

Pengaruh Modifikasi Profil Sudu Berbasis *Airfoil* dan Sudut Kemiringan terhadap Kinerja Turbin Savonius pada Aliran Vortex Mikrohidro

Ivanatha Bintang Fuaddria^{1*)}, Adi Pratama Putra²⁾, Ikhwanul Qiram³⁾, Wisnu Kuncoro⁴⁾

^{1,2,3,4)} Jurusan Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi Jl. Ikan Tongkol No.22, Kertosari, Kabupaten Banyuwangi, Indonesia - 68416

bintangivanatha@gmail.com^{1*}

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh modifikasi profil sudu berbasis airfoil dan sudut kemiringan sudu terhadap kinerja turbin Savonius yang bekerja pada aliran vortex untuk aplikasi mikrohidro. Dua profil digunakan, yaitu NACA 0018 dan Selig 6043, dengan variasi sudut 0°, 10°, dan 15°. Pengujian dilakukan pada kolam vortex berdebit konstan 0,001 m³/s. Parameter uji meliputi RPM, torsi berbeban (0,5–3 kg), daya turbin, serta efisiensi yang dihitung dari perbandingan daya turbin terhadap daya air. Tinggi vortex (H) diukur langsung pada dinding kolam sebagai representasi head efektif. Hasil menunjukkan bahwa konfigurasi NACA 0018 sudut 0° menghasilkan performa terbaik dengan efisiensi maksimum 48,07% dan daya 0,988 W pada beban 2,5 kg. Fenomena blade–vortex interaction teramati lebih stabil pada profil ini, ditandai dengan kemampuan mempertahankan kecepatan sudut pada beban menengah–tinggi. Sebaliknya, Selig 6043 menunjukkan performa optimum pada sudut 15° namun mengalami penurunan rotasi lebih tajam pada beban tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa pada turbin Savonius berbasis drag, profil airfoil berperan sebagai pengarah dan penstabil pusaran, bukan sebagai pembangkit gaya angkat dominan. Implikasi desain menunjukkan bahwa pemilihan profil simetris dengan kemiringan minimum lebih efektif dalam menjaga stabilitas vortex dan meningkatkan efisiensi konversi energi.

Kata Kunci : *Renewable Energy, Vortex Flow Turbine, NACA 0018, SELIG 6043, Micro-Hydro Power Plant*

Abstract

This study examines the effect of airfoil-based blade profile modifications and blade inclination angles on the performance of a Savonius turbine operating in vortex flow for microhydro applications. Two profiles were used: the NACA 0018 and the Selig 6043, with varying angles of 0°, 10°, and 15°. Testing was conducted in a vortex basin with a constant discharge of 0.001 m³/s. Test parameters included RPM, loaded torque (0.5–3 kg), turbine power, and efficiency calculated from the ratio of turbine power to water power. Vortex height (H) was measured directly on the basin wall to represent effective head. The results showed that the NACA 0018 configuration with a 0° angle produced the best performance, with a maximum efficiency of 48.07% and a power of 0.988 W at a load of 2.5 kg. The blade–vortex interaction phenomenon was observed to be more stable in this profile, characterized by the ability to maintain angular velocity at medium to high loads. In contrast, the Selig 6043 demonstrated optimum performance at an angle of 15° but experienced a sharper decrease in rotation at high loads. This finding confirms that in drag-based Savonius turbines, the airfoil profile acts as a vortex guide and stabilizer, rather than a dominant lift generator. Design implications suggest that selecting a symmetrical profile with minimal slope is more effective in maintaining vortex stability and increasing energy conversion efficiency.

Keywords: *Renewable Energy, Vortex Flow Turbine, NACA 0018, SELIG 6043, Micro-Hydro Power Plant*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan penduduk Indonesia selalu beriringan dengan peningkatan kebutuhan energi dalam pemenuhan kebutuhan setiap harinya. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2023, bauran energi nasional masih didominasi oleh energi fosil, dengan batubara menyumbang 40,46%, diikuti minyak bumi 30,18%, dan gas bumi 16,28%. Sementara itu, kontribusi energi baru terbarukan (EBT) baru mencapai 13,09%, masih jauh dari target 17,87% yang ditetapkan. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, pemerintah mengeluarkan kebijakan melalui Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 dan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014, dimana EBT ditargetkan mencapai 23% pada tahun 2025.

Salah satu bentuk pemanfaatan EBT yang potensial adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), yaitu pembangkit listrik pada skala kecil yang memanfaatkan aliran sungai dengan memanfaatkan *head* dan *debit* air untuk menggerakkan turbin. Dalam pengembangannya, turbin aliran *vortex* menjadi salah satu solusi efisien untuk lokasi dengan kontur rendah. Turbin ini bekerja dengan memanfaatkan putaran aliran air (*vortex*) untuk menggerakkan sudu, dan dikembangkan dalam beberapa konfigurasi poros, seperti *horizontal axis*, *vertical axis*, dan *cross flow*.

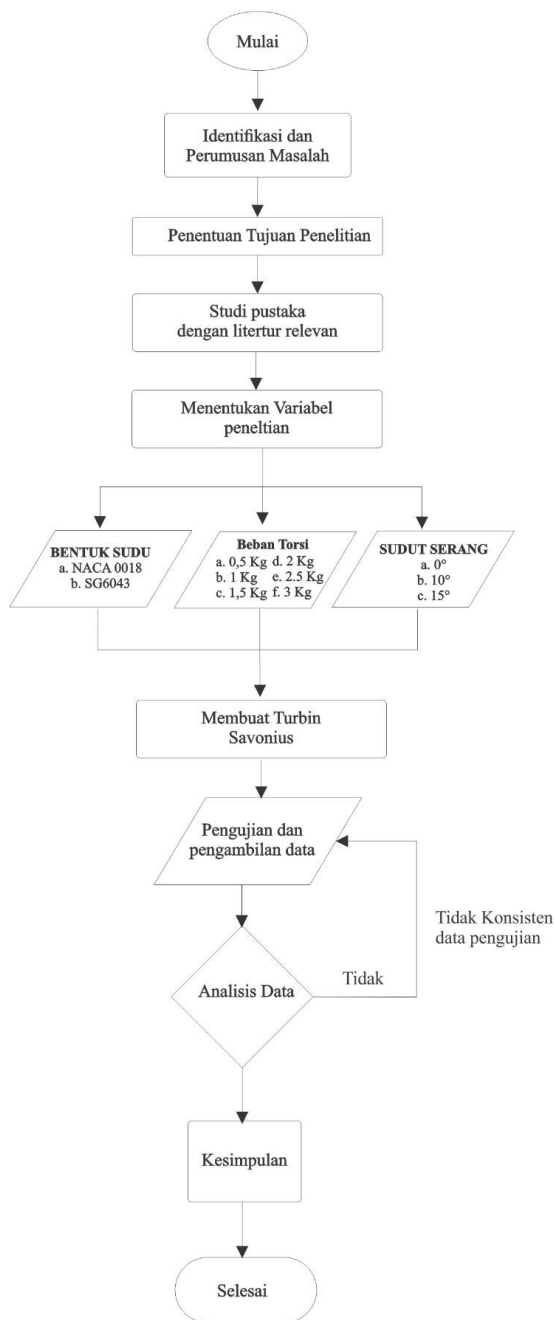
Vertical axis turbine menjadi pilihan menarik karena desainnya yang sederhana, biaya rendah, serta memungkinkan penempatan generator di atas permukaan air. Salah satu jenis turbin vertikal yang banyak digunakan adalah turbin *Savonius*. Namun, secara konvensional, turbin ini memiliki kelemahan berupa kehilangan energi akibat bentuk bilah yang kurang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji peningkatan *performa* turbin *Savonius* melalui modifikasi bentuk sudu menggunakan profil *airfoil NACA 0018* dan

SELIG 6043, serta variasi sudut kemiringan sudu (0° , 10° , dan 15°).

Turbin *savonius* secara prinsip merupakan *drag-based turbine*, di mana energi diperoleh dari perbedaan gaya hambat antara sisi maju dan sisi balik sudu. Oleh karena itu, penggunaan istilah *airfoil* dalam penelitian ini bukan dimaksudkan untuk mengubah mekanisme menjadi *lift-based*, melainkan sebagai rekayasa profil geometri sudu untuk mengarahkan pola aliran *vortex* di sekitar bilah. Pada aliran *vortex*, interaksi fluida dengan sudu tidak lagi murni tumbukan frontal, tetapi melibatkan pusaran tangensial di sepanjang dinding kolam. Dalam kondisi ini, profil *airfoil* berfungsi sebagai *flow guider* yang menstabilkan pusaran, mengurangi separasi aliran di sisi balik, serta memperbesar beda tekanan efektif yang berkontribusi pada torsi berbasis *drag*.

Penelitian dilakukan secara *eksperimental* untuk mengevaluasi pengaruh variasi bentuk dan kemiringan sudu terhadap daya keluaran dan efisiensi turbin pada aliran *vortex*. Hasil yang diperoleh diharapkan memberikan kontribusi pada pengembangan sistem mikrohidro yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Kerangka pikir teoritis

Turbin ini dapat divariasikan dengan bermacam-macam bentuk sudu yaitu dengan sudu *NACA 0018* dan *SELIG 6043*. Bentuk *Savonius* memungkinkan turbin mendapatkan energi hidrolik dari aliran *vortex*, sehingga dapat menghasilkan energi kinetik dengan lebih besar [6].

Proses konversi energi kinetik dari aliran *vortex* menjadi energi mekanik pada turbin *Savonius* terjadi ketika arus air menabrak bilah turbin. Ketika arus air *vortex* di dinding menabrak sudu, gaya angkat yang dihasilkan oleh bentuk bilah menyebabkan

turbin berputar. Energi mekanik ini kemudian dapat digunakan untuk memutar generator listrik, mengubahnya menjadi energi listrik [21]. Penelitian menunjukkan bahwa efisiensi konversi dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk desain bilah dan sudut kemiringan [6], [7].

Penelitian menunjukkan bahwa sudut serang sekitar 0 hingga 22 derajat sering kali memberikan hasil terbaik dalam nilai efisiensi dan daya turbin [7]. Bentuk sudu yang dirancang secara *aerodinamis* juga dapat meningkatkan kinerja dengan mengurangi turbulensi dan meningkatkan aliran *laminar* di sekitar bilah [22], [23].

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini didapatkan setelah penelitian terdahulu yang digunakan sebagai input yang diperlukan dalam pengujian ini:

Variabel Bebas

Tabel 1. Variabel Bebas

No.	Keterangan	Variabel
1.	Sudut Kermirngan pada sudu diuji	0°, 10°, 15°
2.	Bentuk Sudu	<i>SELIG 6043</i> & <i>NACA 0018</i>
3.	Pembebanan torsi	0,5 Kg, 1 Kg, 1,5 Kg, 2 Kg, 2,5 Kg, 3 Kg

Variabel Terikat

Tabel 2. Variabel Terikat

No	Variabel
1	RPM pada turbin
2	Daya turbin yang dihasilkan (dalam watt)
3	Efisiensi pada turbin

Variabel Kontrol

kecepatan aliran fluida 1 L/s jika di konversi menjadi 0.001 m³/s

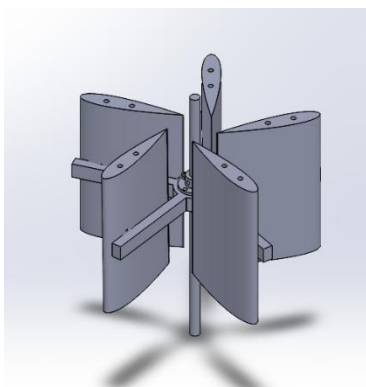
Persiapan Alat dan Bahan

- a. Turbin *sarvonius airfoil* yang berbahan ABS yang di cetak menggunakan 3D printing dengan variasi:
 1. Bentuk sudu: *NACA 0018* dan *SELIG 6043*
 2. Sudut Kemiring sudu: 0°, 10°, dan 15°

b. Spesifikasi turbin *savonius airfoil*.

Tabel 3. Spesifikasi Turbin

No.	Spesifikasi	Nilai	No.	Spesifikasi
1	Bahan <i>blade</i>	Acrylonitrile Butadiene Styrene	1	Bahan <i>blade</i>
2	Diameter rot	270 mm	2	Diameter rotor
3	Panjang <i>chord</i>	100 mm	3	Panjang <i>chord</i>
4	Tinggi rotor	150 mm	4	Tinggi rotor
5	Diameter poros	10 mm	5	Diameter poros
6	<i>Roughness</i>	0,15 μm	6	<i>Roughness</i>

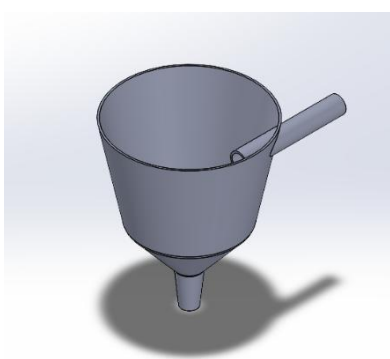


Gambar 2. Prototype turbin

c. Media uji berupa saluran air dengan dimensi tabung *mikrohidro* dengan spesifikasi:

Tabel 4. Spesifikasi Kolam *Vortex*

No.	Spesifikasi	Nilai
1	Bahan <i>blade</i>	High Density Polythylene(HDPE)
2	Diameter casing	290 mm
3	Sudut kemiringan casing	50
4	Tinggi casing	250 mm
5	Sudut kemiringan <i>cone</i>	45°
5	Diameter <i>outlet</i>	30 mm

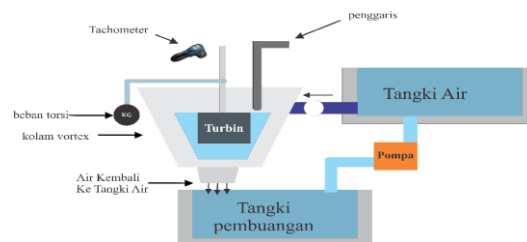


Gambar 3. Kolam *Vortex*

Diagram Alir Proses Pembuatan/Pengujian

Dalam pengujian ini, digunakan alat uji khusus untuk mengukur kinerja turbin dengan beberapa variasi pada variabel bebas. Turbin diletakkan di kolam *vortex* yang dialiri air dengan kecepatan tetap sebesar 0,001 m/s. Aliran air berasal dari tangki penyimpanan dan mengalir ke kolam dengan memanfaatkan gravitasi. Saat air mengalir, terbentuk pusaran (*vortex*) di sepanjang dinding kolam, yang kemudian memutar turbin di tengah kolam dan menggerakkan porosnya. Poros tersebut diberi beban torsi untuk mengetahui besar torsinya.

Untuk mengukur kecepatan putaran turbin, digunakan *tachometer* guna mencatat nilai *RPM*. Data ini penting untuk menganalisis hubungan antara kecepatan radius dan torsi. Selain itu, tinggi pusaran di dinding kolam juga diukur untuk mengetahui daya air yang tersedia. Proses pengujian turut didukung dengan perekaman video berkecepatan tinggi (*high FPS*) untuk mengamati pola aliran yang dapat memengaruhi kinerja turbin. Metode ini menghasilkan data akurat mengenai pengaruh bentuk dan sudut kemiringan sudu terhadap daya dan efisiensi turbin, yang berguna untuk optimalisasi desain turbin di aplikasi nyata.



Gambar 4. Sistem Pengujian Turbin

Dalam pengambilan data ini kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan untuk mendapatkan nilai daya turbin dan nilai efisiensi dari turbin. Pertama Perlu dicari nilai torsi dari turbin, maka digunakan:

$$T = F \times r \tag{1}$$

Dimana : $T = F \times r$

Dimana: $F = m \times g$

m = Pembenan massa (kg)

g = Percepatan gravitasi 9,81(m/s²) r = Jari-

jari poros (m)
selanjutnya dicari nilai kecepatan radius dari turbin, maka digunakan:

$$\omega = \frac{2\pi \times n}{60} \quad (2)$$

Dimana :

ω = kecepatan turbin

n = Putaran rotor

kemudian dicari nilai daya turbinnya, maka digunakan:

$$P_t = T \times \omega \quad (3)$$

Dimana :

P_t = daya turbin (w)

ω = putaran poros turbin

T = torsi poros yang diperoleh dari beban pemberat (Nm)

Untuk mendapatkan nilai koefisiensi daya turbin, perlu dihitung daya pada air menggunakan persamaan berikut :

$$P_a = \rho \times g \times Q \times H \quad (4)$$

Dimana:

P_a = Daya air (Watt)

ρ = massa jenis air

Q = Debit aliran (m³/s)

H = ketinggian Head (m)

Nilai persentase efisiensi turbin di dapatkan dengan persamaan berikut :

$$C_p = \frac{P_{Turbin}}{P_a} \quad (5)$$

Dimana:

C_p = Koefisien daya

P_t = Daya yang dihasilkan turbin (Watt)

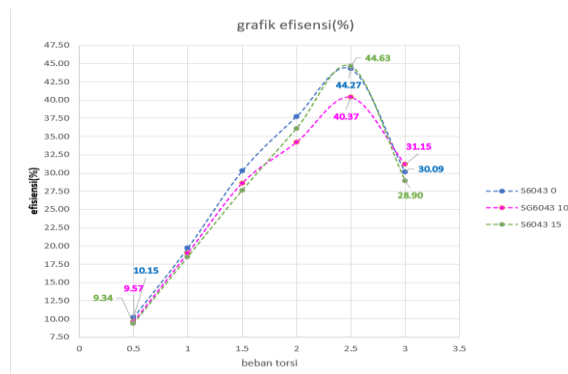
P_a = Daya air yang tersedia (Watt)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fenomena paling penting yang teramati pada penelitian ini adalah *blade-vortex interaction*, yaitu interaksi dinamis antara profil sudu dan pusaran tangensial yang terbentuk di dinding kolam. Berbeda dengan aliran lurus, aliran *vortex* menghasilkan komponen kecepatan tangensial yang membuat fluida “menyapu” permukaan sudu. Pada kondisi ini, profil NACA 0018 yang simetris mampu menjaga keterlekatan aliran lebih lama di sisi cekung sudu, sehingga pusaran tidak cepat pecah menuju pusat rotasi. Hal ini mempertahankan tinggi *vortex* (H) dan secara langsung meningkatkan P_a serta efisiensi.

Sebaliknya, profil Selig 6043 yang *bercamber* mempercepat migrasi aliran menuju poros akibat gradien tekanan yang lebih besar, menyebabkan penurunan tinggi *vortex* pada beban tinggi.

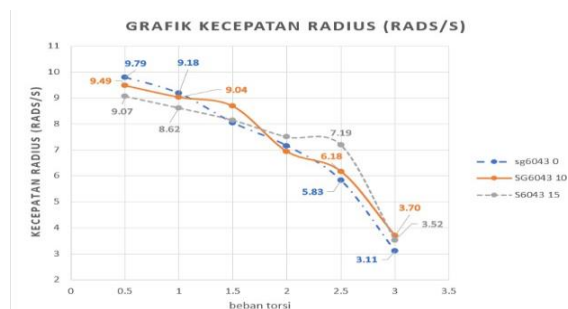
Analisis Efisiensi Turbin Airfoil SELIG 6043 terhadap Variasi Beban Torsi



Gambar 5. Nilai Efisien Turbin SELIG 6043

Grafik efisiensi terhadap beban torsi menunjukkan bahwa profil *airfoil SELIG 6043* mengalami peningkatan efisiensi hingga beban 2,5 kg, lalu menurun saat beban ditingkatkan menjadi 3 kg. Ini menandakan efisiensi maksimum dicapai saat beban dan kecepatan rotasi turbin seimbang. Di antara ketiga sudut kemiringan, sudut 15° menghasilkan efisiensi tertinggi, disusul 0°, dan 10°, menunjukkan bahwa sudu 15° lebih efektif mengubah energi fluida menjadi torsi sambil menjaga putaran. Penurunan efisiensi setelah 2,5 kg disebabkan oleh penurunan kecepatan rotasi yang tak mampu mengimbangi beban. Analisis lebih lanjut menggunakan data kecepatan radius dan daya turbin dilakukan untuk memahami perbedaan efisiensi tersebut.

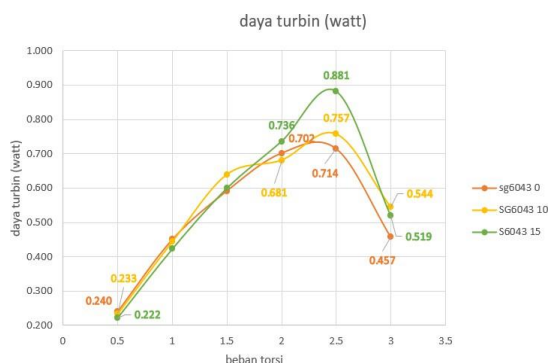
Analisis Kecepatan Radius



Gambar 6. Kecepatan radius SELIG6043

Berdasarkan grafik kecepatan radius (rad/s), dapat diamati bahwa profil *SELIG 6043* pada semua sudut kemiringan mengalami penurunan kecepatan seiring meningkatnya beban. Penurunan paling tajam terjadi pada sudut 0° , di mana kecepatan menurun drastis dari sekitar $9,8 rad/s$ pada beban $0,5 kg$ menjadi sekitar $3,0 rad/s$ pada beban $3 kg$. Menariknya, sudu *SELIG 6043* dengan kemiringan 15° mampu mempertahankan kecepatan putar yang lebih stabil, terutama pada beban menengah hingga tinggi. Ini mendukung hasil efisiensi sebelumnya, karena kemampuan mempertahankan kecepatan radius dalam memutar poros. Sebaliknya, sudu 10° menunjukkan performa yang kurang optimal dalam mempertahankan kecepatan putar, yang selaras dengan grafik yang mengalami penurunan yang curam pada beban torsi $2 kg$.

Daya Turbin

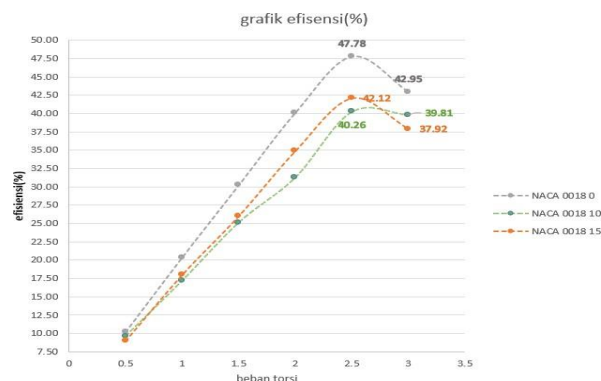


Gambar 7. Daya turbin SELIG 6043

Berdasarkan grafik data turbin *airfoil SELIG 6043*, pola yang muncul konsisten dengan grafik efisiensi. Daya meningkat seiring beban, mencapai puncaknya di beban $2,5 kg$, kemudian turun saat beban dinaikkan ke $3 kg$. Sudu *SELIG 6043* dengan kemiringan 15° mencatat daya tertinggi, diikuti oleh sudu 10° dan terakhir 0° . Daya turbin tertinggi ini selaras dengan nilai kecepatan radius pada turbin *SELIG 6043* 15° . Ini membuat turbin *SELIG 6043* dengan kemiringan sudut 15° menghasilkan nilai efisiensi tertinggi di antara variasi yang lain. Dalam konteks ini, daya turbin merupakan hasil dari torsi dikalikan kecepatan sudut, sehingga variasi mana pun yang tidak

mampu menjaga kedua parameter ini dalam keseimbangan akan menghasilkan daya dan efisiensi yang menurun.

Analisis Efisiensi Berdasarkan Beban Torsi pada Sudu NACA 0018

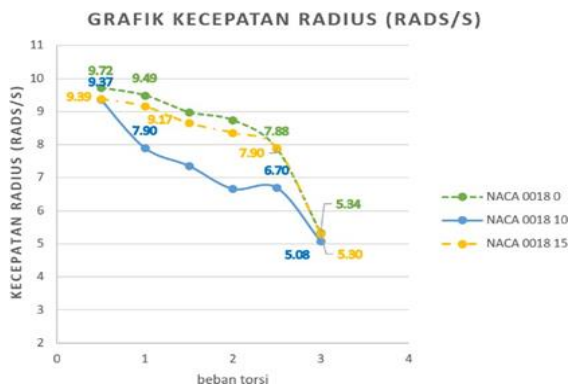


Gambar 8. Efisiensi NACA 0018

Berdasarkan grafik efisiensi terhadap beban torsi, terlihat bahwa seluruh variasi sudut kemiringan sudu turbin *Savonius airfoil NACA 0018* (0° , 10° , dan 15°) menunjukkan tren yang hampir serupa. Efisiensi meningkat secara signifikan seiring bertambahnya beban, mencapai titik maksimum pada beban sekitar $2,5 kg$, lalu menurun saat beban dinaikkan ke $3 kg$. Peningkatan efisiensi pada beban rendah hingga menengah mencerminkan bahwa sistem turbin bekerja dalam kondisi optimal, di mana energi kinetik air dapat dikonversi dengan baik menjadi energi mekanik.

Variasi *NACA 0018* dengan sudut 0° mencatat efisiensi tertinggi sebesar $47,78\%$, disusul oleh sudut 15° sebesar $42,12\%$, dan sudut 10° sebesar $40,26\%$ pada beban $2,5 kg$. Namun, pada beban $3 kg$, semua variasi menunjukkan penurunan efisiensi, yang menandakan bahwa sistem mengalami penurunan *performa* akibat beban berlebih. Hal ini terjadi karena kecepatan putar turbin tidak mampu lagi dipertahankan, meskipun torsi meningkat. Untuk mendalami penyebab perbedaan efisiensi tersebut, dilakukan analisis lanjutan menggunakan data kecepatan radius (rad/s) dan daya turbin ($Watt$) terhadap beban torsi yang dijabarkan di bawah ini.

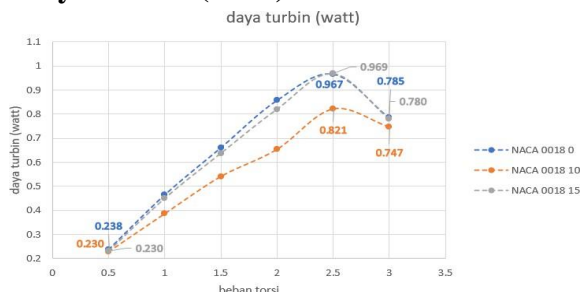
Kecepatan Radius (rad/s)



Gambar 9. Kecepatan Radius NACA 0018

Grafik kecepatan radius menunjukkan bahwa profil sudu *NACA 0018* dengan sudut 10° mengalami penurunan kecepatan paling drastis dibandingkan dua sudut lainnya. Pada beban 2,5 kg, kecepatan sudut turbin ini hanya sekitar 7 rad/s , lebih rendah dibandingkan *NACA 0018* dengan sudut 0° ($\sim 8 \text{ rad/s}$) dan 15° ($\sim 7,9 \text{ rad/s}$). Kecepatan yang lebih rendah dari variasi lain ini menyebabkan efisiensi konversi energi juga mendapatkan nilai yang rendah, meskipun torsinya tinggi. Dengan demikian, sudu 10° cenderung memiliki keunggulan torsi, namun kehilangan *performa* dalam mempertahankan putaran. Sebaliknya, sudu 0° mampu mempertahankan kecepatan yang lebih tinggi, yang menjelaskan mengapa efisiensinya paling tinggi pada beban puncak. Ini menunjukkan bahwa minimnya sudut kemiringan membantu mempertahankan kestabilan aliran *vortex*, sehingga kehilangan energi menjadi lebih sedikit.

Daya Turbin (Watt)

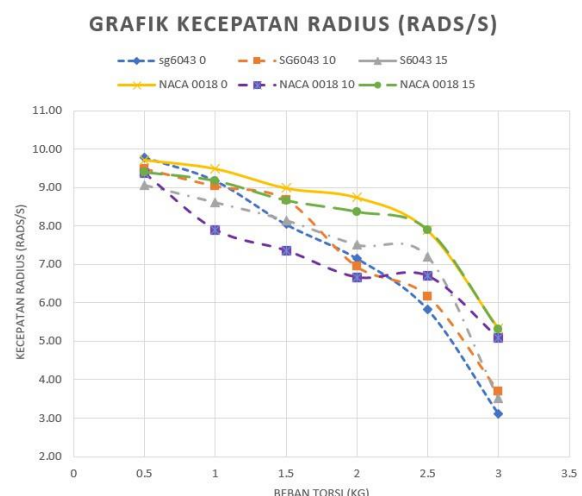


Gambar 10. Daya Turbin NACA 0018

Pada grafik daya turbin, pola yang muncul konsisten dengan grafik efisiensi. Daya meningkat seiring beban, mencapai puncaknya di beban 2,5 kg, kemudian turun saat beban dinaikkan ke 3 kg. Sudu *NACA*

0018 dengan kemiringan 0° mencatat daya tertinggi, diikuti oleh sudu 15° dan terakhir 10° . Walaupun sudu 10° menghasilkan torsi yang cukup besar, rendahnya kecepatan sudut menyebabkan daya turbin menjadi lebih kecil dibanding dua variasi lainnya. Dalam konteks ini, daya turbin merupakan hasil dari torsi dikalikan kecepatan sudut, sehingga variasi mana pun yang tidak mampu menjaga kedua parameter ini dalam keseimbangan akan menghasilkan daya dan efisiensi yang menurun.

Kecepatan Radius (rads/s)



Gambar 11. Grafik Kecepatan Radius NACA 0018

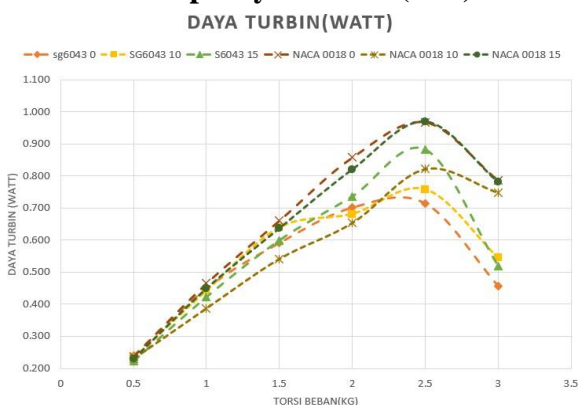
Berdasarkan grafik hubungan antara beban torsi dan kecepatan sudut rata-rata (rad/s) pada berbagai variasi profil dan sudut kemiringan sudu, terlihat bahwa peningkatan beban torsi menyebabkan penurunan kecepatan rotasi turbin secara signifikan. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar mekanika, di mana beban yang lebih besar akan memperlambat putaran poros turbin. Pada semua variasi, tren penurunan kecepatan terjadi mulai beban 0,5 kg hingga 2,5 kg, dan semakin tajam pada beban 3 kg, yang menandai titik optimal terlewati. Namun, tingkat penurunan ini berbeda tergantung pada jenis profil dan sudut sudu yang digunakan.

Profil *NACA 0018* pada sudut 0° dan 15° terbukti mampu menjaga kecepatan rotasi lebih baik dibandingkan variasi lainnya, terutama pada beban ringan hingga menengah (0,5–2,5 kg). Ini menunjukkan

bahwa bentuk *aerodinamis NACA 0018* memberikan aliran yang lebih stabil. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa profil ini mampu menjaga aliran *vortex* secara konsisten, bahkan pada beban maksimum 3 kg, di mana kecepatan rotasi tetap di atas 5 *rad/s*. Keunggulan ini didukung oleh fenomena *blade-vortex interaction*, yaitu interaksi antara bilah turbin dan pusaran air yang menambah kestabilan aliran.

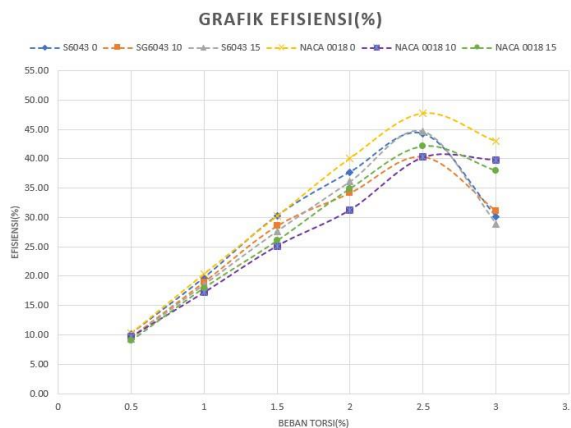
Sebaliknya, profil *SELIG 6043* terutama pada sudut 10° dan 15° menunjukkan penurunan rotasi yang lebih drastis saat beban mencapai 2,5–3 kg. Hal ini diduga akibat bentuk *leading edge* yang lebih curam dan *camber* lebih tinggi, yang meningkatkan gaya hisap di bagian belakang bilah. Ditambah adanya fenomena *kavitasi* yang mengganggu kinerja turbin karena menyebabkan getaran-getaran pada mesin sehingga menyebabkan turunnya efisiensi turbin serta rusaknya komponen pada turbin. Saat beban melebihi batas optimal, bentuk sudu ini gagal mempertahankan aliran *vortex*, menyebabkan aliran fluida berpindah ke pusat rotasi dan menurunkan tinggi pusaran air. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa bentuk dan kemiringan sudu sangat memengaruhi kestabilan kecepatan putar turbin di bawah beban variatif. Profil *NACA 0018* lebih unggul dalam menjaga *performa* turbin, khususnya pada beban menengah hingga berat, sehingga lebih direkomendasikan untuk aplikasi yang membutuhkan kestabilan dalam menghadapi perubahan torsi.

Pengaruh sudut kemiringan dan profil sudu terhadap Daya Turbin (watt)



Gambar 12. Daya Turbin NACA 0018

Pengaruh sudut kemiringan dan profil sudu terhadap efisiensi turbin (%)



Gambar 13. Pengaruh sudut kemiringan dan profil sudu terhadap efisiensi turbin (%)

Gambar 13 menunjukkan bahwa efisiensi turbin *Savonius airfoil* meningkat seiring penambahan beban torsi hingga mencapai puncak pada 2,5 kg, kemudian menurun pada beban 3 kg. Hal ini menunjukkan adanya batas optimal di mana peningkatan beban tidak lagi meningkatkan *performa*, melainkan menurunkan efisiensi akibat penurunan kecepatan rotasi. Profil *NACA 0018* dengan sudut 0° mencatat efisiensi tertinggi sebesar 47,78%, menunjukkan bahwa desain *aerodinamis* dan sudut yang tepat mampu mengarahkan aliran *vortex* secara optimal dan menjaga kestabilan putaran. Variasi *NACA 0018* pada sudut 10° dan 15° juga menunjukkan *performa* tinggi, meski sedikit lebih rendah.

Sementara itu, profil *SELIG 6043* juga menunjukkan peningkatan efisiensi hingga beban 2,5 kg, terutama dengan sudut 15°. Namun, efisiensinya turun lebih tajam dibanding *NACA 0018* saat beban meningkat ke 3 kg, diduga akibat bentuk geometri sudu yang menarik aliran ke poros, sehingga tidak seluruh energi *vortex* dikonversi menjadi torsi. Secara keseluruhan, pemilihan profil sudu dan sudut kemiringan berperan penting dalam mengoptimalkan efisiensi turbin *Savonius*, terutama untuk mengatasi keterbatasan *aerodinamika* pada desain konvensional.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Keunggulan konfigurasi NACA 0018 pada sudut 0° bukan semata karena nilai efisiensi tertinggi, tetapi karena secara fisika fluida profil ini paling mampu menjaga stabilitas pusaran tangensial di sekitar sudu. Profil simetris tanpa kemiringan mencegah defleksi aliran menuju pusat rotasi, sehingga tinggi *vortex* (H) tetap maksimum. Kondisi ini menjaga daya air (Pa) tetap tinggi dan memungkinkan turbin mempertahankan kecepatan sudut pada beban menengah–tinggi. Dengan demikian, peningkatan efisiensi yang terjadi merupakan konsekuensi langsung dari stabilitas blade–*vortex* interaction yang dihasilkan oleh kombinasi profil dan sudut tersebut.

Referensi

- [1] Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, “Pemerintah Kejar Target Tingkatkan Bauran Ebt,” Jan. 2024.
- [2] S. Eko Atmojo, Dan Wahyu Kurniawati, And I. Artikel, “Pengembangan Buku Ajar Tematik Bervisi Sets Untuk Menanamkan Konsep Sustainable And Renewable Energy Siswa Sekolah Dasar,” 2017, [Online]. Available: [Http://jurnal.umk.ac.id/index.php/re](http://jurnal.umk.ac.id/index.php/re)
- [3] A. Rohermanto, “Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh),” Jalan Ahmad Yani Pontianak, 2007. [Online]. Available: [Http://www.kompas.com](http://www.kompas.com)
- [4] M. J. Khan, G. Bhuyan, M. T. Iqbal, And J. E. Quaicoe, “Hydrokinetic Energy Conversion Systems And Assessment Of Horizontal And Vertical Axis Turbines For River And Tidal Applications: A Technology Status Review,” 2009, Elsevier Ltd. Doi: 10.1016/j.apenergy.2009.02.017.
- [5] F. Rivantoro And I. S. Arief, “Studi Pemilihan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (Pltal) Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (Ahp),” Jurnal Teknik Its, Vol. 4, 2015.
- [6] B. Hartadi, M. Firman, M. Irfansyah, I. Kalimantan Jl Adhyaksa No, And K. Tangi Banjarmasin Kalimantan Selatan, “Peningkatan Kinerja Rotor Savonius Dengan Mengembangkan Sudu Baru Berbasis Airfoil,” Firman & Irfansyah, Vol. 6, No. 2, Pp. 8–15, 2022, Doi: 10.09.2022.
- [7] S. Aripasetya And P. H. Adiwibowo, “Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudu Sudu Berpenampang Plat Data Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex,” 2018.
- [8] D. Oktavian, U. Budiarto, And Kiryanto, “Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Sudu, Sudut Serang Dan Kecepatan Arus Pada Turbin Arus Tipe Sumbu Vertikal Terhadap Daya Yang Dihasilkan Oleh Turbin,” Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 5, No. 2, P. 421, 2017, [Online]. Available: [Http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/Naval](http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/Naval)
- [9] Y. Afriyanti, H. Sasana, And G. Jalunggono, “Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan Di Indonesia,” 2020.
- [10] A. P. Damastuti, “Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro,” 1997.
- [11] I. F. Tanjung, S. Gultom, F. H. Napitupulu, And D. M. Nasution, “Analisa Performansi Turbin Vortex Menggunakan Perangkat Lunak Cfd Dengan Variasi Dimensi Sudu I Dan Sudu Iii, Debit Air Masuk Serta Luas Saluran Buang,” Jurnal Dinamis, Vol. 13, No. 2, 2015.
- [12] A. Saidah And M. Sinaga, Power Plant Dan Aplikasinya. Sleman: Cv. Bintang Semesta Media, 2023.
- [13] S. Sudirman And H. Santoso, “Pengaruh Pengarah Angin Dan Kecepatan Angin Pada Turbin Savonius Tiga Sudu Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan,” Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi, Vol. 16, No. 2, P. 255, Nov. 2020, Doi: 10.36055/tjst.V16i2.9073.
- [14] B. Mahendra, R. Soenoko, And D. Sutikno, “Pengaruh Jumlah Sudu

- Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L,” Malang, 2013.
- [15] R. Sinaga, A. Puspawan, And A. Suandi, “Analisa Karakteristik 2d Airfoil Naca 4412 Dengan Variasi Sudut Serang 16, 20, 24, 4, 45, Dan 5 Menggunakan Computational Fluid Dynamics (Cfd),” Dec. 2023.
- [16] Airfoil Tools, “ Sg6043 Airfoil Details,” Diakses Pada 25 Februari 2025, Dari [Http://Airfoiltools.Com/Airfoil/Details?Airfoil=Sg6043-II](http://Airfoiltools.Com/Airfoil/Details?Airfoil=Sg6043-II).
- [17] S. W. Hadi, M. A. Bramantya, And H. M. Ariyadi, “Studi Numerik Performa Aerodinamika Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Daerah 3t,” 2024.
- [18] T. D. Van, D. N. Huu, And S. Le Quang, “Consideration Of Various Configurations Of Sg6043-Based Rotor Applied In Small Capacity Horizontal Axis Wind Turbine,” *International Journal Of Renewable Energy Development*, Vol. 13, No. 3, Pp. 396–404, May 2024, Doi: 10.61435/Ijred.2024.60036.
- [19] T. Rachmanto, M. Sahlan, And Nurpatricia, “Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Vortex.”
- [20] A. Al Farisi Et Al., “Analisis Variasi Jumlah Sudu Turbin Berpenampang Pelat Datar Pada Turbin Air Aliran Vortex Dengan Tipe Saluran Masuk Involute,” 2019. [Online]. Available: [Http://Ejournal.Unismabekasi.Ac.Id](http://Ejournal.Unismabekasi.Ac.Id)
- [21] A. Kasharjanto, D. Rahuna, And Rina, “Kajian Pemanfaatan Energi Arus Laut Di Indonesia,” 2017.
- [22] S. Susilo, B. Widodo, E. Magdalena Silalahi, And A. Priyono, “Pengaruh Jumlah Bilah Dan Sudut Pasang Terhadap Daya Turbin Angin Poros Vertikal Tipe H-Darrieus Termodifikasi Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik Skala Rumah Tangga,” *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, Vol. 12, No. 2, P. 92, Oct. 2019, Doi: 10.24843/Jem.2019.V12.I02.P08.
- [23] M.H. Mohamed, “Performance Investigation Of H-Rotor Darrieus Turbine With New Airfoil Shapes,” *Energy*, Vol. 47, No. 1, Pp. 522–530, 2012.
- [24] D. Peng And J. W. Gregory, “Vortex Dynamics During Blade-Vortex Interactions,” *Physics Of Fluids*, Vol. 27, No. 5, May 2015, Doi: 10.1063/1.4921449.
- [25] Y. Sari Sitompul and H. Ibrahim, “ANALISIS PENGARUH BUKAAN SUDU TERHADAP TINGKAT KAVITASI DI SISI MASUK SUCTION PIPE TURBIN FRANCIS HORIZONTAL UNIT 3 DI PLTA PAKKAT PT ENERGY SAKTI SENTOSA,” medan, 2021