

KAJIAN PERBANDINGAN PERFORMANCE ENERGI TURBIN ANGIN MODEL DUCTED DENGAN MODEL UN-DUCTED

Billi Laconawa¹⁾, Wulfilla M. Rumaherang^{2)*}, Nicolas Titahelu²⁾ Jandri
Louhenapessy²⁾

¹⁾S1 Teknik Mesin Universitas Pattimura

Email*: laconawabilly@gmail.com

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas ---

Alamat lengkap dengan kode pos 97233

Email*: maxrumaherang72@gmail.com,

Email : titahelun@gmail.com

Abstrak. Pengurangan emisi karbon dioksida secara signifikan sampai dengan 28% pada tahun 2030 menjadi isu penting sehingga diperlukan inovasi dan pemanfaatan energi angin sebagai salah sumber energi baru terbarukan hijau. Ada dua jenis tipe turbin angin dengan selubung (*ducted*) dan turbin angin aliran bebas (*un-ducted*). Aplikasi kedua turbin ini pada PLTB akan memberikan performance yang berbeda. Berapa perbedaan nilai parameter-parameter energi pada kedua turbin ini menjadi masih menjadi permasalahan dan fokus penelitian. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan perbandingan performance energi dari kedua model turbin tersebut dengan diameter impeller $D_M = 1$ meter dengan menggunakan profil blade NACA 63-412. Penelitian ini dilakukan melalui pengujian di laboratorium pada variasi kecepatan angin 2 – 8 m/s. Nilai momen diperoleh melalui pembebanan bertahap pada prony break sampai putaran mencapai nilai yang telah ditentukan atau dihitung sebelumnya. Hasil penelitian parameter-parameter energi menunjukan bahwa performance pada turbin angin dengan selubung (*ducted wind turbine*) lebih tinggi dari turbin angin tanpa selubung (*un-ducted wind turbine*). Nilai kenaikan daya turbin dengan selubung (*ducted wind turbine*) untuk kecepatan 2 – 8 m/s berkisar pada nilai $P_{ducted} = (0 - 2.5)P_{un-ducted}$. Sehingga dari aspek konversi energy direkomendasikan penggunaan turbin angin *ducted*.

Keywords: ducted angin turbin, turbin angin un-ducted, parameter-parameter energi, perbandingan performance.

Abstract. The issue of reducing carbon dioxide emissions significantly up to 28% in 2030 so that innovation is needed to utilize wind energy as a new green renewable energy source. The application of these two turbines in PLTB will provide different performances. The difference in the values of the energy parameters in these two turbines is still a problem and the focus of research. This research was conducted to compare the energy performance of the two turbine models with impeller diameter $DM = 1$ meter using the NACA 63-412 blade profile. This research was conducted through laboratory testing at wind speed variations of 2-8 m/s. The moment value is obtained through gradual loading on the prony brake until the rotation reaches a predetermined or

Penulis korespondensi, HP: 081391904607
Email: maxrumaherang72@gmail.com

calculated value. The results comparison of the energy parameters shows that the performance of a ducted wind turbine is higher than that of an unducted wind turbine. The value of increasing the power of a ducted wind turbine for a speed of 2 – 8 m/s ranges from the value of $P_{ducted} = (0 - 2.5) P_{un-ducted}$, so from the aspect of energy conversion it is recommended to use a ducted wind turbine.

Keywords : ducted wind turbine, un-ducted wind turbine, energy parameters, performance comparison.

1. PENDAHULUAN

Isu pengurangan emisi karbon dioxide secara signifikan pada tahun 2030, dengan rata-rata pengurangan emisi karbon 28% merupakan harapan para eksekutif industry dunia [1]. Salah satu upaya pengurangan emisi adalah melalui pengembangan energi baru terbarukan dimana sampai dengan tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050 [2]. Salah satu sumber energi baru terbarukan yang memiliki prospek yang baik dan ramah lingkungan adalah energi angin [3]

Sebagai negara kepulauan, Indonesia, dengan panjang pantai 80.791,42 km memiliki potensi angin yang potensial untuk pengembangan PLTB. Kecepatan angin di Indonesia berkisar antara 4 - 5 m/detik. Pada daerah-daerah tertentu kecepatan angin dapat mencapai 10 m/detik [4]. Di wilayah pesisir pulau Jawa, Sulawesi Maluku dan NTT, kecepatan angin tinggi (6 - 8 m/s) [5]. Salah satu wilayah berpotensi adalah pada Dusun Siahari Kabupaten Maluku Tengah dengan kecepatan maksimum 7 m/s [6] dan pada Kecamatan Seram Utara Timu Kobi kecepatan angin mencapai 2-8 m/s [7] yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik tenaga angin/bayu.

Pemanfaatan sumber energi angin untuk menghasilkan energi listrik dilakukan melalui pembangunan turbin angin dan sistem kelistrikannya, yaitu sistem blade, gear box dan generator [8].

Ada dua tipe turbin yakni Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) [9][10][11][12] dengan Turbin Sumbu Vertical (TASV) [13][14][15][16]. Turbin angin sumbu horizontal merupakan salah satu tipe turbin angin dengan letak poros searah aliran angin yang ditangkap oleh sudu yang paling banyak digunakan saat ini [10].

Struktur turbin angin lebih sederhana. Rotor umumnya terbuat dari tiga blade yang dipasang pada hub. Hub berfungsi untuk kontrol dan menghubungkan blade ke mekanisme poros rotor. Nacelle adalah selungkup yang menampung semua organ mekanis mesin (gearbox, rem rotor, bantalan, dll.) serta generator dan sistem control [10]. Turbin aksial horizontal saat ini telah berkembang menjadi turbin aksial horizontal tanpa selubung [9][10][11][12] atau bare turbine [17] dan turbin horizontal dengan selubung [18][19][20] yang memiliki prinsip kerja yang sama dengan ducted tidal turbine [11][17][21][22][23][24].

Hasil penelitian penggunaan selubung atau duct pada turbin menghasilkan peningkatan koefisien daya C_p sampai 0.7 [16] dan efisiensi turbin dapat mencapai 90% [17], dengan modifikasi rasio diameter turbin nilai koefisien daya dan thrust mengalami kenaikan [25][26][27], bahkan menunjukan nilai efisiensi turbin yang tinggi [28][29]. Sementara dalam penelitian karakteristik turbin tanpa selubung (unducted wind turbine) koefisien daya mencapai maximum berada sekitar 0.35 [30] dan C_p sekitar Betz Limit yaitu 0.593 [31] serta $C_{p_{blade\ max}} = 0.38$ [32].

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah berapa perbedaan nilai parameter-parameter energi turbin angin dengan menggunakan selubung (ducted wind turbine) dengan turbin angin tanpa selubung (unducted wind turbine). Penelitian-penelitian terdahulu diatas telah menunjukkan bahwa ada perbedaan performance energi antara kedua tipe turbin, tetapi belum ditemukan hasil penelitian yang membandingkan performance kedua jenis turbin itu pada ukuran diameter yang sama, padahal kedua turbin ini telah dibagun danapilikasikan. Oleh karena itu perlu dilakukan studi perbandingan performance energi yaitu nilai

torsi, daya output dan efisiensi [18] turbin angin dengan selubung (ducted wind turbine) dan turbin tanpa selubung (un-ducted wind turbine) dengan ukuran geometri turbin yang sama.

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan kajian aerodinamika turbin angin [33][34], pengujian experimental pada variasi kecepatan angin 2 – 8 m/s [7]. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan profil blade NACA 63-412 [35].

2. METODE

2.1. Energi kinetic dan daya turbin

Energi kinetic aliran udara adalah yang mengalir melewati suatu luas penampang swept A dalam satuan waktu [36]. Daya kinetic aliran udara dinyatakan dengan persamaan (1) [36],

$$P_{ke} = \frac{1}{2} \rho A V_0^3 \dots\dots\dots (1)$$

Daya yang dibangkitkan turbin dinyatakan dengan persamaan (2) [36][26]

$$P_t = \frac{1}{2} \rho C_p A V_0^3 \dots\dots\dots (2)$$

Daya turbin juga merupakan fungsi dari putaran rotor [29] dan dinyatakan persamaan (3) :

$$P_t = \frac{1}{2} \rho C_p A V_0^3 \lambda \dots\dots\dots (3)$$

Dimana P_{ke} adalah daya kinetic dan P_t adalah daya turbin (W), ρ adalah densitas udara (kg/m^3), A adalah luasan Swept (m^2) dan C_p adalah koefisien daya turbin [8], λ adalah *tip speed ratio* yang ditulis sebagai [32],[36].

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_0} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana ω adalah kecepatan sudut rotor turbin (rad/s) dan R adalah jari-jari turbin (m).

Torsi turbin ditentukan sebagai berikut :

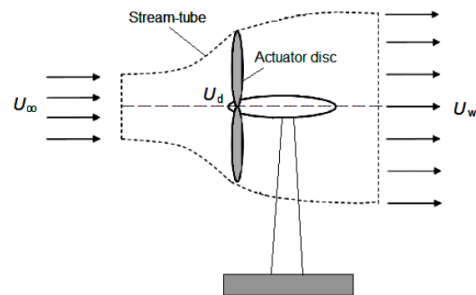
$$M = \frac{1}{2} \rho \omega^2 R^3 A C_p (\lambda, \theta_p) / \lambda^3 \dots\dots (5)$$

Selanjutnya daya poros turbin ditentukan dengan persamaan :

$$P_p = \omega T \dots\dots\dots (6)$$

2.2. Aliran pada Unducted wind turbine

Analisis kerja turbin angin tanpa shroud dilakukan dengan menggunakan teori momentum untuk ideal turbin [30][32].



Gambar 1. Disk aktuator dan tabung aliran untuk turbin angin. (sumber : Bilgili Mehmet et al ,2015[30])

Seperti pada gambar 1 terlihat bahwa luas penampang disk pada sisi hulu (inlet) pada tabung lebih kecil dari luas penampang disk pada sisi hilir (outlet) [30]. Sesuai prinsip kekekalan masan pada aliran steady, laju aliran massa total yang memasuki volume atur sama dengan laju total massa yang keluar. sehingga dapat ditulis [17][30] :

$$\rho A_\infty V_\infty = \rho A_d V_d = \rho A_w V_w \dots\dots\dots (7)$$

Gaya di udara dan ekstraksi daya dari udara dihitung dengan [30] :

$$T = 2 \rho A_d V_\infty^2 a (1 - a) \dots\dots\dots (8)$$

$$P = 2 \rho A_d V_\infty^3 a (1 - a)^2 \dots\dots\dots (9)$$

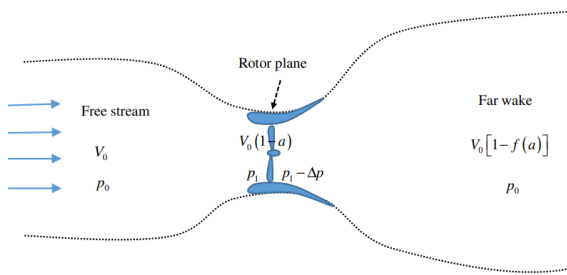
Dan koefesien daya C_p dinayatakan sebagai :

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^3 A_d} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana a adalah factor induksi aliran axial, yaitu perbandingan selisih kecepatan udara bebas V_∞ dan kecepatan pada disk V_d dengan kecepatan udara bebas V_∞ [26]. Nilai koefesien daya maksimum pada turbin angin tanpa shroud setara dengan nilai Betz limit yaitu $C_p = 0.593$ [18][23][30][32].

2.3. Aliran pada ducted wind turbine

Analisa dengan teori actuator disk diperluas untuk kasus yang lebih umum dari turbin angin dengan selubung, melalui pengenalan faktor induksi aksial baru a_0 yang menjelaskan geometri dari diffuser yang diberikan. Aliran pada ducted wind turbin analogi dengan analisa ducted tidal turbine yang telah dilakukan dalam penelitian yang dilakukan oleh Lawn, 2013 [18], Belloni, 2013 [17], W. M Rumaherang, 2020 [26], W. M. Rumaherang et al, 2021[11], Balasem et al, 2019 [27], Abe, K. et al, 2005 [21].



Gambar 2. Sketsa sistem turbin angin yang ditambah diffuser (Sumber :. Lingyi Liu & Shigeo Yoshida, 2015)

Dari gambar 2 terlihat bahwa luas penampang disk pada sisi hulu (inlet) lebih besar dari luas penampang turbin, sehingga laju aliran dalam turbin akan semakin besar.

Koefisien daya turbin dinyatakan dengan persamaan (10) [37] dan persamaan (11) [38].

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho V_0^3 A_{rotor}} \dots\dots\dots (11)$$

$$C_p = 4a(1 - a)^2 \dots\dots\dots(12)$$

Rasio area diffuser didefinisikan dengan A_{outlet}/A_{rotor} dan merupakan faktor peningkatan penyempitan penampang ducted turbin dibandingkan dengan unducted turbin [17]. Performance maksimum turbin meningkat dengan penyumbatan dan perluasan diameter outlet.

2.4. Prosedur Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan dalam tahapan studi lapangan di dusun Siahari Kabupaten Maluku Tengah dan rancang bangun dan pengujian pada Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Pattimura Ambon.

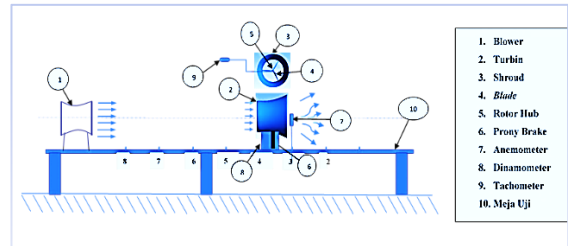
Desain turbin didasarkan pada kapasistas uji laboratorium yaitu dengan diameter model turbin $D_M=1$ meter.

Penentuan performance parameter-parameter energy turbin dilakukan pada nilai kecepatan rata-rata hasil pengukuran pada stand pengujian dengan nilai $TSR = 2,5$ yang ditetapkan sama untuk kedua jenis turbin, dengan variasi kecepatan angin 2-8 m/s.

Parameter-parameter energi yaitu momen, daya kedua turbin dikaji pada setiap perubahan variasi kecepatan udara.

Turbin yang telah dikonstruksikan dan diseting pada stand pengujian dengan jarak tertentu dari blower yang telah dipasang sebelumnya pada ujung awal stand seperti

ditunjukkan pada gamabar 3. Angin ditiupkan dengan bantuan blower (1) yang digerakan oleh motor listrik. Blower menghasilkan angin dengan kecepatan yang ditentukan dan diukur dengan anemometer digital. Variasi kecepatan, diukur berdasarkan variasi jarak antara turbin (2) dengan blower (1) sesuai dengan data kecepatan pada setiap jarak.



Gambar 3. Experimental Simulasi Hidrodinamika

Anemometer (7) dipasang pada inlet dan outlet pada turbin (2) untuk mengukur kecepatan angin dengan jarak yang telah ditentukan antara blower (1) dan turbin (2) untuk mendapatkan kecepatan angin yang diinginkan, yaitu 2-8 m/s. Setiap perpindahan jarak antara blower (1) dan turbin (2) menghasilkan kecepatan angin yang berbeda. Performance turbin angin dihasilkan oleh nilai torsi yang dihasilkan diukur dengan menggunakan *Prony Brake* (6).

Perubahan kecepatan angin mempengaruhi putaran dan daya yang dihasilkan dari turbin (2). Putaran turbin diukur dengan menggunakan tachometer (10).

Pengambilan nilai momen dilakukan melalui pembebanan bertahap pada prony break sampai putaran mencapai nilai yang telah ditentukan sesuai dengan nilai TSR optimal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

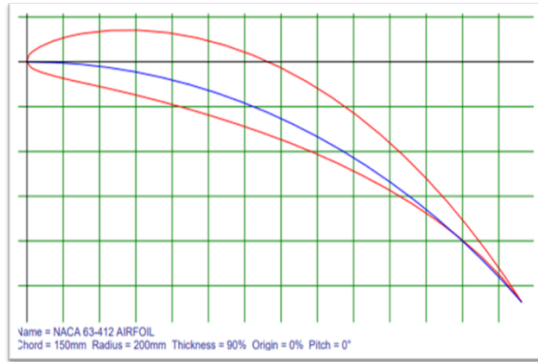
3.1. Konstruksi Turbin

Konstruksi turbin terdiri dari rotor, duct dan penyangga. Profil blade rotor yang digunakan adalah NACA model 5 digit. Airfoil dengan 5 digit memiliki kode dimana angka pertama menunjukkan nilai koefisien gaya angkat ketika dikalikan dengan 0.15, kedua dan ketiga juga dibagi 2 menunjukkan letak maksimum cember yang diukur dari *leading edge*, dan dua angka terakhir menunjukkan lebar maksimum airfoil. Dalam penelitian ini digunakan profil NACA 63-412.

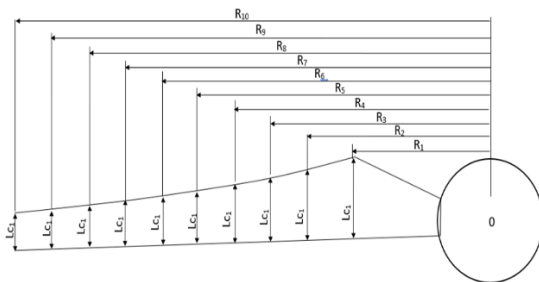
Ukuran profil pada panjang chord maksimum adalah sebagai berikut:

- Chord = 150 [mm]
- Radius = 300 [mm]
- Thickness = 90%

Konstruksi profil aerodinamika NACA 63-412 pada panjang chord maksimum ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Profil Aerodinamika NACA 63-412 AIRFOIL Pada L_{cmax} .



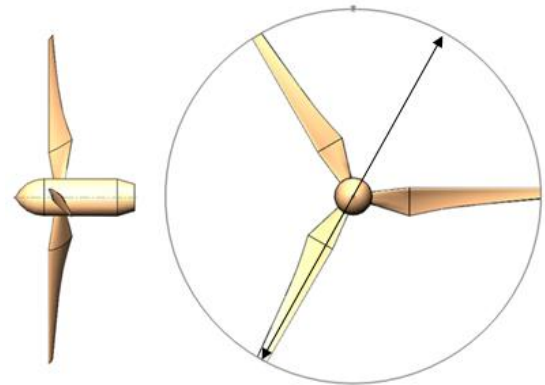
Gambar 5. Panjang *Chord* L_c Pada Setiap Nilai Radius R_i

Pada setiap perubahan nilai radius mempunyai panjang L_c yang berbeda, nilai maksimum dari panjang *chord* berada pada $R_1 = 150$ mm. Hubungan ketergantungan panjang chord terhadap radius secara skematis ditampilkan pada gambar 5.

Hasil desain blade turbin yang digunakan pada pengujian *performance* turbin angin *Ducted* dengan turbin angin *Un-Ducted*. Dalam penelitian ini digunakan rotor turbin dengan 3 blade. Konstruksi rotor ditunjukkan pada gambar 6.

Pengujian pada laboratorium dilakukan dengan objek penelitian yaitu model *ducted* turbin dengan diameter impeller $D_1 = 1$ meter.

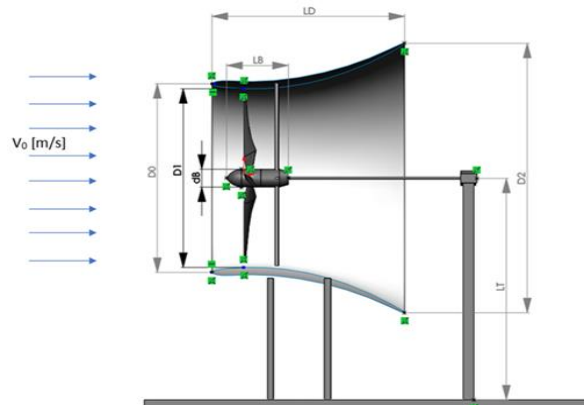
Turbin dirancang dengan ukuran standar model laboratorium dengan ukuran $D_1 = 1$ meter.



Gambar 6. Impeller Turbin

Ukuran geometry lainnya ditentukan berdasarkan ukuran D_1 sebagai berikut:

- Diameter inlet *duct* $D_0 = 1,1 \times D_1$
- Diameter *outlet duct* $D_2 = 1,4 \times D_1$
- Diameter *bosch* impeller $d_B = 0,15 \times D_1$
- Panjang *duct* $L_D = D_0 = 1,1 \times D_1$
- Panjang *bosch* = $R_i = 0,5 \times D_1$

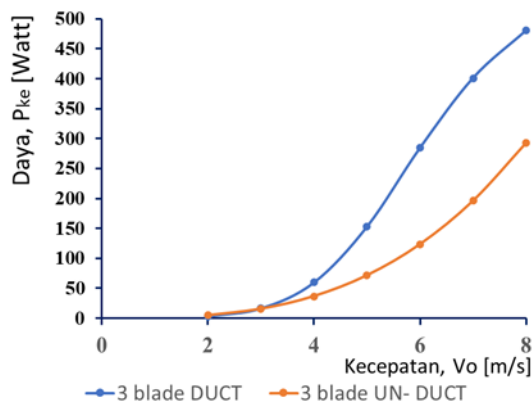


Gambar 7. Konstruksi dan Geometri Model Turbin *Ducted*

3.2. Daya Kinetik

Berdasarkan persamaan (2) maka untuk densitas udara (ρ) = 1,23 kg/m³, koefisien daya $C_p = 0,593$ (menurut nilai *Betz limit*) dengan tekanan angin yang digunakan untuk penelitian dengan $V_0 = 2-8$ m/s, maka daya kinetik, P_{ke} [watt] yang dihasilkan ditampilkan pada gambar 8.

Gambar 8. merupakan kurva yang memperlihatkan daya maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin. Semakin besar tekanan angin maka daya yang dihasilkan semakin besar pada kecepatan V_0 m/s.



Gambar 8. Grafik Hubungan Daya Kinetic P_{ke} [watt] dengan Tekanan Angin V_0 [m/s]

Putaran turbin dihitung berdasarkan nilai teep speed ratio (TSR). Dari hasil penelitian, Tim peneliti Fakultas Teknik dalam buka laporan pengabdian kepada masyarakat diperoleh nilai TSR optimal adalah $TSR = 2,5$.

Dengan demikian dari persamaan (4), dengan nilai TSR diatas maka putaran turbin $n = 133.69$ rpm

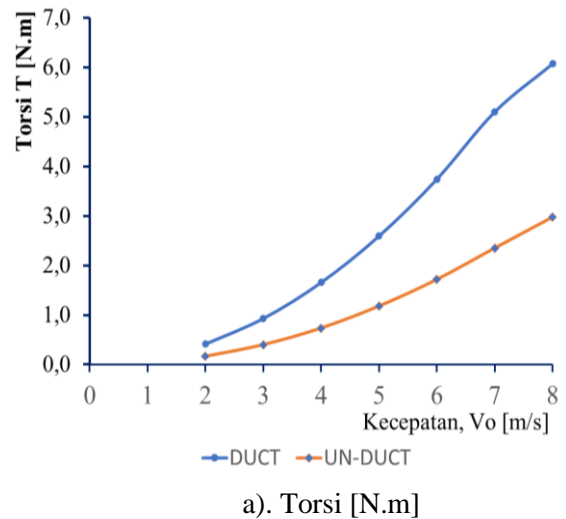
Selanjutnya penentuan daya poros turbin secara experimental dilakukan berdasarkan data daya poros P_p atau momen hasil pengujian, yang dalam penelitian data tersebut diperoleh dari hasil simulasi hidrodinamika turbin.

3.3. Torsi dan Daya Turbin

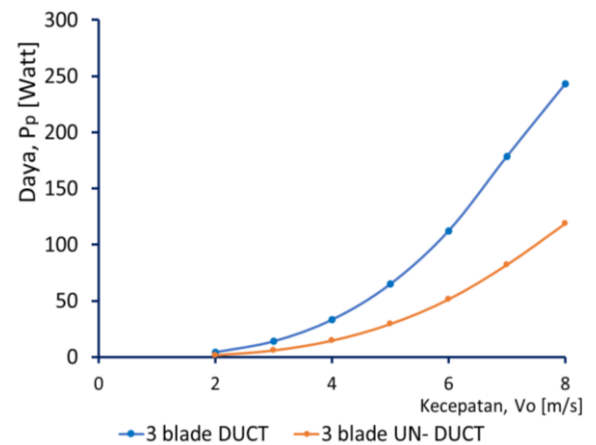
Nilai torsi yang terukur pada poros turbin meningkat dengan naiknya nilai kecepatan angin V_0 yang setara dengan hasil perhitungan torsi dengan menggunakan persamaan (5). Hasil pengukuran torsi pada poros turbin pada variasi kecepatan awal ditunjukkan pada Gambar 9a.

Berdasarkan persamaan (6) daya poros P_p ditentukan oleh kecepatan dan koefisien daya poros P_p . Dalam penelitian daya poros P_p diukur pada poros turbin. Oleh karena itu data daya poros P_p diperoleh dari hasil pengukuran dengan *prony break*, yang dalam penelitian dipeoleh dari kalkulasi hidrodinamika pada *blade* turbin [23].

Pada variasi tekanan V_0 , maka nilai daya poros P_p yang terukur pada poros turbin mengalami perubahan secara proporsional dengan perubahan nilai torsi. Hasil pengukuran menunjukkan hasil yang setara dengan perhitungan yang menggunakan persamaan (2) dan persamaan (3) untuk turbin *unducted*.



a). Torsi [N.m]



b). Daya Poros

Gambar 9. Grafik hubungan daya poros p_p dengan kecepatan v_0 pada turbin *ducted* dan *unducted*

Demikian juga hasil yang diperoleh untuk turbin *ducted* juga setara perhitungan dengan menggunakan persamaan (9). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada perubahan kecepatan V_0 , maka aliran yang masuk melalui turbin mengalami perubahan dan mempengaruhi nilai daya poros P_p yang dibangkitkan oleh *blade* turbin.

Hasil pengukuran daya poros P_p pada perubahan kecepatan V_0 secara grafis, hasil pengukuran nilai daya poros P_p pada poros turbin divisualisasikan pada gambar 9.

Dari gambar 9, perubahan nilai daya poros P_p meningkat dengan naiknya kecepatan angin dengan membentuk kurva persamaan pangkat tiga proporsional dengan persamaan (3) dan persamaan (4).

3.4. Perbandingan Performance Turbin Angin Ducted Dengan Un-Ducted

Dari hasil Analisa pengaruh kecepatan angin V_0 terhadap torsi total, turbin angin dengan selubung (ducted wind turbine) dan turbin angin tanpa selubung (un-ducted wind turbine) pada Gambar 8 dan 9, menunjukkan bahwa nilai torsi dan daya pada turbin angin dengan selubung (ducted wind turbine) lebih tinggi dari dan turbin angin tanpa selubung (ducted wind turbine).

Pada turbin angin dengan selubung (ducted wind turbine) kenaikan torsi dan daya mencapai nilai tertinggi pada kecepatan tertinggi, kenaikan kecepatan tersebut proposional dengan naiknya kecepatan angin. Nilai kenaikan daya turbin dengan selubung (ducted wind turbine) untuk kecepatan 2 – 8 m/s berkisar pada nilai $P_{ducted} = (0 - 2.5)P_{un-ducted}$.

3.5. Pembahasan

Performance pada turbin dengan selubung (ducted wind turbine) rata-rata lebih tinggi dari turbin tanpa selubung (un-ducted wind turbine) hal ini dikarenakan aliran udara yang melawati penampang ducted turbin lebih banyak karena adanya peningkatan kecepatan diinlet akibat pembukaan penampang diffuser sehingga laju aliran massa udara yang melewati penampang turbin menjadi lebih tinggi.

Performance energi, yaitu hubungan antara torsi T (N.m), daya (Watt) pada kecepatan angin dari $V_0 = 2 \div 8$ m/s, terlihat bahwa performance energi turbin angin dengan selubung (ducted wind turbine) lebih tinggi dari performance energi turbin angin tanpa selubung (un-ducted wind turbine). Hasil penelitian ini menunjukan hasil yang serupa dengan hasil penelitian yang optimasi output parameter ducted turbine [18], ducted turbine [17] serta penelitian aliran fluida dalam ducted turbine [17][11][21] dan penelitian pengaruh penambahan diffuser [24] dan pengaruh penempatan diffuser pada turbin [29]. Hasil penelitian penelitian menunjukan nilai koefisien daya pada ducted turbin yang lebih tinggi dari nilai Betz limit [22] yang digunakan pada perhitungan turbine unducted yaitu sebesar 0.593.

Dalam penelitian untuk model turbin angin dengan diameter impeller $D_1 = 1$ meter untuk kedua tipe turbin di atas, maka perbandingan parameter energi dalam kurva performance energi menunjukkan bahwa nilai rata-rata performance energi yaitu torsi T [N.m], daya [Watt] pada turbin angin dengan selubung (ducted wind turbine) lebih tinggi sampai dengan 2.5 dibandingkan dengan turbin angin tanpa selubung (un-ducted wind turbine)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa performance pada turbin angin dengan selubung (ducted wind turbine) lebih tinggi dari turbin angin tanpa selubung (un-ducted wind turbine), Penambahan duct pada turbin menghasilkan peningkatan kecepatan diinlet akibat pembukaan penampang diffuser sehingga laju aliran massa udara yang melewati penampang turbin menjadi lebih tinggi. Nilai kenaikan daya turbin dengan selubung (ducted wind turbine) untuk kecepatan 2 – 8 m/s berkisar pada nilai $P_{ducted} = (0 - 2.5)P_{un-ducted}$.

- [1] J. Scalise, *Global Energy and Natural Resources Report 2022*. Baim & Company 2022, 2022.
- [2] PP No. 79, "PP No. 79 Thn 2014.pdf." pp. 1–36, 2014.
- [3] A. Effendi, "Analisa Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Putaran Turbin Pada Pemanfaatan Energi Angin di Pantai Ujung Batu Muaro Penjalinan," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 8, no. 2, pp. 134–138, 2019, doi: 10.21063/jte.2019.3133823.
- [4] Surya Bagaskara, Ir.Sardono Sarwito, M.Sc, Indra Ranu Kusuma ST, M.Sc , Eko Sasmito, 18 Juni 2010, Saatnya Kembangkan PLTB di Indonesia, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/saatnya-kembangkan-pltb-di-indonesia>
- [5] Balai Besar Survei dan Pengujian Ketanagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 30 Januari 2021, Potensi Energi Angin Indonesia 2020.

- https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020
- [6] S. Widiyanto, S. Pramonohadi, and M. K. Ridwan, "Performance Analysis of Small Horizontal Axis Wind Turbine with Airfoil NACA 4412," *Int. J. Sci. Technol. Manag.*, pp. 347–357, 2015.
- [7] S. J. Etwan Sarwuna, W. M. Rumaherang, and C. S. Edwina Tupamahu, "Sosialisasi & Pelatihan EBT untuk Menciptakan Kemandirian Penyediaan Listrik Secara Mandiri," *J. Pengabd. Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 161–169, 2022, doi: 10.31004/abdira.v2i1.48.
- [8] A. Tywoniuk and Z. Skorupka, "WIND POWER PLANTS - TYPES , DESIGN AND OPERATION PRINCIPLES WIND POWER PLANTS – TYPES , DESIGN AND OPERATION PRINCIPLES Andrzej Tywoniuk , Zbigniew Skorupka," no. March 2020, 2018, doi: 10.5604/01.3001.0012.4371.
- [9] T. A. Adlie and T. A. Rizal, "Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya Output 1 KW," *Jurutera*, vol. 02, no. 02, pp. 072–078, 2015.
- [10] I. Sadrehaghighi, "Horizontal Axis Wind Turbines (HAWT) with Case Studies," no. February, 2022.
- [11] W. M. Rumaherang and J. Latuny, "FLUID FLOW STUDY IN VARIOUS SHAPES AND SIZES OF," *SINERGI*, vol. 25, no. 3, pp. 289–298, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.22441/sinergi.2021.3.006>.
- [12] M. Mohammadi, A. Mohammadi, and S. Farahat, "A new method for horizontal axis wind turbine (HAWT) blade optimization," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2016, doi: 10.14710/ijred.5.1.1-8.
- [13] O. Dwi, S. Hasan, R. Hantoro, G. Nugroho, I. Pendahuluan, and A. A. Penelitian, "Tipe Savonius dengan Variasi Jumlah Fin pada Sudu," vol. 2, no. 2, pp. 350–355, 2013.
- [14] F. A. Khammas, K. Hussein Suffer, R. Usubamatov, and M. T. Mustaffa, "Overview of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) is one of the Wind Energy Application," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 793, no. September, pp. 388–392, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.793.388.
- [15] G. Sidén, M. D. Ambrosio, and M. Medaglia, *Vertical Axis Wind Turbines : History , Technology and Applications Master thesis in Energy Engineering – May 2010 Supervisors : Jonny Hylander Authors ;*, no. May. 2010.
- [16] S. W. Wasiati, F. A. Augusta, V. R. P. Purwanto, P. Wulandari, and A. Syahrirar, "Darrieus type vertical axis wind turbine (VAWT) design," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1517, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1517/1/012064.
- [17] C. Belloni, "Hydrodynamics of Ducted and Open-Centre Tidal Turbines," p. 230, 2013, [Online]. Available: <http://www.eng.ox.ac.uk/civil/publications/theses/belloni>.
- [18] C. J. Lawn, "Optimization of the power output from ducted," in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 2003, vol. 217, no. August 2002, pp. 107–118, doi: <https://doi.org/10.1243/095765003321148754>.
- [19] Javad Taghinezhad , Reza Alimardani , Hossein Mosazadeh, 2019, Ducted Wind Turbines-A Review, International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering Volume: 5 Issue: 4 19 – 25.
- [20] G. Srinivas, *Optimization Studies on the Ducted Wind Turbine*, no. September. 2010.
- [21] Abe, K., Nishida, M., Sakurai, A., Ohya, Y., Kihara, H., Wada, E., & Sato, K. (2005). Experimental and numerical investigations of flow fields behind a small wind turbine with a flanged diffuser. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(12), 951-970. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2005.09.003>
- [22] Shives, Michael & Crawford, Curran. (2010). Overall Efficiency of Ducted tidal current turbines. MTS/IEEE Seattle, OCEANS 2010. 1 - 6.

- <https://10.1109/OCEANS.2010.5664426>
- [23] W. M. Rumaherang, R. Ufie, and J. Latuny, "Optimization of Output Parameters of the Horizontal Tidal Turbine by Modifying Its Meridional Section," in *2018 2nd Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering, BICAME 2018*, 2018, pp. 18–22, doi: 10.1109/BICAME45512.2018.15704989 54.
- [24] N. W. Cresswell, G. L. Ingram, and R. G. Dominy, "The impact of diffuser augmentation on a tidal stream turbine," *Ocean Eng.*, vol. 108, pp. 155–163, 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.07.033.
- [25] M.G.Lilley and W.J.Rainbird, "Ducted wind mill," no. 102, 1956.
- [26] W. M. Rumaherang, "Pengaruh rasio diameter terhadap parameter-parameter energi turbin arus laut horizontal," *Din. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.29303/dtm.v10i1.306.
- [27] B. A. J. Al-Quraishi, N. Z. B. Asmuin, S. Bin Mohd, W. A. Abd Al-Wahid, A. N. Mohammed, and D. H. Didane, "Review on diffuser augmented wind turbine (DAWT)," *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 178–206, 2019, doi: 10.30880/ijie.2019.11.01.021.
- [28] Y. Liu and S. Yoshida, "An extension of the Generalized Actuator Disc Theory for aerodynamic analysis of the diffuser-augmented wind turbines," *Energy*, vol. 93, no. December, pp. 1852–1859, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.09.114.
- [29] Hansen, M.O.L., Sørensen, N.N. and Flay, R.G.J. (2000), Effect of Placing a Diffuser around a Wind Turbine. *Wind Energ.*, 3: 207-213. <https://doi.org/10.1002/we.37>.
- [30] A. Yasar, "Aerodynamic Characteristics of a Horizontal Axis Wind Turbine in Belen-Hatay, Turkey," *Int. J. Nat. Eng. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 54–58, 2015.
- [31] A. Tummala, R. K. Velamati, D. K. Sinha, V. Indraja, and V. H. Krishna, "A review on small scale wind turbines," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, no. April 2016, pp. 1351–1371, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.027.
- [32] Y. J. Chen and Y. C. Shiah, "Experiments on the performance of small horizontal axis wind turbine with passive pitch control by disk pulley," *Energies*, vol. 9, no. 5, 2016, doi: 10.3390/en9050353.
- [33] J. N. Sørensen, R. Mikkelsen, N. Troldborg, V. L. Okulov, and W. Z. Shen, "The aerodynamics of wind turbines," *Mech. Down Under - Proc. 22nd Int. Congr. Theor. Appl. Mech. ICTAM 2008*, pp. 231–247, 2013, doi: 10.1007/978-94-007-5968-8_15.
- [34] K. I. Abe and Y. Ohya, "An investigation of flow fields around flanged diffusers using CFD," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 92, no. 3–4, pp. 315–330, 2004, doi: 10.1016/j.jweia.2003.12.003.
- [35] C. Ostowari and D. Naik, "Post-stall Wind Tunnel Data for NACA 44XX Series Airfoil Sections," *Sol. Energy Res. Inst.*, no. 4807, pp. 1–171, 1985, [Online]. Available: http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=5791328.
- [36] W. A. M. Jansen and P. T. Smulders, "Rotor design for horizontal axis windmills.," vol. 7701, no. 1977, 1977.
- [37] N. Bagheri-Sadeghi, B. T. Helenbrook, and K. D. Visser, "Ducted wind turbine optimization and sensitivity to rotor position," *Wind Energy Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 221–229, 2018, doi: 10.5194/wes-3-221-2018.
- [38] Agha, A, Chaudhry, HN & Wang, F 2018, 'Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT) technologies: A review', *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 8, no. 3, pp. 1369-1385