di Indonesia”.
- Himran, S. (2006)., Dasar – Dasar Merencana Turbin Air”, Bintang Lamumpatue, Makassar.
- Khurmi R. S. (1985), “Hydraulics, Fluid Mecanics and Hidraulic Machines” Fourteenth Edition, S. Chand & Company LTD. New Delhi.
- Makhsud, A. (2012)., Mekanika Fluida Teori dan Aplikasi. Kretakupa print. Makassar.
- Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H., Huebsch, Wade W. (1970) “Fundamentals of Fluid Mechanics, Sixth Edition” Printed in the United States of America.
- Sule L. (2015)., “Kinerja Yang Dihasilkan Oleh Kincir Air Arus Bawah Dengan Sudu Berbentuk Mangkok”
- Siregar ABS. dkk, (2015)., “uji jumlah sudu alat pembangkit listrik tenaga air irigasi” (test of Blade Number of Irrigation Water Power Plant Equipment) Vol.4 No. 1

- Samekto, C. dan Sofian, E. (2016)., “Potensi Sumber Daya Air di Indonesia”.
- Slamet Wahyudi, Dhimas Nur Cahyadi, dan Purnami (2012), “Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar”.
- Viktor L. Streeter dan E. Benjamin Wyle (1996)., “ Mekanika Fluida edisi delapan” Penerbit Erlangga.
- Yessi. Y., (2013) “*Eksperimental study of a High speed micro hidro waterwheel*” vol. 14 No. 1. Iranian Journal of Mechanical Engineering (ISME)