

Analisa Pengaruh Bentuk Sudu Naca 6512 Dengan Variasi Debit Air Terhadap Performa Dan Efisiensi Turbin Air Vortex Picohidro

M. A. Listrianto¹, B.S. Widodo², K. A. Widi³

Program Studi Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, Kota Malang, Indonesia

Email: afiflistrianto@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan energi berkembang secara pesat di Indonesia, sehingga dibutuhkan energi alternatif untuk mengatasinya. Salah satu energi alternatif yang bisa dimanfaatkan adalah energi air. Energi ini dapat ditemukan pada aliran sungai, pemanfaatan energi air dengan menggunakan turbin vortex dengan daya picohydro yang memanfaatkan pusaran air yang melingkar untuk memutar setiap sudu pada turbin. Turbin vortex memiliki head yang relatif rendah 0,7 m – 3m dengan debit 50 L/s sehingga dapat digunakan pada sungai aliran head rendah. Kinerja turbin vortex dipengaruhi beberapa faktor salah satunya bentuk sudu yang digunakan, konstruksi sudu terbuat dari bahan kayu dengan menggunakan 4 buah sudu turbin dengan panjang setiap sudu 30 cm dan lebar 10 cm. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudu naca 6512 dan lurus terhadap performa dan efisiensi yang dihasilkan turbin vortex dengan variasi debit aliran air 7,5 l/s, 8,5 l/s, 9,5 l/s dan 10,5 l/s. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan 4 kali percobaan dan di ambil hasil rata-rata. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa daya efektif maksimal dihasilkan pada variasi debit 10,5 l/s dengan penggunaan sudu naca 6512 yaitu sebesar 18,6 watt, untuk efisiensi maksimum dihasilkan pada variasi debit 9,5 l/s dengan penggunaan sudu naca 6512 yaitu sebesar 38,84%. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa penggunaan sudu naca 6512 lebih baik performa dan efisiensinya. Semakin besar debit air maka daya turbin akan meningkat, sedangkan pada efisiensi terjadi penurunan pada debit 10,5 l/s karena konstruksi turbin vortex yang digunakan hanya dapat menampung efisiensi maksimal hingga pada debit air 9,5 l/s.

Keywords Vortex, Turbine, Naca 6512, Sudu Lurus, Debit air, Efisiensi

PENDAHULUAN

Pesatnya peningkatan akan kebutuhan energi sedangkan beberapa energi tidak dapat diperbaharui sehingga membuat kita harus menemukan energi baru terbarukan, salah satu energi terbarukan yaitu energi air. Potensi energi yang didapatkan dari energi air dapat dimanfaatkan untuk memutar sudu pada turbin yang selanjutnya dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dengan bantuan generator listrik[1]. PLTA dibagi menjadi dua jenis dalam skala kecil yang sudah umum kita jumpai yaitu pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan besar kapasitas daya 0.5 – 100 KW dan pembangkit listrik tenaga pico hydro dengan kapasitas besar daya <500 W[2]. Banyak aliran sungai yang masih belum dimanfaatkan secara maksimal karena memiliki head yang rendah, sehingga diperlukan konstruksi turbin yang bisa memaksimalkan hal tersebut. Salah satu jenis turbin yang cocok digunakan untuk head rendah yaitu turbin vortex, turbin vortex merupakan turbin dengan daya mikro dan picohydro yang memanfaatkan pusaran air yang melingkar untuk memutar setiap sudu pada turbin dengan sumbu vertikal. Turbin vortex memiliki head yang relatif rendah yaitu pada 0,7 m – 3m dengan debit 50 L/s[3]. Selain penggunaan turbin penentuan bentuk sudu yang digunakan juga diperlukan, contoh profil sudu yang digunakan yaitu naca hydrofoil. Naca ini terbagi menjadi beberapa seri dengan konstruksi dan karakteristik yang berbeda disetiap serinya. Pada setiap seri dan geometri airfoil memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika[4]. Pada penelitian ini profil sudu yang digunakan adalah naca 6512 dan sudu lurus dengan variasi penelitian pada debit air 7,5 l/s, 8,5 l/s, 9,5 l/s dan 10,5 l/s. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudu turbin dengan penggunaan sudu jenis Naca 6512 dan lurus terhadap performa dan juga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin air vortex. Sehingga nantinya akan memberikan manfaat untuk memberikan informasi potensi pemanfaatan sumber daya air kepada masyarakat, khususnya pada wilayah terpencil dan pedesaan untuk bisa memanfaatkan sumber energi air secara maksimal dengan pembangkit listrik tenaga air skala picohydro selain hal tersebut juga bisa sebagai referensi untuk mengetahui performa jenis sudu profil NACA 6512 pada instalasi turbin air pembangkit listrik tenaga picohydro sehingga bisa menjadi acuan perancangan atau pembuatan pembangkit listrik tenaga picohydro pada penelitian yang lebih lanjut.

TINJAUAN PUSTAKA

Picohydro

Pembangkit listrik tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan energi yang mengubah energi air menjadi energi mekanik dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik. Hal ini dilakukan dengan menggunakan turbin air dan generator sebagai komponen utama sistem pembangkit listrik[5]. Berdasarkan daya output yang dihasilkan, pembangkit listrik tenaga air diklasifikasikan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi PLTA menurut output power[5]

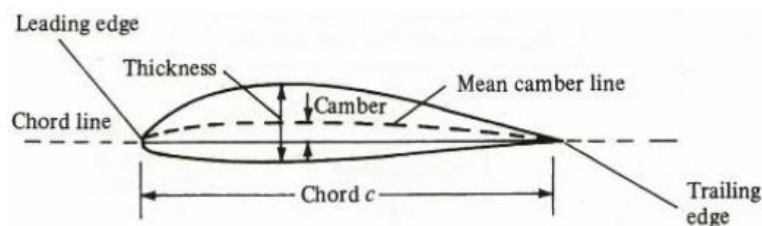
Class	Power
Large	>10 MW
Small	<10 MW
Mini	<1 MW
Micro	<100 kW
Pico	<5 kW

Sistem pembangkit listrik tenaga picohydro dapat beroperasi pada head dan debit air yang rendah sehingga sistem ini tidak memerlukan bendungan yang besar, hanya menggunakan aplikasi run of river atau melalui sungai kecil untuk menyediakan head dan flow rate ke turbin air, oleh karena itu sistem ini bisa disebut pembangkit energi terbarukan dengan clean energy atau ramah lingkungan. Sebuah picohydro dikategorikan berdasarkan kemampuannya menghasilkan listrik hingga 5 kW[2].

Turbin Vortex

Turbin vortex merupakan salah satu jenis turbin air yang memanfaatkan pusaran air sebagai sumber penggerak pada sudu turbin yang nantinya akan menggerakkan poros turbin dan juga generator untuk pembangkit listrik. Pusaran air vortex biasa disebut aliran vortex, sehingga aliran vortex pada mekanika fluida secara umum merupakan sebuah daerah di dalam fluida yang dimana aliran sebagian besar bergerak memutar membentuk pusaran lingkaran yang concentric pada jarak tertentu terhadap sumbu pusat vortex. Aliran vortex dibagi menjadi 3 yaitu vortex paksa, vortex bebas dan vortex kombinasi[6]. Sistem penggunaan turbin vortex pertama kali ditemukan oleh Franz Zotloterer seseorang berkebangsaan Austria, yang membangun pembangkit listrik low head berdasarkan prinsip energi kinetik pusaran aliran air di kolam[7]. Turbin ini sederhana, mudah dirawat, kecil, bertenaga, dan memiliki masa pakai hingga 50-100 tahun[8]. Turbin vortex ini memiliki beberapa keunggulan seperti dapat digunakan pada head yang rendah, tidak membutuhkan bendungan yang besar, dapat digunakan pada berbagai output daya pembangkit listrik, dapat beroperasi dengan turbin tenggelam didalam air.

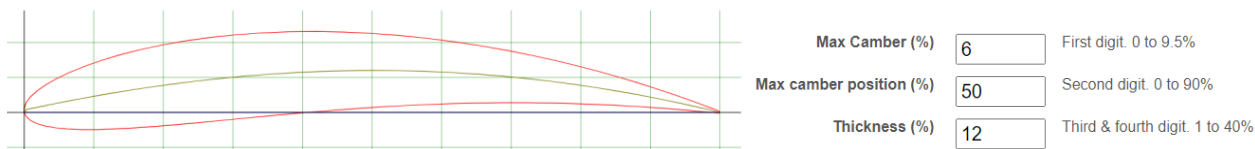
Naca Hydrofoil



Gambar 1. Naca Nomenclature [10]

Secara umum hydrofoil sama dengan airfoil hanya saja ada perbedaan pada jenis energi fluida yang digunakan, jika pada airfoil fluida yang digunakan adalah angin sedangkan pada hydrofoil fluida yang digunakan adalah air. Ada dua penamaan untuk bentuk pad foil ini yaitu pada pendesainan untuk udara disebut airfoil sedangkan untuk energi air disebut hydrofoil[9]. Naca merupakan salah satu bentuk aerodinamika sederhana dengan karakteristik geometri tertentu pada setiap macam nya. Geometri airfoil memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa c_l (koefisien gaya angkat) dan kemudian akan terkait dengan lift (gaya angkat yang dihasilkan)[4].

Karakteristik Naca 6512



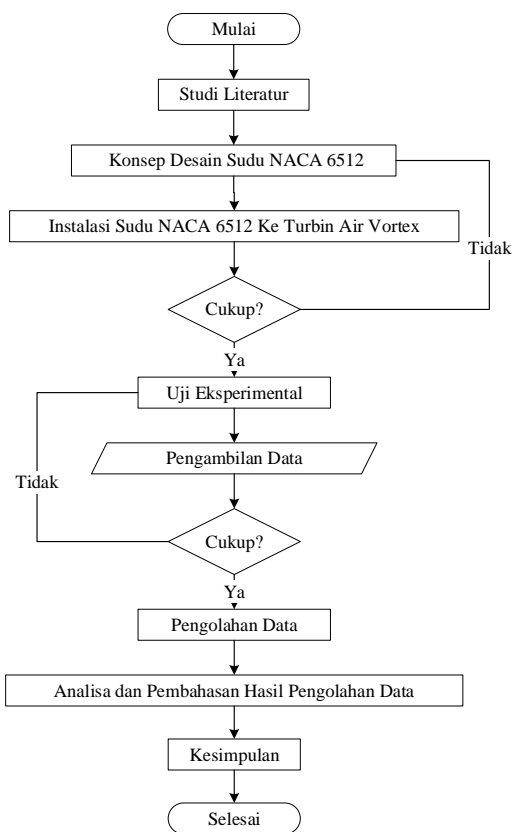
Gambar 2. Karakteristik Naca 6512 [11]

Bentuk sudu yang digunakan pada penelitian ini adalah sudu dengan bentuk standar NACA 6512. Pemilihan jenis NACA tersebut karena bentuknya seperti airfoil pada sayap pesawat yang memiliki karakteristik berbentuk tumpul bulat di bagian leading edge dan meruncing tajam di bagian belakang trailing edge dengan bentuk lengkung bodi yang asimetrik. Memiliki maksimum chamber 6% dari panjang cord atau 0,06c, lokasi maksimum chamber tersebut 50% dari panjang cord line atau 0,5c terletak dari leading edge dan memiliki ketebalan maksimum 12% chord atau 0.12c.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode experimental dengan pengambilan data 4 kali pada setiap percobaan yang dilakukan dan diambil rata-rata untuk mendapatkan hasil pengujian. Pengujian ini dilakukan di laboratorium energi alternatif teknik mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang. Untuk penelitian yang dilakukan yaitu dengan variasi debit air air 7,5 l/s, 8,5 l/s, 9,5 l/s dan 10,5 l/s.

Diagram Alir Penelitian

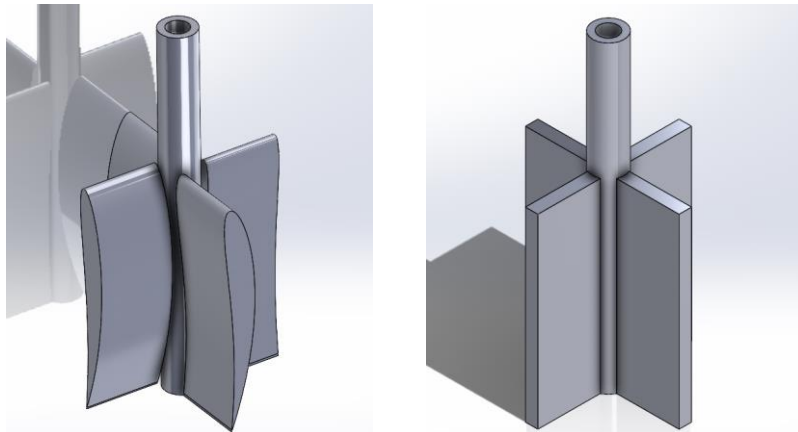


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Model Alat Uji**Gambar 4.** Model Alat Pengujian

Model alat uji yang digunakan merupakan hasil rancangan dari Edwin Ardiyanto dkk (2019) dengan beberapa modifikasi komponen turbin yang sudah dilakukan termasuk pada variasi sudu yang digunakan, yaitu penggunaan sudu naca 6512 dan sudu lurus. Untuk besarnya dimensi pada rumah turbin vortex adalah sebagai berikut :

- Diameter rumah turbin = 55 cm
- Panjang rumah turbin = 40 cm
- Tinggi kerucut = 20 cm
- Diameter lubang bawah = 15 cm

Konsep Model Sudu**Gambar 5.** Konsep sudu naca 6512 dan sudu lurus

Konsep sudu di desain menggunakan solidworks 3d 2020, untuk bahan yang digunakan yaitu menggunakan bahan dari kayu dengan pelapisan pylox pada bagian permukaannya, pada penelitian ini jumlah sudu yang digunakan sebanyak 4 buah sudu dengan dimensi panjang 30 cm dan lebar 10 cm untuk lebar sudu mengikuti karakteristik naca 6512.

Langkah – langkah Pengujian

Beberapa langkah yang diperlukan untuk pengujian pengambilan data bebit air, rpm dan pembebanan torsi adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan semua peralatan dan bahan yang diperlukan
2. Memastikan semua komponen turbin air vortex terpasang dengan baik dan kuat
3. Pemasangan sudu turbin dilakukan 2 kali untuk yang pertama adalah sudu Naca 6512.
4. Mengisi air sebagai sumber energi pada bak penampung bawah.
5. Atur bukaan katup 100%
6. Menyalakan pompa sehingga akan terjadi aliran dari bak penampung ke pipa yang disalurkan ke saluran masuk talang sehingga aliran air masuk ke rumah turbin untuk memutar sudu turbin.

7. Aliran air akan keluar melewati lubang bawah rumah turbin dan masuk ke bak penampungan sehingga aliran air terjadi siklus yang sama seperti awal.
8. Lakukan pengukuran debit air, rpm, dan pembebanan torsi.
9. Pada pengambilan data untuk pembebanan dilakukan hingga puataran poros turbin sekitar 40 rpm.
10. Atur bukaan katup pada pompa untuk variasi debit dengan bukaan katup yaitu sebesar 55%, 70%, 85%. Dan ulangi langkah 8.
11. Matikan pompa.
12. Catat semua hasil data yang di peroleh.
13. Pasang sudu lurus lalu ulangi langkah langkah tersebut dari poin 5 hingga poin 11.
14. Lakukan pengolahan data untuk mencari performa dan efisiensi yang dihasilkan.

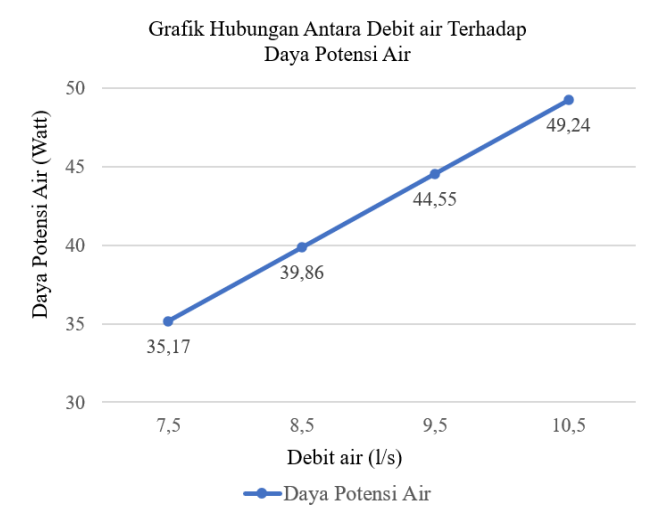
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Hasil Pengujian dan Pengolahan Data Turbin Vortex

Katup (%)	Debit (l/s)	Daya Air (watt)	putaran turbin (rpm)		Torsi (Nm)		Daya Turbin (watt)		Efisiensi (%)	
			Naca 6512	Sudu Lurus	Naca 6512	Sudu Lurus	Naca 6512	Sudu Lurus	Naca 6512	Sudu Lurus
100	10,5	49,24	143,8	138,4	4,44	4,09	18,60	17,12	37,77	34,77
85	9,5	44,55	139,5	132,5	4,13	3,83	17,30	16,02	38,84	35,95
70	8,5	39,86	129,6	123,9	3,48	3,25	14,58	13,60	36,57	34,12
55	7,5	35,17	124,9	118,8	2,96	2,81	12,40	11,76	35,25	33,44

Pengambilan data saat pengujian dilakukan sebanyak 4 kali, kemudian diambil rata-rata dari semua data dan diperoleh data yang akan dilakukan pengolahan. Pengambilan data dilakukan untuk debit air, rpm dan pembebanan torsi setelah data tersebut didapat maka dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan data torsi, daya efektif dan beberapa data yang dibutuhkan lain nya. Tabel 2 diatas merupakan semua data hasil dari pengujian dan pengolahan data dengan variasi debit air 7,5 l/s, 8,5 l/s, 9,5 l/s dan 10,5 l/s yang dilakukan dengan penggunaan sudu naca 6512 dan sudu lurus pada turbin air vortex.

Hubungan Antara Debit Air Terhadap Daya Air

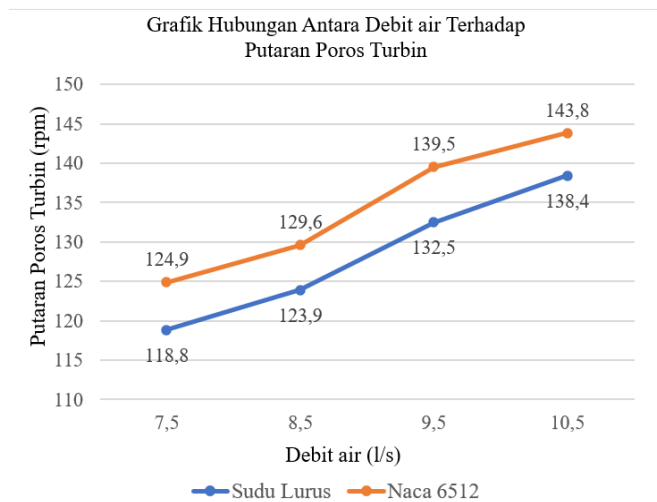


Gambar 6. Grafik Hubungan Debit Air Terhadap Daya Air

Berdasarkan grafik pada gambar 6 menunjukkan bahwa hubungan antara debit air terhadap daya potensi air berbanding lurus. Selisih kenaikan daya potensi air besarnya konstan pada setiap variasi debit yang digunakan yaitu sebesar 4,69 watt. Untuk besarnya nilai daya potensi air maksimum dihasilkan pada variasi debit air 10,5 l/s yaitu sebesar 49,24 Watt,

sedangkan untuk besarnya nilai daya potensi air minimum dihasilkan pada variasi debit air 7,5 l/s yaitu sebesar 35,17 Watt. Kenaikan konstan terjadi karena variasi debit air yang digunakan juga mempunyai selisih kenaikan yang konstan.

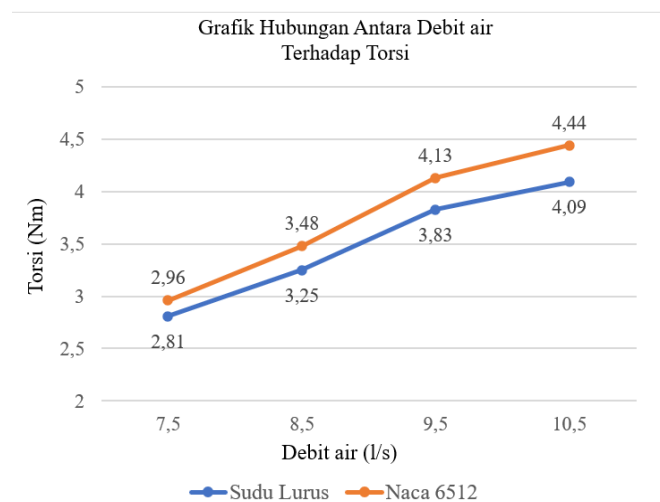
Hubungan Antara Debit Air Terhadap Putaran Poros Turbin



Gambar 7. Grafik Hubungan Debit Air Terhadap Putaran Poros Turbin

Berdasarkan grafik pada gambar 7 menunjukkan bahwa penggunaan sudu naca 6512 memiliki nilai putaran poros yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sudu lurus. Putaran poros turbin terjadi kenaikan secara signifikan pada variasi debit air 8,5 l/s ke 9,5 l/s yaitu sebesar 9,9 rpm pada sudu naca 6512 dan sebesar 8,6 rpm pada sudu lurus. Besarnya putaran poros maksimum dihasilkan pada variasi debit air 10,5 l/s dengan penggunaan sudu naca 6512 sebesar 143,8 rpm dan dengan penggunaan sudu lurus sebesar 138,4 rpm. Sedangkan untuk putaran poros minimum didapat pada variasi debit air 7,5 l/s dengan penggunaan sudu naca 6512 sebesar 124,9 rpm dan dengan penggunaan sudu lurus sebesar 118,8 rpm. Sehingga setiap kenaikan debit air maka putaran poros turbin mengalami kenaikan juga karena kenaikan debit membuat daya air yang memutar turbin mengalami peningkatan.

Hubungan Antara Debit Air Terhadap Torsi

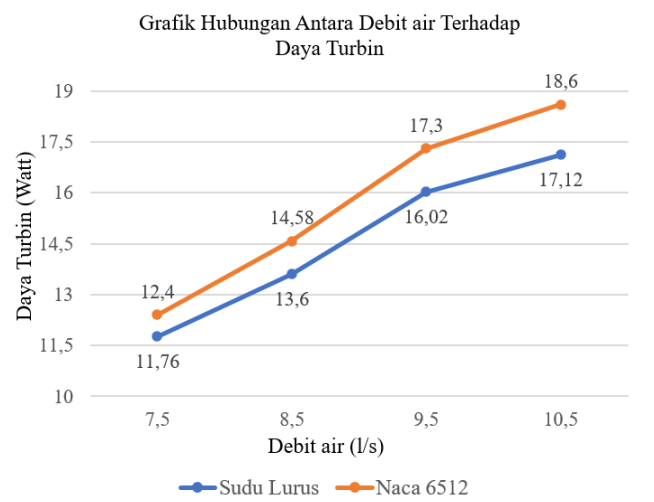


Gambar 8. Grafik Hubungan Debit Air Terhadap Torsi

Berdasarkan grafik pada gambar 8 menunjukkan bahwa penggunaan sudu naca 6512 memiliki nilai torsi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sudu lurus. Besarnya torsi terjadi kenaikan secara signifikan pada variasi debit air 8,5 l/s ke 9,5 l/s yaitu sebesar 0,65 Nm pada sudu Naca 6512 dan sebesar 0,58 Nm pada sudu lurus. Besarnya torsi maksimum dihasilkan pada variasi debit air 10,5 l/s dengan penggunaan sudu Naca 6512 sebesar 4,44 Nm dan dengan penggunaan sudu lurus sebesar 4,09 Nm. Sedangkan untuk torsi minimum didapat pada variasi debit air 7,5 l/s dengan penggunaan sudu naca 6512 sebesar 2,96 Nm dan dengan penggunaan sudu lurus sebesar 2,81 Nm. Nilai torsi akan mengalami

kenaikan jika debit air dinaikan, hal ini karena pembebanan terjadi kenaikan saat debit naik dan pembebanan berbanding lurus dengan torsi.

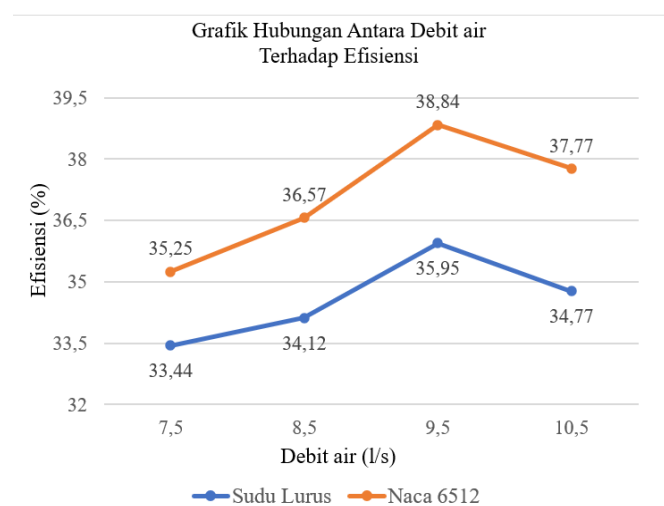
Hubungan Antara Debit Air Terhadap Daya Turbin



Gambar 9. Grafik Hubungan Debit Air Terhadap Daya Turbin

Berdasarkan grafik pada gambar 9 menunjukkan bahwa penggunaan sudu naca 6512 memiliki besar daya turbin yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sudu lurus. Besarnya daya turbin terjadi kenaikan secara signifikan pada variasi debit air 8,5 l/s ke 9,5 l/s yaitu sebesar 2,72 watt pada sudu Naca 6512 dan sebesar 2,42 watt pada sudu lurus. Besarnya daya turbin maksimum dihasilkan pada variasi debit air 10,5 l/s dengan penggunaan sudu Naca 6512 sebesar 18,6 watt dan dengan penggunaan sudu lurus sebesar 17,12 watt. Sedangkan untuk daya turbin minimum didapat pada variasi debit air 7,5 l/s dengan penggunaan sudu naca 6512 sebesar 12,4 watt dan dengan penggunaan sudu lurus sebesar 11,76 watt. Setiap kenaikan debit air maka daya turbin yang dihasilkan juga mengalami kenaikan, karena torsi mengalami kenaikan saat debit naik. Sehingga torsi berbanding lurus dengan daya turbin jika rpm setelah pembebanan di buat sama.

Hubungan Antara Debit Air Terhadap Efisiensi



Gambar 10. Grafik Hubungan Debit Air Terhadap Efisiensi

Berdasarkan grafik pada gambar 10 menunjukkan bahwa penggunaan sudu naca 6512 memiliki rata-rata nilai efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sudu lurus. Besarnya efisiensi terjadi kenaikan pada variasi debit air 7,5 l/s hingga ke 9,5 l/s dan mengalami penurunan pada variasi debit 10,5 l/s. Penurunan yang terjadi saat variasi debit 9,5 l/s ke 10 l/s pada sudu naca 6512 sebesar 1,07 % dan pada sudu lurus sebesar 1,18 %. Besarnya efisiensi maksimum dihasilkan pada variasi debit air 9,5 l/s dengan penggunaan sudu Naca 6512 sebesar 38,84 % dan dengan penggunaan sudu lurus sebesar 35,95 %. Sedangkan untuk efisiensi minimum didapat pada variasi debit air 7,5 l/s dengan penggunaan sudu naca

6512 sebesar 35,25 % dan dengan penggunaan sudu lurus sebesar 33,44 %. Pada efisiensi mengalami kenaikan saat debit naik hingga 9,5 l/s akan tetapi saat debit 10,5 l/s mengalami penurunan, hal ini dikarenakan kenaikan daya efektif yang dihasilkan di debit 10,5 l/s tidak sebanding dengan kenaikan konstan daya potensi dan juga kenaikan daya efektif di debit 10,5 l/s lebih kecil daripada kenaikan daya efektif di debit 9,5 l/s dan hal tersebut menyebabkan efisiensi yang dihasilkan turun.

PENUTUP

Berdasarkan dari hasil dan analisa hasil pengujian pengaruh bentuk sudu naca 6512 dengan variasi debit air terhadap performa dan efisiensi turbin air vortex pikohidro, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut.

Kesimpulan

1. Hasil performa dan efisiensi turbin air vortex pada variasi dengan penggunaan sudu naca 6512 mempunyai nilai yang lebih tinggi di dibandingkan dengan sudu lurus.
2. Hasil hubungan debit air berbanding lurus terhadap daya air, putaran poros turbin, torsi, dan daya turbin, sedangkan untuk efisiensi mengalami penurunan pada debit 10,5 l/s.
3. Daya turbin tertinggi dihasilkan pada turbin vortex variasi debit 10,5 l/s dengan penggunaan sudu naca 6512 yaitu sebesar 18,6 watt, sedangkan daya turbin terendah dihasilkan pada variasi debit 7,5 l/s dengan penggunaan sudu lurus yaitu sebesar 11,76 watt.
4. Efisiensi turbin tertinggi dihasilkan pada turbin vortex variasi debit 9,5 l/s dengan penggunaan sudu naca 6512 yaitu sebesar 38,84 % , sedangkan efisiensi terendah dihasilkan pada variasi debit 7,5 l/s dengan penggunaan sudu lurus yaitu sebesar 33,44 %

Saran

1. Bahan pembuatan naca yang dianggap kurang maksimal karena kayu yang digunakan memiliki massa yang sedikit berbeda satu sama lain, sehingga dibutuhkan bahan pembuatan sudu naca yang lebih sesuai sehingga bisa mendapatkan hasil maksimal
2. Konstruksi diperlukan pada dimensi yang berbeda untuk mengetahui berapa efisiensi yang maksimal pada setiap variasi debit.
3. Diperlukan lanjutan penelitian untuk variasi sudu yang lain sebagai pembanding besar performa dan efisiensi yang dihasilkan.
4. Dapat dikembangkan untuk penelitian kelistrikan dengan generator yang didapatkan dari putaran poros turbin untuk menghasilkan energi listrik.

REFERENCES

- [1] A. F. Sugiman, "Prestasi Kincir Air Sudu Melengkung Tipe Undershotsebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air Pikohidro Pada Saluran Irigasi," vol. 5, pp. 1–6, 2018.
- [2] A. A. Lahimer, M. A. Alghoul, K. Sopian, N. Amin, N. Asim, and M. I. Fadhel, "Research and development aspects of pico-hydro power," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 8, pp. 5861–5878, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.05.001.
- [3] A. Mohanan, "Power Generation with Simultaneous Aeration using a Gravity Vortex Turbine," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 19–24, 2016, [Online]. Available: <http://www.ijser.org>.
- [4] M. Mulyadi, "Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Terbang Dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamics (Cfd)," pp. 1–13, 2014.
- [5] A. Arismunandar, *Teknik tenaga*. 2004.
- [6] M. Hazwi, P. G. Sembiring, D. M. Nasution, and M. Marragi, "Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Juni 2016 (ISSN : 0216-7492)," no. 2, pp. 20–29, 2016.
- [7] P. Sritram and R. Suntivarakorn, "The effects of blade number and turbine baffle plates on the efficiency of free-vortex water turbines," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 257, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/257/1/012040.
- [8] W. D. Prasetyo, *Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Pudu Terhadap Daya*, Skripsi SI. 2018.
- [9] M. Irsyad, "Kinerja turbin air tipe darrieus dengan sudu hydrofoil standar naca 6512," *Ilm. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 91–97, 2010.
- [10] Anderson, J. D., (2011). *Fundamentals of Aerodynamics*, Fifth Edition. McGraw-Hill Companies, Inc
- [11] Airfoiltools. (2021). NACA 4 digit airfoil generator (NACA 6512 AIRFOIL). <http://airfoiltools.com/>. diakses pada 9 desember 2021.