

KAJIAN TURBIN AIR PIKO HIDRO DAERAH TERPENCIL DI INDONESIA

Budiarso*, Warjito, Dendy Adanta

Departmen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

¹budiarso@ui.ac.id

Abstrak

Piko hidro merupakan pembangkit listrik bertenaga air dengan daya maksimal sebesar 5 kW, cocok diperuntukan bagi daerah terpencil di Indonesia. Daerah terpencil di Indonesia umumnya berpenduduk kurang lebih 150-200 jiwa (30 keluarga) dan dikarenakan pertimbangan nilai ekonomisnya daerah tersebut tidak tersedia jaringan listrik. Kesederhanaan desain, konstruksi dan biaya investasi turbin piko hidro menjadi pilihan yang cocok untuk masyarakat pedesaan daerah terpencil. Daya listrik piko hidro juga dapat membantu sumber kekuatan ekonomi di daerah terpencil tersebut. Melalui kajian ini akan dapat dipertimbangkan jenis turbin piko hidro yang mempunyai unjuk kerja optimal. Pemilihan jenis turbin air yang sesuai pada suatu kasus dapat dikaji melalui putaran spesifiknya (Ns). Hasil kajian, menunjukkan bahwa turbin piko hidro tipe *propeller* mempunyai kelebihan dari tipe lain.

Kata kunci: kecepatan spesifik, *propeller*, turbin air, piko hidro, daerah terpencil,.

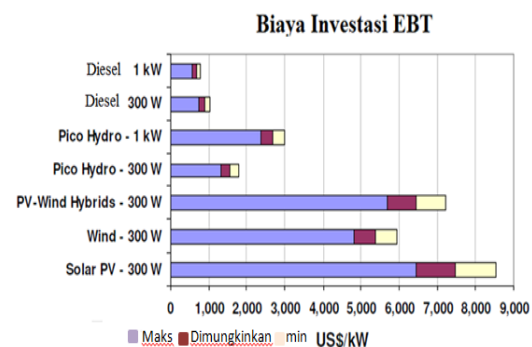
1. PENDAHULUAN

Piko hidro merupakan pembangkit listrik energi air dengan kapasitas listrik maksimal 5 kilo Watt [1]. Beberapa studi mengungkapkan bahwa piko hidro merupakan pembangkit listrik energi baru terbarukan sangat cocok diperuntukan untuk daerah terpencil yang memiliki energi air [2] [3] [4] [5] [6].

Selain biaya, kesederhanaan dari desain, perencanaan dan instalasi juga menjadi pilihan untuk masyarakat pedesaan terpencil. Inovasi dari piko hidro telah membuat peningkatan sumber kekuatan ekonomi pada daerah miskin dan paling sulit diakses di suatu negara [7]. Keuntungan memanfaatkan energi air sebagai pembangkit listrik dibanding energi terbarukan lainnya tidak hanya menguntungkan dibidang investasi saja namun juga harga listrik yang diproduksi oleh energi air tersebut juga sangat murah [2]. Untuk lebih jelas lihat Gb. 1 dan 2 berikut:



Gambar 10. Biaya operasional pembangkit listrik [2]



Gambar 11. Biaya investasi pembangkit listrik energi baru terbarukan [2]

Gb. 1 dan 2 diatas menunjukkan secara jelas bahwa piko hidro merupakan jenis pembangkit dengan biaya investasi dan biaya operasional yang murah dibanding dengan jenis pembangkit yang lain.

Kajian tentang pemilihan jenis-jenis pembangkit air piko hidro telah banyak dilakukan. Saurabh Sangal dkk. [8], membahas tentang biaya investasi serta pemilihan turbin piko hidro dengan tiga perbedaan tinggi tekan (*head*). Pertama pada tinggi tekan (*high head*) yang sangat tinggi yaitu di atas 75 meter, kedua dengan tinggi tekan sedang (*medium head*) yaitu 30 sampai 75 meter dan tinggi tekan rendah (*low head*) dibawah 3 meter. Studi literatur yang dilakukan dapat dijadikan sebagai acuan untuk menerapkan turbin air piko hidro dengan tahap pertama adalah memahami kondisi medan.

Kamaruzzaman dan Juhari [9], membahas untuk lebih mempertimbangkan efisiensi, pendekatan persamaan daya dan kecepatan spesifik. Efisiensi dihubungkan ke dalam diagram untuk menentukan jenis turbin apa yang cocok dipakai dalam suatu kasus. Kemudian mereka juga membahas perbedaan ketinggian dengan tiga perbedaan untuk piko hidro, yaitu tinggi tekan tinggi (*high head*) berkisar antara 3 – 5 meter, tinggi tekan rendah (*low head*) yaitu berkisar 1 meter dan proyek air fountain dengan daya yang dihasilkan 1,5 kW. Zainuddin dkk [10], membahas nomogram (diagram dengan empat acuan) dalam pemilihan jenis turbin piko hidro serta komponen-komponennya. Nomogram tersebut digunakan untuk menentukan jenis turbin piko hidro yang cocok, dengan mempertimbangkan tinggi tekan (*head*), kecepatan spesifik dan daya yang dihasilkan turbin serta kecepatan putar turbin.

Mengingat daerah terpencil di Indoensia merupakan daerah yang terisolir dan merupakan daerah yang dengan pendapatan perkapita yang minim dibutuhkan suatu kajian khusus dalam pemilihan jenis turbin yang akan diaplikasikan untuk daerah-daerah terpencil tersebut. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang mendalam tentang pemilihan jenis-jenis pembangkit listrik piko hidro yang sesuai dengan daerah terpencil di Indonesia dan melakukan desain sudu turbin yang diharapkan dapat mencapai unjuk kerja yang optimal.

2. TEORI

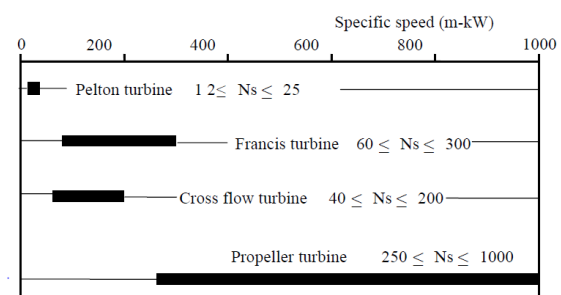
Secara umum turbin air piko hidro memiliki dua tipe, yaitu turbin reaksi dan turbin impuls. Williamson dkk [11], memaparkan ada empat kelompok turbin, yaitu turbin reaksi, impuls, sekrup Archimedes dan roda air (*waterwheel*). Jenis turbin reaksi adalah turbin Kaplan, turbin Francis, turbin *Propeller* dan turbin pompa (pompa sebagai turbin). Jenis turbin Impuls adalah turbin Pelton, turbin Turgo, turbin *crossflow*. Jenis turbin roda air (*waterwheel*) adalah *overshot*, *undershot* dan *breastshot*.

Kecepatan spesifik (Ns)

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \text{ (m.kW)} \quad (1)$$

Dimana, N adalah kecepatan putaran turbin (r.p.m), H adalah tinggi tekan (*head*) (m) dan P adalah daya yang dihasilkan (kW).

Kecepatan spesifik (Ns) tergantung pada ukuran turbin. Tiap turbin memiliki karakteristik kecepatan berbeda-beda demi memberikan unjuk kerja terbaiknya. Kecepatan spesifik pada turbin dapat diamati padaGb. 3:



Gambar 12. Rentang kecepatan spesifik (Ns) pada turbin [12]

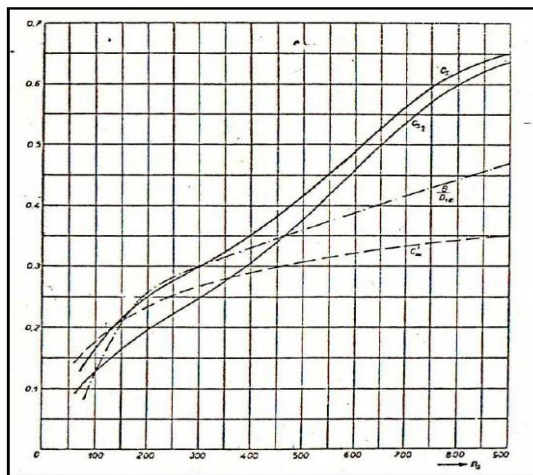
Kecepatan spesifik (Ns) dapat menentukan jumlah sudu dan ratio diameter *hub* dan *tip* ($\frac{d_h}{D}$)

Tabel 7. Hubungan kecepatan spesifik dengan jumlah sudu dan ratio *hub* dan *tip* ($\frac{d_h}{D}$) [13]

Kecepatan Spesifik	1000	800	600	400	350	300
$\frac{d_h}{D}$	0.3	0.4	0.5	0.55	0.6	0.7
Jumlah Sudu	3	4	5	6	8	10

Diameter Sudu

Untuk mendapatkan diameter sudu turbin terlebih dahulu menentukan nilai kecepatan aksial (C_x), namun sebelum mendapatkan kecepatan aksial (C_x) terlebih dahulu mencari tahu nilai dari kecepatan aksial spesifik (C_m), dimana nilai kecepatan aksial spesifik (C_m) didapat dari grafik hubungan antara kecepatan spesifik (N_s) dan kecepatan aksial spesifik (C_m).



Gambar 13. Grafik hubungan antara N_s dan C_m [13]

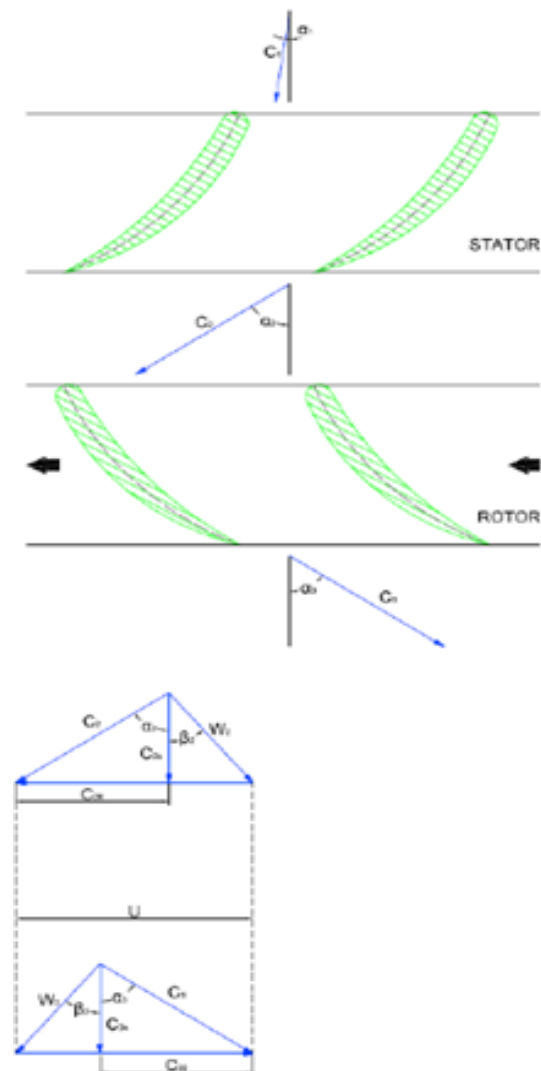
setelah mendapatkan nilai kecepatan aksial spesifik (C_m), selanjutnya mencari nilai kecepatan aksial (C_x) dengan menggunakan pers. 2:

$$C_x = C_m \sqrt{2gH} \quad (2)$$

Diameter yang diizinkan dapat dicari dengan menggunakan pers. 3:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi C_x (1 - (\frac{d_h}{D})^2)}} \quad (3)$$

Segitiga Kecepatan



Gambar 14. Segitiga kecepatan pada sebuah tingkat turbin [2]

Definisi nomor yang tertera pada Gb. 5, yaitu:

- 1 – aliran masuk
- 2 – aliran keluar dan sudu jalan aliran keluar
- 3 – sudu jalan aliran keluar dan pipa buang (*draft tube*) aliran masuk

Kajian masalah

Untuk meratakan kesejahteraan hidup masyarakat Indonesia, salah satu caranya adalah dengan meningkatkan angka elektrifikasi. Pemerataan elektrifikasi di Indonesia dapat dicapai dengan memanfaatkan sumber energi yang tersedia di daerah. Fokus kajian dalam makalah ini adalah:

Menghasilkan sistem piko hidro pada level rumah tangga dengan daya 450 Watt per-rumah tangga, dengan memperhatikan:

- Penggunaan material lokal
- Skala industri atau pembuatan secara sederhana
- Menghasilkan perawatan dengan biaya yang murah, dan
- Optimalisasi sistem operasi pada tinggi tekan (*head*) di bawah 5 meter.

3. METODE PEMILIHAN TURBIN

Metode yang dilakukan berdasarkan studi literatur. Kesempurnaan perancangan tidak hanya mencakup sisi *engineering* saja, tetapi hal yang paling mendasar adalah sisi lingkungan dan faktor ekonomi. Oleh karena itu, pemilihan turbin berdasarkan enam (6) aspek, yaitu [14]:

- Efisiensi : hanya sebatas efisiensi secara teoritis
- Biaya : biaya pembuatan turbin
- Kemudahan : turbin mudah untuk dibawa atau diangkut (berat konstruksi keseluruhan turbin)
- Pemeliharaan dan perawatan : tingkat kemudahan perbaikan dan tingkat keberlangsungan pemeliharaan juga menjadi aspek pertimbangan dikarenakan menyangkut masalah umur pemakaian turbin
- Kontruksi sipil : meminimalisasi pekerjaan sipil (pembetonan) dilokasi aplikasi.
- Modularitas : tingkat kemampuan untuk memecah sistem menjadi bagian-bagian kecil (bongkar pasang) untuk mempermudah perbaikan (penggantian suku cadang).

4. PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Pembahasan

Setiap faktor dapat berhubungan secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi perubahan perancangan. Misalnya, meningkatnya debit biasanya dapat meningkatkan biaya, medan yang sulit diakses akan mempersulit pembangunan dan pemeliharaannya. Tipe turbin piko hidro:

1. Turbin Impuls

Turbin impuls diperuntukan untuk sumber air bertekanan tinggi dibagian masuk dan bertekanan rendah di bagian keluarnya.

Turbin Pelton dan Turgo

Turbin Pelton memiliki efisiensi dari 30 – 87%, dan sangat efektif digunakan pada tinggi tekan 10 – 50 meter, namun turbin ini bisa dioperasikan pada debit yang cukup rendah [11]. Kyle Gaiser dkk [15] melakukan penelitian turbin Turgo dengan memvariasikan sudut nozel terhadap mangkuk dimulai dari 25°, 30°, 35°, dan 40° dengan mendapatkan efisiensi di atas 60%. Namun turbin ini memiliki kecepatan spesifik yang rendah, membutuhkan sistem transmisi, menyebabkan biaya pembuatan menjadi lebih mahal [2].

Turbin Crossflow

Turbin *crossflow* bisa diaplikasikan pada tinggi tekan sedang maupun rendah dengan bermacam-macam jumlah debit air yang mengalir. Secara teoritis efisiensi total yang bisa didapatkan dari turbin *crossflow* adalah 87,8%, penelitian yang dilakukan oleh Mockmore dan Merryfield mendapatkan efisiensi sebesar 68% [11]. Turbin *crossflow* memiliki jumlah mangkuk banyak, mengakibatkan peningkatan potensi variabilitas geometri sudu untuk perancangannya, dan dengan rendahnya kecepatan spesifik berdampak pada putaran turbin yang lebih lambat sehingga berpotensi memerlukan tambahan transmisi, menyebabkan tambahan biaya produksi, perawatan dan pengangkutan [2].

2. Turbin Reaksi

Turbin Francis

Turbin ini biasanya digunakan untuk *head* berkisar antara 50 – 500 meter dengan debit sekitar 0,1 – 11 m³/s [16]. Turbin Francis memiliki geometri sudu yang rumit sehingga memerlukan teknologi yang cukup tinggi dalam pembuatan sudu, menyebabkan biaya yang relatif tinggi untuk pembuatan turbin tersebut [2]. Pada saat diterapkan pada tinggi tekan (*head*) yang rendah, turbin ini membutuhkan diameter yang cukup besar sehingga putaran rotasi turbin menjadi rendah, untuk mengatasi hal tersebut

dibutuhkan sistem transmisi [17]. Dengan bertambahnya sistem, hal tersebut jelas akan berdampak pada perawatan, pemeliharaan dan pengangkutan komponen turbin.

Turbin Propeller

Turbin *propeller* memiliki efisiensi yang tinggi dalam pengoperasiannya pada tinggi tekan (*head*) rendah serta memiliki kecepatan spesifik yang tinggi yaitu berkisar antara 250-1000 r.p.m. [12]. Penelitian yang dilakukan Budiarto dkk [18] generator digerakan langsung oleh turbin sehingga menghindari penggunaan transmisi. Turbin ini juga memiliki konstruksi yang sangat simple jika dibandingkan dengan turbin yang lain [11]. Perawatan yang dibutuhkan sangat mudah dilakukan, mengingat turbin ini hanya memanfaatkan baling-baling sebagai alat untuk memutar generator.

Turbin Kaplan

Turbin Kaplan adalah turbin reaksi dengan aliran aksial yang ditemukan oleh Victor Kaplan di tahun 1913 dengan tipe jenis baling-baling [16]. Turbin Kaplan bekerja untuk *head* yang rendah, range untuk *head* rendah adalah 1 – 10 meter dan dengan debit dimulai dari 1 – 120 m³/s. Turbin Kaplan memiliki sudu pengarah (*guide vane*) yang dapat diatur. Walau turbin Kaplan lebih efisien dibandingkan turbin *propeller*, namun turbin ini memerlukan tingkat pemeliharaan yang tinggi dan biaya yang cukup besar dalam pembuatannya.

Turbin Pompa

Turbin pompa (*pump as turbine*) sering juga disebut PAT. Turbin pompa menggunakan sistem pompa air yang sering dipakai dan pada umumnya mempunyai efisiensi yang tidak terlalu tinggi.

Dari pembahasan di atas, untuk lebih mempermudah analisa, maka Gb. 6 memperlihatkan perbandingan hasil analisa tiap jenis-jenis turbin.

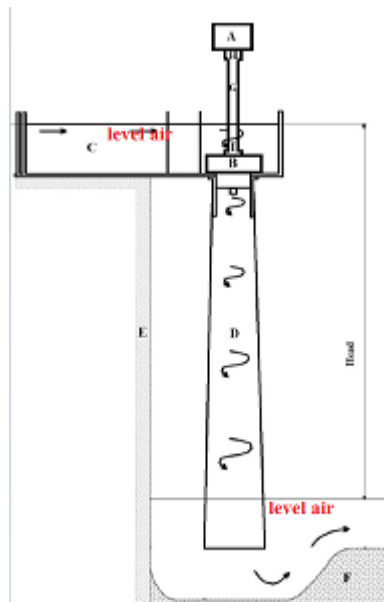
Characteristic	Turbine Type						
	Pelton	Turgo	Cross-flow	Propeller	Francis	Kaplan	PAT
Efficiency – design	●	●	○	●	●	●	●
Efficiency – off design	●	●	●	○	○	●	○
Constructability	●	●	●	●	○	○	○
Cost	●	●	●	●	○	○	○
Maintenance & Serviceability	●	●	●	●	○	○	○
Portability	●	●	●	●	●	●	●
Scope of Modularity	●	●	●	●	●	○	○

POOR
 MODERATE
 GOOD

Gambar 15. Perbandingan tipe-tipe turbin air piko hidro [2]



Gambar 16. Turbin piko hidro jenis *propeller* [19]



Gambar 17. Skema turbin piko hidro jenis *open flume* [19]

Sesuai dengan kondisi di Indonesia yang pada umumnya jumlah penduduk perdesun adalah 150-200 jiwa atau ± 30 keluarga, dimana satu keluarga memerlukan 450 Watt (daya minimal pada alat pembatas atau

pengukur milik PT. PLN), maka turbin piko hidro dengan tipe *propeller* harus menyediakan daya sebesar $\pm 13,5$ kW. Diasumsikan, debit yang tersedia berkisar antara 100 l/s – 300 l/s dan tinggi tekan (*head*) sebesar 2 – 4 meter. Dengan persamaan daya turbin, yaitu:

$$P = \rho g H Q \eta_t \quad (4)$$

Dimana, P adalah daya (Watt), ρ adalah densitas air (kg/m^3), H adalah tinggi tekan (*head*) (m), Q adalah debit (m^3/s), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2) dan η_t adalah efisiensi total. Dengan menggunakan efisiensi total penelitian yang pernah dilakukan oleh Bryan [2] sebesar 73,6%.

Daya rata-rata yang bisa dihasilkan adalah 3,61 kW, maka turbin air piko hidro mampu mensuplai 8 keluarga dengan daya perkeluarga 450 Watt, dengan demikian, dibutuhkan sekitar 4 turbin air piko hidro dengan tipe *propeller* untuk menanggulangi krisis listrik di satu dusun daerah tertinggal di Indonesia.

Kecepatan spesifik turbin, menggunakan Pers. 1, dengan kecepatan putaran turbin (N) sebesar 1000 r.p.m, maka didapatkan kecepatan spesifik sebesar 760 m.kW, menggunakan Tabel 1, ratio diameter *hub* dan *tip* ($\frac{d_h}{D}$) pada sudu jalan dapat ditentukan dan jumlah sudu yang direkomendasi juga dapat diketahui.

Dari Tabel 1 jumlah sudu yang direkomendasikan adalah 4 - 5 dan ratio diameter *hub* dan *tip* ($\frac{d_h}{D}$) adalah 0,4 - 0,46

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, untuk mendapatkan diameter sudu turbin terlebih dahulu menentukan nilai kecepatan aksial (C_x), namun sebelum mendapatkan kecepatan aksial (C_x) terlebih dahulu dicari nilai kecepatan aksial spesifik (C_m), dimana nilai kecepatan aksial spesifik (C_m) didapat dari Gb. 4.

Dari Gb. 4 didapatkan nilai C_m adalah 0,343, kecepatan aksial (C_x) didapat dengan menggunakan Pers. 2.

Dari Pers. 2 didapat nilai kecepatan aksial (C_x) sebesar 2,63, untuk menentukan diameter yang diizin dicari dengan menggunakan Pers. 3.

Pers. 3 menghasilkan diameter antara 0,38 – 0,7 meter.

Rangkuman dari hasil ditampilkan pada tabel 3 berikut ini:

Tabel 8. Rangkuman desain turbin *propeller*

Diameter Sudu	0,37 - 0,7 m
Kecepatan Spesifik (Ns)	760 m.kW
Efisiensi Hidraulik	73.60%
Tinggi Tekan (<i>head</i>)	2 - 4 m
Debit	0,1 - 0,3
Daya Output	3,61 kW
Ratio Hub dan Tip	0,4 - 0,46
Kecepatan Putaran Turbin (N)	1000 r.p.m.

4.2 Hasil

Untuk daerah terpencil di Indonesia dengan penduduk 150 – 200 jiwa atau kurang lebih ± 30 keluarga, diperlukan turbin piko hidro jenis *propeller* dengan daya total 13,5 - 14,5 kW atau dengan 4 buah turbin piko hidro tipe *propeller* dengan daya 3,6 kW setiap turbin.

5. Kesimpulan

Hasil kajian mendapatkan turbin air piko hidro dengan tipe *propeller* yang cocok diterapkan di Indonesia untuk tinggi tekan (*head*) berkisar 2 - 4 meter dan dengan debit berkisar antara 100-300 l/s.

Dapat disimpulkan bahwa turbin air piko hidro tipe *propeller* adalah turbin yang mempunyai kelebihan dari tipe lain.

Referensi

- [1] A. W. & S. Porter, "Comparison of Hydropower Options for Developing Countries with Regard to the Environmental, Social and Economic Aspects," in *International Conference on Renewable Energy for Developing Countries*, Washington DC, USA, 2006.
- [2] B. P. Ho-Yan, Design of a Low Head Pico Hydro Turbine for Rural Electrification in Cameroon, Guelph, Ontario, Canada: The University of Guelph, 2012, p. ii.
- [3] U. B. S. R. T. S. M. d. T. R. B. Pradhumna Adhikari, "A Study on Developing Pico Propeller Turbine for Low Head Micro Hydropower Plants in

- Nepal," *Journal of the Institute of Engineering*, vol. 9, pp. 36-53.
- [4] S. A. d. N. S. E. Chica, "Lost Wax Casting Process of the Runner of a Propeller Turbine for Small Hydroelectric Power Plants," *Renewable Energy*, vol. 60, pp. 739-745, 2013.
- [5] T. S. d. M. Ridwan, "Perancangan Prototipe Picohydro Portable 200 Watt," in *Seminar Nasional - XII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri*, Bandung, 2013.
- [6] A. W. d. R. Simpson, "Pico Hydro - Reducing Technical Risks for Rural Electrification," *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 1986-1991, 2009.
- [7] M. K. Weng, "Case Study: Design and Development of Pico Hydro Power System for Underserved Community in Kampung Semulong Ulu," Universiti Malaysia Sarawak, Sarawak, 2010.
- [8] A. G. d. D. K. Saurabh Sangal, "Review of Optimal Selection of Turbines for Hydroelectric Projects," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 424-430, 2013.
- [9] K. S. d. J. A. Razak, "Pico Hidro: Clean Power From Small Streams," in *Proceedings of the 3th WSEAS International Conference on Renewable Energy Sources*, Malaysia.
- [10] M. S. Y. J. M. L. M. F. M. B. d. Z. I. H. Zainuddin, "Design and Development of Pico-hydro Generation System for Energy Storage Using Consuming Water Distributed to Houses," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 59, pp. 154-159, 2009.
- [11] C. Z. K. d. T. K. N. Chiyembekezo S. Kaunda, "A Technical Discussion on Microhydropower Technology and its Turbines," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 35, pp. 445-459, 2014.
- [12] I. B. d. e. K. (. d. J. I. C. A. (JICA), *Manual Pembangunan PLTMH*, IBEKA & JICA.
- [13] M. Nechleba, *Hydraulic Turbines: Their Design and Equipment*, London: ARTIA Prague Printed in Czechoslovakia, 1957.
- [14] B. S. d. J. B. S.J. Williamson, "Low Head Pico Hydro Turbine Selection Using a Multi-Criteria Analysis," *Renewable Energy*, vol. 61, pp. 43-50, 2014.
- [15] P. E. P. S. d. J.-P. D. Kyle gaiser, "An Experimnetal Investigation of Design Parameter for Pico-Hydro Turgo Turbine Using a Response Surface Methodology," *Renewable Energy*, vol. 855, pp. 406-418, 2016.
- [16] H. d. Budiarso, *Sistem Fluida (Prinsip Dasar dan Penerapan Mesin Fluida, Sistem Hidrolik dan Sistem Pnuematik)*, Jakarta: Erlangga, 2015.
- [17] S. Williamson, "Low Head Pico Hydro Off-grid Networks," in *EWB-UK National Research & Education Conference 2011*, Inggris, 2011.
- [18] A. P. H. M. R. d. R. D. Budiarso, "Optimasi Turbin Mikrohydro untuk Daerah Terpencil: Openflume," in *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII)*, Depok, 2014.
- [19] M. A. K. S. N. A. N. A. M. F. A.A. Lahimer, "Research and Development Aspects of Pico-Hydro Power," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 5861-5878, 2012.