

KAJIAN TEORITIS PENGARUH PARAMETER *INTERNAL* TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN *PROPELLER* SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR PADA SKALA *PICO*

Akhmad Nurdin

Program Studi Teknologi Pengecoran Logam
Politeknik Manufaktur Ceper
Email: nurdin@polmanceper.ac.id

Dwi Aries Himawanto

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Email: dwiarieshimawanto@gmail.com

Syamsul Hadi

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Email: syamsulhadi@ft.uns.ac.id

Febri Budi Darsono

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
Email: febribudi@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Merancang sebuah turbin *propeller* membutuhkan pemahaman tentang pengaruh parameter terhadap kinerjanya dan ini memberikan informasi penting agar hasil perancangan menghasilkan kinerja optimal. Jumlah sudu, kemiringan sudu, dan sudut *outlet* pada bagian *tip* sudu merupakan parameter *internal* yang mempengaruhi kinerja dari turbin *propeller*. Kajian ini bertujuan untuk membahas beberapa parameter *internal* dari turbin *propeller* pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan. Parameter jumlah sudu dan kemiringan sudu menunjukkan kinerja turbin dipengaruhi oleh gaya aksial yang diterima oleh setiap sudunya. Sedangkan pada parameter sudut *outlet* bagian *tip* akan mempengaruhi nilai selisih kecepatan *tangential absolute* antara *inlet* dan *outlet*.

Kata kunci: *Propeller*, Jumlah Sudu, Kemiringan Sudu, Sudut *Outlet*

ABSTRACT

Designing a propeller turbine requires an understanding of the influence of parameters on its performance and this will provide important information so that the design results produce optimal performance. The number of blades, the angle of the blade, and the angle of the outlet at the tip of the blade are internal parameters that affect the performance of the propeller turbine. This study aims to discuss some internal parameters of the turbine propeller on studies that have been done. The parameters for the number of blades and the angle of the blade indicate that the performance of the turbine is affected by the axial force received by each blade. Whereas the angle of the outlet at the tip of the blade parameter will affect the value of the absolute tangential difference in velocity between the inlet and outlet.

Keywords: *Propeller, Number of Blade, Blade Angle, Outlet Angle*

1. PENDAHULUAN

Secara geografis Indonesia terletak pada daerah tropis karena dilewati garis katulistiwa, sehingga ketersediaan sumber daya alam sangat melimpah. Salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia adalah air [1]. Sumber daya air bersifat bebas emisi polutan dan bersifat berkelanjutan, sehingga dikategorikan sebagai salah satu dari jenis sumber energi terbarukan. Potensi sumber energi air di Indonesia diperkirakan mencapai 75,000 MW, namun baru sekitar 9% dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air atau *hydropower* pada skala kecil sampai skala besar [2]. Berdasarkan daya yang mampu dihasilkan, *hydropower* dapat diklasifikasikan dalam enam skala, mulai dari skala *large* sampai skala *pico* [3] seperti ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi *hydropower* berdasarkan dayanya [3]

Klasifikasi	Daya
<i>Large Scale</i>	lebih 100 MW
<i>Medium Scale</i>	antara 10 -100 MW
<i>Small Scale</i>	antara 1-10 MW
<i>Mini Scale</i>	antara 100 kW – 1 MW
<i>Micro Scale</i>	antara 5 - 100kW
<i>Pico Scale</i>	dibawah 5 kW

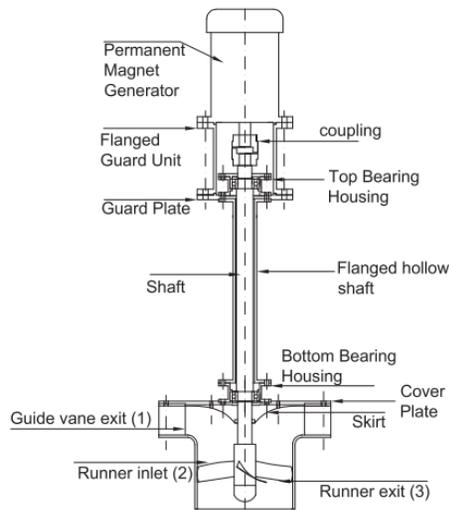
Dalam skala terendah dengan daya yang mampu dihasilkan dibawah 5 kW, *pico hydro* dapat dihasilkan dengan nilai *head* atau beda ketinggian sangat rendah [4]. Pada *head* rendah dengan debit relatif besar, jenis turbin reaksi lebih sesuai untuk diaplikasikan dibandingkan jenis turbin *impuls* [5]. Salah satu jenis turbin reaksi yang sering digunakan karena mampu bekerja dengan efisiensi tinggi adalah turbin *propeller* [6]. Sedangkan berdasarkan kriterianya yang ditunjukkan Tabel 2 dibandingkan beberapa tipe turbin lainnya, turbin *propeller* memiliki keunggulan pada beberapa kriteria dibandingkan dengan tipe turbin lainnya [7].

Tabel 2. Perbandingan turbin berdasarkan kriteria [7]

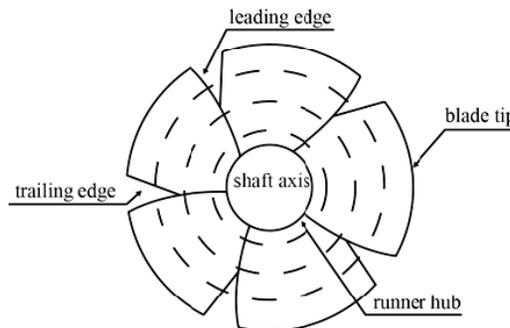
Kriteria	Tipe Turbin						
	<i>Pelton</i>	<i>Turgo</i>	<i>CrossFlow</i>	<i>Propeller</i>	<i>Francis</i>	<i>Kaplan</i>	<i>PAT</i>
Efisiensi-Desain	0	0	-	+	+	+	0
Efisiensi-Pembuatan	0	0	+	-	-	+	-
Konstruksi	0	0	+	+	-	-	-
Biaya	0	0	0	+	-	-	-
Perawatan-Perbaikan	0	0	0	+	-	-	-
Portabilitas	0	0	0	+	+	0	0
Kemampuan-Modularitas	+	+	+	+	+	-	-

Ket : 0 = Cukup, + = Baik, - = Kurang

Gambar 1 menunjukkan konstruksi turbin *propeller* yang sering digunakan dengan aliran vertikal, terdapat beberapa bagian pokok pada konstruksi tersebut, yaitu *runner* (turbin), *guide vane* (sudu pengarah), dan generator yang dihubungkan oleh sebuah poros dengan turbin [8]. Sedangkan Gambar 2 menunjukkan penampang dari turbin *propeller* dengan beberapa bagiannya.



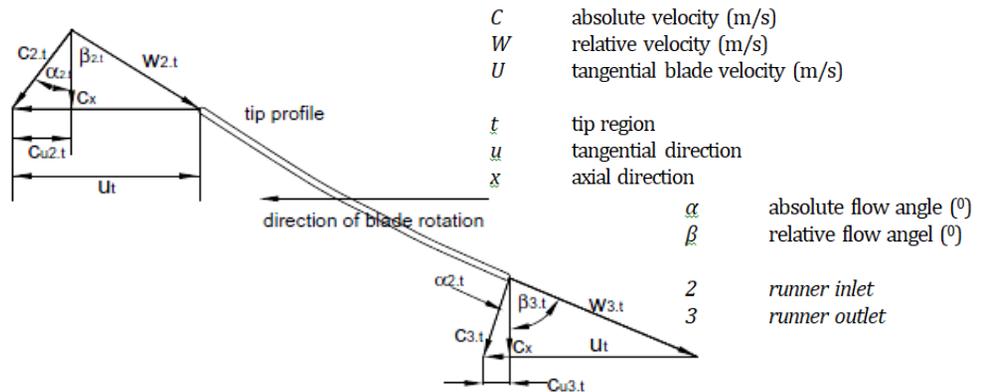
Gambar 1. Konstruksi turbin *propeller* aliran vertikal [8]



Gambar 2. Penampang turbin *propeller* [13]

Geometri dari sebuah turbin air akan mempengaruhi kinerjanya, sehingga pemahaman tentang parameter saat perencanaan turbin air akan memberikan informasi terhadap kinerjanya, sehingga dapat menghasilkan perancangan yang optimal dan sesuai rencana [9]. Dasar kinematika aliran air saat menumbuk turbin dapat dianalisa melalui skema segitiga kecepatan seperti yang ditunjukkan Gambar 3 dengan panjang garis mewakili kecepatannya, dan anak panah mewakili arah alirannya [10]. Terdapat beberapa parameter *internal* dan *eksternal* turbin *propeller* yang mempengaruhi kinerjanya. Parameter *internal* turbin *propeller* yang mempengaruhi kinerjanya antara lain jumlah sudu [8][11][12][13], kemiringan sudu [11][14][15], dan geometri sudut *oulet* [10].

Objek kajian ini terletak pada pembahasan pengaruh perubahan parameter-parameter *internal* turbin *propeller* terhadap unjuk kerjanya dari beberapa penelitian yang telah dilakukan. Tujuan kajian ini dilakukan untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada perubahan parameter-parameter *internal* terhadap kinerjanya, sehingga dapat dipahami informasi tentang pengaruh -perubahan parameter tersebut saat merancang turbin *propeller*.



Gambar 3. Diagram segitiga kecepatan turbin *propeller* [10]

2. PEMBAHASAN

Pada sub-bab ini menampilkan kinerja dan fenomena dari beberapa parameter internal turbin *propeller* berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, antara lain parameter jumlah sudu, kemiringan sudu, rasio *hub/tip* turbin, dan geometri sudut *outlet*.

2.1 Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin

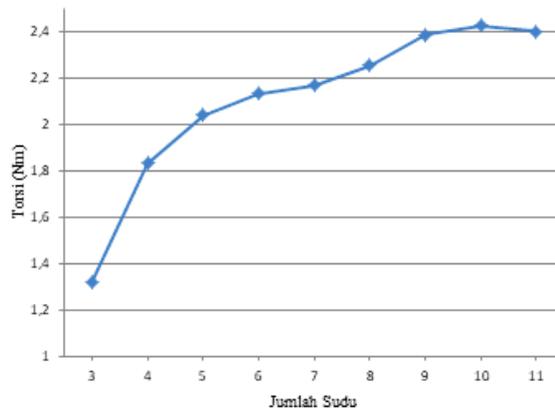
Penelitian metode simulasi numerik turbin *propeller* aliran vertikal dengan plat datar dilakukan oleh Farhan, (2016) menggunakan *Computational Fluid Dynamic (CFD)* pada kondisi turbin statis dengan perangkat lunak *Solidwork* 2014 menunjukkan jumlah sudu mempengaruhi nilai torsi. Jumlah sudu yang digunakan pada penelitian ini yaitu 3 sampai 11 buah, masing-masing diuji pada debit 5.61 L/s, 7.3 L/s, 11.1 L/s, dan 12.9 L/s. Penelitian ini menunjukkan semakin bertambah jumlah sudu sampai jumlah sudu 10 semakin naik nilai torsinya, selain itu pada debit 12.9 L/s menunjukkan torsi terbesar dibandingkan debit lainnya. Gambar 4 menunjukkan pada kemiringan sudu 20° (terhadap *axis line*) jumlah sudu 10 buah menghasilkan torsi paling optimal, selanjutnya menurun sampai jumlah sudu 11 buah.

Penelitian menggunakan simulasi numerik juga dilakukan oleh Byeon dan Kim, (2013) meneliti pengaruh jumlah sudu terhadap karakteristik turbin *propeller* pada aliran vertikal menggunakan metode CFD. Level jumlah sudu yang digunakan pada penelitian ini 3, 4, dan 5 buah masing-masing diuji pada kecepatan putaran 100 sampai 400 rpm dengan parameter bebasnya efisiensi. Gambar 5 secara umum menunjukkan nilai efisiensi turbin meningkat mulai dari 0 rpm dan mencapai titik optimalnya sampai di kecepatan putar 200 rpm, selanjutnya menurun sampai dikecepatan putar 400 rpm. Selain itu Gambar 5 berdasarkan *trendline* juga menunjukkan pada jumlah sudu 4 menunjukkan nilai efisiensi tertinggi dibandingkan jumlah sudu 3 dan 5.

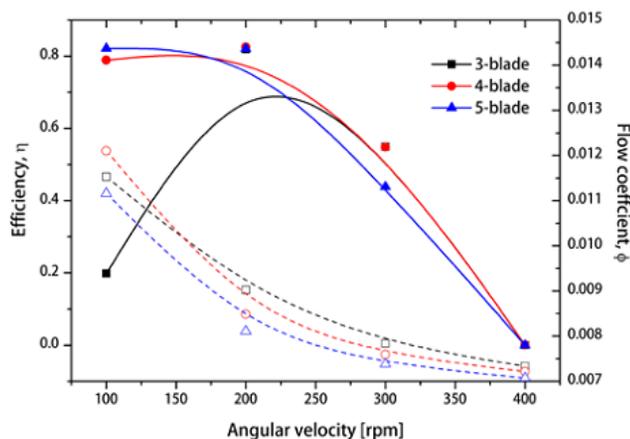
Sedangkan penelitian menggunakan metode eksperimental pada kajian ini membahas penelitian Singh dan Nestmann, (2011), dan Kurniawan dkk., (2019). Penelitian yang dilakukan Singh dan Nestmann, (2011) membandingkan kinerja turbin *propeller* aliran vertikal pada jumlah sudu 5 dan 6 buah, Gambar 6 menunjukkan hasil penelitian ini dengan kinerja pada jumlah sudu 5 lebih tinggi dibandingkan pada jumlah sudu 6 seperti yang ditunjukkan Gambar 6. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan dkk., (2019) membandingkan jumlah sudu terhadap daya listrik pada turbin *propeller* plat datar dengan aliran horisontal, jumlah sudu yang digunakan 4 sampai 8 buah masing-masing diuji pada debit 0.0053 sampai 0.00114 m³/s. Hasil

penelitian ini ditunjukkan Gambar 7 dengan jumlah sudu 6 buah dengan debit $0.00114 \text{ m}^3/\text{s}$ menunjukkan hasil paling optimal dibandingkan jumlah sudu dan debit lainnya.

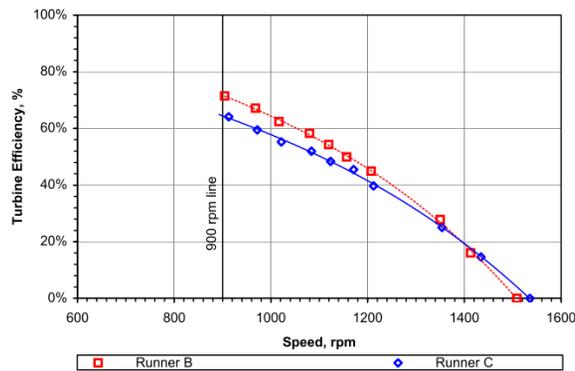
Beberapa kajian tentang jumlah sudu menunjukkan hasil dengan jumlah sudu yang bekerja paling optimal yang berbeda pada setiap penelitian, hal ini disebabkan pada turbin *propeller* tidak hanya parameter jumlah sudu yang berpengaruh terhadap kinerja turbin, tapi juga terdapat parameter-parameter lainnya yang mempengaruhi. Secara geometri turbin, jumlah sudu akan mempengaruhi celah antar sudu, semakin banyak jumlah sudu maka celah antar sudu akan semakin menyempit [11][12], sehingga setelah mencapai titik optimalnya kinerja turbin akan semakin menurun hal ini disebabkan pada celah antar sudu yang semakin sempit aliran air yang melewati sudu terhambat dan menyebabkan kinerja turbin menurun. Sedangkan sebelum mencapai titik optimal, semakin banyak sudu kinerja turbin akan semakin naik, hal ini disebabkan pada jumlah sudu yang semakin banyak gaya aksial yang diterima turbin akan semakin naik [8].



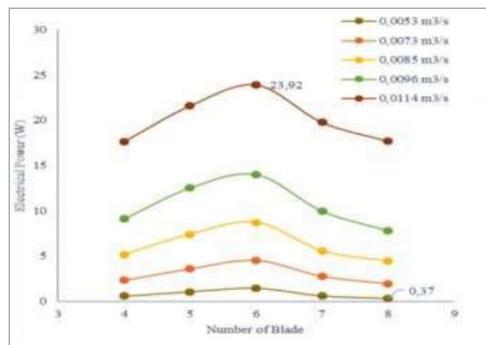
Gambar 4. Grafik hubungan jumlah sudu dengan torsi pada kemiringan sudu 20° dan debit 12.9 L/s [11]



Gambar 5. Efisiensi turbin *propeller* berdasarkan jumlah sudu [13]



Gambar 6. Efisiensi turbin *propeller* jumlah sudu 5 (B) dan jumlah sudu 6 (C) [8]



Gambar 7. Hubungan jumlah sudu dengan daya listrik [12]

2.2 Pengaruh Kemiringan Sudu Terhadap Kinerja Turbin

Farhan, (2016) melakukan penelitian metode simulasi numerik turbin *propeller* aliran vertikal dengan plat datar menggunakan CFD dengan parameter kemiringan sudu, yaitu pada kemiringan 50°, 60°, 70°, dan 80° dengan sketsa kemiringan ditunjukkan Gambar 8. Setiap variasi parameter kemiringan diuji pada debit 5.61 L/s, 7.3 L/s, 11.1 L/s, dan 12.9 L/s. Seperti pada Tabel 3, penelitian ini menunjukkan torsi turbin mencapai titik optimalnya pada kemiringan 60°, selanjutnya menurun pada kemiringan 70° dan 80°. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan semakin besar debit air, semakin besar torsi yang dihasilkan oleh turbin.

Penelitian pengaruh kemiringan sudu terhadap kinerja turbin *propeller* juga dilakukan dengan metode eksperimental, pada kajian ini membahas penelitian yang dilakukan Shalih dkk., (2019), dan Shantika dkk., (2013). Penelitian yang dilakukan Shalih dkk., (2019) membandingkan kemiringan sudu terhadap daya listrik yang dihasilkan pada aliran horisontal menggunakan turbin *propeller* plat datar, kemiringan sudu yang digunakan yaitu 10°, 30°, 45°, 60° dan 75° dengan sketsa kemiringan ditunjukkan Gambar 8 dengan setiap derajat kemiringan diuji pada debit 0.0053 sampai 0.00114 m³/s. Hasil penelitian ini ditunjukkan Gambar 9 dengan kemiringan sudu 30° dengan debit 0.00114 m³/s menunjukkan hasil paling optimal dibandingkan jumlah sudu dan debit lainnya. Sedangkan Shantika dkk., (2013) merancang PLTA kecil dengan turbin *propeller* plat datar dengan aliran vertikal, parameter yang digunakan adalah kemiringan sudu dengan level 20, 30, 40, dan 50 derajat setiap levelnya diuji dengan debit 2.2 L/s; 3.7 L/s; dan 6.2 L/s. Gambar 10 menunjukkan daya poros paling optimal terjadi pada level kemiringan 30° selanjutnya menurun

pada kemiringan 40° dan 50° , selain itu penelitian ini menunjukkan semakin besar debit maka daya poros akan semakin naik.

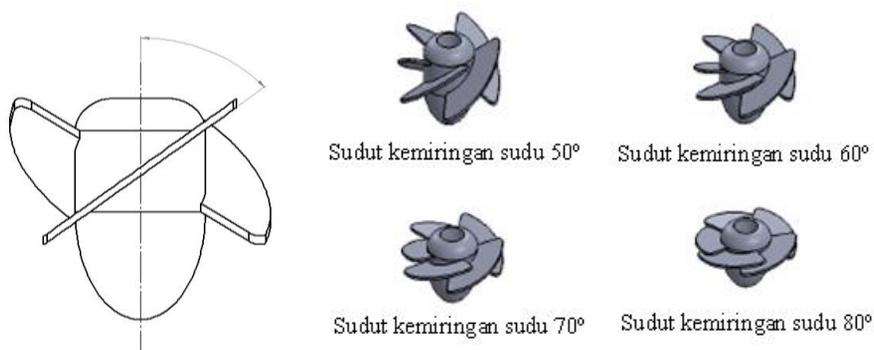
Sama seperti pada parameter jumlah sudu, pada parameter kemiringan sudu juga menunjukkan level kemiringan sudu optimal yang berbeda pada setiap penelitian hal ini disebabkan pada turbin *propeller* tidak hanya parameter kemiringan sudu yang berpengaruh terhadap kinerja turbin, tapi juga terdapat parameter-parameter lainnya yang mempengaruhinya. Kemiringan sudu akan mempengaruhi bentuk dan geometri dari turbin, yaitu celah antar sudu turbin semakin kecil derajat kemiringan sudu maka celah antar sudu semakin sempit [11]. Setelah mencapai titik optimalnya, kinerja turbin akan semakin menurun hal ini disebabkan pada level kemiringan sudu sesudah mencapai titik optimalnya aliran air tidak sepenuhnya menumbuk sudu karena kemiringan sudu semakin menjauhi garis tegak lurus terhadap *axis line* atau aliran airnya sehingga gaya tangensial pada turbin semakin menurun [14][15]. Sedangkan sebelum mencapai titik optimalnya kinerja turbin menunjukkan tren kenaikan, hal ini disebabkan pada kemiringan sudu sebelum mencapai titik optimalnya celah antar sudu semakin menyempit sehingga aliran air terhambat dan menurunkan kinerja [11][14].

2.3 Pengaruh Sudut Outlet Terhadap Kinerja Turbin

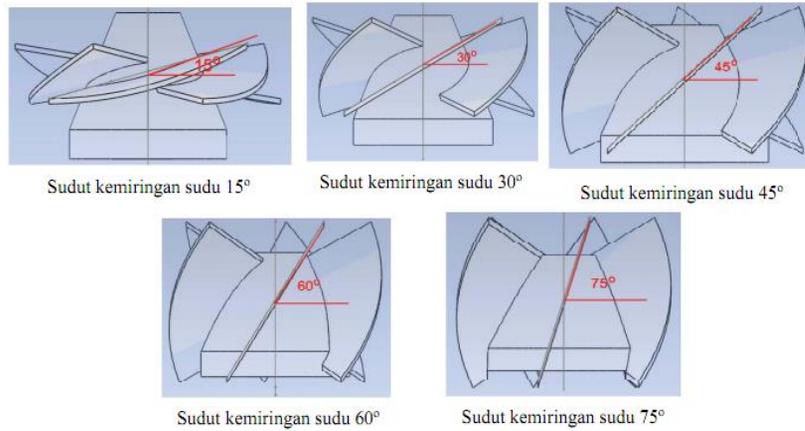
Singh dan Nestmann, (2010) melakukan penelitian secara eksperimental pengaruh kelengkungan sudut *outlet* bagian tip pada turbin *propeller* aliran vertikal dengan 5 buah sudu. Penelitian ini membandingkan kinerja turbin sebelum dan sesudah dimodifikasi. Spesifikasi turbin sebelum dimodifikasi ditunjukkan Tabel 4, dengan dh/D merupakan rasio diameter *hub* dengan tip, α_{2t} sudut *inlet* bagian *tip*, α_{2h} sudut *inlet* bagian *hub*, dan Z jumlah sudu.

Modifikasi sudut *outlet* pada *runner* A seperti ditunjukkan Tabel 5 dilakukan 2 kali yaitu 85° menjadi 77° dan dari 77° menjadi 74° , sedangkan pada *runner* B dilakukan sekali modifikasi pada bagian *outlet* yaitu 75° menjadi 70° . Skema segitiga kecepatan masing-masing modifikasi sudut *outlet* tersebut ditunjukkan Gambar 12, secara umum pada penelitian ini menunjukkan semakin kecil nilai sudut *outlet* bagian *tip* akan meningkatkan nilai efisiensi. Selain itu, berdasarkan Gambar 12 dengan parameter *independent* yang sama menunjukkan *runner* B dengan modifikasi 70° menunjukkan nilai efisiensi tertinggi dibandingkan modifikasi pada *runner* A.

Pada perubahan sudut *outlet* pada sudu *propeller* akan mengubah skema segitiga kecepatan (Gambar 12). Hal yang perlu diperhatikan dalam menganalisa segitiga kecepatan pada penelitian adalah nilai perubahan gaya tangensial *absolute velocity* pada *inlet* dan *outlet* (ΔC_U) [10]. Sehingga pada analisa segitiga kecepatan semakin besar nilai ΔC_U maka kinerja dari turbin semakin baik, hal ini disebabkan semakin besar nilai ΔC_U maka energi yang diserap oleh turbin semakin besar pula. Tabel 5 menunjukkan nilai (ΔC_U) pada *runner* A dan *runner* B dengan modifikasi masing-masing sudut *outlet*.



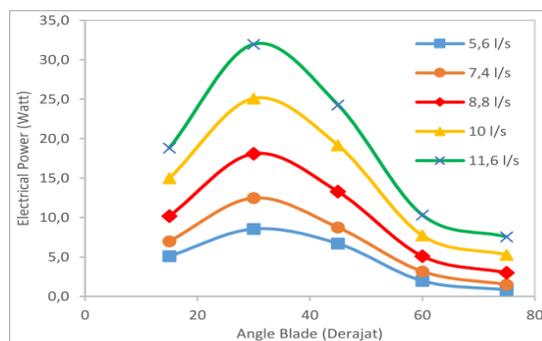
Gambar 8. Sketsa kemiringan sudu [11]



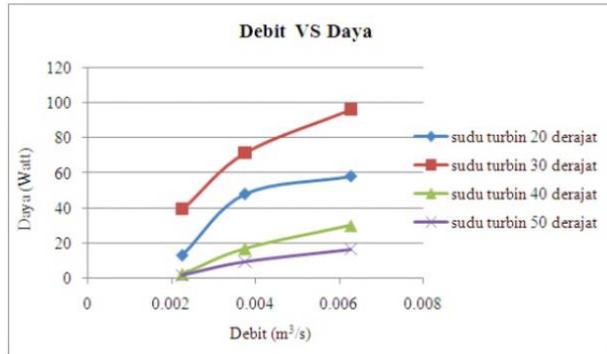
Gambar 9. Sketsa kemiringan sudu [14]

Tabel 3. Hasil penelitian kemiringan sudu terhadap torsi turbin [11]

Debit (L/s)	Kemiringan Sudu			
	50°	60°	70°	80°
5.6	0.367 Nm	0.402 Nm	0.349 Nm	0.280 Nm
7.3	0.623 Nm	0.684 Nm	0.593 Nm	0.476 Nm
11.1	1.442 Nm	1.581 Nm	1.372 Nm	1.100 Nm
12.9	1.947 Nm	2.134 Nm	1.854 Nm	1.487 Nm



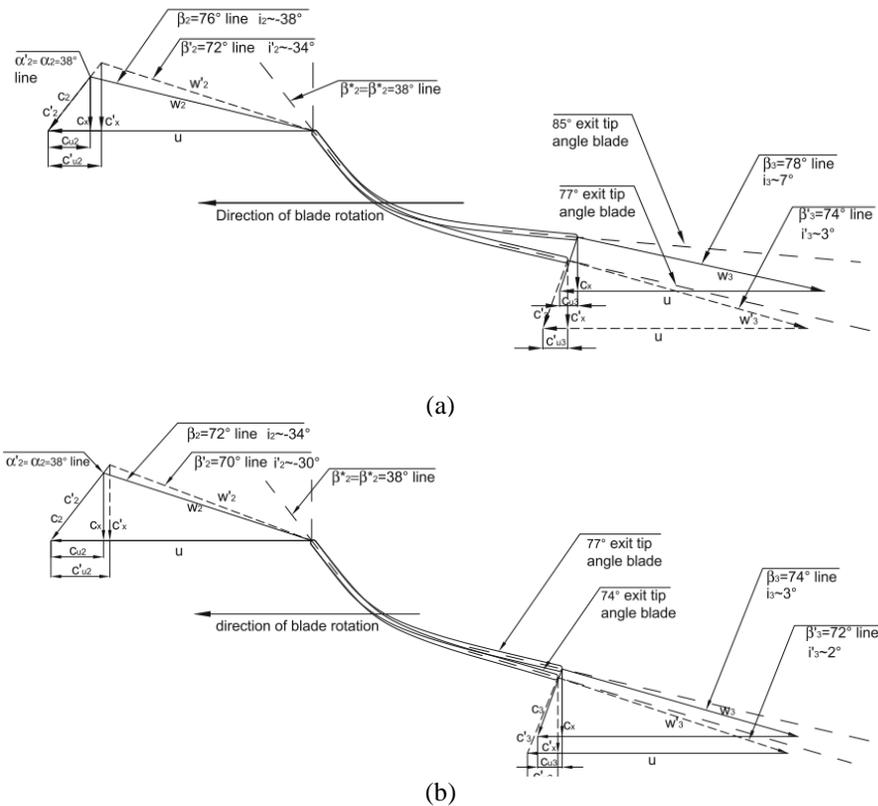
Gambar 10. Hubungan kemiringan sudu dengan daya listrik [14]

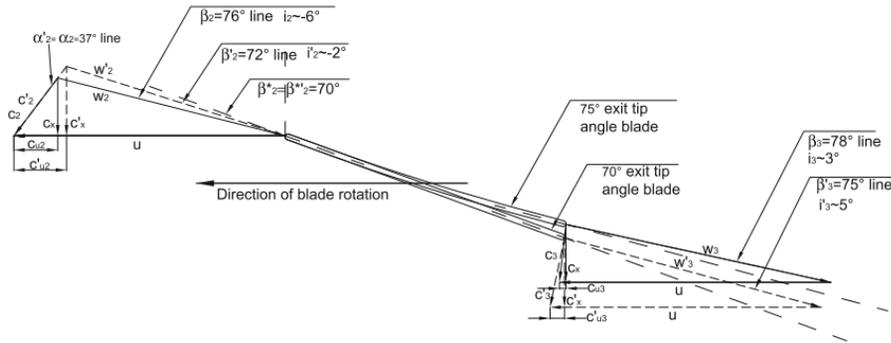


Gambar 11. Hubungan debit air dan kemiringan sudu dengan daya poros [15]

Tabel 4. Spesifikasi runner (turbin) sebelum dimodifikasi [10]

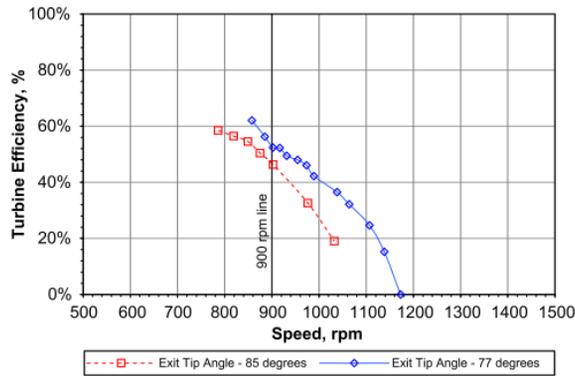
Parameter	dh/D	α_{2h} (°)	α_{2t} (°)	Z
Runner A	0.25	71.8	38	5
Runner B	0.3	68.4	37.2	5



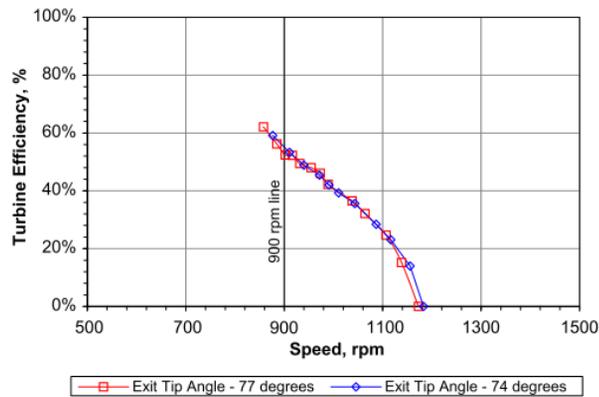


(c)

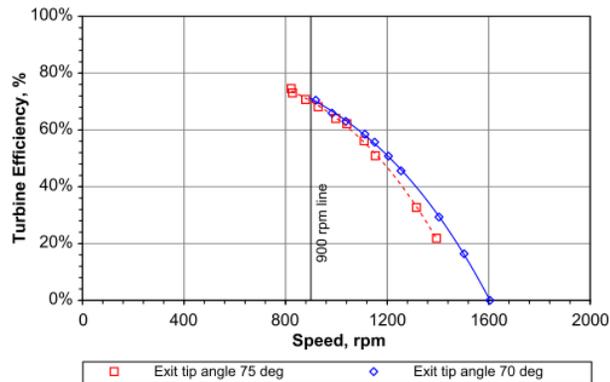
Gambar 12. Skema segitiga kecepatan bagain *tip* sebelum dan sesudah modifikasi sudut outlet pada runner A (a) 85° – 77° (b) 77°-74° dan pada runner B (c) 75°-70° [10]



(a)



(b)



(c)

Gambar 13. Efisiensi turbin sebelum dan sesudah modifikasi sudut outlet pada runner A (a) 85° – 77° (b) 77°-74° dan pada runner B (c) 75°-70° [10]

Tabel 5. Spesifikasi runner (turbin) sebelum dimodifikasi [10]

Runner	Sudut Outlet (tip)	(ΔC_u)
Runner A	85°	0.86
	77°	0.99
	74°	1.00
Runner B	75°	1.28
	70°	1.31

3. KESIMPULAN

Pemaparan kajian teoritis tentang pengaruh parameter *internal* turbin *propeller* dari beberapa penelitian telah dilakukan secara metode simulasi numerik maupun metode eksperimental. Parameter internal seperti jumlah sudu, kemiringan sudu, dan sudut *outlet* pada bagian *tip* secara langsung mempengaruhi kinerja turbin *propeller*.

Parameter jumlah sudu menunjukkan semakin banyak jumlah sudu gaya aksial yang diterima turbin akan semakin naik, namun naiknya gaya aksial yang diterima turbin tidak selalu menaikkan kinerja turbin *propeller*. Dalam batas jumlah sudut tertentu kinerja turbin *propeller* dapat menurun, hal ini disebabkan semakin bertambah sudu, semakin kecil celah antar sudu sehingga aliran air melewati turbin terhambat.

Acuan sudut sebagai parameter kemiringan sudu setiap peneliti bisa berbeda, hal ini berkaitan dengan referensi yang digunakan sebagai rujukan. Kemiringan sudu secara langsung akan mempengaruhi posisi sudu terhadap garis horisontal berdasarkan sumbu *axis*. Posisi sudu yang semakin mendekati ke garis horisontal, gaya aksial yang diterima sudu akan semakin naik, namun hal ini tidak selalu menaikkan kinerja turbin. Pada batas kemiringan sudu tertentu kinerja turbin *propeller* dapat menurun, hal ini disebabkan semakin mendekati garis horisontal, semakin kecil celah antar sudu sehingga aliran air melewati turbin terhambat.

Pada parameter sudut *outlet* pada bagian *tip*, dengan analisa menggunakan segitiga kecepatan menunjukkan semakin kecil sudut *outlet* pada bagian *tip* maka nilai ΔC_u akan semakin meningkat. Nilai ΔC_u menunjukkan besarnya energi yang mampu diserap oleh turbin, semakin besar nilai ΔC_u semakin besar baik pula kinerja dari turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Global Environment Facility, *Indonesia: Integrated Micro-hydro Development and Application Program (IMIDAP)*. United Nations Development Programme (UNDP), 2010.
- [2] P. Erinofardi, Gokhale, A. Date, and A. Akbarzadeh, "A review on micro hydropower in Indonesia," in *1st International Conference on Energy and Power, ICEP2016*, 2017, vol. 110, no. December 2016, pp. 316–321.
- [3] A. Nurdin, "Optimalisasi Transmisi PLTA – Pico Hydro sebagai Penunjang Konversi Energi Mekanik Menjadi Listrik," Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2016.
- [4] A. Nurdin and D. A. Himawanto, "KAJIAN TEORITIS UJI KERJA TURBIN ARCHIMEDES SCREW PADA HEAD RENDAH," *Simetris*, vol. 9, no. 2, pp. 783–796, 2018.
- [5] S. J. Williamson, B. H. Stark, and J. D. Booker, "Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis," *Renew. Energy*, vol. 61, pp. 43–50, 2014.
- [6] D. Kilama, "Review of small hydropower technology," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 515–520, 2013.
- [7] B. Ho-Yan, "Design of a Low Head Pico Hydro Turbine for Rural Electrification in Cameroon," The University of Guelph, 2012.
- [8] P. Singh and F. Nestmann, "Experimental investigation of the influence of blade height and blade number on the performance of low head axial flow turbines," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 1, pp. 272–281, 2011.
- [9] R. Balaka, A. Rachman, and J. Delly, "Blade Number Effect for A Horizontal Axis River Current Turbine at A Low Velocity Condition Utilizing A Parametric Study with Mathematical Model of Blade Element Momentum," *J. Clean Energy Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2014.
- [10] P. Singh and F. Nestmann, "Exit blade geometry and part-load performance of small axial flow propeller turbines : An experimental investigation," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 34, no. 6, pp. 798–811, 2010.
- [11] A. P. Farhan, "Optimalisasi Desain Turbin PLTA Pico- Hydro Untuk Meningkatkan Efisiensi Daya Dengan Bantuan Software CFD Dan Konsep Reverse Engineering," Universitas Sebelas Maret, 2016.
- [12] R. Kurniawan, D. A. Himawanto, and P. J. Widodo, "The performance of numbers of blade towards picohydro propeller turbine," in *TICATE 2018*, 2019, pp. 3–8.
- [13] S. Byeon and Y. Kim, "Influence of Blade Number on the Flow Characteristics in the Vertical Axis Propeller Hydro Turbine," *Int. J. Fluid Mach. Syst.*, vol. Vol. 6, no. no 3, 2013.
- [14] A. Shalih, P. J. Widodo, and D. A. Himawanto, "EXPERIMENTAL STUDY THE EFFECT ANGLE OF BLADE ON THE ELECTRICAL POWER OUTPUT OF PROPELLER PICOHYDRO TURBINE Mekanika : Majalah Ilmiah Mekanika 45," *Mekanika*, vol. 18, no. September, pp. 44–47, 2019.
- [15] T. Shantika, "Perekayasaan Pembangkit Listrik Tenaga Air Untuk Penyediaan Listrik Skala Kecil 100 Watt," *J. Ind. Res. J.*, vol. 7, no. 2, 2013.