

Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Unjuk Kerja *Pico Bulb Turbine* Aliran Horizontal

Dwi Aries Himawanto^{1*}, Akhmad Nurdin², Hasan Bisri³

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir Sutami No.36 A, Surakarta, Indonesia 57126

² Program Studi Teknologi Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Ceper,
Batur, Tegalrejo, Ceper, Klaten, Indonesia 57465

³ Jurusan Otomotif, SMKN 1 Sine Ngawi,
Jl. Tegari No.Km. 05, Sine, Ngawi, Indonesia 63264

Abstrak

Pada penelitian ini, dibahas pengaruh jumlah sudu terhadap performa turbin propeller aliran horizontal pada skala kecil secara eksperimental. Saat ini perkembangan turbin air skala kecil mengalami banyak kemajuan, termasuk turbin air dengan aliran horizontal. Turbin air pada aliran horizontal dapat diaplikasikan pada saluran irigasi, saluran sistem perpipaan, saluran instalasi pengolahan air limbah, dan saluran-saluran tertutup lainnya. Pengukuran dynamic head pada aliran horizontal berdasarkan nilai pressure drop atau perbedaan tekanan sebelum dan sesudah turbin. Bulb statis yang diletakkan sebelum turbin bertujuan meningkatkan kecepatan aliran air dan berpotensi meningkatkan kinerja turbin. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap performa dan efisiensi turbin propeller. Kemiringan sudu yang digunakan 20° dengan bulb ratio 0,6 terhadap diameter pipa. Variasi jumlah sudu yang digunakan 4, 5, 6, dan 7 buah dengan masing-masing diuji pada debit 7 L/s, 9 L/s, 11 L/s, dan 13 L/s. Hasil penelitian ini menunjukkan jumlah sudu 5 dengan debit 13 L/s menghasilkan performa turbin terbaik dibandingkan dengan jumlah sudu lainnya, selain itu jumlah sudu 5 dengan debit 13 L/s menunjukkan nilai efisiensi terbaik sekitar 40%.

Kata kunci: propeller; jumlah sudu; dynamic head; bulb

Abstract

[Title: Experimental study of the Effect of the Blades of Number on Characteristics Pico Bulb Turbine on Horizontal Flow] This study discusses the effect of the number of blades on a horizontal flow propeller turbine performance on a small scale experimentally. The development of small-scale water turbines has made many advances, including water turbines with the horizontal flow. Water turbines in horizontal flow can be applied to irrigation systems, piping systems, the wastewater treatment channel, and other closed channels. Pengukuran dynamic head pada aliran horizontal berdasarkan nilai pressure drop atau perbedaan tekanan sebelum dan sesudah turbin. Dynamic head measurement on the horizontal flow is based on pressure drop values or pressure before and after the turbine. Static bulbs placed before the turbine aim to increase the speed of water flow and potentially improve turbine performance. This study aims to determine the effect of the number of blades on the performance and efficiency of propeller turbines. The blade angle used is 20° with a bulb ratio of 0.6 to the pipe diameter. The variations in the number of blades used were 4, 5, 6, and 7, with each tested at 7 L/s, 9 L/s, 11 L/s, and 13 L/s. The results of this study indicate the number of blades 5 with a discharge of 13 L/s shows the best turbine performance compared to the number of other blades, besides that the number of blades 5 with a flow rate of 13 L/s shows the best efficiency value of around 40%.

^{*}) Penulis Korespondensi.
E-mail: dwiarieshimawanto@gmail.com

Keywords: propeller; number of blades; dynamic head; bulb

1. Pendahuluan

Berkembangnya isu tentang pencemaran lingkungan karena polusi yang berasal dari bahan bakar fosil. Ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis menunjang penggunaan energi terbarukan menggantikan energi fosil (Gokhale dkk., 2017). Banyak penelitian tentang energi terbarukan telah dilakukan dan dapat diaplikasikan secara langsung oleh masyarakat, seperti pemanfaatan energi dari biomasa (Aghamohammadi dkk., 2011), pembangkit energi dari angin (Kumar dkk., 2016), pemanfaatan energi biogas sebagai campuran bahan bakar motor bakar (Nurdin & Himawanto, 2018), dan pemanfaatan energi air pada head rendah (Nurdin & Himawanto, 2018).

Indonesia merupakan wilayah dengan kekayaan sumber daya alam, salah satunya air (Erinofiardi dkk., 2017) yang bersifat bebas polusi, ramah lingkungan dan tersedia secara berkelanjutan (Alnakhilani dkk., 2015). Potensial energi air di Indonesia mencapai 75000 MW, namun baru 9% yang dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dalam skala besar maupun kecil (Nurdin dkk., 2019).

Pada pembangkit listrik skala kecil tidak diperlukan membangun konstruksi pekerjaan sipil, seperti membuat bendungan, sehingga proses pembuatan dan perawatannya relatif lebih mudah dan murah dibandingkan pembangkit listrik skala besar (Himawanto dkk., 2017). Dalam skala paling kecil, pembangkit listrik tenaga air sering disebut *pico hydro* dengan daya maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 5 kW (Nurdin & Himawanto, 2019). Dalam aplikasinya, *pico hydro* dapat memanfaatkan atau sistem aliran air, misalnya sungai kecil, saluran irigasi, saluran Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sampai stasiun pompa air.

Ramos dkk. (2013) melakukan pengujian secara eksperimental aliran dalam pipa horisontal menggunakan turbin *propeller* dengan saluran *downstream* berbentuk *elbow*. Samora dkk. (2016) melakukan penelitian secara eksperimental aliran dalam pipa horisontal dengan saluran *downstream* berbentuk *curve 450* menggunakan turbin *propeller* dengan penambahan *bulb* dinamis pada ujung turbinnya.

(Chen dkk., 2014) menyatakan penggunaan bulb statis pada aliran dalam pipa secara numerik mampu meningkatkan kecepatan aliran air, dan berpotensi

meningkatkan performa turbin *propeller*. Nurdin (2020) melakukan pra-studi dalam penelitian eksperimental untuk menentukan *bulb ratio*. *Bulb ratio* 0,6 menunjukkan nilai torsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode numerik pengaruh dengan *bulb ratio* 0, 0,4, dan 0,8. Sedangkan karakteristik dan kinerja turbin *propeller* juga dipengaruhi oleh parameter dan geometri internalnya (Singh & Nestmann, 2010). Pada aliran vertikal salah satu geometri yang mempengaruhi karakteristik dan kinerja turbin adalah jumlah sudu (Singh & Nestmann, 2011).

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis bagaimana pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin *propeller* dengan pemberian *bulb* statis dengan pengujian eksperimental. Pada penelitian ini juga dilakukan analisis terhadap perubahan nilai dari *head*, daya air, daya poros, dan efisiensi. Orisinalitas penelitian ini terletak pada *bulb ratio* yang digunakan dalam penelitian, yang dikaitkan dengan pengaruh variasi jumlah sudu turbin tersebut terhadap unjuk kerja turbin air *pico hydro* yang dianalisis.

2. Metode dan Bahan

Desain rasio pipa/*tubular* aliran horisontal pada penelitian ini mengacu kepada Zhu dkk. (2012). Desain *bulb* statis yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada penelitian Nurdin (2020), dengan menggunakan *bulb ratio* 0,6 terhadap diameter pipa, seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Bentuk dan koordinat sudu mengacu pada penelitian Ramos dkk. (2013), dan diameter poros mengacu pada penelitian Samora dkk. (2016). Sedangkan kemiringan sudu yang digunakan 20°. Gambar 2 menunjukkan bentuk turbin dan variabel jumlah sudu 4 sampai 7 buah.

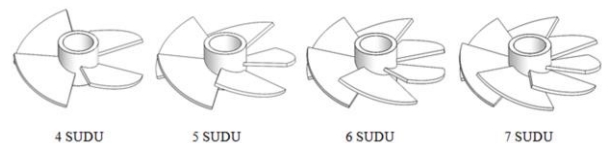
Skema uji tes *rig* ditunjukkan Gambar 3, dengan mengukur tekanan berdasarkan beda ketinggian sebelum dan sesudah turbin menggunakan *U manometer*. Setiap variasi turbin diuji pada debit 7 L/s, 9 L/s, 11 L/s, dan 13 L/s. Perhitungan nilai *head* mengacu pada penelitian Samora dkk. (2016), yaitu berdasarkan nilai *pressure drop* atau perbedaan tekanan sebelum dan sesudah turbin yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$Head = \frac{P1 - P2}{\rho g} \tag{1}$$

Sedangkan daya hidrolik air (P_{water}), daya poros



Gambar 1. Bulb ratio 0,6 (Nurdin 2020)



Gambar 2. Variabel jumlah sudu



Gambar 3. Uji tes rig

(P_{shaft}), dan efisiensi (%) secara berturut-turut ditunjukkan Persamaan 2, 3 dan 4.

$$P_{water} = Q\rho gh \quad (2)$$

$$P_{shaft} = \frac{2\pi nT}{60} \quad (3)$$

$$Efisiensi = \frac{P_{shaft}}{P_{water}} \times 100\% \quad (4)$$

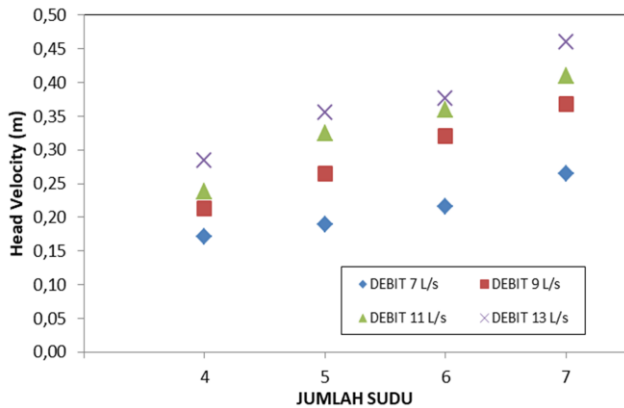
dimana P_1 adalah tekanan sebelum turbin (Pa), P_2 adalah tekanan setelah turbin (Pa), Q adalah debit (m^3/s), ρ adalah massa jenis air dengan nilai 1000 kg/m^3 , g adalah percepatan gravitasi dengan nilai $9,81 \text{ m/s}^2$, n adalah putaran poros (rpm), dan T adalah nilai torsi (Nm).

3. Hasil dan Pembahasan

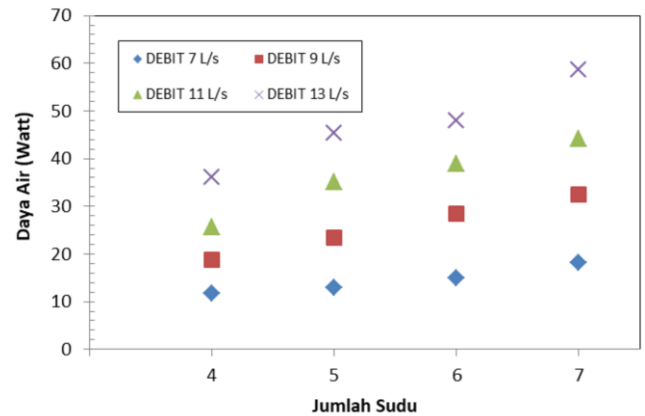
Hasil uji eksperimental penelitian ini ditunjukkan melalui Gambar 4 sampai Gambar 8. Dari hasil tersebut dapat dianalisa nilai head, daya air dan daya poros. Gambar 4 menunjukkan semakin banyak jumlah sudu maka secara perlahan nilai head semakin naik. Singh dan Nestmann (2011) menyatakan jumlah sudu pada turbin *propeller* mempengaruhi jarak antar sudu, sedangkan jarak antar sudu akan mempengaruhi tekanan air sebelum dan sesudah turbin. Kurniawan *dkk.* (2019) menyatakan tekanan air sebelum *runner* semakin meningkat seiring dengan jumlah sudu. Pada jumlah sudu 7, jarak antar sudu semakin rapat dibandingkan jumlah sudu lainnya dan menghambat aliran air, sehingga tekanan air sebelum

turbin (P_1) semakin meningkat dan tekanan air (P_2) sesudah turbin semakin menurun. Berdasarkan Persamaan 1, semakin naik nilai P_1 dan semakin turun nilai P_2 , maka *head* akan semakin naik. Sedangkan Gambar 5 menunjukkan hubungan antara jumlah sudu dengan nilai daya air, dengan tren grafik yang sama dengan gambar 4. Persamaan 2 menunjukkan nilai daya air searah dengan nilai *head*, sehingga semakin tinggi nilai *head* maka nilai daya air akan semakin naik. Pada penelitian ini, jumlah sudu 7 buah menghasilkan nilai daya air tertinggi dibandingkan jumlah sudu lainnya.

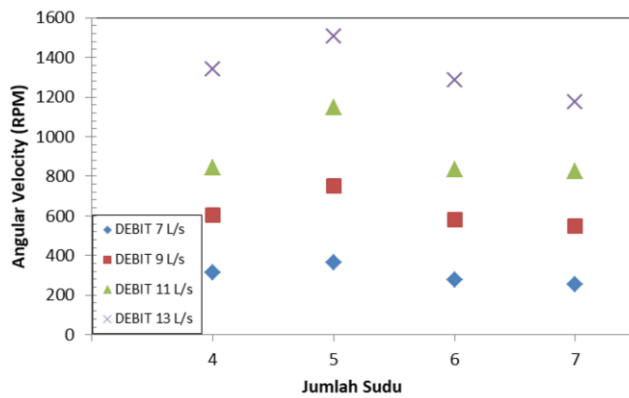
Gambar 6 menunjukkan hubungan antara jumlah sudu dengan *angular velocity* atau kecepatan putar poros. Grafik tersebut menunjukkan nilai kecepatan putar paling optimal terjadi pada jumlah sudu 5, kemudian secara perlahan turun pada jumlah sudu 6 dan 7 buah. Singh dan Nestmann (2011) menyatakan pada jumlah sudu 6 gaya aksial yang diterima lebih besar dibandingkan jumlah sudu 5 namun gaya tangensial yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan jumlah sudu 5. Penurunan gaya tangensial ini disebabkan jarak antar sudu pada jumlah sudu 6 semakin rapat yang menyebabkan aliran air terhambat dan berakibat semakin menurunnya putaran poros. Pada penelitian ini, jumlah sudu 6 jarak antar sudu lebih rapat dibandingkan jumlah sudu 5 dan semakin rapat pada jumlah sudu 7, sehingga aliran air setelah jumlah sudu 5 semakin terhambat yang berakibat semakin menurunnya putaran poros. Namun, pada jumlah sudu 4 buah nilai kecepatan poros lebih rendah dibandingkan dengan jumlah sudu 5. Kurniawan *dkk.* (2019) menyatakan semakin banyak jumlah sudu maka gaya aksial yang



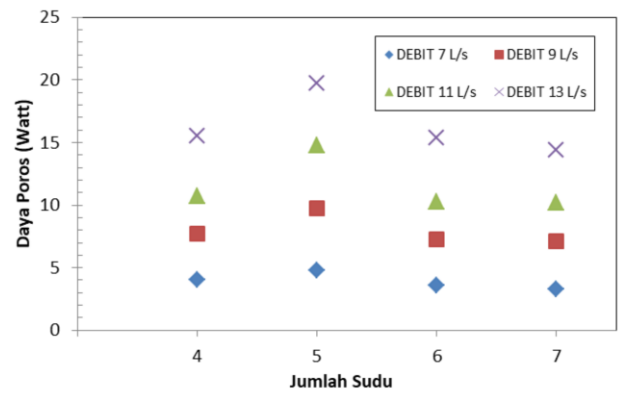
Gambar 4 Hubungan jumlah sudu dan head velocity



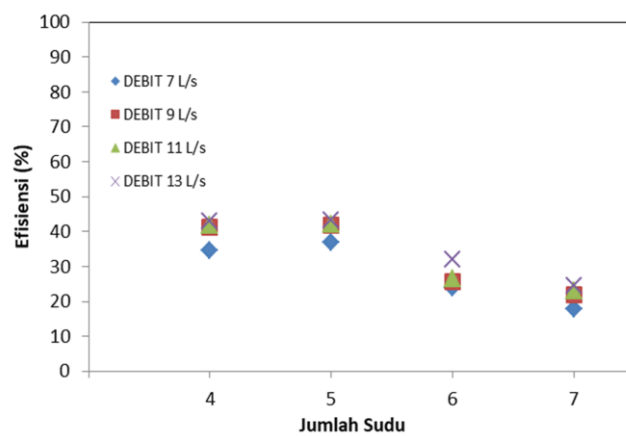
Gambar 5. Hubungan jumlah sudu dan daya air



Gambar 6. Hubungan jumlah sudu dan angular velocity



Gambar 7. Hubungan jumlah sudu dan daya poros



Gambar 8. Hubungan jumlah sudu dan efisiensi

diterima oleh runner akan naik. Pada penelitian ini jumlah sudu 5 buah menerima gaya aksial dari daya air lebih besa dibandingkan jumlah sudu 4, dan aliran air yang melewati jumlah sudu 4 maupun 5 tidak terhambat yang disebabkan kerapatan jarak antar sudunya.

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara jumlah sudu dengan daya poros yang mampu dihasilkan dengan tren grafik yang sama dengan grafik angular velocity atau kecepatan putar poros. Persamaan 3 menunjukkan dengan nilai pembebanan yang sama atau nilai torsi yang serupa

maka nilai daya poros akan sebanding dengan nilai daya porosnya, sehingga semakin tinggi nilai *angular velocity* maka nilai daya poros akan semakin naik.

Nilai efisiensi merupakan kemampuan turbin dalam mengkonversi daya hidrolik air yang tersedia, Gambar 8 menunjukkan pada jumlah sudu 4 dan 5 turbin mampu mengkonversi daya hidrolik air sekitar 40%, dan akan semakin menurun pada jumlah sudu 6 dan 7 dengan nilai efisiensi masing-masing sekitar 30% dan 20%. Penurunan nilai efisiensi pada jumlah sudu 6 dan semakin menurun pada jumlah sudu 7 disebabkan tidak mampunya turbin mengkonversi nilai daya hidrolik air (Gambar 5) menjadi daya poros (Gambar 7) dengan baik.

Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan semakin besar debit air sampai 13 L/s, maka nilai performa dan efisiensi turbin akan semakin naik. Persamaan 2 menyatakan nilai daya hidrolik air sebanding dengan nilai debit air, sehingga semakin besar debit air, maka daya hidrolik air akan semakin besar pula. Samora *dkk.*, (2016) dan Kurniawan *dkk.* (2019) menyatakan semakin besar debit air maka gaya aksial air yang menumbuk setiap sudu pada turbin akan semakin naik sehingga kinerja turbin semakin naik.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengambilan data dan pembahasan menunjukkan bahwa jumlah sudu 5 menunjukkan performa turbin paling optimal dibandingkan jumlah sudu lain, dengan nilai efisiensinya mencapai sekitar 40%, dari hasil tersebut diatas, turbin air turbin *propeller* pada aliran horisontal dengan sudu berjumlah 5 dipandang layak untuk dilakukan *scale up* guna diaplikasikan di masyarakat.

Daftar Pustaka

- Aghamohammadi, N., Sulaiman, N. M. N., & Aroua, M. K. (2011). Combustion characteristics of biomass in SouthEast Asia. *Biomass and bioenergy*, 35(9), 3884-3890.
- Alnakhilani, M. M., Mukhtar, D. A., Himawanto, A. A., & Danardono, D. (2015). Effect of the bucket and nozzle dimension on the performance of a pelton water turbine. *Modern Applied Science*, 9(1), 25-33.
- Chen, Z., Kim, J. C., Im, M. H., & Choi, Y. D. (2014). Analysis on the performance and internal flow of a tubular type hydro turbine for vessel cooling system. *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 38(10), 1244-1250.
- Gokhale, P., Date, A., Akbarzadeh, A., Bismantolo, P., Suryono, A. F., Mainil, A. K., & Nuramal, A. (2017). A review on micro hydropower in Indonesia. *Energy Procedia*, 110, 316-321.
- Himawanto, D.A., Tjahjana, D. D. D. P., & Hantarum. (2017). Experimental Study on Optimization of Curvature Blade Impeller Pump as Turbine Which Functioned as Power Plant Picohydro. *International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology 2016 (ICESNANO 2016)* 030008 (January).
- Kumar, Y., Ringenberg, J., Shekara, S., Devabhaktuni, V. K., Woo, J., Nikolaidis, E., Andersen, B. & Afjeh, A. (2016). *Wind Energy : Trends and Enabling Technologies*, 53: 209–24.
- Kurniawan, R., Himawanto, D. A., & Widodo, P.J. (2019). The Performance of Numbers of Blade towards Picohydro Propeller Turbine. *TICATE 2018, 3–8. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 508.
- Nurdin, A. & Himawanto, D. A. (2018a). Review Aplikasi Bahan Bakar Biogas Pada Motor Bakar Si (Spark Ignition). *Simetris*, 9(2): 797–802.
- Nurdin, A. & Himawanto, D.A. (2018b). Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin Archimedes Screw pada Head Rendah. *Simetris*, 9(2): 783–96.
- Nurdin, A., & Himawanto, D. A (2019). Studi Numerik Kekuatan Material Transmisi Roda Gigi Pico Hydro. *JTMI* 14(1): 24–29.
- Nurdin, A. (2020). Studi eksperimental pengaruh jumlah sudu dan kemiringan sudu terhadap peforma tubular bulb turbin aliran horisontal. *Tesis*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ramos, H.M., Simão, M., & Borga, A. (2013) Experiments and CFD Analyses for a New Reaction Microhydro Propeller with Five Blades. *Journal of Energy Engineering*, 139(2): 109–17.
- Samora, I., Hasmatuchi, V., Münch-Alligné, C., Franca, M.J., Schleiss, A. J., & Ramos, H.M. (2016) Experimental Characterization of a Five Blade Tubular Propeller Turbine for Pipe Inline Installation. *Renewable Energy*, 95: 356–66.
- Singh, P., & Nestmann, F . (2010). Exit Blade Geometry and Part-Load Performance of Small Axial Flow Propeller Turbines : An Experimental Investigation. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34(6): 798–811.
- Singh, Punit, & Nestmann, F. (2011). Experimental Investigation of the in Fl Uence of Blade Height and Blade Number on the Performance of Low Head Axial Fl Ow Turbines. *Renewable Energy* 36(1): 272–81.
- Zhu, L., H. P. Zhang, J. G. Zhang, X. C. Meng, & L. Lu. (2012). Performance of a Bulb Turbine Suitable for Low Prototype Head: Model Test and Transient Numerical Simulation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 15 (PART 4).