

Perencanaan Turbin Pelton Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Kapasitas 100 watt

Abeth Novria Sonjaya^{1,*}, Ferry Setyo Nugroho¹, Muhammad Vergiant Vindiawan¹

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya, Jakarta

*) *Corresponding author*: abethw21@gmail.com

Abstract

The potential energy of water has been extensively utilized by the public and developed in several studies on a mini-hydro, micro- and pico-hydro scale for electricity generation. The potential energy contained in the water is from the height of the falling water or the result of the flowing water being converted into electrical energy. The purpose of this study is that the potential of hydropower that exists around us can be utilized to meet the needs of micro-hydro scale electricity for areas where there is no electricity network from PLN by carrying out designs, calculations, manufacturers, tests, and simulations of Pelton turbine components namely buckets, wheel runners, shaft, and nozzle so as to convert water energy into electrical energy. The type of turbine that was made and tested was a bowl-blade Pelton turbine designed with a water discharge capacity of 21.4 liters/minute, a pressure height of 3.46 meters, a total of 18 Pelton turbine blades, a wheel runner diameter of 370mm, and a nozzle diameter of 75mm. Pelton turbine, tested with variations of wheel runner rotation to determine turbine performance. The results of the Pelton turbine test have a maximum rotation of 424 rpm and are able to turn on a light load of 25We with a turbine efficiency of 70%.

Abstrak

Energi potensial air sudah banyak dimanfaatkan masyarakat secara luas dan dikembangkan di beberapa penelitian dalam skala minihidro, mikro maupun picohidro untuk pembangkit listrik. Tenaga potensial yang terkandung dalam air adalah dari tinggi jatuh air atau akibat dari debit air yang mengalir dikonversikan menjadi energi listrik. Tujuan penelitian ini agar potensi tenaga air yang ada disekitar kita dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik skala mikrohidro untuk daerah yang belum ada jaringan listrik dari PLN dengan melakukan desain, perhitungan, manufaktur, pengujian, dan simulasi komponen turbin pelton yaitu *bucket*, *wheel runner*, poros, dan nosel sehingga mampu menkonversi energi air menjadi energi listrik. Jenis turbin yang dibuat dan diuji adalah jenis turbin pelton sudu mangkuk yang dirancang dengan kapasitas debit air 21,4 liter/menit, tinggi tekan 3,46 meter, jumlah sudu turbin pelton 18 buah, diameter wheel runner 370mm, dan diameter nosel 75mm. Kinerja turbin pelton mikrohidro diuji dengan variasi beban 0-25watt. Hasil pengujian turbin pelton mikrohidro memiliki putaran maksimal 424 rpm tanpa beban lampu dan 205 rpm dengan dibebankan lampu sebesar 25We dengan efisiensi turbin 70%.

Kata Kunci : turbin pelton mikrohidro, sudu, energi listrik

PENDAHULUAN

Negara kepulauan Indonesia sebagai Negara yang terletak digaris khatulistiwa memiliki beragam sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan energi di sektor industri, transportasi, komersial, dan rumah tangga menjadi tantangan bagi kita untuk melakukan penelitian dan pengembangan agar memperoleh sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi energi yang terus meningkat. Energi merupakan suatu aspek penting dalam kehidupan secara menyeluruh. Sumber energi yang saat ini banyak digunakan di Indonesia adalah energi fosil batubara, minyak bumi, dan gas alam. Namun seiring berjalannya waktu, ketersediaan alam tersebut kini semakin menipis, dan untuk mengatisipasinya energi terbarukan merupakan alternatif yang terbaik. Energi alternatif yang bersifat terbarukan dan dapat selalu dimanfaatkan yaitu energi air, angin, matahari, panas bumi [1], dan biomassa.

Energi terbarukan memainkan peran penting dalam transisi energi bersih. Negara-negara yang mengembangkan teknologi konversi energi terbarukan merasa bertanggung jawab atas lebih dari sepertiga pengurangan gas emisi CO₂ antara tahun 2020 dan 2030 di bawah skenario Net Zero Emissions tahun 2050. Penyebaran energi terbarukan di sektor listrik, energi panas, dan transportasi adalah salah satu faktor utama untuk menjaga kenaikan suhu rata-rata global di bawah 1,5 °C. Bioenergi modern adalah sumber energi terbarukan terbesar secara global, dengan pangsa 55% dari produksi global pada tahun 2021 [2].

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, pemanfaatan sumber daya energi nasional yang diarahkan untuk ketenagalistrikan adalah sebagai berikut sumber energi terbarukan dari jenis energi aliran dan terjunan air, energi panas bumi (termasuk skala kecil/modular), energi gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut, energi angin, energi sinar matahari, biomasa dan sampah; sumber energi baru berbentuk padat dan gas; gas bumi dan batubara [3]. Menurut Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, yang dimaksud dengan energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber energi terbarukan, yaitu sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut [3].

Kebutuhan akan teknologi konversi energi yang sangat besar khususnya wilayah yang jauh dari pembangkit listrik, turbin pelton merupakan salah satu pilihan yang cocok untuk kapasitas merupakan salah satu jenis turbin air yang cocok untuk daerah yang mempunyai tinggi jatuh (*head*) yang tinggi. Turbin pelton adalah jenis turbin air yang digunakan pada tinggi air jatuh yang besar. Pada prinsipnya untuk menghasilkan putaran, turbin pelton menggunakan satu atau beberapa buah nozel dengan diameter tertentu yang berfungsi sebagai penggerak runner yang ditembakkan tepat pada sudu-sudu turbin. Turbin Pelton merupakan turbin impuls yang umum digunakan karena konstruksinya yang sederhana, murah, serta mudah perawatannya. Prinsip turbin pelton adalah memanfaatkan daya fluida dari air untuk menghasilkan daya poros. Pada Turbin Pelton energi potensial air berubah menjadi energi kinetik melalui *nozzle* disemprotkan ke sudu (*bucket*) untuk dirubah menjadi energi mekanik yang digunakan untuk memutar poros alternator yang berfungsi sebagai sumber utama untuk menghasilkan arus listrik.

Hasil penelitian yang dilakukan Aida Syarif *et al.* (2019) diperoleh beda ketinggian, debit aliran, dan jumlah sudu sangat berpengaruh terhadap kinerja turbin pelton mikrohidro dalam menghasilkan daya listrik dan efisiensi kerja turbin, generator, dan PLTMH. Kinerja turbin dalam menghasilkan daya listrik dari penelitian PLTMH Turbin Pelton terdapat pada beda ketinggian 1,8 m pada bukaan katup full atau debit aliran 140,5 LPM dan pada jumlah sudu 16 yang menghasilkan jumlah putaran 242,37 rpm, daya listrik optimum sebesar 9 watt. Kinerja turbin dengan mengkaji dari nilai efisiensi kerja turbin, terdapat pada beda ketinggian 1,8 m, pada bukaan katup maksimal atau debit aliran 140,5 l/menit dan pada jumlah sudu 16 yang menghasilkan nilai efisiensi turbin sebesar 49,37% [1]

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh D. Irawan (2014) yaitu prototipe Turbin Pelton sebagai Energi Alternatif Mikrohidro di Lampung didapatkan kondisi efektif dari perancangan PLTMH yaitu dengan jumlah sudu turbin Pelton 40 pada debit 0,0005 m³/s didapat daya yang dihasilkan sebesar 4,97 watt dengan efisiensi turbin 4,9% [4].

Turbin pelton merupakan turbin impuls atau turbin aksi atau disebut juga dengan turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nozzle tekanannya sama dengan tekanan atmosfer disekitarnya. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih 5 alat yang disebut nozzle. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi [5]. Pada prinsipnya untuk menghasilkan putaran, turbin pelton menggunakan satu atau beberapa buah nozel dengan diameter tertentu yang berfungsi sebagai penggerak runner yang ditembakkan tepat pada sudu-sudu turbin. Turbin Pelton merupakan turbin impuls yang umum digunakan karena konstruksinya yang sederhana, murah, serta mudah perawatannya. Prinsip turbin pelton adalah memanfaatkan daya fluida dari air untuk menghasilkan daya poros. Pada Turbin Pelton energi potensial air berubah menjadi energi kinetik melalui *nozzle* disemprotkan ke sudu (*bucket*) untuk dirubah menjadi energi mekanik yang digunakan untuk memutar poros alternator yang berfungsi sebagai sumber utama untuk menghasilkan arus listrik [6].

Kinerja turbin pelton mikrohidro sebelumnya memiliki daya output 12,1 watt dan putaran 310 rpm, sehingga perlu dilakukan modifikasi tinggi tekan, laju aliran massa air, jumlah *bucket* atau sudu, lebar sudu, tinggi sudu, lebar bukaan sudu, dan kedalaman sudu, serta menentukan putaran *wheel runner* akibat adanya variasi beban lampu 0-25 watt dan efisiensi. Dengan referensi yang didapat mengenai perkembangan turbin pelton penulis tertarik merencanakan turbin pelton untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro kapasitas 100 We skala laboratorium sebagai kegiatan pembelajaran di laboratorium.

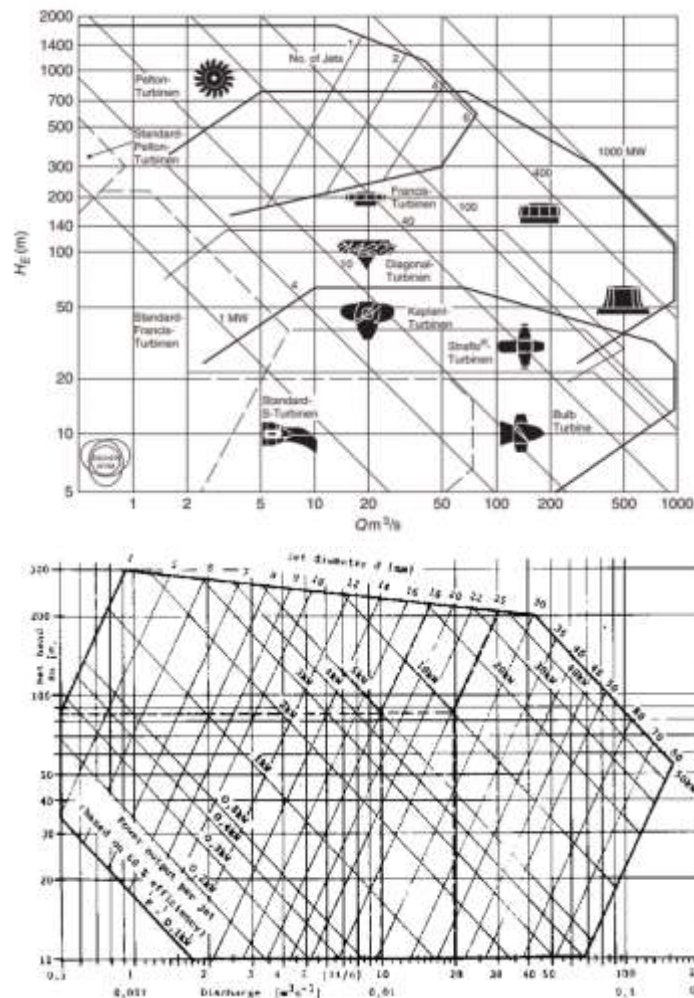
METODE PENELITIAN

Secara garis besar rancangan ini dibagi menjadi 6 bagian utama yaitu reservoir, pompa sirkulasi, tangki penampung air, penstock, turbin Pelton, dan generator listrik. Tinggi tangki penampung air untuk jenis turbin pelton seperti pada Gambar 1 menunjukkan sebagai simulasi waduk yang memanfaatkan energi potensial air jatuh sebagai tenaga penggerak turbin, pada bagian tangki terdapat katup untuk mengatur pembukaan air dengan ketinggian bersih (head net) 3,46m. Penstock (pipa pesat) pada prototipe PLTMH ini menggunakan pipa sebagai saluran pengarah dengan ketinggian dan kemiringan sebesar 1m dan 40° yang dihubungkan dengan katup dan *flowmeter* untuk mengatur dan mengukur debit aliran menabrak turbin. Reservoir air 95 liter dipasang dibagian bawah agar mudah mensirkulasikan air yang nantinya dapat dipompakan menuju tangki penampung air. Pompa sirkulasi yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan kebutuhan energi sebesar 200 watt yang disuplai melalui sumber listrik. Turbin Pelton yang digunakan memiliki 18 sudu. Turbin pelton yang dirancang menggunakan campuran logam timah dan nikel dengan diameter wheel runner 370mm, panjang sudu 172,5mm, lebar sudu 213,75mm dan kedalaman lengkungan sebesar 67,5mm.

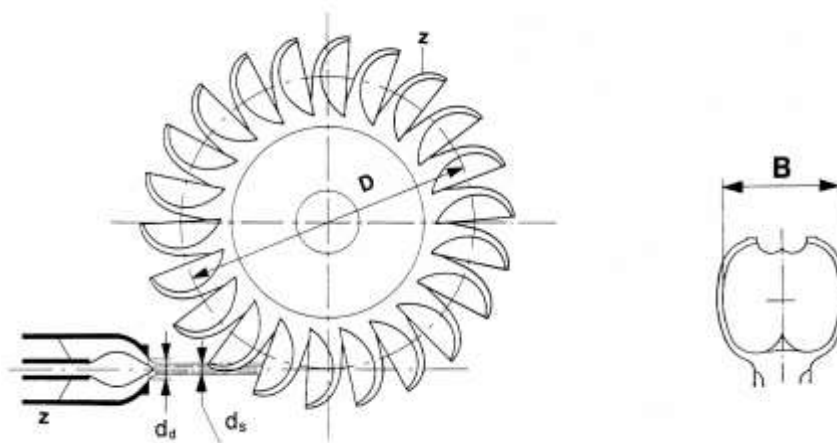
Proses penelitian dimulai dengan melakukan observasi dan studi jurnal penelitian yang relevan. Dari rumusan masalah di atas maka dimulai dengan mendesain nosel, sudu, *wheel runner*, poros, dan puli. Dari beberapa jurnal publikasi dihitung dimensi komponen turbin pelton mikrohidro kemudian manufaktur dan merakit turbin pelton mikrohidro. Setelah semua kompartemen sudah siap untuk dipasang seperti pompa sentrifugal, reservoir, sumber air yang ditampung dalam bak, sistem perpipaan, turbin pelton mikrohidro, generator, dan lampu indikator. Untuk mendapatkan data pengujian terlebih dahulu diukur laju aliran massa menggunakan

flowmeter sehingga data yang peroleh yaitu berupa daya listrik yang dihasilkan dapat dihitung dan digunakan sebagai data input simulasi.

Pemilihan turbin pelton mikrohidro untuk lokasi tertentu bergantung pada head (tinggi tekan) dan kondisi laju aliran massa air [1]. Gambar 1 menunjukkan rentang penerapan berbagai jenis turbin hidrolik. Dapat dilihat bahwa turbin Pelton digunakan di lokasi dengan head tinggi. Namun dalam penelitian skala laboratorium ini tinggi tekan yang dipakai adalah 3,46 meter.



Gambar 1. Nomogram pemilihan turbin air dan turbin pelton mikrohidro [7]



Gambar 2. Dimensi utama Turbin Pelton runner

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pembangkit listrik tenaga air dengan turbin Pelton, energi hidrolik yang tersedia ada sebagai energi potensial, yang diukur dalam bentuk perbedaan ketinggian geodesi antara permukaan air bagian atas di reservoir dan turbin di rumah mesin yang berada di ketinggian yang lebih rendah. Perbedaan ketinggian ini dilambangkan sebagai tinggi hidrolik dalam terminologi pembangkit listrik tenaga air. Pengubahan energi potensial menjadi energi mekanik yang dapat digunakan dilakukan dengan terlebih dahulu mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dalam bentuk pancaran berkecepatan tinggi pada ketinggian roda turbin. Untuk konversi energi, satu atau banyak injektor dapat digunakan. Beberapa parameter awal sebelum melakukan perhitungan diketahui sebagai berikut;

1. Tekanan terukur pada *pressure gauge*, $p = 5 \text{ psi} = 0,34 \text{ bar} = 0,34 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
2. Laju aliran massa air, $Q = 21,4 \text{ l/min} = 0,0003567 \text{ m}^3/\text{s}$
3. Diameter pipa *penstock* = 3 inchi = 0,0762 m
4. Densitas air, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
5. Percepatan gravitasi, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
6. Koefisien kecepatan keliling, $k_u = 0,47$

Kecepatan mutlak jet (c_1) dapat dihitung dengan persamaan berikut [8]:

$$c_1 = k_c \sqrt{2gH_n}; \text{ dimana } H_n = \text{Head efektif} = 3,46 \text{ m}; k_c = \text{koefisien nozel} = 0,96 - 0,98 [8];$$

$$\text{Diameter semburan jet optimal, } d = \sqrt{\frac{4Q}{z \times \pi \times c_1}}$$

$$\text{Kecepatan keliling optimal, } u_1 = k_u \sqrt{2gH_n}$$

$$\text{Diameter } \textit{pitch circle}, D = \frac{60 u_1}{\pi \times n}$$

Lebar *buckets* (mangkuk / sudu), $B = 2,85d$. Aturan yang telah ditetapkan yaitu hubungan ukuran sudu (bucket) terhadap jumlah nosel adalah $3,1 > B/d_s \geq 3,4$ sehingga $B = 3,1d_s$ membutuhkan satu nosel.

$$\text{Jumlah sudu, } z = \frac{D}{2d} + 15$$

$$\text{Tinggi } \textit{buckets} \text{ (mangkuk / sudu), } h = 2,3d; h_1 = 0,2d, h_2 = 1,1d$$

$$\text{Lebar bukaan } \textit{buckets} \text{ (mangkuk / sudu), } a = 1,2d$$

$$\text{Kedalaman } \textit{buckets} \text{ (mangkuk / sudu), } t = 0,9d$$

$$\text{Kelonggaran (offset) cetakan } \textit{buckets} \text{ (mangkuk / sudu), } k = 0,15d$$

$$\text{Diameter luar } \textit{runner}, D_a = D + 1,2h$$

$$\text{Besarnya daya air yang dihasilkan (menggunakan prototipe), } P_{\text{air}} = QH_n \rho_{\text{air}}$$

Pengukuran daya dan efisiensi listrik generator dihubungkan ke lampu DC untuk mengukur tegangan dan arus masing-masing dengan voltmeter dan Ampere meter. $P_{\text{output}} = V \times I$ dimana, V adalah tegangan (volt); dan arus listrik (Ampere). Efisiensi turbin keseluruhan turbin pelton mikrohidro dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\eta = \frac{\text{Electrical Power Output}}{\text{Hydraulic Power Input to Turbine}}$$

Jumlah *bucket* atau sudu (z) = 18 buah; lebar sudu (B) = 213,75mm; tinggi sudu (h) = 172,5mm; lebar bukaan sudu (a) = 90mm; kedalaman sudu (t) = 67,5mm; efisiensi turbin = 70%



Gambar 3. Hasil pembuatan turbin pelton mikrohidro 100 We

Hasil pengujian turbin pelton mikrohidro dengan laju aliran massa sebesar $Q = 21,4 \text{ l/min} = 0,0003567 \text{ m}^3/\text{s}$ diberi beban lampu masing-masing 5watt sebanyak 5 buah atau total 25watt, akan diperoleh perubahan putaran maksimal 424 rpm tanpa beban lampu sampai putaran 205 rpm dengan dibebankan lampu sebesar 25We, seperti yang terlihat pada Gambar 3.

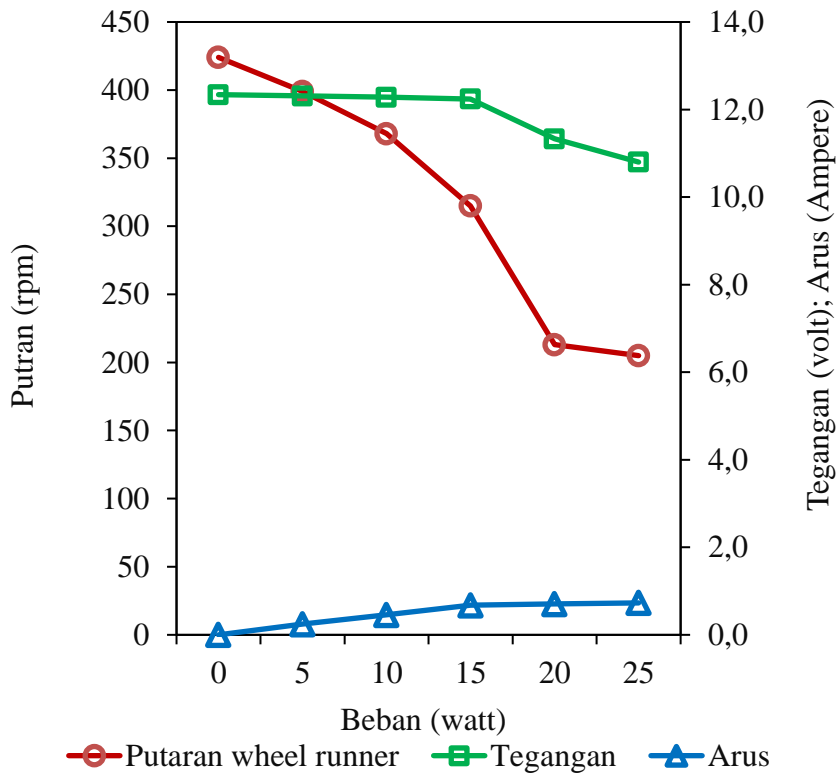


Gambar 3. Hasil pengujian turbin pelton mikrohidro dengan lampu DC 5 watt

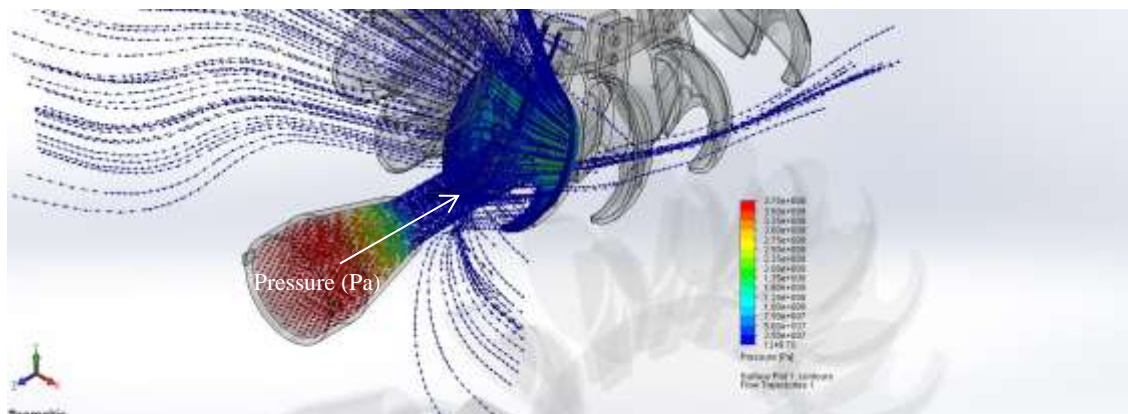
Pada Tabel 2 dan Gambar 4 menunjukkan putaran *wheel runner* diawali pada 424 rpm dan tanpa beban nyata, tidak arus listrik yang mengalir namun arus listrik semakin bertambah dengan diberikan beban juga semakin besar begitu pula ditunjukkan dengan putaran *wheel runner* dari turbin pelton mikrohidro yang semakin berkurang dari 424 rpm sampai 205 rpm dengan beban nyata diberikan 5 kali lebih besar atau besarnya nilai arus listrik terhadap beban lampu yang diberikan dan putaran yang dihasilkan, semakin tinggi beban yang diberikan maka putarannya semakin rendah, arus listrik, dan tegangan yang dihasilkan semakin kecil. Sehingga daya listrik berbanding lurus dengan tegangan dan arus listrik.

Tabel 2. Hasil pengujian terhadap beban terpasang 5 x 5 watt

No.	Percobaan	Beban	Putaran <i>wheel runner</i> (rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)
1.	I	0	424	12,34	0
2.	II	5	399	12,31	0,244
3.	III	10	368	12,28	0,458
4.	IV	15	315	12,24	0,675
5.	V	20	213	11,33	0,704
6.	VI	25	205	10,80	0,729



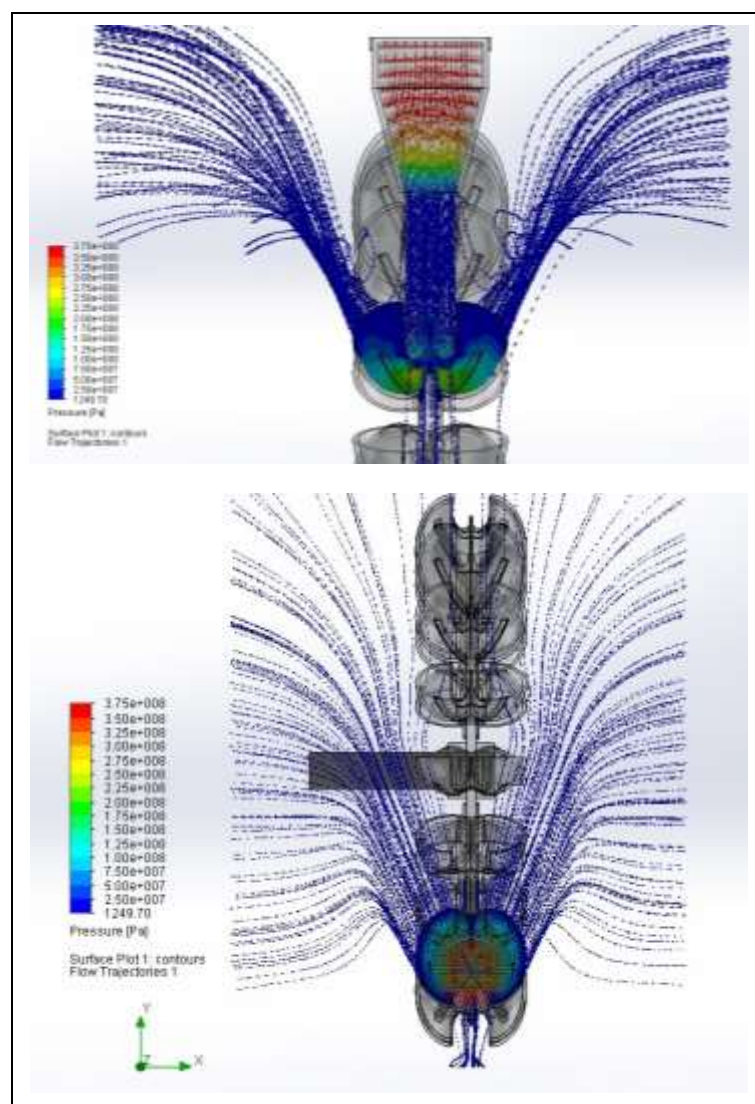
Gambar 3. Pengaruh beban lampu terhadap tegangan dan arus listrik



Gambar 4. Simulasi turbin pelton mikrohidro saat menerima beban air

Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi turbin pelton mikrohidro dimana nosel yang mengalir air dengan laju aliran masa sebesar 21,4 l/min atau 0,0003567 m³/s .menuju *bucket* atau sudu. Aliran air terpancar merata dan sebagian diteruskan ke sudu berikutnya sesuai tinggi, lebar bukaan,

kedalaman, dan kelonggaran (*offset*) cetakan *buckets* (mangkuk / sudu). Tekanan yang diterima sudu lebih besar dibagian tengah noses sehingga masih besar tekanan yang diterima oleh sudu berikutnya walaupun ada perbedaan jarak putaran antara masing-masing sudu seperti yang terlihat pada dua sisi pandangan nosel dan sudu Gambar 5. Arah kecepatan air pun terdistribusi merata sesuai bentuk sudu-sudunya dengan sebaran warnanya.

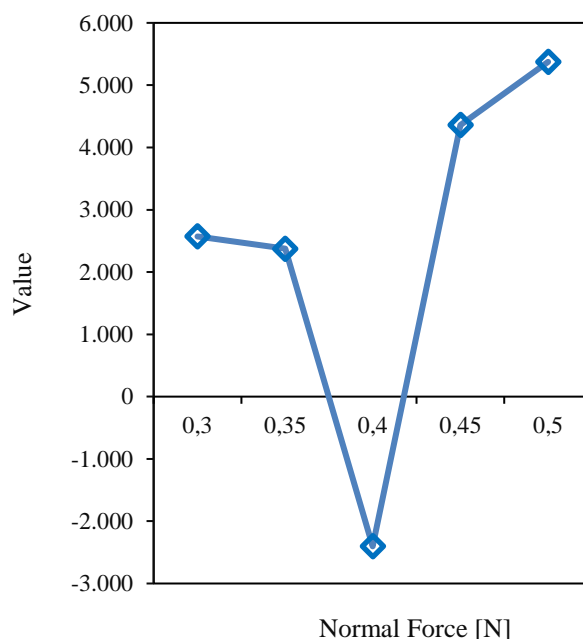


Gambar 5. Hasil simulasi beban yang diterima bucket/sudu saat tekanan dipancarkan dari nosel

Pada Tabel 3 menunjukkan angka anomali pada *normal force* yang diberikan pada sudu turbin pelton mikrohidro berdimensi sesuai desain di atas. Dimana pada *normal force* 0,030-0,040 Newton menunjukkan nilai yang menurun sampai -2,403 Newton. Salah satu kemungkinan yang dialami oleh sudu adalah karena kecepatan air yang belum maksimal diterima oleh sudu maka air yang terpancar dari nosel keluar melalui celah sudu. Namun setelah celah tertutup oleh aliran air, terlihat mulai meningkat sampai 5,375 Newton. Keadaan ini perlu diperhatikan saat *wheel runner* mulai berputar mencapai putaran maksimal. Karena apabila terjadi hambatan saat berputar dan putaran akan berkurang sampai di *normal force* 0,040 Newton maka aliran air akan kembali masuk ke celah-celah sudu yang mengakibatkan kinerja turbin pelton mikrohidro akan berkurang. Data adanya angka anomaly *normal force* digambarkan dalam grafik pada Gambar 6.

Tabel 3. Hasil simulasi beban yang diterima sudu akibat pancaran pada nosel

Normal Force (X)	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Delta
0,030	N	2.573	-901.881	-2.841	2.573	1.339
0,035	N	2.375	1.760	-1.862	5.164	1.795
0,040	N	-2.403	6.731	-2.403	1.057	392.042
0,045	N	4.362	218	-9.134	6.956	2.256
0,050	N	5.375	-4.791	-20.709	5.591	3.113

Gambar 6. Perubahan *Normal Force* yang diterima sudu

KESIMPULAN

Dengan memodifikasi dan bucket Turbin pelton mikrohidro mengalami peningkatan output daya dan rpm yang sebelumnya hanya memiliki daya *output* 12,1 watt dan dengan putaran 310 rpm, didapatkan data antara lain; laju aliran massa air sebesar 21,4 l/min atau 0,0003567 m³/s, jumlah *bucket* atau sudu 18 buah; lebar sudu 213,75mm; tinggi sudu 172,5mm; lebar bukaan sudu 90mm; kedalaman sudu. Hasil pengujian turbin pelton mikrohidro memiliki putaran maksimal 424 rpm tanpa beban lampu dan 205 rpm dengan dibebankan lampu sebesar 25We dengan efisiensi turbin 70%. Semakin bertambah beban yang diberikan maka semakin berkurang putaran *wheel runnerynya* dan semakin berkurang tegangannya. Tapi disini lain dengan bertambahnya beban maka arus listrik juga bertambah besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya yang telah membiayai penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA / REFERENCES

- [1] Aida Syarif *et al.*, "Analisis Unjuk Kerja Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

- Turbin Pelton Sumber Daya Head Potensial,” *J. Kinet.*, vol. 10, no. 02, pp. 1–8, 2019.
- [2] Piotr Bojek, “IEA (2022), Renewables, IEA, Paris,” 2022.
<https://www.iea.org/reports/renewables>
- [3] PT PLN (Persero), “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030.,” 2021.
- [4] D. Irawan, “Prototype Turbin Pelton Sebagai Energi Alternatif Mikrohidro Di Lampung,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2014, doi: 10.24127/trb.v3i1.17.
- [5] A. H. Ahrori, M. Kabib, and R. Wibowo, “Perancangan Dan Simulasi Turbin Pelton Daya Output Generator 20.000 Watt,” *J. Crankshaft*, vol. 2, no. 2, pp. 17–26, 2019, doi: 10.24176/crankshaft.v2i2.3834.
- [6] A. R. Hadimi, Supandi, “Rancang Bangun Model Turbin Pelton Mini Sebagai Media Simulasi/Praktikum Mata Kuliah Konversi Energi Dan Mekanika Fluida,” *J. Ilm. Semesta Tek.*, vol. 9, no. 1, pp. 16–24, 2006.
- [7] T. R. Bajracharya, R. Shrestha, and A. B. Timilsina, “A Methodology for Modelling of Steady State Flow in Pelton Turbine Injectors,” *J. Inst. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 246–255, 2019, doi: 10.3126/jie.v15i2.27674.
- [8] M. Eisenring, *Micro Pelton Turbines. MHPG Series Volume 9*. 1991.