

SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC PADA MODEL TURBIN VORTEX VARIASI KECEPATAN ROTASI RUNNER

Ibnu Gusti Muttaqin¹, Made Sucipta², Made Suarda³

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: ibnugusti03@gmail.com

Abstract

Isolated villages are difficult to get electrical energy, so there is a need for renewable energy solutions to answer the needs of electrical energy in isolated villages. Hydroelectric power is one of the options in utilizing renewable energy sources, one of which is vortex turbine technology. Research by Dhakkal, et al. 2017 shows that rotational speed affects the performance of the vortex turbine. So this study will vary the rotational speed of 70 rpm, 90 rpm, 110 rpm, and 130 rpm with the CFD simulation method Ansys Fluent software. From this study, it was found that at a rotational speed of 70 rpm to 90 rpm there was an increase in efficiency, the highest efficiency was found at 90 rpm with a torsional moment value of 1,988 n/m and an efficiency of 34.74%. Meanwhile, when the rotation speed is increased to 150 rpm, there is a decrease in efficiency. The lowest efficiency is found at an angular speed of 150 rpm with a torsional moment value of 0.859 n/m and an efficiency of 25.02%. This is due to flow overflow and high rotational speed.

Keywords: Vortex Turbine, CFD, Runner, Rotation speed

Abstrak

Desa terisolir di Indonesia sulit untuk mendapatkan energi listrik, maka perlu adanya solusi energi terbarukan untuk jawaban terhadap kebutuhan energi listrik di desa terisolir. Pembangkit listrik tenaga air menjadi salah satu pilihan dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan, salah satunya adalah teknologi turbin vortex. Penelitian Dhakkal, dkk 2017 menunjukkan bahwa kecepatan rotasi berpengaruh terhadap kinerja dari turbin vortex. Maka penelitian ini akan memvariasikan kecepatan rotasi yaitu 70 rpm, 90 rpm, 110 rpm, dan 130 rpm dengan metode simulasi CFD software Ansys Fluent. Dari penelitian ini didapatkan hasil pada kecepatan rotasi 70 rpm sampai 90 rpm terjadi kenaikan efisiensi, efisiensi tertinggi terdapat pada 90 rpm dengan nilai momen puntir 1,988 n/m dan efisiensi 34,74 %. Sedangkan ketika kecepatan rotasi dinaikan sampai 150 rpm, terjadi penurunan efisiensi. Efisiensi terendah terdapat pada kecepatan sudut 150 rpm dengan nilai momen puntir 0,859 n/m dan efisiensi 25,02 %. Hal ini disebabkan karena peluapan aliran dan kecepatan rotasi yang tinggi.

Kata kunci: Turbin Vortex, CFD, Runner, Kecepatan rotasi

PENDAHULUAN

Daerah pedesaan di Indonesia sering menjadi tempat-tempat yang terisolasi akan energi listrik. Maka perlu adanya solusi energi terbarukan untuk jawaban terhadap kebutuhan energi listrik di desa yang praktis dan berkelanjutan, bisa langsung diadopsi oleh masyarakat pedesaan [1].

Pembangkit listrik tenaga air menjadi salah satu pilihan dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan untuk masyarakat pedesaan. Pembangkit Listrik Tenaga Air sering disebut Microhydro atau Picohydro [2].

Microhydro atau Picohydro biasanya dibuat dengan memanfaatkan air terjun yang memiliki head tinggi. Sedangkan aliran sungai dengan head rendah belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan aliran sungai dengan mengubahnya menjadi aliran vortex dan menjadi teknologi pembangkit listrik turbin vortex. [3].

Turbin vortex ditemukan oleh Franz Zotloterer yang menemukan cara untuk menganginkan air tanpa sumber daya eksternal [4].

Pada turbin vortex head air yang dibutuhkan untuk memutar turbin tidak terlalu tinggi yaitu hanya 0,7m – 3m, hal ini karena turbin vortex mempercepat laju aliran air dengan menggunakan vortex. Oleh karena itu sistem ini dapat diaplikasikan pada aliran irigasi atau hilir sungai yang tidak memiliki head tinggi, sehingga masyarakat di pedesaan terisolir dapat mudah mengaplikasikannya dengan mudah di area irigasi atau sungai kecil [5].

Salah satu penelitian Dhakal, dkk 2017, melakukan penelitian turbin vortex dengan variasi kecepatan rotasi yaitu 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm. Dari penelitian tersebut efisiensi tertinggi terdapat pada kecepatan rotasi 100 rpm sedangkan efisiensi terendah terdapat pada 50 rpm [6].

Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa kecepatan rotasi sangat berpengaruh terhadap kinerja turbin vortex, oleh karena itu penelitian ini akan menggunakan variasi kecepatan rotasi dengan menggunakan metode simulasi CFD Ansys Fluent.

TINJAUAN PUSTAKA

Ada beberapa persamaan persamaan yang dipakai pada model turbin vortex ini yaitu sebagai berikut.

Persamaan Bernouli

Persamaan Bernoulli dapat digunakan untuk menghitung kecepatan aliran zat cair yang keluar dari dasar basin. Jika diameter outlet pada basin jauh lebih kecil dibandingkan dengan diameter inlet, maka kecepatan fluida di permukaan dianggap nol ($v_1 = 0$). Pada permukaan inlet dan permukaan outlet terbuka sehingga tekanannya sama dengan tekanan atmosfer ($P_1 = P_2$). Maka dapat ditunjukkan pada persamaan 2

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$
$$\rho g h_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (2)$$

Jika disederhanakan maka didapatkan persamaan 3. Laju aliran air pada lubang yang berjarak h dari permukaan basin sama dengan laju aliran air yang jatuh bebas sejauh h . Hal ini dapat disebut sebagai Teorema Torricelli.⁵

$$V_{2 \max} = \sqrt{2gh} \quad (3)$$

Persamaan 3 yang digunakan untuk mendapatkan kecepatan maksimal dari desain turbin vortex, dengan kondisi fluida beru pada temperatur 20° C, massa jenis (ρ) = 998 kg/m³, jari-jari saluran keluar air (r) = 0,0381 m, elevasi/head vortex (h) = 0,47 m).

$$V_{2max} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \frac{m}{dt^3} \times 0,47 m}$$

$$V_{2max} = 3,037 \frac{m}{dt}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan debit maksimal dari desain turbin vortexnya menggunakan persamaan 4.

$$(Q_{max}) = V_{2max} \times A_2 \quad (4)$$

$$Q_{max} = 2,904 \frac{m}{dt} \times 3,14 \times (0,0381 m)^2$$

$$Q_{max} = 0,01384 \frac{m^3}{dt} = 13,84 l/s$$

Pada penelitian ini debit ditentukan 80% dari debit maksimalnya maka diperoleh.

$$Q = 80\% \times Q_{max}$$

$$Q = 80\% \times 13,84 l/s$$

$$Q = 11,072 l/s = 0,01172 m^3/s$$

Daya dan Efisiensi

Turbin vortex dapat mentransfer energi air pada sumbu vertikal dan menyebabkan perbedaan tekanan pada sekeliling sumbu dengan memanfaatkan pusaran air. Turbin vortex bisa beroperasi pada aliran sungai dengan head air yang rendah, hal ini karena turbin vortex memanfaatkan gravitasi dan pusaran vortex.⁶

Untuk mendapatkan daya runner turbin vortex menggunakan persamaan 5, yaitu sebagai berikut :

$$T = \frac{60P_{shaft}}{2\pi n} \quad (5)$$

$$P_{shaft} = \frac{2\pi n T}{60}$$

Keterangan :

T : Momen puntir runner (Nm)

P_{shaft} : Daya dari runner turbin vortex (Watt)

n : Kecepatan sudut turbin dalam (rpm)

ω : Kecepatan sudut turbin dalam (rad/s)

Selanjutnya untuk mendapatkan daya air maksimal dapat dihitung dengan persamaan 6 sebagai berikut :

$$P = \rho g Q H_v \quad (6)$$

Dimana :

P : Daya air (Watt)

ρ : Massa jenis air (Kg/m³)

g : Percepatan gravitasi (m/dt²)

Q : Debit air (m³/dt)

H_v : Tinggi air vortex (m)

Maka untuk mendapatkan efisiensi dari desain turbin vortex menggunakan persamaan 7 yaitu sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{shaft}}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

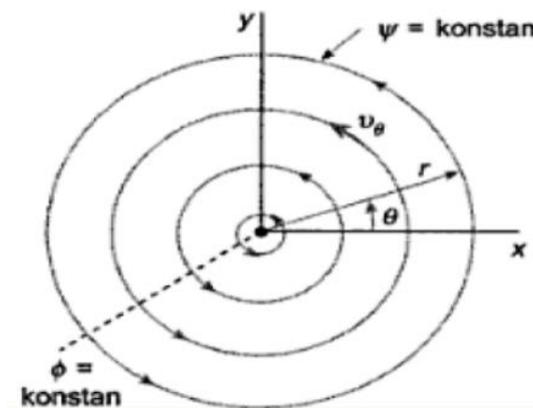
P_{shaft} = Daya runner turbin (Watt),

P_{in} = Daya air (Watt)

1. Persamaan Aliran Vortex Bebas

Aliran vortex adalah aliran yang dapat berputar terhadap sumbu vertikal, hal ini dikarenakan terjadinya perbedaan tekanan antara bagian sumbu dan di sekelilingnya.⁷

Aliran vortex memiliki pola aliran yang dapat dilihat pada gambar 2 dibawah.



Gambar 1 Aliran vortex bebas

Keterangan :

ϕ = energi potensial gravitasi per satuan massa; jika gravitasi konstan maka

ω = entalpi fluida per satuan massa

Berdasarkan klasifikasi aliran berputar yang terjadi pada turbin vortex adalah jenis aliran vortex bebas. Aliran vortex bebas adalah suatu aliran vortex yang terjadi, walaupun tidak adanya gaya pada fluida tersebut. Ciri-ciri aliran vortex bebas pada turbin vortex adalah kecepatan tangensial dari partikel fluida yang berputar pada jarak tertentu dari pusat aliran vortex. Hubungan antara kecepatan fluida v dengan jaraknya dari pusat lingkaran r adalah menggunakan persamaan 6 berikut :

$$V = \frac{2\pi r}{T}$$

Dimana:

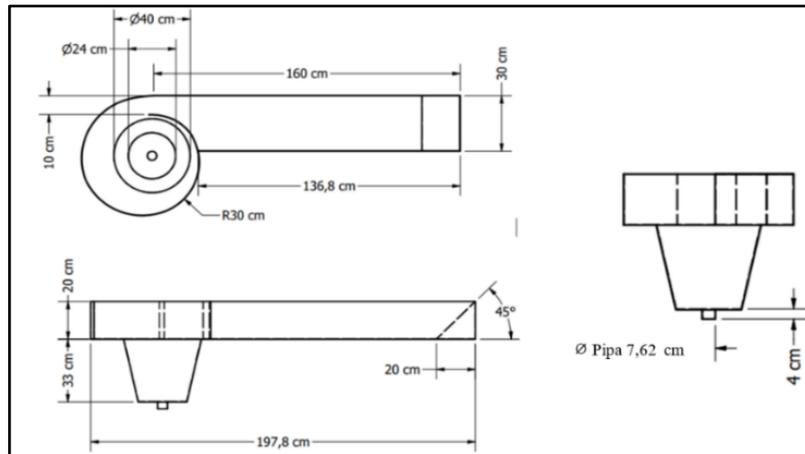
V : Kecepatan Tangensial (m/s)

r : Jari-jari putaran partikel fluida dari titik pusat (m)

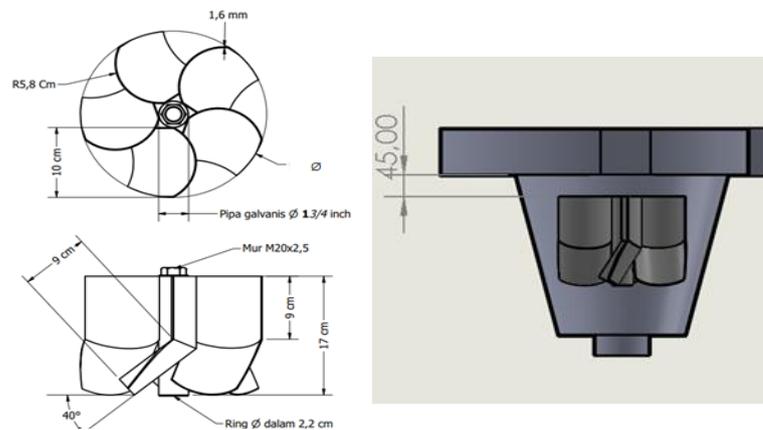
T : Periode

METODE

Penelitian ini menggunakan metode simulasi CFD dengan dimensi basin dan runner turbin yang ditentukan sudut kemiringan 40° dengan posisi kedalamannya 4,5 cm, dan jumlah sudu yang digunakan adalah 5. yaitu dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 dibawah.



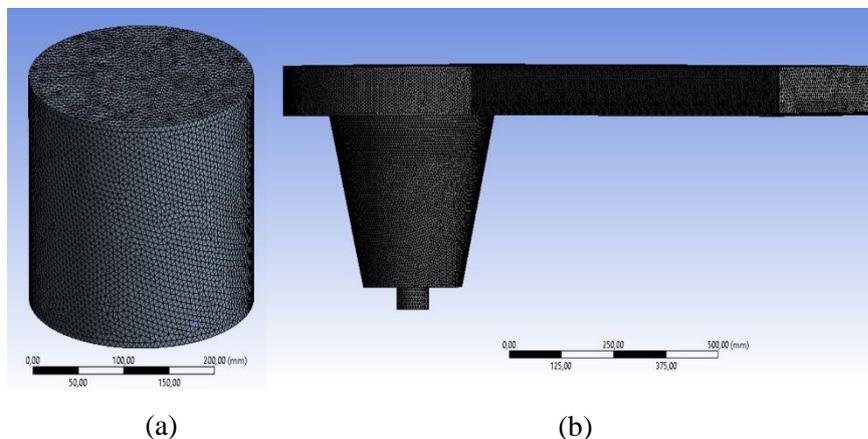
Gambar 2 Dimensi Basin



Gambar 3 Dimensi runner turbin

Selain itu pada penelitian ini dilakukan variasi kecepatan rotasi pada runner turbin vortex. dengan variasinya yaitu 70 rpm, 90 rpm, 110 rpm, 130 rpm, dan 150 rpm.

Selanjutnya penentuan kondisi batas dan pembuatan grid serta pembagian domain stationary dan rotating domain pada software Meshing®, dengan hasil meshing ditunjukkan pada gambar 3 dan table 1 berikut.

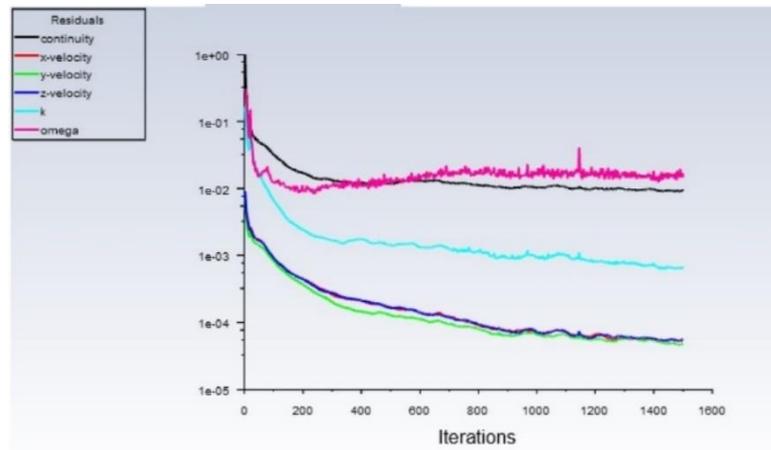


Gambar 4 Meshing (a) rotating domain, (b) stationary domain

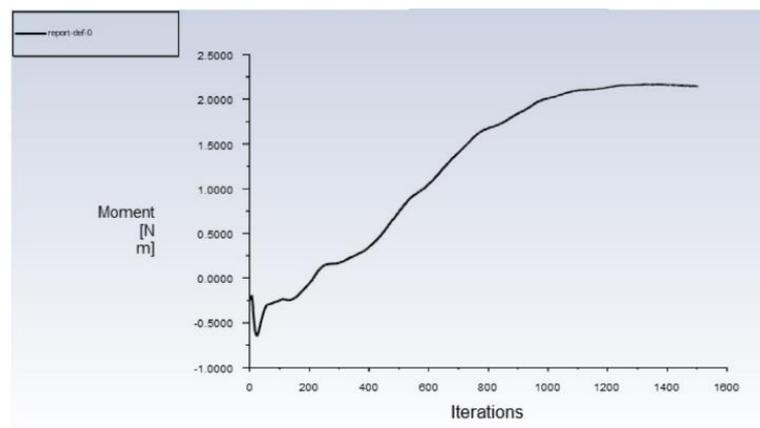
Tabel 1 Data statistik meshing

Statistik	
Meshing Method	Tetrahedrons
Size	0.006 m
Skewness	0.9 m
Inflation transition ratio	0,272
Nodes	530830

Setelah selesai melakukan proses meshing selanjutnya dilakukan tahap simulasi pada setup dan didapatkan hasilnya berupa residual yang dimana pada penelitian ini residual digunakan 10^{-2} , dan juga didapatkan hasil momen. Dapat dilihat pada gambar 4 dan 5 berikut.



Gambar 5 Residual turbin vortex



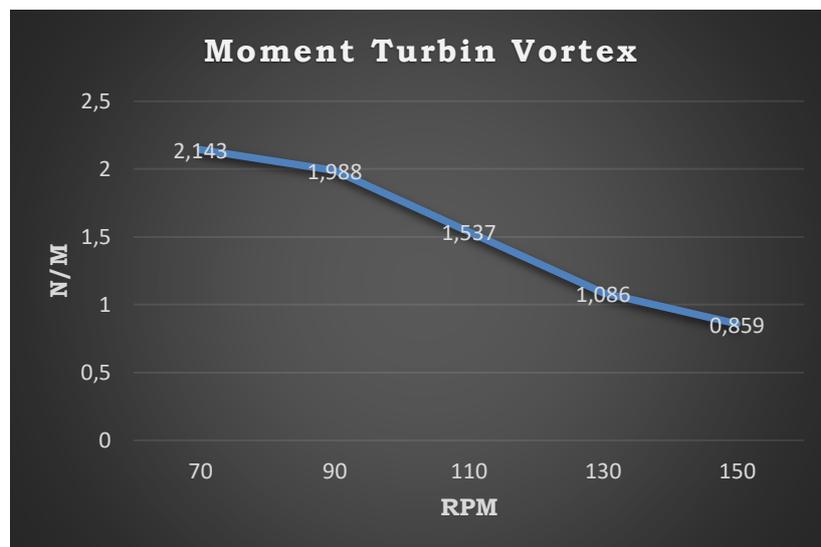
Gambar 6 Grafik momen puntir simulasi turbin vortex

HASIL DAN PEMBAHASAN

Didapatkan hasil dari penelitian turbin vortex variasi kecepatan rotasi menggunakan metode CFD (computational fluid dynamic) berupa momen puntir yaitu dengan data ditunjukkan pada table 2 dan gambar 4 berikut.

Tabel 2 Momen puntir turbin vortex

Jumlah Rotasi (rpm)	Moment (n/m)
70	2,143
90	1,988
110	1,537
130	1,086
150	0,859



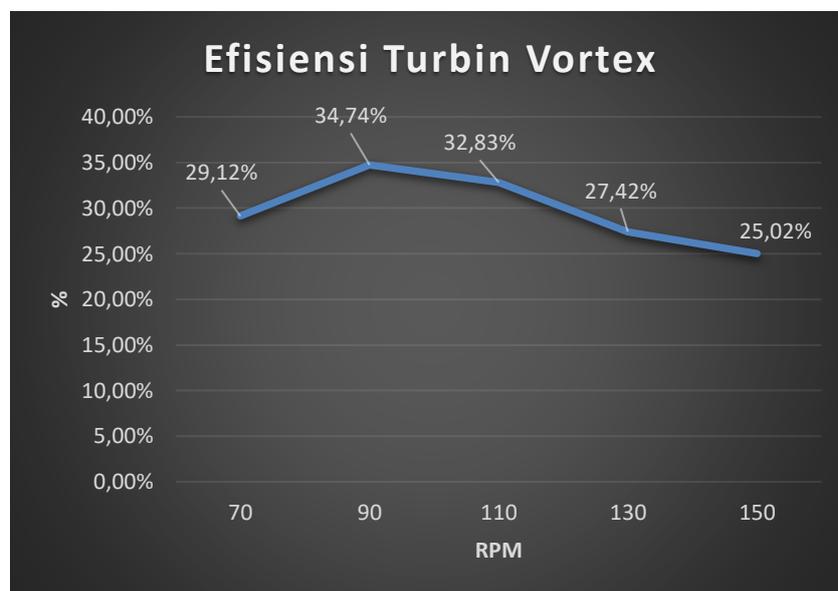
Gambar 7 Momen puntir runner turbin vortex

Dari data momen puntir didapatkan bahwa momen puntir tertinggi terdapat pada runner turbin dengan kecepatan rotasi 70 rpm selanjutnya ketika kecepatan rotasi runner dinaikan sampai 150 rpm maka terjadi penurunan momen puntir.

Setelah mendapatkan hasil simulasi berupa data momen puntir tersebut maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 5 yang dipakai untuk mendapatkan daya turbin, lalu persamaan 6 dipakai untuk mendapatkan nilai daya air, dan persamaan 7 untuk mendapatkan nilai efisiensi dari setiap variasi rpm turbin vortex. Maka efisiensi dapat diperoleh yang ditunjukkan pada table 3 dan gambar 4 berikut.

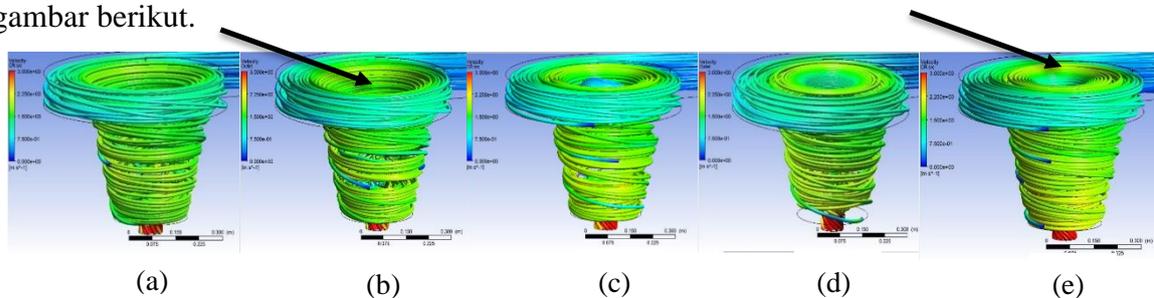
Tabel 3 Efisiensi turbin vortex

Jumlah Putaran (rpm)	Efisiensi (%)
70	29,12 %
90	34,74 %
110	32,83 %
130	27,42 %
150	25,02 %



Gambar 8 Efisiensi turbin vortex

Pada gambar 5 grafik efisiensi dapat dilihat bahwa kecepatan rotasi runner 70 rpm sampai 90 rpm terjadi peningkatan efisiensi dan efisiensi puncak atau tertinggi terdapat pada kecepatan rotasi 90 rpm. lalu setelah kecepatan rotasi ditingkatkan dari kecepatan rotasi runner 90 rpm sampai 130 rpm efisiensi yang terjadi adalah menurun sehingga didapatkan efisiensi terendah yang terdapat pada kecepatan rotasi runner 150 rpm. Dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 9 Streamline pada area basin dan runner (a) 70 rpm, (b) 90 rpm, (c) 110 rpm, (d) 130 rpm, (e) 150 rpm

Dapat dilihat pada gambar 6 pada kecepatan rotasi 110 rpm sampai 150 rpm turbin vortex mengalami penurunan efisiensi hal ini dikarenakan pada kecepatan rotasi tersebut terjadi peluapan air yang dilihat pada gambar semakin mengecilnya pusaran air pada basin. Ketika kecepatan rotasi runner turbin semakin tinggi, maka permukaan air pada bagian atas basin akan semakin naik sehingga air akan meluap.

Dimana peluapan aliran tersebut tidak terjadi pada turbin vortex di variasi kecepatan rotasi 70 rpm dan 90 rpm, dapat dilihat pada gambar 9 pusaran vortexnya lebih besar dibandingkan pada variasi 110 rpm sampai 150 rpm.

Dan ketika terjadi luapan air dan kecepatan rotasinya yang terlalu tinggi maka fungsi runner turbin sudah tidak bisa digunakan secara optimal untuk dapat mengkonversikan energi dari air.

KESIMPULAN

Pada penelitian simulasi CFD turbin vortex dengan variasi kecepatan rotasi 70 rpm, 90 rpm, 110 rpm, 130 rpm, dan 150 rpm didapatkan kesimpulan bahwa, pada kecepatan rotasi 70 rpm sampai 90 rpm terjadi kenaikan efisiensi, efisiensi tertinggi terdapat pada 90 rpm dengan nilai momen puntir 1,988 n/m dan efisiensi 34,74 %. Sedangkan ketika kecepatan rotasi dinaikan sampai 150 rpm, terjadi penurunan efisiensi. Efisiensi terendah terdapat pada kecepatan rotasi 150 rpm dengan nilai momen puntir 0,859 n/m dan efisiensi 25,02 %. Terjadinya penurunan performa disebabkan karena peluapan aliran dan kecepatan rotasi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Contaned Energy Indonesia. Buku Panduan Energi Yang Terbarukan. PNPM Mandiri.¹
- M.M Dandekar dan K.N. Sharman. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. UI-Press, Jakarta.²
- Fritz Dietsel dan Dakso Sriyono. 1990. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Erlangga. Jakarta.³
- Zotloeterer. n.d. *Gravitation Water Vortex Power Plants Application Area*. Online at www.zotloeterer.com/welcome/gravitation-water-vortex-power-plants/application-area, accessed 7 February 2022.⁴
- Mohanan, Anjali M. 2016. *Power Generation With Simultaneous Aeration Using A Gravity Vortex Turbine*. International Journal of Scientific & Engeenering Research, Volume 7, Issue 2.⁵
- R. Dhakal, T.R Bajracharya, S.R Shakya, B. Kumal. 2017. *Computational and Experimental Investigation of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant*. ICRERA.⁶
- Yulianto dan Bambang Priyadi. 2018. *Implementasi Turbin Model Ulir Parsial Untuk Piko hidro*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan. Vol. 02 No. 01, ISSN: 2581-0049.⁷
- Stojkovski, Filip Dan Valentino Stojkovski. 2020. *Development Of A Variable Speed Propeller Turbine For Pico Hydroelectric Power Generation*. Slovenia. Savezenergeticara.⁸



Sihombing, Ray Posdam J, dan Syahril Gultom. 2014. *Analisa Efisiensi Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Pada Sudu Berdiameter 56 Cm Untuk 3 Variasi Jarak Sudu Dengan Saluran Keluar*. Indonesia.⁹