

Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>**METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal**

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483 |



Artikel Penelitian

# Pengujian Turbin Air Pusaran Gravitasi dengan Variasi Overlap Ratio Rotor

Muhammad Luthfi<sup>a</sup>, Meri Rahmi<sup>a</sup>, Rachmatullah<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Indramayu, Jl. Lohbener Lama No.08, Indramayu, 45252, Indonesia

## INFORMASI ARTIKEL

## Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 9 Nopember 2021

Revisi Akhir: 22 Maret 2022

Diterbitkan Online: 30 April 2022

## KATA KUNCI

Turbin Pusaran Gravitasi

Savonius

Overlap Ratio

Mikrohidro

Endplate

## KORESPONDENSI

E-mail: [mhm.luthfi@polindra.ac.id](mailto:mhm.luthfi@polindra.ac.id)

## A B S T R A C T

The gravitational water vortex turbine is a turbine system that can convert the energy from artificial water vortex by means of the drained water through the basin outlet to the kinetic energy of rotor rotation. This type of turbine system is able to produce energy despite the low head of water flow. Many researches were conducted to improve the efficiency of this turbine by changing the shape of basin, or the rotor. Meanwhile, the Savonius rotor has good starting rotation and ease of fabrication, but low efficiency. One way to increase the efficiency of this rotor is to apply the gap between the blades which is called Overlap Ratio (OR). In this research, the gravitational water vortex turbine with the conical-shape basin was combined with the various-OR Savonius rotors with area proportion of 26,88% and without endplate and the effect was observed to the efficiency of turbine. The volume flowrate of channel was maintained constant at 0,005 m<sup>3</sup>/s while mass was added gradually for the torque measurement system by using rope brake dynamometer. The result showed that for all rotors, the greater efficiency occurred in the low rotational speed. Moreover, the rotor with OR of 0,15 had greater mechanical efficiency which was around 22,78% for the rotor with endplate 26,88% and 27,18% for the rotor without endplate than rotor with OR of 0. Meanwhile, rotor without endplate had higher maximum mechanical efficiency for all OR variation than that with endplate 26,88%.

## 1. PENDAHULUAN

Energi baru dan terbarukan (EBT) sudah lama dijadikan alternatif dari energi fosil yang jumlah sumbernya semakin sedikit. Indonesia pun disebutkan memiliki potensi EBT yang cukup besar, sekitar 443 GW, meliputi panas bumi, air dan mikro-mini hidro, surya, angin dan gelombang laut [1]. Potensi EBT kedua terbesar di Indonesia setelah surya adalah air dan mikro-mini hidro yang berkisar 94,4 GW. Dari potensi yang besar tersebut, kapasitas terpasang dari sumber ini di Indonesia per tahun 2017 hanya berkisar 5 GW

<https://doi.org/10.25077/metal.6.1.14-23.2022>

padahal air dan mikro-mini hidro termasuk sumber yang cukup stabil untuk menghasilkan listrik dibandingkan surya [2].

Dari segi geografis, salah satu wilayah perairan darat yang biasanya dekat dengan pemukiman warga baik perkotaan atau pedesaan, yaitu sungai yang telah terdata oleh BPS Indonesia di tahun 2015, memiliki rentang laju aliran 1-274 m<sup>3</sup>/s dengan rata rata 34,69 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan tinggi jatuhnya air sungai, dalam data tersebut, berkisar dari 0,12 - 10,21 m, dengan rata rata 1,63 m [3]. Sehingga dibutuhkan sistem turbin hidro yang

[Attribution-NonCommercial 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Some rights reserved

mampu beroperasi dengan debit dan/atau tinggi jatuhnya aliran air sungai yang tidak terlalu tinggi agar lebih mudah diakses untuk masyarakat sekitar.

Sistem turbin hidro, berdasarkan sumbu putaran, dapat dibagi menjadi sumbu vertikal dan horizontal. Turbin hidro sumbu vertikal secara umum memiliki kelebihan seperti generator dapat diletakkan di atas permukaan air dan dapat digerakkan langsung oleh *shaft*. Turbin juga berputar pada arah yang sama tidak tergantung dari arah aliran. Berdasarkan desain vertikalnya, sangat mungkin untuk menggabungkan lebih dari satu turbin. Untuk alasan ini, kecenderungan untuk mengaplikasikan teknologi ini pada area pedalaman yang tidak memiliki akses ke grid listrik di negara berkembang sangatlah besar [4].

Salah satu jenis turbin sumbu vertikal yang masih terus diteliti adalah turbin menggunakan pusaran gravitasi. Seperti namanya, turbin model ini adalah sebuah sistem yang listriknya dihasilkan dari bantuan aliran sentrifugal air melalui kolam pusaran yang memiliki lubang di bagian tengah dasarnya. Sehingga turbin ini secara teori, mampu menghasilkan listrik pada tinggi jatuhnya air yang rendah [5].

Sedangkan untuk bentuk rotor dan sudu dari sistem turbin ini telah diteliti performanya. Sritram dkk melakukan penelitian menggunakan model bentuk sudu mirip Savonius untuk menganalisis performanya dengan variasi jumlah sudu serta efek tambahan lapisan penyekat pada bagian atas dan/atau bagian bawah sudu [5]. Nishi dkk menggunakan bentuk sudu dengan permukaan sapuan yang sedikit lebih lurus [6]. Kueh dkk menggunakan bentuk sudu dengan variasi sapuan merata dan bagian bawah yang dibengkokkan [7]. Sedangkan Dhakal dkk melakukan penelitian tentang model turbin ini dengan variasi bentuk daerah sapuan yang lurus, pelintir, dan bengkok [8].

Jenis sudu savonius memiliki keuntungan karena karakteristik putaran permulaan yang baik dan kemudahan dalam proses fabrikasi. Untuk sudu

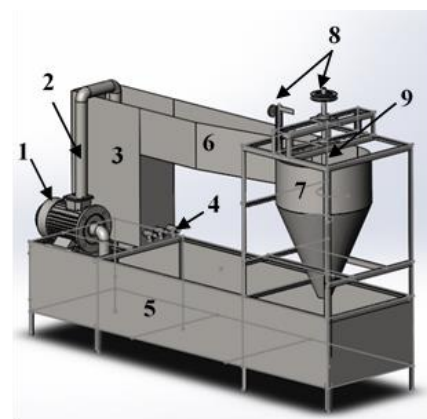
Savonius sendiri tanpa sistem turbin pusaran gravitasi, *Overlap Ratio* (OR) mempengaruhi performa dari turbin [9], [10]. Lebih lanjut lagi, Patel dkk menyatakan terdapat efek dari variasi aspect ratio (AR) dan penambahan *endplate* pada performa turbin [10].

Fokus penelitian ini adalah mengkaji performa dari penggabungan sistem turbin air pusaran gravitasi dengan rotor savonius yang memiliki variasi OR dan efek penggunaan *endplate* pada rotor.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mengetahui efek OR dan *endplate* pada Savonius terhadap efisiensinya dalam sistem air pusaran gravitasi dengan aliran air buatan yang dihasilkan oleh pompa.

Desain dan hasil pembuatan sistem turbin ini diilustrasikan di Gambar 1 dan Gambar 2 yang diadaptasi dari penelitian yang dilakukan R.Dhakal, dkk [8] dan S.Dhakal, dkk [11] dengan penambahan rangka pada bagian atas basin agar pada saat rotor berputar tidak mengalami gerak translasi dan beberapa tambahan bagian rangka lain seperti rangka kaki dan penopang pada basin agar lebih kokoh.



Gambar 1. Desain Sistem Turbin Air Pusaran Gravitasi

Keterangan Gambar:

1. Pompa Sentrifugal
2. Pipa *Discharge* Pompa
3. *Drop Chamber*
4. *Valve*
5. Penampungan Air
6. Kanal
7. Basin
8. Puli
9. Poros dan Rotor



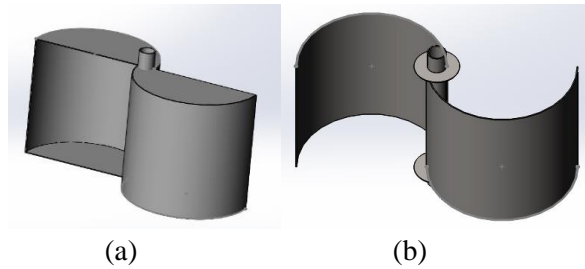
Gambar 2. Hasil Pembuatan Sistem Turbin Air Pusran Gravitasi

Parameter dari sistem turbin pusran air gravitasi ini adalah seperti di Tabel 1. Sementara material yang digunakan untuk pembuatan sistem turbin ini adalah pelat besi dengan ketebalan 1 mm.

Tabel 1 Dimensi Sistem Turbin Pusran Gravitasi

Parameter	Ukuran
Panjang Kanal	880 mm
Lebar Kanal	200 mm
Tinggi Kanal	200 mm
Sudut Penyempitan Kanal	10°
Tinggi Total Basin	605,2 mm
Sudut Kemiringan Kerucut Basin	23°

Sedangkan rotor savonius yang digunakan terdiri dari dua tipe, yaitu rotor dengan *endplate* dengan prosentasi luas permukaan *endplate* rata rata sebesar 26,88% dari total luas *endplate* penuh 100% sebesar 0,07 m<sup>2</sup>. Tipe rotor kedua yaitu rotor savonius tanpa menggunakan *endplate*. Kedua desain dari tipe rotor ini ditampilkan di Gambar 3.

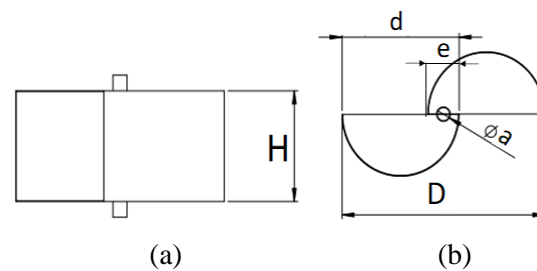


Gambar 3 Desain Rotor Savonius *Endplate* 26,88%

Setiap tipe rotor tersebut memiliki empat variasi *Overlap Ratio* (OR). *Overlap Ratio* atau bisa disingkat sebagai OR adalah perbandingan dari jarak di mana sudu sudu saling tumpang tindih dan diameter satu sudu rotor terhadap yang dijelaskan dengan persamaan (1) untuk rotor yang memiliki poros di antara sudunya [12].

$$OR = \frac{e-a}{d} \tag{1}$$

Sedangkan ilustrasi dari persamaan (1) tersebut untuk rotor dengan *endplate* 26,88% dijelaskan di Gambar 4. Untuk rotor tanpa *endplate* perbedaanya hanya terletak di bagian *endplate* yang tidak digunakan. Sedangkan ukuran yang digunakan adalah sama.



Gambar 4. Model rotor Savonius (a) tampak samping (b) tampak atas

Diameter poros *a* yang digunakan adalah sebesar 19 mm. Untuk menghitung diameter total kedua sudu *D*, dapat digunakan persamaan (2) [10].

$$D = 2d - e \tag{2}$$

Sedangkan untuk menghitung celah antara ujung samping suatu sudu dengan ujung samping suatu poros dapat digunakan persamaan (3).

$$e_1 = e_2 = \frac{e-a}{2} \tag{3}$$

Dari penggabungan persamaan (1), (2), dan (3) dengan nilai D yang sama yaitu 280 mm, didapatkan dimensi sudu untuk tiap OR seperti dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2 Dimensi Rotor

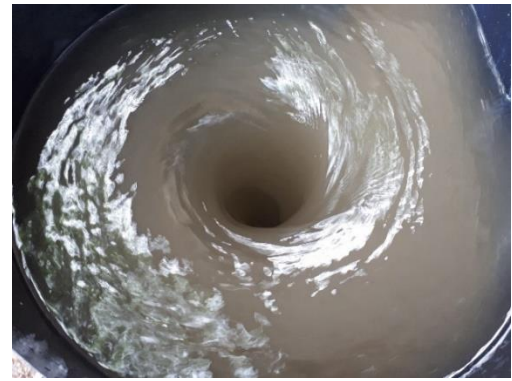
H (mm)	D (mm)	OR	e (mm)	d (mm)	e <sub>1</sub> atau e <sub>2</sub> (mm)
		0	19	149,5	0
140	280	0,05	26,67	153,4	3,8
		0,1	34,74	157,4	7,9
		0,15	43,24	161,6	12,1

Material yang digunakan dalam pembuatan rotor adalah pelat besi dengan ketebalan 0,8 mm karena lebih mudah difabrikasi dan massanya tidak besar. Poros yang digunakan di bagian tengah sudu adalah poros *hollow*. Hasil pembuatan rotor ini adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Hasil Pembuatan Rotor *Endplate* 26,88%

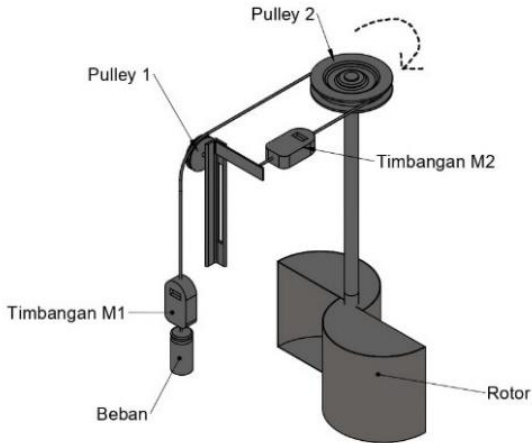
Sedangkan pada proses pengujian, sistem turbin pusaran gravitasi terlebih dahulu diuji tanpa menggunakan rotor secara visual untuk memastikan pusaran air terbentuk pada sistem ini. Hasil dari pusaran air yang terbentuk pada sistem turbin ini adalah seperti yang ditunjukkan di Gambar 6 yang kemudian digunakan pada pengujian menggunakan rotor.



Gambar 6. Pusaran Air yang Terbentuk pada Basin

Sedangkan pada pengujian menggunakan rotor, ketinggian dan debit air pada kanal dijaga konstan sebesar 0,1 m dan 0,005 m<sup>3</sup>/s dengan mengatur pembukaan valve pada *drop chamber*. Data kecepatan aliran untuk pengaturan debit diukur dengan menggunakan *float method* (metode apung) dengan meletakkan objek apung di dalam kanal yang bergerak pada jarak tempuh 0,32 m lalu mengukur waktu tempuh objek apung sepanjang jarak tersebut. Nilai koreksi 0,85 diaplikasikan pada kecepatan aliran air pada kanal yang didapat karena kecepatan aliran berbeda antara di permukaan aliran dan lapisan di bawahnya. Selain itu, data yang juga diambil adalah ketinggian air pada kanal, kecepatan putaran rotor menggunakan *Tachometer* digital (UNI-T UT373).

Pengukuran torsi rotor dalam pengujian menggunakan *rope brake dynamometer* yang terletak di atas basin seperti diilustrasikan di Gambar 7. Sistem ini menggunakan dua timbangan digital yang saling terhubung lewat tali goni. Timbangan M1 digantung untuk mengangkat beban yang ditambahkan sedikit demi sedikit sedangkan timbangan M2 terpasang pada sebuah pelat yang tidak bergerak. Perbedaan massa dari hasil pembacaan timbangan digital M1 dan M2 ini digunakan untuk perhitungan torsi. Variasi massa beban di timbangan digital M1 adalah 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 kg. Masing masing data diambil sebanyak 5 kali dan diambil rata-rata dari nilai tersebut.



Gambar 7. Sistem Rope Brake Dynamometer untuk Pengukuran Torsi

Data yang telah diambil kemudian diolah untuk menentukan daya air sebagai daya input ( $P_{hydro}$ ), daya mekanik rotor sebagai daya output ( $P_{rotor}$ ) dengan menggunakan persamaan (4) dan (5) [11].

$$P_{hydro} = \rho Q g H_{ef} \tag{4}$$

$$P_{rotor} = \omega T = \left(\frac{2\pi n}{60}\right) \left((m_1 - m_2) g r_{pulley}\right) \tag{5}$$

Sedangkan head efektif ( $H_{ef}$ ) pada persamaan (4) didapatkan dari persamaan (6). [13]

$$H_{ef} = H_p + \frac{v^2}{2g} \tag{6}$$

Efisiensi mekanik didefinisikan sebagai perbandingan daya output dari putaran rotor dan daya input dari air.

$$\eta_m = \frac{P_{rotor}}{P_{hydro}} \times 100 \tag{7}$$

Selain parameter yang dihitung pada persamaan (4) hingga (7), parameter lain yang dihitung adalah Tip Speed Ratio (TSR) yang didefinisikan sebagai perbandingan kecepatan tangensial pada ujung sudu dengan kecepatan aliran air menggunakan persamaan (8).

$$TSR = \frac{\omega D}{2v} \tag{8}$$

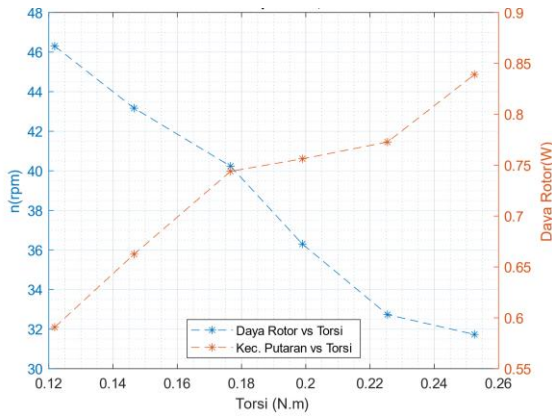
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian rotor savonius dengan proporsi luas *endplate* 26,88% adalah seperti ditunjukkan di grafik di

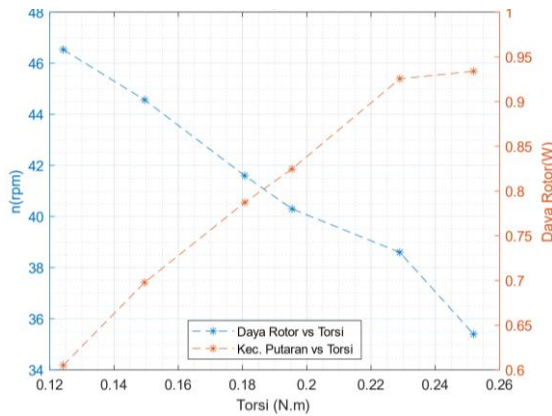
Gambar 8 hingga Gambar 11 untuk mengetahui hubungan antara kecepatan putaran, torsi, dan daya rotor untuk setiap variasi dengan debit rata rata konstan sebesar 0,005 m<sup>3</sup>/s dan kecepatan aliran air pada inlet/masukan basin sebesar 0,2574 m/s.

Dari grafik-grafik tersebut, secara umum, daya yang lebih tinggi untuk tiap variasi OR didapatkan pada nilai torsi yang lebih tinggi namun pada kecepatan putaran yang lebih rendah. Ketika beban ditambahkan secara bertahap yang menyebabkan nilai torsi bertambah, kecepatan putaran rotor justru berkurang. Sehingga torsi ini dihasilkan dari gaya yang digunakan untuk menghentikan putaran rotor menggunakan dynamometer. Seperti dalam variasi OR 0, daya mekanik rotor tertinggi sebesar 0,84 W didapatkan pada kecepatan putaran paling rendah sebesar 31,73 RPM dengan torsi terbesar, yaitu 0,253 Nm atau ketika beban ditambahkan sebesar 0,9 kg.

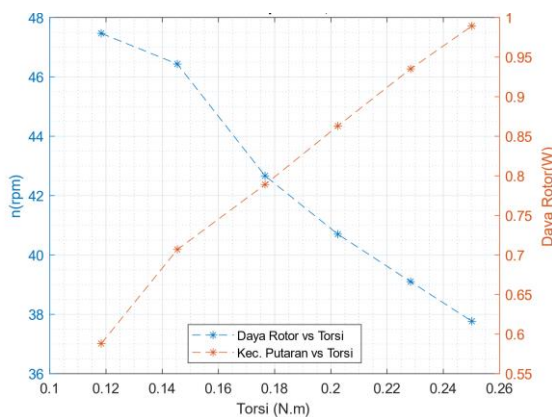
Untuk variasi OR 0,05, daya mekanik rotor terbesar, yaitu 0,93 W didapatkan pada kecepatan putaran 35,40 RPM dengan torsi tertinggi sebesar 0,252 Nm. Sedangkan untuk variasi OR 0,1 dan OR 0,15, nilai daya mekanik rotor tertinggi masing masing adalah 0,99 W dan 1,02 W yang didapatkan pada kecepatan putaran terendah masing masing sebesar 37,77 W dan 39,3 W dengan nilai torsi masing masing sebesar 0,25 Nm dan 0,248 Nm. Nilai torsi untuk tiap variasi OR tidak berbeda jauh. Meskipun begitu, dengan beban yang sama, rotor dengan nilai OR yang lebih tinggi mampu berputar dengan kecepatan yang lebih tinggi sehingga menghasilkan daya yang lebih tinggi. Sedangkan daya mekanik rotor yang dihasilkan tidak terlalu besar mengingat daya masukan pun hanya sebesar 4,48 W.



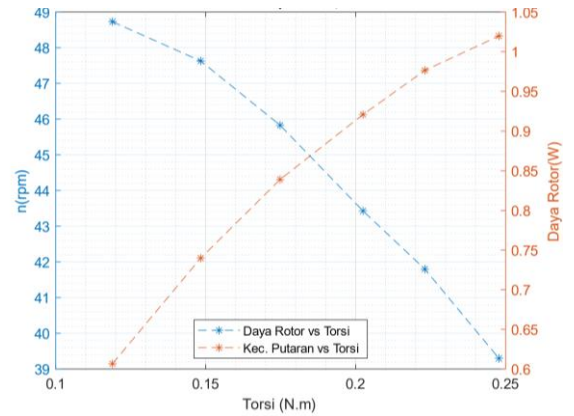
Gambar 8. Grafik Daya Rotor dan Torsi vs Kecepatan Putaran Rotor dengan 26,88% *Endplate* untuk Variasi OR 0



Gambar 9. Grafik Daya Rotor dan Torsi vs Kecepatan Putaran Rotor dengan 26,88% *Endplate* untuk Variasi OR 0,05



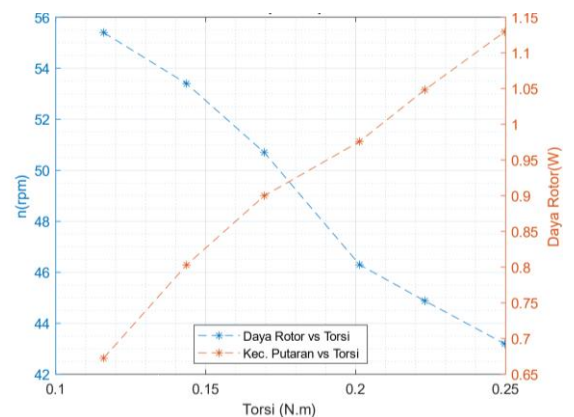
Gambar 10. Grafik Daya Rotor dan Torsi vs Kecepatan Putaran Rotor dengan 26,88% *Endplate* untuk Variasi OR 0,1



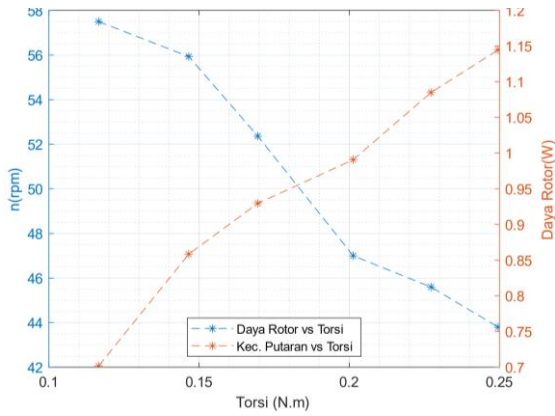
Gambar 11. Grafik Daya Rotor dan Torsi vs Kecepatan Putaran Rotor dengan 26,88% *Endplate* untuk Variasi OR 0,15

Fenomena yang tidak jauh berbeda juga terjadi pada rotor tanpa *endplate* seperti yang dijelaskan di tabel Gambar 12 hingga

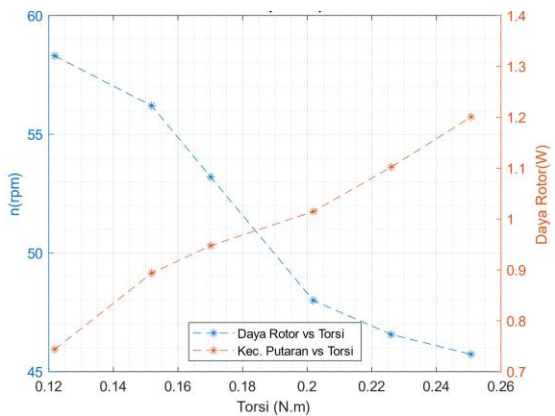
Gambar 15. Daya tertinggi di variasi OR 0 sebesar 1,13 W didapatkan pada nilai kecepatan putaran terendah sebesar 43,2 RPM dengan torsi sebesar 0,25 Nm. Sedangkan untuk variasi OR 0,05, OR 0,1, dan OR 0,15, nilai daya tertinggi masing masing adalah sebesar 1,14 W, 1,2 W, dan 1,22 W dalam kecepatan putaran rotor masing masing sebesar 43,8 RPM, 45,73 RPM, dan 46,23 RPM dengan torsi sebesar 0,25 Nm, 0,251 Nm, dan 0,251 Nm. Namun, perbedaan rotor dengan *endplate* rata rata 26,88% dengan rotor tanpa *endplate* adalah bahwa dengan nilai beban pada timbangan M1 yang sama, rotor mampu mempertahankan putaran dengan nilai yang lebih tinggi.



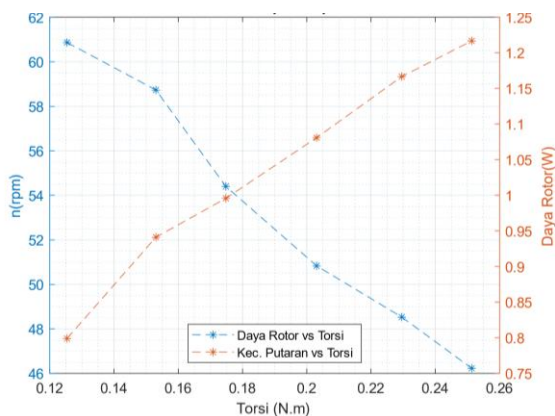
Gambar 12. Grafik Daya Rotor dan Torsi vs Kecepatan Putaran Rotor tanpa *Endplate* untuk Variasi OR 0



Gambar 13. Grafik Daya Rotor dan Torsi vs Kecepatan Putaran Rotor tanpa *Endplate* untuk Variasi OR 0,05



Gambar 14. Grafik Daya Rotor dan Torsi vs Kecepatan Putaran Rotor tanpa *Endplate* untuk Variasi OR 0,1



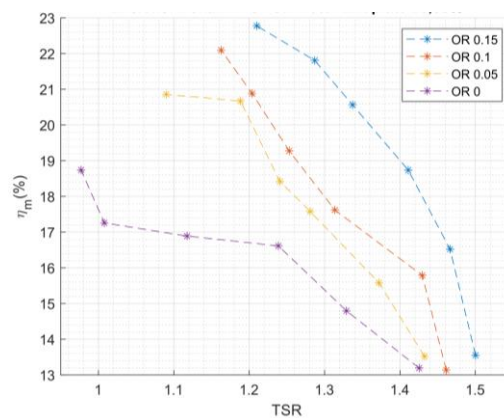
Gambar 15. Grafik Daya Rotor dan Torsi vs Kecepatan Putaran Rotor tanpa *Endplate* untuk Variasi OR 0,15

Untuk memperjelas ilustrasi perbedaan antara variasi OR dalam setiap jenis rotor, dibuat juga grafik gabungan antara efisiensi mekanik untuk masing masing pembebanan terhadap TSR. Hal ini dijelaskan di

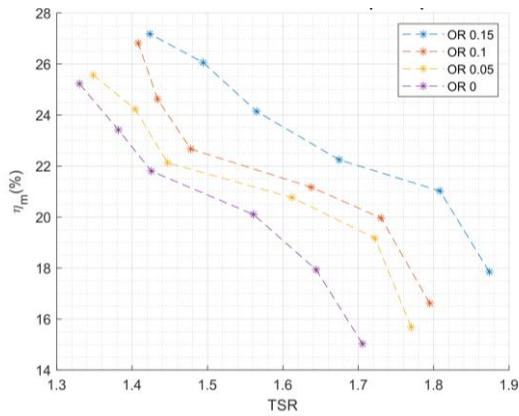
Gambar 16 untuk rotor dengan proporsi *endplate* 26,88% dan

Gambar 17 untuk rotor tanpa *endplate*. Dari dua grafik ini, dapat dijelaskan bahwa efisiensi mekanik dari rotor semakin berkurang dengan semakin bertambahnya TSR atau daya dihasilkan rotor lebih besar ketika rotor berputar pada kecepatan rendah.

Untuk rotor dengan *endplate* 26,88%, efisiensi mekanik maksimal terbesar terdapat di variasi OR 0,15 sebesar 22,78% pada nilai TSR 1,3 dan efisiensi mekanik maksimal terkecil terdapat di variasi OR 0 sebesar 18,74% pada nilai TSR 0,98. Sedangkan untuk rotor tanpa *endplate*, efisiensi mekanik maksimal terbesar juga terdapat di variasi OR 0,15 sebesar 27,18% pada nilai TSR 1,42 dan efisiensi maksimal terkecil terdapat di variasi OR 0 sebesar 25,23% pada nilai TSR 1,33. Rotor tanpa *endplate* memiliki nilai TSR dan juga efisiensi mekanik rotor yang lebih tinggi yang menandakan performa rotor tanpa *endplate* lebih baik dibandingkan dengan *endplate* 26,88%.



Gambar 16. Grafik Efisiensi Mekanik terhadap TSR untuk Rotor dengan 26,88% *Endplate*



Gambar 17. Grafik Efisiensi Mekanik terhadap TSR untuk Rotor tanpa Endplate

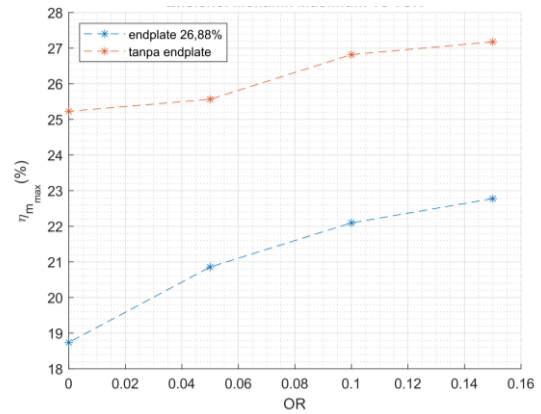
Untuk melihat lebih jelas hubungan antara variasi OR dan endplate terhadap efisiensi mekanik, dibuat grafik efisiensi mekanik maksimal tiap variasi OR dan tiap jenis rotor baik dengan endplate atau tanpa endplate terhadap nilai OR seperti yang ditunjukkan di

Gambar 18. Dari grafik ini dapat diambil informasi bahwa efisiensi mekanik bertambah dengan semakin bertambahnya variasi OR seperti pengujian rotor Savonius tanpa adanya sistem turbin pusaran gravitasi yang dilakukan oleh Hadi, dkk ataupun Patel, dkk [9] [10].

Hal ini kemungkinan dapat dijelaskan bahwa dengan adanya celah di antara dua sudu, mengarahkan sebagian aliran dari bagian inlet basin yang menabrak sudu datang lalu melewati celah dan menabrak sudu balik sehingga menambahkan daya putaran rotor. Sedangkan rotor tanpa endplate memiliki nilai efisiensi mekanik yang lebih besar dibandingkan rotor dengan endplate 26,88%. Hal ini mendukung hasil penelitian yang dilakukan oleh Wichian dkk bahwa memang dengan menambahkan endplate yang luas permukaannya tidak terlalu besar akan menghasilkan performa yang lebih baik karena membantu menyimpan aliran massa air dengan kontak yang lebih besar terhadap sudu.

Namun, jika proporsi luas endplate terlalu besar seperti yang dilakukan pada rotor dengan endplate 26,88% di penelitian ini, maka inersia yang terlalu besar akan dihasilkan dan performanya justru akan

semakin menurun [14]. Proporsi luas endplate yang terlalu besar juga justru mengganggu terbentuknya pusaran air dari sistem turbin pusara gravitasi.



Gambar 18. Grafik Efisiensi Mekanik Maksimum terhadap variasi OR

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari proses pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

- Prototipe Turbin Air Pusaran Gravitasi dengan variasi OR 0,15 menghasilkan daya keluaran maksimal 1,02 W untuk rotor dengan endplate 26,88% dan 1,22 W untuk rotor tanpa endplate yang lebih besar dibandingkan variasi OR 0,1; 0,05; 0.
- Dalam rentang OR 0-0,15 pada penelitian ini, efisiensi mekanik rotor semakin kecil dengan meningkatnya TSR.
- Dalam rentang OR 0-0,15 pada penelitian ini, efisiensi mekanik maksimal rotor semakin besar dengan meningkatnya tingkat OR dengan nilai efisiensi mekanik maksimal di variasi OR 0,15 sebesar 22,78% untuk rotor dengan endplate 26,88% dan 27,18% untuk rotor tanpa endplate .
- Rotor tanpa endplate untuk semua variasi OR pada penelitian ini memiliki efisiensi mekanik yang lebih besar dibandingkan rotor dengan endplate 26,88%.

Penelitian ini perlu dikembangkan lebih lanjut dengan memvariasikan bentuk rotor yang memiliki performa yang lebih baik lagi.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan untuk DIPA Politeknik Negeri Indramayu yang telah membiayai penelitian ini dengan nomor kontrak penelitian 360/PL42/PG/2021

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Saefulhak, T. Mumpuni, dan F. Tumiwa, "ENERGI TERBARUKAN: Energi Untuk Kini dan Nanti-Seri 10 Pertanyaan," Jakarta, 2017.
- [2] E. Beach, "Hydro Power Vs. Solar Power Advantages," 2018. [Daring]. Tersedia pada: <https://sciencing.com/hydro-power-vs-solar-power-advantages-6513.html>. [Diakses: 03-Des-2020].
- [3] K. P. Puslitbang Sumber Daya Air, "Rata-rata Harian Aliran Sungai, Tinggi Aliran, dan Volume Air di Beberapa Sungai yang Daerah Pengalirannya Lebih dari 100 km<sup>2</sup>, 2015," 2017. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/statistictable/2017/11/14/1984/rata-rata-harian-aliran-sungai-tinggi-aliran-dan-volume-air-di-beberapa-sungai-yang-daerah-pengalirannya-lebih-dari-100-km2-2015.html>. [Diakses: 05-Des-2020].
- [4] M. Heinsdorff, "Rotor Module." [Daring]. Tersedia pada: <http://www.mobilehydro.com/rotormodul/>. [Diakses: 03-Des-2020].
- [5] P. Sritram dan R. Suntivarakorn, "The effects of blade number and turbine baffle plates on the efficiency of free-vortex water turbines," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 257, hal. 12040, 2019.
- [6] Y. Nishi dan T. Inagaki, "Performance and Flow Field of a Gravitation Vortex Type Water Turbine," *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2017, hal. 2610508, 2017.
- [7] T. C. Kueh, S. L. Beh, Y. S. Ooi, dan D. G. Rilling, "Experimental study to the influences of rotational speed and blade shape on water vortex turbine performance," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 822, hal. 12066, 2017.
- [8] R. Dhakal, T. R. Bajracharya, S. R. Shakya, dan B. Kumal, "Computational and Experimental Investigation of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant," 2017.
- [9] S. Hadi, H. Khuluqi, D. M. Prabowoputra, A. Prasetyo, D. D. D. P. Tjahjana, dan A. Farkhan, "Performance of Savonius Horizontal Axis Water Turbine in Free Flow Vertical Pipe as Effect of Blade Overlap," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 58, no. 2, hal. 219–223, 2019.
- [10] V. Patel, G. Bhat, T. I. Eldho, dan S. V. Prabhu, "Influence of overlap ratio and aspect ratio on the performance of Savonius hydrokinetic turbine," *Int. J. Energy Res.*, vol. 41, no. 6, hal. 829–844, Mei 2017.
- [11] S. Dhakal *dkk.*, "Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 48, hal. 662–669, 2015.
- [12] N. H. Mahmoud, A. A. El-Haroun, E. Wahba, dan M. H. Nasef, "An experimental study on improvement of Savonius rotor performance," *Alexandria Eng. J.*, vol. 51, no. 1, hal. 19–25, 2012.
- [13] R. Ullah, T. A. Cheema, A. S. Saleem, S. M. Ahmad, J. A. Chattha, dan C. W. Park, "Performance analysis of multi-stage gravitational water vortex turbine," *Energy Convers. Manag.*, vol. 198, hal. 111788, 2019.
- [14] P. Wichian dan R. Suntivarakorn, "The Effects of Turbine Baffle Plates on the Efficiency of Water Free Vortex Turbines," *Energy Procedia*, vol. 100, hal. 198–202, 2016.

## NOMENKLATUR

<i>OR</i>	<i>Overlap Ratio</i>
<i>e</i>	Lebar Celah (m)
<i>a</i>	Diameter Poros (m)
<i>d</i>	Diameter Tiap Sudu (m)
<i>D</i>	Diameter Total Dua Sudu (m)
<i>e<sub>1</sub></i>	Lebar Celah Kiri (m)
<i>e<sub>2</sub></i>	Lebar Celah Kanan (m)
<i>P<sub>hydro</sub></i>	Daya Masukan dari Aliran Air (W)
$\rho$	Massa Jenis Air (kg/m <sup>3</sup> )
<i>Q</i>	Laju Aliran Volume atau Debit Air (m <sup>3</sup> /s)
<i>g</i>	Percepatan Gravitasi (m/s <sup>2</sup> )
<i>H<sub>ef</sub></i>	Head Efektif (m)
<i>H<sub>p</sub></i>	Jarak Bagian Tengah Rotor Hingga Permukaan Air Kanal (m)
<i>v</i>	Kecepatan Aliran Air pada Inlet Basin (m)

$P_{rotor}$	Daya Keluaran dari Putaran Rotor (W)
$\omega$	Kecepatan Putaran Rotor (rad/s)
$T$	Torsi Rotor (Nm)
$n$	Kecepatan Putaran Rotor (rpm)
$m_1$	Massa pada Timbangan Bawah (kg)
$m_2$	Massa pada Timbangan Atas (kg)
$r_{puli}$	Jari-jari puli (m)
$\eta_m$	Efisiensi Mekanik Rotor (%)