



TURBIN ANGIN JENIS *ICEWIND* SEBAGAI KONVERTER ANGIN KECEPATAN RENDAH UNTUK MENGHASILKAN TENAGA LISTRIK

Parlin Siagian^{1*}, Hermansyah Alam², Muhammad Fadlan³
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi

*Email: parlinsiagian@dosen.pancabudi.ac.id

ABSTRACT

Beach coastal channel between the Pantai Cermin and Malacca Strait with a maximum tidal current velocity of about 2 m/s to 5 m/s is unsuitable for installing conventional tidal turbines. This study aims to introduce a Savonius Axial wind turbine with modification called icewind, which is added to a Savonius tidal turbine to make feasible power extraction from this low-speed tidal current. For this purpose, used 3 blades for the testing apparatus without deflectors. The results show that shows that wind with low speed which is not potential for horizontal wind turbines can be utilized to produce electrical energy with a voltage that can be used for smaller scale purposes of 1000 watts. As a general result, the Savonius turbine with icewind modification deflectors is very consistent with the conditions of the coastal area channel, in which the tidal current speed is more often fewer than 5 m/s. the use of icewind in coastal areas can help generate electrical energy on a small scale.

Keywords: Turbines, Icwind, Savonius, Electrical, Tidal Current

PENDAHULUAN

Perkembangan terbaru dalam energi dan penggunaan sumber daya bumi yang tidak masuk akal menempatkan planet ini pada risiko yang signifikan. Pergerakan menuju pendekatan yang lebih efisien untuk mencapai kebutuhan energi kita yang terus meningkat tidak pernah sedesak komunitas ilmiah yang membunyikan alarm pada krisis ekologis yang sangat besar. Energi terbarukan tidak hanya merupakan cara untuk mengatasi kerusakan yang kita lakukan, tetapi juga dapat membantu membalikkan cadangan bahan bakar fosil yang terbatas.

Penggunaan sumber energi terbarukan hijau skala kecil telah meningkat secara eksponensial dalam beberapa tahun terakhir untuk mengatasi masalah tersebut. Sumber energi terbarukan terbersih di bumi adalah energi angin. Turbin angin adalah salah satu mekanisme yang populer dan signifikan untuk memanfaatkan energi dari angin. Mereka terutama dua jenis: Turbin angin sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*) dan turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*). VAWT juga terdiri dari dua jenis berdasarkan perbedaan tekanan melalui sudu: Savonius dan Darrieus. Jenis turbin ini diterapkan pada banyak teori aerodinamis yang terdiri dari airfoil (seperti jenis Darrieus) karena biaya produksi yang rendah dan cepat pengerjaannya. Bilah turbin ini menangkap udara untuk mengambil tenaga dari segala arah dengan proses self-start. Namun, tetap saja memberikan kinerja yang rendah disbanding-kan yang lain. Para peneliti terus menyempurnakan desain sudu untuk meningkatkan karakteristik kinerja utama turbin tersebut. Oleh karena itu, rotor berbasis drag harus populer karena sifatnya yang sederhana dan banyak insentif lainnya, namun efisiensi juga dapat menurun (Jiang et al., 2022).

Pemanasan global dan peningkatan emisi rumah kaca telah menjadi pendorong dan motivasi utama untuk mengembangkan sumber energi alternatif di atas bahan bakar fosil. Secara khusus, perhatian yang signifikan diberikan pada energi terbarukan dan bebas polusi, seperti energi angin dan matahari (Farhan A, Hassanpour A, Burns A, n.d.; Hongpeng L, Yu W, Rujing Y, Peng X, 2020; Kothe LB, Möller SV, 2020). Energi angin telah menjadi salah satu sumber energi alternatif yang paling layak, dengan kemajuan teknologi baru-baru ini mengarah ke desain turbin yang lebih efisien. Ada dua jenis turbin angin untuk mengekstrak



energi angin, turbin angin sumbu horizontal (HAWTs) dan turbin angin sumbu vertikal (VAWTs)(Karimian SMH, 2020)(Naseem A, Uddin E, Ali Z, Aslam J, Shah SR, Sajid M, n.d.)(Shamsoddin, S., & Porté-Agel, 2020). Desain VAWT dapat dibagi menjadi dua kategori utama; tipe angkat (Darrieus) dan tipe seret (Savonius). Turbin angin Savonius memiliki karakteristik starting yang sesuai, kecepatan operasi yang relatif rendah, struktur yang sederhana, dan dapat menangkap angin dari segala arah(Masdari M, Tahani M, Naderi MH, n.d.)(Wong KH, Chong WT, Sukiman NL, Shiah YC, Poh SC, Sopian K, n.d.). Banyak penelitian telah menyelidiki secara eksperimental dan numerik pengaruh parameter desain seperti jumlah sudu, jumlah tumpang tindih dan jarak pemisah antara bucket rotor, perubahan profil bidang penampang, pelat atas dan bawah sudu dalam keadaan statis dan dinamis dari rotor, rasio aspek rotor dan perangkat augmentasi daya untuk meningkatkan kinerja aerodinamis rotor angin Savonius.(Ferrari G, Federici D, Schito P, Inzoli F, 2017)(Sharma S, n.d.)(Fatahian H, Salarian H, Khaleghinia J, 2018) Deflektor pelat datar adalah perangkat paling sederhana di antara perangkat augmentasi daya. Deflektor mengalihkan aliran udara menjauh dari bilah turbin yang kembali, mengurangi jumlah torsi negatif dan karenanya perlambatan, yang selanjutnya mengurangi kinerja VAWT.(Stout C, Islam S, White A, Arnott S, Kollovozi E, Shaw M, n.d.) Putri dkk. (Putri NP, Yuwono T, Rustam J, Purwanto P, n.d.) mempelajari kinerja turbin Savonius yang dilengkapi dengan penghalang di hulu untuk memandu arah angin. Mereka menemukan bahwa hambatan dan bilangan Reynolds memiliki pengaruh kecil terhadap kecepatan putaran turbin yang dibebani. Di sisi lain, torsi turbin sangat dipengaruhi oleh sudut bukaan hambatan. Guo dkk.(Guo F, Song B, Mao Z, n.d.) mendemonstrasikan bahwa memasang deflektor pada turbin

TINJAUAN PUSTAKA

Savonius adalah cara yang hemat biaya untuk meningkatkan kinerja dayanya. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin rendah panjang deflektor dan semakin jauh jarak dari pusat putaran, semakin lemah pengaruhnya terhadap koefisien daya. Mohamed dkk.(Mohamed MH, Janiga G, Pap E, n.d.-b) menggunakan pelat penghalang untuk melindungi sebagian bilah yang kembali. Akibatnya, peningkatan relatif dalam koefisien keluaran daya dicapai hampir 40% dibandingkan dengan turbin Savonius standar. Takao dkk.(Takao M, Kuma H, Maeda T, Kamada Y, Oki M, 2021) secara eksperimental menganalisis pengaruh penggunaan baris baling-baling pemandu (sejenis deflektor) terhadap kinerja turbin angin Darrieus. Baris baling-baling pemandu terdiri dari tiga pelat busur, meningkatkan koefisien daya turbin kira-kira 1,8 kali rotor terbuka asli. Kim dan Gharib (Kim D, 2013) secara eksperimental mempertimbangkan output daya dari dua VAWT berbilah lurus counter-rotating berbasis angkat dengan deflektor hulu pelat datar. Mereka menyimpulkan bahwa deflektor berdampak positif pada output daya VAWT yang berputar berlawanan arah. Selain itu, geometri deflektor dan jarak dari turbin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan output daya. Mohamed dkk. (Mohamed MH, Janiga G, Pap E, n.d.-a) menggunakan pelat pelindung penghalang di depan bilah balik rotor Savonius yang menurunkan momen lawan turbin. Oleh karena itu, meningkatkan momen total turbin. Koefisien output daya meningkat sekitar 38,9% dibandingkan dengan rotor Savonius konvensional.

Dari tinjauan pustaka, penempatan deflektor di depan turbin angin untuk meningkatkan kinerjanya merupakan metode yang menarik perhatian para peneliti akhir-akhir ini. Perlu dicatat bahwa sebagian besar penelitian sebelumnya yang tersedia dalam literatur memiliki kelemahan yang sama, yaitu kurangnya investigasi dampak parah dari intensitas turbulensi tinggi dan zona bangun yang tercipta di belakang deflektor padat



konvensional. Ini secara signifikan memengaruhi perilaku aliran, terutama di sekitar bilah yang kembali. Terbukti bahwa bilah balik menghasilkan torsi negatif yang menurunkan torsi total dan daya keluaran turbin Savonius. Penelitian ini mengusulkan sistem deflektor baru yang dikembangkan oleh zona berpori, yaitu deflektor berpori. Pengaturan ini digunakan untuk membelokkan angin yang datang ke depan bilah yang kembali dan mengarahkannya ke arah bilah yang maju. Selain itu, digunakan untuk mengontrol dan mengurangi efek negatif dari zona bangun tersebut. Untuk mencapai tujuan tersebut, beberapa studi numerik dilakukan untuk mempertimbangkan variasi porositas, posisi, dan ketinggian deflektor untuk mendapatkan kinerja turbin Savonius yang paling sesuai. Selain peningkatan kinerja turbin Savonius, pada kedua deflektor, bentuk sudu turbin tidak berubah sehingga tidak menambah material tambahan pada sudu yang membebani keseluruhan rotor. Dengan demikian, kerumitan dan biaya pembuatan tidak bertambah. Meskipun dapat disimpulkan bahwa pembuatan deflektor berpori tidak semudah pembuatan deflektor padat, menggunakan bahan yang sesuai seperti busa logam dan keramik dapat menjadi solusi untuk menurunkan biaya. (Saad et al., 2021)

Awal Design Turbin Angin

Kelayakan metode ANN telah ditunjukkan untuk memperkirakan daya dan torsi dari tiga ember VAWT. Rasio overlap blade, TSR, dan kecepatan sudut turbin dipilih sebagai variabel masukan (Fatahian H, Salarian H, Khaleghinia J, 2022; Marini, 2020). Simulasi CFD seringkali mampu menggantikan pengujian laboratorium karena fleksibilitasnya untuk merancang bentuk kompleks dari keseluruhan perangkat. Studi sebelumnya difokuskan pada analisis turbin angin Savonius konvensional, dan sangat sedikit dari mereka yang memiliki desain yang dimodifikasi. Namun, kinerja bilah yang dimodifikasi ini buruk; ada banyak cakupan untuk meningkatkan model ini. Studi ini menyelidiki karakteristik aero-dinamis dari desain modifikasi yang diusulkan dan membandingkan kinerja dengan model referensi.

Energi terbarukan adalah solusi yang layak untuk memenuhi permintaan energi dunia yang terus meningkat. Di antara sumber energi terbarukan yang bersih, energi angin adalah bentuk yang paling banyak digunakan. Pada tahun 2019, kapasitas pemanenan energi angin global meningkat sebesar 60,4 GW. Ini 19% lebih tinggi dari tahun sebelumnya (*Global Wind Report 2019 | Global Wind Energy Council. <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>. [Accessed 02 September 2020].*, 2020). Menurut Global Wind Report 2021, energi angin memiliki kapasitas pembangkitan energi global sekitar 743 GW (*Global Wind Report, 2021 - JournalsOfIndia. 2021, <https://journalsofindia.com/global-wind-report-2021/>. [Accessed 31 May 2021]*, n.d.). Meluasnya penggunaan energi angin di setiap sektor yang memungkinkan telah menjadi bukti. Oleh karena itu, selain dari proyek turbin angin (WT) darat dan lepas pantai skala besar, WT kecil atau mikro, terutama di daerah terpencil atau perkotaan, semakin populer (Loganathan Bavin, Mustary Israt, Chowdhury Harun, n.d.) (Salam Gp Capt Abdus, Ali MA Taher, AnwarulAziz SM, Iqbal Asif, MijanurRah man Md, n.d.) (Sultana Kaniz Ronak, Mandal Amalesh Chandra, n.d.). Selain turbin angin sumbu horizontal tradisional (HAWT), turbin angin sumbu vertikal (VAWT) mendapatkan perhatian yang cukup besar, terutama untuk ladang angin skala kecil (Khorsand Iman, Kormos Christine, MacDonald Erin G, n.d.) (Simic Zdenko, Havelka Juraj George, n.d.). Kinerja VAWT tidak terpengaruh oleh perubahan arah angin. Selain itu, karena memiliki bagian yang bergerak lebih sedikit, menghasilkan lebih sedikit kebisingan dan membutuhkan lebih sedikit perawatan. Akibatnya, mereka beradaptasi dengan baik dengan lingkungan perkotaan [8]. Berdasarkan gaya kerja aerodinamis, VAWT selanjutnya diklasifikasikan menjadi turbin angin Savonius ((drag/seret type), dan turbin angin Darrieus ((lift/angkat type). Meskipun efisiensinya rendah, turbin Savonius mendapatkan popularitas karena torsi



awal yang tinggi. Sebaliknya, turbin Darrieus memiliki koefisien daya (C_p) yang lebih tinggi dan kurang rentan terhadap angin turbulen (Balduzzi Francesco, Bianchini Alessandro, Carnevale Ennio Antonio, Fer rari Lorenzo, n.d.)(Wu et al., 2022)(Ghasemian Masoud, Ashrafi Z Najafian, 2022). Namun, torsi awal yang lebih rendah dan desain yang rumit membuat turbin Darrieus lebih mahal (Hand Brian, Kelly Ger, 2022)(Mohan Kumar Palanisamy, Surya M Mohan Ram, Narasimalu Srikanth & Cheng., n.d.). Selama dua dekade terakhir, turbin angin Savonius (SWT) lebih disukai daripada HAWT dan DWT oleh para peneliti dan pengembang karena keandalannya yang lebih baik dan kemampuan memulai sendiri. SWT dapat memberikan kinerja yang memuaskan di daerah perkotaan, seperti atap gedung, pembatas jalan raya, dan area dekat rel kereta api (Tasneem Zinat, Al Noman Abdullah, Das Sajal K, Saha Dip K & Ali Md Firoj, n.d.)(Kumar Rakesh, Raahemifar Kaamran, n.d.)(Reja RK, Amin Ruhul, Tasneem Zinat, Ali Md Firoj & Saha Dip Kumar, n.d.). Sistem energi angin berbasis SWT juga efektif untuk membangkitkan listrik di desa-desa terpencil. Desain SWT yang ada telah digunakan untuk pembangkit listrik hidrokinetik yang cukup efisien (Kumar Anuj, n.d.). Oleh karena itu, dapat dianggap sebagai turbin angin yang layak untuk menghindari krisis energi di masa depan. Selanjutnya, desain yang tepat dan optimalisasi pisau SWT diperlukan untuk memastikan keandalannya. Studi tentang faktor desain blade, pendekatan augmentasi, dan penggunaan algoritme pembelajaran mesin untuk pengoptimalan sedang dilakukan. Selain kriteria klasik seperti geometri sudu dan jumlah sudu, rasio aspek, dan rasio tumpang tindih, studi memprioritaskan fitur baru seperti scooplet, baling-baling pemandu segala arah (ODGV), sudu berlubang, pelat deflektor, dan turbin angin radial. Peneliti mengklaim telah memperoleh koefisien daya yang lebih tinggi dari yang dilaporkan sebelumnya. Selain itu, dalam beberapa tahun terakhir, tren baru dalam pengoptimalan blade berbasis AI telah muncul. Saat ini, berbagai teknik pembelajaran mesin digunakan secara luas untuk meningkatkan kinerja blade. Dibandingkan dengan teknik berbasis simulasi sebelumnya, metode optimasi ini lebih akurat dan hemat biaya.

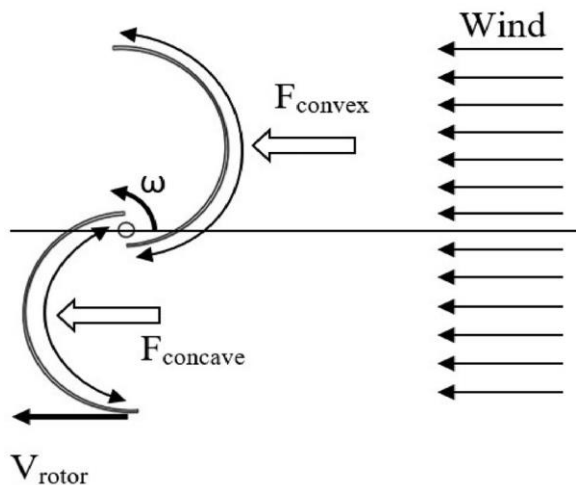
Karena ini adalah bidang penelitian yang menjanjikan, beberapa studi dan ulasan telah dilakukan dalam hal ini. Tabel 1 menyajikan penjelasan lengkap ulasan terbaru dan membandingkannya dengan studi ulasan ini. Alom dan Saha (Alom Nur, 2019) mendemonstrasikan, efek dari berbagai metode augmentasi dan augmenter pada C_p SWT selama empat dekade terakhir. Sebuah artikel ulasan yang disajikan dalam (Wong Kok Hoe, Chong Wen Tong, Sukiman Nazatul Liana & Shiah Yui-Chuin, n.d.) membahas dampak dari berbagai teknik augmentasi aliran pada C_p VAWT serta HAWT, dan mengumpulkan informasi optimal mengenai teknologi augmentasi untuk penelitian di masa depan. Metode desain VAWT yang berbeda dan penggabungan informasi desain turbin optimal dari perspektif aerodinamis telah dianalisis di (Barnes Andrew, Marshall-Cross Daniel, 2019). Namun, makalah ulasan lain telah membahas studi yang berfokus pada aspek geometri dan aerodinamis SWT yang bertujuan untuk mencapai ekstraksi daya maksimum (Alom Nur, 2019). Peluang dan tantangan VAWT, khususnya untuk penerapannya di perkotaan juga dianalisis dalam (Kumar Rakesh, Raahemifar Kaamran, 2018). Roy dan Saha dalam (Roy Sukanta, n.d.) menyoroti pengaruh bahan pisau, rasio tumpang tindih, dan rasio aspek pada koefisien daya (C_p) dari SWT.

Dari beberapa percobaan yang dilakukan memberikan dampak penambahan pelat deflektor, nosel dan saluran, tabir, beberapa tahapan yang memengaruhi perilaku rotor Savonius, dan beberapa teknik augmentasi SWT. Penelitian terbaru mengungkapkan bahwa turbin angin Savonius berpotensi menjadi solusi yang layak untuk masalah kekurangan energi global. Keandalan dan kapasitas turbin yang lebih tinggi untuk bekerja dalam berbagai kondisi angin menjadikannya prospek yang sempurna untuk produksi energi dalam waktu dekat. Namun jika dibandingkan dengan turbin lain, efisiensi SWT cukup rendah.

Konsekuensinya, diperlukan struktur, rencana, dan peta jalan yang tepat untuk meningkatkan kinerja SWT. Dengan demikian SWTs masa depan dapat diharapkan untuk tampil lebih baik dalam hal efisiensi, kelayakan ekonomi dan kehandalan. Selain parameter desain dan augmentasi blade, pentingnya pengoptimalan berbasis ML diharapkan memainkan peran penting dalam pengembangan blade SWT generasi mendatang. Dalam sebuah studi melakukan pendekatan pengoptimalan berbasis Artificial Intelligent yang hasilnya ternyata sederhana, cepat, dan hemat biaya. Berdasarkan analisis evolusi blade SWT dan tren penelitian terkini, makalah ini juga menyajikan kerangka kerja dengan potensi SWT, tantangan dalam desain SWT generasi mendatang dan kemungkinan solusinya, serta pendekatan optimalisasi SWT.

Latar belakang teoritis

Turbin angin Savonius beroperasi sebagai turbin yang paling sederhana karena kekuatan masing-masing rotor yang berbeda. Bagian cekung yang diisi angin menyerap udara dan menyebabkan bilah rotor berputar, sedangkan bagian cembung bertemu dengan udara untuk melepaskan diri di sekitar poros secara lateral. Saat bergerak ke arah angin, kelengkungan bilah memiliki gaya tarik yang lebih rendah daripada yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (M.A. Akbar, 2021). Dengan demikian, bilah cekung menggerakkan rotor dengan gaya seret yang lebih besar.



Gambar 1. Dua bilah dengan gaya seret turbin angin Savonius(M.A. Akbar, 2021)

Dalam rotor dua-tahap, satu rotor satu-tahap individu dipasang di atas rotor satu-tahap lainnya. rotor dengan sudut fasa 90° . Dalam rotor tiga tahap, rotor tiga tahap tunggal dipasang satu di atas yang lain dengan sudut fasa 60° sedangkan sudut fasa 45° digunakan untuk desain empat tahap. Selain itu, satu set rotor Savonius lainnya dipertimbangkan dengan satu tahap dan rasio aspek yang berbeda mulai dari 1 hingga 4. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar, (d) adalah tali busur; (D) adalah diameter rotor; dan (D_o) adalah diameter pelat ujung. Rotor dikenai kecepatan angin tidak terdistribusi (V_∞) dan berputar dengan kecepatan sudut (ω). Sudut puntir (ϕ) dapat didefinisikan sebagai sudut antara ujung bawah dan ujung atas bilah yang dipuntir dan dipilih menjadi 45° sesuai dengan hasil Saad et al. (Ferdoues MS, Ebrahimi S, n.d.-a) dan Lee dkk. (Inc., 2012). Semua rotor memiliki diameter (D) 200 mm, ketebalan (t) 2 mm, dan tinggi stage (h) 200 mm. Rasio aspek stage yang didefinisikan sebagai rasio antara tinggi stage (h) dan diameter rotor (D) adalah 1,0. Perlu disebutkan bahwa rasio aspek stage untuk semua rotor multi-stage dijaga konstan pada nilai 1,0. Rasio tumpang tindih (δ) yang merupakan rasio jarak tumpang tindih antara bilah



rotor di setiap tahap dan panjang tali busur diambil menjadi $\delta = 0,0$ berdasarkan (Kumar A, n.d.)(Ferdoues MS, Ebrahimi S, n.d.-b) untuk bilah bengkok. Semua rotor memiliki dua bilah di setiap tahap untuk kinerja yang lebih baik menurut Sheldahl et al. (FR., 1994) dan Emmanuel et al. (Talukdar PK, Sardar A, Kulkarni V, n.d.). Pelat ujung yang digunakan dalam penelitian ini memiliki profil lingkaran (Howell R, Qin N, Edwards J, n.d.) dengan diameter (D_o) sama dengan 1,1 diameter rotor (D)(Roshan A, Sagharichi A, n.d.).

Analisis Teoritis

Karena aliran di atas turbin angin yang berputar sangat kompleks, Simulasi Eddy Besar (LES) dilaporkan memberikan hasil yang sangat akurat. Namun, secara komputasi lebih mahal daripada model turbulensi RANS. Model turbulensi RANS tetap menjadi pemecah CFD utama untuk aerodinamika VAWT karena hasil yang akurat dan biaya komputasi yang masuk akal [33]. Selanjutnya, kesepakatan yang baik antara hasil prediksi saat ini dengan menggunakan model turbulensi RANS dan data eksperimen yang tersedia diperoleh untuk rotor Savonius dengan bilah lurus dan bengkok. Dengan demikian, model aliran turbulen tiga dimensi yang tidak stabil dan tidak dapat dimampatkan menggunakan persamaan Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) dikembangkan untuk mengevaluasi kinerja desain yang diusulkan dari rotor Savonius. Konservasi massa yang mengatur dan persamaan momentum untuk aliran turbulen inkompresibel Newtonian yang tidak stabil dapat ditemukan di (Kerikous E, n.d.-a). Banyak investigasi melaporkan bahwa model turbulensi $k-\omega$ shear stress transport (SST) adalah model yang paling tepat untuk simulasi kinerja rotor angin Savonius dalam hal hasil yang akurat dan biaya komputasi yang masuk akal (Kerikous E, n.d.-b)(Jin X, Wang Y, Ju W, He J, 2022). Model turbulensi $k-\omega$ shear stress transport (SST) merupakan kombinasi dari elemen unggulan model turbulensi $k-\omega$ dan $k-\epsilon$. Ini menggunakan model turbulensi $k-\omega$ di bagian dalam lapisan batas dan secara bertahap beralih ke model turbulensi $k-\epsilon$ standar di daerah bangun dari lapisan batas dan lapisan geser bebas (Fatahian H, Salarian H, Khaleghinia J, 2022). Transisi antara kedua model ini didasarkan pada fungsi pencampuran. Fungsi pencampuran ini adalah satu di wilayah sublapisan dan logaritmik lapisan batas dan secara bertahap beralih ke nol di wilayah bangun dan lapisan geser bebas. Keunggulan lain dari model turbulensi SST $k-\omega$ adalah bahwa formulasi viskositas eddy dimodifikasi untuk memperhitungkan efek transportasi tegangan geser turbulen. Transportasi tegangan geser turbulen ini penting untuk memprediksi aliran gradien tekanan merugikan yang parah (Roy Sukanta, Mukherjee Prasenjit, 2014). Saad dkk. (Saad Ahmed S, El-Sharkawy Ibrahim I, Ookawara Shinichi, n.d.) membandingkan hasil numerik yang diperoleh dengan menggunakan empat model turbulensi, termasuk model $k-\epsilon$ standar, model $k-\epsilon$ yang dapat direalisasikan, model $k-\epsilon$ RNG, dan model turbulensi $k-\omega$ SST dengan pengukuran Fujisawa(El-Askary WA, Nasef MH, Abdel-Hamid AA, 2021). Disimpulkan bahwa model turbulensi SST $k-\omega$ memiliki hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan model turbulensi yang digunakan lainnya. Hal serupa juga dilaporkan oleh Ostos et al. (Salleh Mohd Badrul, Kamaruddin Noorfazreena M, n.d.) bahwa model turbulensi transpor tegangan geser $k-\omega$ mampu memprediksi kinerja rotor Savonius dengan baik. Oleh karena itu, model turbulensi SST $k-\omega$ telah dipilih untuk perhitungan saat ini. Persamaan transpor untuk model turbulensi $k-\omega$ SST dapat dilihat pada (Emmanuel Binyet, 2011).

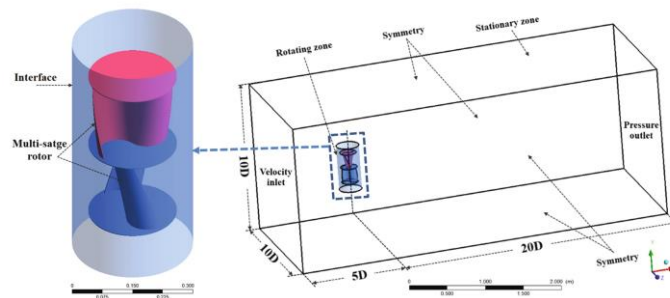


Fig. 3. Schematic layout of the computational domain dimensions and boundary conditions.

Gambar 2. Tata letak skema dimensi domain komputasi dan kondisi batas. (Saad et al., 2021)

Parameter kinerja

Rasio kecepatan tip (λ) adalah parameter non-dimensi signifikan yang digunakan untuk menggambarkan variabel yang mempengaruhi kinerja rotor Savonius. Ini dapat didefinisikan sebagai rasio kecepatan ujung rotor (u_t) dan kecepatan angin aliran bebas (V_∞) (Mahmoud NH, El-Haroun AA, Wahba E, 2012) dan diberikan oleh: λ

$$\lambda = \frac{u_t}{V_\infty} = \frac{\omega \times d}{V_\infty} \quad (1)$$

Kinerja rotor Savonius sering diberikan oleh rasio antara daya mekanik aktual yang dihasilkan oleh rotor dengan daya teoritis angin yang datang dan didefinisikan sebagai koefisien daya (C_p) (El-Askary WA, Saad AS, AbdelSalam AM, 2021b).

$$C_p = \frac{P}{P_{teori}} = \frac{T \times \omega}{0,5 \rho \times A \times V_\infty^3} \quad (2)$$

dimana: A adalah area proyeksi rotor dan dapat didefinisikan sebagai $A = D \times H$; T adalah torsi bersih yang dihasilkan oleh seluruh rotor pada kondisi berputar. Koefisien torsi dinamis (C_T) adalah parameter non-dimensi yang menunjukkan karakteristik torsi yang dihasilkan selama putaran rotor Savonius. Untuk satu siklus penuh, torsi rata-rata menunjukkan pembangkitan daya oleh rotor Savonius dan (C_T) dapat dihitung dengan persamaan yang diberikan seperti di bawah ini (El-Askary WA, Saad AS, AbdelSalam AM, 2021a):

$$C_T = \frac{4T}{\rho \times V_\infty^2 \times A \times D} \quad (3)$$

Koefisien daya (C_p) dan torsi (C_T) dapat dikorelasikan sebagai berikut:

$$C_p = C_T \times \lambda \quad (4)$$

Koefisien torsi statis (C_{TS}) adalah parameter non-dimensi untuk menilai kemampuan start awal turbin, dan dirumuskan sebagai berikut:

$$C_{TS} = \frac{4T_s}{\rho \times V_\infty^2 \times A \times D} \quad (5)$$

Dimana T_s adalah torsi yang dihasilkan rotor pada kondisi statis atau tidak bergerak. Koefisien gaya dorong dapat didefinisikan sebagai gaya dorong total per unit luas frontal turbin per unit tekanan dinamis yang tidak dapat dimampatkan. Dalam kondisi stasioner, koefisien gaya dorong statis (C_{HS}) dihitung dari Persamaan. (6), sedangkan pada kondisi



berputar, koefisien gaya dorong dinamis (C_H) dihitung dari Persamaan. (7)(Saad et al., 2021).

$$C_{HS} = \frac{F_{HS}}{0.5\rho \times A \times v_{\infty}^2} \quad (6)$$

$$C_H = \frac{F_H}{0.5\rho \times A \times v_{\infty}^2} \quad (7)$$

dimana: F_{HS} dan F_H masing-masing mewakili gaya dorong total rotor pada kondisi statis dan dinamis.

METODE PENELITIAN

Materi Penelitian

Penelitian ini terkait dengan adanya permasalahan tentang analisis adanya aliran udara pada tempat dengan kecepatan rendah. Aliran udara yang rendah digunakan untuk menguji putaran turbin yang diteliti. Alat ukur digunakan untuk mencatat data yang diperoleh dan dilakukan analisa. Kecepatan angin tersebut secara teori memberikan potensi untuk dilakukannya perancangan pembangkit listrik tenaga angin. Untuk menentukan kapasitas turbin dan generator pembangkit tenaga angin perlu adanya analisis tentang kecepatan angin. Hal ini menimbulkan keinginan untuk membuat suatu analisis tentang potensi kecepatan angin di wilayah yang menjadi lokasi penelitian yang diuji.

Prosedur Penelitian:

Adapun Prosedur penelitian yang akan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan titik ukur kecepatan angin ditempat penelitian dengan kecepatan di bawah 5 m/s.
2. Di titik ukur yang telah ditentukan berdasarkan arah angin di pasang tiang yang tinggi untuk mendapatkan angin yang lebih besar.
3. Melakukan pengambilan sampel dengan tempat yang berpindah-pindah.
4. Pengukuran ini dilakukan secara berulang-ulang dengan time yang terskala untuk mendapatkan data akurat tentang kecepatan angin di arah angin yang berbeda/ hasil yang tertera di dalam alat akan dilakukan pencatatan secara komprehensif.
5. Hasil kecepatan angin akan dilakukan analisis untuk menentukan turbin yang digunakan
6. Mendesain turbin
7. Membuat turbin jenis rotor Savonius
8. Melakukan ujicoba turbin di titik yang pernah diukur di lokasi penelitian
9. Melakukan analisis data hasil ujicoba turbin

Parameter Yang Diamati

Adapun parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah:

1. Arah angin
2. Kecepatan angin
3. Kecepatan putar turbin oleh angin di lokasi penelitian
4. Daya yang dihasilkan generator listrik yang diputar turbin.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi Penelitian : Medan dan Kabupaten Deli Serdang.

Waktu Penelitian : 3 (tiga) bulan



Jenis dan Ruang Lingkup Penelitian

Jenis Penelitian : Eksperimen (percobaan), data menggunakan data kuantitatif

Ruang Lingkup Penelitian : Desain turbin mini jenis rotor Savonius dan diujicoba di lokasi dengan angin kecepatan rendah. Listrik yang dihasilkan diukur sebagai converter energi menjadi listrik.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara pemasangan alat pengukur kecepatan angin kemudian mencatat data kecepatan angin di alat pengukur kecepatan angin berdasarkan eksperimen (percobaan) di lapangan sesuai dengan tahapan percobaan yang dilakukan. Merancang turbin untuk diujicoba sesuai dengan kecepatan angin yang telah diukur.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah diameter rotor Turbin jenis Savonius sesuai dengan kecepatan angin, dengan sampel penelitian kecepatan angin di lokasi penelitian, tinggi turbin, diameter blade, kapasitas dynamo penghasil listrik dan waktu pengukuran.

Metode Analisis Data

Adapun metode analisis dilakukan dengan melakukan kegiatan atau aktivitas melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Tahap I: Melakukan Survey ke lapangan, yaitu melihat kondisi kecepatan angin di lokasi penelitian di Medan dan Deli Serdang dan melihat kondisi alam serta serta mengambil data-data yang diperlukan untuk menunjang penelitian ini.
2. Tahap II: Melakukan pemasangan alat pada titik ukur yang telah di tetapkan sesuai dengan arah angin di lokasi penelitian.
3. Tahap III: Melakukan pencatatan-pencatatan data kecepatan angin di lokasi penelitian untuk melihat variable data kecepatan angin yang di rekam dalam alat pengukur kecepatan angin yang telah di pasang pada wilayah penelitian sesuai dengan titik ukur yang telah di tetapkan dan mengulangi pengukuran untuk beberapa titik lainnya.
4. Tahap IV: Melakukan Pengelompokan data-data kecepatan angin yang telah di catat di di kumpulkan secara komprehensif sesuai dengan skala waktu yang telah di tetapkan dalam proses pengukuran di lokasi penelitian. Dalam tahap ini perhitungan yang dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari keadaan di lapangan.
5. Tahap V: Melakukan analisis data sesuai dengan pengelompokan data kecepatan angin yang telah tersusun secara terstruktur dengan akurat dan benar sesuai dengan data yang di peroleh di lapangan.
6. Tahap VI: Merancang turbin dan membuat turbin yang ukurannya disesuaikan dengan data angin yang diperoleh.
7. Tahap VII: merangkai turbin dengan generator mini
8. Tahap VIII: melakukan ujicoba turbin dan generator di lokasi penelitian dan mencatat daya yang dihasilkan turbin dan generator.
9. Tahap IX: melakukan analisis potensi listrik yang dihasilkan turbin.
10. Tahap X: Menyusun dan mengumpulkan data hasil analisis daya listrik yang dihasilkan turbin yang telah di lakukan. Selanjutnya data yang telah terkumpul dan tersusun akan di deskripsikan dalam laporan lengkap penelitian.
11. Tahap XI: Melaksanakan Pengabdian Masyarakat implementasi hasil penelitian
12. Tahap XII: Penulisan Laporan Kegiatan Penelitian.

HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

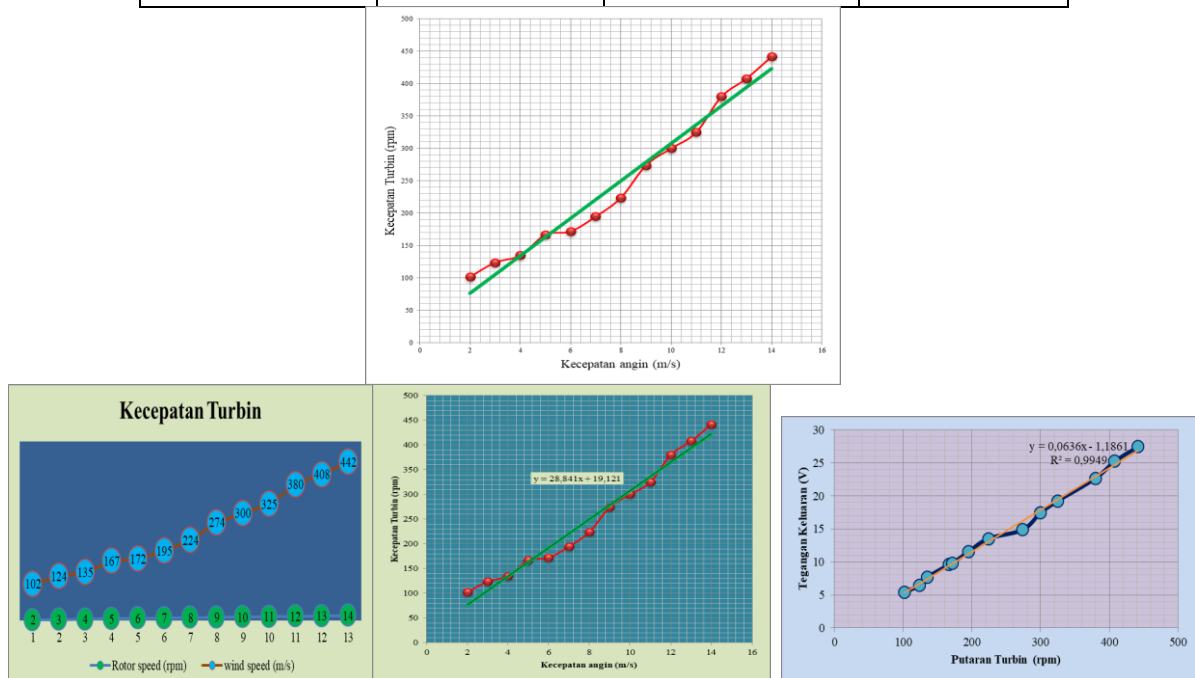
Hasil Penelitian

Setelah selesai perakitan turbin dilakukan percobaan dengan memberikan angin dengan kecepatan bervariasi. Alat yang digunakan sebagai sumber angin adalah blower dan mengukur kecepatan angin dengan anemometer.

Dengan membuat simulasi angin dan mengukur tegangan keluaran generator mini diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 1. Hubungan Kecepatan angin terhadap putaran turbin

Rotor speed (rpm)	wind speed (m/s)	Rotor speed (rpm)	wind speed (m/s)
2	102	10	300
3	124	11	325
4	135	12	380
5	167	13	408
6	172	14	442
7	195		
8	224		
9	274		



Gambar 3. Grafik kecepatan angin dan turbin

Jika kita lihat trend dari kecepatan angin adalah linier terhadap putaran turbin. Turbin berputar dengan kecepatan rendah dan dapat menghasilkan putaran turbin. Jika dihubungkan dengan generator mini akan dapat membangkitkan ggl listrik (E). Ggl listrik yang dihasilkan generator pada putaran turbin yang bervariasi.

Diskusi

Berisikan pembahasan hasil penelitian yang dijabarkan untuk menjawab hipotesis penelitian dengan menyajikan hasil penelitian yang dikaitkan dengan temuan penelitian di



lapangan, pendapat para ahli, teori yang berkaitan hingga penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini.

KESIMPULAN

Turbin jenis icewind dapat berputar pada angin kecepatan rendah mulai dari 2 m/s. Listrik dapat dibangkitkan dengan menggunakan generator mini

REFERENSI

- Alom Nur, S. U. K. (2019). Evolution and progress in the development of Savonius wind turbine rotor blade profiles and shapes. *J Solar Energy Eng*, 141((3)).
- Balduzzi Francesco, Bianchini Alessandro, Carnevale Ennio Antonio, Fer rari Lorenzo, M. S. (n.d.). Feasibility analysis of a Darrieus vertical_ axis wind turbine installation in the rooftop of a building. *Appl Energy*, 97:, 921–929.
- Barnes Andrew, Marshall-Cross Daniel, H. B. R. (2019). Towards a standard approach for future vertical axis wind turbine aerodynamics research and development. *Renew Sustain Energy*, 148, 111221.
- El-Askary WA, Nasef MH, Abdel-Hamid AA, G. H. (2021). Harvesting wind energy for improving performance of Savonius rotor. *J Wind Eng Ind Aerodyn*, 139:, 8–15.
- El-Askary WA, Saad AS, AbdelSalam AM, S. I. (2021a). Experimental and theoretical studies for improving the performance of a modified shape Savonius wind turbine. *J Energy Resour Technol.*, 142((12)).
- El-Askary WA, Saad AS, AbdelSalam AM, S. I. (2021b). Investigating the performance of a twisted modified Savonius rotor. *J Wind Eng Ind Aerodyn.*, 1((182):), 344–55.
- Emmanuel Binyet, J. W. (2011). Numerical study of a six-bladed Savonius wind turbine. *J Solar Energy Eng*, 133((4)).
- Farhan A, Hassanpour A, Burns A, M. Y. (n.d.). Numerical study of effect of winglet planform and airfoil on a horizontal axis wind turbine performance. *Renew Energy*, 131, 1255–73.
- Fatahian H, Salarian H, Khaleghinia J, F. E. (2018). Improving the efficiency of a Savonius vertical axis wind turbine using an optimum parameters. *Computational Research Progress in Applied Science & Engineering (CRPASE)*, 4, 27–32.
- Fatahian H, Salarian H, Khaleghinia J, F. E. (2022). Improving the efficiency of a Savonius vertical axis wind turbine using an optimum parameters. *Computational Research Progress in Applied Science & Engineering (CRPASE)*, 4:, 27–32.
- Ferdoues MS, Ebrahimi S, V. K. (n.d.-a). Multi-objective optimization of the design and operating point of a new external axis wind turbine. *Energy*, 125:, 643–53.
- Ferdoues MS, Ebrahimi S, V. K. (n.d.-b). Multi-objective optimization of the design and operating point of a new external axis wind turbine. *Energy*, 125, 643–53.
- Ferrari G, Federici D, Schito P, Inzoli F, M. R. (2017). CFD study of Savonius wind turbine: 3D model validation and parametric analysis. *Renew Energy*, 105:, 722–34.
- FR., M. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering appli_cations. *AIAA J*, ;32((8):), 1598–605.
- Ghasemian Masoud, Ashrafi Z Najafian, S. A. (2022). A review on com_ putational fluid dynamic simulation techniques for darrieus vertical axis wind turbines. *Energy Convers Manage*, 149:, 87–100.
- Global Wind report, 2021 - JournalsOfIndia*. 2021, <https://journalsofindia.com/global-wind-report-2021/>. [Accessed 31 May 2021]. (n.d.).
- Global wind report 2019 | Global Wind Energy Council*. <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>. [Accessed 02 September 2020]. (2020).



- Guo F, Song B, Mao Z, T. W. (n.d.). Experimental and numerical validation of the influence on Savonius turbine caused by rear deflector. *Energy*, 117132.
- Hand Brian, Kelly Ger, C. A. (2022). Aerodynamic design and performance parameters of a lift-type vertical axis wind turbine: A comprehensive review. *Renew Sustain Energy*, 139:, 110699.
- Hongpeng L, Yu W, Rujing Y, Peng X, Q. W. (2020). Influence of the modification of asymmetric trailing-edge thickness on the aerodynamic performance of a wind turbine airfoil. *Renew Energy*, 147, 1623–31.
- Howell R, Qin N, Edwards J, D. N. (n.d.). Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine. *Renew Energy*, 35((2):), 412–22.
- Inc., A. (2012). Fluent ANSYS. 14.5 Theory Guide. *Canonsburg, PA, USA*:
- Jiang, R., Zhao, Z., Liu, H., Wang, T., Chen, M., Feng, J., & Wang, D. (2022). Numerical study on the influence of vortex generators on wind turbine aerodynamic performance considering rotational effect. *Renewable Energy*, 186, 730–741.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.026>
- Jin X, Wang Y, Ju W, He J, X. S. (2022). Investigation into parameter influence of upstream deflector on vertical axis wind turbines output power via three-dimensional CFD simulation. *Renew Energy*, 115:, .41–53.
- Karimian SMH, A. A. (2020). *Performance investigation of a new Darrieus Vertical Axis Wind Turbine. Energy*. 191, 1165.
- Kerikous E, T. D. (n.d.-a). Optimal shape and position of a thick deflector plate in front of a hydraulic Savonius turbine. *Energy*, 189:, 116157.
- Kerikous E, T. D. (n.d.-b). Optimal shape of thick blades for a hydraulic Savonius turbine. *Renew Energy*, 134:, 629–38.
- Khorsand Iman, Kormos Christine, MacDonald Erin G, C. C. (n.d.). Wind energy in the city: An interurban comparison of social acceptance of wind energy projects. *Energy Res Soc Sci*, 8:, 66–77.
- Kim D, G. M. (2013). Efficiency improvement of straight-bladed vertical-axis wind turbines with an upstream deflector. *J Wind Eng Ind Aerodyn*, 115, 48–52.
- Kothe LB, Möller SV, P. A. (2020). Numerical and experimental study of a helical Savonius wind turbine and a comparison with a two-stage Savonius turbine. *Renew Energy*, 148, 627–638.
- Kumar A, S. R. (n.d.). Performance analysis of a single stage modified Savonius hydrokinetic turbine having twisted blades. *Renew Energy*, 113, 461–78.
- Kumar Anuj, S. R. (n.d.). Performance parameters of Savonius type hydrokinetic turbine—A review. *Renew Sustain Energy*, 2016;(64:), 289–310.
- Kumar Rakesh, Raahemifar Kaamran, F. A. S. (n.d.). A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications. *Renew Sustain Energy*, 89:, 281–291.
- Kumar Rakesh, Raahemifar Kaamran, F. A. S. (2018). A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications. *Renew Sustain Energy Rev*, 89:, 281–91.
- Loganathan Bavin, Mustary Israt, Chowdhury Harun, A. F. (n.d.). Effect of sizing of a Savonius type vertical axis micro wind turbine. *Energy Procedia*, 110:, 555–60.
- M.A. Akbar, V. M. (2021). A new approach for optimization of Vertical Axis Wind Turbines,. *Jnl. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 153, 34–45.
- Mahmoud NH, El-Haroun AA, Wahba E, N. M. (2012). An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. *Alex Eng J*, 51((1):), 19–25.
- Marini, I. (2020). *Computational analysis of Savonius wind turbine modifications including novel scooplet-based design attained via smart numerical optimization*. 262.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121310>



- Masdari M, Tahani M, Naderi MH, B. N. (n.d.). Optimization of airfoil Based Savonius wind turbine using coupled discrete vortex method and salp swarm algorithm. *J Cleaner Prod*, 222:, 47–56.
- Mohamed MH, Janiga G, Pap E, T. D. (n.d.-a). Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an obstacle shielding the returning blade. *Energy Convers Manage*, 52((1)), 236–242.
- Mohamed MH, Janiga G, Pap E, T. D. (n.d.-b). Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade. *Renew Energy* 2, 35((11)), 2618–26.
- Mohan Kumar Palanisamy, Surya M Mohan Ram, Narasimalu Srikanth, L. T. -, & Cheng. (n.d.). Experimental and numerical investigation of novel Savonius wind turbine. *Wind Eng*, 43((3):), 247–62.
- Naseem A, Uddin E, Ali Z, Aslam J, Shah SR, Sajid M, et al. (n.d.). *Effect of vortices on power output of vertical axis wind turbine (VAWT)*. *Sustainable Energy Technol Assess*. 37, 100586.
- Putri NP, Yuwono T, Rustam J, Purwanto P, B. G. (n.d.). Experimental studies on the effect of obstacle upstream of a Savonius wind turbine. *S. N Appl Sci*, 1((10)), 1216.
- Reja RK, Amin Ruhul, Tasneem Zinat, Ali Md Firoj, I. M. R., & Saha Dip Kumar, et al. (n.d.). A review of the evaluation of urban wind resources: Challenges and perspectives. *Energy Build*, 111781.
- Roshan A, Sagharichi A, M. M. (n.d.). Nondimensional Parameters' Effects on Hybrid Darrieus-Savonius Wind Turbine Performance. *J Energy Res Technol*, 142((1)).
- Roy Sukanta, Mukherjee Prasenjit, S. U. K. (2014). Aerodynamic evaluation of a novel Savonius-style wind turbine under an oriented jet. In: *ASME 2014 Gas Turbine India Conference. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection*;
- Roy Sukanta, S. U. K. (n.d.). Review of experimental investigations into the design, performance and optimization of the Savonius rotor. *Proc Inst Mech Eng A*, 227((4):), 528–42.
- Saad, A. S., Elwardany, A., El-sharkawy, I. I., Ookawara, S., & Ahmed, M. (2021). Performance evaluation of a novel vertical axis wind turbine using twisted blades in multi-stage Savonius rotors. *Energy Conversion and Management*, 235(March), 114013. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114013>
- Saad Ahmed S, El-Sharkawy Ibrahim I, Ookawara Shinichi, A. M. (n.d.). Performance enhancement of twisted-bladed Savonius vertical axis wind turbines. *Energy Conv Manage*, 209:, 112673. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j>
- Salam Gp Capt Abdus, Ali MA Taher, AnwarulAziz SM, Iqbal Asif, MijanurRah man Md, R. I. (n.d.). Design and fabrication of a bench mounted closed loop wind tunnel. *MIST Int J Sci Technol*, 2((1)).
- Salleh Mohd Badrul, Kamaruddin Noorfazreena M, M.-K. Z. faa. (n.d.). The effects of deflector longitudinal position and height on the power performance of a conventional Savonius turbine. *Energy Convers Manage*, 226:, 113584.
- Shamsoddin, S., & Porté-Agel, F. (2020). Effect of aspect ratio on vertical-axis wind turbine wakes. *J Fluid Mechan*, 889.
- Sharma S, S. R. (n.d.). Performance improvement of Savonius rotor using multiple quarter blades—A CFD investigation. *Energy Convers Manage*, 127:, 43–54.
- Simic Zdenko, Havelka Juraj George, V. M. B. (n.d.). Small wind turbines—A unique segment of the wind power market. *Renew Energy*, 50:, 1027–1036.
- Stout C, Islam S, White A, Arnott S, Kollovozi E, Shaw M, et al. (n.d.). Efficiency improvement of vertical axis wind turbines with an upstream deflector. *Energy Procedia*, 118, 141–8.



- Sultana Kaniz Ronak, Mandal Amalesh Chandra, H. B. S. M. mood E. (n.d.). An experimental investigation of wind load on tall buildings with hexagonal cross-section. *MIST Int J Sci Technol*, 2((1)).
- Takao M, Kuma H, Maeda T, Kamada Y, Oki M, M. A. (2021). A straight-bladed vertical axis wind turbine with a directed guide vane row—Effect of guide vane geometry on the performance—. *Therm Sci*, 18.((1):), 54–57.
- Talukdar PK, Sardar A, Kulkarni V, S. U. (n.d.). Parametric analysis of model Savonius hydrokinetic turbines through experimental and computational investigations. *Energy Convers Manage*, 158, 36–49.
- Tasneem Zinat, Al Noman Abdullah, Das Sajal K, Saha Dip K, I. M. R., & Ali Md Firoj, et al. (n.d.). An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application: prospect and challenges. *Dev Built Environ*, 100033.
- Wong KH, Chong WT, Sukiman NL, Shiah YC, Poh SC, Sopian K, et al. (n.d.). Experimental and simulation investigation into the effects of a flat plate deflector on vertical axis wind turbine. *Energy Convers Manage*, 160:, 109–25.
- Wong Kok Hoe, Chong Wen Tong, Sukiman Nazatul Liana, P. S. C., & Shiah Yui-Chuin, W. C.-T. (n.d.). Performance enhancements on vertical axis wind turbines using flow augmentation systems: A review. *Renew Sustain Energy Rev*, 73:, 904–921.
- Wu, K. K., Wang, H. Y., Chen, C., & Tao, T. (2022). An ultra-low-power highly integrated novel one-cell battery management chip for wearables. *Microelectronics Journal*, 130(August), 105640. <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2022.105640>