

---

**ANALISIS KECEPATAN AIR MASUK TERHADAP BUKAAN *GUIDE VANE* TURBIN *CROSSFLOW* SKALA *PICO HYDRO* DENGAN SIMULASI CFD*****ANALYSIS OF WATER INVESTMENT SPEED AGAINST *PICO HYDRO* SCALE *PICO HYDRO* *GUIDE VANE* TURBINE OPENING WITH CFD SIMULATION*****Dimas Riadi<sup>(1)</sup>, Remon Lapisa<sup>(2)</sup>, Hendri Nurdin<sup>(3)</sup>, Mulianti<sup>(4)</sup>**<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang  
Kampus Air Tawar, Padang 25131, Indonesia[dimasriadi4@gmail.com](mailto:dimasriadi4@gmail.com)[remonlapisa@gmail.com](mailto:remonlapisa@gmail.com)[hens2tm@ft.unp.ac.id](mailto:hens2tm@ft.unp.ac.id)[muliantihendrik@gmail.com](mailto:muliantihendrik@gmail.com)**Abstrak**

Turbin *Ossberger* atau yang biasa dikenal dengan turbin *Cross-flow* adalah *type* turbin bertekanan yang kerap dipakai pada PLTA. Contohnya adalah pembangkit listrik tenaga *pico hydro*. Efisiensi maksimal yang bisa di dapatkan dari turbin *cross flow* adalah sebesar 80%. Kenagarian Koto Hilalang di Kabupaten Solok Kecamatan Kubung, Sumatera Barat merupakan salah satu contoh lokasi dimana Pembangkit Listrik Tenaga *pico hydro* dapat digunakan sebagai sumber tenaga. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis akibat dari variasi *guide vane* pada turbin jenis *cross-flow* yang dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga *pico hydro* dengan daya yang dihasilkan sebesar 31,85 Kw. Dengan adanya penelitian ini dapat menentukan kecepatan *magnitude* air terhadap variasi bukaan *guide vane* untuk meningkatkan efisiensi turbin. Metode dalam pelaksanaan penelitian ini yaitu simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dilakukan pada perangkat lunak Autodesk CFD dengan model turbulens *k-epsilon*. Tahapan dalam melaksanakan simulasi *computational fluid dynamic* (CFD) ini yakni dengan memvariasikan bukaan *guide vane* dengan variasi 25%, 50%, 75%, 100%. Hasil analisis pada simulasi *computational fluid dynamic* (CFD) menunjukkan bahwa kecepatan *magnitude* maksimal berada pada bukaan 25% yang menghasilkan kecepatan masuk sebesar 112,79 m/s pada *parametric distance* 32, simulasi ini menunjukkan kecepatan masuk air mengalami penurunan. Kecepatan masuk air pada simulasi ini di buat tetap dengan sebesar 11,72 m/s dan dalam keadaan *steady state*.

**Kata Kunci:** Variasi *Guide Vane*, CFD, Turbin *Cross-flow*, Kecepatan Air**Abstract**

The *Ossberger* turbine or commonly known as the *Cross-flow* turbine is a type of pressurized turbine that is often used in hydropower. An example is a *pico hydro* power plant. The maximum efficiency that can be obtained from *cross flow* tubin is 80%. Kenagarian Koto Hilalang in Solok Regency, Kubung District, West Sumatra is an example of a location where a *pico hydro* power plant can be used as a power source. This study was conducted to analyze the effect of variations in *guide vane* on a *cross-flow* turbine which is used as a *pico hydro* power plant with a power generated of 31.85 Kw. With this research, it is possible to determine the magnitude of the water velocity with respect to the variation of the *guide vane* openings to increase turbine efficiency. The method in carrying out this research is *Computational Fluid Dynamic* (CFD) simulation carried out on Autodesk CFD software with the *k-epsilon* turbulence model. The steps in carrying out this *computational fluid dynamic* (CFD) simulation are by varying the *guide vane* openings with variations of 25%, 50%, 75%, 100%. The results of the analysis on *computational fluid dynamic* (CFD) simulations show that the maximum magnitude velocity is at 25% opening which results in an inlet velocity of 112.79 m/s at a *parametric distance* of 32, this simulation shows that the water inlet velocity has decreased. The water inlet speed in this simulation is kept at 11.72 m/s and is in *steady state*.

**Keywords:** *Guide Vane* Variation, CFD, *Cross-flow* Turbine, Water Velocity

## I. Pendahuluan

Pemakaian listrik di Indonesia terus mengalami lonjakan, di tahun 2015 pemakaiannya terhitung 910 KWh/jam perkapita dan terus meningkat hingga tahun 2019 mencapai 1.084 kWh perkapita (*Konsumsi Listrik Nasional Terus Meningkat / Databoks*, n.d.). Lonjakan pemakaian energi mencakup area kawasan industry, rumah tangga, transportasi dan lain - lain (Ahmad Nurhuda, Drs. Hasanuddin, M.Si, Arwizet K. S.T., 2016).

Indonesia adalah negara yang memiliki potensi cadangan energi yang besar baik energi fosil/energi tak terbarukan (minyak, batubara) maupun energi terbarukan, seperti radiasi matahari, tenaga angin, tenaga air, biomassa, panas bumi, dll (Sukardi, M.Giatman, Remon lapisa, Purwanton, and Refdinal, 2017).

Perkembangan energi terbarukan mengalami kenaikan yang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternative untuk mengurangi efek dari rumah kaca dari hasil pemakaian bahan bakar fosil (Hakim et al., 2020).

Air sebagai pemangkit energi yang menggunakan skala pico hidro merupakan energi dengan skala paling rendah hanya menghasilkan kapasitas daya kurang dari 5kW (Uyun et al., 2020).

RM Enoch (2010) Seorang yang ahli dalam membuat turbin ossberger di Sumatera Barat mengemukakan pendapat nya tentang Turbin Banki di Sumatra Barat memiliki potensi yang cocok sebagai pembangkit energy listrik skala kecil (Purwanton et al., 2018).

Kenagarian Koto Hilalang di Kabupaten Solok Kecamatan Kubung, Sumatera Barat merupakan salah satu contoh lokasi dimana Pembangkit Listrik Tenaga *Pico Hydro* (PLTPH) dapat digunakan sebagai sumber tenaga. Kanagarian Koto Hilalang terletak di daerah pegunungan yang memiliki potensi air yang cukup untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga *Pico Hydro*(PLTPH).

Turbin Ossberger atau yang sering disebut dengan turbin *cross-flow* adalah jenis turbin air bertekanan yang kerap dipakai pada PLTA, salah satu contohnya adalah pembangkit listrik tenaga *pico hydro*. Untuk menentukan pemilihan turbin ini di dasarkan pada beberapa factor yaitu tingginya peforma yang dicapai dari turbin jenis *cross-flow* (Mafruddin & Marsuki, 2017).

Komponen dalam turbin *cross-flow* yang berpengaruh terhadap kecepatan air dan kinerja

sebuah turbin *cross-flow* agar mendapatkan efisiensi yang maksimal yaitu *guide vane*. *Guide vane* atau yang bisa di sebut dengan pintu pengarah aliran air yang berfungsi untuk mengatur jumlah aliran fluida yang mengalir ke dalam turbin untuk memutar runner turbin *cross-flow*.

(Mockmore & Merryfield, 1949) memperkenalkan kan turbin banki pertama kali dan melaksanakan penelitian teoritis, efisiensi tertinggi yag di peroleh turbin berada pada angka 68%.

(CHOI et al., 2008) melaksanakan penelitian menggunakan simulasi numerical melalui variasi bentuk nozel dan melihat hasil peforma dari turbin jenis *cross-flow*.

(Yassen, 2014) melakukan penelitian (CFD) dan memvariasikan sudut nozel. Dari penelitian didapatkan karakteristik fluida yang kompleks untuk parameter optimasii aliran kinerja turbin.

### A. Dekskripsi Numerik

#### 1. Perhitungan kecepatan air sebelum masuk

Kecepatan air masuk dapat dihitung dengan persamaan (Mockmore & Merryfield, 1949):

$$v = C \sqrt{2 g H} \quad (1)$$

#### 2. Menghitung debit air

Jumlah debit air dapat di cari dengan rumus sebagai berikut (Rohman, 2009) :

$$Q = \frac{v}{t} \quad (2)$$

#### 3. Kecepatan air didalam pipa

Perhitungan kecepatan air didalam pipa dapat dihitung dengan persamaan (Widodo et al., 2016):

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

#### 4. Menghitung tekanan air

Perhitungan dalam mencari tekanan air dapat dihitung dengan persamaan berikut (Putra et al., 2018) :

$$P = \rho x h x g \quad (4)$$

### 5. Mayor loses

Mayor loses dapat dihitung dengan persamaan (Arismunandar, 2004):

$$H_L = f \frac{l \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g} \quad (5)$$

### 6. Minor loses

Minor loses adalah kerugian karena adanya nozel. Minor loses dapat dihitung dengan persamaan (Arismunandar, Artono & Kuwahara, 1974) :

$$H_L = k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

### 7. Head Efektif

Adapun cara untuk menghitung *head efektif* bisa di cari dengan persamaan sebagai berikut (Mafruddin & Marsuki, 2017) :

$$H_e = H - H_{L(mayor)} - H_{L(minor)} \quad (7)$$

### 8. Daya air

Daya air dapat dihitung dengan cara dibawah ini (Yassen, 2014) :

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot H_e \cdot Q \quad (8)$$

### 9. Bilangan Reynold

Berikut cara untuk mengetahui bilangan reynold (Zainudin et al., 2012):

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad (9)$$

### 10. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Mafruddin & Irawan, 2018) :

$$\eta_t = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} \quad (10)$$

## B. Computational fluid dynamic (CFD)

Simulasi menggunakan perangkat lunak CFD memudahkan dalam mengetahui aliran air yang berlandaskan oleh sebuah kondisi yang di dasari dengan kalkulasi pergerakan air. Simulasi

menggunakan CFD dapat memudahkan peneliti untuk mengetahui secara *detail* arah pancaran air (Fermi, 2014).

Lomax dkk (1999), menyatakan bahwa tragedi gerakan fluida di sekitar benda yang di uji dapat diketahui menggunakan metode simulasi CFD, karena fenomena tersebut sulit diketahui dengan pengujian eksperimental. Maka dari itu simulasi CFD banyak digunakan untuk menganalisis fenomena-fenomena tersebut (Suripto et al., 1949).

Adapun tahapan dalam menggunakan metode simulasi CFD yakni sebagai berikut (Luthfie, 2017) :

1. Pre - processor
2. Processor
3. Post - Processor

## II. Metode Penelitian

### A. Jenis Penelitian

Computational Fluids Dynamic CFD atau yang biasa disebut dengan CFD adalah metode yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini. dengan bantuan perangkat lunak Autodesk CFD 2021. Simulasi CFD adalah metode yang membahas tentang gerak pancaran air. Penerapan metode simulasi CFD digunakan karena hasil yang di peroleh dari analisis numericalnya mampu menghasilkan parameter-parameter dari specimen yang diuji tanpa harus melakukan penelitian secara langsung (Fermi, 2014).

### B. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini pada bulan Juli – Agustus 2021. Lokasi desain dan analisis bertempat di Laboratorium Manufaktur, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas negeri Padang.

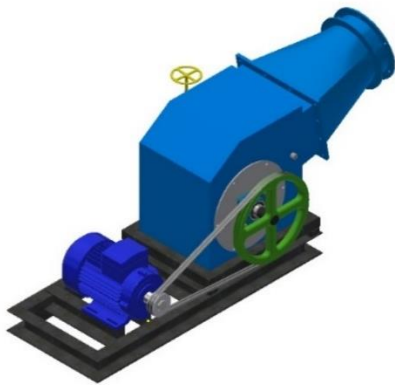
### C. Variabel Penelitian

Variabel dalam melakukan simulasi CFD ini yaitu variabel bebas dan variabel terikat, dimana variabel bebas dalam penelitian ini adalah pengaruh dari bukaan *guide vane* yang di variasikan menjadi 25%, 50%,75%, dan 100%, dan variabel terikat dalam penelitian ini adalah

kecepatan masuk air kedalam turbin sebesar 11,72 m/s.

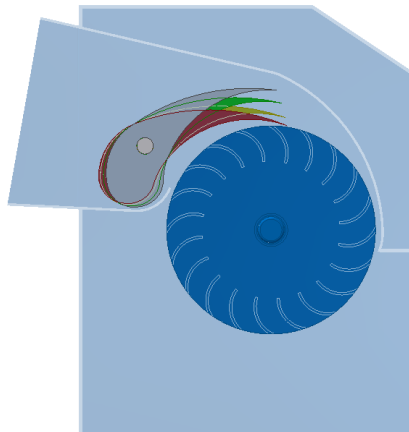
#### D. Perancangan dan Simulasi Turbin *Cross-flow*

Turbin *Cross flow* berskala *pico hydro* ini dirancang menurut kondisi debit air 0,5 m<sup>3</sup>/s dan ketinggian head 7 m yang telah di survey sebelumnya. Turbin di desain dengan perangkat lunak Autodesk Inventor 2021. Gambar turbin dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 1.** Turbin *Cross-flow* skala *Pico Hydro*

Gambar 1 menunjukkan *part* bukaan *guide vane* dari turbin *cross-flow*.



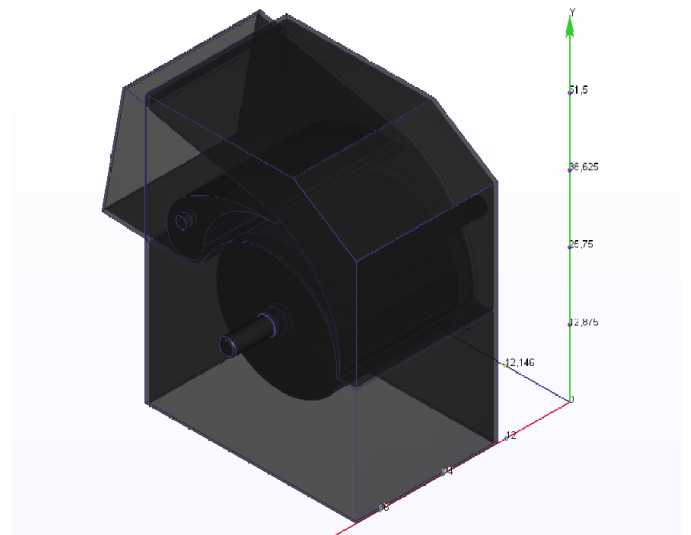
**Gambar 2.** Contoh variasi *guide vane*.

Setelah desain dari turbin selesai dibuat kemudian yaitu melakukan simulasi CFD dengan tahapan sebagai berikut :

1. *Insert Geometry*
2. *Boundary Conditions*
3. *Meshing*
4. *Solve*

### III. Hasil dan Pembahasan

Geometri dari gambar turbin dibuat lebih sederhana dan berbeda untuk *visual* penelitian. Gambar 3 merupakan hasil perancangan dari gambar turbin *Cross-flow* yang dirancang dengan perangkat lunak Autodesk Inventor 2021 yang selanjutnya akan disimulasikan dengan perangkat lunak Autodesk CFD. Berikut gambar dari turbin yang telah disederhanakan untuk proses simulasi :



**Gambar 3.** Profil tiga dimensi turbin *Cross-flow*

#### 1. Analisis CFD

##### a. *Boundary Condition*

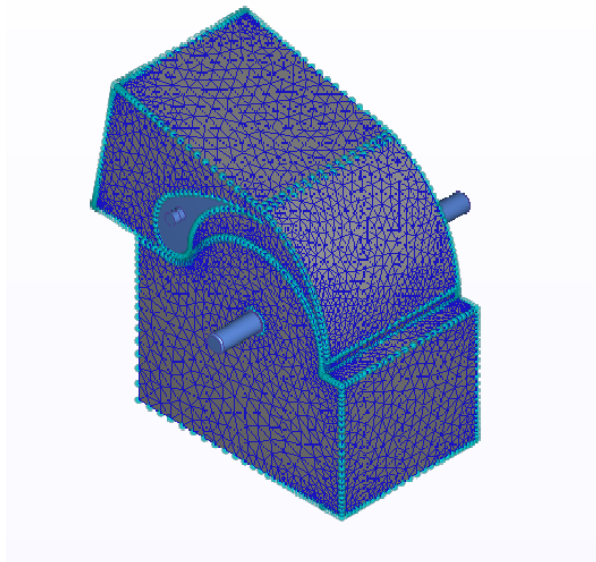
*Boundary conditions* di input menurut data yang ada dan kebutuhan dari model. Intek turbin *crossflow* dibuat sebagai saluran masuk kecepatan, sedangkan saluran keluar turbin *cross-flow* dibuat sebagai saluran keluar tekanan. Spesifik *wall* secara terpisah dengan macam-macam *boundary conditions*. Setiap *wall* berada dalam keadaan *No Slip*.

**Table 1.** Boundary Conditions

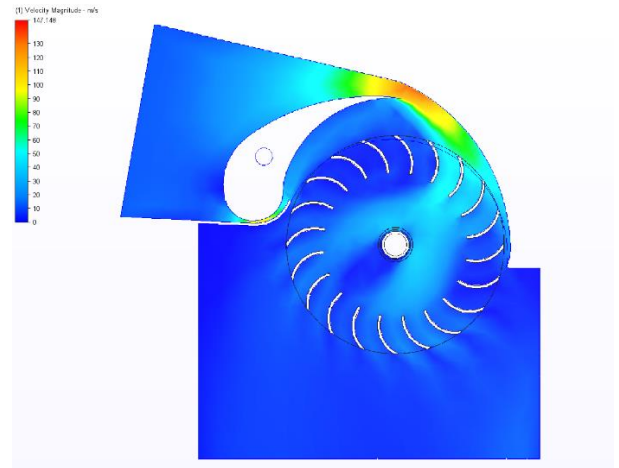
BC	BC type	Fluid	Unit
Inlet	Velocity	11,72	m/s
Outlet	Pressure	0	bar
Interface	Wall	-	-
Surface	Wall	No slip	-
Wall	No Slip	-	-

**b. Meshing**

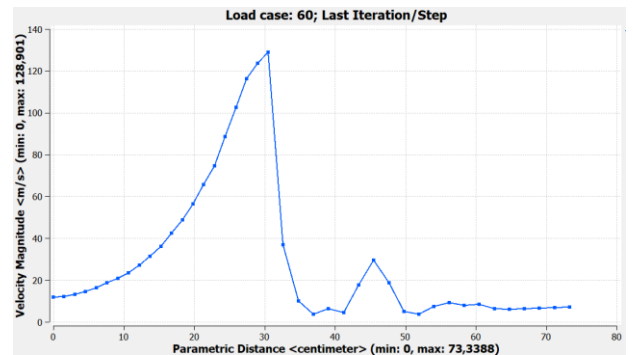
Hasil dari *relative coarser mesh* yaitu 209.642 cell yang terdiri dari *tetrahedral* dan *hexahedral*. Dimana semakin rapat struktur dari mesh maka hasil simulasi akan semakin teliti hasil dari simulasi CFD tetapi akan memakan banyak waktu.



**Gambar 4.** Hasil *meshing* turbin *cross-flow*



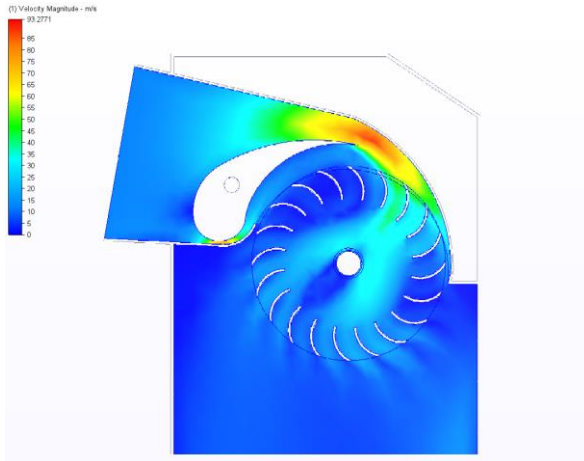
**Gambar 5.** Kecepatan *magnitude* bukaan *guide vane* 25%



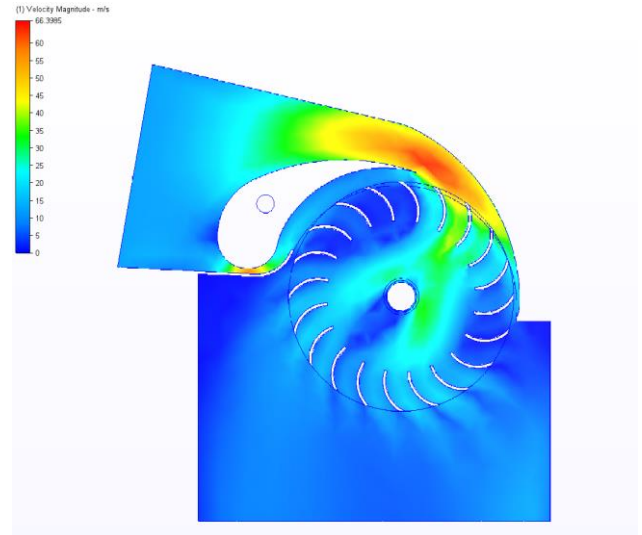
**Gambar 6.** Grafik Kecepatan *magnitude* bukaan *guide vane* 25%

Simulasi CFD didapat hasil analisis pada bukaan *guide vane* sebesar 25% menghasilkan kecepatan *magnitude*. Analisis kecepatan *magnitude* dapat dilihat pada grafik pada gambar 6. Simulasi CFD menghasilkan kecepatan *magnitude* sebesar 112,679 m/s di *parametric distance* 32 pada *output* nozel.

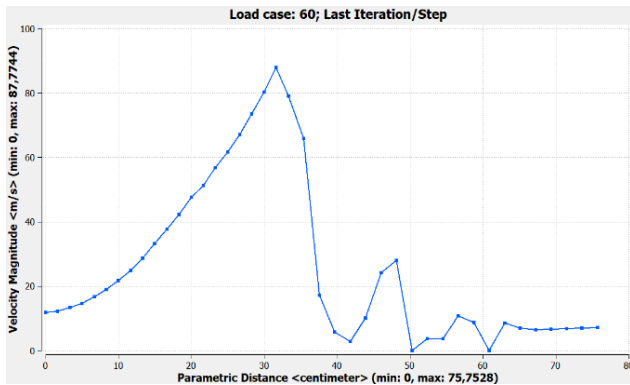




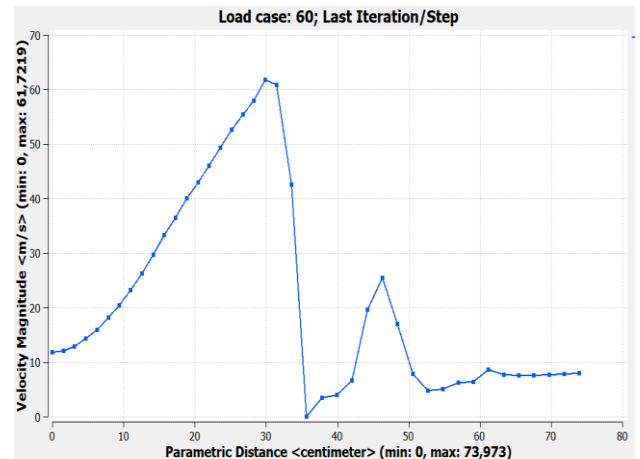
**Gambar 6.** Kecepatan *magnitude* bukaan *guide vane* 50%



**Gambar 8.** Kecepatan *magnitude* bukaan *guide vane* 75%



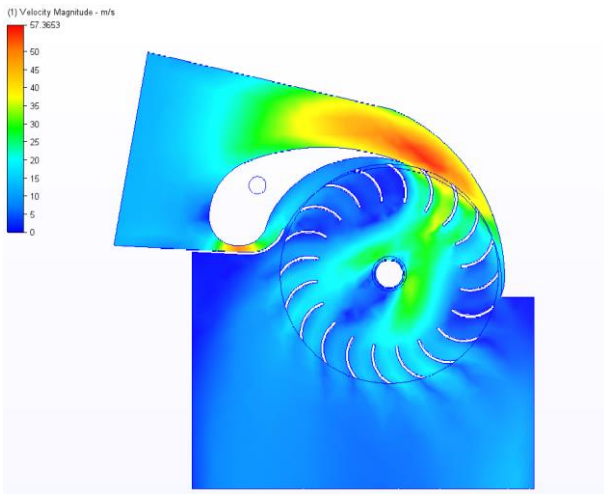
**Gambar 7.** Grafik Kecepatan *magnitude* bukaan *guide vane* 50%



**Gambar 9.** Grafik Kecepatan *magnitude* bukaan *guide vane* 75%

Simulasi CFD didapat hasil analisis pada bukaan *guide vane* sebesar 50% menghasilkan kecepatan *magnitude*. Analisis kecepatan *magnitude* dapat dilihat pada grafik pada gambar 8. Simulasi CFD menghasilkan kecepatan *magnitude* sebesar 87,78 m/s di *parametric distance* 32 pada *output* nozel dan dapat di lihat bahwa pada bukaan *guide vane* 50% kecepatan *magnitude* mengalami penurunan.

Simulasi CFD didapat hasil analisis pada bukaan *guide vane* sebesar 75% menghasilkan kecepatan *magnitude*. Analisis kecepatan *magnitude* dapat dilihat pada grafik pada gambar 10. Simulasi CFD menghasilkan kecepatan *magnitude* sebesar 61,7119 m/s di *parametric distance* 32 pada *output* nozel dan dapat di lihat bahwa pada bukaan *guide vane* 75% kecepatan *magnitude* mengalami penurunan.



**Gambar 10.** Kecepatan *magnitude* bukaan *guide vane* 100%



**Gambar 11.** Grafik Kecepatan *magnitude* bukaan *guide vane* 100%

Simulasi CFD didapat hasil analisis pada bukaan *guide vane* sebesar 100% menghasilkan kecepatan *magnitude*. Analisis kecepatan *magnitude* dapat dilihat pada grafik pada gambar 10. Simulasi CFD menghasilkan kecepatan *magnitude* sebesar 54,35 m/s di *parametric distance* 32 pada *output* nozel dan dapat di lihat bahwa pada bukaan *guide vane* 100% kecepatan *magnitude* mengalami penurunan. Hasil simulasi CFD pada *output* nozel kecepatan masuk air *boundary condition inlet* kecepatan sebesar 11,72 m/s. Kecepatan *magnitude* dalam turbin *cross-flow* dihitung dengan nilai maksimum dan minimum. Dapat dilihat aliran fluida pada simulasi diilustrasikan bagaimana kecepatan yang melalui

*guide vane*, sudu, dan poros runner dapat meningkatkan efisiensi turbin *cross-flow*.

Dari hasil simulasi CFD dilihat pada gambar 6 dapat dianalisis bahwa kecepatan *magnitude* pada turbin *cross-flow* meningkat secara teratur pada *inlet* bagian *guide vane* menuju sudu runner dan terjadi penurunan kecepatan ketika telah memasuki runner turbin. Dimana visualisasi tekanan maksimal ditunjukkan pada gambar berwarna merah dan tekanan rendah ditunjukkan pada gambar yang berwarna biru.

### III. Kesimpulan

Hasil dari penelitian dengan simulasi CFD diketahui bahwa bukaan *guide vane* berpengaruh terhadap kecepatan *magnitude* air. Hasil simulasi berupa grafik yang telah dianalisis ditarik kesimpulan bahwa bukaan *guide vane* yang optimal yaitu bukaan *guide vane* 25%. Hasil dari simulasi untuk mendapatkan beberapa analisis salah satunya adalah kecepatan *magnitude* air. Model turbulensi yang digunakan pada simulasi CFD yaitu model turbulensi k-epsilon. Pada grafik hasil pengujian CFD bukaan *guide vane* 25% mendapatkan kecepatan *magnitude* sebesar 112,679 m/s pada *parametric distance* 32. Dimana pada kecepatan masuk dibuat tetap dan dalam keadaan *steady state*.

### Referensi

- Ahmad Nurhuda, Drs. Hasanuddin, M.Si, Arwizet K. S.T., M. T. (2016). PERANCANGAN TURBIN CROSSFLOW UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BUKIT BIOBIO. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 66, 37–39.
- Arismunandar, Artono & Kuwahara, S. (1974). *Buku Pegangan Teknik tenaga Listrik 1*. Pradnya Oaramita.
- Arismunandar, W. (2004). Penggerak Mula Turbin. *Institut Teknologi Bandung*, 36. No 3.
- CHOI, Y.-D., LIM, J.-I., KIM, Y.-T., & LEE, Y.-H. (2008). Performance and Internal Flow Characteristics of a Cross-Flow Hydro Turbine by the Shapes of Nozzle and Runner Blade.

- Journal of Fluid Science and Technology*, 3(3), 398–409. <https://doi.org/10.1299/jfst.3.398>
- Fermi, ohammad I. (2014). Pemanfaatan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) Dalam Perancangan Kompor Biomassa. *Teknobiologi*, 1(February 2014), 15–19.
- Hakim, M. L., Yuniarti, N., Sukir, S., & Damarwan, E. S. (2020). Pengaruh Debit Air Terhadap Tegangan Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4(1), 75–81. <https://doi.org/10.21831/jee.v4i1.32607>
- Konsumsi Listrik Nasional Terus Meningkatkan / Databoks*. (n.d.). Retrieved August 6, 2021, from <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2020/01/10/konsumsi-listrik-nasional-terus-meningkat>
- Luthfie, A. A. (2017). Analisis Pengaruh Perubahan Sudut Pipa Siphon Terhadap Performasi Turbin Hydrocoil Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (Cfd). *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 41. <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i1.1336>
- Mafruddin, M., & Irawan, D. (2018). Pengaruh Diameter Dan Jumlah Sudu Runner Terhadap Kinerja Turbin Cross-Flow. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 7(2), 223–229. <https://doi.org/10.24127/trb.v7i2.766>
- Mafruddin, M., & Marsuki, M. (2017). Pengaruh Bukaannya Guide Vane Terhadap Kinerja Turbin Piko hidro Tipe Cross-Flow. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1), 31–37. <https://doi.org/10.24127/trb.v6i1.464>
- Mockmore, C. A., & Merryfield, F. (1949). The Banki Water Turbine, Engineering Experiment Station. *Bulletin Series*, 25, 2.
- Purwantono, P., Syahrul, S., & Adri, J. (2018). Pengaruh Perubahan Debit Aliran Terhadap Putaran Turbin Banki dan Kaplan. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 18(1), 13–18. <https://doi.org/10.24036/invotek.v18i1.173>
- Putra, I. G. W., Weking, A. I., & Jasa, L. (2018). Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17 (3), 385.
- Rohman, F. (2009). Pengukur Kecepatan Aliran Dan Debit Air ( Flowmeter ) Dengan Tampilan Digital. *Prototype Debit Air (Flow Meter) Dengan Tampilan Digital*, 3(021), 12.
- Sukardi, M.Giatman, Remon lapisa, Purwantono, and Refdinal, U. (2017). A MICRO HYDRO POWER GENERATOR AS AN ALTERNATIVE SOLUTION FOR ENERGY PROBLEM SOLVING IN INDONESIA REMOTE AREA. *Resource Sharing–Blended Project Based Learning (RS- BPBL©) Model Development In Vocational High School*, 760.
- Suripto, H., Hidayat, A., Mesin, J. T., Pengaraian, U. P., Sipil, J. T., Pengaraian, U. P., & Hilir, K. R. (1949). *Analisis Kecepatan Masuk Sudut Runner Turbin Cross-flow dengan Simulasi CFD*. 1, 39–44.
- Uyun, A. S., Novianto, B., Yandri, E., Nur, S. M., Pascasarjana, D. S., & Persada, U. D. (2020). *Rancang bangun low head turbin piko hidro*. X(1), 67–79.
- Widodo, S., Suharno, K., & Salahudin, X. (2016). Analisis Aliran Air dalam Pipa Bercabang. *Wahana Ilmuan*, 1, 77–84. [jurnal.untidar.ac.id/index.php/wahana/article/view/252/205](http://jurnal.untidar.ac.id/index.php/wahana/article/view/252/205)
- Yassen. (2014). Optimization of the Performance of Micro Hydro-Turbines for Electricity Generation. *A Research Thesis, School of Engineering & Technology, University of Hertfordshire, Hatfield, UK*, 381.
- Zainudin, Z., Sayoga, I. M. A., & Nuarsa, M. (2012). Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa. *Dinamika Teknik Mesin*, 2(2).