

STUDI EKSPERIMENTAL PADA TURBIN AIR ALIRAN LINTANG YANG MENGGUNAKAN SUDU HELIKAL DENGAN PENAMPANG AIRFOIL

Dyos Santoso^{1*}, Joni Yanto² dan Marwani³

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

*Koresponensi Pembicara. Phone: +62 711 580272, Fax: +62 711 580272
Email: dyos_santoso@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pengujian performansi di lapangan terhadap turbin hidrolis telah dilaksanakan untuk mengkaji hubungan antara daya-kecepatan dalam rangka mengidentifikasi titik operasi puncak dari turbin tersebut. Hubungan ke dua parameter ini sangatlah penting untuk keefisienan pengoperasian suatu turbin hidrolis. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendemonstrasikan kemampuan untuk mengekstrak daya berguna dari suatu arus air. Sebuah turbin aliran lintang sekala kecil yang menggunakan sudu helical dengan penampang airfoil yang dirancang berdasarkan turbin Gorlov telah dirancang untuk mengekstrak daya dari arus air sungai-sungai kecil atau arus air yang serupa. Produk akhir dari proyek ini adalah sebuah turbin dengan tiga sudu dengan dimensi-dimensi: diameter turbin 300 mm, tinggi/panjang 400 mm, profil sudu-NACA-0020 dengan panjang chord 60 mm, yang dipasang pada rangka penumpu sehingga memungkinkan dipasang dengan mudah pada aliran bebas sungai. Energi kinetik dari aliran arus air yang melewati penampang yang ekuivalen dengan luas penampang prototipe turbin air tersebut adalah 104 W, Dari studi eksperimental pada prototipe diperoleh bahwa besarnya koefisien daya/efisiensi adalah sekitar 17%, memungkinkan kita untuk mengekstraksi 18 W dari arus sungai untuk kecepatan aliran air sebesar 1,2 m/s. Kecepatan putaran turbin pada kondisi itu kira-kira 95 rpm.

Kata Kunci: Airfoil, hidrokinetik, sudu helical, soliditas. turbin air aliran lintang.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia saat ini masih didominasi oleh energi yang berbasis bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan batu bara. Kerugian dari bahan bakar fosil adalah sifatnya yang tidak ramah lingkungan, karena hasil pembakaran bahan bakar fosil adalah CO₂ yang merupakan gas rumah kaca. Selain itu bahan bakar fosil merupakan energi yang tak terbarukan sehingga, jika dieksploitasi terus, maka cadangan bahan bakar fosil akan habis. Oleh karena itu perlu dikembangkan sumber energi alternatif yang dapat menggantikan sumber energi berbasis fosil yang tidak ramah lingkungan dan bersifat terbarukan.

Teknologi energi terbarukan memberikan harapan besar sebagai alternatif yang bebas polusi untuk menggantikan instalasi tenaga berbahan bakar nuklir dan fosil

untuk memenuhi pertumbuhan kebutuhan energi listrik. Salah satu kategori teknologi energi terbarukan yang sangat menjanjikan adalah hidrokinetik yang menawarkan cara untuk menyediakan energi dari air yang mengalir tanpa memerlukan bendungan (dam) atau pengarah sebagaimana pada kebanyakan fasilitas hidroelektrik konvensional.

Potensi tenaga air skala mikrohidro di Indonesia tersebar hampir mencapai 7.500 MW; sementara itu pemanfaatannya baru mencapai 4,5% dari potensi yang ada. Pengembangan teknologi, penerapan dan standarisasi sistem dan komponen mini/mikrohidro perlu terus dilaksanakan untuk memberi kontribusi pada pemenuhan target pemakaian energi baru dan terbarukan sebesar 15% pada tahun 2025 (ARN, 2006-2009). *Blueprint* pengelolaan energi nasional 2005-2025 mengisyaratkan besaran sumber daya energi mini/mikrohidro setara 0,45 GW dengan kapasitas terpasang sebesar 0,206 GW, data tersebut memberikan konsekuensi bahwa peluang pengembangan dan pengelolaan sumber energi air masih terbuka sangat luas.

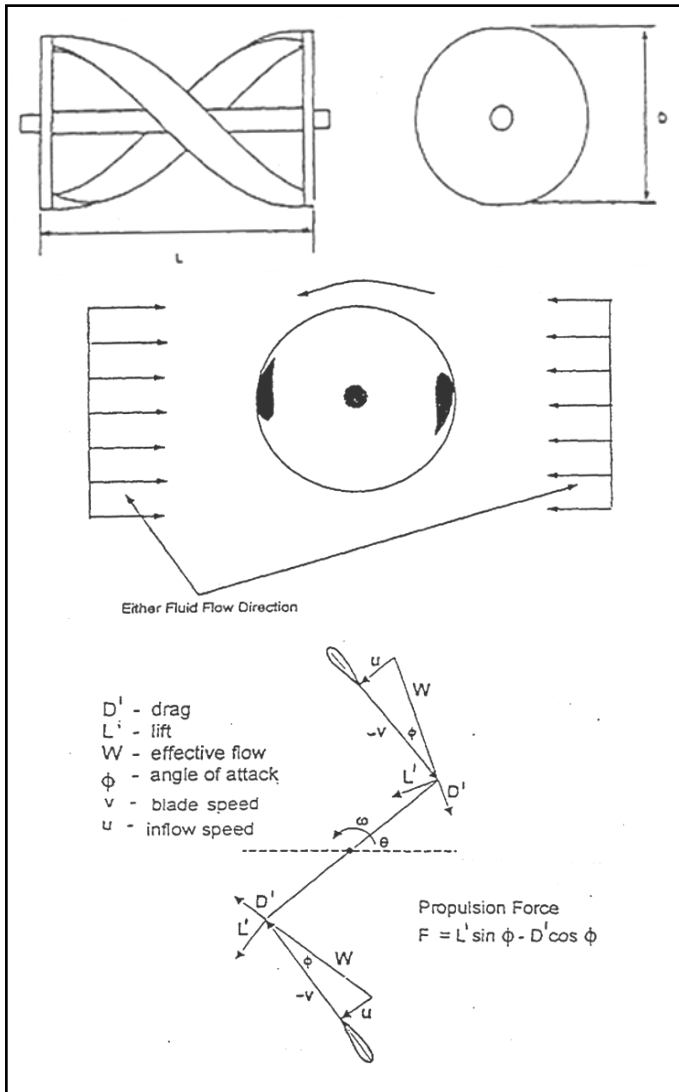
Turbin Arus Air (hidrokinetik) didefinisikan sebagai sistem-sistem yang mengkonversikan energi kinetik dari air yang mengalir menjadi energi mekanis atau energi listrik. Pada umumnya Turbin Arus Air adalah tipe-tipe dari peranti rotor, seperti halnya kincir air. Perbedaan yang mendasar antara eksploitasi turbin head tinggi dan rendah adalah bahwa turbin head rendah harus mempunyai bukaan aliran besar untuk mengalirkan massa air yang besar dengan kecepatan dan tekanan yang rendah, sementara turbin-turbin konvensional dirancang untuk tekanan tinggi dan saluran air relatif kecil.

Pemanfaatan energi aliran air untuk pembangkitan energi listrik adalah salah satu kandidat untuk mempercepat peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan. Pengembangan yang terus menerus, efisien, cenderung murah dan ramah lingkungan. Pada aliran *low head* dimanfaatkan turbin *helical* bersudu tiga yang dapat juga didayagunakan pada arus pasang surut. Turbin tersebut dapat membangkitkan multi megawatt dari arus pasang surut namun juga dapat membangkitkan dalam skala beberapa kilo Watt (Gorlov, 2001).

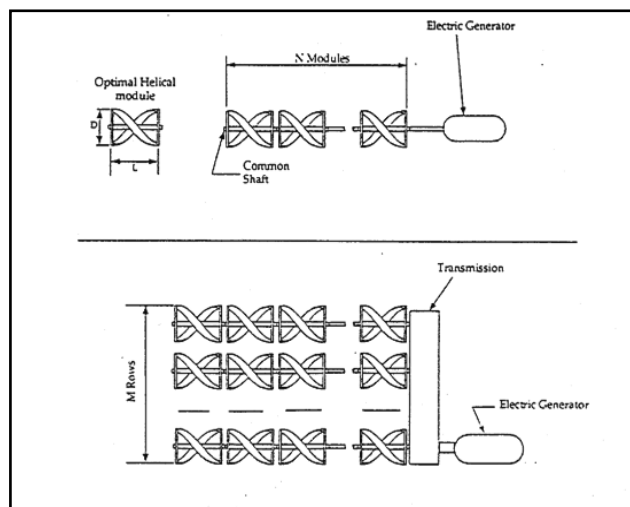
Turbin Helikal terdiri dari satu atau lebih sudu helikal panjang yang menyusuri permukaan silindris imajiner seperti ulir sekrup (Gambar 1.1). Sudu-sudu airfoil helikal memberikan gaya reaksi yang dapat menariknya lebih cepat dari aliran fluida itu sendiri. Kecepatan tinggi tanpa adanya vibrasi dari turbin helikal pada aliran fluida yang relatif lambat merupakan kunci terhadap efisiensinya yang baik.

Pada turbin helikal dimungkinkan untuk melakukan pengurangan diameternya sementara secara simultan dilakukan penambahan panjangnya tanpa adanya peningkatan kerugian daya. Hal ini merupakan sifat-sifat turbin helikal yang menarik dan menguntungkan yang dapat mempengaruhi pendekatan tradisional terhadap perancangan suatu pembangkit untuk rumah tangga. Setiap turbin gas atau turbin hidrolis kecepatan tinggi mempunyai batasan kuat yang berhubungan dengan output daya maksimum. Karena kecepatan linier mencapai nilai maksimumnya pada keliling luar roda gerak turbin, jelaslah bahwa sebagian besar torsi dibangkitkan oleh bagian turbin yang terjauh dari pusat rotasinya. Hal ini adalah salah satu alasan mengapa para ahli mencoba merancang turbin-turbin diameter maksimum dengan sejumlah sudu-sudu pendek yang diletakkan disepanjang batas luar dari roda gerak.

Sesungguhnya, bila suatu modul turbin helikal dirancang dengan airfoil optimal dan dengan ω , D , dan L yang optimal, sistem tenaga secara keseluruhan dapat dirakit dari modul-modul yang demikian itu dengan salah satu cara yang diperlihatkan pada Gambar 1.2.



Sumber: <http://gcktechnology.org/Final Technical Report>
Gambar 1.1. Mekanisme kerja turbin helikal



Gambar 1.2. Berbagai rakitan turbin helikal

Turbin Gorlov mempunyai efisiensi yang paling tinggi dan paling konstan pada kecepatan arus air (head) rendah dibandingkan dengan tipe turbin lainnya, yaitu sebesar 35% dengan *Tip Speed Ratio* (TSR) 2 – 2,2 (The Gorlov Turbine, 1997).

Aplikasi turbin Gorlov dipilih untuk diteliti berdasarkan beberapa pertimbangan; tidak semua aliran air memiliki head yang tinggi, sungai-sungai pada daerah hilir walaupun dengan head rendah tetapi memiliki debit besar yang sangat berpeluang untuk dimanfaatkan, struktur fisik turbin ini tidak memerlukan rancangan dan pekerjaan sipil yang rumit, serapan teknologi pada masyarakat lebih aplikatif.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendemonstrasikan kemampuan turbin air dengan sudu helikal (turbin Gorlov) dalam mengekstrak daya berguna dari suatu arus air. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental pada model turbin tersebut antara lain untuk mendapatkan korelasi antara daya mekanis yang dihasilkan dan efisiensi (koefisien daya) turbin tersebut dengan kecepatan arus air dan rasio kecepatan keliling (tip speed ratio).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dasar dalam merancang dan mengoperasikan turbin air dengan sudu helikal berukuran besar untuk menggerakkan generator listrik.

Semua kegiatan pengujian dalam penelitian ini dilaksanakan di bendungan Water Vang, Lubuk Linggau Sumatera Selatan. Turbin dipasang di sebelah hilir bendungan untuk memungkinkan pengaturan laju aliran dengan mengatur bukaan katup gerbang (*sluice gate*).

2. BAHAN DAN ALAT

2.1. Bahan

Perancangan model turbin didasarkan atas pertimbangan material yang banyak tersedia di pasaran dan kemampuan fabrikasi. Proses fabrikasi yang paling sulit adalah pembuatan sudu turbin dengan penampang airfoil yang berbentuk helikal. Untuk itu dalam penelitian ini, sudu turbin dibuat dari pipa PVC dengan diameter nominal DN 300 dan tebal 12 mm. Sedangkan bagian turbin lainnya dibuat dari baja profil yang ada di pasaran.

Profil NACA yang diterapkan pada bentukan airfoil adalah NACA 0020, pertimbangan ini didasarkan pada profil NACA tersebut sering diterapkan juga pada turbin dengan sudu helikal (Gorlov). Selanjutnya dari bentukan NACA yang ada tersebut maka dengan mengacu pada panjang dan diameter yang telah ditetapkan selanjutnya ditentukan besaran-besaran pada *chord blade* turbin. Dari hasil perhitungan, sudut inklinasi diperlukan sebagai sudut peletakan antara sudu turbin yang berjumlah tiga diperoleh sebesar $\phi = 52^\circ$.

Dari hasil penetapan dan perhitungan selanjutnya diperoleh dimensi utama turbin secara keseluruhan sebagai berikut:

Diameter turbin, d	= 0,3 m
Tinggi turbin, h	= 0,4 m
Jumlah sudu, n	= 3 buah
Panjang chord, C	= 0,06 m
Tebal maksimum profil sudu, t	= 0,012 m
Soliditas, σ	= 0,19
Sudut inklinasi, ϕ	= 52°

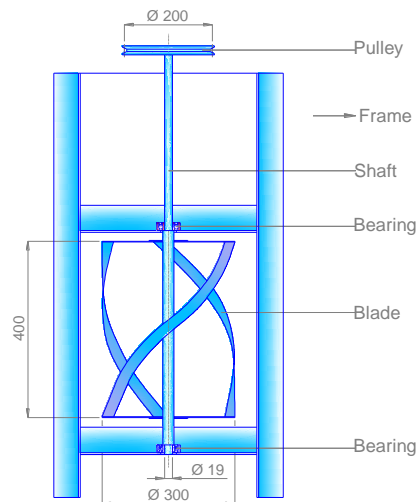
Selanjutnya hasil rancang bangun model turbin air sudu helikal secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 2.1.

2.2. Alat

Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*). Variabel bebas merupakan variabel penelitian yang tidak tergantung atau terpengaruh oleh variabel lain, sedangkan variabel terikat adalah variabel yang tergantung dari atau terpengaruhi oleh variabel lain.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan aliran air dengan dan tanpa beban, sedangkan variabel terikat yang akan diteliti adalah kecepatan putaran, efisiensi dan *tip speed ratio* dari turbin.

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan metode konvensional yaitu dengan mengukur waktu yang diperlukan pada jarak tempuh tertentu dengan *stop watch*. Pengukuran putaran dilakukan dengan menggunakan *tachometer*. Sedangkan pengukuran torsi dilakukan dengan menggunakan prinsip rem kabel/tali (*cable brake principle*).



Gambar 2.1. Konstruksi Model Turbin Air Sudu Helikal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

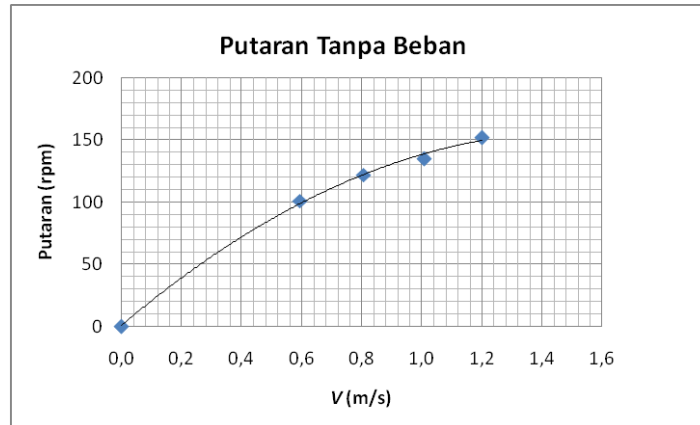
Tiga karakteristik dasar yang telah diukur dan didokumentasikan dalam penelitian ini, yaitu kecepatan aliran, torsi yang dibangkitkan poros turbin dan kecepatan putar turbin. Dari ketiga besaran tersebut, selanjutnya dapat dihitung besarnya daya air, daya turbin, efisiensi (koefisien daya) dan rasio kecepatan (*tip speed ratio*).

3.1. Hasil

Pengambilan data pada penelitian ini terdiri dari dua tahap; tahap pertama adalah dengan melakukan pengujian turbin pada kondisi tanpa beban, dan tahap kedua dengan melakukan pengujian berbeban untuk berbagai nilai kecepatan aliran. Pengujian berbeban terbatas pada pengujian mekanis dengan perlakuan penambahan beban.

3.1.1. Pengujian Tanpa Beban

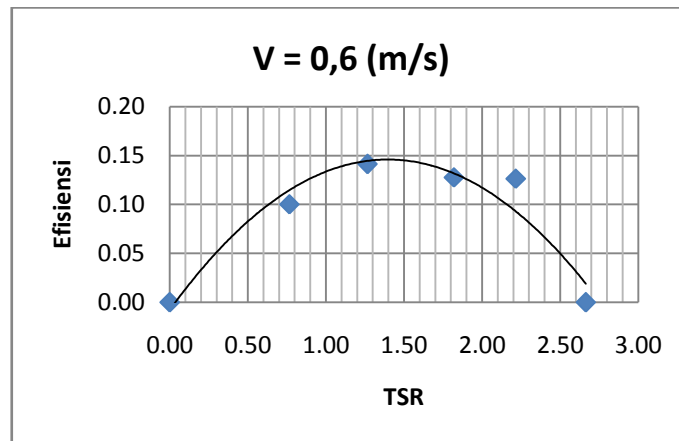
Pengujian ini dilakukan dengan mengamati putaran turbin tanpa beban (n_0) melalui piranti alat ukur *tachometer*, untuk empat nilai kecepatan aliran. Hasil pengujian tanpa beban dapat dilihat pada grafik (Gambar 3.1) berikut ini.



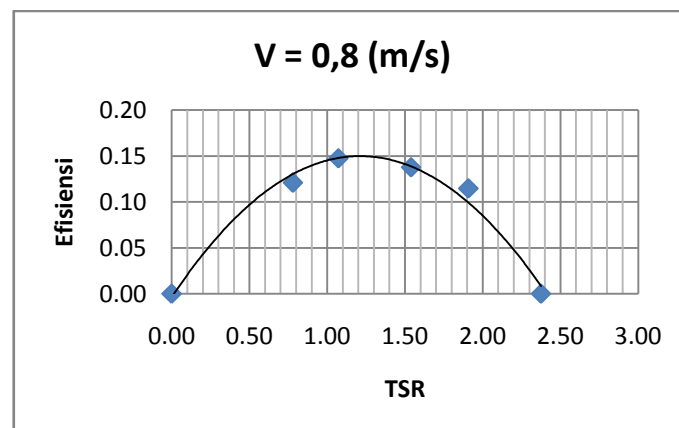
Gambar 3.1. Grafik putaran tanpa beban vs kecepatan aliran

3.1.2. Pengujian Berbeban

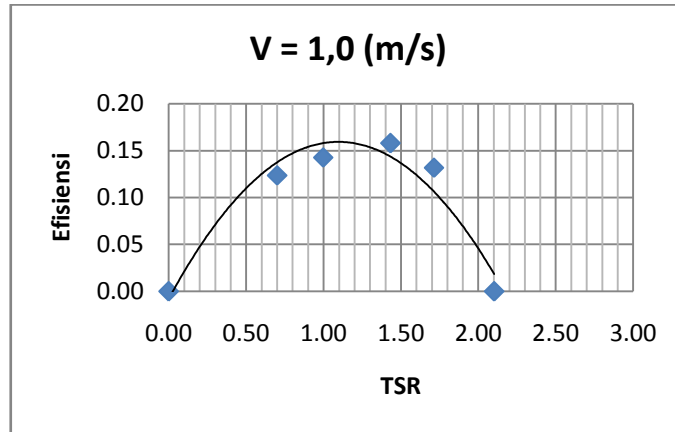
Pengujian berbeban juga dilakukan pada empat nilai kecepatan aliran, yaitu 0,6 m/s, 0,8 m/s, 1,0 m/s dan 1,2 m/s. Hasilnya seperti yang diperlihatkan pada grafik-grafik berikut ini.



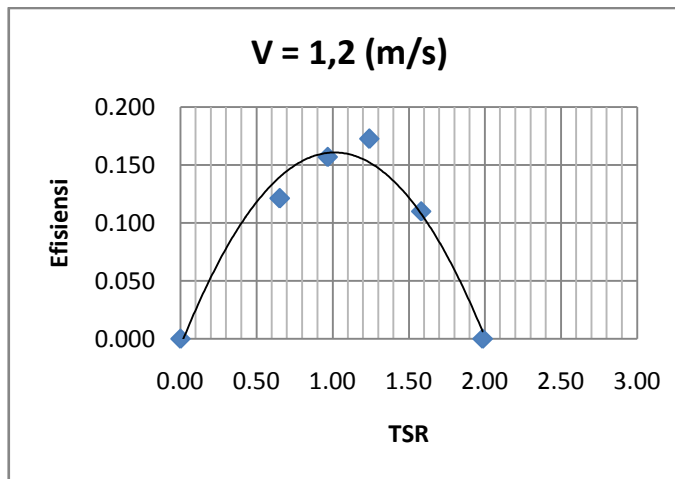
Gambar 3.2. Grafik efisiensi vs *TSR* pada $V = 0,6$ m/s



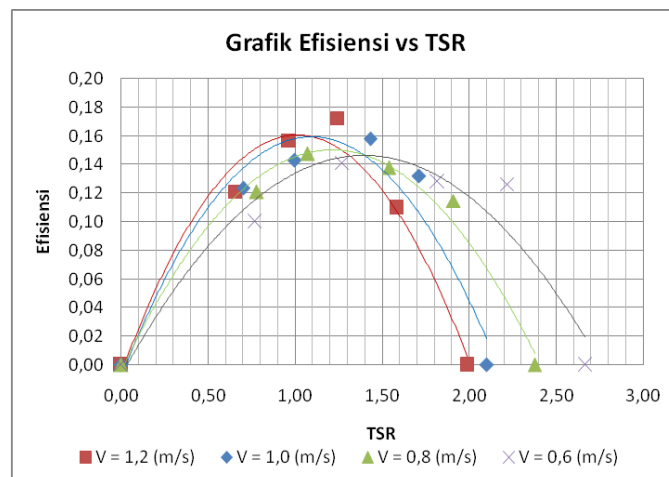
Gambar 3.3. Grafik efisiensi vs *TSR* pada $V = 0,8$ m/s



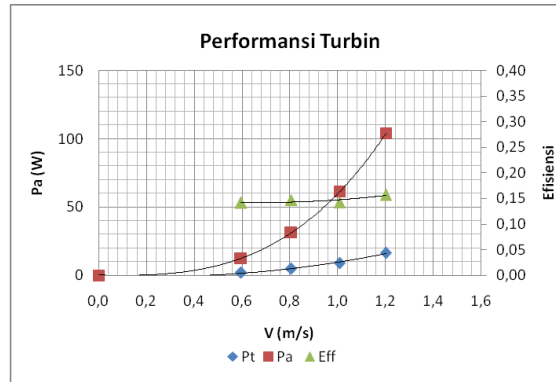
Gambar 3.4. Grafik efisiensi vs TSR pada $V = 1,0$ m/s



Gambar 3.5. Grafik efisiensi vs TSR pada $V = 1,2$ m/s



Gambar 3.6 Grafik efisiensi vs TSR untuk berbagai kecepatan aliran



Gambar 3.7. Grafik daya dan efisiensi vs kecepatan aliran

3.2. Pembahasan

3.2.1. Analisa Pengujian Tanpa Beban

Pada gambar 3.1, dalam pengujian ini dapat kita lihat bahwa kecepatan putaran maksimum adalah 152 rpm pada kecepatan aliran 1,2 m/s. Tampak juga bahwa kecepatan aliran yang semakin besar menghasilkan kecepatan putaran yang semakin besar pula.

3.2.2. Analisis Hubungan Efisiensi Turbin dengan *Tip Speed Ratio*

Berdasarkan dari gambar 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, dan 3.6, efisiensi (koefisien daya) turbin optimum pada *tip speed ratio* adalah berkisar antara 0,8-1,2 yang mana semakin meningkatnya kecepatan aliran juga semakin tingginya level efisiensi turbin.

Hasil yang diperoleh pada pengujian model turbin sudu helikal menunjukkan bahwa efisiensi maksimum berkisar 17% pada $TSR = 1,24$. Nilai efisiensi ini masih jauh daripada yang dihasilkan oleh turbin Gorlov, yaitu 35%. Demikian pula dengan TSR dari model ini yang sebesar 1,24 pun masih lebih rendah daripada nilai TSR turbin Gorlov, yaitu: 2 – 2,2.

Dari Gambar 3.6 dan 3.7, Nampak bahwa efisiensi turbin relatif konstan, tidak terlalu dipengaruhi oleh besarnya kecepatan aliran. Ini merupakan salah satu kelebihan turbin sudu helikal.

3.2.3 Analisis Profil Airfoil Sudu Helikal

Profil dan dimensi model turbin sudu helikal yang dirancang belum menghasilkan performansi yang maksimal. Hal ini terutama disebabkan oleh desain profil airfoil belum sempurna. Akurasi dalam pembuatan sudu helikal dengan penampang airfoil merupakan salah satu permasalahan utama dalam rancang bangun turbin ini. Untuk profil airfoil sudu pada turbin helikal, biasanya digunakan profil airfoil yang simetris, yaitu profil dengan dua digit pertama adalah 00. Peneliti telah mencoba untuk menggunakan profil yang tak simetris, hasilnya sangatlah tidak baik bahkan turbin sulit untuk berputar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini, baik dari sisi rancang bangun maupun pengujian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Turbin Sudu Helikal terbukti dapat menghasilkan daya mekanik dari energi kinetik arus air.
2. Berdasarkan hasil pengukuran dalam pengujian ini efisiensi turbin baru mencapai

17%, dan daya maksimum yang dihasilkan adalah 17,98 W pada kecepatan aliran air 1,2 m/s.

3. Turbin sudu helikal mempunyai efisiensi yang relatif sangat stabil terhadap variasi kecepatan aliran.
4. Kesempurnaan profil sudu airfoil adalah faktor utama yang menentukan performansi turbin.

4.2. Saran

Dari penelitian ini, banyak kendala yang ditemui baik dalam proses rancang bangun maupun dalam pelaksanaan pengujian di lapangan. Berikut ini beberapa saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Untuk mendapatkan turbin dengan performansi yang lebih baik, akurasi dalam pembuatan profil airfoil sudu helikal benar-benar harus diperhatikan, dan sebaiknya digunakan sudu dengan profil airfoil yang simetris.
2. Perlu dilakukan penelitian pada turbin dengan dimensi dan jumlah sudu yang berbeda untuk mencari efisiensi turbin yang lebih baik.
3. Pengukuran performa turbin sebaiknya dilakukan dengan penggunaan perangkat pengukuran yang lebih akurat, seperti *torque meter* elektrik dan *data logger*.

5. REFERENCES

- Antheaume, S., Maitre, T., Achard, J. (2007). A Innovative Modelling Approach to Investigate The Efficiency of Cross Flow Water Turbine Farms, 2nd IAHR International Meeting of The Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulics Machinery and Systems, Scientific Bulletin of The Politechnica University of Timisoara Transaction on Mechanics, Romania.
- ARN. (2006). Agenda Riset Nasional, Dewan Riset Nasional.
- Bedard R., Epri (Ed). (2005). Tidal in Stream Energy Conversation Devices, <http://www.epri.com/oceanenergy/attachments/streamenergy/reports/004TISECDeviceReportFinal111005.pdf>.
- Betz, A. (1926). Wind Energy and its Extraction trough Wind Mills, German.
- Brenner, W.; Deter, H.; Popovic, G.; Vujanic, A.; Haddad, G.; Delic, N.: "The Measurement of Minimotors and Micromotors Torque-Characteristic Using Miniaturised Cable Brake". Microsystems Technologies Vol. 3, Nr. 2, Feb 1997, pp. 68-71
- DJLPE. (2008). Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi.
- Gorban, N., Gorlov, A.M., Silantyev, A.M, Valentin, M. (2001). Limits of The Turbine Efficiency for Free Fluid Flow Journal of Energy Resources Technology Vol.123: 311-317, diakses: 12 Desember 2008.
- Gorlov, A.M. (1998). Development of The Helical Reaction Hydraulic Turbine, Northeastern University, Boston.
- Gorlov, A.M. (2001). Tidal Energy, Northeastern University, Boston.
- Guittet, Linda, Kusulja, Mile, Maitre, Thierry. (2005). Setting-up of an Experiment to Test Vertical Axis Water Turbines, Laboratoire des Geophysiques et Industriels, Grenoble.
- Hau, Eric. (2005). Wind Turbine (Fundamental, Technology, Applications, Economics) 2nd Edition, Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- IMIDAP-DJLPE (2008) Pedoman Teknis Standarisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), DESDM.
- Perpres RI No 5. (2005). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2005.



- UKN. (2008). Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- The Gorlov Turbine. (1997). Allied Signal Aerospace, Report on independent testing at Michigan University.
- Weimann, P., Muller, G., Senior, J., Review of Current Developments in Low Head and Small Hydropower, diakses 2-6-2009.

