



Simulasi Pengaruh Jumlah dan Sudut Sudu Terhadap Efisiensi dan Daya Turbin Air Aksial

Hamidah Nurrul Fattah¹, Nurida Finahari², Nova Risdiyanto Ismail³✉

^{1,2,3} Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama
Jl. Taman Borobudur Indah No.1, Malang, Indonesia
✉ *Corresponding author:* nova@widyagama.ac.id

Diterima Redaksi : 16 Juni 2024
Selesai Revisi : 20 September 2024
Diterbitkan Online : 15 November 2024

Abstract

The amount of electrical energy needed each year is increasing, while the source of electrical energy is decreasing each year. So that alternative resources are needed, namely renewable energy, to help meet the current need for electrical energy. One of the renewable energies that is currently widely used is the water turbine. In this study, the air turbine will be studied with the aim of determining the efficiency and power of the turbine with variations in the number of blades (10, 14 and 18), variations in the blade angle of 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, and using various types of axial turbines. The study produced the highest efficiency value of 99.94% in the Francis type turbine with 10 blades and an angle of 20°. And the highest power value of 63.77 Watts is found in the Kaplan turbine with 18 blades and an angle of 10°.

Keywords: Axial turbine; number of blades; blade angle; turbine efficiency; turbine power

Abstrak

Jumlah energi listrik yang dibutuhkan setiap tahun semakin meningkat, sedangkan sumber daya energi listrik setiap tahun semakin berkurang. Sehingga diperlukan sumber daya alternatif yaitu energi terbarukan, untuk membantu memenuhi kebutuhan energi listrik saat ini. Salah satu energi terbarukan yang saat ini banyak digunakan adalah turbin air. Pada penelitian ini turbin air akan diteliti dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi dan daya turbin dengan variasi jumlah sudu (10, 14 dan 18), variasi sudut sudu sebesar 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, dan menggunakan berbagai jenis turbin aksial. Penelitian menghasilkan nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 99,94% terdapat pada turbin jenis Francis dengan sudu sebanyak 10 dan sudut 20°. Dan nilai daya tertinggi yaitu sebesar 63,77 Watt terdapat pada turbin Kaplan dengan sudu sebanyak 18 dan sudut 10°.

Kata kunci: Turbin aksial; jumlah sudu; sudut sudu; efisiensi turbin; daya turbin.

1. Pendahuluan

Pada era globalisasi seperti saat ini teknologi menjadi hal yang sangat penting, bahkan menjadi salah satu ciri negara bisa disebut maju. Banyak negara yang berlomba-lomba untuk mengembangkan teknologinya di berbagai sektor, tak terkecuali di Indonesia [1]. Perkembangan teknologi tersebut menyebabkan peralatan dan sistem yang semakin canggih dan otomatis dengan listrik sebagai sumber energi yang paling banyak digunakan. Seiring

perkembangan jaman, kebutuhan listrik dunia diperkirakan akan semakin meningkat [2]. Berdasarkan data Rencana Usaha Pengadaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT Tenaga Listrik (Persero)/PLN tahun 2018-2027 bahwa kebutuhan listrik di Indonesia sebesar 238 TWH pada tahun 2018 akan meningkat menjadi 434 TWH pada tahun 2027, selain karena faktor perkembangan jaman, meningkatnya kebutuhan penggunaan energi listrik ini juga dikarenakan peningkatan jumlah penduduk yang semakin pesat [3]. Kebutuhan listrik yang sangat besar mengharuskan adanya peningkatan pasokan listrik yang memadai, namun sampai saat ini sebagian besar listrik di Indonesia masih menggunakan batu bara, minyak dan gas bumi sebagai sumbernya dan jika digunakan terus menerus sumber tersebut akan habis dan dapat menyebabkan beberapa kerugian seperti polusi, pemanasan global dan lain-lain [4]. Tidak hanya itu, listrik di Indonesia masih belum bisa tersalurkan secara merata karena daerah topografi yang susah dijangkau menyebabkan terhambatnya fasilitas energi listrik yang akan masuk. Hal ini menjadi tugas besar bagi negara Indonesia untuk bisa menghasilkan dan mencukupi kebutuhan listrik di negaranya [5].

Permasalahan tersebut dapat ditangani dengan adanya sumber energi alternatif yaitu energi terbarukan. Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam, menurut data Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) pada tahun 2007 ada beberapa Energi Terbarukan (EBT) yang dimiliki Indonesia dan berpotensi tinggi untuk menjadi sumber pembangkit energi listrik, jenis energi terbarukan yang sudah digunakan di Indonesia yaitu, Energi Panas Bumi yang berpotensi menghasilkan 19.658 MW dan baru digunakan sekitar 2.000 MW, Energi Air yang mempunyai potensi listrik paling tinggi yaitu 74.976 MW dan baru digunakan sebesar 6.600 MW, Energi Surya yang bisa menghasilkan sekitar 4,5 – 4,8 Kilowatt/meter persegi dan Energi Laut yang berpotensi menghasilkan listrik sebesar 16.000 MW [6]. Diantara beberapa energi tersebut, energi yang berpotensi menghasilkan listrik terbesar adalah energi air, karena Indonesia adalah negara maritim yang mempunyai wilayah perairan yang sangat luas. Salah satu alat yang di gunakan untuk mengubah energi air menjadi energi listrik adalah Turbin [7]. Turbin adalah pembangkit listrik tenaga air yang beroperasi dengan cara mengubah energi kinetik dari kecepatan dan ketinggian aliran air menjadi energi mekanis (putar) yang akan digunakan untuk memutar generator dan menghasilkan listrik [8].

Berdasarkan arah aliran, turbin di bagi menjadi 2 jenis, yaitu turbin aksial dan radial. Turbin radial adalah turbin dengan aliran air yang masuk ke sudu, tegak lurus terhadap poros turbin [9], sedangkan turbin aksial adalah turbin dengan arah alirannya mengalir sejajar terhadap sumbu turbin (shaft) yang digunakan pada laju aliran air yang tinggi dengan perbedaan tekanan yang rendah [10]. Diantara kedua turbin tersebut, turbin aksial lebih unggul karena memiliki nilai efisiensi dan daya yang lebih tinggi daripada turbin radial, konstruksi ringan dan tidak memerlukan tempat yang luas, selain itu perbandingan tekanan juga dapat di buat lebih tinggi [11]. Turbin aksial tipe undershot memiliki beberapa keuntungan yaitu : dapat digunakan pada head yang sangat kecil [12], desain yang sederhana dan murah, serta tidak membahayakan bagi makhluk hidup yang ada di perairan dimana turbin ini dipasang. perlu adanya optimasi untuk meningkatkan daya dan efisiensi pada turbin aksial. Penelitian ini akan meneliti tentang pengaruh variasi jumlah dan kemiringan sudut sudu dengan metode simulasi menggunakan software pemodelan sistem untuk meningkatkan daya dan efisiensi turbin aksial, optimasi dilakukan pada sudu turbin karena sudu adalah bagian terpenting pada turbin yang berfungsi untuk menangkap energi kinetik yang terdapat pada aliran air. Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu berkontribusi dalam bidang energi terbarukan, dan juga akan dijadikan pembelajaran dalam penelitian berikutnya.

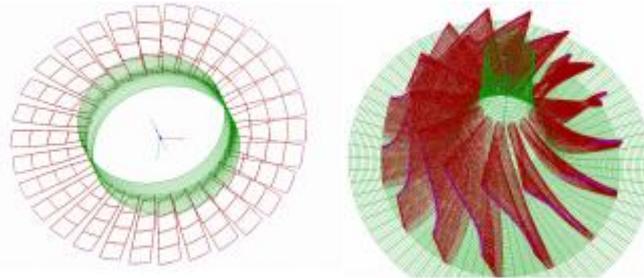
2. Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan di dalam penelitian ini adalah metode penelitian simulasi. Dimana pada simulasi ini, menggunakan bantuan software pemodelan sistem dengan memasukkan beberapa variabel penelitian, maka diharapkan penelitian yang dilakukan pada metode simulasi dapat di lanjutkan pada penelitian eksperimen.

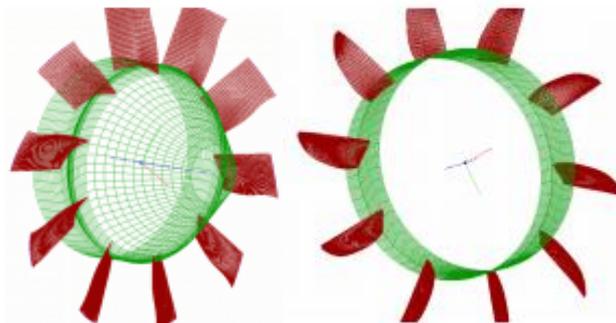
Variabel Penelitian

Variabel bebas adalah dalam penelitian ini adalah variasi jumlah sudu (10, 14, dan 18), variasi sudut sudu (10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° , dan 45°), dan 4 macam turbin jenis Aksial yang akan disimulasikan yaitu turbin Crossflow, Francis, Kaplan dan Pelton. Sedangkan Variabel terikatnya adalah efisiensi dan daya turbin. Variabel terkontrolnya adalah diameter sudu (0.45 m), Panjang sudu (0.50 m) dan kecepatan putaran (30,16 rad/s).

Desain Sudu Turbin

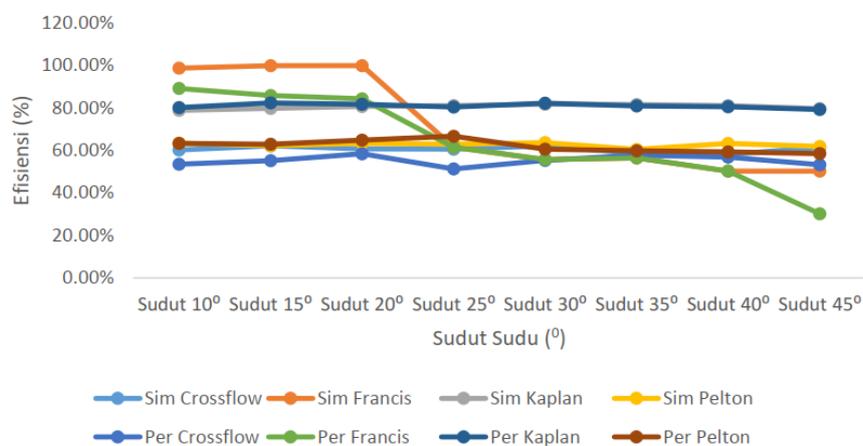


Gambar 1. Crossflow Turbine Blade (kiri); Francis Turbine Blade (kanan)



Gambar 2. Kaplan Turbine Blade (kiri ; Pelton Turbine Blade (kanan)

3. Hasil dan Pembahasan
Efisiensi Pada Sudu Sebanyak 10

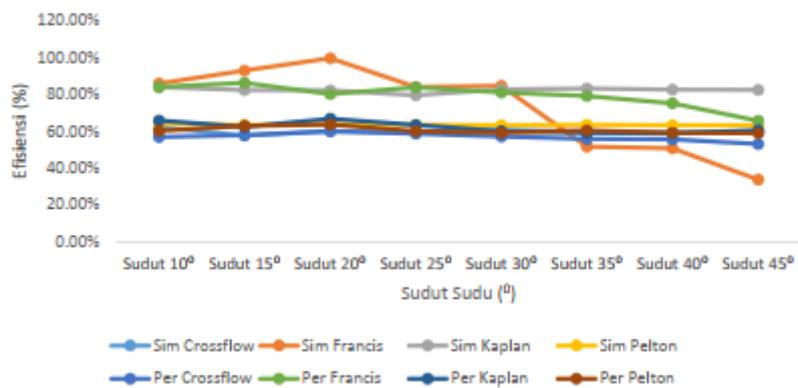


Gambar 3. Grafik Hasil Efisiensi Sudu Sebanyak 10

Pada gambar diatas efisiensi hasil simulasi pada sudu sebanyak 10 dapat disimpulkan bahwa turbin francis dengan sudut sudu sebesar 15° memiliki nilai efisiensi tertinggi yakni sebesar

99,89%, sama dengan turbin kaplan yang nilai efisiensi tertingginya terletak pada sudut 15°, sedangkan nilai efisiensi tertinggi dari turbin crossflow dan turbin pelton terletak pada sudut sudu sebesar 30° dengan nilai 62,13% dan 63,65%. Pada sudut 25° nilai efisiensi turbin francis menurun drastis menjadi sebesar 61,55% dan turun lagi pada sudut 40° - 45° sebesar 50,24%, sedangkan nilai efisiensi ketiga turbin lainnya tetap konstan sampai sudu 45°. Pada hasil perhitungan efisiensi sudu sebanyak 10 ini, dapat di bahas bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada sudu jenis Francis dengan sudut 10° dengan nilai sebanyak 89,17%. Sedangkan nilai efisiensi terendah terdapat pada sudu jenis turbin Francis dengan sudut sudu 45° yaitu sebanyak 30,18%. Turbin jenis crossflow memiliki nilai efisiensi tertinggi pada sudut 20°, turbin jenis kaplan efisiensi tertingginya pada sudut 150 dan turbin jenis pelton pada sudut 25°.

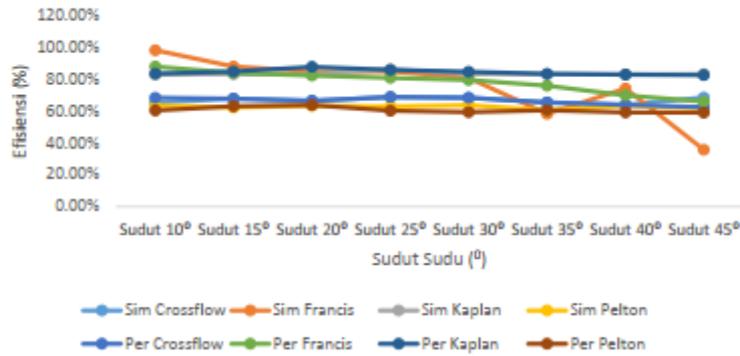
Efisiensi Pada Sudu Sebanyak 14



Gambar 4. Grafik Hasil Efisiensi Sudu Sebanyak 14

Pada gambar diatas, efisiensi hasil simulasi pada sudu sebanyak 14 dapat disimpulkan bahwa turbin *francis* dengan sudut *sudu* sebesar 20° memiliki nilai efisiensi tertinggi yakni sebesar 99,75%, sedangkan turbin *kaplan* yang nilai efisiensi tertingginya terletak pada sudut 10°, hampir sama dengan nilai efisiensi tertinggi dari turbin *crossflow* dan turbin *pelton* terletak pada sudut sudu sebesar 10°. Dengan nilai sebesar 84,07%, 62,35%, 64,35%. Pada sudut 25° nilai efisiensi turbin *francis* menurun drastis menjadi sebesar 84,06%, dan turun lagi pada sudut 35° sampai sudut 45° dan nilai efisiensi ketiga turbin lainnya tetap konstan. Pada pembahasan grafik simulasi efisiensi sudu sebanyak 14 dapat di analisa bahwa, turbin jenis *Francis* dengan sudut sudu 20° memiliki nilai efisiensi terbesar yaitu sebanyak 99,75%, setelah itu nilai efisiensinya turun dan bersinggungan dengan turbin jenis *kaplan* pada sudut 30° pada efisiensi dengan rata-rata 80%. Pada sudut 35° nilai efisiensi dari turbin *francis* menurun, sehingga bersinggungan dengan nilai efisiensi dari turbin *crossflow* dan *pelton* yakni pada rata-rata nilai 60%. Sedangkan nilai efisiensi terendah tetap terdapat pada turbin *Francis* dengan sudut sudu 45° yakni dengan nilai efisiensi sebesar 33,83%. Pada grafik perhitungan efisiensi, efisiensi tertinggi diperoleh tubin jenis Francis pada sudut 10° yakni sebesar 84,14%, dan nilai terendah juga terdapat pada turbin jenis francis yaitu sebesar 58,17%.

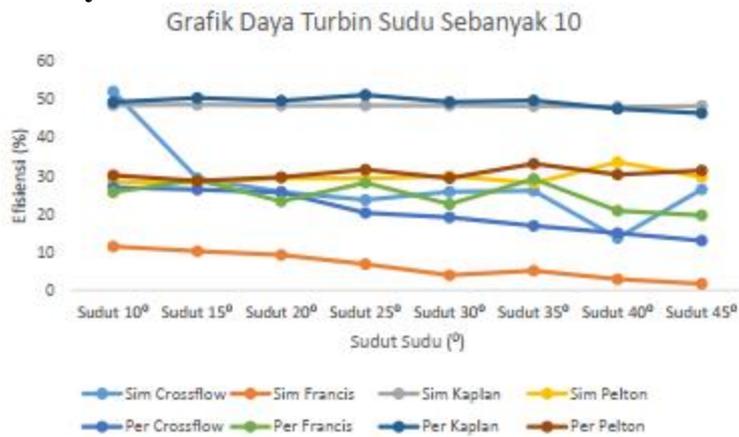
Efisiensi Pada Sudu Sebanyak 18



Gambar 5. Grafik Hasil Efisiensi Sudu Sebanyak 18

Pada simulasi efisiensi sudu sebanyak 18 dapat di analisa bahwa, turbin jenis *Francis* dengan sudut sudu 10^0 memiliki nilai efisiensi terbesar yaitu sebanyak 98,24%, setelah itu nilai efisiensinya turun dan bersinggungan dengan turbin jenis *kaplan* pada sudut 20^0 pada efisiensi dengan rata-rata 80%. Pada sudut 35^0 nilai efisiensi dari turbin *francis* menurun, sehingga bersinggungan dengan nilai efisiensi dari turbin *crossflow* dan *pelton* yakni pada rata-rata nilai 60%. Sedangkan nilai efisiensi terendah tetap terdapat pada turbin *Francis* dengan sudut sudu 45^0 yakni dengan nilai efisiensi sebesar 35,73%. Pada pembahasan grafik perhitungan efisiensi sudu sebanyak 18 ini, dapat di simpulkan bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada sudu jenis *Francis* dengan sudut 10^0 dengan nilai sebanyak 87,92%. Kemudian efisiensi mulai menurun dan sejajar dengan nilai efisiensi dari turbin *kaplan* pada rata-rata nilai sekitar 85%. Pada turbin jenis *kaplan* dan *pelton*, nilai efisiensi tertinggi terdapat pada sudut 15^0 , sedangkan pada turbin jenis *crossflow* nilai efisiensinya tertinggi terdapat pada sudut 25^0 . Nilai efisiensi turbin *francis* pada sudut $40^0 - 45^0$ turun menjadi sebesar 65,98%. Sedangkan nilai efisiensi ketiga turbin lainnya tetap konstan sampai sudu 45^0 .

Hasil Pada Sudu Sebanyak 10



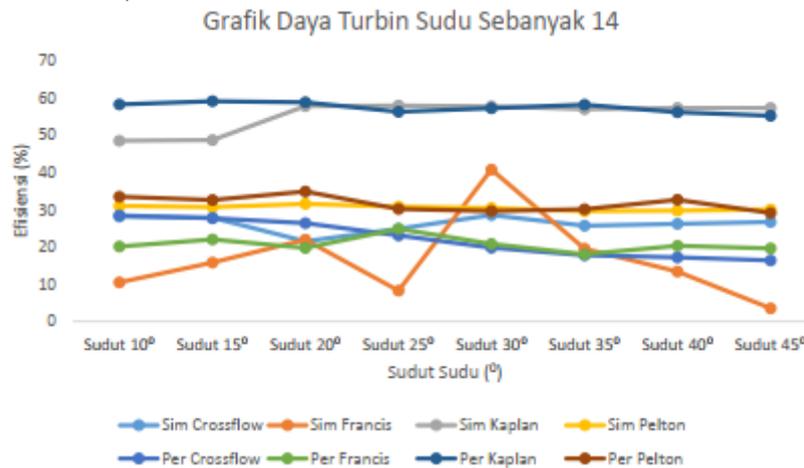
Gambar 6. Grafik Hasil Sudu Sebanyak 10

Pada pembahasan simulasi daya pada sudu sebanyak 10 dapat di analisa bahwa, turbin jenis *crossflow* dengan sudut sudu 10^0 memiliki nilai daya terbesar yaitu sebanyak 52,28 Watt sama seperti turbin jenis *francis*, setelah itu nilai dayanya turun dan bersinggungan dengan turbin jenis *pelton* pada sudut 15^0 pada nilai daya dengan rata-rata 29 Watt. Pada sudut 20^0 sampai sudut 35^0 nilai daya dari turbin *crossflow* mulai konstan dan turun lagi pada sudut 40^0 menjadi sebesar 13,73 Watt. Berbeda dengan turbin jenis *pelton* yang nilai daya teringginya terletak pada sudut 33,7 Watt. Sedangkan nilai daya terendah terdapat pada turbin *Francis* dengan

sudut sudu 45^0 yakni dengan nilai efisiensi sebesar 1,69 Watt. Pada grafik daya sudu sebanyak 10, dapat di analisa bahwa nilai daya tertinggi terdapat pada sudu jenis *crossflow* sudut sudu 10^0 dengan nilai sebanyak 52,275 Watt, hal ini disebabkan karena turbin dengan kemiringan sudu 10^0 menghasilkan putaran turbin yang tinggi karena aliran air lebih banyak mengenai penampang sudu. Sedangkan nilai daya terendah terdapat pada sudu jenis turbin *Francis* dengan sudut sudu 45^0 yaitu sebanyak 1,687. Pada grafik perhitungan daya sudu sebanyak 10 dapat di simpulkan bahwa daya tertinggi terdapat pada turbin jenis kaplan pada sudut 25^0 yakni sebanyak 51,34 Watt. Sedangkan daya terendah terdapat pada turbin Francis sebesar 19,69 Watt.

Hasil Pada Sudu Sebanyak 14

Pada pembahasan grafik simulasi daya sudu sebanyak 14 dapat di analisa bahwa, turbin jenis *kaplan* dengan sudut sudu 25^0 memiliki nilai daya terbesar yaitu sebanyak 58,08 Watt, setelah itu nilai dayanya tetap konstan sampai sudut 45^0 . Pada turbin *francis*, nilai daya tertinggi terletak pada sudut 30^0 sebesar 40,87 Watt, kemudian nilai daya turun sampai sudut 45^0 menjadi sebesar 3,54 Watt. Sedangkan pada turbin jenis *crossflow* nilai daya tertinggi terletak pada 30^0 dan turbin *pelton* nilai daya tertingginya terletak pada sudut 30^0 . Sedangkan nilai efisiensi terendah tetap terdapat pada turbin *Francis* dengan sudut sudu 45^0 yakni dengan nilai efisiensi sebesar 33,83%.



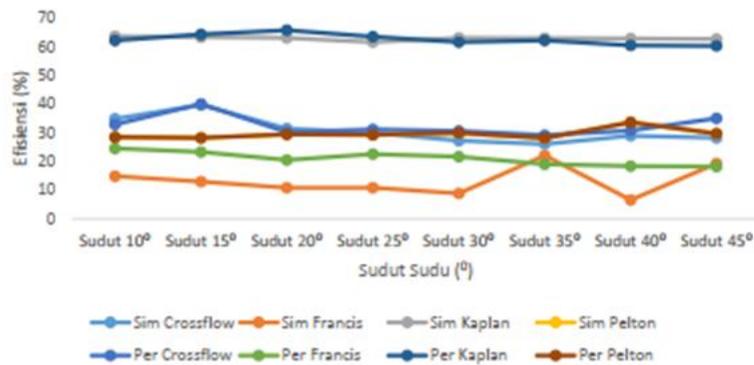
Gambar 7. Grafik Hasil Daya Sudu Sebanyak 14

Pada pembahasan grafik daya sudu sebanyak 14 dapat di analisa bahwa, bahwa nilai daya tertinggi terdapat pada turbin *kaplan* sudut 25^0 yakni dengan nilai sebesar 58,0786 Watt. Turbin jenis *Francis* mengalami kenaikan signifikan dari nilai daya 8,252 Watt pada sudut 25^0 menjadi 40, 874 Watt pada sudut 30^0 setelah itu nilai dayanya turun dan bersinggungan dengan turbin jenis *pelton* dan *crossflow* pada sudut 25^0 - 35^0 pada nilai daya rata-rata 30 Watt. Pada sudut. Sedangkan nilai efisiensi terendah tetap terdapat pada turbin *Francis* dengan sudut sudu 45^0 yakni dengan nilai efisiensi sebesar 3,538 Watt. Pada grafik perhitungan daya nilai daya tertinggi terdapat pada turbin Kaplan sudut 15^0 yakni sebesar 59,26 Watt, sedangkan daya terendah terdapat pada turbin Francis sudut 45^0 sebesar 19,67 Watt.

Hasil Pada Sudu Sebanyak 18

Pada pembahasan grafik daya sudu sebanyak 18 dapat di analisa bahwa, bahwa nilai daya tertinggi terdapat pada turbin *kaplan* sudut 10^0 yakni dengan nilai sebesar 63,78 Watt. Turbin jenis *Francis* mengalami kenaikan signifikan dari nilai daya 8,88 Watt pada sudut 30^0 menjadi 22,14 Watt pada sudut 35^0 setelah itu nilai dayanya turun pada sudut 40^0 menjadi 6,6

Watt. Nilai daya tertinggi pada turbin *crossflow* terdapat pada sudut 15° sebesar 39,79 Watt, sedangkan nilai daya terendah terdapat pada turbin *Francis* dengan sudut sudu 40° yakni sebesar 6,6 Watt. Pada grafik daya sudu sebanyak 10, dapat di analisa bahwa nilai daya tertinggi terdapat pada sudu jenis *kaplan* sudut sudu 20° dengan nilai sebanyak 63,7724 Watt, hal ini disebabkan karena turbin dengan kemiringan sudu 10° menghasilkan putaran turbin yang tinggi karena aliran air lebih banyak mengenai penampang sudu. Sedangkan nilai daya terendah terdapat pada sudu jenis turbin *Francis* dengan sudut sudu 40° yaitu sebanyak 6,5975 Watt hal ini dikarenakan sudut penampang sudu yang terlalu miring sehingga aliran air tidak tepat mengenai penampang dengan sempurna, akibatnya putaran turbin menjadi lebih rendah dan daya semakin kecil.



Gambar 8. Grafik Hasil Daya Sudu Sebanyak 18

Tabel 1. Data nilai efisiensi turbin tertinggi

No	Nama Turbin	Jumlah Sudu	Sudut		Daya Turbin (W)	Kecepatan (m/s)	Tekanan (N/m ²)
			Sudu (°)	Efisiensi (%)			
1	Crossflow	18	15	65.06	39.78	0.027	8.99
2	Francis	10	20	99.94		0.116	13.17
		14	30		40.87		
3	Kaplan	18	25	86.22		0.161	9.44
		18	10		63.77		
4	Pelton	10	35	0.089		0.089	7.89
		14	20		31.62		

Pada tabel di atas dapat dibahas bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada turbin jenis Francis yakni 99,94% dengan jumlah sudu sebanyak 10 dan sudut sudu sebesar 20° . Nilai daya tertinggi dengan jumlah sebesar 63,77 Watt terdapat pada turbin air jenis Kaplan dengan sudu sebanyak 18 dan sudut sudu sebesar 25° . Sedangkan untuk nilai tertinggi dari kecepatan aliran didapatkan pada turbin air jenis Kaplan bersudu sebanyak 18 dengan sudut 25° dengan nilai kecepatan sebesar 0,161 m/s dan nilai tekanan aliran tertinggi diperoleh pada turbin air jenis Francis sudu 10 sudut 20° dengan nilai 13,17 N/m². Dari pembahasan tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi dan daya akan semakin besar pada sudut sudu yang kecil, dikarenakan sebagian besar aliran air mengenai penampang sudu, sehingga menyebabkan kecepatan putaran sudu semakin tinggi dan nilai efisiensi semakin besar. Jumlah sudu pada turbin juga mempengaruhi efisiensi dan daya turbin. Pada turbin Francis yang memiliki jumlah sudu sebanyak 18 mendapatkan nilai efisiensi tertinggi karena semakin banyak jumlah sudu, maka putaran sudu akan semakin cepat, sehingga nilai dari kecepatan putaran semakin tinggi. Sedangkan jika ditinjau dari nilai tekanan pada turbin Kaplan bersudu

sebanyak 18 dan sudut sebesar 10° , semakin kecil nilai tekanan pada suatu turbin, maka akan semakin besar nilai dayanya, hal ini dikarenakan nilai tekanan yang berbanding terbalik dengan nilai daya

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa kinerja turbin sangat dipengaruhi oleh jumlah sudu dan besar sudut sudu yang digunakan. Nilai efisiensi tertinggi sebesar 98,24% dicapai oleh turbin Francis dengan 18 sudu pada sudut 10° , sedangkan efisiensi terendah tercatat pada turbin Francis dengan 14 sudu pada sudut 45° sebesar 33,83%. Jika dilihat dari hasil perhitungan, efisiensi tertinggi diperoleh pada turbin Francis dengan 10 sudu dan sudut 10° yang mencapai 89,17%, sementara efisiensi terendah sebesar 30,18% ditemukan pada turbin Kaplan dengan sudut 45° .

Dalam hal daya yang dihasilkan, nilai daya tertinggi sebesar 63,772 Watt diperoleh pada turbin Kaplan dengan 10 sudu dan sudut sudu 10° . Sebaliknya, daya terendah tercatat pada turbin Francis dengan 10 sudu dan sudut 45° sebesar 1,687 Watt. Sementara itu, berdasarkan grafik perhitungan daya, nilai daya tertinggi sebesar 65,87 Watt dicapai oleh turbin Pelton dengan sudut 20° , sedangkan nilai daya terendah sebesar 18,28 Watt ditemukan pada turbin Francis dengan 18 sudu pada sudut 45° .

Daftar Pustaka

- [1] S. Bariah and W. Angranti, "Arah Kebijakan Pemerintah Dibidang Pendidikan Yang Berbasis Teknologi," *J. Ilm. Publika*, vol. 11, no. 1, pp. 287–296, 2023.
- [2] D. Puspita, "Energi Bersih Dan Terjangkau Dalam Mewujudkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)," *J. Sos. dan sains*, vol. 4, no. 3, pp. 271–280, 2024.
- [3] A. Prastika, "Hubungan antara tingkat konsumsi energi listrik dengan pertumbuhan ekonomi di Indonesia," *J. Ilmu Ekon. JIE*, vol. 7, no. 01, pp. 18–29, 2023.
- [4] R. Syafitri and E. Putri, "Masalah Global: Global Warming Dan Hubunngannya Dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil," *J. Bakti Sos.*, vol. 1, no. 1, pp. 14–22, 2022.
- [5] I. Hasan, L. Hakim, and Denur, "Desain Pengganti Penggerak Motor Bakar Torak (110 CC) pada Sepeda Motor Otomatic dengan Motor Listrik Type Bldc (Brushless DC)," *J. Surya Tek.*, 2022, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:255320987>
- [6] P. Suwandono, N. Ismail, D. Hermawan, and F. Anggraeni, "Simulasi CFD pada Solar Still Double Slope dengan Kolektor Pasir Besi," *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, vol. 6, no. 01, pp. 01–06, 2023, doi: 10.33795/jetm.v6i01.2868.
- [7] A. Y. Adipradana, H. T. Setyawan, and A. Mustakhim, "Analisis Potensi Listrik Pada Teknologi Tepat Guna," *J. Teknol.*, vol. 14, no. 1, pp. 91–100, 2022.
- [8] M. Saputra and A. Ferdian, "Analisis Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Di Furnace Boiler Circulating Fludizing Bed Unit 1 Pltu Nagan Raya 2 X 110 Mw," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–13, 2020, doi: 10.35308/jmkn.v4i1.1576.
- [9] R. S. Anand, C. P. Jawahar, E. Bellos, and A. Malmquist, "A comprehensive review on Crossflow turbine for hydropower applications," *Ocean Eng.*, vol. 240, no. November, 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.110015.
- [10] H. A. O. R. Sanam, "Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, pp. 14–21, 2022.

- [11] Ismail and R. A. Rahman, *ENERGI ANGIN: TURBIN ANGIN*, vol. 13, no. 1. 2020.
- [12] A. Faoji and K. A. Sambowo, “Perbandingan Tumpuan Jepit Dan Sendi Pada Struktur Power House Ditinjau Dari Segi Efisiensi Material Dan Biaya (Studi Kasus Proyek Pltmg Seram Peaker),” *J. Infrastruktur*, vol. 4, no. 2, pp. 119–126, 2019, doi: 10.35814/infrastruktur.v4i2.701.