

KAJIAN SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS POLA ALIRAN AIR DALAM TURBIN VORTEX PADA VARIASI SUDUT TAKIK

Ishak Danus, Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana
Prodi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Turbin Vortex merupakan jenis teknologi energi terbarukan dengan memanfaatkan air sebagai sumber energinya. Turbin Vortex dapat digunakan pada daerah yang memiliki head mulai dari 0,7m. Penelitian dan pengembangan Turbin Vortex mulai dilakukan pada tahun 2004. sudut takik merupakan parameter penting yang mempengaruhi performa Turbin Vortex. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu simulasi computational fluid dynamic dengan melakukan variasi pada sudut takik di kanal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pola aliran air yang meliputi kontur kecepatan dan kontur tekanan dan performa Turbin Vortex yang meliputi torsi, daya output dan efisiensi.

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa kontur kecepatan berbanding terbalik dengan kontur tekanan. Nilai kecepatan berbanding lurus dengan semakin besarnya sudut takik, sedangkan nilai tekanan berbanding terbalik dengan semakin besarnya sudut takik. Efisiensi tertinggi terdapat pada variasi sudut takik 15° sebesar 6.11% Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada sudut takik 7° dengan nilai efisiensi 2,69%.

Kata kunci: Computational Fluid Dynamic, Turbin vortex, Sudut Takik, Pola Aliran, Peforma Turbin

Abstract

Vortex turbines are a type of renewable energy technology by utilizing water as a source of energy. Vortex turbines can be used in areas that have heads ranging from 0.7m. Research and development of Vortex Turbines began in 2004. notch angle is an important parameter that affects the performance of Vortex Turbines. The method used in this research is computational fluid dynamic simulation by varying the notch angle in the canal. This study was conducted to determine the water flow pattern which includes velocity contours and pressure contours and Vortex Turbine performance which includes torque, output power and efficiency.

The results obtained show that the velocity contour is inversely proportional to the pressure contour. The speed value is directly proportional to the greater the notch angle, while the pressure value is inversely proportional to the greater the notch angle. The highest efficiency is found in the 15 ° notch angle variation of 6.11% while the lowest efficiency is found at a notch angle of 7 ° with an efficiency value of 2.69%.

Keywords: Computational Fluid Dynamic, Vortex turbine, Notch Angle, Flow Pattern, Turbine Performance

1. Pendahuluan

Penggunaan energi fosil menyebabkan terjadinya kenaikan emisi gas rumah kaca sehingga iklim menjadi tidak stabil. Sehingga dibutuhkan energi terbarukan salah satunya air. ketersediaan air di Indonesia mencapai 694 miliar M^3 dan hanya 23% yang baru dimanfaatkan dari jumlah yang ada. Dimana 20% untuk memenuhi penggunaan air rumah tangga dan industri serta 80% sebagai kebutuhan memenuhi perairan irigasi. Ketersediaan air di Indonesia tersebar di Sumatera, Jawa, Kalimantan dan Bali.^[1]

Microhydro sering digunakan untuk memanfaatkan air dengan tinggi *head* tinggi. Namun aliran air tidak selalu memiliki *head* yang tinggi, seperti irigasi dan sungai yang memiliki *head* rendah belum bisa digunakan secara baik. Karena itu

dibutuhkan turbin untuk memanfaatkan air dengan head yang rendah.^[2]

Turbin Vortex merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan pusaran air sebagai penggerak sudunya. Turbin Vortex sering dimanfaatkan pada daerah yang memiliki *head* rendah.^[3]

Pada jurnal yang ditulis oleh Dhakal (2018) telah meneliti perbandingan bentuk runner datar dan cekung dengan sudut takik 10° didapatkan nilai efisiensi turbin vortex sebesar 71% pada runner cekung.^[4]

Dari penelitian itu yang telah melakukan penelitian perbandingan bentuk runner, sehingga pada penelitian ini akan menggunakan variasi sudut takik dengan menggunakan metode simulasi CFD Ansys Fluent.

Permasalahan yang terdapat pada penelitian ini, meliputi:

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut takik terhadap, kontur kecepatan dan kontur tekanan pada turbin *vortex*?
 2. Bagaimana pengaruh variasi sudut takik terhadap performa turbin meliputi torsi, daya output dan efisiensi?
- Batasan ditetapkan pada penelitian ini meliputi:
1. Simulasi CFD menggunakan aliran satu fasa dengan fluidanya adalah *water-liquid* (H₂O).
 2. Jumlah sudu *runner* turbin adalah 5 sudu.
 3. Posisi *runner* 1/3 tinggi basin.
 4. Penelitian ini mengabaikan *head loss*.
 5. Kecepatan aliran fluida diasumsikan 0.25 m/s.
 6. Simulasi dilakukan pada kondisi *steady state*.
 7. Tinggi basin 610 mm.

2. Dasar Teori

2.1 Persamaan Velocity Tangensial, Putaran, Torsi, Daya Output Dan Efisiensi

1. *Velocity Tangensial* (V_t):

$$V_t = \frac{2\pi r}{T} \quad (1)$$

2. Putaran (N):

$$N = 60.f \quad (2)$$

3. Torsi (τ):

$$\tau = F.r \quad (3)$$

4. Daya Output:

$$P_{turbin} = 2\pi.N.\tau/60 \quad (4)$$

5. Efisiensi:

$$\eta = P_{turbin}/P_{Pt} \times 100\% \quad (5)$$

Simbol dan keterangan:

T	= Periode (s)
N	= Putaran (rad/s)
f	= Frekuensi (1/s)
F	= Gaya pada poros (N)
r	= Jari-jari poros (m)
τ	= Torsi (Nm)
η	= Efisiensi (%)
P_{turbin}	= Daya turbin (Watt)
P_{Pt}	= Potensi daya air (Watt)

2.2 Meshing

Meshing merupakan tahapan menjadikan komponen menjadi bentuk elemen kecil. Tahap ini sangat penting dalam simulasi fluent maupun struktur, karena kualitas mesh yang baik akan menghasilkan nilai akurasi yang tinggi terhadap hasil simulasi yang

didapatkan. *Meshing* dilakukan dengan membuat penamaan *domain* untuk memudahkan dalam membentuk *cell* atau elemen kecil sehingga dapat diselesaikan persamaan-persamaan dalam simulasi. Kualitas mesh yang baik pada geometri dilihat dari nilai *skewness* dan *orthogonality*-nya seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. *skewness* merupakan bentuk *cell* pada bagian luar komponen dan *orthogonal* merupakan bentuk *cell* pada bagian dalam komponen.

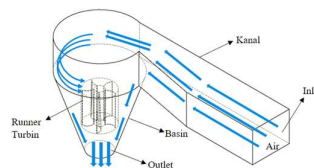
Tabel 1. Skewness dan Orthogonality

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

3. Metode Penelitian

Skema penelitian ditunjukkan pada gambar 2:



Gambar 1

Variabel penelitian:

1. Variabel bebas
Perubahan sudut takik pada kanal dari Turbin $7^{\circ}, 9^{\circ}, 11^{\circ}, 13^{\circ}, \text{ dan } 15^{\circ}$.
2. Variabel kontrol
 1. Kecepatan aliran fluida 0.25 m/s.
 2. Luas penampang kanal 0,04 m² pada masing-masing variasi pengujian.
 3. Dimensi basin.
3. Variabel terikat
 1. Fenomena aliran meliputi kontur kecepatan dan kontur tekanan.
 2. Performansi turbin vortex meliputi Torsi, Putaran, Daya turbin, dan Efisiensi.

Prosedur penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Simulasi turbin vortex tanpa runner
 - o Membuat geometri turbin vortex menggunakan Solidwork Pro 2022
 - o Pendefinisian model pada spaceclaim.
 - o Meshing menggunakan Fluent Meshing dengan input seperti pada table 2.

Tabel 2 Meshing

No	Meshing	Type/Quality
1	Mesh	Poly-hexacore
2	Skewness	Good (<0,8)
3	Orthogonal	Good (>0,20)
4	Minimum Size	1 mm
5	Maximum Size	7 mm
6	Size Functions	Curva & Proximity
7	Size Method	Global

- o Melakukan setup, dimana pada *general* untuk *gravitational acceleration* diisi 9.8 m/s². Kemudian pada models menggunakan *SST k-omega* untuk turbulensinya. Pada material, memasukan jenis fluida yang digunakan yaitu *water-liquid* (H₂O). Parameter *water-liquid* ditunjukan pada tabel 3.

Tabel 3 Parameter *water liquid*

Massa jenis	Konstan	998,2 kg/m ³
Viskositas	konstan	0,001003 kg/m.s

- o Input material *name water-liquid* pada bagian *cellzone condition*.
 - o Pada bagian metode memilih *scheme SIMPLE*.
 - o Pada *report definition* memilih data yang dibutuhkan yaitu kecepatan tangensial.
 - o Kalkulasi simulasi aliran turbin *vortex* pada Ansys Fluent.
 - o Memverifikasi hasil simulasi dengan nilai residual < 10⁻³
 - o Melakukan *post processing* dan analisis data simulasi
2. Simulasi turbin vortex dengan runner
- Membuat geometri turbin *vortex* menggunakan Solidwork Pro 2022.
 - Pendefinisain model pada *spaceclaim*.
 - Meshing pada geometri turbin *vortex* dengan Fluent with Meshing 2023 R1. Parameter *meshing* ditunjukan pada tabel 1.
 - Setup, dimana pada *general* untuk *gravitational acceleration* di isi 9.813 m/s². Kemudian pada models menggunakan *SST k-omega* untuk turbulensinya. Memasukkan jenis fluida yang digunakan yaitu *water-liquid* (H₂O).
 - Setup di *cell zone condition*. pada bagian domain berputar mengubah material menjadi *water liquid*, menghidupkan *frame motion* dan memberikan nilai *rotational velocity*. Kemudian pada domain statik hanya mengubah material menjadi *water liquid*.

- Setup *boundary conditions* berupa *velocity inlet* dan *hydraulic diameter* pada inlet.
- Pada bagian metode memilih *scheme SIMPLE*
- Pada *report definition* memilih data yang dibutuhkan yaitu torsi.
- Kalkulasi untuk simulasi pada turbin *vortex*.
- Memverifikasi hasil simulasi dengan nilai residual < 10⁻³
- Menganalisi data yang didapatkan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Simulasi turbin vortex tanpa runner

Kualitas mesh, residual, dan konvergensi ditunjukkan pada Tabel 4, Tabel 5 dan Gambar 3.

Tabel 4 Hasil *meshing*

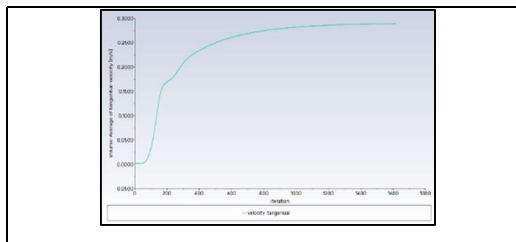
Sudut takik	Maximum skewness	Minimum orthogonality	Jumlah Cells	Kualitas Mesh
7°	0.42557029	0.20	305402	Good
9°	0.67648651	0.21	302469	Good
11°	0.74409132	0.20	300792	Good
13°	0.72002313	0.20	297942	Good
15°	0.60495227	0.21	298906	Good

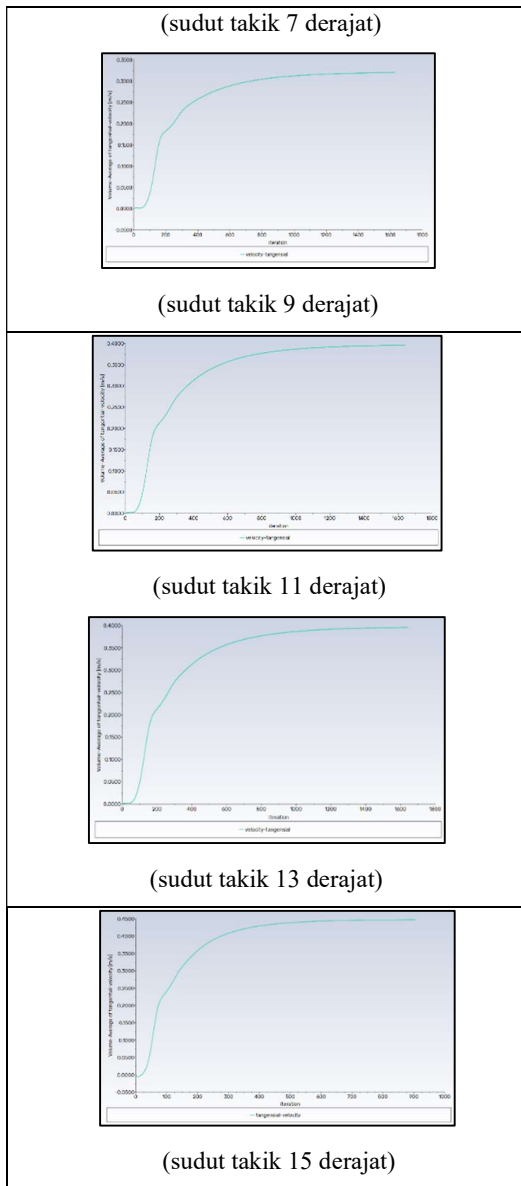
Hasil *meshing* setiap variasi telah mencapai target *meshing* yang diinginkan.

Tabel 5 Hasil residual

Sudut Takik	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	omega
7°	1.5e-06	1.7e-06	4.5e-07	1.6e-06	9.9e-06	3.3e-06
9°	1.4e-06	1.6e-06	3.8e-07	1.6e-06	9.9e-06	3.0e-06
11°	2.5e-06	1.6e-06	3.4e-07	1.5e-06	9.9e-06	2.9e-06
13°	1.9e-06	1.4e-06	2.6e-07	1.4e-06	9.9e-06	2.4e-06
15°	8.5e-07	7.8e-07	1.1e-07	7.7e-07	9.9e-06	1.8e-06

Hasil residual menunjukkan nilai eror yang ingin dicapai pada setiap variasi.





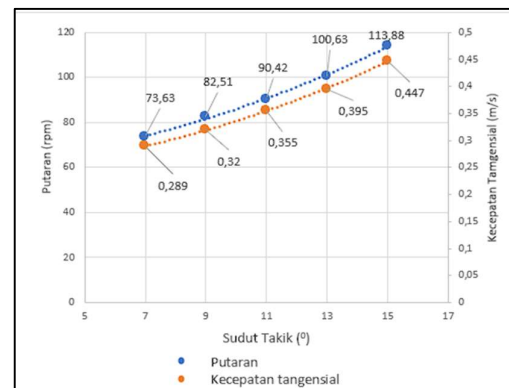
Gambar 2 Konvergensi

Pada gambar 2 menunjukkan grafik konvergensi dimana semakin datar maka semakin cepat mencapai nilai konvergensi yang diinginkan.

Hasil simulasi turbin vortex tanpa runner didapatkan kecepatan tangensial yang dapat dikonversikan dengan persamaan 2.1 menjadi putaran (rpm). berikut merupakan table data kecepatan tangensial dan putaran.

Tabel 6 Velocity tangensial dan putaran

Sudut Takik (°)	Velocity Tangensial (m/s)	Putaran (Rpm)
7 °	0,289	73,63
9 °	0,320	81,52
11°	0,355	90,42
13°	0,395	100,63
15°	0,447	113,88



Gambar 3 Grafik velocity tangensial dan putaran

Pada Gambar 3 Terlihat grafik putaran dan kecepatan tangensial menunjukkan trend naik ini disebabkan oleh sudut takik yang semakin besar. karena semakin besar sudut takik maka area penampang aliran sebelum masuk ke basin semakin mengecil sehingga menyebabkan meningkatnya kecepatan aliran dan membuat aliran vortex yang ada pada basin semakin baik pula.

4.2. simulasi turbin vortex dengan runner

Kualitas mesh, residual, dan konvergensi ditunjukkan pada Tabel 7, Tabel 8 dan Gambar 4.

Tabel 7 Hasil meshing

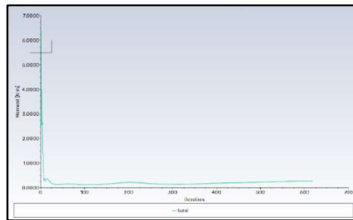
Sudut takik (°)	Maximum skewness	Minimum orthogonality	Jumlah Cell	Kualitas
7	0.73376126	0.20	728567	Good
9	0.76574752	0.20	738905	Good
11	0.71115081	0.20	731441	Good
13	0.74023471	0.20	732365	Good
15	0.61041917	0.20	708937	Good

Hasil meshing setiap variasi telah mencapai target meshing yang diinginkan.

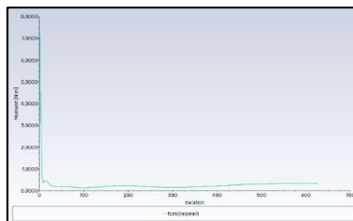
Tabel 8 Hasil residual

Sudut Takik	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	omega
7°	2.7e-05	1.8e-04	1.5e-04	1.8e-04	9.9e-04	4.7e-04
9°	2.9e-05	1.9e-04	1.5e-04	1.9e-04	9.9e-04	4.9e-04
11°	2.8e-05	1.3e-04	1.2e-04	1.4e-04	9.9e-04	4.5e-04
13°	4.3e-05	1.6e-04	1.8e-04	1.8e-04	9.9e-04	6.3e-04
15°	3.4e-05	1.4e-04	1.2e-04	1.4e-04	9.9e-04	5.4e-04

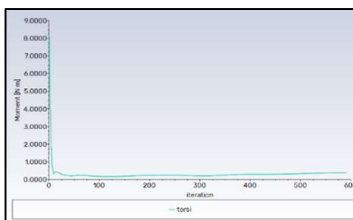
Hasil residual menunjukkan nilai eror yang ingin dicapai pada setiap variasi.



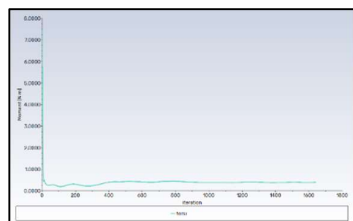
(sudut takik 7 derajat)



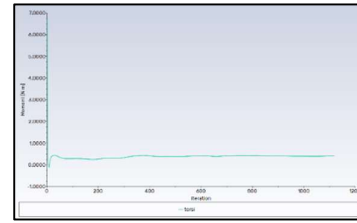
(sudut takik 9 derajat)



(sudut takik 11 derajat)



(sudut takik 13 derajat)



(sudut takik 15 derajat)

Gambar 4 Konvergensi

Pada gambar 4 menunjukkan grafik konvergensi dimana semakin datar maka semakin cepat mencapai nilai konvergensi yang diinginkan.

4.3 Performa turbin vortex

Performa turbin menjadi hal yang penting dalam penelitian ini untuk menjawab rumusan masalah yang ada. Performa turbin vortex pada penelitian ini diantaranya meliputi torsi, daya input, daya output, dan efisiensi. Berikut merupakan tabel data performa dari turbin vortex dengan runner.

Tabel 9 Torsi dan daya input

Sudut Takik	Torsi (Nm)	Daya Input
7°	0,227	79,31
9°	0,334	79,31
11°	0,371	79,31
13°	0,397	79,31
15°	0,407	79,31

Tabel 10 Daya output

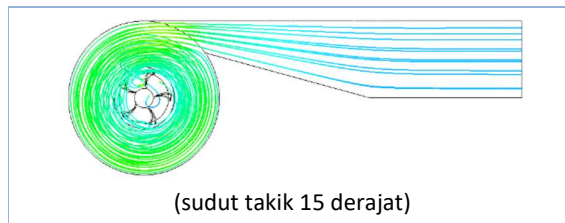
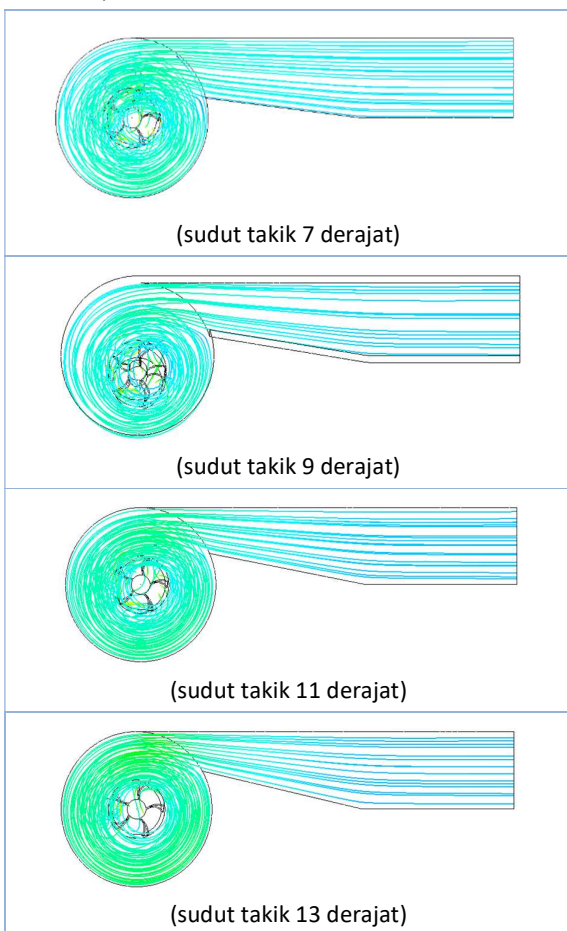
Sudut Takik	Daya Output (watt)
7°	2,134
9°	2,849
11°	3,511
13°	4,181
15°	4,851

Tabel 11 Efisiensi Turbin Vortex

Variasi Sudut Takik	Efisiensi (%)
7°	2,69%
9°	3,59%
11°	4,42%
13°	5,27%
15°	6,11%

4.4 Pola aliran turbin vortex

Pola aliran air ditunjukkan oleh streamline hasil simulasi. Aliran fluida yang baik terlihat dari rapatnya dan teratur bentuk dari streamline pada area sudut takik maupun basin. Pola aliran yang baik diharapkan dapat memutar runner secara optima. Pola aliran paling optimal terjadi pada variasi sudut takik 15°. Hal ini ditunjukkan dengan kecepatan aliran yang tinggi sehingga efisiensi dari turbin *vortex* memiliki nilai yang paling tinggi diantara variasi yang lain yaitu senilai 6,11%



Gambar 5 Streamline

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian simulasi CFD turbin *vortex* variasi tinggi basin 390mm, 400mm, 410mm, 420mm, dan 430mm maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

1. Sudut takik yang membesar menyebabkan kontur kecepatan meningkat dan kontur tekanan mengalami penurunan.
2. Performa turbin meningkat dengan semakin membesarnya sudut takik. Pada penelitian ini nilai torsi, daya output dan efisiensi tertinggi terdapat pada variasi sudut takik 15 derajat dengan nilai 0,407 Nm, 4,851 Watt dan 6,11%. Nilai torsi, daya output dan efisiensi terendah terdapat pada variasi sudut takik 7 derajat dengan nilai 0,227 Nm, 2,134 Watt dan 2,69%.

Daftar Pustaka

- Acharya, S., Kumar Ghimire, S., & Dura, H. B. 2019, *Design Study of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant with Conical Basin*.
- Gusti Muttaqin, I., Sucipta, M., & Suarda, M. 2022, simulasi Computational Fluid Dynamic Pada model turbin *Vortex* variasi kecepatan rotasi runner. *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, 1(8), 1445–1454.
- Dhakal, R., Bajracharya, T. R., Shakya S. R., Kumal, B., Khanal, k., Williamson, S. J., Gautam S., & Ghale D. P. 2018. *Computational and Experimental Investigation of Runner for Gravitational Water Vortex Power Vortex Power Plant*.



Ishak Danus

menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.

Judul tugas akhir kajian simulasi computational fluid dynamics pola aliran air dalam turbin vortex pada variasi sudut takik