

## Simulasi Pengaruh Bentuk dan Jumlah Sudu Kincir Air *Undershot* Terhadap Kecepatan Sudut Melalui Metode *Computation Fluid Dynamics (CFD)* Menggunakan *Software ANSYS Fluent*

Tiara Rizkia Agust<sup>1</sup>, Andhy Setiawan<sup>1</sup>, Nu'man Amri Maliky<sup>2</sup>, Ahmad Aminudin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia  
Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung, Indonesia

<sup>2</sup> Volvvd Engineering, Jl. Tubagus Ismail II no 3, Bandung, Indonesia

\*email: aaminudin@upi.edu

### ABSTRAK

Kincir air merupakan salah satu komponen yang dapat digunakan dalam membangkitkan energi listrik melalui pemanfaatan aliran air. Kinerja kincir air dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti kelajuan aliran air, geometri sudu, dan jumlah sudu yang terpasang. Telah dilakukan simulasi mengenai pengaruh jumlah dan bentuk sudu terhadap kecepatan sudut kincir tipe *undershot* jika diterapkan pada aliran air pada sungai bawah Curug Sigay. Pengukuran kelajuan aliran air dilakukan menggunakan metode pelampung, dan rata-rata kelajuan yang diperoleh selanjutnya dijadikan sebagai *velocity inlet*. Metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) melalui *software* Ansys Fluent digunakan untuk memvisualisasikan kincir air *undershot* dengan sudu berbentuk datar dan lengkung berukuran 30 x 40 cm yang terendam air sedalam 25 cm. Hasil simulasi CFD, menunjukkan bahwa jumlah dan bentuk sudu berpengaruh terhadap kecepatan sudut kincir. Pada kincir dengan sudu berbentuk datar, kincir yang memiliki 6 sampai 10 sudu menghasilkan kecepatan sudut yang cenderung meningkat seiring peningkatan jumlah sudu, tetapi berlaku sebaliknya untuk kincir yang memiliki 10 sampai 15 sudu. Adapun pada kincir dengan sudu berbentuk lengkung, kecenderungan peningkatan kecepatan sudut seiring meningkatnya jumlah sudu terjadi untuk kincir yang memiliki 6 sampai 8 sudu, dan berlaku sebaliknya untuk kincir yang memiliki 8 sampai 15 sudu. Dengan kata lain terdapat nilai kecepatan sudut maksimum yang diperoleh pada jumlah sudu tertentu, yaitu 7,395 rpm untuk kincir dengan sudu datar yang memiliki 10 sudu, dan 8,761 rpm untuk kincir dengan sudu lengkung yang memiliki 8 sudu. Dengan demikian, kincir dengan sudu lengkung lebih berpotensi untuk menghasilkan kecepatan sudut yang lebih besar dibandingkan sudu datar.

**Kata Kunci:** Ansys Fluent, CFD, bentuk sudu, jumlah sudu, kecepatan sudut

### ABSTRACT

Waterwheel is one of the components that can be used to generate electrical energy through the utilization of water flow. The performance of waterwheels can be affected by several parameters, including the speed of water flow, the geometry of the blades, and the number of blades installed. A simulation has been carried out regarding the effect of the number and shape of the blades on the angular velocity of the undershot type of windmill when applied to the flow of water in the river below Curug Sigay. The measurement of the velocity of the water flow is carried out using the buoy method, and the average speed obtained is then used as the velocity of the inlet. The CFD (*Computational Fluid Dynamics*) method through Ansys Fluent software is used to visualize an undershot waterwheel with a flat and curved blade measuring 30 x 40 cm submerged in 25 cm of water. CFD simulation results, shows that the number of blades and the shape of the blades affect the angular velocity of the wheel. In a wheel with flat-shaped blades, a wheel with 6 to 10 blades produces an angular velocity that tends to increase with the increase in the number of blades, but the opposite applies to wheels with 10 to 15 blades. As for windmills with curved blades, the tendency to increase in angular velocity as the number of blades increases occurs for wheels with 6 to 8 blades, and vice versa for wheels with 8 to 15 blades. In other words, there is a maximum angular velocity value obtained at a certain number of blades, namely 7.395 rpm for wheels with flat blades that have 10 blades, and 8.761 rpm for wheels with curved blades that have 8 blades. Therefore,

**Keywords:** Ansys Fluent, blade shape, CFD, number of blades, angular velocity.

## PENDAHULUAN

Kincir air merupakan salah satu media untuk membangkitkan energi listrik melalui tenaga air. Untuk menghasilkan energi listrik yang optimum, diperlukan sebuah kincir air dengan kinerja yang efektif dan efisien. Kinerja dari sebuah kincir air dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya adalah bentuk geometri sudu, kecepatan aliran air, jumlah sudu yang terpasang (Oladopo, dkk, 2015; Jamlay, dkk, 2016; Warjito, dkk, 2018). Selain itu, juga diperlukan kesesuaian antara kincir air dengan sistem alirannya, dengan begitu kincir terbagi menjadi tiga tipe yaitu *overshot*, *breastshot*, dan *undershot* (Morong, J.Y, 2016). Kincir air *undershot* bekerja bila air yang mengalir, menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir. Selain konstruksinya yang sederhana dan ekonomis, tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata serta mudah untuk dipindahkan.

Salah satu aliran air yang potensial untuk menghasilkan energi listrik melalui aplikasi kincir air adalah aliran sungai di bagian bawah Curug Sigay yang berlokasi tidak jauh dari kampus universitas Pendidikan Indonesia, Bandung. Sungai bagian bawah pada Curug Sigay ini memiliki sistem aliran terbuka berbentuk mendatar panjang dengan kedalaman air yang dangkal. Tipe kincir air yang sesuai dengan karakteristik sungai ini adalah tipe *undershot*. Pada sungai ini, dilakukan pengukuran kelajuan aliran air menggunakan metode pelampung dan kemudian rata-rata kelajuan yang diperoleh selanjutnya dijadikan sebagai *velocity inlet* dalam proses simulasi CFD.

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan suatu teknologi komputasi yang memungkinkan untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat yang mengalir. Sedangkan menurut definisi, CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika) (Marbun dan Hazwi, 2013). Salah satu *software* yang mendukung metode CFD adalah ANSYS Fluent, pada *software* ini terdiri dari tiga buah tahapan yaitu *pre-processing*, *processing* dan *post-processing*.

Adanta dkk. (2018) melakukan penelitian kincir air dengan menggunakan metode simulasi CFD, mereka memperoleh hasil bahwa kincir air *undershot* dengan jumlah sudu 8 buah berpotensi dapat menghasilkan efisiensi

sebesar 45,58 % pada kecepatan inlet sebesar 1 m/s. Jika dibandingkan dengan efisiensi yang dapat diperoleh pada kecepatan inlet yang sama untuk jumlah sudu 6, 7, 9 dan 10 buah, efisiensi kincir dengan jumlah sudu 8 ini merupakan efisiensi yang paling besar. Bentuk geometri sudu juga memengaruhi kinerja kincir air. Pada pengujian mengenai *hydropower* untuk menghasilkan energi listrik pada generator dari aliran fluida dilakukan simulasi 2D pada *paddle wheel* tipe melengkung, dengan variasi kecepatan aliran masuk hanya pada domain aliran air. Penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah sudu, dimensi sudu, dan kelengkungan sudu berpengaruh pada performa *hydropower system* (Oladopo, dkk, 2015).

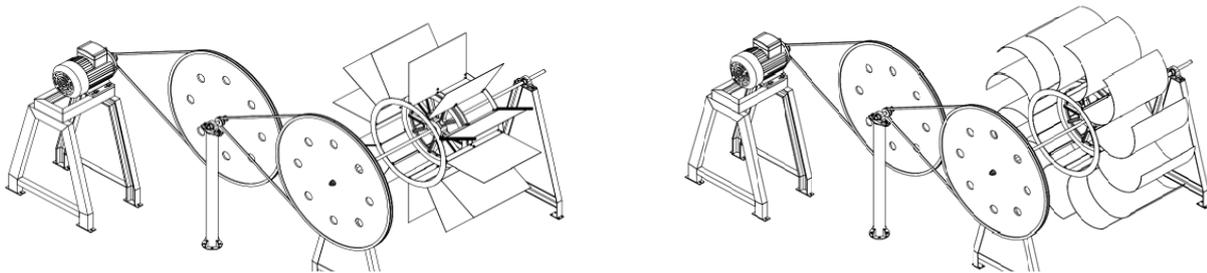
Dalam memperoleh desain kincir air untuk sungai bawah Curug Sigay yang memiliki kinerja optimum dengan biaya yang lebih murah, diperlukan sebuah penelitian pengaruh bentuk dan jumlah sudu kincir air *undershot* terhadap kecepatan sudut melalui metode CFD menggunakan *software* ANSYS Fluent dengan data rata-rata kelajuan aliran air sungai bawah Curug Sigay dijadikan sebagai *velocity inlet* pada simulasi tersebut.

## METODE

Tahap awal dalam penelitian ini adalah pengukuran kelajuan air pada aliran sungai bagian bawah Curug Sigay sebagai tempat yang potensial untuk aplikasi kincir air ini. Pengukuran kelajuan air dilakukan secara langsung pada saluran terbuka dengan cara menghanyutkan benda apung (pelampung) dan mengukur waktu tempuh benda tersebut dalam melewati titik-titik yang telah ditentukan disebut dengan metode pelampung (Tangkudung, 2011). Pengukuran dilakukan secara berulang sebanyak sepuluh kali dengan menggunakan botol kemasan air minum plastik 600 ml sebagai benda (pelampung) yang dihanyutkan. Kelajuan yang diperoleh merupakan kelajuan hanyut, yang diinterpretasikan sebagai kelajuan rata-rata.

Pembuatan desain geometri kincir air dilakukan dengan menggunakan *software* Solidwork 2016. Dalam penelitian ini, disain kincir divariasikan berdasarkan jumlah sudu dan bentuk sudu. Terdapat dua variasi bentuk sudu, yaitu sudu berbentuk datar dan sudu berbentuk lengkung, dengan ukuran 30 x 40 cm. Variasi jumlah sudu yang digunakan yaitu 6, 8, 10, 12, dan 15 buah pada masing-masing bentuk sudu tersebut. Desain *assembly* untuk rangkaian

kincir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Desain assembly kincir air undershot sudu datar (a) dan sudu lengkung (b).

Simulasi dilakukan dengan menggunakan software ANSYS Fluent melalui metode numerik jenis CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Metode ini digunakan untuk mengetahui karakteristik aliran air yang melewati suatu benda. Dalam metode ini, terdapat tiga tahapan umum yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

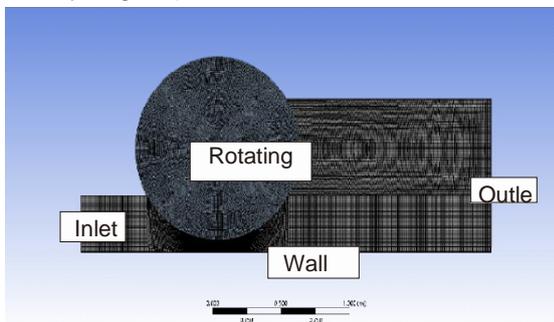
Tahapan *pre-processing* terdiri dari pembuatan geometri, *meshing*, dan penentuan letak *boundary condition*. Geometri yang

translasi yang berhubungan dengan aliran air, dan bagian rotasi kincir air (Yah, N.F, dkk, 2016; Warjito, dkk, 2019). Untuk dimensi bagian translasi, menggunakan aliran air sedalam 25 cm. Adapun dimensi pada bagian rotasi disesuaikan dengan desain yang ada. *Boundary Condition* atau kondisi batas merupakan nilai limitasi yang diperlukan untuk mendapat nilai solusi suatu masalah pada batas tersebut. Kondisi batas yang digunakan pada simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Properti untuk Kondisi Batas pada Mesh Sayap

Nama Properti	Kondisi Batas	Lokasi Bidang
<i>Inlet</i>	<i>Velocity Inlet</i>	Aliran air yang masuk ke arah turbin
<i>Wall</i>	<i>Wall</i>	Dasar sungai dan bidang turbin
<i>Interface</i>	<i>Interface</i>	Sambungan antara main dan turbin domain
<i>Outlet</i>	<i>Pressure Outlet</i>	Farfield bagian belakang sayap

Setelah penentuan letak kondisi batas pada mesh sayap, tahapan selanjutnya adalah proses *meshing*. *Mesh* digunakan untuk mendiskritisasi geometri yang dibuat menjadi *control volume* hingga yang kecil, dengan ukuran yang dapat diatur.

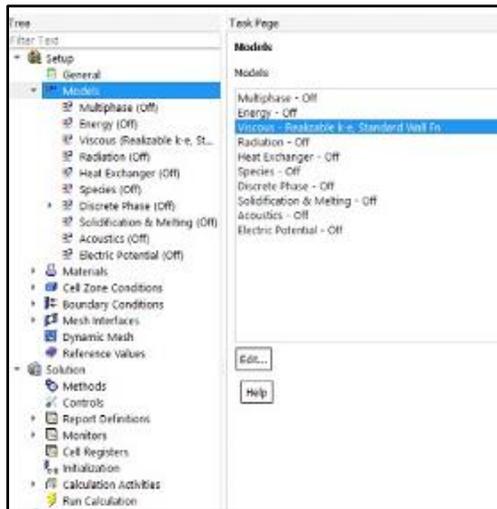


**Gambar 2** Proses Meshing Simulasi Kincir melalui aplikasi Ansys Fluent

Gambar 2 menunjukkan proses *meshing* untuk desain penelitian ini. Mesh yang digunakan pada simulasi ini terbagi menjadi dua domain, yaitu main domain, dimana air mengalir translasi, dan turbin domain, dimana air mengenai turbin dan dapat berotasi.

Pada tahapan *processing* ada banyak hal yang harus dilakukan yang berhubungan dengan penentuan nilai-nilai kondisi batas dalam simulasi CFD, sesuai dengan parameter-parameter penelitian. Dalam tahapan ini, hampir semua parameter diproses yaitu *models*, *materials*, *cell zone conditions*, *boundary conditions*, *mesh interfaces*, *dynamic mesh*, dan *run calculation*. Setelah memilih sub menu *run calculation*, proses perhitungan numerik akan otomatis berjalan oleh sistem komputer. atau kondisi batas parameter-parameter tersebut.

Gambar 3 menunjukkan tampilan sub-menu *setup* yang berfungsi untuk mensubstitusika nilai



**Gambar 3** Tampilan sub-menu *Setup*

Tahapan *post – processing* merupakan tahapan berupa penampilan hasil simulasi (Febrizal dan Asral, 2018). Data kelajuan rata-rata air dari hasil pengukuran digunakan sebagai data input pada simulasi ini, yang diujicobakan pada 5 variasi jumlah sudu (6,8,10,12,15) dan 2 variasi bentuk sudu (datar dan lengkung). Hasil yang diperoleh dari simulasi ini berupa kecepatan putar kincir air.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Kelajuan Rata-Rata Aliran Air

Hasil pengukuran kelajuan air dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai kelajuan rata-rata pada Tabel 2 ini diperoleh untuk lintasan pelampung pada tiga garis tegak lurus aliran sungai yang telah ditentukan yang diberi nama garis A, B dan C. Berdasarkan waktu tempuh pelampung dari suatu titik pada garis A ke B dan titik pada garis B ke C diperoleh nilai kelajuan rata-rata aliran air yang melalu daerah A ke B dan B ke C untuk setiap pengukuran.

**Tabel 2** Nilai kelajuan rata-rata dan standar deviasi untuk setiap pengukuran

Pengukuran	Kelajuan rata-rata (cm/s)		Standar deviasi (cm/s)	
	AB	BC	AB	BC
1	39,91	72,23	1,295	7,153
2	40,86	81,48	1,360	14,237
3	55,41	150,81	1,965	6,928

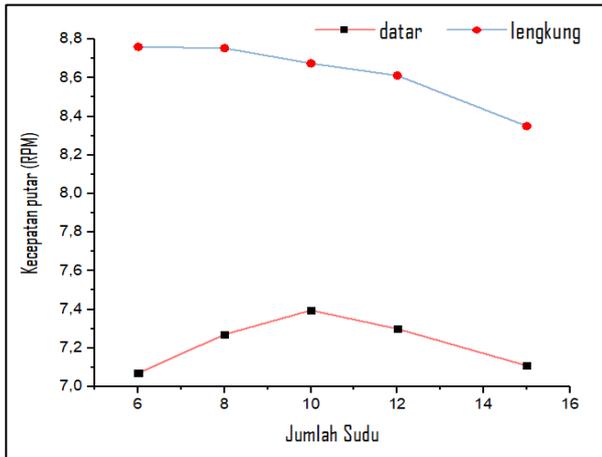
Hasil pengukuran pertama dan kedua yang dilakukan pada hari yang berbeda menunjukkan bahwa kelajuan rata-rata dari daerah A ke B cenderung lebih konstan dibandingkan kelajuan rata-rata dari daerah B ke C. Hal ini menunjukkan fluktuasi kelajuan rata-rata aliran air dari A ke B lebih kecil dibandingkan dari B ke C. Karakteristik aliran air dengan fluktuasi yang kecil ini selanjutnya dapat dipilih sebagai lokasi untuk menempatkan kincir air yang disimulasikan.

Pada Tabel 2, pengukuran ketiga merupakan pengukuran yang dilakukan dalam kondisi setelah turun hujan. Kelajuan air melonjak cukup berarti dibandingkan kelajuan pada hari-hari yang tidak turun hujan. Seperti halnya pada kondisi pengukuran pertama dan kedua, pada kondisi setelah turun hujan ini, walaupun kelajuan aliran air membesar akibat peningkatan volume air, namun kelajuan rata-

rata dari daerah A ke B cenderung memiliki fluktuasi yang lebih kecil dibandingkan kelajuan aliran air dari daerah B ke C. Hal ini dapat dilihat dari nilai standar deviasi yang relatif tidak banyak berubah dari kondisi pengukuran pertama dan kedua.

### 2 Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kecepatan Sudut Kincir Air

Telah dilakukan sepuluh kali simulasi bersih untuk mendapatkan output berupa kecepatan sudut (kecepatan putar). Kelajuan yang digunakan sebagai input adalah nilai kelajuan rata-rata dari pengukuran pertama dan kedua yang terdapat pada Tabel 2. Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi berupa kecepatan sudut (kecepatan putar) kincir air dengan jumlah sudu yang bervariasi, masing-masing untuk sudu berbentuk datar dan lengkung.



**Gambar 4** Grafik kecepatan putar terhadap jumlah sudu untuk sudu datar dan lengkung

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4, hasil simulasi kincir air *undershot* ini menunjukkan bahwa jumlah sudu berpengaruh terhadap kecepatan sudut kincir. Untuk sudu berbentuk datar, kecepatan sudut meningkat seiring bertambahnya jumlah sudu pada kincir dengan jumlah sudu 6 sampai 10, tetapi menurun untuk jumlah sudu 10 sampai dengan 15. Sedangkan untuk sudu lengkung, kecepatan sudut meningkat untuk jumlah sudu 6 sampai 8 tetapi menurun untuk jumlah sudu 8 sampai dengan 15. Dengan demikian terdapat nilai kecepatan sudut maksimum untuk jumlah sudu tertentu, yaitu 7,395 rpm untuk kincir bersudu datar dengan jumlah sudu 10 buah, dan 8,761 rpm untuk kincir bersudu lengkung dengan jumlah sudu 8 buah. Jumlah sudu 10 buah untuk sudu datar dan 8 buah untuk sudu lengkung dapat dipandang sebagai jumlah sudu optimal yang dapat diterapkan pada kincir air *undershot* jika digunakan pada daerah aliran air sungai bagian bawah Curug Sigay pada lokasi antara daerah A dan B.

Pengaruh jumlah sudu terhadap kecepatan sudut dapat disebabkan oleh perubahan gaya dorong pada kincir oleh air, dan perubahan momen inersia kincir. Penambahan jumlah sudu menyebabkan bertambahnya luasan sudu yang tertumbuk oleh air sehingga kincir mendapatkan gaya dorong yang semakin besar. Penambahan gaya dorong ini berkontribusi pada bertambahnya kecepatan sudut kincir. Di sisi lain penambahan jumlah sudu juga menyebabkan bertambahnya massa

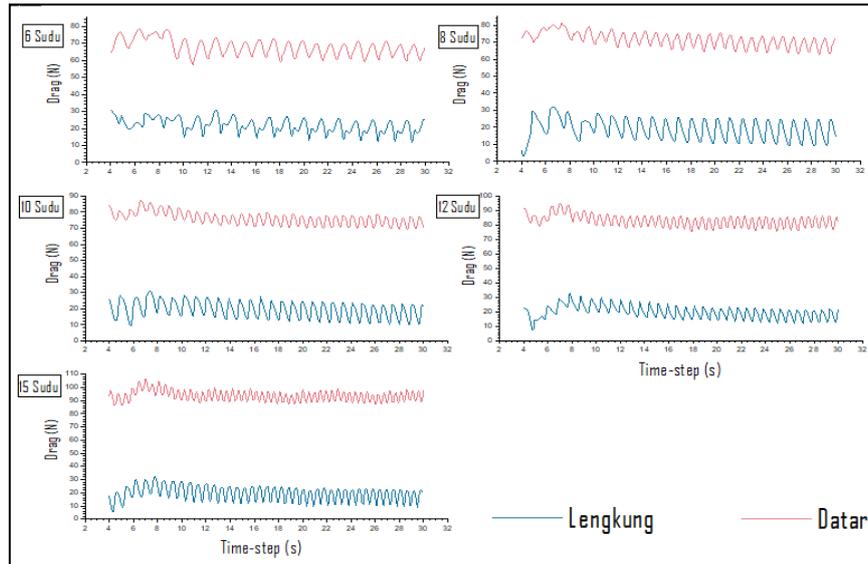
kincir sehingga memperbesar momen inersia kincir. Bertambahnya momen inersia ini menyebabkan kincir semakin lembam sehingga mengakibatkan kincir lebih sulit untuk berputar. Dengan kata lain penambahan momen inersia ini berkontribusi terhadap pengurangan kecepatan sudut. Penambahan gaya dorong dan momen inersia sebagai konsekuensi dari penambahan jumlah sudu ini dapat menjelaskan mengenai munculnya jumlah sudu optimal (10 buah untuk sudu datar, dan 8 buah untuk sudu lengkung) yang menghasilkan kecepatan sudut maksimal, seperti yang ditunjukkan oleh grafik hasil simulasi pada Gambar 4.

### 3 Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Kecepatan Sudut Kincir Air

Grafik hasil simulasi pada Gambar 4 menunjukkan pula bahwa nilai kecepatan sudut untuk sudu datar dan lengkung memiliki perbedaan yang cukup besar. Desain sudu berbentuk lengkung memiliki nilai kecepatan sudut yang lebih besar daripada sudu berbentuk datar, yakni sekitar 8 rpm untuk sudu lengkung dan sekitar 7 rpm untuk sudu datar.

Pengaruh bentuk sudu terhadap kecepatan sudut dapat disebabkan oleh factor tumbukan dan gaya hambat. Sudu lengkung memperoleh tumbukan energi air yang lebih besar dibandingkan dengan sudu datar, karena air yang lewat pada bagian atas dan bawah sudu lengkung akan terkumpul ke tengah bagian sudu. Selain itu sudu lengkung memiliki gaya hambat yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sudu datar, karena bagian belakang sudu yang melengkung akan lebih memudahkan air untuk lewat dibandingkan membentur sudu. Dengan kata lain wajar jika diperoleh hasil bahwa untuk jumlah sudu yang sama, kecepatan sudut kincir dengan sudu lengkung lebih besar dibandingkan dengan kecepatan sudut kincir dengan sudu datar, sebagaimana yang ditunjukkan oleh simulasi pada Gambar 4.

Selain pengambilan data kecepatan sudut rata-rata, dilakukan juga pengambilan data nilai *drag* (gaya hambat) dan torsi terhadap waktu sebagai faktor pendukung analisis ini. Gambar 5 menyajikan grafik hubungan *drag* terhadap *time-step* dan Gambar 6 menyajikan grafik hubungan torsi terhadap *time-step*.



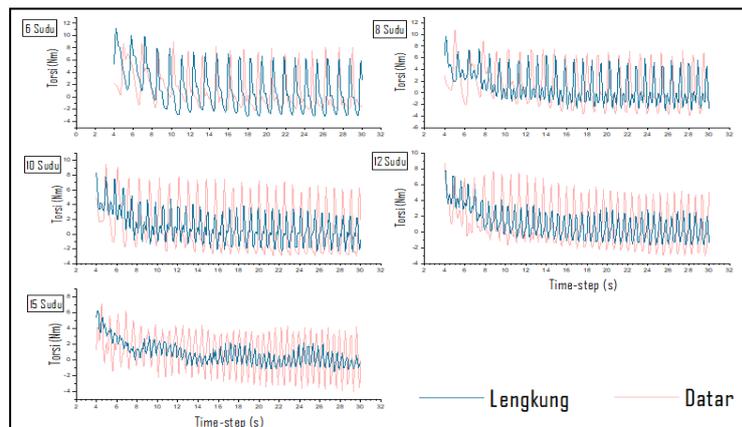
**Gambar 5** Grafik hubungan drag terhadap *time-step* untuk sudu datar dan lengkung

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, terlihat bahwa adanya perbedaan *drag* pada kincir *undershot* dengan sudu berbentuk datar dan sudu berbentuk lengkung. Kincir dengan sudu berbentuk lengkung memiliki nilai rata-rata *drag* yang lebih kecil dibandingkan kincir dengan sudu berbentuk datar. Nilai *drag* yang kecil dapat menyebabkan gaya dorong yang menumbuk

sudu tidak kehilangan energi yang cukup besar untuk tetap bergerak. Dengan kata lain, kincir dengan nilai *drag* yang lebih kecil akan bergerak lebih cepat dibandingkan kincir dengan nilai *drag* yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada simulasi ini, yaitu kincir dengan sudu lengkung berotasi lebih cepat dibandingkan kincir dengan sudu datar.

Gambar 6 memperlihatkan bahwa kincir dengan sudu berbentuk lengkung memiliki rata-rata torsi yang lebih kecil dibandingkan kincir dengan sudu berbentuk datar. Daya mekanik

maka kecepatan sudut semakin kecil. Oleh karena itu, sangatlah wajar jika hasil simulasi ini menunjukkan bahwa kecepatan sudut kincir dengan sudu berbentuk lengkung lebih besar



**Gambar 6** Grafik hubungan torsi terhadap *time-step* gabungan sudu datar dan lengkung

yang diberikan oleh aliran air pada kincir menyebabkan kincir berputar dengan daya yang merupakan perkalian antara torsi dan kecepatan sudut. Dengan demikian semakin besar torsi

dibandingkan kecepatan sudut kincir dengan sudu berbentuk datar.

**PENUTUP**

Berdasarkan pembahasan hasil simulasi kincir air *undershot* ini menunjukan bahwa jumlah sudu berpengaruh terhadap kecepatan sudut kincir. Pada kasus aplikasi untuk aliran air pada sungai di bagian bawah Curug Sigay, yaitu pada suatu area tertentu yang memiliki kelajuan rata-rata aliran air yang relatif konstan, terdapat pengaruh jumlah sudu dan bentuk sudu terhadap kecepatan sudut kincir. Dengan sudu berukuran 30 x 40 cm, terdapat jumlah sudu yang menghasilkan kecepatan sudut maksimal, yaitu 10 buah untuk sudu berbentuk datar dan 8 buah untuk sudu berbentuk lengkung. Untuk jumlah sudu yang sama, kincir dengan sudu berbentuk lengkung dapat menghasilkan kecepatan sudut yang lebih besar dibandingkan kincir dengan sudu berbentuk datar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adanta, D, Budiarto, B, Arifianto, S.A, & Nasution, S.B.S. (2018). *Effect Of Blades Number On Undershot Waterwheel Performance With Variable Inlet Velocity*. 4<sup>th</sup> International Conference on Science and Technology (ICST).
- Febrizal, Asral. (2018). "Analisa Struktur Aliran Pada Turbin Air Undershot Tipe Sudu Datar Untuk Aliran Pada Sungai Kecil". *Jom FTEKNIK*. 5 (edisi 2). 1-5.
- Jamlay, K, Sule, L, & Hasan, D. (2016). "Analisis Perilaku Aliran Terhadap Kinerja Roda Air Arus Bawah Untuk Pembangkit Listrik Skala Pikohidro". *Dinamika Teknik Mesin*. 6(1). 51-59.
- Marbun, H. M, & Hazwin, M. (2013). " Simulasi Aliran Fluida Pada Pompa Hidram Dengan Tinggi Air Jatuh 2.3 M dengan Menggunakan Perangkat Lunak CFD ". *Jurnal e-Dinamis*. 7(3). 136-145.
- Morong, J. Y. (2016). "Rancang Bangun Kincir Air Irigasi Sebagai Pembangkit Listrik di Desa Talawaan. Tugas Akhir". Tidak diterbitkan. Program Studi Teknik Listrik. Politeknik Negri:Manado.
- Tangkudung, H. (2011). "Pengukuran Kecepatan Aliran Dengan Menggunakan Pelampung dan *Current Meter*". *TEKNO-SIPIL*. 9(5). 28-31.
- Oladapo, S. Akinyemi & Yucheng Liu. (2015). *CFD Modeling and Simulation of a Hydropower System in Generating Clean Electricity From Water Flow*. *International Journal of Energy Environment Engineering* 6. 357-366.
- Warjito, Adanta, D, Budiarto, B, Arifianto, S.A, & Nasution, S.B.S. (2018). *Effect Of Blades Number On Undershot Waterwheel Performance With Variable Inlet Velocity*. 4<sup>th</sup> International Conference on Science and Technology (ICST).
- Warjito, Adanta, D, Budiarto, Nasution, S. B. S, & Kurnianto, M. A. F. (2019). *CFD Letters The Effect of Blade Height and Inlet Height in a Straight- Blade Undershot Waterwheel Turbine by Computational Method*. *CFD Letters*. 11 (12). 66-73.
- Yah, N. F, Sahat, I. M, Oumer, A. N. (2016). *Numerical Investigation on Effect of Immersed Blade Depth on the Performance of Undershot Water Turbines*. *ICMER 2015*. MATEC Web of Conference 74. 1-5.