

# Eksperimental Variasi Head dan Debit Air Terhadap Daya Turbin Cross-Flow (Aliran Silang)

Muhammad Hasan Basri<sup>1</sup>, Sudarno<sup>2</sup>, Muhammad Fuad Abdul Hakim<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Merdeka Madiun, Jawa Timur, Indonesia

e-mail:[hasanbasri@unmer-madiun.ac.id](mailto:hasanbasri@unmer-madiun.ac.id), [sudarno@unmer-madiun.ac.id](mailto:sudarno@unmer-madiun.ac.id), [muhhammadfuad@unmer-madiun.ac.id](mailto:muhhammadfuad@unmer-madiun.ac.id)

**Abstrak:** Pembangkit listrik di Indonesia umumnya yaitu pembangkit listrik tenaga uap batu bara yang masih menggunakan bahan bakar fosil yang ketersediaannya semakin langka. Salah satu kategori pemanfaatan sumber daya air sebagai energi terbarukan (energi listrik) yang menjanjikan adalah pembangkit listrik tenaga piko hidro (PLTPH) yang menggunakan sistem turbin cross-flow sebagai tenaga penggerak. Salah satu upaya mengoptimalkan kinerja turbin adalah dengan mengubah parameter operasi turbin, yaitu debit aliran air dan ketinggian head. Pada penelitian ini akan menguji secara eksperimental untuk mengetahui kinerja daya mekanis turbin dan daya keluaran generator pada pompa sebagai turbin yang dihasilkan oleh sistem turbin dengan melakukan variasi debit dan head pada sistem turbin cross-flow. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi debit dan head yang berbeda terhadap daya turbin dan daya generator pada pompa sebagai turbin. Pada pengujian ini menggunakan spesimen dengan sudut masuk 30o dan sudut keluar 75o. Spesimen benda uji dibuat dari bahan komposit agar lebih ringan dan tahan terhadap tekanan. Pada instalasi pengujian digunakan kerangka dibuat pada ketinggian air jatuh 3 meter, 4 meter, 5 meter dan variasi debit yang berbeda. Daya generator terbesar dihasilkan pada ketinggian 5 meter dan debit air 0,00642 m<sup>3</sup>/detik adalah 99,96 watt, pada putaran poros generator 881,4 rpm. Pengaruh variasi ketinggian head terhadap daya pada generator pada turbin cross flow adalah berbanding lurus, dengan semakin meningkatnya ketinggian head maka daya generator semakin meningkat, daya generator paling besar yaitu pada tinggi head 5 m dengan gaya generator 58,73 watt.

**Kata Kunci:** Pompa, Turbin, Debit, Head, Daya Turbin, Generator

**Abstract:** Power plants in Indonesia are generally coal-fired steam power plants that still use fossil fuels whose availability is increasingly scarce. One category of water resource utilization as a promising renewable energy (electrical energy) is a pico-hydro power plant (PLTPH) that uses a cross-flow turbine system as a driving force. One effort to optimize turbine performance is by changing the turbine's operating parameters, namely water flow rate and head height. In this study, an experimental test will be conducted to determine the mechanical power performance of the turbine and the generator output power on the pump as a turbine produced by the turbine system by varying the flow rate and head in the cross-flow turbine system. The purpose of this study is to determine the effect of different flow rate and head variations on turbine power and generator power on the pump as a turbine. In this test, a specimen with an inlet angle of 30o and an outlet angle of 75o was used. The test specimen was made of composite material to be lighter and resistant to pressure. In the test installation, a frame was used to determine the falling water height of 3 meters, 4 meters, 5 meters and different flow rate variations. The largest generator power produced at a height of 5 meters and a water discharge of 0.00642 m<sup>3</sup>/second is 99.96 watts, at a generator shaft rotation of 881.4 rpm. The effect of variations in head height on generator power in cross flow turbines is directly proportional, with increasing head height, the generator power increases, the largest generator power is at a head height of 5 m with a generator force of 58.73 watts.

**Keywords:** Pump, Turbine, Discharge, Head, Turbine Power, Generator

Perkembangan teknologi di era globalisasi saat ini merimbas pada peningkatan kebutuhan energi listrik yang sangat besar, baik dinegara maju maupun berkembang seperti Indonesia [1]. Pembangkit listrik tenaga air adalah bentuk sumber daya energi terbarukan, yang berasal dari air yang mengalir. Menurut lembaga energi internasional (IEA), pasokan pembangkit listrik tenaga air skala besar saat ini mencapai 16% dari kebutuhan listrik dunia [7]. Pengaruh karakteristik turbin air yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan variasi laju aliran (debit) air terhadap daya generator yang dihasilkan oleh generator [2]. Terdapat hubungan antara bentuk sudu, lebar sudu turbin, ketebalan semburan air, jarak antara sudu dan diameter roda sehingga di butuhkan analisis yang jelas. Turbin crossflow atau turbin aliran silang merupakan pengembangan dari turbin ossberger yang ditemukan oleh Anthony Michell (Australia), Donald Bankie (Hungaria) dan Fritz Ossberger (Jerman). Daerah penggunaan turbin air aliran ini baik sekali digunakan untuk pusat tenaga air yang kecil [8]. Untuk menganalisa tentang kinerja sistem pembangkit listrik tenaga air jenis turbin dengan variasi bukaan katup dengan variasi beban lampu [3]. Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air [4]. Turbin aliran silang merupakan turbin aktif (turbin impuls). Keuntungan menggunakan turbin aliran silang adalah membantu mengurangi biaya namun tetap menghasilkan listrik dalam jumlah besar. Hal ini karena turbin aliran silang lebih kecil dan kompak dibandingkan turbin pembangkit listrik tenaga angin. Diameter roda turbin angin biasanya 2 meter atau lebih, namun diameter turbin aliran silang bisa mencapai 15 cm sehingga bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit sehingga bisa lebih murah. Hasil lain yang membuktikan keunggulan turbin aliran horizontal adalah pengujian yang dilakukan oleh Ossberger, pabrik pembuat turbin di Jerman, menunjukkan bahwa efisiensi energi turbin aliran horizontal 82% lebih tinggi dibandingkan turbin aliran horizontal. turbin. , meskipun mereka yang terbaik [5].

Generator yang tersedia banyak dipasarkan biasanya high speed induction generator dimana pada generator jenis ini membutuhkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnetik. Generator yang dibutuhkan haruslah murah, mudah dibuat, mudah perawatan, low speed, high torque serta bisa dikembangkan (scaled up) generator mini dengan menggunakan permanent magnet berjenis rare magnet (NdFeB), axial fluk [6]. Generator adalah pengkonversi energi dari bentuk energi mekanik menjadi energi listrik yang berlangsung di daerah medan magnet [7]. Generator fluks aksial magnet permanen 3 fasa. Stator dibentuk dengan jumlah kumparan sebanyak 9 kumparan terdiri dari 1000 lilitan per kumparan sedangkan rotor menggunakan magnet sebanyak 24 buah setiap rotornya. Tegangan induksi DC tiga fasa tanpa beban yang dihasilkan dari 10 kali variasi pengujian menggunakan turbin model L dan S [9]. Linear Permanent Magnet Generator merupakan generator yang bergerak secara linier yang menggunakan prinsip induksi medan magnetik yang dapat menghasilkan tegangan dengan bantuan gelombang air. Ada dua komponen utama dalam linear generator yaitu kumparan dan magnet. Kumparan merupakan bagian yang diam dan magnet merupakan bagian yang bergerak secara linier [10].

Dari penjelasan secara detail diatas dapat diambil kesimpulan, bahwasanya dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian dengan variasi berbeda tentang ketinggian air jatuh dan debit yang dihasilkan serta pengaruh head terhadap daya generator yang akan dihasilkan.

## METODE

### *Kondisi Eksperimen*

Turbin Cross Flow terdiri dari sebuah poros yang berputar yang dinamakan runner turbin. Pada runner, terpasang sudu-sudu. Jet mengenai sudu turbin (air memukul sudu turbin) dan mengubah arah aliran air. Perubahan momentum (impuls) yang terjadi menyebabkan gaya pada sudu turbin sehingga runner turbin berputar menghasilkan kerja. Akibat pukulan air yang mengenai sudu, energi potensial air dikonversikan menjadi energi kinetik dengan sebuah nozle yang diarahkan terpusat ke turbin. Turbin implus terdiri dari beberapa jenis yaitu Turbin Pelton dan Turbin aliran silang (Crossflow) Adam Harway, [11].

### *Prosedur Teknik Eksperimen*

Berdasarkan kondisi rancangan dan parameter penelitian di atas, perlu dilakukan analisis tentang parameter desain runner turbin aliran silang (crossflow) untuk dapat meningkatkan efisiensi turbin. Misalkan bagaimana efisiensi turbin pada perubahan debit air dan kecepatan aliran masuk turbin pada sudut masuk sudu turbin yang tetap.

Analisa data penelitian atau parameter penelitian dengan menggunakan teknik analisa data dengan mengacu pada analisis efisiensi turbin menurut A. Mocmoore [12].

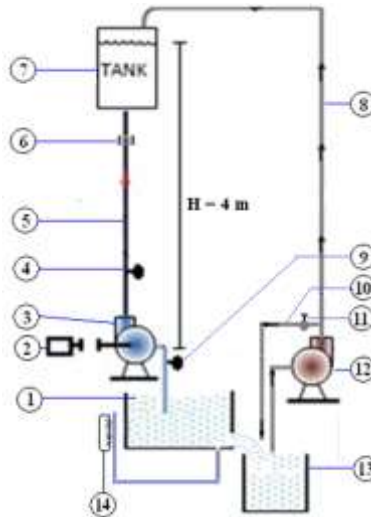
### *Daya Turbin*

Teknik analisa digunakan model matematik yaitu teknik analisa data dengan menggunakan rumus-rumus yang telah ada pada prosedur perancangan turbin aliran silang (crossflow). Pada penelitian terdahulu, telah dikembangkan prosedur perhitungan oleh Koehuan V., dkk, [13], sehingga dapat diterapkan disini untuk analisa desain turbin crossflow. Terutama pada perhitungan segitiga kecepatan pada runner Bachtiar, Asep Neris. 2007 [14]. Kecepatan spesifik dipakai sebagai suatu standar

untuk membedakan tipe turbin atau roda turbin yang digunakan dan dipakai sebagai suatu besaran penting dalam turbin air. Dikatakan demikian karena kecepatan spesifik merupakan jumlah putaran roda turbin yang bekerja pada tinggi jatuh air ( $H = 1$  m) dan kapasitas air ( $Q = 1$  m<sup>3</sup> /dtk), dimana dapat dihitung dengan persamaan berikut: F. Dietzel (1993: 20). Untuk turbin air tipe crossflow, besaran kecepatan spesifiknya adalah

$$Nq = n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (1)$$

dimana  $Nq$  adalah kecepatan spesifik (rpm),  $n$  adalah putaran roda turbin,  $Q$  adalah kapasitas air (m<sup>3</sup>/dtk), serta  $H$  adalah tinggi air jatuh (m). dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Skema Instalasi Sistem Turbin

Tabel 1. Keterangan Instalasi Sistem Turbin

| No | Komponen             | Keterangan  |
|----|----------------------|---|
| 1  | Bak penampung        | wadah yang digunakan untuk menyimpan air untuk sementara waktu  |
| 2  | Generator            | alat yang mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik  |
| 3  | Pompa sebagai turbin | pompa sentrifugal yang dioperasikan terbalik untuk mengubah energi potensial/kinetik air menjadi energi mekanik, lalu menjadi listrik melalui generator.  |
| 4  | Pressure gauge input | komponen krusial yang berfungsi untuk memantau dan menunjukkan tekanan fluida, baik berupa gas maupun cairan, secara <i>real-time</i>   |
| 5  | Pipa input (2")      | sistem pembangkit listrik (khususnya mikrohidro atau sistem perpipaan mesin), pipa input atau <i>inlet pipe</i> (sering ditandai dengan nomor tertentu dalam diagram, termasuk "2") memiliki peran krusial. |
| 6  | Katup pengatur debit | <i>flow regulating valve</i> ) adalah perangkat yang dirancang khusus untuk mengontrol, membatasi, atau mengatur jumlah volume air yang mengalir melalui sistem perpipaan per satuan waktu                  |
| 7  | Tangki reservoir     | wadah penyimpanan air sementara yang berfungsi menyeimbangkan fluktuasi antara ketersediaan air (suplai) dan kebutuhan konsumen (permintaan).   |

|    |                           |   |
|----|---------------------------|---|
| 8  | Pipa air ke reservoir     | transmisi atau pipa pengisi (inlet pipe), berfungsi mengalirkan air bersih dari Instalasi Pengolahan Air (IPA) atau sumber mata air menuju tempat penampungan (reservoir)                 |
| 9  | Pressure gauge output     | representasi nilai tekanan fluida (gas atau cairan) dalam sistem, yang ditampilkan baik secara analog (jarum penunjuk pada skala dial) maupun digital (layar LCD/sinyal elektrik)         |
| 10 | Pipa buang                | ) adalah pipa yang dipasang di bagian bawah reservoir untuk keperluan pengurasan, pembersihan, dan pembuangan endapan kotor.  |
| 11 | Katup kontrol debit pompa | komponen perpipaan yang dirancang khusus untuk mengatur, membatasi, atau mengontrol laju aliran (debit) air yang keluar dari pompa, serta menjaga efisiensi dan keamanan sistem pemompaan |
| 12 | Pompa pengisi reservoir   | Pompa ini bekerja berdasarkan volume reservoir dan kapasitas kebutuhan air harian   |
| 13 | Sumur tandon              | sistem penyimpanan air bersih dari sumur (tanah/bor) untuk kebutuhan rumah tangga   |
| 14 | Pengukur level air        | perangkat elektronik atau mekanis yang berfungsi untuk memantau, mengukur, dan menunjukkan ketinggian permukaan air secara langsung maupun terus-menerus                                  |

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu dan bukaan katup pada saluran masuk terhadap putaran dan efisiensi turbin, sehingga pengujian dilakukan pada setiap variasi-variasi jumlah sudu dan bukaan katup. Sudu impeller yang akan dipakai dapat dilihat seperti pada gambar 2. berikut :



Gambar 2. Bentuk 3-D Sudu

Daya output generator merupakan daya efektif turbin dikalikan dengan efisiensi transmisi dan efisiensi generator. Untuk mendapatkan daya output generator menurut Dietz (1992: 2) dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_o = P_e \cdot \eta_{transmisi} \cdot \eta_{generator} \quad (2)$$

dimana  $P_o$  adalah daya output generator (kW),  $P_e$  adalah daya efektif (kW), dan  $\eta_{transmisi}$  adalah efisiensi transmisi (%), serta  $\eta_{generator}$  adalah efisiensi generator (%).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Hasil Pengujian

Dari data hasil pengujian dapat dihitung daya rata-rata untuk masing-masing orientasi dari ketinggian head 3 m, 4 m, dan 5 m. Serta level atau debit air 10 cm = 0,001294 m<sup>3</sup>/s, 10,5cm = 0,001461 m<sup>3</sup>/s, 11cm = 0,001642 m<sup>3</sup>/s.

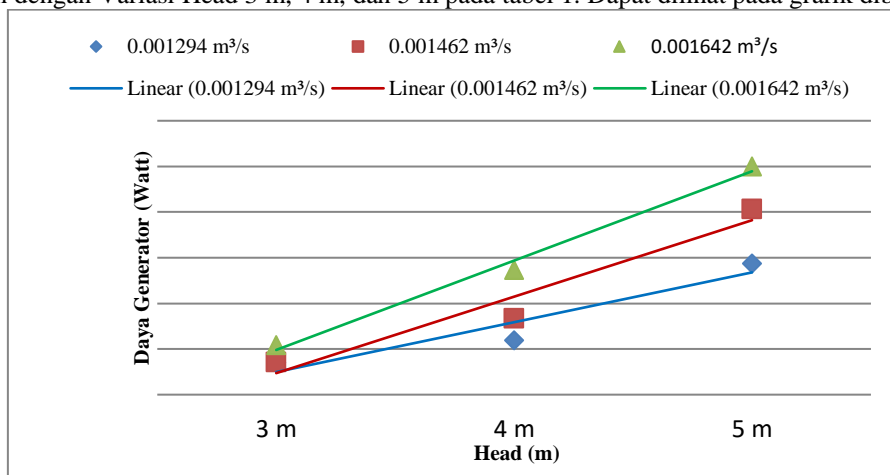
Tabel 2. Daya rata-rata sistem turbin

| No. | Tinggi Head                | Debit Air                  |
|-----|----------------------------|----------------------------|
|     | 0,001294 m <sup>3</sup> /s | 0,001461 m <sup>3</sup> /s |
|     |                            | 0,001642 m <sup>3</sup> /s |

|    |           |             |             |             |
|----|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 1. | 3 m       | 13,879      | 14,159      | 21,679      |
| 2. | 4 m       | 23,805      | 33,457      | 54,550      |
| 3. | 5 m       | 57,534      | 81,167      | 99,966      |
|    | Rata-rata | 31,739 Watt | 42,928 Watt | 58,732 Watt |

### Variasi Head

Pada pengujian dengan Variasi Head 3 m, 4 m, dan 5 m pada tabel 1. Dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



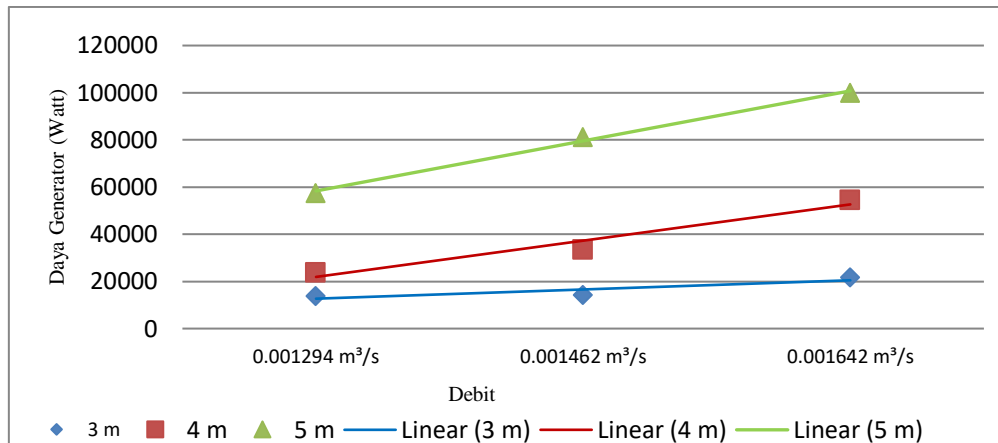
Gambar 3. Hubungan Antara Head Dan Daya Generator

Dari grafik hubungan antara head dan daya generator gambar 3. dapat dilihat bahwa : Pada variasi head 3 m daya generator meningkat seiring bertambahnya level air mulai dari nilai terendah pada variasi debit air 0,001294 m<sup>3</sup>/s dengan daya generator 13,88 Watt sampai dengan variasi debit air 0,001642 m<sup>3</sup>/s dengan daya generator 21,68 Watt dengan nilai rata-rata daya generator 31,73 Watt. Pada variasi head 4 m daya generator meningkat seiring bertambahnya level air mulai dari nilai terendah pada variasi debit air 0,001294 m<sup>3</sup>/s dengan daya generator 23,81 Watt sampai dengan variasi debit air 0,001642 m<sup>3</sup>/s dengan daya generator 54,55 Watt dengan nilai rata-rata daya generator 42,92 Watt. Pada variasi head 5 m daya generator meningkat seiring bertambahnya level air mulai dari nilai terendah pada variasi debit air 0,001294 m<sup>3</sup>/s dengan daya generator 57,53 Watt sampai dengan variasi debit air 0,001642 m<sup>3</sup>/s dengan daya generator 99,97 Watt dengan nilai rata-rata daya generator 58,73 Watt.

Dari grafik pada gambar 3. diketahui bahwa perolehan nilai daya generator terbesar didapatkan pada head 5 m dengan nilai rata-rata 58,73 Watt, diikuti oleh head 4 m dengan nilai rata-rata 42,92 Watt dan nilai daya generator terendah pada head 3 m dengan nilai rata-rata 31,73 Watt. Hal ini dikarenakan pada head 5 m kecepatan dan tekanan aliran air dapat secara maksimal menghasilkan dorongan pada penampang sudu. Selanjutnya pada head 4 m, kecepatan dan tekanan aliran air akan berkurang sehingga daya dorong pada penampang sudu juga akan berkurang dan putaran poros turbin juga berkurang. Sedangkan pada head 3 m kecepatan dan tekanan aliran air akan semakin berkurang, sehingga dorongan air juga sangat berkurang serta putaran poros turbin juga berkurang. Dengan turunnya daya dorong aliran pada penampang sudu dan putaran poros turbin yang berkurang maka torsi dan daya turbin akan menurun dan daya generator akan menurun pula.

### Variasi Debit Air

Pada pengujian dengan Variasi Debit 3 m, 4 m, dan 5 m pada tabel 2. Dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 4. Hubungan antara debit air dan daya generator

Pada variasi debit air 0,001294 m<sup>3</sup>/s daya generator meningkat mulai dari nilai terendah pada head 3 m dengan daya generator 13,87 Watt, meningkat landai pada head 4 m dengan daya generator 23,80 Watt kemudian meningkat tajam sampai mencapai nilai tertinggi pada head 5 m dengan daya generator 57,53 Watt. Sedangkan nilai rata-rata daya generator adalah 31,74 Watt. Pada variasi debit air 0,001462 m<sup>3</sup>/s efisiensi meningkat mulai dari nilai terendah pada head 3 m dengan daya generator 14,15 Watt, diikuti pada head 4 m dengan daya generator 33,45 Watt dan akhirnya mencapai nilai tertinggi pada head 5 m dengan daya generator 81,16 Watt. Sedangkan nilai rata-rata daya generator adalah 42,93 Watt. Pada variasi debit air 0,001642 m<sup>3</sup>/s daya generator meningkat mulai dari nilai terendah pada head 3 m dengan daya generator 21,67 Watt sampai dengan head 4 m dengan daya generator 54,55 Watt. Akhirnya pada head 5 m daya generator mencapai nilai tertinggi yaitu 99,96 Watt. Sedangkan nilai rata-rata daya generator adalah 58,73 Watt.

Dari grafik pada gambar 4 diketahui bahwa pada variasi debit air yang rendah 0,001292m<sup>3</sup>/s daya dorong aliran air terhadap penampang sudu juga kecil. Kemudian pada variasi debit air yang lebih besar 0,001461m<sup>3</sup>/s daya dorong meningkat. Selanjutnya pada variasi debit air yang tinggi 0,001642m<sup>3</sup>/s daya dorong meningkat sampai nilai tertinggi. Hal ini dikarenakan dengan semakin besar debit aliran air maka kecepatan dan tekanan air semakin meningkat dan daya dorong aliran air pada penampang sudu juga meningkat demikian juga dengan putaran poros turbin. Selanjutnya dengan daya dorong dan putaran poros turbin yang meningkat maka daya turbin juga meningkat. Dengan meningkatnya daya pada turbin maka daya pada generator akan meningkat pula.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian oleh Himawanto (2017) tentang optimalisasi kelengkungan impeller blade pompa sebagai turbin yang berfungsi sebagai pembangkit listrik picohydro. Studi ini menekankan eksperimen yang bertujuan untuk menemukan yang terbaik titik operasi pompa sebagai turbin dengan memodifikasi kelengkungan sudu pompa. Pompa dengan kapasitas 563,22 liter/menit dan total head 20 meter diuji di laboratorium dengan jari-jari kelengkungan sudu dimodifikasi Radius 11 (backward), 13 (backward), 15 (backward), Radial, 11 (forward), 13 (forward), 15 (forward) sentimeter dengan head dari 2, 3, 4 meter dan terhubung ke generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi yang terbaik adalah 31,39% pada 4,2 liter/detik dan putaran poros turbin 870 rpm pada head 4 meter. Nilai daya mekanik 34,29 watt pada head 4 meter menunjukkan kemampuan turbin untuk itu memutar poros dari debit air yang masuk. Efisiensi tertinggi pada head 4 meter yaitu 16,80%. Nilai output daya karena pengaruh rotasi generator dihitung berdasarkan tegangan dan arus keluar dari generator. Nilai output daya tertinggi di head 4 atau spesimen R13.

## PENUTUP

Dari hasil perhitungan dan analisa pada penelitian didapatkan, pengaruh variasi debit air terhadap daya pada generator pada turbin cross flow adalah berbanding lurus, semakin besar debit air semakin besar pula daya generator yang dihasilkan, daya generator paling besar yaitu pada debit 0,001642 m<sup>3</sup>/det dengan daya generator 99,96 Watt. Pengaruh variasi ketinggian head terhadap daya pada generator pada turbin cross flow adalah berbanding lurus, dengan semakin meningkatnya ketinggian head maka daya generator semakin meningkat, daya generator paling besar yaitu pada tinggi head 5 m dengan gaya generator 58,73 watt.

### .DAFTAR RUJUKAN

- [1] Jefry Nainggolan, Zulkifli Bahri. 2017. “Designing Tachogenerator From Dynamo Tape Recorder”, *Journal of Electrical and System Control Engineering*, JESCE, Vol. 1(1) Agustus (2017), p-ISSN : 2549-628X e-ISSN : 2549-6298. <https://doi.org/10.31289/JESCE.V1I1.1215>.
- [2] Muis, A. (2012). TURBIN AIR PADA PLTA LARONA. *JURNAL ILMIAH MATEMATIKA DAN TERAPAN*, 7(1) <https://doi.org/10.22487/2540766X.2010.v7.i1.100>
- [3] Irawan H., Iskendar, 2016, Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air Cross Flow Dengan Metode Taguchi, *Jurnal Teknik Mesin UNISKA* Vol. 02 No. 01 November 2016, ISSN 2502-4922. <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/JZR/article/view/547/474>
- [4] Marlon Hetharia, Yolanda J. Lewerissa, Roy Matapare. “Analisis Ukuran Sabuk Untuk Turbin Cross Flow Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mir Kro Hidro (PLTMH) 30 KVA”. *Jurnal Voering* 2020. Vol 5 No 1 Juli 2020. E-ISSN : 2721-9549. <https://jurnal.poltekstpaul.ac.id/index.php/jurvoe/article/view/215>
- [5] Muhammad Fahmi Basya, Budi Santoso, Arifia Ekayuliana. “Pengaruh Debit Air Terhadap Putaran Runner Turbin Crossflow Pada PLTMH”. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta* (2022), 1045-1049. <https://prosiding.pnj.ac.id/index.php/sniv/index>
- [6] Muhammad Suprpto, Firda Herlina, 2018, “Perancangan Prototipe Generator Axial Magnet Permanen 3 Phase”, *Jurnal Teknik Mesin Uniska*, Vol. 03 No. 02 Mei 2018. P-ISSN 2502-4922, e-ISSN 2615-0867. <https://media.neliti.com/media/publications/270963-perancangan-prototipe-generator-axial-ma-53e5ff69.pdf>
- [7] Abdan Sakura, 2017, “Rancang Bangun Generator Sebagai Sumber Energi Listrik Nanohidro”, *Skripsi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung Bandar Lampung* 2017. <https://www.scribd.com/document/431354541/RANCANG-BANGUN-GENERATOR-SEBAGAI-SUMBER-ENERGI-LISTRIK-NANOHIIDRO>
- [8] Abdul Nasir, B., 2014. Design Considerating Of Micro-HidroElektrik Power Plant, *Energy procedia* 50 19-29 <https://pdf.sciencedirectassets.com>
- [9] Elbatran A.H., Yaakob, O.B., Ahmed, Y.M., and Shabara, H.M., 2015. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43 40–50. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114009769>
- [10] Muhammad Bahrullah, Muhammad Hasan Basri, Amelia Herlina, Bachtera Indarto. “PERANCANGAN GENERATOR 3 PHASE PADA GRAVITATION WATER VORTEX POWER PLANT (GWVPP)”. *Jurnal ELEMEN. Jurnal Teknik Mesin* Vol.7 No.1 Juni 2020 ; pp. 46 – 53. ISSN 2581-2661 (online). <https://je.politala.ac.id/index.php/JE/article/view/119>
- [11] Muhammad Hasan Basri, Sulistiyanto, Ach. Najihuddin. “Perancangan Generator Axial Fluks 3 Phasa Pada Pembangkit Listrik Tenaga Ombak (PLTO)”. *Zetroem* Vol 05. No 02 Tahun 2023. <https://doi.org/10.36526/ztr.v5i2.2943>
- [12] Adam Harway, Andy Brown, Priyantha Hattiarachi and Allen Inversin, *Micro Hydro Design Manual: A guide to small-scale waterpower schemes*, ITDG Publishing, 1993.
- [13] C. A. Mocmoore, Fred Merryfield. *The Banki Water Turbine*, *Buletin Series* No. 25, 1949. <https://doi.org/10.35508/ljtmu.v2i1.479>
- [14] Koehuan V., Yusuf Rumbino, (2009). Analisis Unjuk Kerja Turbin Air Tipe Aliran Silang (Cross Flow) Dan Aplikasinya, *Buletin Teknologi*, Vol 06 No. 2, september 2009, hal 68-75.
- [15] Dietzel, F.(1988). *Turbin, pompa dan kompresor*. Jakarta : Erlangga.