

Pengaruh Penambahan *Diffuser* terhadap Performa 3D *Print* Turbin Hidrokinetik *Helical Savonius* (*Twist Angle* 45°)

Intan Hardiatama¹, Muhammad Trifiananto²

¹Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember

²Program Studi Teknik Operasi Mesin Akademi Komunitas Semen Indonesia Gresik

E-mail: intan.hardiatama@unej.ac.id

Abstrak--Energi potensial dan energi kinetik air merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang sangat potensial dan terus dikembangkan di Indonesia. Tenaga hidro (hydropower) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Potensi energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan diubah ke dalam wujud energi lain seperti energi mekanis dan energi listrik menggunakan alat pengkonversi, yaitu turbin air. Turbin jenis Savonius dipilih karena beberapa kelebihan, antara lain biaya manufaktur rendah, mampu berputar pada kecepatan air yang rendah, mampu menerima aliran air dari segala arah dan memiliki starting awal yang mudah. Untuk peningkatan performa turbin Savonius dipilih profil sudu yang tepat dan penambahan *diffuser*. Dalam penelitian ini dipilih profil sudu tipe *helical savonius*. Kelebihan turbin jenis *helical savonius* rotor ini memiliki nilai positif pada nilai koefisien torsi statis, sedangkan pada jenis turbin *savonius* biasa memiliki nilai koefisien torsi statis negatif pada 135°-165° dan 315°-345° dalam satu siklus 360°. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa turbin angin *helical savonius* pada sudut puntir 45° jika diterapkan menjadi turbin hidrokinetik. Selain itu penelitian ini juga dilakukan dengan menambahkan *diffuser* pada sisi inlet yang bertujuan untuk lebih meningkatkan efisiensi turbin bila dibandingkan dengan tanpa penambahan *diffuser*. Penelitian dilakukan secara eksperimen, diuji pada beberapa variasi angka Reynold antara lain $1,2 \times 10^5$ ($V = 0,6$ m/s); $1,5 \times 10^5$ ($V = 0,75$ m/s) dan $1,8 \times 10^5$ ($V = 0,9$ m/s). Peneliti menguji pada kecepatan air rendah agar dapat diaplikasikan di sungai maupun saluran irigasi.

Kata Kunci: turbin hidrokinetik, *helical savonius*, *diffuser*,

Abstract--Potential energy and water kinetic energy is one form of potential renewable energy and continues to be developed in Indonesia. Hydropower is the energy obtained from running water. Potential energy possessed by water can be utilized and transformed into other energy form such as mechanical energy and electrical energy using energy conversion tools, hydro turbine. Savonius type turbines are selected for several advantages, including low manufacturing costs, capable of rotating at low water speeds, capable of receiving water flow from all directions and having an easy starting starting but having low aerodynamic sides. To improve the performance of the turbine Savonius selected the right blade profile and the addition of *diffuser*. In this study selected *helical savonius* blade profile profile. Excess turbine of this type of *helical savonius* rotor has a positive value on the value of static torque coefficient, whereas in the usual *savonius* turbine type has a negative static torque coefficient value at 135°-165° and 315°-345° in one 360° cycle. This study aims to determine the performance of wind turbine *helical savonius* at 45° angle if applied to a hydrokinetic turbine. This experimental research, test at Reynold Reynold number $1,2 \times 10^5$ ($V = 0,6$ m/s); $1,5 \times 10^5$ ($V = 0,75$ m/s) and $1,8 \times 10^5$ ($V = 0,9$ m/s). Researchers tested at low water velocities to be applied in rivers and irrigation canals.

Keywords: Hydrokinetic Turbine, Helical Savonius, Diffuser

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Turbin hidrokinetik adalah salah satu mesin konversi energi yang merubah energi kinetik air menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Energi rotari dari poros ditransmisikan dengan generator untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu jenis turbin air adalah turbin air terapung, yang cocok digunakan untuk daerah pedesaan, irigasi, maupun sungai sungai besar [1].

Turbin hidrokinetik yang telah banyak diterapkan merupakan jenis rotor *savonius* biasa dengan jumlah sudu (blade) yang berbeda.

Kelemahan dari turbin hidrokinetik yang memiliki rotor *savonius* biasa hanya bisa digunakan pada kecepatan aliran fluida yang tinggi, sedangkan pada turbin hidrokinetik *savonius* rotor helix dapat diaplikasikan pada aliran fluida kecepatan rendah [2].

Zhao [2] melakukan penelitian secara numerik turbin hidrokinetik rotor *helical savonius* dengan aspek rasio yang lebih tinggi menunjukkan performa yang lebih tinggi dibandingkan rotor dengan aspek rasio yang rendah. Turbin *helical savonius* dengan aspek rasio rotor dibawah 0,88 memiliki performa yang lebih baik daripada rotor hasil penelitian kamoji [3] dengan aspek rasio di

atas 0,88.

Diffuser merupakan peralatan aerodinamika dengan dimensi inlet lebih kecil daripada penampang outlet seperti. Diffuser yang ditambahkan pada turbin air/turbin angin dengan maksud untuk meningkatkan performa (C_p). Selain itu dengan penambahandiffuser pada sisi inlet, aliran fluida yang akan melewati turbin lebih terarah [4].

Penelitian rujukan sebelumnya telah meneliti pengaruh sudut puntir (*twist angle*) terhadap performa turbin angin Savonius (tanpa diffuser). Parameter pada penelitian tersebut adalah variasi sudut puntir pada nilai angka Reynold tertentu. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa performa terbaik dari turbin angin Savonius terjadi pada sudut puntir 45° . Kelemahan dari penelitian sebelumnya adalah belum ditambahkan dengan diffuser pada sisi inlet dari turbin sehingga aliran fluida yang memasuki turbin menghasilkan koefisien performa (*Power coefficient* dan *coef of torque*) kurang maksimal. Bertitik tolak pada penelitian rujukan, penelitian ini terfokus pada desain turbin hidrokinetik yang berbentuk helical savonius dengan sudut puntir (*twist angle*) 45° . Pada pengembangan penelitian ini dipilih variasi kecepatan *free stream* pada angka Reynold tertentu, dilakukan dengan dan tanpa penambahan diffuser.

Penelitian sebelumnya mengkaji tanpa penambahan *diffuser* pada fluida udara. Penelitian ini akan melakukan modifikasi penambahan diffuser pada sisi inlet turbin hidrokinetik dengan fluida air.

1.2 Turbin Hidrokinetik

Energi fosil selain tidak dapat diperbaharui juga erat kaitannya dengan isu lingkungan [1] (Kumar et al, 2016). Konsumsi Energi diperkirakan terus naik hingga 53% pada tahun 2030. Tenaga hidro (Hydropower) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Karena densitas air 800 kali lebih besar daripada densitas udara maka hanya dengan kecepatan air 12 mil per jam (5,36 m/s) setara dengan energi yang dibawa angin pada kecepatan 110 mph (49,17 m/s) [6].

Pemanfaatan turbin mikrohidro maupun piko hidro yang banyak dipakai saat ini menggunakan sistem *run-off-river* yang tidak memiliki kapasitas reservoir untuk penyimpanan air. Sehingga apabila musim kemarau maka debit air berkurang sehingga kinerja turbin mikrohidro terganggu dan pada akhirnya kembali ke energi fosil seperti mesin diesel. Energi kinetik air yang berasal dari arus sungai, saluran irigasi, dan lautan dikenal sebagai teknologi hidrokinetik yang merupakan jenis hydropower baru. Hidrokinetik efektif beroperasi pada kecepatan air yang rendah bahkan pada kecepatan air 1m/s. Teknologi hidrokinetik tidak membutuhkan bendungan yang besar atau saluran pengarah untuk memproduksi listrik. Untuk

menangkap potensi sebanyak energi air sebanyak mungkin dengan kecepatan rendah, bukaan saluran besar diperlukan dalam turbin arus bebas. Teknologi hidrokinetik cocok dimanfaatkan untuk desa-desa terpencil yang biasanya berada dipinggiran sungai dengan elevasi yang rendah. Pemasangan teknologi hidrokinetik yang mudah yaitu dengan memasukan bodi turbin dan pada bagian atas diberi pengapung. Hal ini menyebabkan biaya instalasi lebih murah dibanding turbin air lain maupun sumber energi lain seperti turbin angin dan solar panel. Energi dari hidrokinetik juga dapat diandalkan untuk pasokan listrik selama 24 jam baik siang maupun malam. Rotor yang digunakan pada teknologi hidrokinetik mirip dengan yang digunakan pada turbin angin pada aspek fisik, perangkat listrik dan performa maksimal pada kecepatan angin tertentu [7].

Besarnya energi yang dihasilkan turbin air bergantung dari besar kecilnya luas sapuan turbin dan kecepatan aliran air. Hal ini ditunjukkan oleh Persamaan 1 [1].

$$P_{THEORY} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \quad (1)$$

Keterangan:

P= Daya potensial Air (watt)

A= Luasan turbin air (m^2)

U= Kecepatan Air (m/s)

ρ =densitas air (kg/m^3)

Dari 100% potensi energi kinetik air yang ditumbukkan sudu turbin hanya beberapa persen saja yang bisa dikonversi menjadi energi bermanfaat. Sebagian energi yang bermanfaat itu disebut *coefficient of performance* (C_p). Sehingga Daya turbin air aktual menjadi ditunjukkan oleh Persamaan 2 [1].

$$P_{TURBINE} = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \quad (2)$$

Nilai dari C_p dipengaruhi oleh λ (*Tip Speed Ratio*), yaitu rasio antara kecepatan ujung blade dibanding kecepatan air, yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 [1].

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} = \frac{\text{Tip speed of blade}}{\text{Speed of flowing water}} \quad (3)$$

Keterangan:

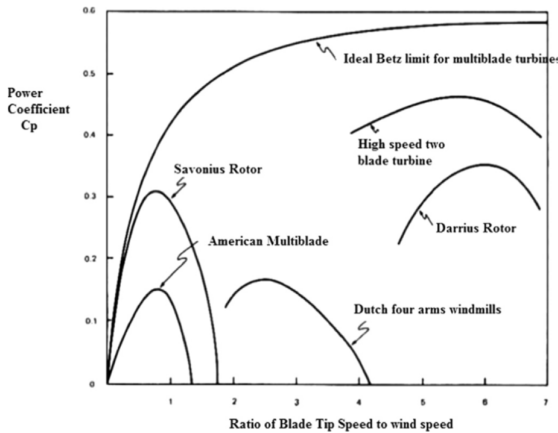
ω = kecepatan angular

R= radius blade atau rotor

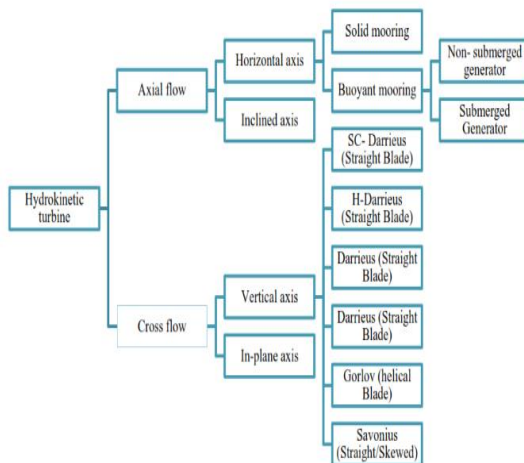
U=Kecepatan air

Secara teoritis C_p maksimal bernilai 0,59 tanpa duct. Batasan ini dikenal sebagai Betz limit. Apabila menggunakan penambahan duct nilai C_p bisa lebih besar dari Betz limit [8]. Penambahan duct menyebabkan kecepatan air yang melalui blade semakin bertambah sehingga C_p juga meningkat. Dari grafik pada gambar 1 dibawah nampak bahwa

C_p tertinggi savonius rotor berkisar antara 0,3 pada TSR 0,7-0,8 sedangkan darrieus lebih dari 0,3 pada TSR 5,5-5,8 (Kumar et al, 2016).



Gambar 1 Betz Limit [8]

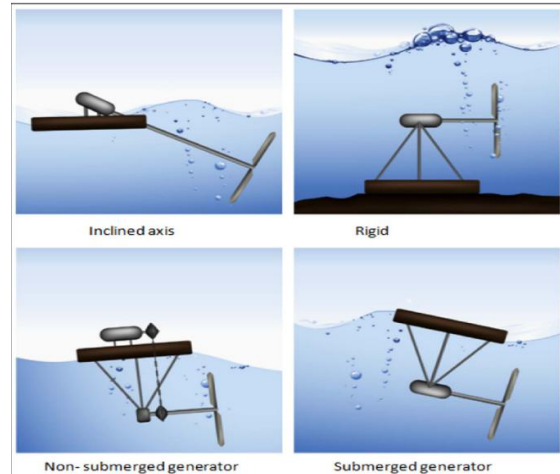


Gambar 2. Klasifikasi Turbin Hidrokinetik [1]

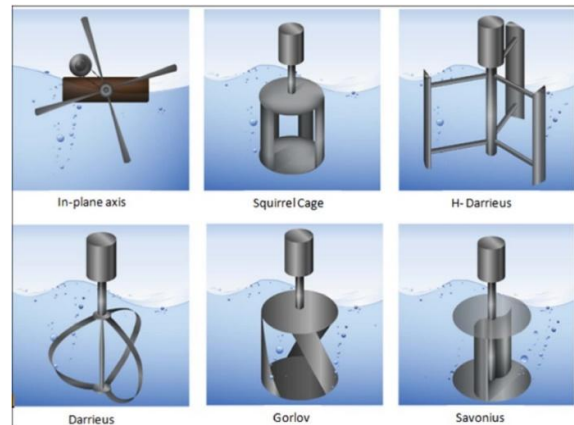
Hidrokinetik merupakan inovasi baru dalam tenaga hidro (hydropower). Meskipun baru namun klasifikasi dari turbin hidrokinetik mirip dengan turbin angin, ada dua klasifikasi utama dalam turbin hidrokinetik berdasarkan arah datangnya arus air yaitu sumbu vertical (Vertical Axis) dan sumbu horizontal (Horizontal Axis). Tipe *axial flow*, arah datangnya air sejajar dengan sumbu blade. Sedangkan *Cross-flow*, arah datangnya air tegak lurus dengan sumbu blade. Dalam prakteknya jumlah blade yang digunakan bisa dua ataupun lebih. Grup *vertical axis* dibagi terdiri dari turbin darrieus dan savonius. Turbin tipe darrieus mengandalkan gaya angkat (lift) sebagai gaya utama untuk memutar poros turbin. Sedangkan Savonius mengandalkan gaya hambat (drag) untuk memutar poros turbin. Klasifikasi turbin hidrokinetik seperti ditunjukkan pada gambar 2 [1].

Menurut Guney dan Kaygusuz [9] yang membandingkan performa dan berbagai aspek lain antara turbin hidrokinetik vertikal dan horisontal didapatkan hasil efisiensi untuk tipe sumbu

horizontal lebih tinggi dibandingkan tipe sumbu vertikal. Tipe sumbu vertikal memiliki keuntungan dapat menerima aliran air dari segala arah, sedangkan hidrokinetik sumbu horizontal membutuhkan peralatan tambahan berupa pengarah untuk menangkap aliran air.



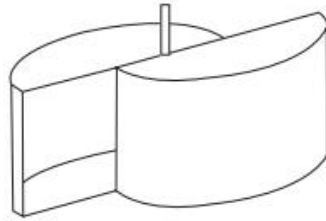
Gambar 3. Hidrokinetik Turbine Sumbu Horizontal [1]



Gambar 4. Hidrokinetik Turbine Sumbu Vertikal

1.3 Savonius Rotor

Desain turbin Savonius pertama kali ditemukan dan dikembangkan oleh S.J. Savonius pada tahun 1920. Konsep awal turbin savonius diawali dengan membelah silinder menjadi dua belah dan disusun membentuk huruf S seperti ditunjukkan pada Gambar 5 [3]. Banyak peneliti mengembangkan model Savonius karena rotor savonius memiliki beberapa kelebihan antara lain: karakteristik biaya manufaktur rendah, mampu berputar pada kecepatan air yang rendah, mampu menerima aliran air dari segala arah dan memiliki starting awal yang mudah. Namun turbin savonius memiliki sisi aerodinamika yang rendah jika dibandingkan dengan turbin tipe Darrieus. Prinsip kerja turbin Savonius yaitu pada selisih besaran gaya antara sisi cekung dan cembung sehingga akan memutar poros [3](Kamoji et al, 2008).



Gambar 5. Geometri Awal Turbin Savonius

Turbin Savonius hidrokinetic memiliki desain yang mirip dengan turbin angin Savonius. Namun karena energi yang mengoperasikan turbin angin dan hidrokinetik memiliki perbedaan densitas hampir sebesar 835 kali lipatnya maka turbin Savonius ampu beroperasi di kecepatan air yang rendah. Kecepatan air berkisar antara 0,5 m/s atau lebih sudah cukup untuk memutar turbin. Oleh karena itu turbin Savonius Hidrokinetic mampu dioperasikan di sungai, saluran irigasi, maupun saluran buang [8] .

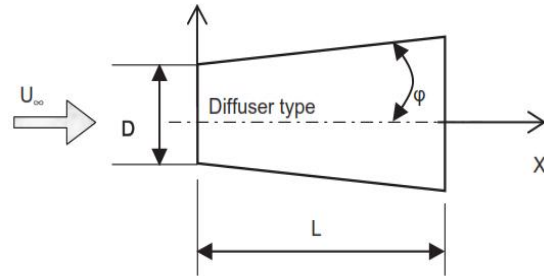
Sejumlah peneliti meneliti tentang pengaruh variasi *twist angle* terhadap performa turbin meliputi C_p (*Coefficient of power*) dan C_T (*Torque Coefficient*). Jae – Hoon Lee dkk meneliti mengenai pengaruh *twist angle* terhadap performa turbin angin *helical savonius* dengan dua buah blade. Nilai C_p pada TSR yang berbeda dan nilai C_T pada sudut putar berbeda untuk *twist blade angles* 0° , 45° , 90° dan 135° di teliti di bawah kondisi area proyeksi dan aspek rasio konstan, hasilnya nilai C_p maksimum terjadi pada *twist angle* 45°

Selain efek dari *twist angle*, jumlah sudu/rotor memiliki peranan yang signifikan dalam performa turbin angin Savonius karena sudu adalah pengekstrak energi kinetik. Zhao dkk. melakukan penelitian simulasi dengan CFD menggunakan aspek rasio, *twist angle* dan *overlap ratio* sebesar 2.0, 180° and 0.0 . Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah sudu maka performa dari turbin akan turun karena efek *cascade*. Performa turbin dengan menggunakan dua buah sudu lebih baik daripada tiga buah sudu Selain performa , torsi yang dihasilkan juga lebih tinggi. Dari simulasi yang dilakukan terlihat bahwa *downwind* pressure pada turbin dua blade lebih besar daripada tiga blade pada sudut rotor yang sama. Sedangkan pada tiga blade tekanan *upwind* lebih besar dibandingkan dua . Kombinasi tekanan *downwind* yang besar *surface* dan *upwind* yang kecil menghasilkan performa yang baik.

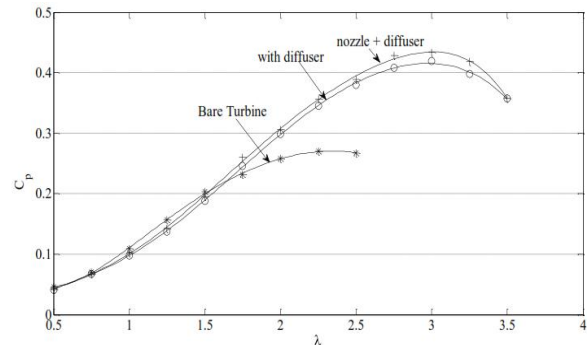
1.4 Diffuser

Diffuser merupakan peralatan aerodinamika dengan dimensi *inlet* lebih kecil daripada penampang *outlet* seperti ditunjukkan pada gambar *Diffuser* yang ditambahkan pada turbin air/turbin angin dengan maksud untuk meningkatkan performa disebut DAT (*Diffuser Augmented Turbine*) oleh Ohya dkk. [10] . Kosasih [11] melakukan penelitian pada turbin angin micro

horizontal dan membandingkan C_p antara turbin angin tanpa tambahan *diffuser* , dengan penambahan *diffuser* dan *nozzle-diffuser*. Hasil penelitian menunjukkan dengan penambahan *diffuser* dapat meningkatkan C_p sebesar 60% dan 63 % pada penambahan *Nozzle-diffuser* dibandingkan dengan turbin standart seperti ditunjukkan gambar 7.

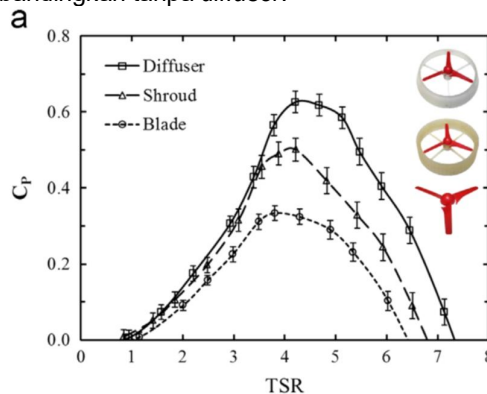


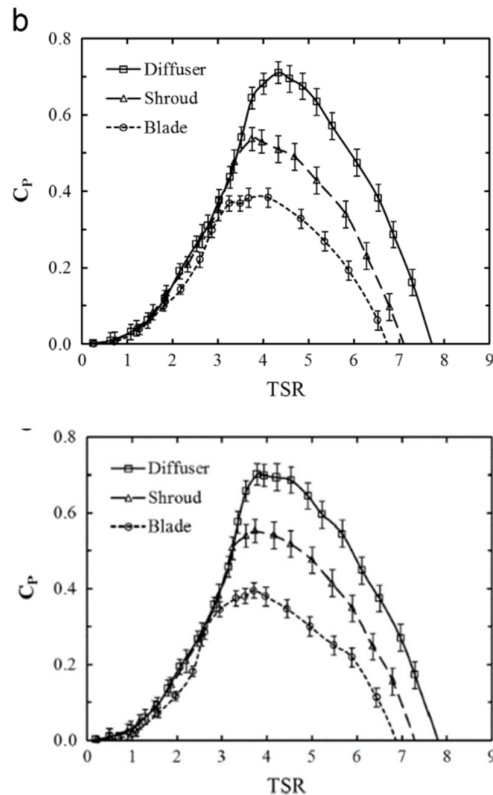
Gambar 6. Geometri Diffuser [10]



Gambar 7. Grafik Perbandingan Penambahan Diffuser Dan Nozzle - Diffuser [11]

Shahsavariard dkk [12] melakukan pengujian turbin hidrokinetic horisontal berdiameter 198 mm tipe blade H0127 sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 8. Penelitian dilakukan dengan membandingkan performa antara turbin tanpa penambahan *diffuser*, dengan penambahan *shroud* (*nossel diffuser*), dan dengan penambahan *diffuser*. Pengujian dilakukan pada kecepatan air 0,7 ; 0,9 ; dan 1,1 m/s. Peningkatan performa setelah menggunakan *diffuser* mencapai 91% dibandingkan tanpa *diffuser*.



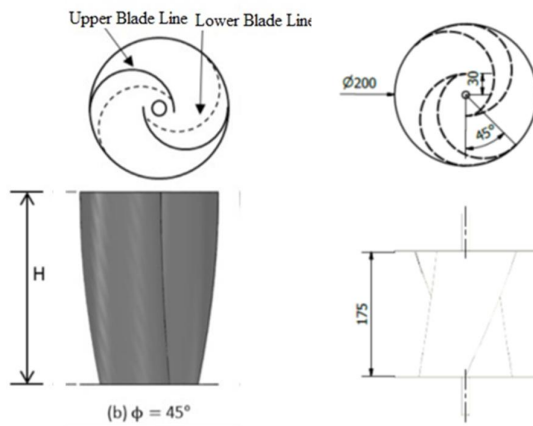


Gambar 8. Grafik C_p Dengan Penambahan Shroud Dan Diffuser (a) $V = 0,7$ m/s, (b) $V = 0,9$ m/s, (c) $V = 1,1$ m/s [12]

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fluida Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.



Gambar 9. Dimensi Rotor

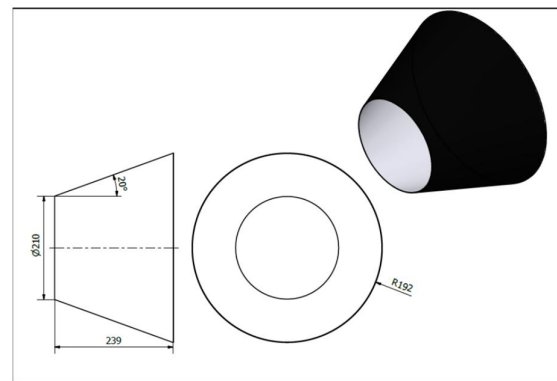
2.2 Tahap Perancangan Rotor

Turbin hidrokinetik yang digunakan merupakan jenis Helical savonius dengan sudut puntir (twist angle) 45° dengan diameter turbin (D) = 200 mm

dan tinggi (H) = 175 mm. Turbin didesain menggunakan poros seperti ditunjukkan pada gambar digambar dengan software autodesk Inventor. Spesifikasi dari turbin tersebut berdasarkan jurnal penelitian Jae – Hoon Lee [5]. Untuk ukuran diameter dan tinggi turbin berdasarkan skala 1:1.15 dari penelitian rujukan menyesuaikan ukuran water channel yang digunakan. Turbin air dicetak menggunakan printer 3D untuk mendapatkan hasil yang presisi. Desain rotor ditampilkan pada Gambar 9.

2.3 Tahap perancangan diffuser

Diffuser dicetak dengan ketelitian tinggi menggunakan printer 3D dengan ketebalan 1 mm menyesuaikan ukuran water channel yang digunakan. Dimensi diffuser menggunakan acuan rasio dari penelitian yang dilakukan Koichi Wanatabe, dkk [4]. Dengan rasio dan dimensi yang dicantumkan pada Tabel 1.



Gambar 10. Desain Diffuser Penelitian

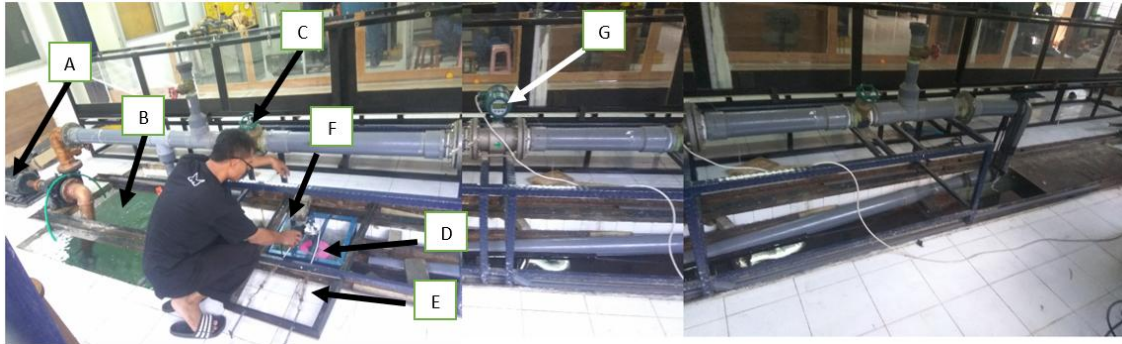
Tabel 1. Dimensi diffuser

Nama Bagian	Rasio	Dimensi
Diameter Diffuser (D)	-	210 mm
Panjang Diffuser (L)	1,14D	239,4 mm
Sudut Kemiringan Diffuser (α)	-	20°
Tebal diffuser	-	0,7mm

2.4 Tahap Instalasi Alat Ukur

Gambar 11 menunjukkan instalasi pengujian yang dilakukan. Sementara Gambar 12 menunjukkan instalasi tanpa menggunakan *diffuser*. Berikut ini adalah keterangan Gambar 11:

- Pompa
- Reservoir Air
- Gate Valve
- Turbin Hidrokinetik Savonius
- Dinamometer dengan mekanisme ulir
- Tachometer
- Flowmeter digital



Gambar 11. Instalasi Pengujian



Gambar 12. Instalasi Tanpa Diffuser

2.5 Tahap Pengambilan Data

Data yang diambil pada penelitian ini berupa data gaya pengereman (N), putaran poros (rpm) pada berbagai pembebanan dan kecepatan aliran air. Dari masing – masing data diambil 3 kali pengambilan sampel data kemudian di rata – rata. Hasil data penelitian ditampilkan dalam grafik excel. Percobaan pertama adalah percobaan turbin hidrokinetik tanpa menggunakan diffuser dan percobaan kedua adalah dengan menggunakan diffuser. Penelitian dilakukan dengan menurunkan putaran secara bertahap setiap 10 rpm . Kemudian gaya pengereman dicatat.

2.6 Variabel pengambilan data

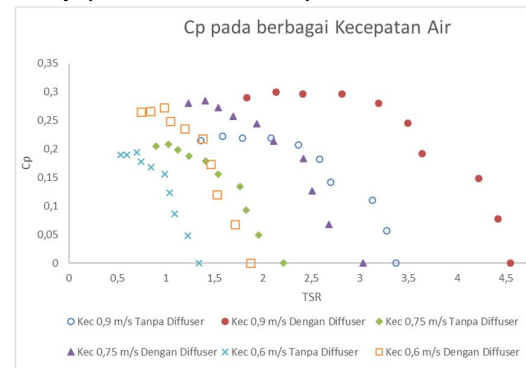
Pada penelitian ini digunakan dua variabel sebagai parameter penelitian, berupa variabel terikat dan variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini berupa turbin hidrokinetik helical savonius tanpa diffuser dan dengan diffuser, serta besar twist angle sebesar 45°. Untuk variabel bebas yang digunakan berupa variasi kecepatan free stream pada inlet yang divariasikan dari terendah hingga tertinggi (d disesuaikan batas kecepatan maksimum dari alat uji/ water channel).

Kecepatan air pada penelitian ini sebesar 0,6 m/s; 0,75 m/s; dan 0,9 m/s. Pemberian pembebanan pada turbin dilakukan dengan mengencangkan ulir sehingga besar pengereman

bertambah. Pengambilan besar pengereman didapatkan dari dinamometer dengan menghitung selisih diantara keduanya. Besar pembebanan diukur setiap 10 rpm.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Cp (Power Coefficient)



Gambar 13 Menunjukkan Perbandingan Nilai Cp Terhadap TSR Pada Berbagai Kecepatan Air

Dari Gambar 13 terlihat pada turbin dengan menggunakan diffuser memiliki Cp hingga sebesar 0,30 pada kecepatan 0,9m/s. Dapat terlihat gambaran bahwa nilai Cp terendah secara keseluruhan yaitu sebesar 0 (nol) hal ini terjadi karena pada saat pengujian tidak diberikan pembebanan. Dan variasi putaran sama untuk semua kecepatan air dan pada kondisi dengan atau tanpa diffuser. Semakin tinggi kecepatan air maka semakin besar pula Cp yang mampu dicapai hal ini terjadi karena semakin besar kecepatan maka semakin besar pula energi yang diterima oleh sudu turbin dalam merubah energi kinetik Air menjadi energi mekanik berupa putaran poros . Sehingga putaran poros semakin bertambah seiring bertambahnya kecepatan air. Dari grafik 13 juga terlihat optimasi penggunaan diffuser, dimana terjadi peningkatan Cp yang signifikan dibandingkan dengan tanpa menggunakan diffuser. Penambahan diffuser dapat meningkatkan nilai Cp yang berarti terjadi peningkatan performa dari turbin air hidrokinetik.

Penggunaan diffuser dapat meingkatkan nilai C_p dikarenakan dengan penambahan diffuser dapat meningkatkan laju aliran air sebelum menumbuk turbin sesuai dengan teori momentum van Bussel (2007) [12]. Saat tekanan pada daerah keluar turun dibawah tekanan atmosfer mengakibatkan mass flow rate yang lebih tinggi masuk melewati diffuser seperti efek vacuum [11].

3.2 C_t (Torque Coefficient)

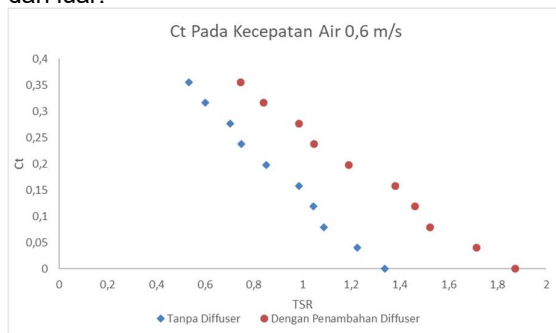
C_t (Torque Coefficient) merupakan koefisien yang digunakan untuk menentukan performa suatu turbin angin dalam self starting (putaran sendiri). Mengetahui kemampuan Self starting suatu turbin air sangatlah perlu, untuk mengetahui apakah turbin mudah berputar dalam kondisi kecepatan air yang rendah. Grafik 14 Menunjukkan C_t pada kecepatan air 0,6 m/s terbaik sebesar 0,35. Hal ini menunjukkan bahwa turbin mampu berputar dengan sendirinya pada TSR sebesar 0,53 pada turbin tanpa diffuser dan 0,74 pada turbin dengan diffuser.

Gambar 15 Menunjukkan C_t pada kecepatan air 0,75 m/s terbaik sebesar 0,227. Hal ini menunjukkan bahwa turbin mampu berputar dengan sendirinya pada TSR sebesar 0,89 pada turbin tanpa diffuser dan 1,23 pada turbin dengan diffuser.

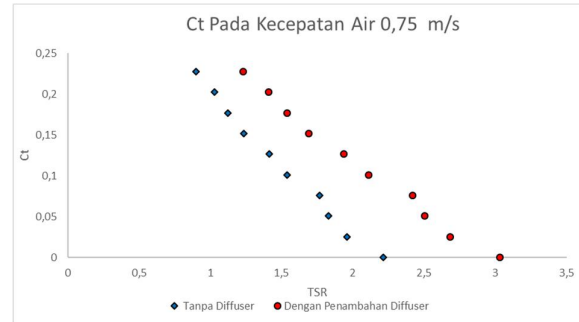
Gambar 16 Menunjukkan C_t pada kecepatan air 0,9 m/s dimana nilai terbaik didapatkan sebesar 0,158. Nilai C_t ini dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4. Hal ini menunjukkan bahwa turbin mampu berputar dengan sendirinya pada TSR sebesar 1,358 pada turbin tanpa diffuser dan 1,833 pada turbin dengan diffuser.

$$C_T = \frac{T}{0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot R \cdot V_{\infty}^2} \quad (4)$$

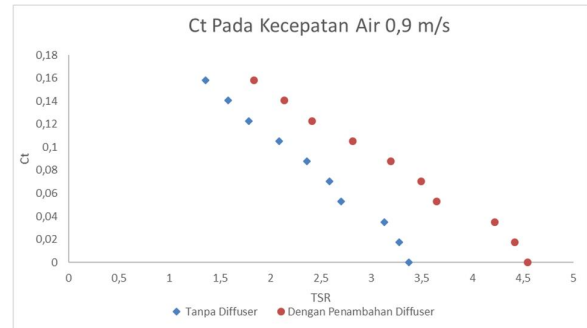
Nilai C_t semakin menurun saat kecepatan air bertambah, hal ini dikarenakan rentang pembebanan yang digunakan tetap sedangkan peningkatan kecepatan air dapat mengurangi nilai dari C_t sesuai dengan rumus dibawah ini. Akan tetapi dari nilai C_t diatas dapat diambil kesimpulan bahwa turbin masih mudah berputar dengan sendirinya tanpa memerlukan bantuan tenaga dari luar.



Gambar 14. Grafik *Torque Coefficient* Terhadap TSR pada $v = 0,6$ m/s



Gambar 15. Grafik *Torque Coefficient* Terhadap TSR pada $v = 0,75$ m/s



Gambar 16. Grafik *Torque Coefficient* Terhadap TSR pada $v = 0,9$ m/s

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. C_p tertinggi sebesar 0,3 pada TSR 2,135 pada kecepatan air 0,9 m/s dengan penambahan *diffuser*.
2. C_t tertinggi didapatkan pada kecepatan air 0,6 m/s 0,355 pada TSR 0,532 pada turbin tanpa penambahan *diffuser*.
3. Penambahan *diffuser* dapat meningkatkan C_p dikarenakan *diffuser* mampu menciptakan tekanan pada daerah keluar turun dibawah tekanan atmosfer sehingga mengakibatkan mass flow rate yang lebih tinggi masuk melewati *diffuser* seperti efek *vacuum*.
4. Telah dibuat purwarupa dalam skala laboratorium, dan dapat di skala sesuai dengan kebutuhan daya yang diinginkan.

Sementara itu, saran berdasarkan penelitian ini adalah:

1. Agar mengikuti pendanaan selanjutnya untuk mengembangkan dan meneliti cara peningkatan performa turbin air dengan metode yang lebih baik
2. Diharapkan dapat menjadikan penelitian ini sebagai acuan untuk penelitian penelitian lainnya

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Universitas Negeri Jember yang telah memberikan pendanaan pada

Program penelitian dosen Pemula Tahun Pendanaan 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Kumar, Anuj dan Saini, R.P., 2016., "Performance parameters of Savonius type hidrokinetik turbine – a review". *J. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 64 (2016), 289-310.
- [2]. Zhao, Z., Zheng, Xu.X., dan Liu, W.Hu.G., 2009., "Research on the improvement of the performance of Savonius rotor based on numerical study". *Proceeding of international conference on sustainable power generation and supply (SU-PERGEN)* (2009), P.1-6.
- [3]. Kamoji, M.A., Kedare, S.B., dan Prabhu, S.V., 2009., "Performance tests on helical Savonius rotors". *J. Renewable Energy* 34 (3)(2009), 521-9.
- [4]. Watanabe Koichi , Takahashi Shuhei ,Yuji Ohya 2016. Application of a Diffuser Structure to Vertical-Axis Wind Turbines, , *Energies* 2016, 9(6), 406; doi:10.3390/en9060406
- [5]. Lee, H.J., Lee, T.Y., dan Lim, C.H., 2015., "Effect of twist angle on the performance of Savonius wind turbine". *J. Renewable Energy* 89 (2016) 231 – 244.
- [6]. U.S. department of energy .2009.Ocean Energy Technology Overview. Prepared for the office of energy efficiency and renewable energy federal energy management program.
- [7]. V.J., Ginter PJK., 2011., "Robust gain scheduled control of a hidrokinetik turbine". *Control Syst Technol IEEE Trans* 19 (2011), 805–17.
- [8]. Khan, M.N.I., Iqbal, M.T., dan Hinchey, M. M.V., 2009., "Performance of Savonius rotor as a water current turbine". *J. Ocean Technol* 4(2) (2009),71–83.
- [9]. Guney, M.S., K. Kaygusuz, K. Hydrokinetic energy conversion systems: a technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010; 14:2996-3004.
- [10]. Ohya, Y., dan Karasudani, T., 2010., "A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind Lens Technology". *J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96(3), 634-649.
- [11]. Kosasih, B., dan Tondelli, A., 2012." Experimental Study of Shrouded Micro-Wind Turbine". *Procedia Engineering*. 49(1), 92-98.
- [12]. Shahsavarifard, M., Bibeau, L.E., dan Vijay, C., 2015. "Effect of shroud on the performance of horizontal axis hidrokinetik turbines". *J. Ocean Engineering* 96 (2015), 215–225