

UNJUK KERJA TURBIN AIR ALIRAN PUSAR DENGAN SUDU PIPA BELAH TIGA SKALA PICO DENGAN VARIASI SUDUT KEMIRINGAN SUDU UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

Gatot Suwoto¹⁾, Bono²⁾, Sunarwo³⁾, Mulyono⁴⁾

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50329

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50329

³Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50329

⁴Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50329

gatsuw@gmail.com

Abstract

This study aims to produce pico-scale vortex turbines with optimum blade tilt angles. The research begins by making a turbine runner, the turbine runner design is made with a number of 4 blades, with the blade tilt angle can be adjusted. The parameters that are determined and are the variables in this study are the angle of the blade. Tests carried out include turbine characteristic tests, where the blade slope angle varies 0°, 10° 20°, 30° and 40° with a water discharge of 7,945 ltr/s, the parameters measured in the test are the flow rate, rotation, current and voltage, and load. turbine. The results of turbine testing the highest electrical power was achieved by Vortex turbine with 30° angular angles with 75.8 rpm rotation, 4.56 watts and 11.75% system efficiency. Then followed by vortex turbine with 20° angular angles with 66.7 rpm rotation, 3.54 watts and 9.12% system efficiency. Then it was followed by vortex turbine with 10° angular angles with 65.1 rpm rotation, 3.53 watts and 9.10% system efficiency. Then followed by Vortex turbine with 0° angular angle with 65.7 rpm rotation, 3.53 watts and 9.10% system efficiency. The last Vortex turbine with 40° angular angles with 70.6 rpm rotation, 2.45 watts and 6.32% system efficiency.

Key words: *Water Turbine, vortex, savinious, blade, tilt angle*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan turbin air aliran pusar (*vortex*) skala pico dengan sudut kemiringan sudu yang optimum. Penelitian diawali dengan membuat runner turbin, desain runner turbin dibuat dengan jumlah 4 sudu, dengan sudut kemiringan sudu dapat diatur. Parameter yang ditentukan dalam penelitian ini adalah sudut kemiringan sudu. Pengujian yang dilakukan meliputi uji karakteristik turbin, dimana sudut kemiringan sudu divariasikan 0°, 10° 20°, 30° dan 40° dengan debit air 0,007945 m³/s, parameter yang diukur dalam pengujian adalah debit aliran air, putaran, arus dan tegangan listrik, dan beban turbin. Hasil pengujian turbin yang telah dilakukan daya listrik tertinggi dicapai oleh turbin Savonius dengan sudut kemiringan 30° dengan putaran 75,8 rpm, sebesar 4,56 watt dan efisiensi sistem sebesar 11,75 %. Kemudian disusul oleh turbin Savonius dengan sudut kemiringan 20° dengan putaran 66,7 rpm, sebesar 3,54 watt dan efisiensi sistem sebesar 9,12 %. Disusul oleh turbin Savonius dengan sudut kemiringan 10° dengan putaran 65,1 rpm, sebesar 3,53 watt dan efisiensi sistem sebesar 9,10 %. Selanjutnya turbin Savonius dengan sudut kemiringan 0° dengan putaran 65,7 rpm, sebesar 3,53 watt dan efisiensi sistem sebesar 9,10 %. Terakhir turbin Savonius dengan sudut kemiringan 40° dengan putaran 70,6 rpm, sebesar 2,45 watt dan efisiensi sistem sebesar 6,32 %.

Kata Kunci: *Turbin Air, vortex, savonius, sudu, sudut kemiringan*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik dan upaya upaya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak (BBM) baik bagi masyarakat maupun bagi pemerintah sudah sangat mendesak. Makin lama keadaan ini berlangsung maka keadaannya akan semakin parah. Tidak hanya rakyat yang menderita, tetapi pemerintahpun sudah sangat terbebani.

Dalam rangka membantu pemerintah untuk mendukung program desa mandiri energi, seperti yang diamanatkan oleh UU No. 30/2007 tentang energi. Setiap orang berhak memperoleh energi (Pasal 19 ayat 1). Penyediaan dan pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan wajib ditingkatkan oleh Pemerintah dan pemerintah daerah sesuai dengan kewenangannya (Pasal 20 ayat 4). Penyediaan dan pemanfaatan energi dari sumber energi baru dan sumber energi terbarukan dapat memperoleh kemudahan dan atau insentif dari Pemerintah dan atau pemerintah daerah sesuai dengan kewenangannya untuk jangka waktu tertentu hingga tercapai nilai keekonomiannya (Pasal 20 ayat 5).

Guna mewujudkan hal tersebut diatas pemerintah mengembangkan DME (desa mandiri energi) dimaksudkan untuk menjadikan kegiatan penyediaan energi sebagai *entry point* dalam pengembangan kegiatan ekonomi perdesaan dengan memanfaatkan semua sumber daya dari Pemerintah Pusat, Pemerintah Daerah, BUMN, Perguruan Tinggi, Swasta, dan masyarakat (Ariati, 2008).

Sumber energi dapat dimanfaatkan dengan cara mengubah energi air tersebut ke dalam bentuk energi listrik melalui teknologi sistem pembangkit listrik tenaga picohidro yang terdiri dari komponen utama turbin air, generator listrik, dan instalasi perpipaan. Turbin air merupakan penggerak mula yang mengubah energi aliran air menjadi energi mekanik berupa putaran roda turbin. Energi mekanik tersebut kemudian digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan listrik.

Untuk itu diperlukan jenis turbin air yang sesuai dengan potensi air yang memiliki tinggi jatuh sangat rendah. Salah satu jenis turbin yang sesuai dengan potensi air dengan tinggi jatuh rendah adalah **turbin air aliran pusar** (*vortex*) yang memanfaatkan pusaran air sebagai media perantara energi terhadap sumbu vertikal, sehingga terjadi perbedaan tekanan antara bagian sumbu dan sekelilingnya, sehingga cocok dioperasikan pada daerah yang memiliki tinggi jatuh (*head*) yang sangat rendah.

Perumusan Masalah

Kendala yang dihadapi masyarakat untuk memanfaatkan potensi air adalah sulitnya mencari turbin air di pasaran, sementara pengetahuan masyarakat tentang teknologi turbin air kurang memadai. Oleh karenanya itu perlu diupayakan turbin air skala pico yang cara pembuatan dan perawatannya mudah, serta mempunyai efisiensi yang cukup memadai.

Salah satu bentuk turbin air yang dapat diterapkan pada aliran sungai adalah turbin pusaran air (*vortex*) yaitu salah satu turbin yang sangat spesial, karena dapat beroperasi pada daerah yang memiliki head yang sangat rendah dengan ketinggian air jatuh antara 0,7 m– 1,4 m.

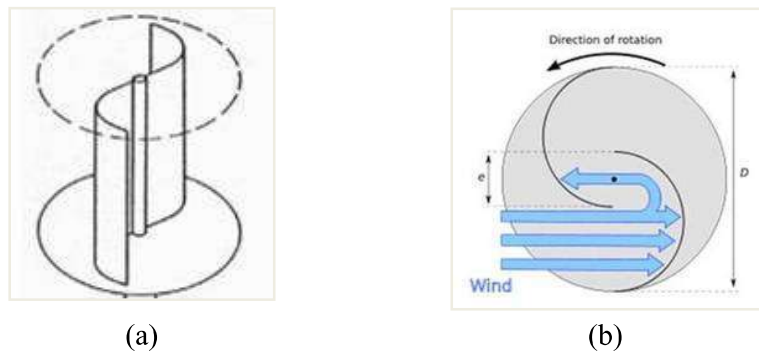
Pada penelitian ini digunakan turbin dengan sudu pipa belah tiga. Besarnya daya dan efisiensi yang dapat dibangkitkan oleh turbin dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, sudut kemiringan sudu. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut kemiringan sudu terhadap daya dan efisiensi yang dibangkitkan turbin air aliran pusar, maka perlu dilakukan penelitian tentang perubahan sudut kemiringan sudu terhadap kinerja turbin.

Tujuan Khusus

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan turbin Air Aliran Pusar (*vortex*) skala pico dengan sudut kemiringan sudu yang optimum, aspek utama yang diteliti pada penelitian ini adalah besaran sudut kemiringan sudu yang dapat menghasilkan efisiensi terbaik pada turbin tersebut.

Tinjauan Pustaka

Pada awalnya Savonius mengembangkan turbin dengan menggunakan angin sebagai fluida kerjanya, turbin ini mempunyai bentuk menyerupai huruf S jika dilihat dari atas, selanjutnya turbin ini dikenal sebagai turbin Savonius (Gambar 1a), dengan mekanisme kerja seperti pada gambar 1b. kemudian berkembang beberapa model turbin berbasis turbin Savonius dengan berbagai bentuk sudu. (Gambar 2a dan 2b)



Gambar 1. Turbin Savonius: (a) Savonius dua sudu, (b) Mekanisme Savonius



Gambar 2. Bentuk turbin Savonius : (a) *Two-bladed-multi stage Savonius*,
(b) *Twisted blade Savonius*

Turbin pusaran air (*vortex*) merupakan salah satu turbin yang sangat spesial, karena dapat beroperasi pada daerah yang memiliki head yang sangat rendah. Turbin pusaran air (*vortex*) bekerja pada head rendah dengan ketinggian air jatuh antara 0,7 m–1,4 m.

Pembangkit listrik pusaran air gravitasi (*vortex*) telah ditemukan oleh insinyur Austria bernama Franz Zotloterer. Pembangkit listrik ini menggunakan energi putaran pada pusat pusaran untuk memutar turbin. Turbin ini telah digunakan di negara Swiss. Pembangkit listrik ini memerlukan perbedaan tinggi jatuh (*head*) air yang sangat di tengah pusaran dengan posisi poros putar tegak, dan generator dipasang di atasnya. Diameter spinning pool, kapasitas aliran dan penurunan tinggi jatuh (*head*) digunakan untuk menghitung besarnya daya yang dapat diproduksi. Sebagai contoh pembangkit

listrik seperti pada gambar 4, dengan tinggi jatuh 1,4 m, kapasitas 849,6 l/s dan diameter turbin 5,4 m dapat menghasilkan daya listrik sebesar 7,5 kW

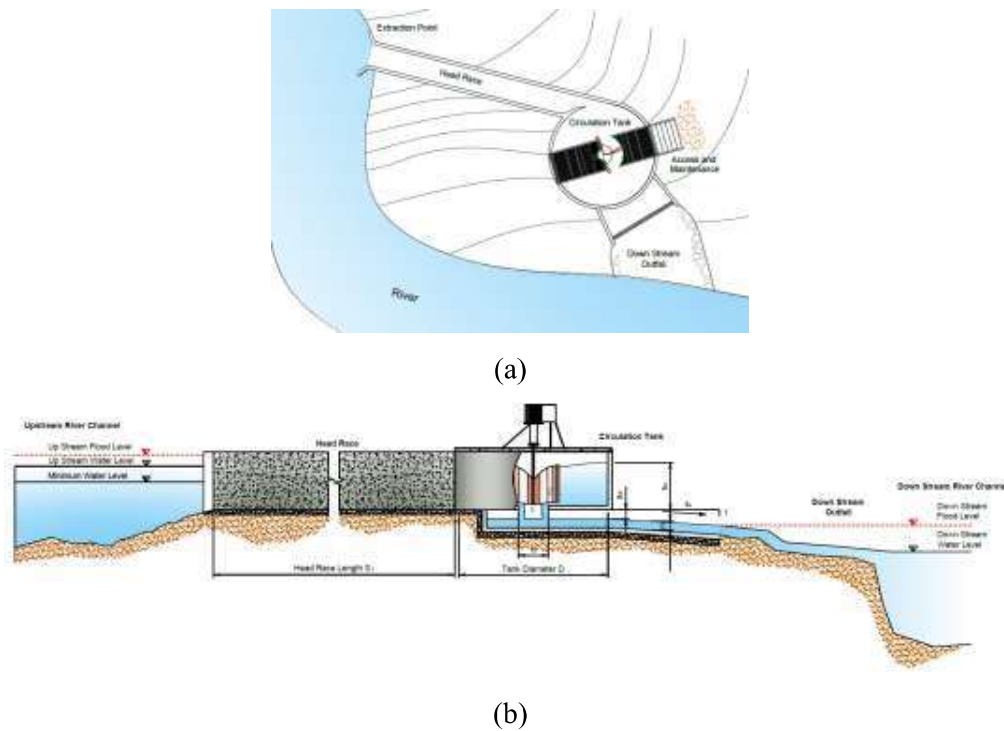


Gambar 3. Pola pusaran air (www.zotloeterer.com)



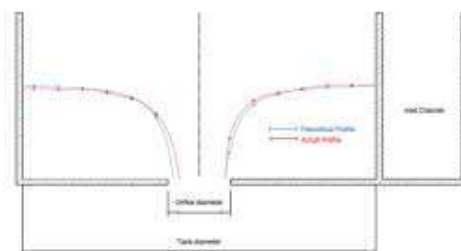
Gambar 4. *Installation* di negara Switzerland (www.zotloeterer.com)

Sistem pembangkit listrik aliran pusar adalah merupakan teknologi baru yang memanfaatkan muatan energi di dalam pusaran air yang dihasilkan melalui beda tinggi jatuh (*head*) yang kecil pada aliran sungai. Prinsip kerja turbin aliran pusar ini adalah sebagai berikut : (1) Air sungai disalurkan ke penyimpanan air dan selanjutnya diteruskan ke tangki sirkulasi. Pada tangki sirkulasi ini dipasangkan orifice bentuk lingkaran pada dasar tangki. (2) Kombinasi tekanan rendah lokal pada orifice dan konsep imbas sirkulasi pada tangensial masuk mempengaruhi kekuatan aliran pusar. (3) Energi potensial sepenuhnya diubah ke energi kinetik putaran pada pusat pusaran yang selanjutnya diserap oleh sumbu vertikal turbin. (4) Air selanjutnya kembali ke sungai melalui *tail race* (Gambar 5)

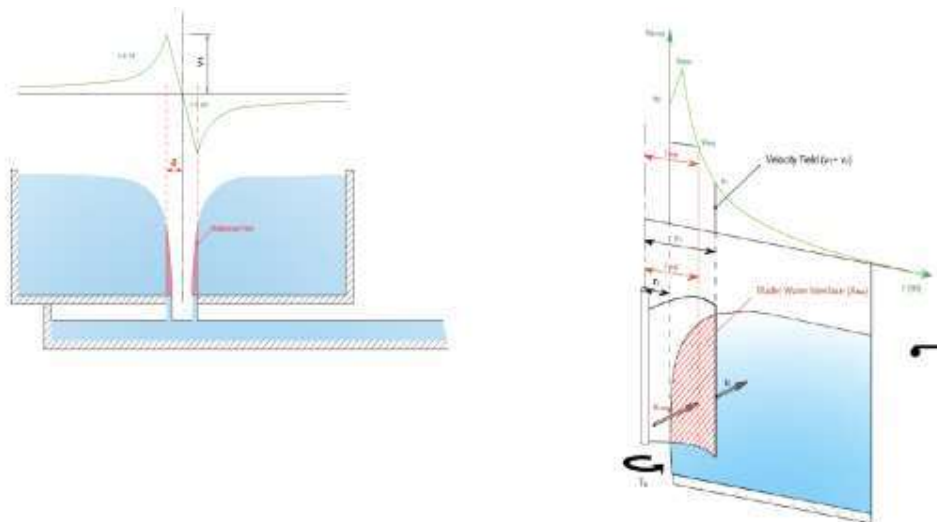


Gambar 5. (a) Hydropower System in plan (b) Section between the upstream and downstream reach of a river indicating design parameters

Profil permukaan air dari pusaran dapat dimodelkan secara matematis dan dapat memprediksi secara akurat, seperti terlihat pada gambar 6. Sedangkan kekuatan pusaran optimum terjadi dalam rentang perbandingan diameter orifice dengan diameter tangki antara 14% - 18% masing-masing untuk *head* rendah dan *head* tinggi, dengan ketinggian pusaran air berbanding lurus dengan debit aliran.



Gambar 6. Bagian pada tangki sirkulasi yang menyatakan perbandingan antara profil permukaan aktual dan teoritis.



Gambar 7. Skema ilustrasi yang menyatakan kecepatan rata-rata melintasi perpotongan antara sudu dan air.

Besarnya daya keluaran teoritis maksimum dapat dihitung dengan persamaan

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_v$$

, dimana H_v adalah tinggi pusaran

Daya listrik yang dihasilkan turbin, besarnya dapat dicari dengan rumus :

$$P_L = V \cdot I$$

Dimana, P_L adalah daya listrik (watt), V adalah tegangan listrik (Volt), I adalah Arus listrik yang dihasilkan generator (Amper)

Efisiensi turbin (sistem) merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan poros dengan daya hidrolik

$$\eta = \frac{P_L}{P_H} \times 100\%$$

Dimana, η_t adalah efisiensi turbin (%), P_L adalah daya listrik (watt), P_h adalah daya hidrolik (watt)

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian adalah satu unit instalasi sistem pengujian turbin air aliran pusar, dengan komponen utama terdiri atas Turbin air aliran pusar dengan sudu pipa belah tiga serta sudut kemiringan sudu dapat diatur, beban turbin menggunakan Generator. Peralatan yang digunakan terdiri atas alat ukur, yaitu tachometer, orifice meter, volt meter, ampere meter, serta pompa yang digunakan untuk membangkitkan energi air.

Rancangan/Disain penelitian

Desain runner turbin dibuat dengan jumlah sudu 4 buah, dengan sudut sudu dapat diatur. Sudu dibuat dari bahan plat stainless steel dengan model sudu pipa belah tiga. Sudu dipasangkan pada lengan sudu dengan cara dibaut, serta runner dan sudu dapat dibongkar-pasang pada instalasi pengujian, seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Runner turbin dengan jumlah sudu 4

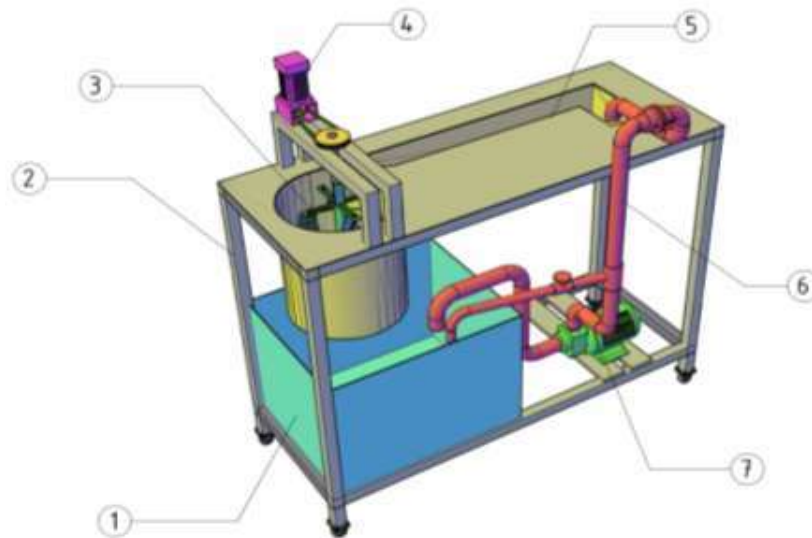
Sedangkan Instalasi pengujian terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut :

Rangka, berfungsi untuk menopang dan menempatkan peralatan uji seperti turbin, generator, bak air, perpipaan, dan alat ukur. Rangka dibuat kuat dan kaku (*rigid*) agar mampu menopang beban di atasnya, dengan ukuran rangka menyesuaikan kebutuhan ruang untuk penempatan peralatan.

Tangki air, berfungsi untuk menampung dan mensuplai air. Ukuran bak air menyesuaikan kebutuhan air pada alat uji turbin.

Instalasi pipa, terdiri dari pipa, sambungan pipa dan katup-katup, yang berfungsi sebagai penghantar aliran dari bak air ke turbin melalui saluran terbuka. Pengaturan aliran dilakukan dengan cara mengatur bukaan katup, sedangkan pengukuran debit dilakukan dengan menggunakan plat **orifis**.

Pompa setrifugal, Pompa berfungsi untuk memompakan air dari tangki air ke turbin melalui pipa dan saluran terbuka dengan tekanan (*head*) dan debit yang dapat diatur, pompa ini juga sebagai simulasi pengganti potensi air.



Gambar 9. Skema instalasi pengujian, (1) Bak penampung air, (2) Rangka, (3) Turbin, (4) Generator, (5) Saluran air, (6) Pipa air, (7) Pompa sentrifugal

Prosedur/Pengumpulan Data

Pengujian yang dilakukan meliputi uji karakteristik turbin, dengan jumlah sudu sebanyak 4 buah, sedangkan debit air dibuat tetap. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah debit aliran air, putaran turbin, arus dan tegangan listrik yang keluar dari generator, serta beban generator. Parameter yang ditentukan dan merupakan variabel dalam penelitian ini adalah sudut sudu, Beban turbin divariasikan dan setiap variasi beban dilakukan pencatatan terhadap parameter-parameter di atas. Pengujian dilakukan pada kondisi debit konstan pada sudut kemiringan sudu pada 0^0 kondisi tersebut beban generator divariasikan, pada setiap variasi beban dilakukan pencatatan terhadap parameter uji di atas. Selanjutnya pengujian dilakukan pada kondisi sudut kemiringan yang berbeda.

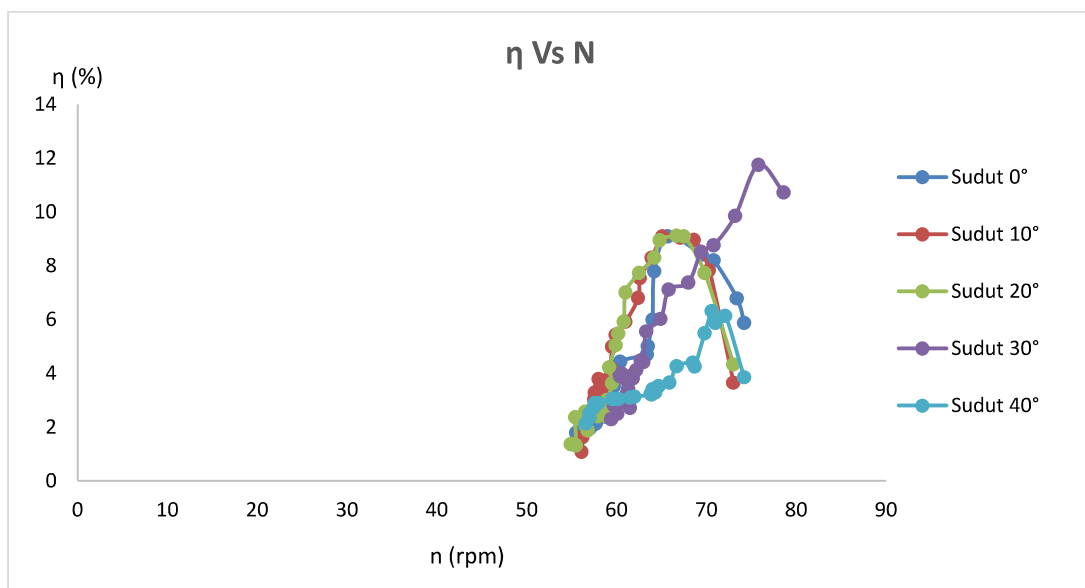
Data hasil pengujian diolah untuk mendapatkan debit aliran air, daya kinetik air, daya poros, dan efisiensi turbin. Hasil pengolahan kemudian direpresentasikan dalam bentuk grafik karakteristik turbin. Analisis akan menghasilkan kesimpulan pada turbin dengan sudut kemiringan sudu tertentu yang mempunyai unjuk kerja terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan sudu terhadap kinerja turbin *Vortex* telah dilakukan uji karakteristi turbin *Vortex* dengan variabel sudut kemiringan sudu yaitu 0° , 10° , 20° , 30° dan 40° . Pengujian turbin dilakukan dengan kapasitas aliran air $0,007945 \text{ m}^3/\text{s}$.

Karakteristik Efisiensi Terhadap Putaran Turbin

Hasil uji karakteristik efisiensi turbin Savonius dengan sudut kemiringan sudu 0° , 10° , 20° , 30° dan 40° digambarkan dalam Gambar 10, kelima kurva memiliki tren yang sama yaitu efisiensi akan meningkat dengan meningkatnya putaran turbin hingga mencapai titik maksimum pada putaran tertentu, kemudian menurun dengan bertambahnya putaran turbin.



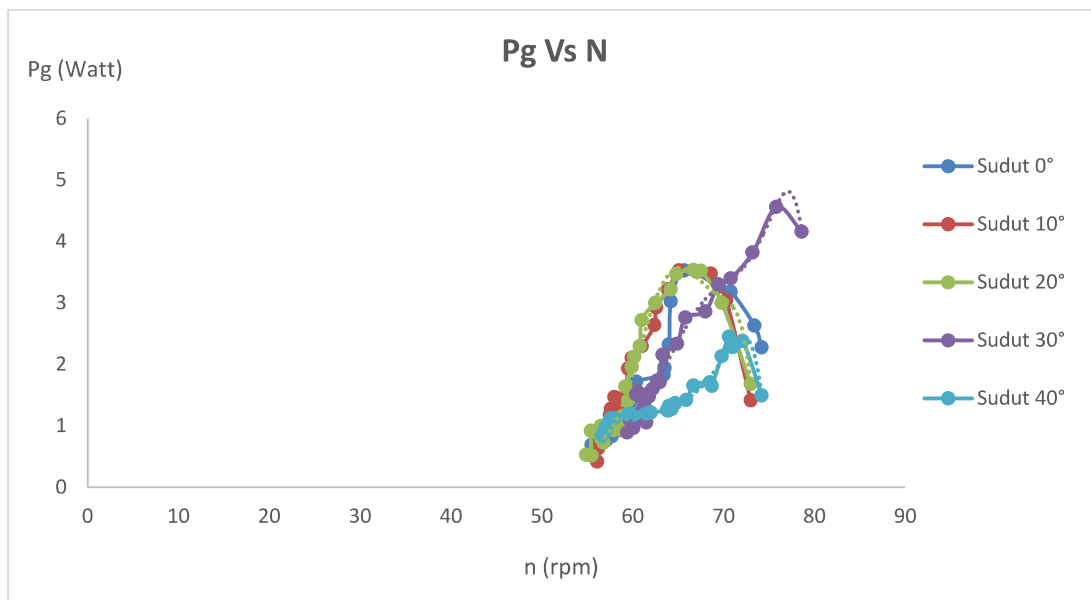
Gambar 10. Grafik hubungan antara Putaran terhadap Efisiensi sistem.

Efisiensi tertinggi diperoleh turbin Savonius dengan sudut kemiringan sudu 30° dengan nilai sebesar 11,75 % pada putaran turbin 75,8 rpm, kemudian disusul turbin Savonius dengan sudut kemiringan sudu 20° dengan nilai sebesar 9,12 % pada putaran turbin 66,7 rpm, kemudian Savonius dengan sudut kemiringan sudu 10° dengan nilai sebesar 9,10 % pada putaran turbin 65,1 rpm, kemudian Savonius dengan sudut kemiringan sudu 0° dengan nilai sebesar 9,10 % pada putaran turbin 65,7 rpm dan yang

terakhir adalah turbin Savonius dengan sudut kemiringan sudu 40° dengan nilai sebesar 6,32 % pada putaran turbin 70,6 rpm.

Karakteristik Daya Listrik Terhadap Putaran Turbin

Hasil uji karakteristik efisiensi turbin Savonius dengan sudut kemiringan sudu 0° , 10° , 20° , 30° dan 40° digambarkan dalam Gambar 11, kelima kurva memiliki tren yang sama yaitu daya listrik akan meningkat dengan meningkatnya putaran turbin hingga mencapai titik maksimum pada putaran tertentu, kemudian menurun dengan bertambahnya putaran turbin.



Gambar 11. Grafik hubungan antara Putaran terhadap Daya listrik.

Daya listrik tertinggi diperoleh turbin Savonius dengan sudut kemiringan sudu 30° dengan nilai sebesar 4,56 watt pada putaran turbin 75,8 rpm, kemudian disusul turbin Savonius dengan sudut kemiringan sudu 20° dengan nilai sebesar 3,54 watt pada putaran turbin 66,7 rpm, kemudian Savonius dengan sudut kemiringan sudu 10° dengan nilai sebesar 3,53 watt pada putaran turbin 65,1 rpm, kemudian Savonius dengan sudut kemiringan sudu 0° dengan nilai sebesar 3,53 watt pada putaran turbin 65,7 rpm dan yang terakhir adalah turbin Savonius dengan sudut kemiringan sudu 40° dengan nilai sebesar 2,45 watt pada putaran turbin 70,6 rpm.

SIMPULAN

1. Spesifikasi turbin air aliran pusar dengan turbin *savonius* adalah :
 - a. Diameter runner 540 mm
 - b. Jumlah sudu 4.
 - c. Variasi sudut kemiringan sudu 0° , 10° , 20° , 30° , 40° .
 - d. Tinggi runner 600 mm.
 - e. Lebar sudu 250 mm
 - f. Diameter baskom pusaran air 700 mm
 - g. Tinggi baskom pusaran air 800 mm
 - h. Diameter orifis lubang buang 10 mm
 - i. Bahan runner terbuat dari bahan *steinless steel*.
2. Pengujian turbin yang dilakukan dengan kapasitas aliran air $0,007945 \text{ m}^3 / \text{s}$, daya listrik tertinggi dicapai oleh turbin Savonius dengan sudut kemiringan sudu 30° dengan nilai sebesar 4,56 watt pada putaran poros 75,8 rpm, dengan efisiensi sistem tertinggi sebesar 11,75 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariati, R. 2008. Pengembangan Desa Mandiri Energi (DME) Berbasis Energi Non Fosil. http://www.energi_terbarukan.net, diakses 27 Desember 2010
- S. Mulligan 1* & P. Hull 1, Design and Optimisation of a Water Vortex Hydropower Plant, Department of Civil Engineering and Construction, IT Sligo Funded by the Sligo Institute of Technology Presidents Bursary Awards
- Zotlöterer, Franz, 2008, The Water Vortex Power Plant Technology is a worldwide first and unique technology that clears water in rivers and produces electricity." -- (Nov. 13, 2008)
- Zotlöterer, Franz, 2008, People from all over the world contact us because of our water vortex power plant - a technologie which makes our rivers clear again and produce electriciy. --; Nov. 5, 2008