



Pengaruh Variasi Jumlah Sudu dan Twist Angle Terhadap Performa Turbin Heliks Menggunakan Metode CFD

Agus Sugiri¹, Fathur Rifai^{2,*}, Muhammad Irsyad¹, Akhmad Riszal¹

¹Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

²Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

*Penulis korespondensi: fathurrifai@gmail.com

INFO ARTIKEL

Kata kunci:

Turbin heliks, CFD, Jumlah sudu, Twist angle.

Keywords:

Helical turbine, CFD, Number of blade, Twist angle.

ABSTRAK

Energi arus air merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang mudah ditemukan seperti saluran irigasi, aliran sungai dan gelombang laut. Selain ramah lingkungan energi arus air juga memiliki intensitas energi kinetik yang cukup besar. Pemanfaatan potensi arus air untuk menghasilkan listrik dapat dilakukan menggunakan turbin heliks. Turbin heliks merupakan bentuk modifikasi dari turbin darrieus, untuk mengatasi kelemahan turbin darrieus sudu pada turbin heliks dibuat berbentuk melengkung dengan kemiringan sudut tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja turbin heliks menggunakan metode CFD. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi terhadap penambahan jumlah sudu dan twist angle pada turbin heliks. Variasi jumlah sudu adalah 2, 3 dan 4 sudu sedangkan variasi twist angle sebesar 60°, 90° dan 120°. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan jumlah sudu dan twist angle berpengaruh positif terhadap performa turbin heliks, terjadi peningkatan nilai torsi yang diperoleh. Penambahan jumlah sudu dan twist angle akan mengakibatkan massa/beban turbin saat berputar semakin tinggi atau yang disebut dengan momen inersia sehingga menghasilkan gaya lebih besar dan torsi meningkat. Hasil simulasi dengan menggunakan variasi jumlah sudu diperoleh performa terbaik pada jumlah sudu 4 dimana C_p yang dihasilkan sebesar 0,287. Pada pengujian dengan variasi twist angle didapat performa terbaik pada sudut 120° dengan nilai C_p yang dihasilkan sebesar 0,312.

ABSTRACT

Hydrokinetic energy is one of the potential renewable energy that is easy to be found, the examples include irrigation canals, streams and sea waves. In addition to being environmentally friendly, water current energy also has a fairly large kinetic energy intensity. Utilization of the potential of water currents to generate electricity can be done using a helical turbine. The helical turbine is a modified form of the Darrieus turbine, to overcome the weakness of the Darrieus turbine, the blades of the helical turbine are made curved with a certain angle of inclination. This study aims to determine the performance of the helical turbine using the CFD method. This research was conducted by simulating the addition of the blades and twist angle on a helical turbine. The variations used for the sum of the blades are 2, 3 and 4 while the twist angle variations are 60°, 90° and 120. The simulation results shows that the addition of the blades and twist angle has a positive effect on the performance of the helical turbine, an increase in the torque value is obtained. The addition of the blades and the twist angle will result in a higher mass/load of the turbine when rotating or what is called the moment of inertia, resulting in greater force and increased torque. Simulation results using variation of the blades obtained the best performance when the sum of blades is 4 where the resulting C_p is 0.287. For twist angle variations tests, the best performance was obtained at an angle of 120° with the resulting C_p value of 0.312.

1. Introduction

Peningkatan pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat di suatu daerah akan sejalan dengan peningkatan kebutuhan akan energi. Keadaan tersebut mendorong manusia untuk terus melakukan eksplorasi dalam hal energi. Adanya keterbatasan sumber daya energi fosil yang tersedia menuntut kita untuk berpikir serta

bertindak cepat dalam mengembangkan dan menggunakan sumber energi terbarukan. Selain itu energi fosil juga tidak ramah lingkungan karena pembakarannya menghasilkan gas CO₂. Salah satu potensi energi terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah energi arus air (*hydrokinetic energy*).



<https://doi.org/10.23960/mech.v15.i1.2024191>

ISSN 2460-1888 (online), 2078-1880 (print)/© 2024.

MECH is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Energi arus air dapat dengan mudah ditemukan seperti pada arus sungai, saluran irigasi dan arus laut. Selain ramah lingkungan energi arus air juga memiliki intensitas energi kinetik yang besar jika dibandingkan dengan energi angin, hal ini dikarenakan densitas air 830 kali lipat densitas udara sehingga dengan kapasitas yang sama turbin air akan jauh lebih kecil dari segi dimensi dibandingkan turbin angin [1].

Di Indonesia telah banyak dikembangkan pembangkit listrik menggunakan energi air sebagai penggerak turbin, namun kebanyakan turbin tersebut memanfaatkan tinggi jatuh air (*head*) yang besar. Untuk itu diperlukan pengembangan turbin air yang mampu beroperasi walaupun tidak memiliki ketinggian jatuh, sehingga dapat diperoleh energi listrik hanya dengan memanfaatkan energi kinetik aliran air. Dengan begitu potensi aliran air yang tidak memiliki *head* dapat benar-benar dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Pemanfaatan potensi arus air untuk menghasilkan listrik dapat dilakukan menggunakan turbin heliks. Turbin heliks adalah turbin yang bekerja tanpa memerlukan ketinggian jatuh air, sehingga turbin heliks ini dapat digunakan pada aliran sungai, saluran irigasi ataupun gelombang air laut yang saat ini belum banyak dikembangkan. Energi ini dinilai memiliki potensi cukup besar sebagai sumber energi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

Penelitian mengenai turbin heliks yang berjudul “Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Heliks Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)” pengujian yang dilakukan yaitu membandingkan tiga bentuk profil sudu yaitu NACA 0021, 0025 dan 0030. Dari hasil pengujian diketahui bahwa sudu NACA 0030 merupakan bentuk sudu yang terbaik dalam menghasilkan daya listrik dan memiliki efisiensi maksimum paling tinggi, mendekati nilai efisiensi maksimum dari pengujian oleh *US Department of Energy and the National Science Foundation* [2].

Pengaruh *twist angle* 60° dan 120° pada pengujian dan analisa numerik turbin heliks dengan profil NACA 0020 diperoleh nilai torsi tertinggi yaitu pada turbin dengan *twist angle* 120° sebesar 0,756 Nm untuk pengujian dan untuk Analisa numerik sebesar 1,359 Nm. Nilai C_p yang diperoleh juga menunjukkan bahwa turbin dengan *twist angle* 120° menghasilkan nilai lebih besar yaitu 31% sedangkan *twist angle* 60° menghasilkan nilai C_p sebesar 27,5% berdasarkan hasil simulasi [3].

Hasil dari berbagai eksperimen telah banyak digunakan untuk merancang berbagai tipe sudu turbin. Namun pengujian secara eksperimen diperlukan seperangkat peralatan dan membutuhkan biaya yang cukup mahal. Dengan bantuan *software Computational Fluid Dynamic (CFD)* diharapkan mampu mempermudah dalam menganalisis dan merancang turbin air yang lebih baik dan lebih murah dari segi biaya perancangan. Penelitian yang akan dilakukan adalah proses pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan simulasi CFD menggunakan *Ansys Fluent* desain turbin heliks model tiga

dimensi (3D) menggunakan airfoil dari *National Advisory Committee for Aeronautics (NACA)* 0030 dengan memvariasikan jumlah sudu serta *twist angle* turbin. Pengembangan yang dilakukan diharapkan diperoleh performa unjuk kerja yang paling optimum dari turbin heliks.

1.1. Turbin Air

Turbin air adalah turbin yang menggunakan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah. Dalam hal tersebut air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran di dalam pipa, energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin, energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin. Dilihat dari segi perubahan momentum fluida kerjanya turbin air dibedakan atas dua golongan utama yaitu:

1.2. Turbin Impuls

Turbin Impuls merupakan turbin air yang memiliki tekanan sama pada setiap sudu gerakannya (*runner*). Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air keluar nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impuls*). Akibatnya rotor turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi, tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin diubah menjadi energi kecepatan.

1.3. Turbin Reaksi

Turbin reaksi bekerja dengan cara penggerak turbin air secara langsung mengubah energi kinetik juga energi tekanan secara bersamaan menjadi energi mekanik. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

1.4. Parameter Rancangan Turbin Heliks

Dalam merancang turbin heliks perlu dilakukan perhitungan yang tepat supaya turbin mampu bekerja dengan baik dan memiliki efisiensi yang besar. Terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam merancang turbin heliks untuk mendapatkan kinerja yang baik diantaranya yaitu seperti soliditas, *Tip Speed Ratio*, profil dan dimensi sudu turbin, torsi, dan daya turbin

1.5. Soliditas dan *Tip speed ratio*

Soliditas adalah karakteristik geometrik turbin yang akan digunakan dalam menghitung gaya *drag* pada bagian *frontal*

sudu turbin heliks. Luas kontak sudu yang mengakibatkan gaya-gaya yang ditimbulkan pada sudu turbin semakin besar dan mengakibatkan meningkatnya efek turbulen pada arus air, dimana pada daerah datangnya arus air (bagian *frontal* turbin) terjadi penurunan kecepatan air. Soliditas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{nC}{\pi d} \quad (1)$$

Dimana:

σ = Soliditas

n = Jumlah sudu

C = Panjang cord (mm)

d = Diameter turbin (mm)

Tip speed ratio adalah rasio kecepatan sudu terhadap kecepatan fluida yang melalui turbin. Gorlov mengemukakan bahwa nilai TSR yang terbaik digunakan untuk turbin heliks adalah sekitar 2,0 – 2,2 [4].

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \quad (2)$$

$$\omega = \frac{2 \pi nt}{60} \quad (3)$$

Dimana:

λ = *Tip speed ratio*

ω = kecepatan sudut (rad/s)

R = Jari-jari turbin (m)

U = Kecepatan air relatif (m/s)

nt = Putaran turbin (rpm)

1.5.1. Torsi

Perhitungan torsi yang dihasilkan turbin dapat menggunakan persamaan:

$$T = F \cdot R \quad (4)$$

Dimana:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya tegak lurus terhadap lengan (N)

R = Jari-jari (m)

1.5.2. Daya turbin

Daya merupakan besar usaha persatuan waktu. Besar daya masukan atau daya air (*hydro*), dapat diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut [5]:

$$P_h = \frac{1}{2} \rho A t V^3 \quad (5)$$

Dimana:

P_h = Daya masukan/*hydro* (Watt)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

$A t$ = Luas penampang turbin (m²)

V = Kecepatan air (m/s)

Daya keluaran atau daya turbin (P_t) yang dihasilkan turbin heliks dapat diperoleh dengan perkalian torsi terhadap kecepatan sudut turbin ω (rad/s). Seperti pada persamaan sebagai berikut:

$$P_t = T \omega \quad (6)$$

Dimana:

P_t = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

1.5.3. Coefficient of power

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya masukan atau daya air (*hydro*), nilai koefisien daya tidak akan melebihi nilai idealnya yaitu 0,59 yang berarti turbin kinetik hanya mampu merubah energi air menjadi energi mekanik kurang dari 60%. Nilai ini disebut dengan *Betz limit*. Persamaan koefisien daya sebagai berikut:

$$C_p = \frac{T \omega}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad (7)$$

Dimana:

C_p = *Coeffisient of power*

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

A = Luas penampang turbin (m)

V = Kecepatan fluida (m/s)

1.5.4. Efisiensi

Efisiensi turbin dapat diperoleh dengan membandingkan daya yang dihasilkan oleh turbin (P_t) terhadap daya air (P_h) yang digunakan pada persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_t}{P_h} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana:

η = Efisiensi

P_t = Daya turbin (Watt)

P_h = Daya hidro/air (Watt)

2. Experimental Procedure

2.1. Parameter penelitian

Parameter penelitian untuk melakukan validasi serta simulasi menggunakan acuan data eksperimen yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Simulasi unjuk kerja turbin heliks yang akan dilakukan menggunakan beberapa variasi, yaitu jumlah sudu dan sudut serang. Proses simulasi yang dilakukan menggunakan aplikasi CFD yaitu *Ansys fluent* 20.1.

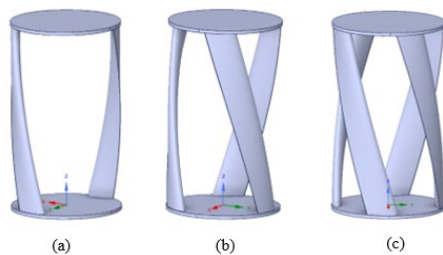
Tabel 1. Parameter turbin

Fitur	Model
<i>Hydrofoil</i>	NACA 0030
Panjang cord	5 cm
Jari-jari turbin	9 cm
Tinggi turbin	30 cm
Jumlah sudu	2, 3 dan 4
<i>Twist angle</i>	60°, 90° dan 120°
Kecepatan alir	1,5 m/s

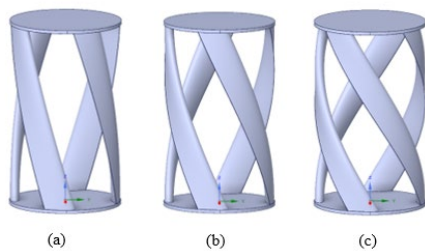
2.2. Proses Simulasi

Proses simulasi turbin heliks dilakukan seperti kondisi pengujian dengan kondisi lingkungan sesuai aktualnya. File model geometri yang telah dihasilkan di *solidwork* lalu dibuka di program *computational Fluid Dynamic* (CFD) menggunakan perangkat lunak *Ansys Fluent*. Secara umum proses simulasi terbagi menjadi tiga tahap yaitu *pre-processing*, *Solver* dan *post-processing*.

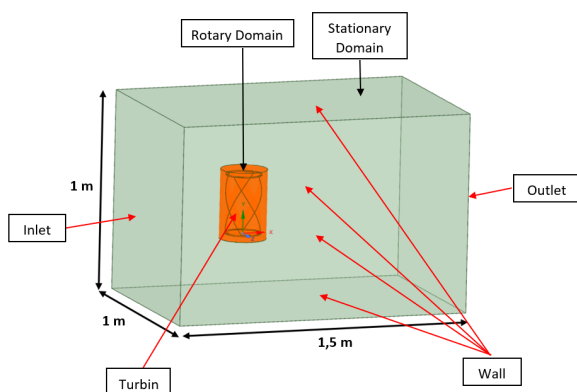
Proses desain geometri menggunakan dimensi seperti yang tertera pada Tabel 1. Untuk saluran fluida menggunakan dimensi 1,5 x 1 x 1 m, berikut desain geometri pengujian yang dibuat.



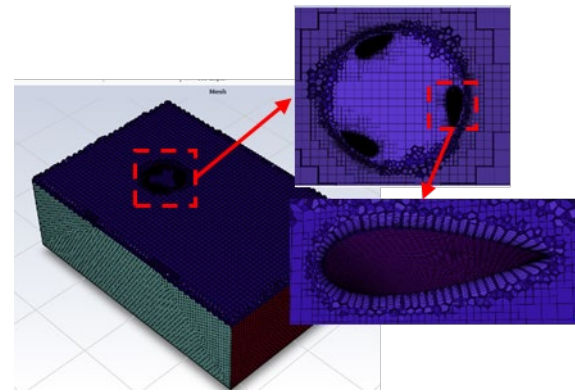
Gambar 1. Variasi jumlah sudu



Gambar 2. Variasi twist angle



Gambar 3. Desain geometri pengujian



Gambar 4. Hasil Meshing geometri

Selanjutnya geometri yang telah dibuat dilakukan proses *meshing*. *Meshing* adalah proses memecah geometri menjadi domain-domain kecil yang disebut sel. Ukuran *mesh* yang terdapat pada suatu objek akan mempengaruhi ketelitian hasil perhitungan CFD. Semakin kecil ukuran *mesh* pada suatu objek, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti. Tipe *mesh* yang dipilih yaitu *poly-hexcore* yang merupakan gabungan antara *polyhedral* dan *hexahedral mesh*. *Mesh* ini dipilih karena dinilai lebih baik dimana *cell* yang dihasilkan lebih sedikit dibanding *mesh* jenis *tetrahedral* namun memiliki kualitas *mesh* yang cukup baik. Pada bagian yang terdapat lengkungan atau membentuk sudut, *mesh* ini akan berbentuk *polyhedral mesh* yang memiliki sifat mampu mengcapture daerah lengkung. Sedangkan untuk daerah yang jauh dari kelengkungan *mesh* akan berbentuk *hexahedral mesh* sehingga jumlah *mesh* keseluruhan yang terbentuk lebih efektif.

Pada tahap solver merupakan tahap pemberian kondisi batas yang dibutuhkan dalam pengujian. Tahap solver terdiri dari beberapa parameter yang digunakan diantaranya:

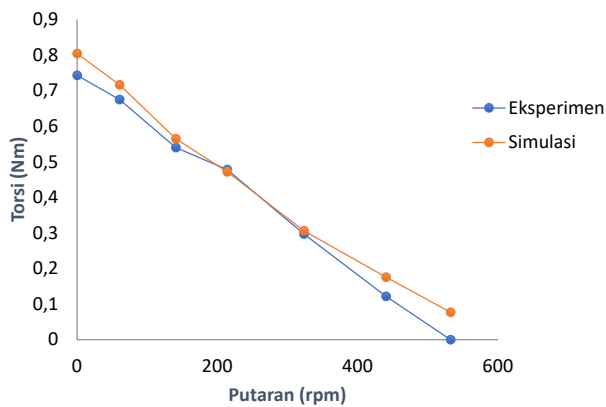
Tabel 2. Kondisi batas simulasi

Boundary	Input	Value
Solver type	Steady, Pressure based MRF, K- ω SST	
Model	ρ	998.2 kg/m ³
Fluid	μ	0,001003 kg/m-s
Inlet	Velocity inlet	1,5 m/s
	Turbulence intensity	5%
	Turbulence viscosity ratio	
	Pressure outlet	10
	Rotating	0 Pa
Outlet	Minimum	y-axis
Blade	Implicit second order	10 ⁻³
Residual		

3. Hasil dan Pembahasan

Data pengujian akan terlebih dahulu dilakukan validasi dengan hasil penelitian secara eksperimen dilakukan oleh Kurniawan (2014) [3]. Validasi dilakukan dengan menerapkan kondisi batas dan geometri seperti pada pengujian aktualnya. Berdasarkan hasil perbandingan nilai rata-rata persentase error menunjukkan bahwa error yang terjadi masih berada jauh dibawah dari kriteria error simulasi

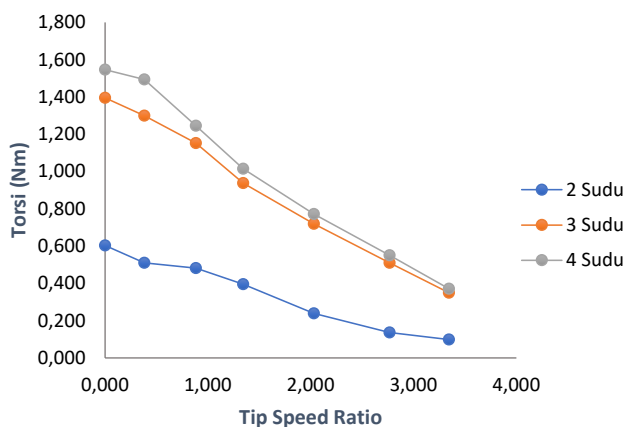
yaitu kurang dari 10%. Sehingga bisa dikatakan hasil simulasi menggunakan *Ansys fluent* cukup sesuai dan mampu memperlihatkan hasil simulasi yang cukup baik. Dengan demikian simulasi dengan menggunakan model penelitian ini dapat digunakan untuk melakukan pengembangan penelitian (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik torsi eksperimen dan simulasi

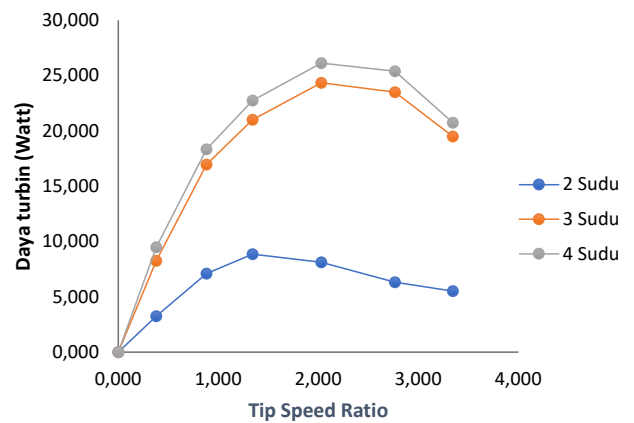
3.1 Simulasi dengan Variasi Jumlah Sudu

Analisis dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja terbaik turbin yang diuji dengan membedakan penggunaan jumlah sudu pada turbin heliks berikut garfik hasil torsi pada pengujian jumlah sudu.



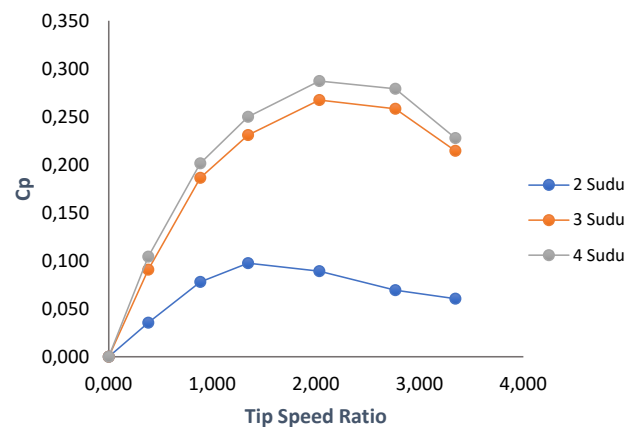
Gamabar 6. Grafik TSR terhadap torsi

Pada Gambar 6 torsi terbesar dihasilkan oleh turbin dengan jumlah sudu 4 dengan nilai torsi yang didapat sebesar 1,546 Nm. Sedangkan pada turbin yang menggunakan 3 sudu torsi terbesar yang dihasilkan yaitu sebesar 1,395 Nm dan pada turbin dengan 2 sudu torsi terbesar yang dihasilkan yaitu sebesar 0,603 Nm. Efek penambahan jumlah sudu berdampak pada peningkatan massa/beban yang diterima turbin saat berputar atau disebut dengan momen inersia. Momen inersia terdiri atas variable massa (kg) dan jari-jari (m). Turbin yang diuji pada penelitian ini memiliki jari-jari yang sama sehingga pembeda diantara ketiganya ialah massa, massa turbin akan meningkat seiring dengan ditambahnya jumlah sudu



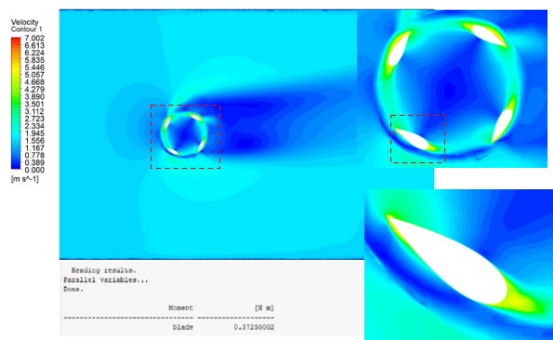
Gambar 7. Grafik TSR terhadap daya turbin

Gambar 7 merupakan grafik pengaruh TSR terhadap daya turbin dapat dilihat nilai daya turbin yang dihasilkan oleh tiap variasi jumlah sudu. Daya turbin terbesar dihasilkan oleh turbin 4 sudu dengan daya turbin yang didapat sebesar 26,132 Watt. Sedangkan pada turbin yang menggunakan 3 sudu daya turbin terbesar yang dihasilkan yaitu sebesar 24,338 Watt dan pada turbin dengan 2 sudu daya turbin terbesar yang dihasilkan yaitu sebesar 8,870 Watt.



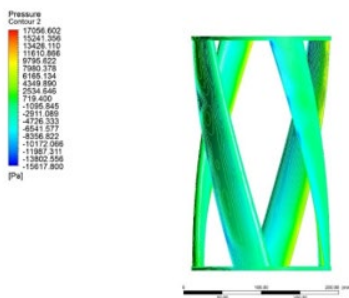
Gambar 8. Grafik TSR terhadap Cp

Gambar 8 merupakan grafik hubungan *Tip Speed Ratio* (TSR) terhadap *Coefficient of power* (Cp) dapat dilihat nilai Cp yang dihasilkan oleh tiap variasi jumlah sudu. Cp terbesar berdasarkan analisis perhitungan dihasilkan oleh turbin 4 sudu sebesar 0,287 pada TSR 2,031. Pada turbin 3 sudu diperoleh nilai Cp tertinggi yaitu sebesar 0,268 pada TSR 2,031. Pada turbin 2 sudu nilai Cp tertinggi yang diperoleh yaitu sebesar 0,098 pada TSR 1,334. Perbedaan nilai Cp yang dihasilkan berdasarkan variasi jumlah sudu cukup signifikan. Untuk penambahan dari 2 sudu ke 3 sudu terjadi peningkatan rata-rata nilai Cp sebesar 156% dan untuk penambahan jumlah sudu dari 3 ke 4 sudu terjadi peningkatan rata-rata nilai Cp sebesar 8%.



Gambar 9. Kontur Velocity turbin 4 sudu

Gambar 9 merupakan kontur kecepatan aliran fluida pada putaran turbin 535,5 rpm ditinjau dari sisi atas. Hampir seluruh kontur berwarna biru dengan nilai *velocity* tertinggi pada pada turbin dengan 4 sudu sebesar 7 m/s. Terlihat bahwa pada bagian belakang turbin terbentuk warna biru tua dengan kecepatan rendah bervariasi mendekati 0 m/s. Kondisi inilah yang disebut dengan *wake*, pusaran (*wake*) timbul karena turbin berputar begitu cepat. Apabila pusaran (*wake*) tersebut dilalui bilah turbin akibatnya turbin mengalami kehilangan kemampuan untuk menyerap energi kinetik dari aliran secara sempurna sehingga menyebabkan turbin mengalami penurunan performa.



Gambar 10. Kontur Pressure pada turbin 4 sudu

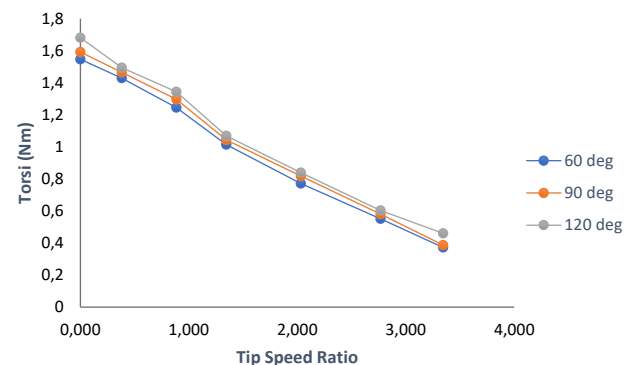
Gambar 10 merupakan kontur hasil simulasi distribusi tekanan aliran fluida pada putaran turbin 535,5 rpm. Nilai tekanan tertinggi pada turbin dengan 4 sudu sebesar 17056,6 Pascal. Adapun penyebaran tekanan pada penampang sudu yang tertinggi berada di bagian ujung *tailing edge* sudu yang terlihat berwarna jingga hingga merah. Sedangkan pada bagian *leading edge* sudu terlihat berwarna hijau hingga biru yang berarti mengalami tekanan yang paling rendah.

3.2 Simulasi dengan variasi Twist Angle

Berdasarkan hasil pengujian sebelumnya diketahui bahwa pada turbin sudu 4 dihasilkan unjuk kerja turbin terbaik selanjutnya pengujian dilanjutkan pada simulasi turbin helik dengan variasi *twist angle* 60°, 90° dan 120° menggunakan jumlah sudu turbin 4.

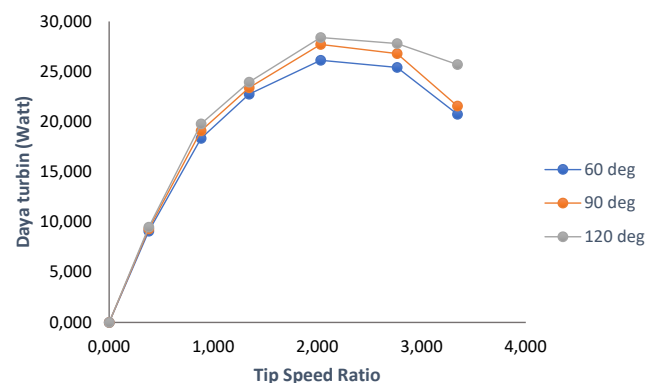
Gambar 11 merupakan grafik hubungan TSR terhadap torsi yang dihasilkan oleh masing-masing variasi *twist angle* pada kecepatan alir 1,5 m/s. torsi terbesar dihasilkan oleh turbin dengan *twist angle* 120° torsi yang didapat sebesar 1,681 Nm pada TSR 0. Sedangkan pada turbin dengan *twist angle* 90° torsi terbesar yang dihasilkan yaitu sebesar 1,592 Nm pada TSR 0 dan pada turbin dengan *twist angle* 60° torsi terbesar

yang dihasilkan yaitu sebesar 1,546 Nm pada TSR 0. Peningkatan besar *twist angle* berpengaruh positif terhadap torsi turbin.



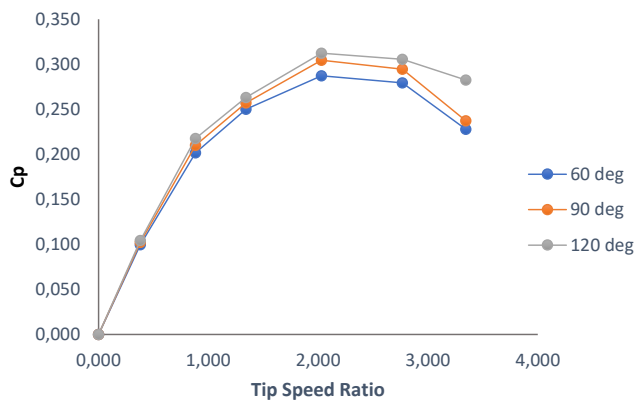
Gambar 11. Grafik TSR terhadap torsi

Gambar 12 merupakan grafik hubungan TSR terhadap daya turbin. Daya turbin terbesar dihasilkan oleh turbin dengan *twist angle* 120° daya turbin yang didapat sebesar 28,399 Watt. Sedangkan pada turbin yang menggunakan *twist angle* 90° daya turbin terbesar yang dihasilkan yaitu sebesar 27,689 Watt dan pada turbin dengan *twist angle* 60° daya turbin terbesar yang dihasilkan yaitu sebesar 26,132 Watt.

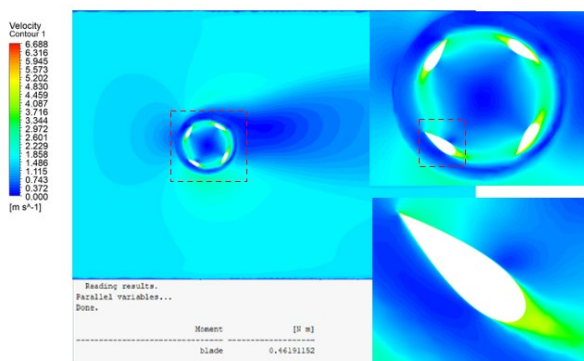


Gambar 12. Grafik TSR terhadap daya turbin

Gambar 13 merupakan grafik hubungan *Tip Speed Ratio* (TSR) terhadap C_p turbin. C_p terbesar berdasarkan analisis perhitungan dihasilkan oleh turbin dengan *twist angle* 120° sebesar 0,312 pada TSR 2,031. Pada turbin dengan *twist angle* 90° diperoleh nilai C_p tertinggi yaitu sebesar 0,304 pada TSR 2,031. Pada turbin dengan *twist angle* 60° nilai C_p tertinggi yang diperoleh yaitu sebesar 0,287 pada TSR 2,031. Perbedaan nilai C_p yang dihasilkan berdasarkan variasi tidak terlalu signifikan namun tetap memberikan dampak positif. Untuk penambahan besar *twist angle* dari 60° ke 90° sudu terjadi peningkatan rata-rata nilai C_p sebesar 4% dan untuk penambahan *twist angle* dari 90° ke 120° terjadi peningkatan rata-rata nilai C_p sebesar 5%.

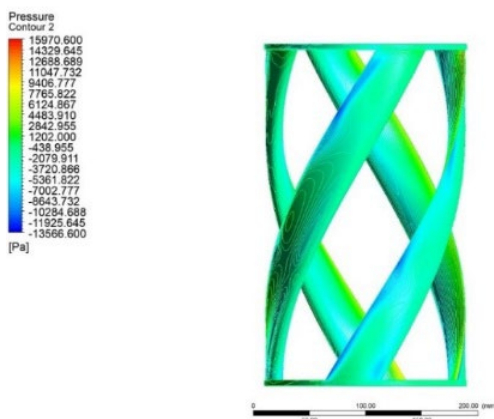


Gambar 13. Grafik TSR terhadap Cp



Gambar 14. Kontur velocity pada variasi twist angle 120°

Gambar 14 merupakan kontur hasil simulasi kecepatan aliran fluida pada putaran turbin 535,5 rpm ditinjau dari sisi atas. Hampir seluruh *contour* berwarna biru dengan nilai *velocity* tertinggi pada *twist angle* 60° sebesar 7 m/s, pada *twist angle* 90° sebesar 7,73 m/s dan pada *twist angle* 120° sebesar 6,68 m/s. Terlihat bahwa pada bagian belakang turbin terbentuk warna biru tua dengan kecepatan rendah bervariasi mendekati 0 m/s. Pada bagian belakang turbin terbentuk pusaran (*wake*) yang menyebabkan turbin mengalami penurunan performa.



Gambar 15. Kontur pressure pada turbin twist angle 120°

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa numerik turbin heliks dengan airfoil NACA 0030 yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Penambahan jumlah sudu berpengaruh positif dan berbanding lurus terhadap performa turbin heliks. Diketahui daya turbin paling optimum yang dihasilkan dengan variasi 2, 3 dan 4 sudu secara berturut-turut sebesar 8,870 Watt, 24,338 Watt dan 26,132 Watt. Kemudian nilai C_p paling optimum yang diperoleh dari turbin 2, 3 dan 4 sudu secara berturut-turut adalah sebesar 0,098, 0,268 dan 0,287. Turbin heliks 4 sudu menghasilkan performa terbaik ditinjau dari daya turbin dan C_p yang dihasilkan memiliki nilai tertinggi. Pada simulasi pengujian variasi *twist angle* dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan performa walau tidak terlalu signifikan. Untuk penambahan besar *twist angle* dari 60° ke 90° sudu terjadi peningkatan rata-rata nilai C_p sebesar 4% dan untuk penambahan *twist angle* dari 90° ke 120° terjadi peningkatan rata-rata nilai C_p yang sama sebesar 5%. *Twist angle* paling optimum berdasarkan hasil simulasi yaitu pada 120° dengan C_p tertinggi sebesar 0,312.

Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pembimbing yang telah memberikan arahan dan bantuan hingga proses penelitian ini selesai dilaksanakan. Penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu proses penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan lancar dan sesuai rencana. Terimakasih kepada kedua orang tua yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan bagi penulis.

Daftar pustaka

- [1] Andrianto, M.W., 2009. *Studi Teknis Pemilihan Turbin Kobold pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Bawah Laut di Selat Madura*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [2] Sitepu, A.W. 2014. *Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Heliks Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Skripsi, Universitas Lampung. Lampung.
- [3] Kurniawan, I. 2014. *Kajian Eksperimental dan Numerikal Turbin Air Heliksal Gorlov Untuk Twist Angle 60° dan 120°*. Jurnal Teknobiologi, V(1) 2014: 7 – 13.
- [4] Gorlov A.M. 1998. *Turbine With a Twist: Journal Macro-Engineering and The Earth World Project for Year 2000 and Beyond*. Northeastern University. Boston, MA.
- [5] Fox, W.R. McDonald, T.A., dan Pritchard, J.P., 2004. *Introduction to Fluid Mechanics*. United State of America. John Wiley and Sons, Inc.