Asian Journal of
Science, Technology, Engineering, and Art

e-ISSN : 3025-4507
p-ISSN : 3025-5287
Index : Harvard, Boston, Sydney University, Dimensions, Lens, Scilit, Semantic, Google, etc

https://doi.org/10.58578/AJSTEA.v1i2.2070

# ANALISIS VARIASI JUMLAH SUDU TERHADAP TORSI YANG DIHASILKAN PADA TURBIN VORTEX

## Analysis of Blade Number Variations on Torque Generation in a Vortex Turbine

**Trio Harinaldi Aswanto[1], Purwantono[2], Randi Purnama Putra[3], Wanda Afnison[4]**
Universitas Negeri Padang
trioharinaldiaswantohari@gmail.com; purwantono@ft.unp.ac.id

**Article Info:**

| Submitted: | Revised: | Accepted: | Published: |
|---|---|---|---|
| Oct 7, 2023 | Oct 26, 2023 | Nov 1, 2023 | Nov 7, 2023 |

**Abstract**

Water turbines, particularly vortex turbines, represent a promising alternative energy source with significant potential for development. Vortex turbines are a relatively novel type of water turbine, offering ample opportunities for further research. This study aims to assess the efficiency of different blade variations, specifically 3, 4, and 5 blades. Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis was conducted using Solidworks 2022 software. The simulation results indicate that the torque values for 3 blades, 4 blades, and 5 blades were 0.26 Nm, 3.02 Nm, and 4.96 Nm, respectively. Efficiency calculations were performed using a formula, yielding efficiencies of 0.9% for 3 blades, 11.91% for 4 blades, and 20.74% for 5 blades. These results suggest that higher blade counts lead to greater efficiency.

**Keywords**: Hydroelectric Power Plant, Vortex Turbine, Torque, Discharge, Efficiency, Solidworks Simulation, CFD


AJSTEA Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

**Abstrak :** Turbin air merupakan sumber energi alternatif yang memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan, khususnya turbin vortex. Turbin vortex merupakan salah satu jenis turbin air yang cukup baru dan masih banyak peluang untuk para peneliti melakukan penelitiannya. Tujuan dilakukan penelitian ini ialah mengetahui efisiensi dari masing-masing variasi jumlah sudu yaitu sudu 3,4 dan 5. Analisis dilakukan pada software solidworks 2022 menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamics). Setelah dilakukan running simulasi didapatkan data torsi dari sudu 3 yaitu 0,26 Nm, sudu 4 yaitu 3,02 Nm dan sudu 5 yaitu 4,96 Nm. Efisiensi dari masing-masing jumlah sudu didapatkan dari hasil perhitungan analtik menggunakan rumus diperoleh efisiensi dari masing-masing sudu yaitu sudu 3 sebesar 0,9%, sudu 4 sebesar 11,91% dan sudu 5 sebesar 20,74%. Dari perhitungan efisiensi tersebut dapat diketahui semakin banyak jumlah sudu, maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin besar.

**Kata Kunci** : Pembangkit Listrik Tenaga Air, Turbin Vortex, Torsi, Debit, Efisiensi, Simulasi Solidworks, CFD

## PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan mutlak sebagai aktivitas kehidupan setiap hari untuk memenuhi berbagai kebutuhan pada sektor usaha serta industry. Banyak permasalahan dalam pemenuhan kebutuhan energi tersebut, terutama diakibatkan besarnya ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi.(Oh et al., 2010) Berbagai alternatif energi saat ini telah banyak dikembangkan mulai dari energi dari matahari atau panel surya, panas bumi atau geothermal, angin dan air.(Hussain et al., 2017)

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki jumlah sumber air yang sangat melimpah, hal ini menjadi potensi yang sangat besar dalam mengembangkan sumber energi khususnya dengan memanfaatkan aliran air.(Nasruddin et al., 2016) Pembangkit listrik tenaga pikohidro tentunya dapat dijadikan alternatif dan cocok jika dikembangkan pada daerah terpencil seperti daerah perbukitan maupun lereng gunung. (Pali & Vadhera, 2021)

Pemanfaatan energi air sebagai pembangkit listrik merupakan salah satu solusi yang sangat berpotensi untuk diaplikasikan,(Chen et al., 2015) namun hal ini sangat bertolak belakang pada kondisi dilapangan dimana masyarakat belum sepenuhnya memahami konsep pembangkit listrik ini sehingga pengaplikasian energi terbarukan menjadi tidak optimal.(Wüstenhagen et al., 2007)

Vortex adalah massa fluida yang partikel-partikelnya bergerak berputar dengan garis arus (streamline) membentuk lingkaran konsentris.(Ashwin & King, 1995) Gerakan vortex

berputar disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan antara lapisan fluida yang berdekatan.(Griffiths & Linden, 1981) Dapat diartikan juga sebagai gerak alamiah fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan.(Escudier, 1988) Vortex sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional dimana viskositas berpengaruh di dalamnya. (Majdalani & Chiaverini, 2009)

Aliran vortex yang juga dikenal sebagai aliran pulsating atau pusaran dapat terjadi pada berbagai macam fluida diantaranya ialah air, minyak dan udara.(Hemmat Esfe et al., 2021) Contohnya suatu fluida yang mengalir di dalam pipa yang mengalami perubahan mendadak.(Eckhardt et al., 2007) Aliran vortex dianggap suatu kerugian dalam suatu aliran fluida meskipun sebenarnya ada yang menguntungkan.(Cucitore et al., 1999) Belakangan ini prinsip aliran vortex sangat banyak digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga mikro.(Wang et al., 2020) Dikarenakan pemahaman ini belum banyak diketahui oleh masyarakat terutama dalam pengaruh aliran vortex terhadap kinerja runner, untuk itu menjadikan latar belakang dari penelitian kali ini guna untuk memberikan edukasi kepada masyarakat terkait aliran vortex khususnya pengaruh terhadap kinerja runner vortex.(Chitrakar et al., 2018)

Turbin vortex ini merupakan turbin yang bisa dikatakan baru sehingga masih banyak yang belum meneliti dari turbin vortex ini dan hal itu menjadi potensi untuk para peneliti dalam menjalankan penelitiannya terkait dengan turbin vortex.(Zhao et al., 2022) Pada peneilitian kali ini penulis menerapkan variasi jumlah sudu turbin terhadap kinerja turbin vortex khususnya besaran efisiensi yang dihasilkan oleh masing-masing variasi jumlah sudu.

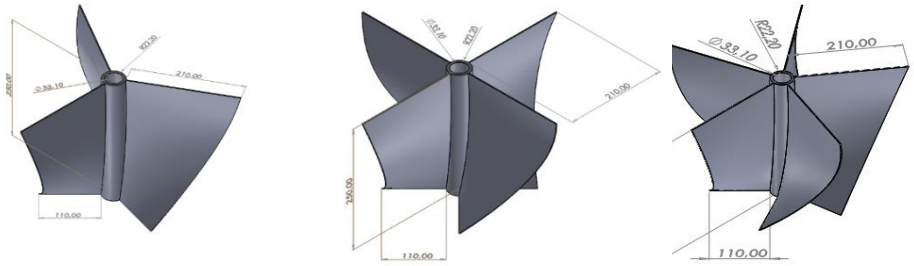
## METODE

Rancangan turbin vortex

Berikut ini merupakan desain dan bagian dari rancangan turbin vortex, yaitu:

1. Runner

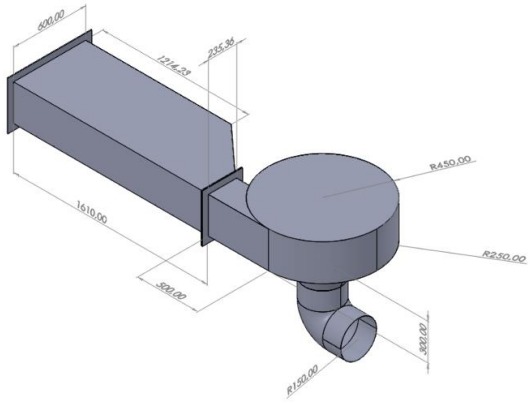
   Pada penelitian ini digunakan tiga macam model dari runner turbin vortex, diantaranya ialah runner yang memiliki jumlah sudu 3, 4 dan 5. Berikut ini merupakan bentuk desain dari masing-masing runner yang akan digunakan dalam penelitian kali ini, yaitu:




Gambar 1. Variasi jumlah sudu

2. Gambar utuh turbin vortex

   Pada penelitian kali ini desain dan ukuran dari dimensi turbin vortex yang akan digunakan yaitu sebagai berikut:




Gambar 2. Dimensi dari turbin vortex

Variabel Penelitian

Proses penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa variabel berikut ini, yaitu:

1. Variabel bebas

   Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi terhadap hasil dari variabel terikat, atau sebab perubahan dan timbulnya. Dalam penelitian ini variabel bebas yang dipakai ialah variasi jumlah sudu 3,4, dan 5.

2. Variabel terikat

   Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi terhadap nilai dari variabel bebas, atau nilai yang dipengaruhi terhadap adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikat yang dipakai ialah daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin vortex.

3. Variabel kontrol

   Variabel control merupakan variabel yang dikendalikan atau bersifat konstan sehingga tidak dipengaruhi oleh dua variabel sebelumya yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Dalam penelitian ini variabel kontrol yang dipakai ialah sebagai berikut:

   1. Diameter rumah siput 90 cm
   2. Tinggi dari rumah siput ialah 120 cm
   3. Panjang inlet 160 cm
   4. Diameter casing runner atas 50 cm, bawah 30 cm
   5. Debit air ialah 0,216 $m^3$/s

Analisis Data

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kinerja dari turbin vortex dengan menggunakan variasi jumlah sudu pada runnernya. Pengambilan data dilakukan menggunakan software solidworks dengan menjalankan running simulasi menggunkanan metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Setelah pengujian dilakukan dengan menjalankan running simulasi, maka akan didapatkan data torsi dari variasi jumlah sudu pada runner turbin vortex, selanjutnya dapat dibuat grafik karakteristik kinerja dari turbin vortex tersebut.

1. Pengukuran debit

   Untuk mencari nilai dari debit didapatkan dari perkalian dari kecepatan (V) dengan luas penampang (A). Rumus untuk mencari nilai dari debit dapat dilihat pada persamaan 1.

$$Q = V . A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

   Pada penelitian kali ini besaran debit yang didapatkan pada survey kondisi dilapangan, yaitu pada daerah Kuranji Hulu, Sungai Geringging, Pariaman. Dimana pengetesan dilakukan dengan menghanyutkan sebuah bahan penguji dengan jarak tempuh 3 meter dan membutuhkan waktu tempuh sebesar 4 detik. Demikian didapatkan kecepatan aliran sebesar 0,45 m/s. Setelah itu dilakukan pengukuran lebar dinding air 1,5 meter dengan ketinggian air sebesar 32 cm. Demikian didapatkan luas penampang sebesar 0,48 $m^2$. Untuk itu perkalian dari nilai kecepatan dengan nilai luas penampang akan menghasilkan nilai dari debit sebesar 0,216 $m^3$/s.

2. Torsi

   Torsi adalah dorongan yang dihasilkan oleh mesin yang berguna untuk melakukan kerja. Terdapat dua persamaan untuk mencari nilai dari torsi, yaitu momen gaya (F) dikalikan dengan jari jari poros (r) dan yang kedua ialah perkalian dari daya actual ($P_{act}$)dengan kecepatan sudut sudu ($\omega$). Berikut ini merupakan beberapa rumus untuk mencari nilai dari torsi dapat dilihat pada persamaan 2 dan 3. Untuk mencari nilai dari kecepatan sudut sudu dapat dilihat pada persamaan 4.

$$T = F \,.\, r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

$$T = P_{act} \,.\, \omega \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

$$\omega = 2\,\pi.\frac{N}{60} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

3. Daya Potensi

   Daya hidrolik ialah daya yang dihasilkan dari turbin air sesuai dengan perancangan yang dilakukan meliputi dengan nilai dari keringgian jatuh air (*head*), berikut adalah persamaannya.

$$P_{pt} = \rho \,.\, g \,.\, Q \,.\, H \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

4. Daya Aktua

   Daya aktual merupakan daya yang dihasilkan dari perancangan turbin yang dapat ditransmisikan oleh poros, persamaannya adalah sebagai berikut

$$P_{act} = 2\,\pi.N.\frac{T}{60} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

5. Efisiensi

   Nilai dari efisiensi didapatkan dari hasil pembagian dari daya turbin dengan daya hidrolik dikalikan dengan 100. Berikut persamaannya

$$\eta = \frac{P_{act}}{P_{pt}}\, x\, 100\% \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

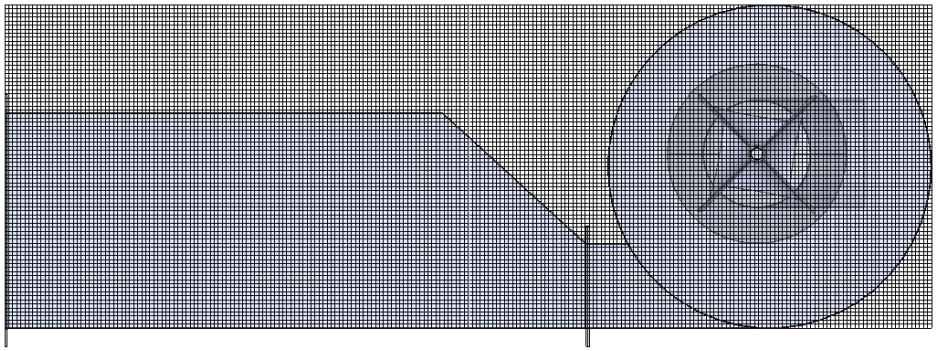
   (Prasetyo W.D., 2018)

Simulasi Analisis Turbin Vortex Menggunakan CFD pada Software Solidworks

Perangkat lunak CFD yang digunakan pada penelitian kali ini ialah perangkat lunak Solidworks Flow Simulation yaitu simulasi aliran tambahan untuk perangkat lunak Solidworks. Pertama dilakukan pembuatan lid sebagai acuan untuk input dan output dari boundary condition, setelah itu dilakukan penyetingan wizzard yang perlu diperhatikan

ialah settingan wizzard internal karna aliran terjadi didalam geometri dan pemilihan jenis alirannya ialah air.

Konsistensi hasil akan didapatkan atau dioptimalkan dengan cara menyempurnakan ukuran dari grid mesh. Tes mesh independent adalah untuk mengidentifikasi ukuran grid yang terbaik untuk memastikan hasil simulasi yang konsisten, dimana jumlah mesh yang akan diuji sebanyak 227,478 mm. (Muhammad Qamaran Abdul Aziz et al., 2021)

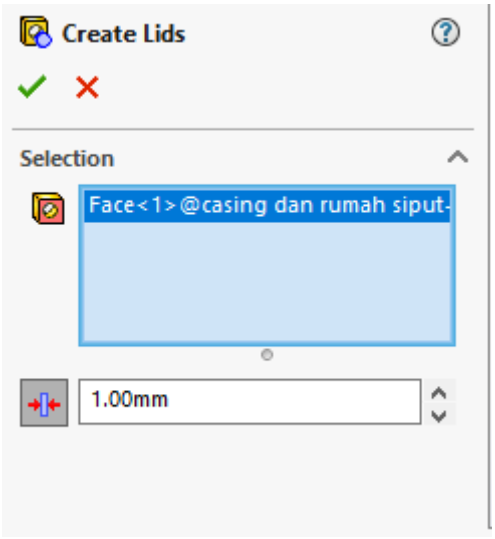


Gambar 3. Tampilan mesh global turbin

Berikut ini merupakan langkah-langkah dari simulasi analisis turbin vortex.

1. Pembuatan lid

   Lid berguna untuk set up dari boundary condition nantinya yang mana membutuhkan dua buah lid sebagai acuan input dan output dari boundary condition. Berikut merupakan bentuk dari pembuatan lid pada software solidworks:

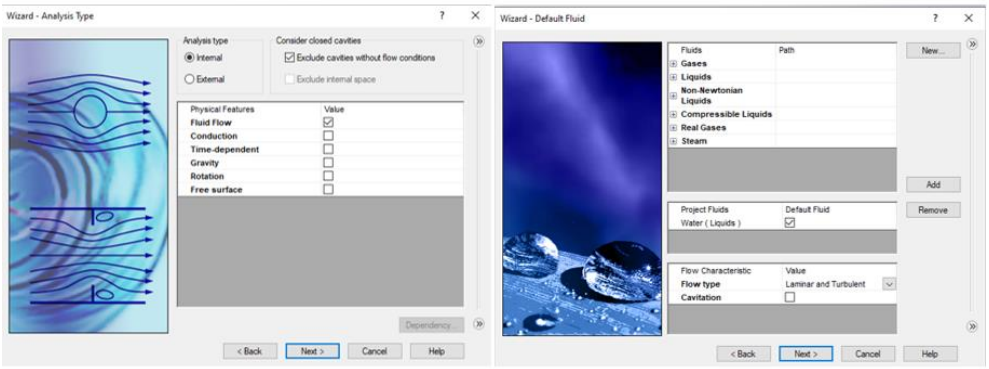



Gambar 4. Pembuatan Lid

2. Settingan dari wizard

   Beberapa yang perlu diperhatikan dal

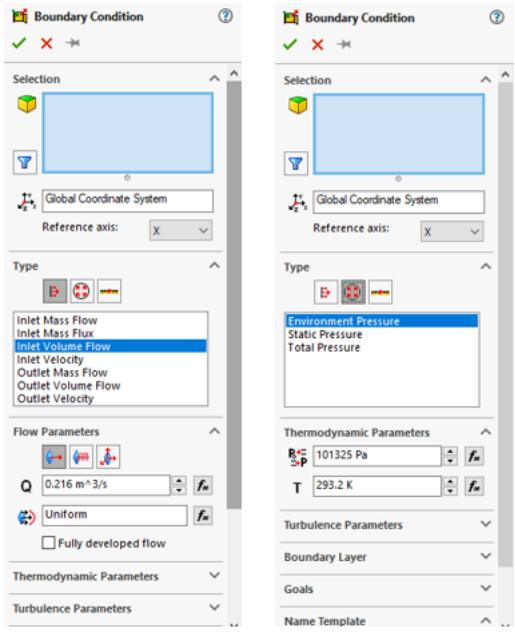
   am setting wizard yaitu tipe analisis closed channel aatau internal serta jenis fluida yang akan digunakan yaitu air. Berikut merupakan settingan dari wizard:




Gambar 5. Setting Wizard

3. Set up Boundary Condition

   Boundary Condition yang akan diinputkan sesuai berdasarkan data yang didapatkan pada survey kondisi lapangan yaitu memasukkan nilai dari debit sebesar 0,216 $m^3/s$ sebagai debit masuk serta input dari bagian boundary condition yang pertama. Selanjutnya dilakukan set up boundary condition kedua yang mana ini merupakan bagian dari output yaitu tekanan yang dikeluarkan dari output. Berikut merupakan set up dari boundary condition pada software solidworks

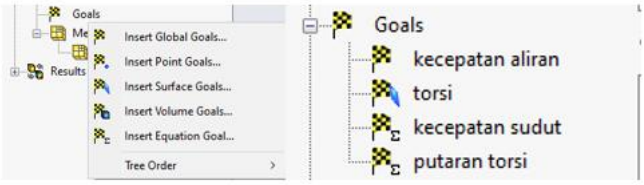



a. Inlet Boundary Condition  b. Outet Boundary Condition

Gambar 6. Set up Boundary Condition

4. Penentuan Goals

   Pada penelitian kali ini goals yang akan dicari ialah kecepatan aliran pada global goals, torsi terhadap sumbu Y yang mana perputaran turbin terjadi pada sumbu Y dan berlawanan dengan arah jarum jam, sehingga hal tersebut mengakibatkan nilai dari torsi yang didapatkan nantinya bernilai negatif atau minus. Selanjutnya memasukkan goals surface untuk menentukan torsi yang didapatkan ialah dari putaran sudu bukan torsi secara umum. Goals selanjutnya ialah kecepatan sudut dan putaran turbin yaitu dengan memasukkan rumus dari masing-masing goals tersebut. Berikut merupakan penentuan dari goals pada software solidworks:




Gambar 7. Penentuan Goals

5. Meshing

   Pada penelitian ini mesh yang akan digunakan ialah global mesh 7 dengan ukuran grid 227,478 mm. Semakin rapat penggunaan sel mesh makan hasil yang akan didapatkan semakin akurat sehingga hal ini akan menambah waktu untuk penyelesaian running simulasi.

6. Run

   Menjalankan simulasi untuk mendapatkan parameter atau goals yang telah kita tentukan sebelumnya.

## HASIL

### Data dan Hasil Pengujian

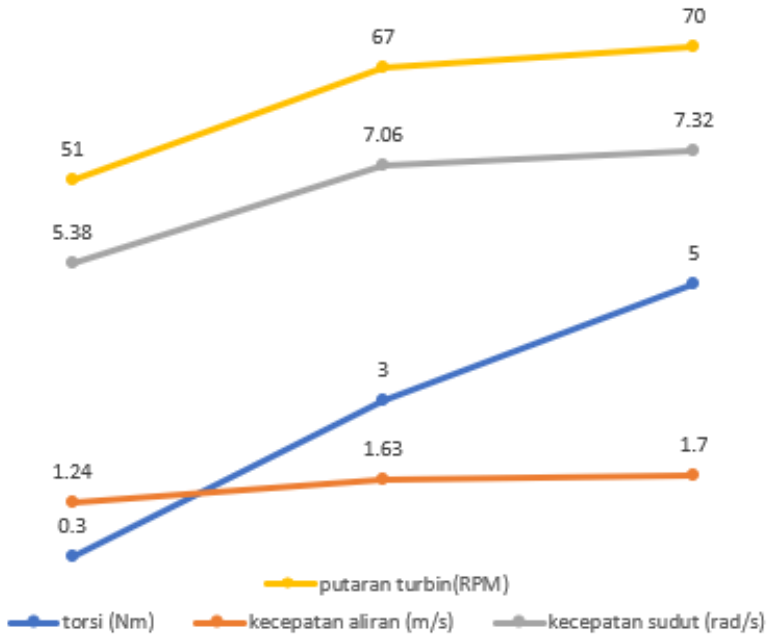
Penelitian ini dilakukan menggunakan metode simulasi *Computational Fluids Dynamic* (CFD) dengan mengatur *inlet* air yang masuk sesuai dengan lokasi lapangan yaitu di Kuranji Hulu, Sungai Geringging, Pariaman. Survey lokasi yang dilakukan dengan mengukur kelajuan aliran air sebesar 0,22 m/s dan luas penampang 0,132 $m^2$. Dengan menggunakan persamaan 3 diperoleh debit air sebesar 0,03 $m^3$/s. Pada *setup running simulation boundary condition* diatur menggunakan *inlet volume flow* sebesar 0,03 $m^3$/s dan *outlet preassure*. Pada hasil simulasi diperoleh data dari torsi, kecepatan aliran, kecepatan sudut dan putaran

turbin. Hasil data pengujian menggunakan *running* simulasi *Flow Simulation solidworks* dapat dilihat pada tabel 1

**Tabel 1.** Hasil Simulasi *Flow Simulation Solidworks*

| Jumlah sudu | Torsi (Nm) | Kecepatan aliran (m/s) | Kecepatan sudut (rad/s) | Putaran turbin (rpm) |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 0,3 | 1,24 | 5,38 | 51 |
| 4 | 3 | 1,63 | 7,06 | 67 |
| 5 | 5 | 1,7 | 7,32 | 70 |

Jika dilihat pada grafik, hasil simulasi *Flow Simulation Solidworks* adalah sebagai berikut




**Gambar 8.** Grafik hasil running simulasi

Berdasarkan tabel data dan grafik hasil simulasi *Flow Simulation Solidworks* diatas dapat dilihat bahwa masing-masing dari variasi jumlah sudu mempengaruhi nilai dari torsi, kecepatan aliran, kecepatan sudut dan putaran turbin. Setelah mendapatkan data tersebut dapat diketahui nilai dari daya efektif dari masing-masing variasi jumlah sudu menggunakan persamaan 7.

**1. Daya Efektif Turbin Vortex dari variasi jumlah sudu**

a) Sudu 3

$$P = 2\,\pi . N . \frac{T}{60}$$

$$P = 2\,.3{,}14\,.51\,.\ \frac{0{,}3}{60}$$

$$P = 1{,}6\ watt$$

b) Sudu 4

$$P = 2\,\pi . N . \frac{T}{60}$$

$$P = 2\,.3{,}14\,.67\,.\ \frac{3}{60}$$

$$P = 21{,}038\ watt$$

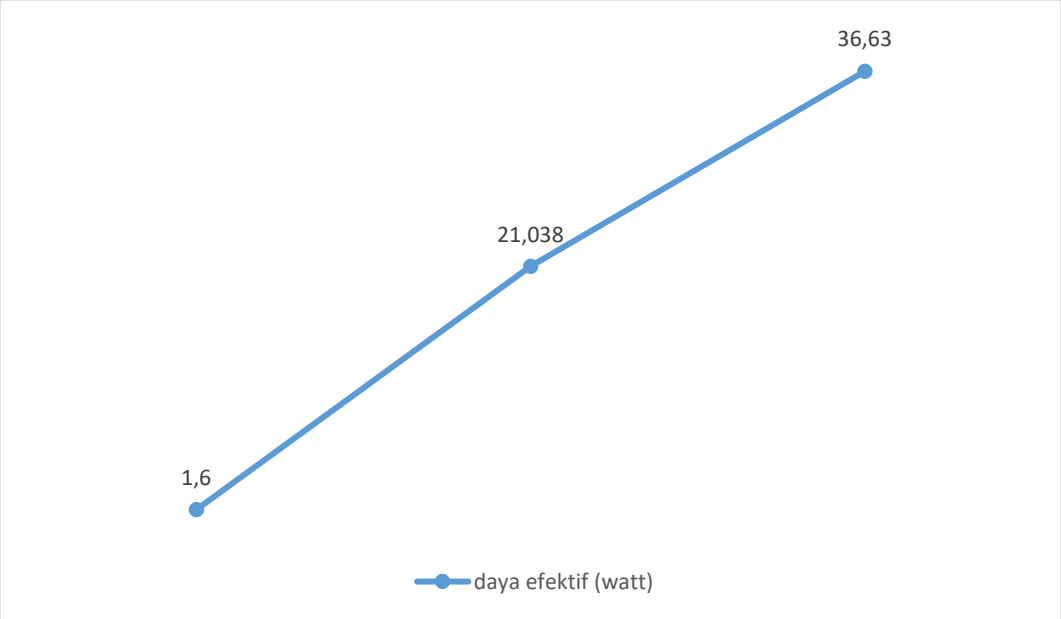
c) Sudu 5

$$P = 2\,\pi . N . \frac{T}{60}$$

$$P = 2\,.3{,}14\,.70\,.\ \frac{5}{60}$$

$$P = 36{,}63\ watt$$

Berikut ini merupakan grafik dari daya efektif dari masing-masing variasi jumlah sudu




**Gambar 9.** Grafik Daya Efektif dari masing-masing variasi jumlah sudu

Dapat dilihat pada grafik diatas semakin banyak jumlah sudu maka daya yang dihasilkan akan semakin besar, karna itu dipengeruhi oleh nilai torsi dan putaran turbin. Pada hasil running simulasi menggunakan *Flow Simulation Solidworks*

didapatkan juga bahwa semakin banyak jumlah sudu maka nilai dari torsi dan putaran turbin akan semakin besar, maka hal ini akan mempengaruhi juga dari nilai daya efektif.

**2. Daya Potensial Turbin Vortex dari variasi jumlah sudu**

Dengan menggunkan persamaan 9 didapatkan nilai dari daya potensial turbin vortex sebagai berikut

$$P_{pt} = \rho \,.\, g \,.\, Q \,.\, H$$

$$P_{pt} = 1000 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}03 \,.\, 0{,}6$$

$$P_{pt} = 176{,}58\ watt$$

**3. Efisiensi Turbin Vortex dari variasi jumlah sudu**

Untuk mencari nilai efisiensi dari masing-masing variasi jumlah sudu dapat menggunakan persamaan 10, berikut ini merupakan perhitungan dari nilai efisiensi dari masing-masing variasi jumlah sudu.

a) Sudu 3

$$\eta = \frac{P_{act}}{P_{pt}}\ x\ 100\%$$

$$\eta = \frac{1{,}6}{176{,}58}\ x\ 100\%$$

$$\eta = 0{,}9\ \%$$

b) Sudu 4

$$\eta = \frac{P_{act}}{P_{pt}}\ x\ 100\%$$

$$\eta = \frac{21{,}038}{176{,}58}\ x\ 100\%$$

$$\eta = 11{,}91\ \%$$

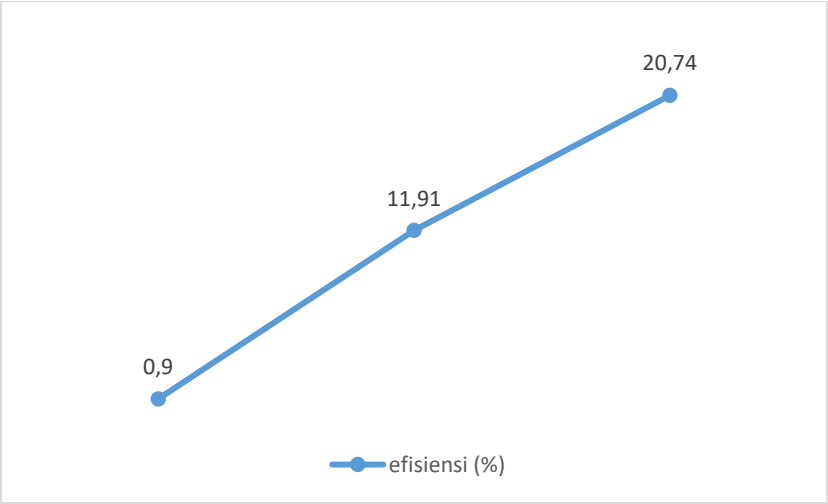
c) Sudu 5

$$\eta = \frac{P_{act}}{P_{pt}}\ x\ 100\%$$

$$\eta = \frac{36{,}63}{176{,}58}\ x\ 100\%$$

$$\eta = 20{,}74\ \%$$

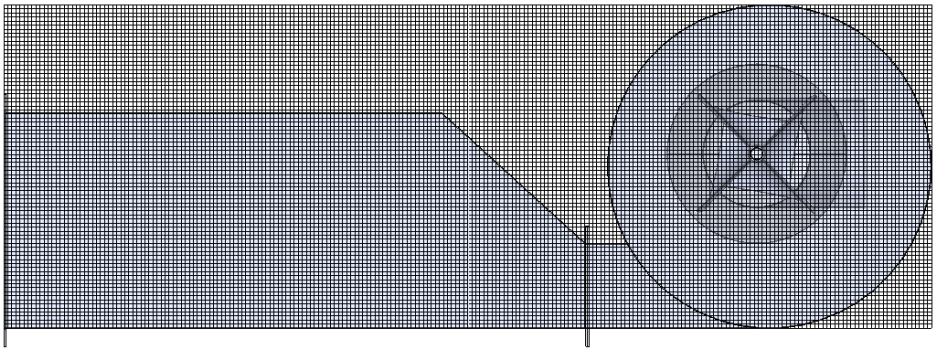
Berikut ini merupakan grafik efisiensi dari masing-masing variasi jumlah sudu pada turbin vortex.




**Gambar 10.** Grafik efisiensi variasi jumlah sudu dari turbin vortex

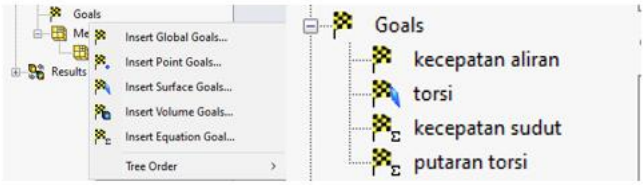
**4. Performasi Turbin Vortex secara Numerik Menggunkan Simulasi CFD**

Simulasi CFD terdiri dalam beberapa proses, berdasarkan dari proses mesh yang dijalankan, ukuran *grid mesh* sebesar 227,478 mm. Dimana semakin kecil ukuran dari *grid mesh* maka akan semakin akurat hasil yang didapatkan dari running simulasi CFD sehingga nilai dari *grid mesh* sangat mempengaruhi hasil dari simulasi turbin vortex. Namun semakin kecil ukuran dari *grid mesh* maka waktu yang diperlukan untuk menjalankan simulasi akan semakin lama juga, untuk itu hasil yang didapatkan tetap tidak akan seperti dilapangan akan tetapi nilainya sudah mendekati dari hasil yang sebenarnya. Hasil *meshing* dianalisis dengan model turbulen K-epsilon karna cocok untuk mengidentifikasi efek pada permukaan.



**Gambar 11.** Ukuran mesh yang dipakai sebesar 227,478 mm
(Muhammad Qamaran Abdul Aziz et al., 2021)

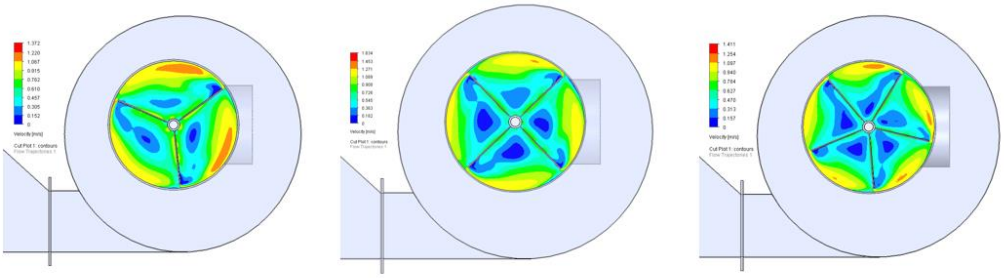
Pada proses *setup boundary condition* terdiri atas *inlet* yang menggunakan *inlet volume flow* sebesar 0,03 $m^3/s$ dan oulet yaitu *preassure outlet*. Simulasi dilakukan dengan mencari 4 goals yaitu *global velocity*, torsi terhadap sumbu Y karna sudu berputar pada sumbu Y, kecepatan sudut yang didapatkan menggunakan *equation goals* dengan input persamaan 5 dan yang terakhir ialah mencari putaran turbin menggunakan *equation goals* dengan input persamaan 6. Berikut *setting goals* yang akan dicari pada *running* simulasi *Flow Simulation Solidworks*.




**Gambar 12.** goals running simulasi *Flow Simulation Solidworks*

## 5. Hasil Simulasi *Flow Simulation Solidworks*

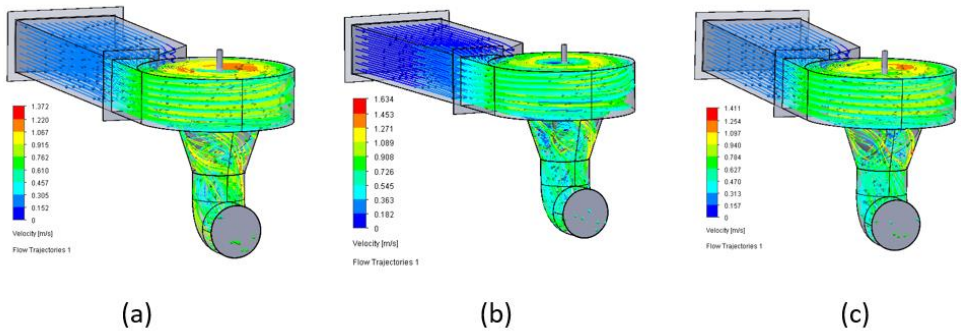
Hasil simulasi menggunakan *Flow Simulation Solidworks* telah diketahui. Simulasi ditampilkan dalam bentuk *contour* pada *top plane* dari masing-masing variasi jumlah sudu. Berikut ini merupakan gambar dari *contour velocity* dari masing-masing variasi jumlah sudu.




**Gambar 13.** Contour Velocity (a) sudu 3 (b) sudu 4 (c) sudu 5

Contour diatas memperlihatkan kita bahwa *velocity* yang terjadi pada sudu 3 sebesar 1,24 m/s, sudu 4 sebesar 1,63 m/s dan sudu 5 sebesar 1,7 m/s. Dari data diatas variasi jumlah sudu juga mempengaruhi nilai dari *velocity* atau kecepatan aliran.

Hasil dari simulasi juga menampilkan bentuk aliran yang terjadi pada turbin vortex, Gambar 4.6 merupakan *Flow Trajectories* dari masing-masing variasi jumlah sudu turbin vortex.




**Gambar 14.** *Flow Trajectories* (a) sudu 3 (b) sudu 4 (c) sudu 5

## PEMBAHASAN

### Analisa Berdasarkan Data Hasil Pengujian

1. Hasil dari simulasi *Flow Simulation Solidworks* menghasilkan nilai dari kecepatan atau *velocity*. Nilai dari *velocity* yang didapatkan yaitu pada sudu 3 sebesar 1,24 m/s, sudu 4 sebesar 1,63 m/s sdan sudu 5 sebesar 1,7 m/s. Nilai dari kecepatan itu bukanlah hasil dari secara keseluruhan dikarenakan bentuk dari sudu yang mempunyai geometri yang tidak lurus sehingga air yang jatuh akan mempunyai kecepatan yang berbeda diiringi dengan gaya jatuh atau gaya vortex serta belum disertakan dengan gesekan-gesekan air didalam turbin, namun hasil yang didapatkan sudah mendekati dari nilai yang sebenarnya.
2. Torsi yang dihasilkan oleh simulasi diketahui melalui running iterasi yang mendekati angka nol disertakan dengan ukuran *mesh* yang digunakan, data torsi yang dihasilkan ialah sudu 3 sebesar -0,3 Nm, sudu 4 sebesar -3 Nm dan sudu 5 sebesar -5 Nm. Nilai negatif yang didapatkan karena putaran turbin yang terjadi ialah berputar berlawanan dengan arah jaram jam serta berputar pada sumbu Y.
3. Kecepatan sudut yang didapatkan merupakan kalkulasi dari persamaan 5 yang mana hubungan antara kecepatan sudut dan kecepatan linear adalah kecepatan linear dibagi dengan jari-jari sudu maka menghasilkan nilai dari kecepatan sudut. Data kecepatan sudut yang didaptkan dari masing-masing variasi jumlah sudu ialah sudu 3 sebesar 5,38 rad/s, sudu 4 sebesar 7,06 rad/s dan sudu 5 sebesar 7,32 rad/s.

4. Putaran turbin didapatkan dari kalkulasi dari persamaan 6 yang dapat disederhanakan menjadi N = $\omega$ . 9,6 maka putaran turbin yang didaptkan ialah sudu 3 sebesar 51 RPM, sudu 4 sebesar 67 RPM dan sudu 5 sebesar 70 RPM.
5. Daya efektif dari masing-masing sudu dipengaruhi oleh nilai putaran turbin dan torsi, sehingga hasil dari daya efektif untuk sudu 3 sebesar 1,6 watt, sudu 4 sebesar 21,038 watt dan sudu 5 sebesar 36,63 watt.
6. Efisiensi turbin vortex berdasarkan variasi jumlah sudu yang paling besar diperoleh dari sudu 5 sebesar 20,74%, diikuti dengan sudu 4 sebesar 11,91% dan yang paling kecil yaitu sudu 3 sebesar 0,9%.

**Pembahasan Hasil Pengujian**

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan bahwa diketahui daya potensi dari turbin vortex yaitu sebesar 176,58 yang didapatkan dari persamaan 9 yaitu dipengaruhi oleh besar dari debit air yaitu sebesar 0,03 $m^3$/s dan besar head yaitu 0,6 m. Maka hasil yang paling tepat untuk efisiensi yang paling tinggi diperoleh oleh jumlah sudu 5 diikuti dengan sudu 4 dan yang paling kecil ialah sudu 3.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Agustha et al., 2022) diperoleh efisiensi tertinggi ialah pada jumlah sudu yang terbanyak ialah sudu 9 sebesar 2,92%. Pada penelitian tersebut dilakukan menggunkan variasi jumlah sudu 3, 5 dan 9 serta memiliki desain *casing* yang berbeda dengan yang penulis lakukan. Namun dalam konsepnya memiliki kesamaan yaitu efisiensi tertinggi terdapat pada jumlah sudu yang paling banyak. Walaupun penelitian ini hanya dilakukan menggunakan simulasi dari *software* namun hasil yang didaptkan cukup baik dan mendekati hasil yang sebenarnya.

**KESIMPULAN**

1. Melakukan simulasi numerik merupakan sebuah kegiatan yang sangat kompleks dan perlu perhitungan yang matang. Parameter yang mempengaruhi hasil dari data diantaranya adalah pemilihan *grid mesh*, *setup boundary condition*, dan pemilihan dari model turbulensi yang akan digunakan. Simulasi numerik tidak akan bisa mendapatkan hasil yang sebenarnya namun sudah bisa mendekati dari hasil yang sebenarnya. Dalam melakukan simulasi numerik menggunakan *software solidworks* terlebih dahulu kita membuat rancangan desain 3D. Setelah

itu melakukan simulasi pada *tools Flow Simulation* dengan langkah-langkahnya dimulai dari pembuatan *lid*, *setup wizzad*, *setup boundary condition*, penentuan *goals* yang akan dicari, pemilihan *mesh* yang akan digunakan lalu *running* simulasi.

2. Pengaruh variasi jumlah sudu terhadap uji kinerja yang dihasilkan pada turbin vortex meliputi dari parameter data torsi, kecepatan aliran, kecepatan sudut dan putaran turbin. Data yang dihasilkan pada sudu 3 yaitu nilai torsi sebesar 0.3 Nm, kecepatan aliran sebesar 1,24 m/s, kecepatan sudut sebesar 5,38 rad/s, dan putaran turbin sebesar 51 RPM. Pada sudu 4 didapatakan data torsi sebesar 3 Nm, kecepatan aliran sebesar 1,63 m/s, kecepatan sudu sebesar 7,06 rad/s dan putaran turbin sebesar 67 RPM. Terakhir pada sudu 5 data yang didapatkan data torsi sebesar 5 Nm, kecepatan aliran sebesar 1,7 m/s, kecepatan sudut sebesar 7,32 rad/s dan putaran turbin sebesar 70 RPM. Dari data yang didapatkan tersebut diperoleh efisiensi turbin vortex menggunakan analisis analtik untuk efisiensi yang paling besar terdapat pada sudu 5 sebesar 20,74%, diikuti oleh sudu 4 sebesar 11,91% dan efisiensi yang paling kecil terdapat pada sudu 3 sebesar 0,9%.

**Saran**

1. pada saat melakukan penelitian terhadap *running* simulasi numerik menggunkan *software soliworks* hendaknya menggunakan perangkat yang lebih memadai dan mendukung agar hasil yang didapatkan akan lebih optimal.
2. Penggunaan *mesh* yang akan dipakai pada *running* simulasi harus lebih diperhitungkan lagi karna simulasi numerik itu banyak sekali parameter yang dapat mempengaruhi dari hasil data yang akan didapatkan, sehingga perhitungan yang tepat terkait *setup* simulasi akan sangat diperlukan.

## DAFTAR PUSTAKA

Agustha, K. R., Jasa, L., & Suartika, I. M. (2022). Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan Menggunakan Turbin Vortex. *Jurnal SPEKTRUM*, *9*(3), 26–28.

Ashwin, P., & King, G. P. (1995). Streamline topology in eccentric Taylor vortex flow. *Journal of Fluid Mechanics*, *285*, 215–247. https://doi.org/10.1017/S0022112095000528

Chen, J., Yang, J., Li, Z., Fan, X., Zi, Y., Jing, Q., Guo, H., Wen, Z., Pradel, K. C., Niu, S., & Wang, Z. L. (2015). Networks of Triboelectric Nanogenerators for Harvesting

Water Wave Energy: A Potential Approach toward Blue Energy. *ACS Nano*, *9*(3), 3324–3331. https://doi.org/10.1021/acsnano.5b00534

Chitrakar, S., Dahlhaug, O. G., & Neopane, H. P. (2018). Numerical investigation of the effect of leakage flow through erosion-induced clearance gaps of guide vanes on the performance of Francis turbines. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, *12*(1), 662–678. https://doi.org/10.1080/19942060.2018.1509806

Cucitore, R., Quadrio, M., & Baron, A. (1999). On the effectiveness and limitations of local criteria for the identification of a vortex. *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, *18*(2), 261–282. https://doi.org/10.1016/S0997-7546(99)80026-0

Eckhardt, B., Schneider, T. M., Hof, B., & Westerweel, J. (2007). Turbulence Transition in Pipe Flow. *Annual Review of Fluid Mechanics*, *39*(1), 447–468. https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.39.050905.110308

Escudier, M. (1988). Vortex breakdown: Observations and explanations. *Progress in Aerospace Sciences*, *25*(2), 189–229. https://doi.org/10.1016/0376-0421(88)90007-3

Griffiths, R. W., & Linden, P. F. (1981). The stability of vortices in a rotating, stratified fluid. *Journal of Fluid Mechanics*, *105*(1), 283. https://doi.org/10.1017/S0022112081003212

Hemmat Esfe, M., Bahiraei, M., Torabi, A., & Valadkhani, M. (2021). A critical review on pulsating flow in conventional fluids and nanofluids: Thermo-hydraulic characteristics. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *120*, 104859. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104859

Hussain, A., Arif, S. M., & Aslam, M. (2017). Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *71*, 12–28. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.033

Majdalani, J., & Chiaverini, M. J. (2009). On steady rotational cyclonic flows: The viscous bidirectional vortex. *Physics of Fluids*, *21*(10). https://doi.org/10.1063/1.3247186

Muhammad Qamaran Abdul Aziz, Juferi Idris, & Muhammad Firdaus Abdullah. (2021). Simulation Of the Conical Gravitational Water Vortex Turbine (GWVT) Design in Producing Optimum Force for Energy Production. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *89*(2), 99–113. https://doi.org/10.37934/arfmts.89.2.99113

Nasruddin, Idrus Alhamid, M., Daud, Y., Surachman, A., Sugiyono, A., Aditya, H. B., & Mahlia, T. M. I. (2016). Potential of geothermal energy for electricity generation in Indonesia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *53*, 733–740. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.032

Oh, T. H., Pang, S. Y., & Chua, S. C. (2010). Energy policy and alternative energy in Malaysia: Issues and challenges for sustainable growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(4), 1241–1252. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.12.003

Pali, B. S., & Vadhera, S. (2021). A novel approach for hydropower generation using photovoltaic electricity as driving energy. *Applied Energy*, *302*, 117513. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117513

Prasetyo W.D. (2018). *Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya*. 13–19.

Wang, X., Zhao, B., Ye, Q., & Su, Y. (2020). Wet flue gas desulfurization using micro vortex flow scrubber: Characteristics, modeling and simulation. *Separation and Purification Technology*, *247*, 116915. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116915

Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Bürer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, *35*(5), 2683–2691. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.001

Zhao, Z., Jiang, R., Feng, J., Liu, H., Wang, T., Shen, W., Chen, M., Wang, D., & Liu, Y. (2022). Researches on vortex generators applied to wind turbines: A review. *Ocean Engineering*, *253*, 111266. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111266