



Pengaruh *inlet hub angle* terhadap daya turbin propeller pada aliran horisontal

The influence of inlet hub angle on propeller turbine in horizontal flow

H. Bisri*, D.A. Himawanto, D.D.D.P. Tjahyana

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami no. 36, Ketingan, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah, 57126, Indonesia. HP. 081231075776

*E-mail: hasanbisri1295@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 23 December 2019

Accepted 8 April 2020

Available online 1 October 2020

Keywords:

ULH

Horizontal Flow

Pikohydro

Propeller Turbine

Inlet Hub Angle



Now ULH-related research has become a trend among researchers in hydroelectric power. One form of ULH can be water in pipe. Meanwhile, utilization of horizontal channels as power plants is still low, because the yields obtained are not large enough. Utilization of ULH horizontal flow can be an interesting topic for renewable energy at pico scale, where the reaction turbine that is suitable in this case is propeller turbine. The advantages of propeller turbines are practical, high efficiency, simple, and low production costs. Propeller rotors used in this study had a diameter of 83 mm and a blade inclination of 25°. This study uses addition of a static bulb body to increase the speed of fluid flow, ratio of static bulb used in this study is 0.6. Discharge used is varied from 7 l/s, 9 l/s, 11 l/s, and 13 l/s. This study aims to determine the effect of inlet hub angle blade of turbine performance on horizontal flow in pipe. The highest results on use of the largest discharge are 33° inlet hub angle which produces 17.2 watts at 1283 RPM shaft rotation, and the coefficient of performance (CP) obtained reaches 54%. However increasing the value of the inlet angle of blade hub does not linearly increase the value of mechanical power. The blade with an inlet angle of 44° has the smallest performance, the mechanical power generated is only 13.9 watts at 1045 RPM.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 10, No. 2 Oktober 2020, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi di Indonesia meningkat pesat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Potensi energi air di negara Indonesia sangat melimpah ruah, tercatat pemanfaatan potensi energi terbarukan energi air Indonesia sekitar 75,67 GW dan yang termanfaatkan sekitar 4,2 GW, terkhusus lagi pada potensi mini/mikrohidro sekitar 0,46 GW dan yang termanfaatkan sekitar 0,084 GW (Nugraha, 2016).

Dewasa ini tren penelitian di Indonesia terfokus pada energi air skala pikohidro, khususnya pada potensi energi dibawah 5 kw seperti pada sungai-sungai aliran arus horisontal. *Head* yang cukup rendah (*Ultra low head*) menjadikan penelitian tentang energi air bentuk ini belum banyak dikembangkan, dimana *ultra low head* memiliki kerja turbin diantara 0 sampai 3 meter (Zhu dkk., 2013). ULH dibagi dalam beberapa kategori yaitu sungai, aliran irigasi, sistem perpipaan, saluran pembuangan, saluran buang dari hidropower yang lebih besar, dan energi tidal.

Saluran air dalam pipa erat kaitannya dengan aliran pembuangan limbah produksi, PDAM, dan saluran irigasi. Pemanfaatan saluran perpipaan sebagai pembangkit skala piko memiliki perhatian yang cukup menarik untuk diteliti. Berdasarkan beberapa literatur penelitian, penelitian terkait aliran horisontal belum banyak dikembangkan, hal ini disebabkan karena efisiensi yang dihasilkan kecil.

Parameter yang berkontribusi dalam operasi pembangkit listrik tenaga air adalah head, debit, turbin dan generator (Singh dan Singal, 2017). Pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu faktor head, faktor daya, dan faktor putaran (Dixon, 2010). Turbin yang sesuai bekerja pada *head* yang sangat rendah adalah turbin reaksi, dimana turbin ini bekerja menurunkan nilai tekanan air pada sudu-sudu pengarah maupun pada sudu-sudu jalannya.

Turbin propeller merupakan turbin reaksi, dimana turbin ini memiliki keunggulan diantaranya berbentuk praktis, efisiensi tinggi, simpel, dan biaya rendah (Erinofardi dkk., 2017). modifikasi sudu pada turbin propeller banyak dilakukan guna mendapatkan efisiensi yang optimum, bentuk modifikasi dapat seperti merubah kelengkungan turbin, merubah jumlah sudu turbin, merubah kemiringan, dan merubah profil sudu.

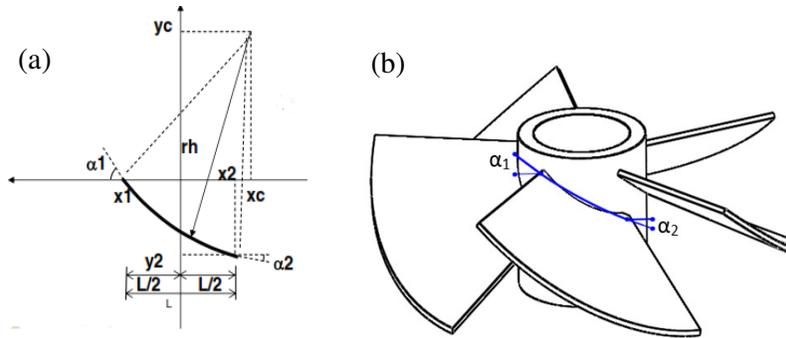
Variasi kelengkungan sudu turbin dipengaruhi oleh nilai *inlet angle* dan *outlet angle*, masing-masing berada pada posisi *tip* maupun *hub*. Hasil penelitian kinerja turbin dengan variasi *inlet hub angle* menunjukkan ada pengaruh terhadap kinerja turbin, peningkatan sudut inlet hub angle meyebabkan aliran kecepatan pada sudu meningkat 2%, dimana variasi *inlet hub angle* divariasikan dari 60° menjadi 70° (Singh dan Netsman., 2012).

Perancangan kelengkungan sudu turbin propeller untuk meminimalisir vortek telah banyak dilakukan dengan beberapa metode pembuatan sudut sudu (Ari dan Dwi, 2017). Nilai geometri sudut masuk dan keluar bagian *hub* dan *tip* sudah dirancang dengan hasil efisiensi yang maksimal (Ramos dkk., 2013). Samora dkk. (2016) telah memodifikasi sudu penelitian ramos dengan mengurangi nilai diameter sudu, dan perbedaan lainnya terdapat pada penambahan bulb statis serta pengetesan dilakukan dengan menggunakan head dinamis. Nilai efisiensi maksimal dari penelitian ini yaitu mencapai 64% yang didapatkan pada putaran poros 750 rpm, debit aliran 16 m³/jam, dan *head* 0,34 mWc.

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan penelitian terhadap pengaruh desain sudu turbin *propeller* yang menghasilkan daya mekanik optimal, dimana variasi dilakukan pada area sudut masuk sudu bagian hub serta diuji pada aliran full horisontal dengan head dinamis.

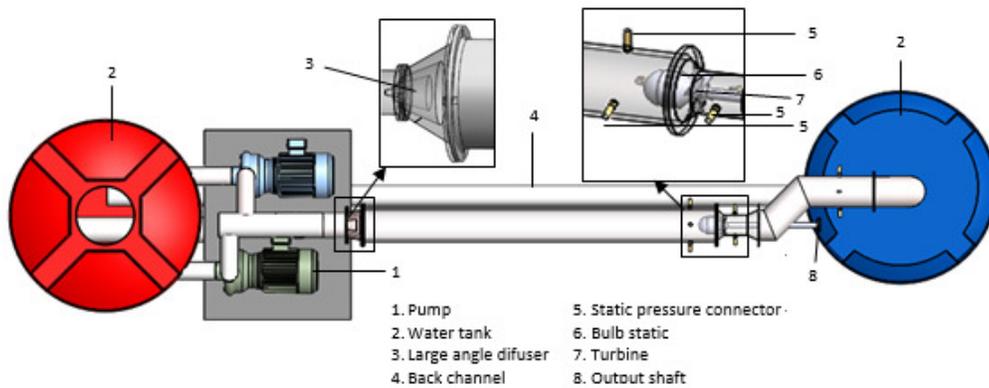
2. METODE PENELITIAN

Penelitian secara eksperimen ini menggunakan desain aparatus tes pada penelitian sebelumnya, dimana variabel bebas yang diteliti yaitu variasi sudut *inlet* bagian *hub* dan debit aliran. Variasi sudut *inlet* bagian *hub* yaitu 44°, 40°, 36°, dan 33°, sedangkan variasi debit aliran yaitu 7 l/s, 9 l/s, 11 l/s, dan 13 l/s. Desain manufaktur turbin mengikuti dari penelitian yang sebelumnya (Ramos dkk., 2013), dimana pembuatan profil sudu bagian *tip* maupun *hub* mengikuti aturan yang ditunjukkan pada gambar 1a. Gambar 1b menunjukkan bagian *inlet hub angle* yang besar sudut α_1 divariasikan. Turbin didesain dengan jumlah sudu 5 menggunakan bahan abs untuk menapatkan bobot yang ringan dan dapat baik bekerja pada aliran horisontal. Nilai sudut *inlet tip angle* (°) dan *outlet tip angle* (°) dibuat konstan yaitu 23° dan 16°.



Gambar 1. Propeller scheme: (a) parameter pembuatan sudu turbin, (b) *hub angle*

Aparatus tes penelitian ditunjukkan oleh gambar 2, bentuk aparatus tes mengikuti dari penelitian sebelumnya yang dilakukan Samora (2016), dimana pada penelitian ini dilakukan dengan penambahan alat berupa LAD dan *bulb* statis. LAD berguna untuk mendapatkan aliran yang seragam, sedangkan *bulb* statis berguna untuk mendapatkan kecepatan yang bertambah pada aliran yang mengenai sudu turbin. Pengontrolan besar debit dilakukan dengan menggunakan bukaan katup yang berada sesaat sebelum masuk pada saluran tes rig. Pada pengetesan beban yang digunakan untuk mengukur torsi dibuat sama, dan *static pressure connector* yang dihubungkan ke pipa U manometer dipasang di area *upstream* dan *downstream* digunakan untuk menghitung tekanan air yang selanjutnya akan dikonversi menjadi *head*.



Gambar 2. Aparatus tes

Data yang diperoleh dari hasil penelitian berupa *head* (m), debit (l/s), kecepatan putar turbin (rpm), dan pembebanan pada poros *output* (kg) dari berbagai variasi. Maka selanjutnya dapat dilakukan analisis data diantaranya yaitu daya hidrolik (P_{in}), daya poros (P_{shaft}), dan koefisien daya (CP). Daya hidrolik merupakan besar daya mekanik air yang dipengaruhi dari oleh besar *head* dan debit aliran, dimana besar daya hidrolik yang dihasilkan oleh turbin air diperoleh dari persamaan satu. Dimana ρ merupakan massa jenis (kg/m^3), g merupakan nilai gravitasi (m/s^2), Q merupakan debit aliran (m^3/s), dan h merupakan *head* (m).

$$P_{in} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \tag{1}$$

Daya poros merupakan potensi daya air yang mampu dirubah menjadi daya mekanik poros turbin, dimana besar nilinya dipengaruhi oleh nilai RPM dan torsi. Persamaan 2 menunjukkan cara penghitungan daya poros turbin, dimana n merupakan *angular velocity* (rpm), dan T merupakan torsi (Nm).

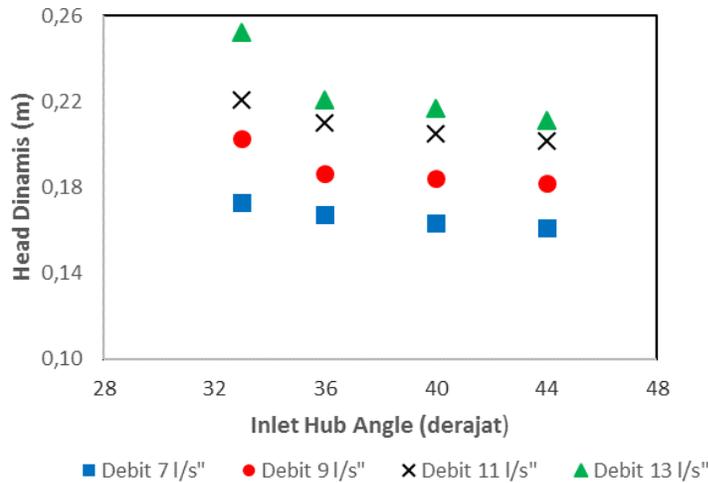
$$P_{shaft} = \frac{2 \pi n T}{60} \tag{2}$$

Koefisien daya merupakan besar rasio dari daya poros dibandingkan daya hidrolik, dimana cara perhitungan didapatkan dari persamaan 3.

$$CP = \frac{P_{shaft}}{P_{in}} \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 hingga 7 menunjukkan hasil kinerja turbin pada semua variasi penelitian, dimana variasi yang dianalisis yaitu nilai performa dari *inlet hub angle* dari 33°, 36°, 40°, dan 44°. Terlihat dari keempat variasi menunjukkan hasil tren yang sama mulai dari nilai *head*, kecepatan sudut, daya poros, dan koefisien daya. Gambar 3 menunjukkan hubungan antara *head* dinamis dengan *inlet hub angle*. Variasi dengan sudut 33° menunjukkan hasil *head* paling besar pada semua variasi debit, dan menunjukkan penurunan nilai *head* dengan bertambahnya nilai besar sudut. Kurva *head* mengalami penurunan dengan bertambahnya nilai *inlet hub angle*, nilai *head* tertinggi penelitian ini adalah *inlet hub angle* 33° pada debit 13 l/s yaitu sebesar 0,252 m. Pada turbin 33° kelengkungan sudu bagian *inlet hub* paling efektif sehingga gaya tangkap air yang dapat dikonversi oleh sudu baik. Hal tersebut menyebabkan tekanan air yang mengenai turbin turun. *Inlet hub angle* yang bertambah menghasilkan nilai *head* yang rendah, hal itu disebabkan karena *inlet hub* yang bertambah menjadikan kecepatan absolute pada sudu turun sehingga tekanan air lebih kecil yang dapat dikonversi menjadi gaya putar turbin (Singh dan Netsman, 2009).



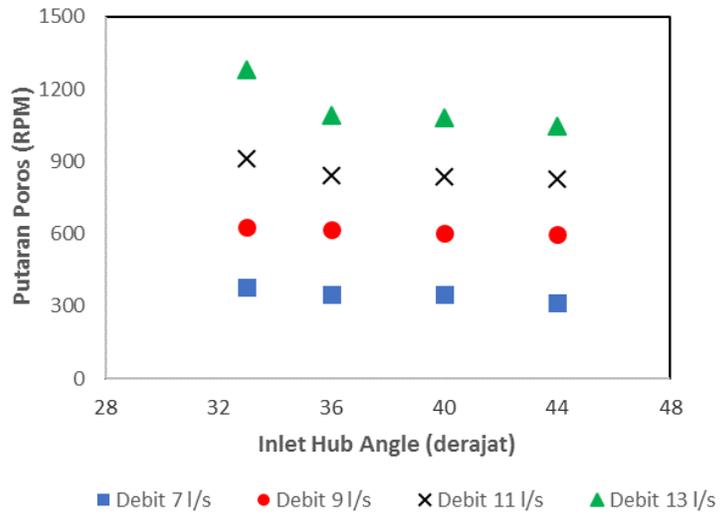
Gambar 3. Hubungan antara *head* dinamis dengan *inlet hub angle*

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara hubungan *inlet hub angle* dengan putaran poros turbin, dimana grafik menunjukkan tren yang sama dengan hasil nilai *head*. Kecepatan putar turbin tertinggi dihasilkan pada turbin dengan sudut *inlet* bagian *hub* 33° yaitu sebesar 1283 rpm. Kecepatan putar pada *inlet hub* 44° lebih rendah dari 33° dikarenakan aliran yang mengenai sudu memiliki tekanan yang lebih rendah, sehingga gaya putar turbin tidak terlalu tinggi. Bertambahnya sudut *inlet hub* memengaruhi kecepatan absolute yang semakin kecil sehingga gerak putar turbin malah terhambat.

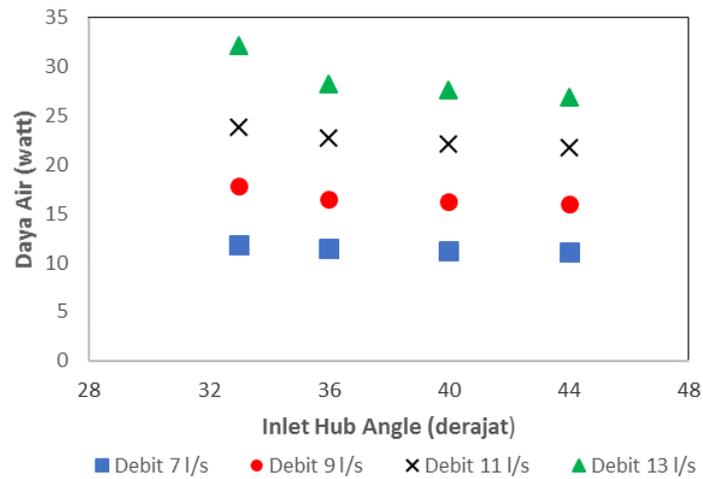
Gambar 5 menunjukkan hubungan antara *inlet hub angle* dengan daya air, dimana secara umum daya air meningkat seiring dengan peningkatan nilai debit. Berdasarkan persamaan 1 dapat diketahui semakin besar debit yang diberikan maka *power input* yang dihasilkan fluida juga semakin tinggi. Karena nilai massa jenis air (ρ) dan gaya gravitasi (g) tetap, maka nilai h semakin meningkat dengan bertambahnya debit fluida.

Gambar 6 menunjukkan nilai puncak daya poros terjadi pada penggunaan *inlet hub* 33° dan secara perlahan turun pada inlet hub 36°, 40°, dan 44°. Karakteristik ini mirip dengan karakteristik pada *angular velocity*. Berdasarkan persamaan 2 terlihat dengan setiap nilai torsi yang mirip, nilai *angular*

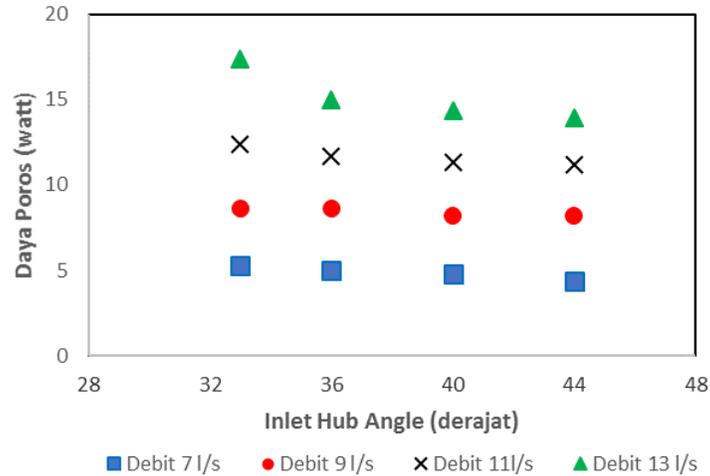
velocity berbanding lurus dengan nilai daya poros, semakin naik nilai *angular velocity* maka nilai daya poros akan naik.



Gambar 4. Hubungan antara putaran poros dengan *inlet hub angle*

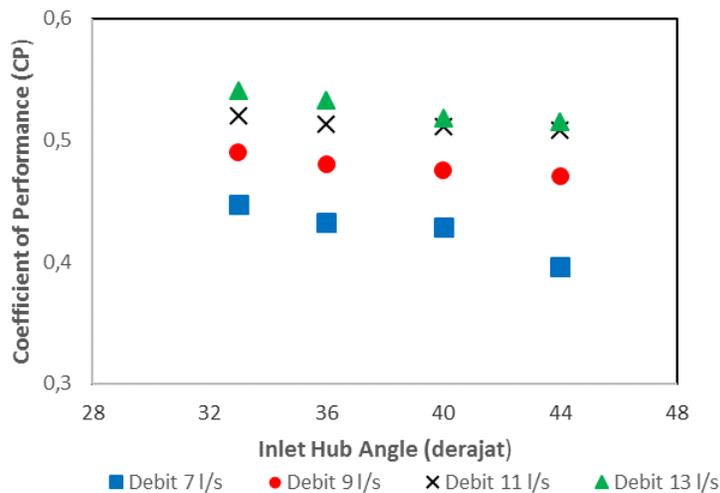


Gambar 5. Hubungan antara daya air dengan *inlet hub angle*



Gambar 6. Hubungan antara daya poros dengan inlet hub angle

Gambar 7 menunjukkan koefisien daya dari semua variasi sudut inlet bagian hub. CP tertinggi terjadi pada sudut inlet bagian hub 33° yaitu mencapai 54%. Peningkatan nilai head dinamis terjadi disebabkan oleh kenaikan debit sehingga kecepatan air yang melewati area masuk meningkat dan tekanan air meningkat, dengan kenaikan tekanan air ini maka dinamika head naik. Berdasarkan persamaan 1, 2, dan 3 terlihat bahwa peningkatan nilai daya hidrolik, daya poros, dan koefisien kerja meningkat bersamaan dengan meningkatnya debit aliran. Semakin tinggi nilai debit maka nilai hidrostatik atau daya air akan meningkat (Riski dkk., 2019). Singh dan Nestmann (2012) menyatakan kenaikan sudut inlet bagian hub dapat meningkatkan hasil daya keluaran turbin propeller. Chelabi dkk. (2016) menyatakan bahwa perubahan nilai sudut masuk akan memengaruhi distribusi tekanan dan luasan area tangkap air yang mengenai sudu, sehingga dapat diketahui bahwa menaikkan atau menurunkan nilai sudut masuk secara tidak langsung meningkatkan performa turbin. Ramos dkk. (2013) menyatakan profil sudu yang divariasikan akan merubah sudut pisau (sudut aliran relatif) dari inlet ke outlet, sehingga akan mempengaruhi nilai efisiensi. Oleh karena itu dapat diketahui variasi inlet hub angle yang semakin naik pada turbin propeller yang diteliti mempengaruhi luasan area tangkap air yang semakin kecil dan sudut pisau yang mengarah dari hulu ke hilir menjadi buruk, sehingga nilai daya dan efisiensi turun.



Gambar 7. Hubungan antara CP dengan inlet hub angle

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian secara umum menunjukkan bahwa dengan modifikasi pada *inlet hub angle* dapat memengaruhi kinerja turbin propeller pada aliran horisontal. Variasi terbaik terjadi pada variasi *inlet hub angle* 33° yaitu sebesar 17,3 watt pada debit 13 l/s dan CP pada variasi ini mencapai 54%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin di Universitas Sebelas Maret atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR NOTASI

$\alpha 1$: Inlet angle (°)
$\alpha 2$: Outlet angle (°)
ρ	: Massa jenis air (kg/m ³)
g	: Gaya gravitasi (m/s ²)
h	: Head (m)
n	: Putaran (rpm)
T	: Torsi (Nm)
P	: Daya (watt)

Nondimensional

C_p : Coefficient of performance

DAFTAR PUSTAKA

- Ari P., Dwi A.H., 2017, Kajian teoritik pengaruh geometri dan bentuk sudu terhadap unjuk kerja turbin propeller, Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Kedirgantaraan (SENATIK), 3, 2528-1666.
- Chelabi M.A., Hamidou M.K., Hamel M., 2017, Effects of cone angle and inlet blade angle on mixed inflow turbine performances, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 61, 225-233.
- Dixon S.L., C.A. Hall., 2010, *Fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery*, Sixth Edition.
- Erinofiardi, Gokhale P., Date A., Akbarzadeh A., Bismatolo P., Suryono A.F., Mainil A.K., Nuramal A., 2017, A review on micro hydropower in Indonesia, *J Teknologi (Sciences & Engineering)*, 110 (5), 316-321.
- Nugraha S., 2016, *Outlook energy indonesia*, Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Ramos H.M., Simao M., Borga A., 2013, Experiments and CFD analyses for a new reaction microhydro propeller with five blades, *Journal Energy*, 139, 109-117.
- Riski K., Dwi A.H., Purwadi J.W., 2019, The performance of numbers of blade towards pichydro propeller turbine, 8–13.
- Samora I., Hasmatuchi V., Alligne C.M., Franca J.M., Schleis A.J., Ramos H.M., 2016, Experimental characterization of a five blade tubular propeller turbine for pipe inline installation, *Journal Renewable Energy*, 356-366.
- Singh P., Nestman F., 2009, Experimental optimization of a free vortex propeller runner for micro hydro application, *Journal Experimental Thermal and Fluid Science*, 33, 991-1002.
- Singh P., Netsman F., 2012, Influence of the blade hub geometry on the performance of low-head axial flow turbines, *Journal of Energy Engineering*, 138, 109-118.
- Singh V.K., Singal S.K., 2017, Operation of hydro power plants-a review, *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 610-619.
- Zhu L., Zhang H.P., Zhang J.G., Meng X.C., Lu L., 2013, Performance of a bulb turbine suitable for low prototype head: model test and transient numerical simulation, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 15 (4).