

An Investigation into the Impact of Elbow Angle, Flow Rate, and Flywheel Diameter on the Performance of a Micro Hydroelectric Power Plant (PLTMH) Prototype

Investigasi Pengaruh Sudut *Elbow*, Debit, dan Diameter *Flywheel* Terhadap Kinerja Simulator PLTMH

Candra Damis Widiawaty^{1*}, Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra¹, Budi Santoso¹, Gun Gun Ramdhan Gunadi¹, Berlian Firdaus Sumadipraja¹, Ariaafia Eka Yuliana¹, Ahlul Haq Can¹, Fathir Z. Handaru¹, Nabila Lufky Khairunisa¹

Abstract

The Micro Hydroelectric Power Plant Simulator (MHP) serves as a teaching tool to understand the principles and factors influencing electrical power output. While previous studies have examined the impact of turbine types, elbow angles, and flow rates, limited research has focused on the effect of flywheel diameter. The flywheel diameter influences the torque generated for generator rotation. This study, conducted on the MHP simulator at the Energy Laboratory of Jakarta State Polytechnic, explores the effects of variations in elbow angle, flow rate, and flywheel diameter on electrical power output. Experimental results reveal that these parameters significantly impact power generation. Notably, in case 1, with a 45° elbow angle, a flow rate of 7 L/s, and a 30 cm flywheel diameter, the system produces the highest output of 63 W. These findings underscore the importance of flywheel diameter in optimizing micro-hydropower system efficiency, offering insights for future plant design, especially in water-scarce regions.

Keywords

Micro Hydroelectric Power Plant, Flywheel Diameter, Electrical Power Output, System Efficiency

Abstrak

Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) digunakan sebagai alat pembelajaran untuk memahami prinsip dan faktor yang mempengaruhi keluaran daya listrik. Meskipun penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh jenis turbin, sudut siku-siku, dan debit aliran, penelitian tentang pengaruh diameter *flywheel* masih terbatas. Diameter *flywheel* mempengaruhi torsi yang dihasilkan untuk memutar generator. Penelitian ini dilakukan pada simulator PLTMH di Laboratorium Energi Politeknik Negeri Jakarta untuk menguji pengaruh variasi sudut siku-siku, debit aliran, dan diameter *flywheel* terhadap keluaran daya listrik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa ketiga parameter tersebut mempengaruhi secara signifikan pembangkit daya listrik. Pada kasus 1, dengan sudut siku-siku 45°, debit aliran 7 L/s, dan diameter *flywheel* 30 cm, dihasilkan daya tertinggi sebesar 63 W. Temuan ini menekankan pentingnya diameter *flywheel* dalam mengoptimalkan efisiensi sistem mikro-hidro, yang dapat menjadi acuan perancangan pembangkit mikro-hidro di daerah dengan sumber daya air terbatas.

Kata Kunci

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Diameter *Flywheel*, Keluaran Daya Listrik, Efisiensi Sistem

¹ Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia, Depok, Indonesia 16425

* candra.damis.widiawati@mesin.pnj.ac.id

Submitted : November 5, 2024. Accepted : December 23, 2024. Published : December 29, 2024

PENDAHULUAN

Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 mengenai kebijakan Energi Nasional, Indonesia menargetkan penggunaan energi baru dan terbarukan sebesar minimal 23% pada tahun 2025, dan 31% pada tahun 2050 [1]. Energi terbarukan adalah jenis energi yang berasal dari sumber daya alam yang tidak akan habis dan dapat diperbaharui secara berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Contoh-contoh energi terbarukan antara lain panas bumi (geothermal), biofuel, energi dari aliran sungai, energi matahari, angin, biomassa, biogas, gelombang laut, dan suhu di bawah permukaan laut [1]. Pemanfaatan energi air telah berkembang pesat, dimulai dari penggunaan kincir air sederhana hingga pembangkit listrik tenaga air besar, dan kini dianggap sebagai sumber daya berkelanjutan serta ramah lingkungan, menjadikannya fokus utama dalam pengembangan energi terbarukan [2].

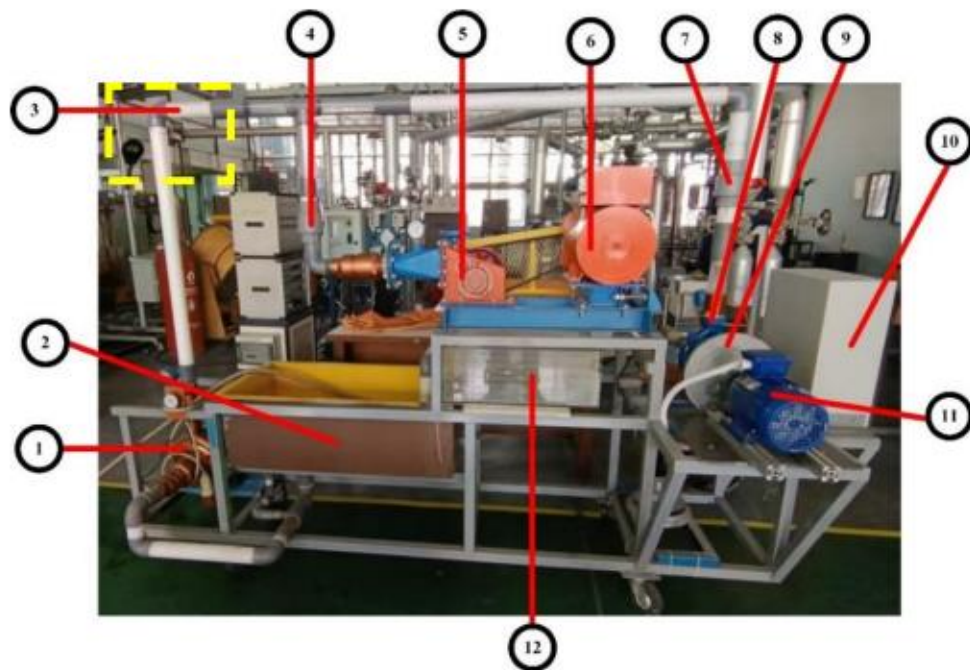
Potensi tenaga air terbesar terdapat di Papua, mencapai 30% atau sekitar 22.371 MW. Diikuti oleh Kalimantan dengan potensi 29% atau 21.581 MW, Sumatra 21% atau 15.579 MW, Sulawesi 14% atau 10.307 MW, Jawa 5% atau 4.199 MW, serta Bali-Nusa Tenggara 1% atau 624 MW. Sementara itu, potensi tenaga air terkecil terdapat di Maluku, yang hanya sekitar 430 MW [3]. Di antara teknologi pembangkit listrik tenaga air, PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro dan Mini-Hidro) menawarkan keunggulan signifikan di Indonesia, seperti kebutuhan ruang yang minimal, keandalan tinggi, biaya pengembangan yang lebih rendah, serta dampak lingkungan yang lebih kecil dibandingkan dengan PLTA besar, yang sangat sesuai dengan karakteristik geografis Indonesia yang sebagian besar berupa dataran tinggi, pegunungan, dan perbukitan. PLTMH dapat menggunakan sumber air seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam dengan cara memaksimalkan tinggi terjunan (*head*) dan volume debit air yang tersedia [4]. Studi kelayakan air sungai telah dilakukan oleh Haerun et. al dengan hasil debit air 19 m³/s dan *head* ,19 m memberikan luaran sebesar 314,5 kW[5].

Rekayasa PLTMH telah banyak dilakukan oleh peneliti untuk meningkatkan daya listrik yang dihasilkan. Sebagian besar peneliti menggunakan metode analitikal yaitu dengan mengkalikan efisiensi, densitas, gravitasi, debit aliran, dan tinggi efektif [6][7]. Pengaruh dimensi diameter *flywheel* pada sistem generator PLTMH terhadap daya keluaran telah dianalisis oleh Fadhil et.al [8]. Dampak sudut pipa pesat 45° dan 90° terhadap dinamika aliran pada saluran pesat dengan menggunakan metode CFD telah dilakukan oleh Alief [9]. Metode CFD digunakan untuk komputasi kecepatan rata-rata pada *elbow* 45° dan 90°. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi pusaran-pusaran aliran pada pipa *elbow* 90° yang memperkecil kecepatan aliran sehingga putaran turbin menurun. Hal ini menyebabkan efisiensi lebih rendah dibandingkan *elbow* 45°. Analisis dinamika aliran pada sudut kemiringan saluran pesat akibat kondisi topografi telah dikaji oleh Suryanto [10].

Berdasarkan literatur di atas, sebagian besar penelitian meningkatkan efisiensi PLTMH dengan mengubah sudut *elbow* yang memiliki koefisien hambatan yang lebih rendah yaitu sudut *elbow* 45° (0,2) dibandingkan sudut *elbow* 90° (0,3) [11]. Namun demikian masih jarang peneliti yang mengkaji efek diameter *flywheel* pada generator. Sebagaimana yang diketahui bahwa torsi berbanding lurus dengan gaya dan diameter. Peningkatan diameter dapat memperbesar nilai torsi [12]. Dengan demikian peningkatan diameter menyebabkan putaran meningkat sehingga efisiensi akan naik. Oleh karena itu penelitian ini menginvestigasi pengaruh sudut *elbow* dan diameter *flywheel* terhadap kinerja simulator PLTMH.

METODE PENELITIAN

Objek penelitian ini adalah simulator PLTMH yang terpasang di lab energi Politeknik Energi Jakarta. Simulator PLTMH ditunjukkan pada [Gambar 1](#).

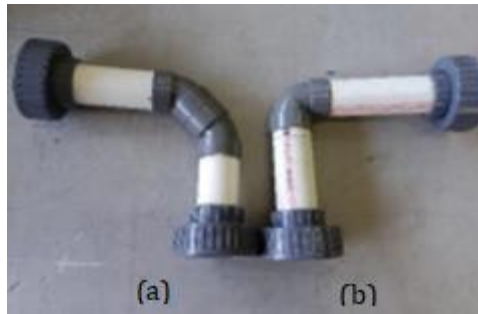


[Gambar 1](#). Simulator PLTMH [13]

PLTMH terdiri dari pompa (1), bak air (2), sudut belokan 1 (3), Katup (4), turbin *crossflow* (5), generator turbin *crossflow* (6), katup (7), turbin sentrifugal (8), *flywheel* (9), kontrol panel (10), generator turbin sentrifugal (11), Bak penampungan (12). Pompa berfungsi untuk mensirkulasikan air pada sistem. Katup berfungsi untuk mengatur laju massa air yang masuk ke turbin *crossflow* dan turbin sentrifugal. Ketika katup tertutup maka seluruh air mengalir menuju turbin sentrifugal, sedangkan ketika katup dibuka maka air mengalir ke turbin *crossflow* dan turbin sentrifugal. Turbin berfungsi sebagai sumber energi kinetik. *Flywheel* berfungsi untuk menyalurkan energi kinetik dari turbin sentrifugal ke generator turbin sentrifugal. Generator berfungsi untuk konversi energi kinetik menjadi energi listrik. Pipa yang digunakan berbahan PVC.

Eksperimen

Pada studi ini, turbin 1 dan generator 1 tidak difungsikan. Adapun eksperimen dilakukan dengan beberapa variabel. Variabel pertama adalah sudut belokan 1 divariasikan yaitu sudut 45° dan 90°, dapat dilihat pada [Gambar 2](#). Variasi pemilihan sudut ini berdasarkan *elbow* yang tersedia di pasaran. Sedangkan variabel kedua adalah diameter *flywheel* yaitu 10 cm dan 30 cm. Ukuran diameter ini dipilih berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh F. Widoyoko dkk yang menunjukkan hasil bahwa diameter 10 cm menghasilkan torsi paling rendah dan diameter 30 cm menghasilkan torsi paling tinggi [8].



Gambar 2. Variasi sudut belokan saluran pesat a) 45° b) 90°

Adapun alat ukur yang digunakan sebagai berikut:

1. *Pressure Gauge*

Pressure gauge digunakan untuk mengukur tekanan statis aliran air. *Pressure gauge* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Pressure gauge* [13]

Spesifikasi teknik :

Body : Stainless Steel
Drat : Kuningan 1/2 inchi
Range : 0-25 bar
Ukuran Kaca : 4 inch

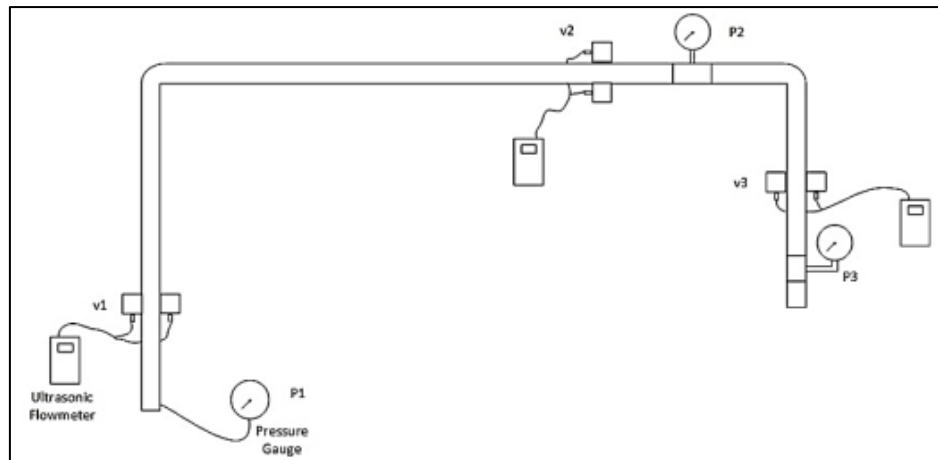
2. *Ultrasonik Flowmeter*

Ultrasonic Flowmeter digunakan untuk mengukur kecepatan air. *Ultrasonic Flowmeter* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Ultrasonik Flowmeter* [13]

Titik pengukuran pada eksperimen terdiri dari tiga titik ukur kecepatan dan tiga titik ukur tekanan. Skema titik pengukuran ditunjukkan pada Gambar .



Gambar 5. Skema titik ukur eksperimen [13]

Prosedur eksperimen sebagai berikut ini:

1. Mengisi air pada bak *reservoir* utama.
2. Memasang sudut *elbow* yang akan diuji.
3. Memasang alat ukur ultrasonic *Flowmeter* sesuai dengan skema titik ukur Gambar .
4. Memasang kapasitor 60uF sebanyak 3 buah yang dihubungkan generator induksi sebagai *exciter*.
5. Memasang alat ukur multimeter dan tang ampere pada generator.
6. Hidupkan pompa dan pastikan tidak ada udara dalam aliran.
7. Melakukan pengambilan data sebanyak 10 kali dengan 3 kali pengulangan, di mana
8. pengambilan data dilakukan setiap selama 1 menit.
9. Melakukan analisis data hasil pengujian setiap sudut *elbow* yang diuji.
10. Menghitung *pressure drop* dengan cara mengurangi tekanan P1 dengan P3.
11. Mengukur putaran generator sentrifugal dengan tachometer.
12. Mengukur arus keluaran generator dengan tang meter.
13. Mengukur tegangan keluaran generator dengan multimeter.
14. Menghitung daya listrik dengan cara mengkalikan tegangan dengan arus.
15. Analisis pada eksperimen ini dibatasi pada turbin sentrifugal dan generator turbin sentrifugal.

Variabel eksperimen dan kondisi eksperimen pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Debit air 7 liter/s terjadi ketika katup (4) tertutup dan debit aliran 5,5 liter/s ketika katup (4) terbuka. Variasi ini disesuaikan dengan kondisi simulator PLTMH saat beroperasi. Masing-masing kasus dilakukan 3 kali percobaan dimana setiap percobaan dilakukan 10 kali pengukuran. Hasil pengukuran dianalisis dengan menggunakan metode statistik untuk menghitung standar deviasi. Rumus standar deviasi yang digunakan mengikuti persamaan 1 [14].

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

dimana s adalah standar deviasi, n jumlah data pengukuran, x_i data pengukuran ke- i , dan \bar{x} adalah rata-rata. Hasil pengukuran menghasilkan standar deviasi untuk kecepatan.

Tabel 1. Variabel eksperimen

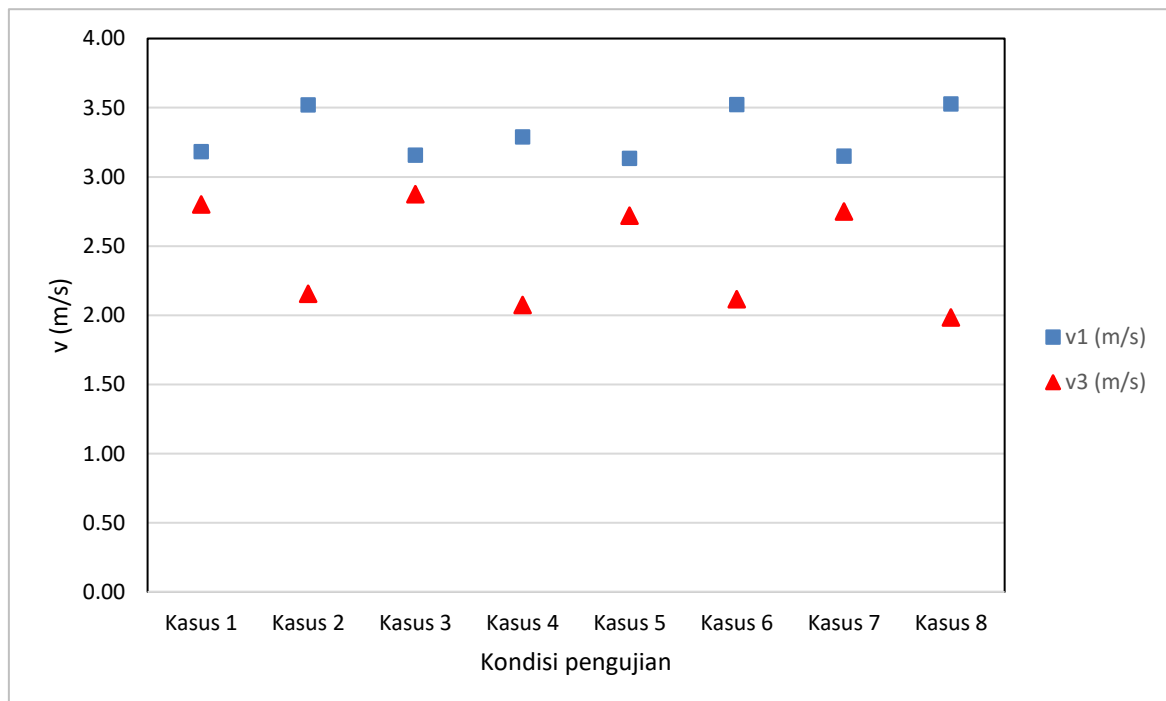
Deskripsi	Unit
Sudut <i>elbow</i>	45 ° dan 90 °
Debit air	7 liter/s dan 5.5 liter/s
Diameter <i>flywheel</i>	30 cm dan 10 cm

Tabel 2. Kondisi eksperimen

No	Deskripsi	Sudut <i>elbow</i>	Debit air (liter/s)	Diameter <i>flywheel</i> (cm)
1	Kasus 1	45 °	7	30
2	Kasus 2	45 °	5.5	30
3	Kasus 3	45 °	7	10
4	Kasus 4	45 °	5.5	10
5	Kasus 5	90 °	7	30
6	Kasus 6	90 °	5.5	30
7	Kasus 7	90 °	7	10
8	Kasus 8	90 °	5.5	10

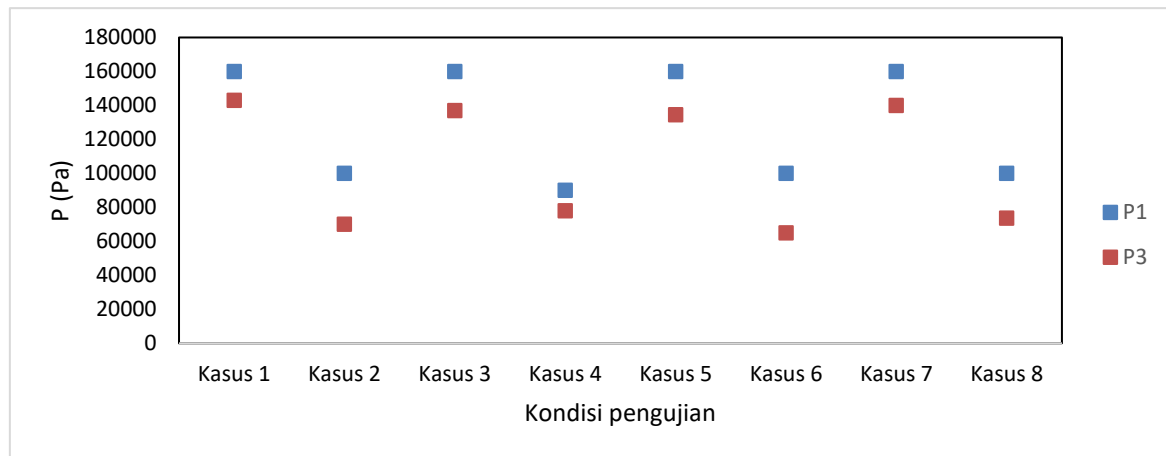
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengkaji pengaruh sudut belokan pipa pesat, debit aliran, dan diameter *flywheel* terhadap kinerja aliran dan pengaruhnya terhadap daya lisrik yang dihasilkan. Debit aliran mempengaruhi besarnya kecepatan pada titik ukur 1, 2, dan 3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

**Gambar 6.** Hasil eksperimen kecepatan air

Debit aliran 7 liter/s pada titik ukur kecepatan tiga (v_3) pada kondisi 1, 3, 5, dan 7 berturut-turut adalah 2,80 m/s, 2,87 m/s, 2,72 m/s, dan 2,75 m/s. Sedangkan kecepatan tiga (v_3) pada kondisi 2, 4, 6, 8 berturut-turut adalah 2,22 m/s, 2,08 m/s, 2,22 m/s dan 2,10 m/s. Hasil

pengukuran ini menunjukkan bahwa debit aliran yang besar menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi. Hasil ini sesuai dengan konsep kontinuitas, yaitu debit merupakan hasil perkalian antara luas penampang dengan kecepatan [15]. Pengaruh kecepatan terhadap tekanan P1 dan P3 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil eksperimen tekanan P1 dan P3

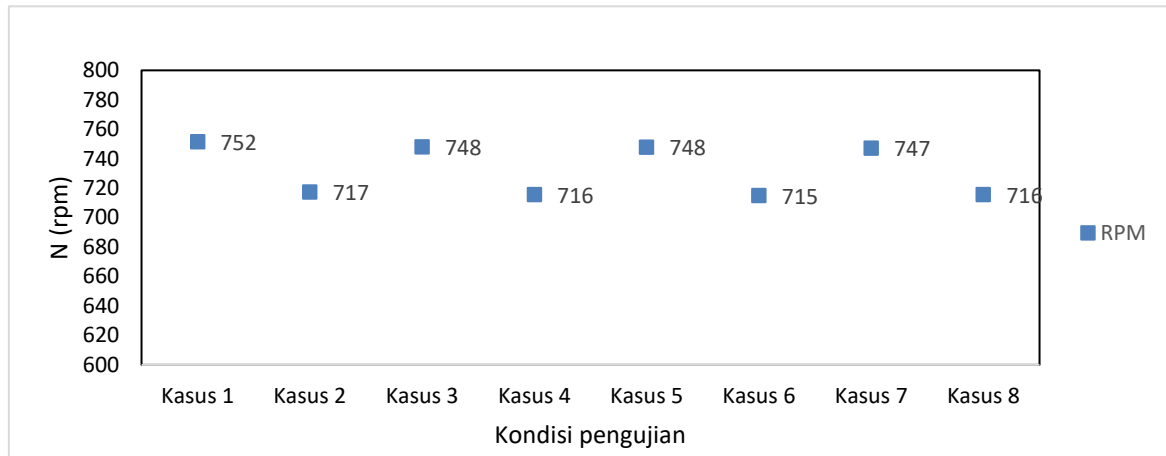
Hasil pengukuran P1 dan P3 untuk debit 7 liter/s dan 5,5 liter/s menunjukkan bahwa tekanan P1 lebih besar dibandingkan dengan tekanan P3. Tekanan P1 untuk debit 7 liter/s adalah 160.000 Pa. Sedangkan tekanan P1 untuk debit aliran 5,5 liter/s mendekati 100.000 Pa. Tekanan P3 pada kasus 1, 3, 5, dan 7 (debit aliran 7 liter/s) cenderung mendekati 140.000 Pa lebih besar dibandingkan dengan tekanan P3 pada kasus 2, 4, 6, dan 8 (debit aliran 5,5 liter/s). Hasil ini sesuai dengan konsep energi aliran, yaitu energi aliran berbanding lurus dengan laju massa [11]. Hasil eksperimen kecepatan, tekanan, dan putaran generator turbin sentrifugal serta perhitungan *pressure drop* dan daya keluaran ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data kecepatan, tekanan, rpm, dan daya listrik

No	Deskripsi	Sudut elbow	v3 (m/s)	Diameter flywheel (cm)	P3 (Pa)	ΔP (Pa)	N (rpm)	P (Watt)
1	Kasus 1	45 °	2,8	30	143000	17000	752	63
2	Kasus 2	45 °	2,16	30	70000	30000	717	29
3	Kasus 3	45 °	2,87	10	140000	23000	748	62
4	Kasus 4	45 °	2,07	10	78000	12000	716	25
5	Kasus 5	90 °	2,72	30	134500	25500	748	61
6	Kasus 6	90 °	2,12	30	65000	35000	715	23
7	Kasus 7	90 °	2,75	10	134500	20000	747	61
8	Kasus 8	90 °	1,98	10	73700	26300	716	23

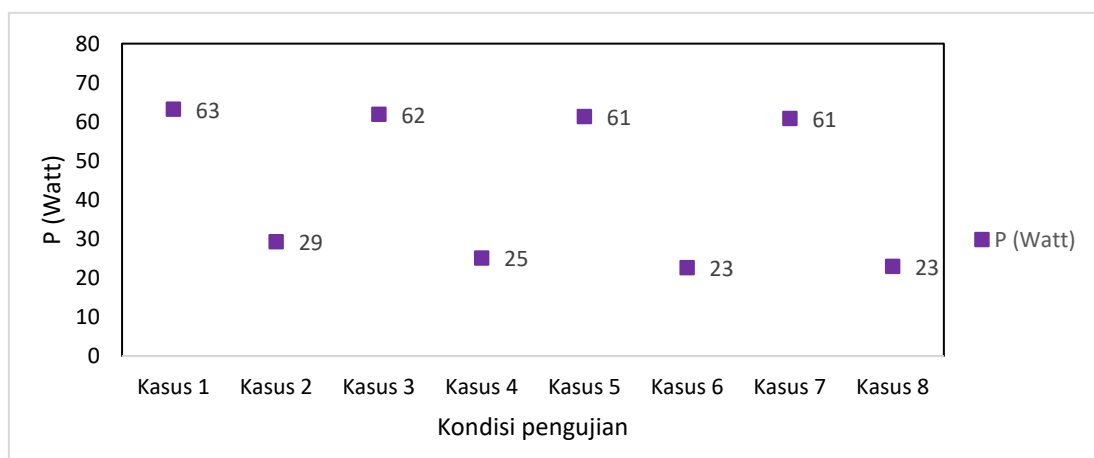
Tabel 3 memperlihatkan hubungan kecepatan, tekanan statis P3, rpm, dan daya listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan dan tekanan berbanding lurus, yaitu semakin besar kecepatan, maka tekanan meningkat. Hasil eksperimen ini sesuai dengan teori tekanan aliran fluida [15], yaitu semakin besar kecepatan dengan luasan penampang tetap maka laju massa meningkat sehingga tekanan aliran juga meningkat. Dapat diamati bahwa pada debit yang sama yaitu 7 liter/s, sudut elbow 45 °C menghasilkan kecepatan rata-rata lebih besar yaitu $\pm 2,8$ m/s dibandingkan sudut elbow 90 °C sebesar $\pm 2,7$ m/s. Hal ini menunjukkan bahwa sudut elbow 45° memiliki koefisien hambatan lebih kecil dibandingkan sudut elbow 90°. Hasil

penelitian ini selaras dengan konsep teori koefisien hambatan [11] [15]. Selain itu juga sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh A.lutfie, dkk [9]. Lebih dalam, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa debit aliran dan sudut *elbow* mempengaruhi kecepatan air dan tekanan air. Nilai kecepatan tertinggi dan tekanan P3 tertinggi dihasilkan oleh debit aliran 7 liters dan sudut *elbow* 45°. Pengaruh kondisi eksperimen terhadap putaran turbin sentrifugal ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Putaran generator hasil eksperimen

Gambar 8 menunjukkan bahwa kasus 1, kasus 3, kasus 5, dan kasus 7 menghasilkan putaran generator turbin sentrifugal lebih besar dibandingkan dengan kasus 2, kasus 4, kasus 6, dan kasus 8. Kasus 1 menghasilkan putaran generator turbin sentrifugal terbesar yaitu 752 rpm. Kasus 3 menghasilkan putaran generator turbin sentrifugal terbesar ke-2 yaitu sebesar 748 rpm. Sebagaimana telah dijelaskan di atas, kasus 1 dan kasus 3 memiliki debit aliran 7 liter/s dan sudut *elbow* 45°. Kasus 1 memiliki diameter *flywheel* 30 cm sedangkan kasus 3 memiliki diameter *flywheel* 10 cm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa energi aliran yang sama dapat menghasilkan putaran turbin generator sentrifugal yang lebih besar dengan menggunakan diameter *flywheel* 30 cm dibandingkan dengan diameter *flywheel* 10 cm. Hasil penelitian ini sesuai secara teoritis dengan konsep torsi yaitu diameter yang besar menghasilkan putaran yang lebih cepat [16]. Selain itu, hasil penelitian ini juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Fadhil, dkk [8]. Variasi kasus yang menghasilkan daya keluaran pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Daya keluaran

Kasus 1, kasus 3, kasus 5, dan kasus 7 menghasilkan daya keluaran listrik lebih besar dibandingkan dengan kasus 2, kasus 4, kasus 6, dan kasus 8. Kasus 1,3,5, dan 7 memiliki debit aliran 7 liter/s. Hal ini menyebabkan daya listrik yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan dengan kasus 2,4,6, dan 8 yang memiliki debit 5,5 liter/s. Kasus yang memiliki debit aliran 7 liter/s menghasilkan daya keluaran yang berbeda karena menggunakan sudut *elbow* dan diameter *flywheel* yang berbeda. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa kasus 1 dan kasus 3 memiliki sudut *elbow* 45o, namun kasus 1 memiliki diameter *flywheel* 30 cm sedangkan kasus 3 memiliki diameter *flywheel* 10 cm, hasil penelitian menunjukkan bahwa kasus 1 menghasilkan daya keluaran lebih besar yaitu 63 W dibandingkan dengan daya keluaran kasus 3 yaitu 62 W. Kasus 1 dan kasus 5 memiliki debit yang sama yaitu 7 liter/s dan diameter *flywheel* 30 cm, namun sudut *elbow* kasus 1 sebesar 45o sedangkan kasus 5 sebesar 90o. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kasus 1 menghasilkan daya keluaran lebih besar yaitu 63 W dibandingkan dengan kasus 5 yaitu 61 W. Hasil-hasil penelitian ini sesuai dengan konsep aliran dan teori torsi [11][16]. Selain itu juga sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sejenis [8] [9]. Dengan demikian kasus 1 yang memiliki debit aliran 7 liter/s, sudut *elbow* 45o, dan diameter *flywheel* 30 cm menghasilkan daya terbesar yaitu 63 W. Dengan demikian kasus 1 yang memiliki debit aliran 7 liter/s, sudut *elbow* 45o, dan diameter *flywheel* 30 cm menghasilkan daya terbesar yaitu 63 W.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa daya keluaran listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu debit aliran, sudut *elbow*, dan diameter *flywheel*. Debit aliran berpengaruh signifikan terhadap kecepatan dan energi aliran, di mana debit 7 liter/s menghasilkan kecepatan antara 2,7 m/s hingga 2,87 m/s, serta tekanan P3 berkisar antara 134.500 Pa hingga 143.000 Pa, sementara debit 5,5 liter/s menghasilkan kecepatan dan tekanan yang lebih rendah. Sudut *elbow* juga mempengaruhi kecepatan, dengan sudut 45° dan debit 7 liter/s menghasilkan rentang kecepatan yang lebih tinggi (2,8 m/s hingga 2,87 m/s) dibandingkan sudut 90° yang menghasilkan kecepatan antara 2,72 m/s hingga 2,75 m/s. Selain itu, diameter *flywheel* berperan penting dalam meningkatkan kecepatan putar generator turbin sentrifugal, di mana kombinasi terbaik ditemukan pada kasus 1 dengan debit 7 liter/s, kecepatan 2,8 m/s, dan diameter *flywheel* 30 cm, yang menghasilkan daya keluaran tertinggi yaitu 63 W. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja aliran air dan kinerja generator turbin sentrifugal berperan penting dalam mempengaruhi output daya listrik PLTMH.

Saran

Untuk peneliti berikutnya, dilakukan kajian verifikasi hasil pengujian dengan perhitungan pressure drop sehingga dapat dilakukan kajian akurasi pengukuran tekanan. Selain itu dapat dilakukan pengujian turbin tipe *crossflow* sehingga didapatkan perbandingan kinerja dibandingkan dengan turbin tipe sentrifugal yang digunakan pada penelitian ini. Selain itu perlu analisis efisiensi PLTMH, sehingga dapat ditentukan kondisi operasi terbaik berdasarkan perbandingan daya output listrik dengan daya listrik yang dibutuhkan untuk mengoperasikan simulator PLTMH.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiaya oleh hibah penelitian internal Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) Skema BIL dengan nomor kontrak 957/PL3/PT.00.00/2024. Objek penelitian ini difasilitasi oleh Lab Konversi Energi PNJ.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Jusuf Sarante, "Energi Baru dan Terbarukan (EBT) Sebagai Teknologi Alternatif Dimasa Depan Dalam Mendukung Pertahanan Negara." Ditekindhan Ditjen Pothan Kemhan, 2024.
- [2] C. A. Putri, "PENGUNAAN AIR SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN UNTUK ENERGI LISTRIK," *Scientica*, vol. 2, no. 6, pp. 201–204, 2024.
- [3] N. B. ALNAVIS, "Energi listrik berkelanjutan: Potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia," *JIMESE*, vol. 1, no. 2, pp. 119–139, 2024.
- [4] A. Gunawan, A. Oktafeni, and W. Khabzli, "STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO (PLTMH) DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI HYDROPOWER CASIMIR DI SUNGAI NOLING KELURAHAN NOLING KABUPATEN," *J. rekayasa Elektr.*, vol. 10, no. 4, pp. 201–206, 2013.
- [5] H. Haerun, A. Imran, and R. T. Mangesa, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro (PLTMH) dengan Menggunakan Aplikasi Hydropower Casimir Di Sungai Noling Kelurahan Noling Kabupaten Luwu," *J. Media Elektr.*, vol. 19, no. 1, p. 22, 2021, doi: 10.26858/metrik.v19i1.22343.
- [6] T. Haryani, W. Wardoyo, and A. Hidayat, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Saluran Irigasi Mataram," *J. Hidroteknik*, vol. 1, no. 2, pp. 75–82, 2015.
- [7] Muhammad Ihsan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Turbin Whirlpool Skala Prototype," pp. 6–6, 2022.
- [8] F. R. Widoyoko, B. Santoso, and T. H. Nufus, "Pemanfaatan Variasi *Flywheel* Guna Meningkatkan Daya pada Turbin Sentrifugal pada PLTMH," in *Seminar Nasional Teknik Mesin*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 135–142.
- [9] A. A. Luthfie, "Fluid Dynamic (Cfd) Analisis Pengaruh Perubahan Sudut Pipa Siphon Terhadap Performasi Turbin Hydrocoil Dengan Menggunakan Metode Computational," *J. Tek. Mesin Mercu Buana*, vol. 6, no. 1, pp. 41–47, 2017.
- [10] S. Suryanto, A. Apollo, J. H. Muhammad, and I. Titiek, "Analisis Perancangan Penstock PLTMH di Eremerasa Kabupaten Bantaeng Dengan Menggunakan ANSYS," *Sinergi*, vol. 17, no. 1, 2019.
- [11] B. R. Munson, *Fundamentals of fluid mechanics*. : John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [12] M. A. B. is Yunus A. Çengel, *THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION*. 2011.
- [13] Berlian Firdaus Sumadipraja, "KAJIAN VARIASI SUDUT *ELBOW* PIPA PESAT PADA PROTOTYPE PLTMH SKALA LABORATORIUM DENGAN METODE CFD DAN EKSPERIMEN," 2024.
- [14] Nuryadi, *Dasar-Dasar Statistik Penelitian*. Gramsurya, 2017.
- [15] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill Higher Education, 2010.
- [16] Y. A. Cengel, *Thermodynamics An Engineering Approach*. McGraw-Hill Education, 2015.