

# Perbandingan Aplikasi Rotor Tunggal dan Ganda terhadap Performa Turbin Air Tipe *Propeller* pada Saluran air Debit Rendah

Miftahul Ulum<sup>1</sup>, Michael Azzura Akbar<sup>2</sup>, M. Arif<sup>3</sup>, dan, Saif Muizzadin Wadaullah<sup>4\*</sup>  
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya<sup>1,2,3</sup>  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember<sup>5</sup>  
e-mail: [ulum@itats.ac.id](mailto:ulum@itats.ac.id)<sup>1</sup>, [michaelazzura21@gmail.com](mailto:michaelazzura21@gmail.com)<sup>2</sup>, [arif.blues83@gmail.com](mailto:arif.blues83@gmail.com)<sup>3</sup>, dan  
[wada.ullah.sw@gmail.com](mailto:wada.ullah.sw@gmail.com)<sup>4\*</sup>

## ABSTRACT

*The propeller turbine is a water turbine that is suitable for use at low heads such as irrigation canals and rivers. Hydrokinetic energy development is the most feasible option in Indonesia. However, currently the development of hydrokinetic energy in Indonesia is still very low. The propeller turbine is a water turbine which is suitable for use at low heads. This turbine is classified as a microhydro and has a head between 1-5 m. This study was conducted to compare the effect of using a double rotor on a propeller turbine. Changes in turbine performance were reviewed through the rotational speed of the rotor, torque, mechanical power and turbine electrical voltage. This research was conducted experimentally in a closed-loop test section. A pump drives fluid flowing in the closed-loop test section at flow rates of 0.05, 0.1 and 0.15 liter/s. the use of a double propeller turbine results in an increase in turbine performance above 5%. This is because turbines with double rotors have a large cross-sectional area compared to single-rotor turbines. Thus the energy contained in the fluid can be transmitted optimally to drive the turbine surface with a double rotor.*

**Keyword:** Turbin *Propeller*, Double rotor, microhydro

## ABSTRAK

Turbin *propeller* merupakan turbin air yang cocok digunakan pada head rendah seperti pada saluran irigasi dan sungai. Pengembangan energi *hydrokinetic* merupakan pilihan yang paling mungkin dilakukan di Indonesia. Namun saat ini pengembangan energi *hydrokinetic* di Indonesia masih sangat rendah. Turbin *propeller* merupakan turbin air yang cocok digunakan pada head rendah. Turbin ini tergolong sebagai *microhydro* dan memiliki head antara 1-5 m. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan pengaruh pemanfaatan rotor ganda pada turbin *propeller*. Perubahan performa turbin di tinjau melalui kecepatan putar rotor, torsi, daya mekanis dan tegangan listrik turbin. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen pada test section dengan bentuk *closed-loop*. Sebuah pompa menggerakkan fluida yang mengalir di bagian uji loop tertutup dengan laju aliran 0.05, 0.1 dan 0.15 liter/s. penggunaan turbin *propeller* dengan double menghasilkan peningkatan performa turbin diatas 5%. Hal ini dikarenakan turbin dengan rotor ganda memiliki luas penampang yang besar dibandingkan dengan turbin rotor tunggal. Dengan demikian energi yang terkandung dalam fluida dapat di transmisikan secara optimum untuk mendorong permukaan turbin dengan rotor ganda.

**Kata kunci:** Turbin *Propeller*, rotor ganda, microhydro

## PENDAHULUAN

Penerapan *Renewable* energy sebagai sumber energy utaman memiliki kelebihan dan kekurangan bagai kehidupan masyarakat pada berbagai bidang, seperti lingkungan, ekonomi, dan sosial, tergantung pada jenis teknologinya. Stabilitas ketersediaan Energi listrik yang dihasilkan oleh sumber *Renewable* energi tidak terjamin. Hal ini dikarenakan beberapa sumber energi seperti *hydrokinetic* dan angin selalu mengalami perubahan kecepatan aliran akibat pengaruh lingkungan[1]. Fluktuasi daya yang dihasilkan oleh *Renewable* energy harus di perkirakan terlebih dahulu sebelum proses pembangunan fasilitas pembangkit daya. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kerugian yang mungkin ditimbulkan saat investasi. Fluktuasi energi menyebabkan sektor industri masih enggan untuk menggunakan *Renewable* energi sebagai sumber pembangkit daya utama. Peningkatan pemanfaatan energi *non-Renewable* seperti batu bara dan minyak bumi sebesar 1% mengindikasikan peningkatan pertumbuhan sector ekonomi sebesar 0,27% [2]. Namun peningkatan penggunaan energi fosil dapat menyebabkan efek green house emission gas yang dapat merusak bumi. Setiap 1% Peningkatan pemanfaatan energi alternative di lingkungan sekitar mampu mengurangi efek global warming hingga 0,53% [3].

Penelitian tentang turbin *propeller* tunggal dilakukan pada skala laboratorium oleh Samora et al. menunjukkan bahwa turbin rotor tunggal dapat menghasilkan efisiensi hingga 95% pada laju aliran 30 m<sup>3</sup>/jam [4]. Debit aliran fluida ini diperoleh dari sungai atau bendungan dengan debit aliran tinggi.

Pengaplikasian turbin *propeller* pada aliran fluida aliran rendah dilengkapi dengan guide vane atau model *double rotor*. Penggunaan guide vane lebih banyak diaplikasikan pada system pembangkit, karena pemasangannya lebih sederhana dibandingkan dengan pemasangan *double rotor*. Jenis Guide vane yang digunakan pada turbin *propeller* diklasifikasikan menjadi dua jenis. Sebuah Guide Vane sederhana dipasang di bagian depan turbin *propeller* untuk mengarahkan aliran fluida pada sudut tertentu [5]. Model Guide vane kedua dipasang bersama dengan rotor turbin. Pemasangan guide vane yang dipadukan dengan rotor bertujuan untuk meningkatkan kecepatan putaran turbin karena adanya penambahan gaya aerodinamis pada bilah rotor turbin hidro[6][7]. Pemasangan guide vane pada rotor blade dapat meningkatkan kinerja turbin hingga 5% dibandingkan dengan kondisi operasi normal [6].

Penerapan *Double rotor* pada turbin yang berputar berlawanan arah diharapkan dapat meningkatkan kinerja turbin[8]. Namun, penerapan rotor ganda pada turbin dapat menyebabkan retakan pada ujung sudu. Hal ini dikarenakan rotor depan sudu menghasilkan Vortex dengan kecepatan tinggi yang terdorong ke rotor kedua. Rotor kedua yang terletak dibelakang lebih rentan mengalami kavitasasi. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan pengaruh pemanfaatan rotor ganda pada turbin *propeller*. Performa turbin di tinjau melalui kecepatan putar rotor, torsi, daya mekanis dan tegangan listrik turbin.

## TINJAUAN PUSTAKA

Indonesia memiliki ketersediaan energi alternatif yang sangat beragam. Namun pemilihan sumber energi yang akan di eksplorasi perlu mempertimbangkan Potensi energi yang dihasilkan, keberlanjutan, ketersediaan modal hingga system transmisi yang dibutuhkan. Pemanfaatan energi alternative mampu memberikan kontribusi positif Indonesia memiliki 4 sumber energi alternative terbesar meliputi : *Hydrokinetic*, geothermal, angin dan matahari. Pemanfaatan energi *Renewable* di Indonesia masih cukup rendah jika dibandingkan dengan pemanfaatan energi fosil (batu bara 46.7%, 19.3% gas alam dan 11.6% minyak bumi) yaitu ; *hydro power* 9.9%, *geothermal power* 2.6%, *mini hydro power* 0.2 % dan *micro hydro power* sebesar 0.1%[9]. Pemanfaatan sumber energi alternatif harus mempertimbangkan faktor : *Gross domestic product* (GDP), pertumbuhan lapangan pekerjaan, distribusi pemasukan perkapita, and emisi CO<sub>2</sub>[10]. Pengembangan energi *hydrokinetic* merupakan pilihan yang paling mungkin dilakukan di Indonesia. Namun saat ini pengembangan energi *hydrokinetic* di Indonesia masih sangat rendah yaitu sebesar 8,671 MW atau sekitar 11.9% dari potensi energi yang tersedia[11]. Pengembangan Pembangkit listrik tenaga air dapat dilakukan dengan kapasitas mikro pada sungai yang memiliki kecepatan 1,5 m/s[12]. Selain itu ada beberapa faktor lain yang perlu diperhatikan seperti debit air, kedalaman saluran dan head.

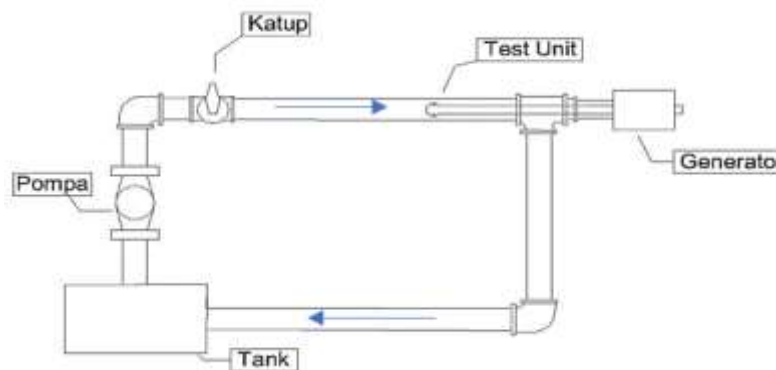
Turbin air dapat berputar dengan cara digerakkan oleh air melalui sumber dari waduk (*Dammed Reservoir*), aliran sungai (*Run of the river*), aliran air dari pompa (*pumped storage*), aliran fluida buatan (*In stream*) dan kolam *vortex* (*Vortex Power*)[13]. Jenis Turbin air dapat di klasifikasikan berdasarkan teknologi, kapasitas daya yang dihasilkan dan cara kerja. Berdasarkan kapasitas daya yang dihasilkan, turbin air di klasifikasikan menjadi largehydro turbine, smallhydro turbine, microhydro turbine dan pikohydro turbine. Largehydro turbine memiliki kapasitas daya diatas 100 MW. Daya yang dihasilkan oleh smallhydro turbine berkisar antara 1-15 MW. Turbin mikro hydro merupakan turbin yang menghasilkan daya kurang dari 100 KW. Sedangkan turbin yang menghasilkan daya antara 100KW – 1 MW disebut dengan mini hydro powerplant. Turbin yang meghasilkan energi antara 1 – 5 KW disebut dengan *picohydro*[13]. Turbin seperti ini biasanya di install untuk membangkitkan energi listrik dari aliran sungai dengan debit rendah. Berdasarkan nilai headnya turbin dikategorikan menjadi high (>50 m), medium (10-50 m) dan low (<10 m)[14]. Berdasarkan cara kerjanya turbin air di klasifikasikan menjadi turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls merupakan turbin yang menghasilkan energi kinetik dengan cara memanfaatkan energi potensial air untuk mendorong sudu dengan momentum yang tinggi. Turbin reaksi merupakan turbin yang memanfaatkan tekanan dari aliran air untuk memutarinya. Sudu-sudu Turbin reaksi berada di dalam volute yang sepenuhnya terendam air[15].

Turbin *propeller* / Kaplan merupakan salah satu jenis turbin reaksi. Turbin air Kaplan memiliki bentuk mirip dengan baling-baling kapal dengan ukuran hub yang lebih besar[16]. Turbin ini tergolong sebagai *microhyro* dan memiliki head antara 1-5 m. Kelebihan dari turbin ini adalah turbin mampu mencapai kecepatan putar yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin jenis lain. Berat turbin memungkinkan jenis turbin ini dikombinasikan deng jenis lainnya yang memiliki letak poros sama. Namun turbin ini menghasilkan getaran yang tinggi pada porosnya akibat olakan air disekitar guide vane turbin. Selain itu ujung sudu turbin sangat rawan terjadi kavitasasi[17].

Turbin *propeller* merupakan turbin air yang cocok digunakan pada head rendah seperti pada saluran irigasi dan sungai[10]. Efisiensi daya yang dihasilkan turbin *propeller* adalah sekitar 40 – 60% dari daya input yang digunakan untuk menggerakkan turbin [11][12]. Berdasarkan diagram kelayakan yang ditunjukkan pada Gambar 1, turbin *propeller*/Kaplan dapat menghasilkan daya dalam aliran fluida dengan head rendah dan laju aliran tinggi. Daya yang dihasilkan oleh turbin *propeller* ditentukan oleh bentuk dan jumlah sudu turbin. Nilai TSR turbin menentukan bentuk sudu turbin, jumlah sudu dan sudut sudu turbin[13]. Bilah dengan panjang yang sesuai harus memiliki bentuk melengkung untuk mendapatkan kekuatan yang lebih tinggi. Jumlah sudu yang paling efisien yang digunakan pada turbin *propeller* adalah 3 [11]. Jika jumlah sudu bertambah maka turbin akan mengalami peningkatan drag karena terbentuknya gelembung-gelembung air di sekitar sudu turbin. Turbin *propeller* dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari aliran fluida melalui sistem perpipaan. Pemasangan *propeller* turbin dapat dilakukan pada ujung sistem perpipaan dengan memanfaatkan aliran fluida yang melewati elbow dengan kecepatan tinggi. Namun pemasangan turbin *propeller* di dekat *elbow* dapat menyebabkan getaran pada sistem perpipaan ketika fluida mengalir dengan kecepatan tinggi[14].

## METODE

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen pada *test section* dengan bentuk *closed-loop*. Sebuah pompa menggerakkan fluida yang mengalir di bagian uji ruang pengujian tertutup dengan laju aliran 0.05, 0.1 dan 0.15 liter/s. Turbin dipasang secara horizontal menggunakan poros yang menembus siku. uji ditunjukkan pada gambar 1. Model turbin yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada percobaan turbin hidro *Contrarotating* [18]. Turbin yang digunakan memiliki sudut serang ( $\alpha$ ) 25° dan Sudut sudu rotor belakang ( $\beta$ ) 25°. Model sudut sudu turbin ditunjukkan pada gambar 2. *Double rotor* yang digunakan pada penelitian ini memiliki model yang sama dengan turbin *single rotor*. Ukuran yang digunakan pada turbin *propeller single* dan *Double Rotor* ditunjukkan pada tabel 1 dan 2. Turbin dibuat dengan menggunakan *3D printing* untuk mendapatkan ukuran yang sesuai. Namun permukaan turbin tidak diperhalus sehingga memungkinkan kekasaran permukaan masih berpengaruh pada performa turbin. Pada turbin *double rotor*, bentuk sudu yang digunakan sama dan berputar bersamaan pada 1 poros. Penelitian ini tidak menggunakan transmisi *Contrarotating*. Sebelum percobaan dimulai, pompa harus dihidupkan minimal selama 3 menit agar aliran fluida pada *test section* bergerak secara seragam (*uniform*). Pengambilan data kecepatan sudut dilakukan dengan menggunakan tachometer yang digunakan untuk menghitung putaran poros turbin. Torsi turbin diperoleh dengan membebani poros turbin hingga turbin berhenti berputar.



Gambar 1. Gambar Eksperimen *set up*

Dalam menghitung kinerja turbin air, beberapa indikator nilai diambil dari hasil pengukuran, seperti debit, daya, torsi, dan kecepatan putar (rpm) yang dihasilkan turbin. Persamaan berikut menunjukkan kinerja turbin:

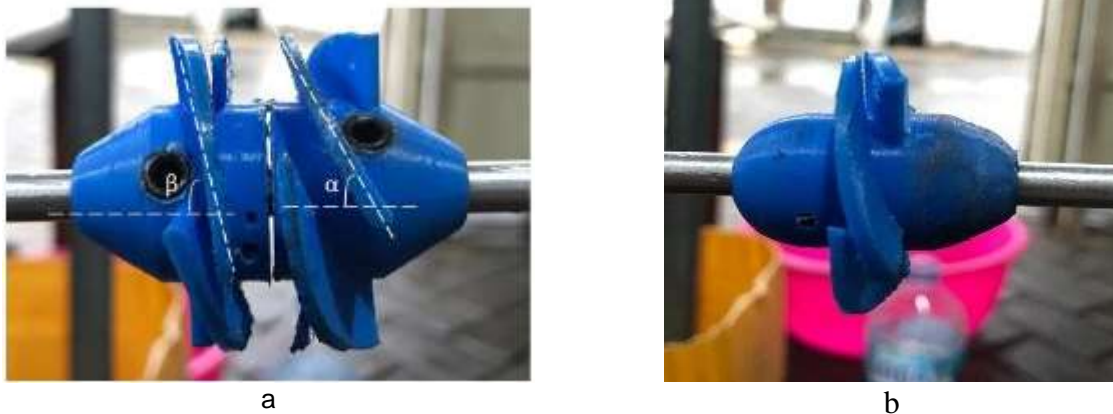
$$Q = vA = v\pi r^2 \quad (1)$$

Performa turbin dipengaruhi oleh laju aliran dan head fluida di sekitar turbin. Kinerja turbin ditentukan oleh kecepatan aliran ( $v$ ) dan diameter bagian pipa uji ( $A$ ), persamaan 1. Hasil unjuk kerja turbin yang dihitung adalah daya yang dihasilkan oleh putaran turbin. Output daya dihitung menggunakan nilai torsi ( $\tau$ ) dan

kecepatan sudut turbin ( $\omega$ ) yang ditunjukkan oleh persamaan 2. Torsi ( $\tau$ ) dengan satuan Nm diperoleh melalui gaya ( $F$ ) yang dihasilkan turbin untuk memutar poros dikalikan panjang lengan gaya ( $r$ ), persamaan 3.

$$P = \tau \cdot \omega \quad (2)$$

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



Gambar 2. Model Benda uji Turbin *Propeller* (a) *Double rotor* (b) *Single rotor*.

Tabel 1. Dimensi Turbin air Tipe *Propeller double rotor*

Bagian Turbin	Ukuran	Satuan
Diameter lubang poros rotor depan	6	mm
Diameter tengah rotor depan	43,5	mm
Diameter belakang rotor depan	58	mm
Diameter lubang poros rotor belakang	6	mm
Diameter lubang poros rotor belakang	43,5	mm
Diameter lubang poros rotor belakang	58	mm
Jumlah blade rotor belakang	4	
Jumlah blade rotor depan	4	mm
Derajat kemiringan sudu	20	derajat

Tabel 2. Dimensi Turbin air Tipe *Propeller Singel rotor*

Bagian Turbin	Ukuran	Satuan
Diameter lubang poros rotor	6	mm
Diameter ujung rotor	43,5	mm
Diameter tengah rotor	58	mm
Jumlah blade	4	
Derajat kemiringan sudu	20	derajat

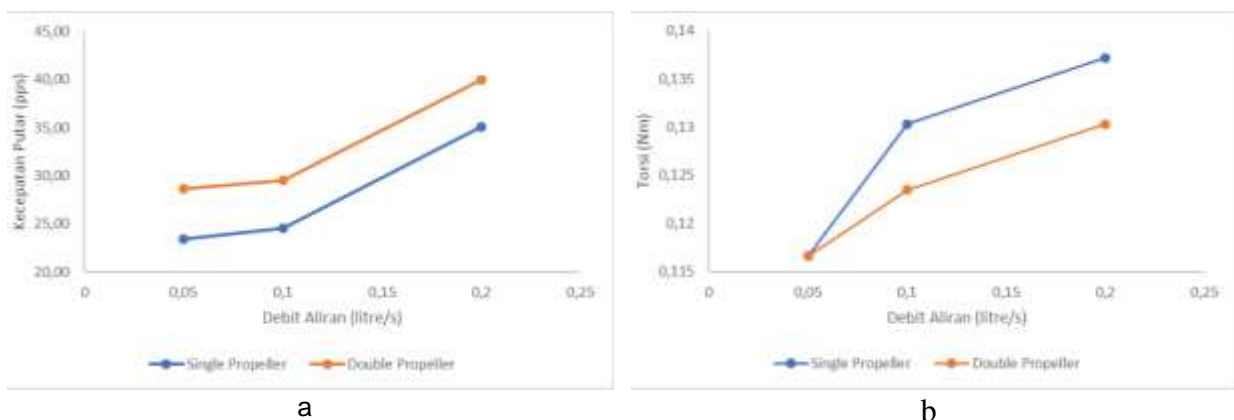
Data yang didapat dari penelitian ini meliputi Performa turbin di tinjau melalui kecepatan putar rotor, torsi, daya mekanis dan tegangan listrik turbin. Nilai putaran turbin diperoleh melalui proses pengukuran dengan menggubakan tachometer. Sedangkan proses pengukuran torsi turbin diperoleh dari metode pembebanan [19]. Performa turbin berupa Daya mekanis diperoleh melalui perhitungan persamaan 2. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin di ukur dengan menggunakan multi meter.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perubahan Kecepatan Putar dan Torsi yang dihasilkan turbin

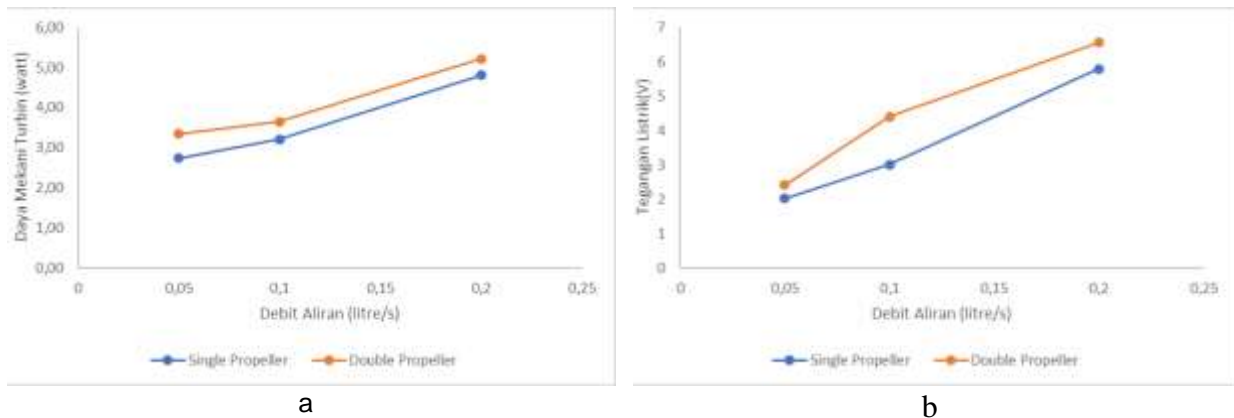
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan performa turbin *propeller* pada rotor tunggal dan rotor ganda. Proses pengumpulan data dilakukan pada debit aliran 0.05, 0.1 dan 0.15 liter/s. Hasil eksperimen turbin ditunjukkan melalui pengukuran kecepatan putar dan torsi turbin yang ditunjukkan pada gambar 3. Grafik 3.a menunjukkan perubahan kecepatan turbin *propeller* pada debit aliran 0.05 – 0.15 liter/s. Turbin berputar lebih cepat saat fluida mengalir dengan debit tinggi. Selain itu turbin dengan model *double propeller* memiliki kecepatan putar yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin *single propeller*. Kecepatan tertinggi yang dapat dicapai oleh turbin *single propeller* adalah sebesar 35,06 rps. Sedangkan turbin dengan *propeller* ganda mampu mencapai kecepatan putar sebesar 39,98 rps. Terjadi peningkatan kecepatan putar sebesar 14% pada saat turbin berputar dengan debit aliran 0.15 liter/s.

Grafik 3.b menunjukkan perubahan torsi yang dihasilkan oleh turbin *propeller* saat berputar pada debit 0.05 – 0.15 liter/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan aliran fluida menyebabkan peningkatan torsi yang dihasilkan oleh turbin. Kondisi ini disebabkan karena fluida yang mengalir dengan kecepatan tinggi memiliki potensi energi kinetik yang besar. Fluida tersebut mampu memutar turbin dengan kecepatan tertentu dan menyebabkan turbin memiliki energi untuk menghasilkan listrik. Grafik 3.b menunjukkan bahwa torsi yang dihasilkan oleh turbin *propeller* dengan rotor ganda lebih tinggi dibandingkan dengan turbin yang memiliki rotor tunggal. Hal ini dikarenakan turbin dengan rotor ganda memiliki luas penampang yang besar dibandingkan dengan turbin rotor tunggal. Dengan demikian energi yang terkandung dalam fluida dapat di transmisikan secara optimum untuk mendorong permukaan turbin dengan rotor ganda.



Gambar 3. Grafik (a) kecepatan putar dan (b) torsi pada turbin *propeller* terhadap perubahan debit aliran

Perbedaan performa turbin *propeller single rotor* dan *double rotor* dapat tunjukan melalui grafik 4. Pada Grafik tersebut menunjukkan perubahan nilai daya mekanis dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin. Perubahan daya mekanis turbin 0.05 – 0.15 liter/s ditunjukkan pada grafik 4.a. Daya mekanis yang dimaksudkan pada penelitian ini merupakan daya yang dihasilkan oleh putaran poros turbin. Nilai daya mekanis dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan nilai torsi dan kecepatan angular turbin seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran fluida menyebabkan kenaikan nilai daya mekanis pada turbin *propeller*. Turbin *propeller* yang berputar pada kecepatan tinggi akan menghasilkan gaya putar yang tinggi yang juga mengindikasikan peningkatan torsi dan daya mekanis turbin. Turbin *propeller Double rotor* menghasilkan Daya mekanis yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin *propeller* dengan rotor tunggal. Turbin dengan model *double rotor* menghasilkan daya mekanis tertinggi sebesar 5.21 watt. Sedangkan turbin *propeller* dengan rotor tunggal hanya menghasilkan 4,81 watt. Penggunaan *double rotor* pada turbin *propeller* menghasilkan peningkatan daya mekanis turbin hingga 8%.



Gambar 4. Grafik (a) Daya Mekanis dan (b) Tegangan pada turbin *propeller* terhadap perubahan debit aliran

Pada penelitian ini poros turbin di hubungkan dengan generator agar dapat dikonversi menjadi energi listrik. Grafik 4.b menunjukkan perubahan nilai tegangan yang dihasilkan oleh turbin *propeller* single dan *double rotor* yang berputar pada debit 0.05 – 0.15 liter/s. Peningkatan debit aliran fluida menyebabkan kenaikan nilai tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran fluida menyebabkan kenaikan tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin. Turbin *Propeller* menghasilkan tegangan listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin *single rotor*. Tegangan tertinggi yang dapat dihasilkan oleh turbin *double propeller* adalah sebesar 6.56 Volt sedangkan turbin *single propeller* menghasilkan 5.79 Volt. Pemasangan turbin *propeller* dengan *double rotor* menghasilkan peningkatan tegangan sebesar 13%. Secara keseluruhan penggunaan turbin *propeller* dengan *double* menghasilkan peningkatan performa turbin diatas 5%. Potensi ini masih sangat mungkin di kembangkan pada penelitian selanjutnya.

## KESIMPULAN

Turbin *propeller* merupakan turbin air yang cocok digunakan pada head rendah. Turbin *Propeller* menghasilkan tegangan listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin *single rotor*. Peningkatan Performa turbin di tinjau melalui kecepatan putar rotor, torsi, daya mekanis dan tegangan listrik turbin. Secara keseluruhan penggunaan turbin *propeller* dengan *double* menghasilkan peningkatan performa turbin diatas 5%. Potensi ini masih sangat mungkin di kembangkan pada penelitian selanjutnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusunan penelitian ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan oleh berbagai pihak. Oleh karenanya, kami ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada ITATS yang telah memfasilitasi proses penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. C. Lin, V. E. Balas, J. F. Yang, and Y. H. Chang, "Adaptive Takagi–Sugeno Fuzzy Model Predictive Control for Permanent Magnet Synchronous Generator-Based *Hydrokinetic* Turbine Systems," *Energies* 2020, Vol. 13, Page 5296, vol. 13, no. 20, p. 5296, Oct. 2020, doi: 10.3390/EN13205296.
- [2] J. P. C. Bento, N. Szczygiel, and V. Moutinho, "Fossil fuel power generation and economic growth in Poland," <http://dx.doi.org/10.1080/15567249.2017.1324536>, vol. 12, no. 10, pp. 930–935, Oct. 2017, doi: 10.1080/15567249.2017.1324536.
- [3] H. A. D. Hdom, "Examining carbon dioxide emissions, fossil & *Renewable* electricity generation and economic growth: Evidence from a panel of South American countries," *Renew. Energy*, vol. 139, pp. 186–197, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.RENENE.2019.02.062.
- [4] I. Samora, V. Hasmatuchi, C. Münch-Alligné, M. J. Franca, A. J. Schleiss, and H. M. Ramos, "Experimental characterization of a five blade tubular *propeller* turbine for pipe inline installation,"

- Renew. Energy*, vol. 95, pp. 356–366, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.RENENE.2016.04.023.
- [5] B. Baidar, J. Nicolle, B. K. Gandhi, and M. J. Cervantes, “Sensitivity of the Winter-Kennedy method to different guide vane openings on an axial machine,” *Flow Meas. Instrum.*, vol. 68, p. 101585, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.FLOWMEASINST.2019.101585.
- [6] Q. M. B. Soesanto, P. Widiyanto, A. Susatyo, and E. Yazid, “Cascade optimization of an axial-flow hydraulic turbine type *propeller* by a genetic algorithm,” *Int. J. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 200–211, 2019, doi: 10.14716/IJTECH.V10I1.1744.
- [7] D. Borkowski, M. Węgiel, P. Oćłoń, and T. Węgiel, “CFD model and experimental verification of water turbine integrated with electrical generator,” *Energy*, vol. 185, pp. 875–883, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.ENERGY.2019.07.091.
- [8] A. S. Karthik, A. S. Menasinkai, C. C. Kokatnur, and S. N. Kurbet, “Design and Static Analysis of Micro Hydro Kaplan Turbine Blade,” *Int. J. Emerg. Trends Sci. Technol.*, vol. 01, no. 03, pp. 268–271, 2014.
- [9] Erinofiardi *et al.*, “A Review on Micro Hydropower in Indonesia,” *Energy Procedia*, vol. 110, pp. 316–321, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2017.03.146.
- [10] D. Hartono, S. H. Hastuti, A. Halimatussadiyah, A. Saraswati, A. F. Mita, and V. Indriani, “Comparing the impacts of fossil and *Renewable* energy investments in Indonesia: A simple general equilibrium analysis,” *Heliyon*, vol. 6, no. 6, p. e04120, Jun. 2020, doi: 10.1016/J.HELİYON.2020.E04120.
- [11] “Performance Investigation of the Savonius Horizontal Water Turbine Accounting for Stage Rotor Design,” 2020, doi: 10.18178/ijmerr.9.2.184-189.
- [12] Kasman, R. Hantoro, and I. L. Eptanto, “Study potency of *hydrokinetic* energy in discharge Balambano hydro electric power plant,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2088, no. 1, p. 030015, Mar. 2019, doi: 10.1063/1.5095320.
- [13] A. H. Elbatran, M. W. Abdel-Hamed, O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, and M. Arif Ismail, “Hydro Power and Turbine Systems Reviews,” *J. Teknol.*, vol. 74, no. 5, pp. 83–90, May 2015, doi: 10.11113/JT.V74.4646.
- [14] O. Paish, “Small hydro power: technology and current status,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 6, no. 6, pp. 537–556, Dec. 2002, doi: 10.1016/S1364-0321(02)00006-0.
- [15] R. B. Astro, H. Doa, and H. Hendro, “FISIKA KONTEKSTUAL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO,” *ORBITA J. Kajian, Inov. dan Apl. Pendidik. Fis.*, vol. 6, no. 1, pp. 142–149, May 2020, Accessed: Feb. 06, 2022. [Online]. Available: <http://journal.ummat.ac.id/index.php/orbita/article/view/1858>.
- [16] O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, A. H. Elbatran, and H. M. Shabara, “A Review on Micro Hydro Gravitational Vortex Power and Turbine Systems,” *J. Teknol.*, vol. 69, no. 7, pp. 1–7, Jul. 2014, doi: 10.11113/JT.V69.3259.
- [17] K. Monkova *et al.*, “Condition Monitoring of Kaplan Turbine Bearings Using Vibro-diagnostics,” 2020, doi: 10.18178/ijmerr.9.8.1182-1188.
- [18] D. Nan, T. Shigemitsu, S. Zhao, and Y. Takeshima, “Internal flow and performance with foreign vegetable materials in a contra-rotating small hydro-turbine,” *Int. J. Fluid Mach. Syst.*, vol. 10, no. 4, pp. 385–393, 2017, doi: 10.5293/IJFMS.2017.10.4.385.
- [19] Z. Lillahulhaq, A. Muchyiddin, R. W. Suhadak, I. Amirullah, F. D. Sandy, and A. C. Embot, “Experimental Study Wind Turbine Performance of Straight-Savonius and Ice-Wind Type on the Similar proportion Aspect Ratio,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2117, no. 1, p. 012008, Nov. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2117/1/012008.