

## PENGARUH VARIASI DESAIN SUDU TERHADAP KARAKTERISTIK HIDRODINAMIKA TURBIN AKSIAL VORTEX ULTRA LOW HEAD MENGGUNAKAN METODE CFD

1,2,3,4) Program Studi S1  
Teknik Mesin, Universitas  
Tidar, Magelang, Jateng  
56116

Corresponding email <sup>1)</sup> :  
[masnurojak@gmail.com](mailto:masnurojak@gmail.com)

Received: 19.05.2024  
Accepted: 08.06.2024  
Published: 28.06.2024

©2024 Politala Press.  
All Rights Reserved.

Masnurojak Bin Khanif <sup>1)</sup>, Arif Rahman Saleh <sup>2)</sup>, Nurmala Dyah  
Fajarningrum <sup>3)</sup>, Raka Mahendra Sulistiyo <sup>4)</sup>

**Abstrak.** Energi baru terbarukan dikembangkan oleh banyak negara maju karena dampak positifnya. Indonesia memiliki potensi tinggi untuk pembangkit listrik tenaga air dengan turbin vortex aksial, yang efektif pada head rendah. Metode yang digunakan peneliti adalah metode eksperimental, menggunakan simulasi CFD dengan kondisi batas tertentu. Dalam satu variasi blade, dilakukan pengujian sebanyak 18 kali dengan variabel kecepatan (20, 40, 60, 80, 100, 120) RPM dan kemiringan sudu 22,5°, 35°, 40°. Data torsi diambil setelah konvergensi tercapai. Hasil menunjukkan torsi tertinggi pada sudu 22,5° kecepatan 80 RPM sebesar 2,4 N.m dan efisiensi sebesar 57.90% pada 120 RPM dengan. Peneliti menyimpulkan penurunan torsi disebabkan peningkatan aliran vortex yang mengurangi interaksi antara blade dan fluida setelah 80 RPM, sementara peningkatan torsi sebelum 80 RPM terjadi akibat pusaran yang terlalu minim di dalam basin.

**Kata Kunci:** energi terbarukan, turbin vortex aksial, CFD, torsi, kecepatan RPM

**Abstract.** Many advanced countries are developing renewable energy due to its positive impacts. Indonesia has a high potential for hydropower generation using axial vortex turbines, which are effective at low head heights. Researchers use experimental methods, employing CFD simulations with specific boundary conditions. In one blade variation, testing was conducted 18 times with speed variables (20, 40, 60, 80, 100, 120 RPM) and blade angles of 22.5°, 35°, 40°. Torque data was collected after achieving convergence. The results showed the highest torque at 22.5° blade angle and 80 RPM speed, amounting to 2.4 N.m, and efficiency of 57.90% at 120 RPM. Researchers concluded that the decrease in torque is caused by increased vortex flow, reducing interaction between the blade and fluid after 80 RPM. In comparison, the increase in torque before 80 RPM is due to minimal swirling in the basin.

**Keywords:** renewable energy, axial vortex turbine, CFD, torque, RPM speed

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v11i1.279>

### 1. Pendahuluan

Energi baru terbarukan semakin banyak dikembangkan oleh banyak negara maju. Hal ini karena banyaknya dampak positif yang dihasilkan oleh energi baru terbarukan. Pemanfaatan energi baru terbarukan memiliki banyak alasan penting yang melibatkan aspek lingkungan, ekonomi, sosial, dan keberlanjutan jangka panjang. Dengan sumber energi yang semakin menurun ini, Indonesia memiliki potensi sumber daya energi seperti ketahanan, kemandirian, dan kompetensi yang dapat memenuhi kebutuhan orang-orang di negara[1]

Salah satu sumber energi baru yang mempunyai potensi tinggi di Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga air(turbin). Turbin *vortex* aksial merupakan salah satu konversi energi baru terbarukan. Turbin vortex memanfaatkan gaya kinetik pusaran air menjadi daya poros[2].Turbin digunakan dengan ketinggian *head* relatif rendah , jenis turbin ini cocok digunakan di sungai air. Efisiensi maksimum dapat dicapai dengan menggunakan

bilah sebesar mungkin, dengan saluran masuk tidak lebih dari 25 cm, dan hasil yang sesuai dengan 60% dari hasil minimum yang digunakan adalah sekitar 15,1%. [3] Turbin *vortex* merupakan termasuk dalam turbin *microhydro* yang di mana memanfaatkan menggunakan *pressure water* sebagai penggerak *blade*. Menurut [4] Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan aliran air dari sungai atau gunung. Air ini mengalir dan menciptakan pusaran, seperti air yang turun ke saluran pembuangan, pusaran ini semakin kuat saat mendekati lubang di dasar cekungan, hal ini membuat air berputar lebih cepat dan tekanannya turun di bawah tekanan normal, sehingga terbentuk semacam tabung udara di tengah pusaran. Pada turbin *vortex head* mampu berputar dalam kondisi *head* tidak terlalu tinggi yaitu hanya 0,7m – 3m, karena turbin ini memanfaatkan laju aliran air dengan menggunakan *vortex* [5].

Shabara, et al, mempelajari faktor-faktor penting yang mempengaruhi pembangkitan listrik dari daya yang dihasilkan dari pusaran air bebas dengan menggunakan program CFD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan aliran air tertinggi, efisiensi berada pada angka 40% pada 28 RPM dan 38 RPM. [Click or tap here to enter text.](#) Selain itu penelitian yang dilakukan Sritra & suntivarakorn mengeksplorasi jumlah bilah optimal untuk turbin air aksial. Mereka melakukan serangkaian percobaan laboratorium untuk mengevaluasi efisiensi turbin hidrolis dengan jumlah bilah mulai dari 2 hingga 7. Tujuannya adalah untuk menemukan jumlah bilah yang paling ideal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin dengan 5 bilah adalah yang paling efisien. Hal ini disebabkan oleh bahwa turbin ini mampu menghasilkan torsi tertinggi saat dipengaruhi oleh aliran air [7]. [8] Melakukan penelitian variasi sudut  $0^\circ$ ,  $7,5^\circ$ ,  $15^\circ$  dengan sudut kemiringan  $22,5^\circ$  memiliki nilai terbaik, menjelaskan fluida yang masuk memutar sudut tidak mudah keluar sehingga mendorong turbin lebih kuat dan titik awal air jatuh.

Banyak penelitian sebelumnya tentang turbin *vortex* menggunakan metode eksperimental laboratorium yang memiliki keterbatasan dalam memvisualisasikan aliran fluida dan menghasilkan data yang kurang terperinci. [4] Karena aliran udara dan air di sekitar turbin pusaran sangat rumit, ada banyak hal yang sulit diamati secara langsung di lapangan, oleh karena itu, kita membutuhkan studi yang menggunakan komputer untuk mensimulasikan aliran ini. Eksperimen konvensional tidak mampu memberikan gambaran yang jelas tentang pola aliran dan *velocity* di dalam turbin, serta memerlukan waktu dan sumber daya yang besar untuk menguji variasi desain bilah. Sebagai solusi, penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk memodelkan dan mensimulasikan aliran fluida dalam turbin *vortex*. CFD memungkinkan visualisasi detail aliran fluida, analisis distribusi kecepatan lebih terperinci, serta fleksibilitas dalam menguji berbagai variasi desain bilah dengan cepat dan efisien.

Peneliti akan melakukan variasi dari penelitian sebelumnya dengan *blade* kemiringan sudut juga akan mengeksplorasi beberapa variasi desain bilah selanjutnya akan membandingkan bentuk dan geometri ukuran. Sehingga akan didapatkan hasil torsi dan efisiensi mana yang lebih baik dengan variasi perbedaan sudut geometri yang telah dikembangkan dari penelitian sebelumnya.

## 2. Metodologi

Metode pelaksanaan yang digunakan peneliti adalah menggunakan metode eksperimental CFD. Penelitian dilakukan di mana dalam 1 variasi *blade* akan dilakukan pengujian total sebanyak 18 kali dengan dengan variabel kecepatan (20, 40, 60, 80, 100, 120) RPM serta kemiringan sudut  $22,5^\circ, 35^\circ, 40^\circ$  pengambilan data torsi akan dilakukan setelah konvergensi tercapai dalam simulasi.

Terdapat 3 variabel yang digunakan dalam penelitian:

a) Variabel bebas

Variabel adalah suatu variabel yang nilainya dapat berubah secara bebas dan tidak terikat oleh variabel lain dalam suatu percobaan atau penelitian. variabel bebas dengan perbedaan jenis *blade*, kemiringan *blade* serta kecepatan rotasi yang berbeda. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya

- Variabel kecepatan (20, 40, 60, 80, 100, 120) RPM
- Kemiringan sudut  $22,5^\circ, 35^\circ, 40^\circ$
- Kelengkungan variasi *blade* pertama  $30^\circ$ , Kelengkungan variasi *blade* ke dua  $0^\circ$

b) Variabel terkait

Merupakan variabel yang memiliki hubungan atau pengaruh terhadap variabel yang sedang diteliti. variabel bebas di antaranya daya dan efisiensi turbin aliran *vortex* setiap variasi *blade*

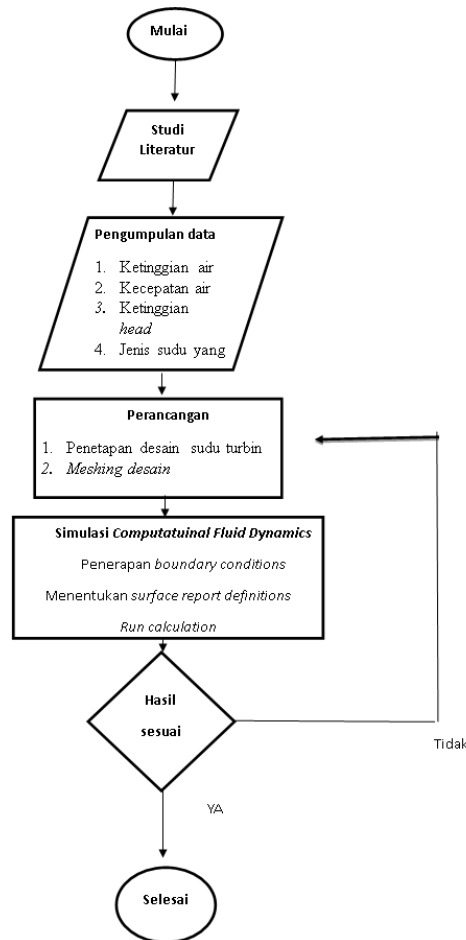
c) Variabel kontrol

Merupakan variabel yang memungkinkan peneliti untuk mengukur dan memantau perubahan yang terjadi selama percobaan. Variabel kontrol pada penelitian ini diantaranya:

- fluida menggunakan air
- Jumlah sudut yang digunakan sebanyak 5 bilah
- Diameter *bensin/stationer* 500 mm
- Diameter *rotary* 300 mm
- *Inlet* lebar dan tinggi 100 mm
- Diameter *outlet* 80mm

- Material *blade* menggunakan *carbon steel*

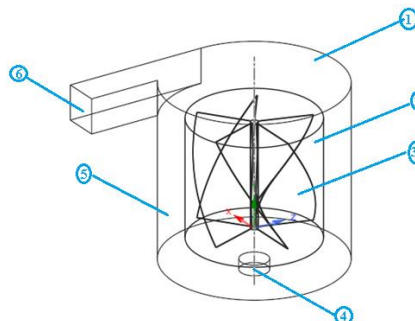
**Tahap Penelitian**



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

*(a) Pre-processing*

Menurut Rumanto & Irfan menyatakan dalam proses simulasi CFD dibagi menjadi 3 langkah yaitu Pre-Processing, Processing, dan Post-Processing[9] Langkah pre-processing ini adalah langkah pertama dalam model komputasi fluida. Ini terdiri dari beberapa sub langkah, seperti membuat geometri menggunakan CAD Inventor, menentukan jenis fluida, meshing, dan menentukan parameter yang digunakan dalam pengumpulan data.

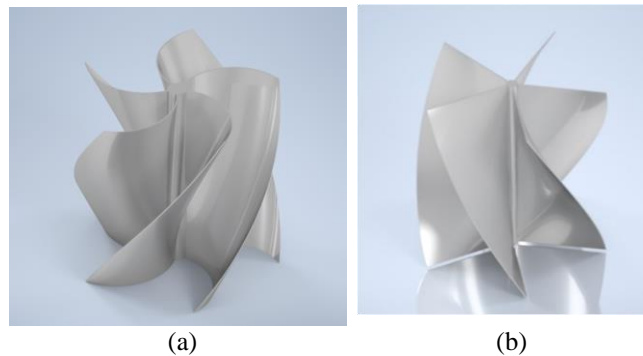


**Gambar 2.** Domain turbin vortex

Keterangan:

- 1. Top/ *symmetry* = Kondisi batas yang mengasumsikan aliran identik di kedua sisi bidang
- 2. Domain *rotary* = mencakup fluida berputar, memodelkan interaksi antara *blade* dan fluida.
- 3. *Blade* = Komponen turbin yang mengubah energi fluida jadi energi mekanik

4. *Outlet* = Titik keluarnya fluida dari domain simulasi
5. *Domain stationer* = Bagian domain yang tidak bergerak
6. *Inlet* = Titik masuknya fluida ke dalam domain simulasi.



**Gambar 3.** Variasi *blade* 1 (a) dan variasi *blade* 2 (b)

(b) *processing*

Proses pemrosesan ini sering disebut sebagai tahapan eksekusi *solver*, di mana persamaan-persamaan yang terlibat dalam simulasi CFD diperlakukan secara iteratif hingga mencapai keadaan konvergen. Tingkat ketepatan dari *solver* ini dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk kondisi batas atau asumsi yang diterapkan, pengaturan *mesh*, serta kesalahan numerik yang dapat muncul baik karena keterbatasan perangkat lunak maupun kesalahan proses [9].

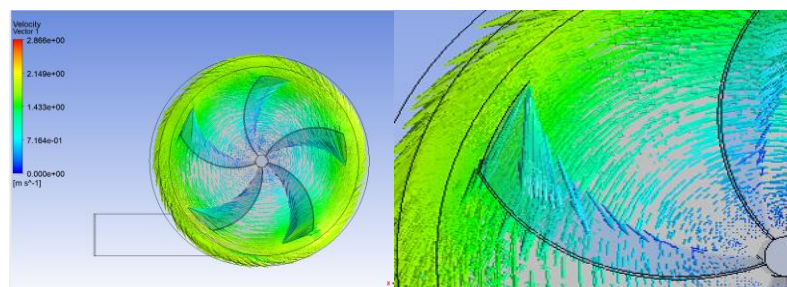
(c) *Post - processing*

Hasil dari tahap *post-processing* ini melibatkan penampilan dan analisis akhir terhadap data hasil simulasi. Dalam tahap ini, dilakukan evaluasi terhadap hasil simulasi yang diperoleh. Di sisi lain, data kualitatif memungkinkan visualisasi aliran dengan tampilan *grid*, jalur, kontur plot, vektor plot, dan kecepatan profil [9].

### 3. Hasil dan pembahasan

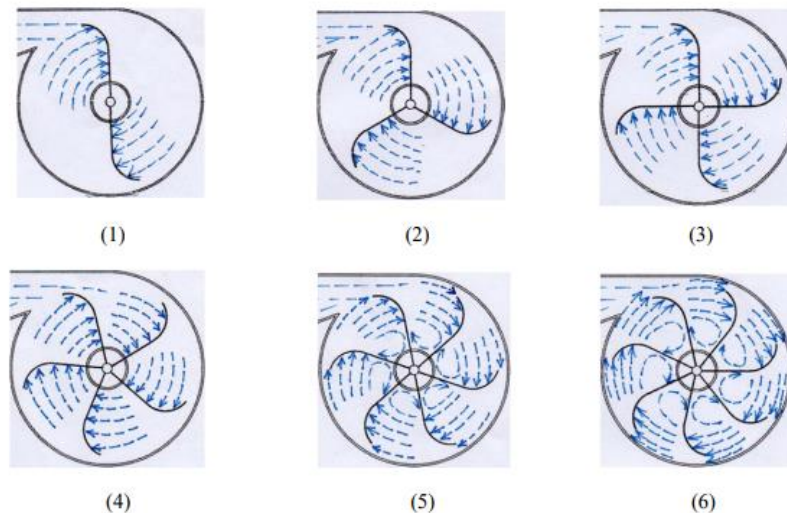
#### Pengujian Variasi Bilah Terhadap Torsi

Torsi turbin *vortex* dihasilkan ketika fluida bergerak melalui turbin dan menyebabkan gaya dorong pada bilah turbin dan menyebabkan bilah tersebut berputar. Pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan sudu yang diberikan maka hasil torsi akan semakin meningkat pada batas kecepatan tertentu. Hal ini dapat terjadi akibat momentum fluida yang terjadi ketika aliran fluida bertabrakan dengan bilah turbin, sehingga terjadi transfer momentum dari fluida ke bilah turbin.



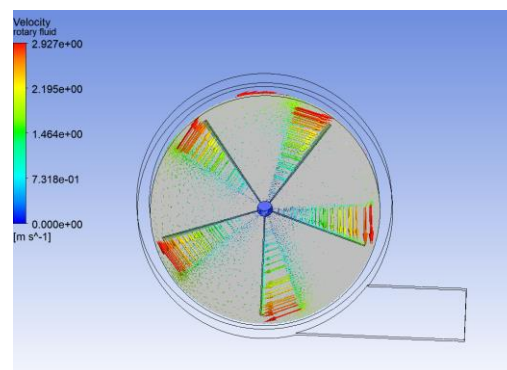
**Gambar 4.** *Vector plane* variasi 2

Gambar 4 *Vector velocity* kecepatan 60 RPM menunjukkan arah aliran fluida menunjukkan inti pusaran. Penelitian yang dihasilkan *blade* variasi 1 mampu menghasilkan torsi yang lebih tinggi sebesar 1.6 N.m dengan *velocity* tertinggi pada sisi luar *blade* memperoleh nilai 2.866 m/s pada kecepatan rotasi 60 RPM, hal ini dapat terjadi akibat bilah melengkung dapat membantu mengarahkan aliran fluida dengan lebih baik seperti pada Gambar 6 sehingga dapat membantu dalam pembentukan dan menjaga aliran *vortex* yang stabil di sekitar bilah.



**Gambar 5.** Sketches of water direction [7]

Hal ini selaras penelitian yang dilakukan oleh [7], dimana *blade* melengkung dapat membantu menjaga aliran vortex serta membuat fluida bergerak mudah menuju inti pusaran.[10] menyebutkan bahwa Desain sudu mempengaruhi kecepatan putaran, bentuk sudu lengkung lebih efisien dari bentuk sudu datar. Torsi juga dapat dipengaruhi oleh kemiringan sudu, pada Gambar grafik 9 menunjukkan bahwa fluida bergerak ke atas beriringan menuju inti pusaran, semakin rendah kemiringan maka semakin besar momentum yang diterima oleh *blade*, hal ini juga [8] bahwa Efisiensi dan torsi tertinggi terdapat pada turbin dengan sudut  $22,5^\circ$  pada kapasitas 7,99867 L/s yaitu 58,77%.



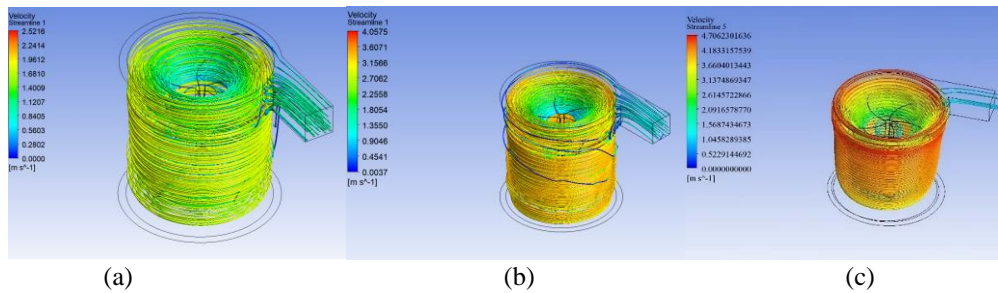
**Gambar 6.** Vector plane variasi 2

Pada variasi *blade* 2 memperoleh kecepatan tertinggi 2.97m/s dan terendah pada 0 m/s di mana dengan kecepatan tersebut *blade* variasi 1 menghasilkan torsi yang lebih rendah, hal ini dapat terjadi akibat bilah tidak maksimal dalam mengarahkan aliran fluida untuk memaksimalkan pembentukan *vortex* di sekitar bilah. Selain hal tersebut *blade* lurus juga memungkinkan turbulensi yang lebih tinggi di sekitar permukaan yang mengurangi efektivitas dalam menghasilkan torsi dan daya.

#### **Pengujian pengaruh *velocity* terhadap torsi yang dihasilkan**

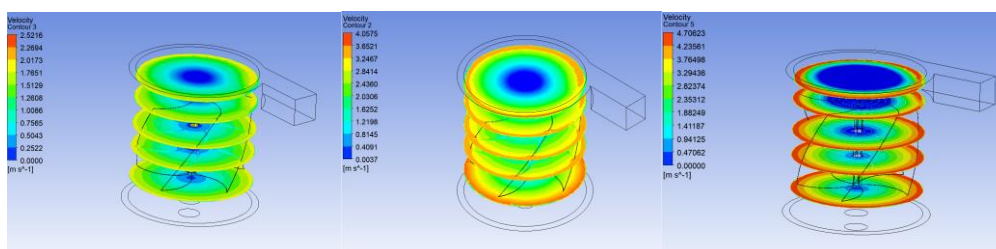
Kecepatan aliran fluida memiliki pengaruh yang besar terhadap torsi yang dihasilkan, di mana kecepatan fluida tersebut akan membentuk tinggi rendahnya aliran *vortex* Semakin besar daya mekanik yang mampu dihasilkan turbin, maka nilai efisiensinya akan semakin besar pula [11].





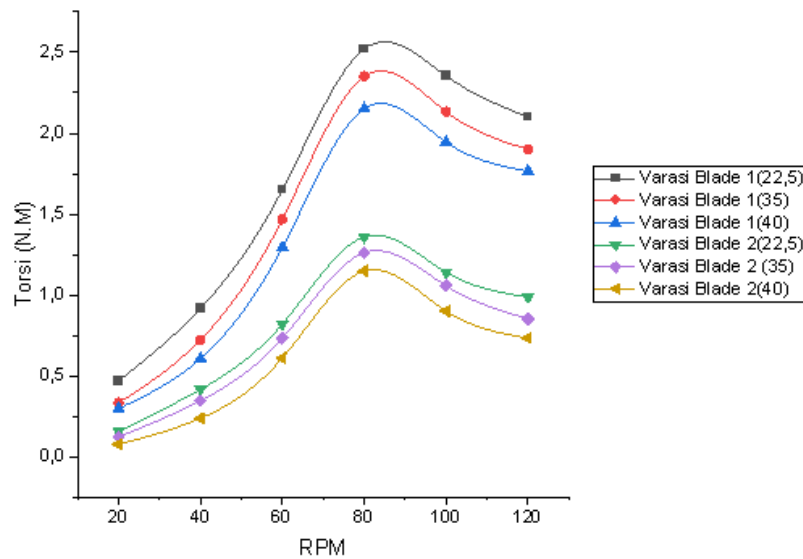
Gambar 7. Velocity 60RPM (a), velocity 80 RPM (b), Velocity 120 RPM (c)

Kecepatan 60 RPM pada Gambar 7 (a) menampilkan kecepatan terendah sebesar 0 m/s dengan warna kontur biru tua dan kecepatan tertinggi sebesar 2.552 m/s disisi *outlet*. kecepatan *outlet* turbin *vortex* lebih tinggi dikarenakan desain serta prinsip momentum *angular*. Desain spiral pada basin memaksa air untuk bergerak dalam lintasan melingkar yang secara alami membentuk inti pusaran, dikarenakan aliran fluida mengalir menuju *outlet* serta ruang *outlet* yang sempit akan membuat peningkatan kecepatan *tangensial* karena efek penyempitan jalur air fluida. Pada Gambar 7 (b) peneliti menentukan batas kondisi domain *rotary* sebesar 100 RPM. Hasil dari Gambar 7 (b) menunjukkan *velocity* tertinggi sebesar 4.057 m/s di mana kecepatan tertinggi berada di sisi dinding domain stasioner seiring mendekati *outlet*, sedangkan pada *velocity* terendah berada di inti pusaran sebesar 0 m/s. pada Gambar 7 (b) menunjukkan peningkatan pusaran dari Gambar 7 (a), hal ini dapat terjadi akibat kecepatan rotasi yang semakin tinggi serta tekanan yang semakin rendah. interaksi antara fluida dan *blade* semakin menurun seiring dengan kecepatan rotasi yang ditetapkan pada kondisi batas tertentu. Gambar 7 (c) menggambar kan pola aliran *velocity* fluida di mana kecepatan tertinggi sebesar 4.7 m/s berada di sisi dinding, sedangkan pada titik terendah berada di tengah aliran sebesar 0m/s, sedangkan pada Gambar 7 (a) menunjukkan kecepatan tertinggi sebesar 2.552 m/s dan terendah 0 m/s pada 60 RPM. Di mana terjadinya peningkatan torsi yang dihasilkan di bawah 80 RPM kecepatan di tetapkan, dari hasil tersebut peneliti menyimpulkan penurunan torsi setelah 80 RPM menciptakan pusaran atau *vortex* pada basin, semakin tinggi kecepatan yang diberikan semakin tinggi *vortex* yang dihasilkan yang akan menyebabkan penurunan torsi pada *blade*, sedangkan peningkatan torsi sebelum 80 RPM terjadi akibat pusaran yang terlalu minim di dalam basin di mana besar *blade* dan tinggi *blade* berpengaruh, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [12] dimana kecepatan tertinggi berada pada kecepatan rotasi 80 RPM, dimana pada kecepatan 70 RPM menghasilkan torsi tertinggi dan 120 RPM menghasilkan torsi terendah terdapat luapan terlalu tinggi pada kecepatan RPM tinggi. Salah satu parameter yang berpengaruh terhadap kinerja turbin *vortex* adalah bentuk sudu dan jarak kedalaman runner[13]. [6] melakukan penelitian dimana hasil torsi tertinggi berada pada kecepatan 80 RPM.



Gambar 8. Plane contour velocity

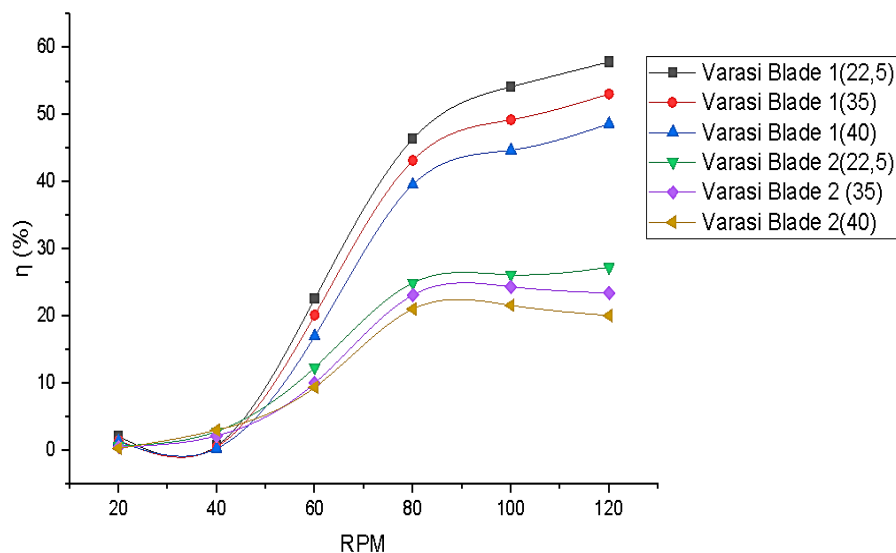
Peneliti melakukan *Plane* sebanyak 5 *plane* pada basin, bertujuan untuk mengamati *velocity* setiap tingkatan di mana setiap tingkatan berjarak 0.07m. Ditunjukkan pada Gambar 8 setiap *plane* akan menunjukkan besar inti pusaran yang tidak seragam akibat pembentukan pusaran pada basin. Dengan hasil kecepatan *plane* tertinggi mendekati *outlet*. [14] menyebutkan bahwa terjadi peningkatan vortisitas yang lebih tinggi di dasar basin.



Gambar 9. Grafik Torsi

Torsi turbin *vortex* dihasilkan ketika fluida bergerak melalui turbin dan menyebabkan gaya dorong pada bilah turbin sehingga bilah tersebut berputar. Pada Gambar 9 ditampilkan bahwa semakin tinggi kecepatan sudu yang diberikan maka hasil torsi akan semakin meningkat pada batas kecepatan tertentu, hal ini dapat terjadi akibat momentum fluida yang terjadi ketika aliran fluida bertabrakan dengan bilah turbin, sehingga terjadi transfer momentum dari fluida ke bilah turbin, besar momentum tersebut dipengaruhi oleh kecepatan fluida, desain serta jarak *blade* dengan outlet. [15] menjelaskan bahwa *tip clearance ratio* atau jarak antara *outlet* dan *blade* akan mempengaruhi torsi yang dihasilkan. Peningkatan torsi hingga 80 RPM dapat terjadi karena pusaran air belum benar-benar mempengaruhi bilah tersebut. Ketika pusaran mulai memengaruhi bilah, hal ini dapat menyebabkan penurunan torsi karena adanya interaksi antara pusaran dan bilah.

#### Pengujian Power Of Vortex Turbin



Gambar 10. Grafik Nilai efisiensi

Pada Gambar 10 dapat di lihat bahwa terjadi peningkatan efisiensi seiring dengan peningkatan kecepatan rotasi, hal ini dapat terjadi akibat kecepatan sentrifugal yang semakin tinggi akan menyebabkan *blade* akan menerima momentum yang lebih tinggi.

Nilai efisiensi di pengaruhi oleh daya air dan kecepatan rotasi, sehingga semakin tinggi hasil torsi semakin tinggi efisiensi yang akan didapat, Di mana efisiensi tertinggi pada *blade* 22,5 versi pertama dengan efisiensi total 57,9% di putaran 120 RPM , hasil ini menunjukkan peningkatan efisiensi dari penelitian sebelumnya yang

dilakukan oleh [5] Di mana *blade* melengkung mendapatkan efisiensi sebesar 29,12 di kecepatan rotasi 80 RPM, penelitian yang dilakukan oleh Nauman Hanif Khan 2016 mendapatkan efisiensi 64% pada kecepatan 120 RPM.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan pada 2 variasi *blade* di dapatkan bahwa *blade* variasi 1 memiliki torsi yang lebih baik, *blade* dengan kelengkungan cenderung mengarahkan aliran fluida dengan lebih efisien sedangkan pada pengujian kemiringan vertikal pada kemiringan 22.5 menghasilkan torsi yang lebih tinggi sebesar 2.48 N.m atau terjadi peningkatan sebesar 15,73%.

Peneliti menemukan setiap kecepatan menunjukkan peningkatan torsi hingga 80 RPM sebelum torsi menurun, pada kecepatan rotasi yang rendah memungkinkan *blade* menerima momentum dari fluida lebih banyak, sedangkan pada 80 RPM menciptakan pusaran atau *vortex* pada basin, semakin tinggi kecepatan yang diberikan semakin tinggi *vortex* yang dihasilkan yang akan menyebabkan penurunan torsi pada *blade* pusaran akibat mengurangi interaksi fluida dengan *blade*.

Hasil dari Power tubin menunjukkan peningkatan efisiensi seiring dengan peningkatan RPM, nilai efisiensi di pengaruhi oleh daya air dan kecepatan rotasi, sehingga semakin tinggi hasil torsi semakin tinggi efisiensi yang akan didapat, Di mana efisiensi tertinggi pada *blade* 22,5 versi pertama dengan efisiensi total 57,9% di putaran 120 RPM .

#### Daftar Pustaka

- [1] S. Y. Kalpikajati and S. Hermawan, "Hambatan Penerapan Kebijakan Energi Terbarukan di Indonesia," *Batulis Civil Law Review*, vol. 3, no. 2, p. 187, Aug. 2022, doi: 10.47268/ballrev.v3i2.1012.
- [2] M. Komaruddin, M. Hasan Basri, and A. Herlina, "Pengaruh Bentuk *Blade* Turbin L Dan S pada Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP) Berbasis Basin Silinder."
- [3] W. F. B. Sudrajad, R. H. Rahmanto, dan Y. Handoyo, "Uji Eksperimen Efisiensi Turbin Reaksi Aliran Vortex Inlet Involut dengan Variasi Diameter Impeller," dalam Seminar FT Sinergi Nasional, 2024.
- [4] N. Maika, W. Lin, and M. Khatamifar, "A Review of Gravitational Water Vortex Hydro Turbine Systems for Hydropower Generation," *Energies*, vol. 16, no. 14. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), Jul. 01, 2023. doi: 10.3390/en16145394.
- [5] M. Suarda, M. Sucipta, and I. G. Muttakin, "Semi Twisted Curve *Blade* Vortex Turbine Performance at Runner Rotation Speed Variation using CFD Simulation," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, vol. 104, no. 2, pp. 26–35, Apr. 2023, doi: 10.37934/arfmts.104.2.2635.
- [6] D. Setyo Pamuji, H. Laksono Nugroho, and D. Sugati, "Studi Numerik Perbandingan Kinerja dan Medan Aliran Turbin Vortex Gravitasi dengan Tipe Sudu Lengkung Backward dan Forward," 2021. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- [7] P. Sritram and R. Suntivarakorn, "The effects of *blade* number and turbine baffle plates on the efficiency of free-vortex water turbines," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, May 2019. doi: 10.1088/1755-1315/257/1/012040.
- [8] H. K. Fitroh dan P. H. Adiwibowo, "Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Melengkung dengan Variasi Sudut Kemiringan," *JTM*, vol. 06, no. 01, pp. 97-104, 2018.
- [9] I. Rumanto and A. Irfan, "ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD) PENYEBARAN PANAS PADA DAPUR PELEBURAN ALUMUNIUM," *JURNAL DEVICE*, vol. 11, no. 1, pp. 34–39.
- [10] H. Komarul Ikhsan, R. Nugroho, D. Gusma Wijaya, and D. Setyo Pamuji, "Kajian Teknologi : Parameter Desain dan Pemodelan Numerik pada Turbin Vortex Berbasis Gravitasi," pp. 140–148, [Online]. Available: <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/>
- [11] G. Pudja Dianda Mayapada, L. Jasa, I. Made Suartika, J. Raya Kampus Unud Jimbaran, K. Kuta Sel, and K. Badung, "RANCANG BANGUN PROTOTYPE TURBIN VORTEX UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)," 2022.
- [12] I. Gusti Muttaqin, M. Sucipta, and M. Suarda, "SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC PADA MODEL TURBIN VORTEX VARIASI KECEPATAN ROTASI RUNNER," *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan*, vol. 1, no. 8, pp. 1445–1454, Jul. 2022, doi: 10.54443/sibatik.v1i8.188.



- [13] I. N. Mariawan, M. Sucipta, and M. Suarda, "Kinerja Turbin Vortex dengan Sudu Semi Twisted Curve," *Jurnal METTEK*, vol. 8, no. 1, p. 53, Jul. 2022, doi: 10.24843/mettek.2022.v08.i01.p07.
- [14] A. S. Saleem *et al.*, "Parametric study of single-stage gravitational water vortex turbine with cylindrical basin," *Energy*, vol. 200, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117464.
- [15] M. Ikbal, K. Anwar, and R. Hatib, "CLEARANCE," *Jurnal Mekanikal*, vol. 13, no. 1, pp. 1317–1323.