

PENGARUH PENEMPATAN *BLADE* TURBIN *PROPELLER* DI TENGAH *BLADE* TURBIN VENTURI TERHADAP PERFORMA TURBIN *HYBRID*

Agustinus¹, Iwan Kurniawan²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,

^[1]agustinus4639@student.unri.ac.id, ^[2]iwan.kurniawan@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Wind turbines are windmills that are used to generate electricity. The basic principle works, namely converting the mechanical energy from the wind into rotational energy, then the rotation of the mill is used to rotate the generator, which in turn will generate electricity. Over time, many turbine innovations have been used. Innovation can be done by fixing existing deficiencies or adding new things so that these products have additional functions. In this research, innovations were carried out in wind turbines. That is, two different types of turbines are combined into one, namely a combination of a conventional turbine (*propeller*) and a wind ball energy (*venturi*) turbine. This innovation is made so that the hybrid turbine can work and function at low wind speeds. This research is intended to determine the performance of this hybrid turbine by placing the *propeller* blade in the middle of the *venturi* turbine blade and varying the ratio of the length of the turbine *propeller* blade to the diameter of the *venturi* turbine. So that the right size and maximum results are obtained in the manufacture of this hybrid turbine.

Key words: Hybrid Turbine, Propeller Turbine, Venturi Turbine.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi di dunia terus meningkat, hal ini terjadi karena disebabkan oleh pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang terus meningkat [1]. Energi angin termasuk energi terbarukan yang didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Beberapa kelebihan energi terbarukan antara lain: sumbernya relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar[2]. Salah satu contoh energi terbarukan adalah energi angin. Energi angin dapat dimanfaatkan dengan menggunakan turbin angin yang kemudian dikonversikan menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator listrik. Keuntungan yang didapat adalah tidak mengeluarkan gas-gas sisa pembakaran seperti karbon monoksida (CO) yang berbahaya jika jumlahnya berlebih, sehingga lebih ramah lingkungan [3].

Pada penelitian sebelumnya sudah pernah ada yang melakukan penggabungan dua jenis turbin angin dengan sumbu horizontal yaitu turbin angin *propeller* dan turbin angin venturi. Penelitian tersebut dilakukan oleh Fadel (2020). Pada penelitiannya dilakukan penggabungan turbin angin *propeller* dan turbin angin venturi dengan memvariasikan diameter *blade* turbin *propeller* yaitu diameter 160 cm, 200 cm dan 240 cm. dan setiap variasi panjang *blade* turbin *propeller* menggunakan profil *blade* jenis NREL S833 dan diameter dari turbin angin venturi ditetapkan 30 cm[4].

Sedangkan pada penelitian ini juga melakukan penggabungan dua jenis turbin angin dengan sumbu horizontal yaitu turbin angin *propeller* dan turbin angin venturi. Akan tetapi pada turbin *hybrid* ini akan dilakukan pengujian eksperimental dengan

memvariasikan diameter *blade* turbin *propeller* yaitu diameter 42 cm, 36 cm dan 30 cm. Sehingga dapat diketahui performa dari setiap variasi diameter *blade* turbin *propeller* tersebut, kemudian didapatkan ukuran diameter *blade* yang ideal untuk menghasilkan tenaga maksimal dari turbin angin yang nantinya akan didistribusikan ke generator pembangkit listrik.

Dengan menggunakan airfoil NREL, yang dirancang khusus untuk HAWT, energi tahunan kehilangan produksi karena efek kekasaran *airfoil* dapat dipotong setengahnya dibandingkan dengan pesawat yang digunakan sebelumnya *airfoil*. Mengoptimalkan karakteristik kinerja *airfoil* untuk bilangan Reynolds yang sesuai dan ketebalan memberikan peningkatan kinerja tambahan dalam kisaran 3% sampai 5%. *Airfoil* pesawat digunakan pada bilah turbin angin sering digunakan pada bilangan Reynolds yang lebih rendah daripada yang dimaksudkan oleh mereka desainer. Selain itu, *airfoil* sering diskalakan ke ketebalan yang lebih besar yang sering menyebabkankarakteristik kinerja yang tidak diinginkan. area rotor untuk ukuran generator tertentu [5].

Prinsip Kerja Energi Angin

Energi angin merupakan energi yang sangat fleksibel. Lain halnya dengan energi air, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana mana baik di daerah dataran tinggi maupun di daerah landai, bahkan dapat diterapkan di laut. Adapun prinsip dasar kerja dari pemanfaatan energi angin ini adalah mengubah energi dari angin menjadi energi putar pada kincir angin, lalu kincir angin digunakan untuk memutar generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik[6].

Jenis-Jenis Turbin Angin Berdasarkan letak porosnya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Turbin angin sumbu horisontal Turbin angin sumbu horisontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah.
2. Turbin angin sumbu vertikal Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah[7].

Gaya yang terjadi pada kincir angin :

1. Gaya Tekan Angin Akibat Sudu Sebagai Layar Apabila luasan (A) permukaan plat yang tegak lurus terhadap angin diterpa angin yang memiliki kecepatan v , maka pada luasan itu akan mendapat gaya dorong F dan momen torsi T pada tumpuan gayanya.

2. Gaya Aerodinamis pada Sudu

Gaya yang terjadi pada kincir angin sangat bergantung pada bentuk penampang sudunya. Jika aliran terjadi sepanjang objek yang tidak simetris atau sumbunya tidak sejajar dengan aliran, maka garis aliran (*streamline*) yang terjadi pun tidak simetris[8].

Komponen turbin angin :

1. Sudu (*Blade*). Sudu-sudu (*blade*) merupakan bagian dari sebuah kincir angin berupa pelat yang rata.

2. *Hub Rotor*. *Hub* merupakan bagian dari rotor yang berfungsi menghubungkan sudu-sudu dengan *shaft* (poros) utama.

3. Ekor Ekor adalah salah satu komponen turbin angin sumbu *horizontal*.

4. Mekanisme *yaw*. Mekanisme *yaw* pada turbin angin ini adalah tempat menempelnya generator dan ekor dengan kedudukan seperti engsel untuk mengarahkan turbin angin frontal terhadap arah datangnya angin.

5. Menara (*Tower*). Menara merupakan tiang penyangga yang fungsi utamanya adalah untuk menopang rotor, nasel dan semua komponen turbin angin yang berada di atasnya[9].

Adapun beberapa keuntungan yang dimiliki oleh turbin angin sumbu *horizontal* adalah sebagai berikut:

1. Untuk turbin angin besar yang digunakan untuk membangkitkan listrik, kecepatan rotor dan daya yang dihasilkan dapat diatur sesuai tujuan perancangan. Ini berguna untuk melindungi turbin

angin ini jika terjadi angin besar.

2. Bentuk rotor dapat dioptimalisasi secara aerodinamis dan ini terbukti dapat menaikkan efisiensi dari turbin angin ini.

3. Teknologi pengembangan rancangan *propeler* sudah mapan dan telah berkembang.[10]

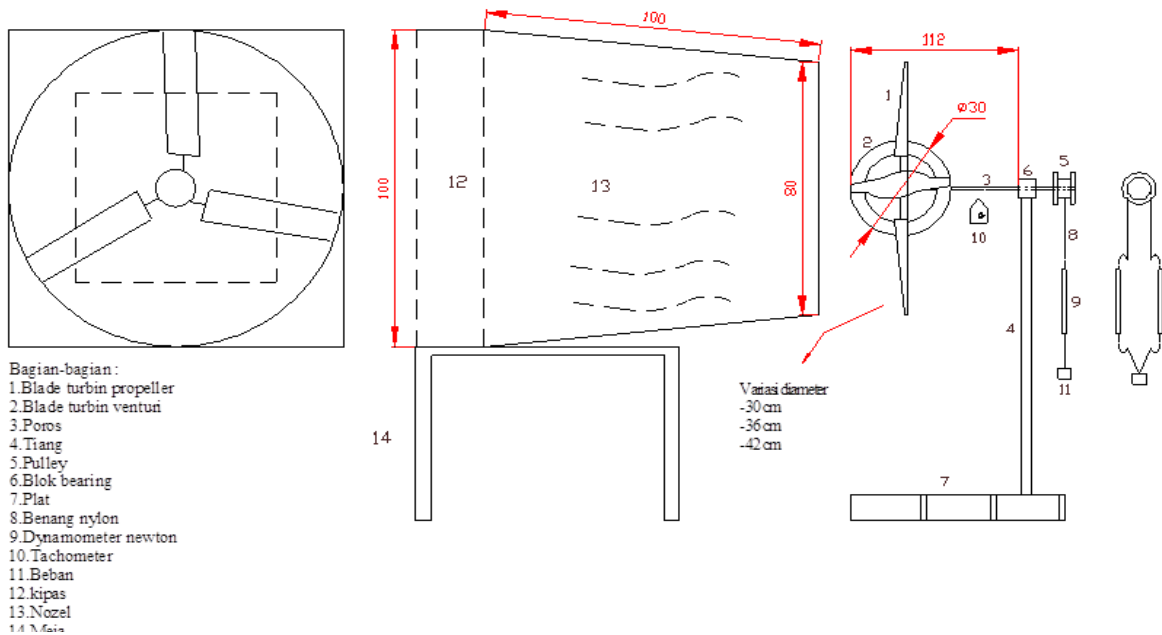
2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen (*experimental research*). Pengujian dilaksanakan di laboratorium, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau.

2.1 Skema pengujian

Pengujian turbin angin *hybrid* ini dilakukan dengan menggunakan sebuah kipas angin. Kipas ditempatkan di dalam *nozle*. Turbin angin *hybrid* ditempatkan di depan dan sejajar dengan *nozzle*. Kipas dihidupkan dengan kecepatan tertentu mendapatkan variasi kecepatan angin yang diinginkan.

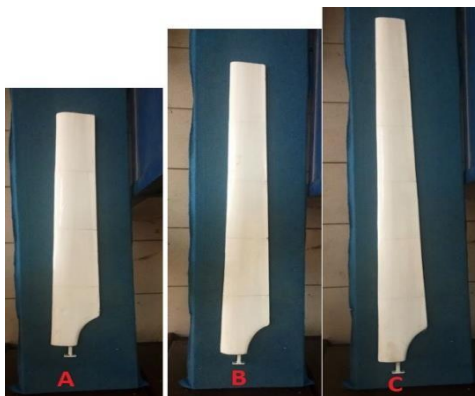
Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa ketika kipas dihidupkan, maka akan terjadi aliran angin melewati turbin angin yang berada di depan *nozzle*. Untuk mengetahui kecepatan aliran angin, digunakan alat *anemometer* yang dapat mengukur kecepatan aliran angin secara *real-time*. Energi dari aliran angin tersebut akan menggerakkan *blade* turbin yang tersambung dengan poros dan memutar *pulley* dibeletangkannya. Kecepatan putaran poros yang tersambung pada *pulley* dapat diukur dengan menggunakan *tachometer*. *Pulley* yang berputar diberikan variasi beban yang diinginkan sampai putaran poros mencapai putaran minimum dengan beban maksimal. Beban diukur menggunakan *dynamometer newton*. Pengujian dilakukan pada setiap variasi kecepatan angin yaitu 2.5 m/s sampai dengan 5 m/s. dengan penambahan 0.5 m/s setiap pengujian. Ketika kecepatan angin dan variasi beban yang diinginkan tercapai maka dilakukan pencatatan data hasil pengujian.



Gambar 1. Sketsa Pengujian

Gambar 3.

Pengujian dilakukan pada setiap variasi diameter turbin propeler. Variasi panjang *blade* turbin propeler dapat dilihat pada Gambar 2.

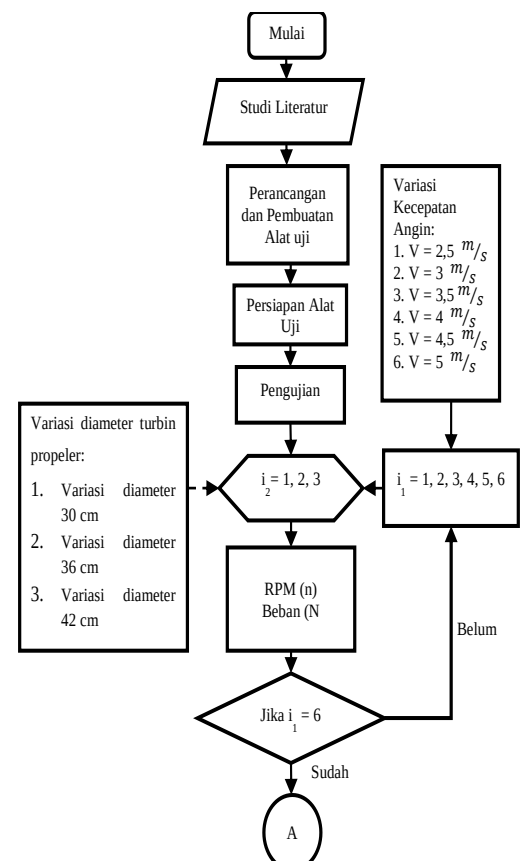


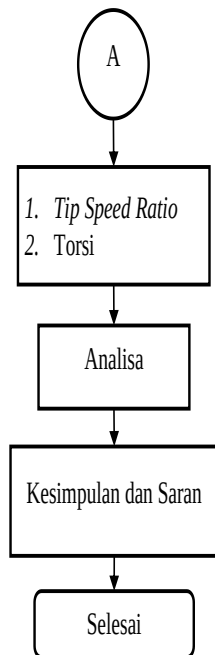
Gambar 2. Blade Turbin Angin Propeler
(A) Panjang 30 cm, (B) Panjang 36 cm (C) Panjang 42 cm

Setelah dilakukan pengujian turbin angin *propeler*, kemudian dilakukan penambahan turbin angin venturi didepan turbin angin propeler. Turbin angin *hybrid* diuji pada setiap variasi diameter turbin angin *propeler* dengan rentang kecepatan angin 2.5 sampai dengan 5 m/s dengan penambahan 0.5 m/s setiap pengujian. Sehingga dapat diketahui penambahan torsi turbin angin *propeler* setelah dilakukan penggabungan dengan turbin venturi pada setiap diameternya.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan diagram alir sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Diagram alir yang digunakan dapat dilihat pada





Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

2.3 Parameter turbin angin

Dari hasil pengujian didapatkan data pengujian yang kemudian dilakukan pengolahan data untuk mengetahui performa dari turbin angin tersebut. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- 1) Kecepatan Sudut Kecepatan sudut dari *blade*

ω = Kecepatan sudut (Rad/s)

n = Kecepatan putaran rotor (Rpm)

- 2) *Tip Speed Ratio*

Tip speed ratio adalah perbandingan kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin nominal tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan rotor. Turbin angin tipe *lift* akan memiliki *tip speed ratio* yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin *drag*. *Tip speed ratio* dihitung dengan persamaan [11]:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v}$$

Dimana:

λ = *Tip speed ratio*

r = Jari-jari rotor (m)

V = Kecepatan angin (m/s)

- 3) Torsi turbin Angin

Torsi pada poros turbin angin adalah gaya yang dihasilkan oleh poros turbin angin. Turbin angin berputar akibat terkena oleh aliran udara yang mengalir melewati turbin. *Blade* turbin yang berputar akan memutar poros turbin yang terhubung dengan *pulley*. Besar *pulley* pada turbin angin ini adalah sebesar 0,025 m. Poros akan diberi beban yang dikaitkan pada pulley sehingga menghasilkan nilai torsi yang diukur oleh alat ukur *tachometer*.

$$T = F \cdot r$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

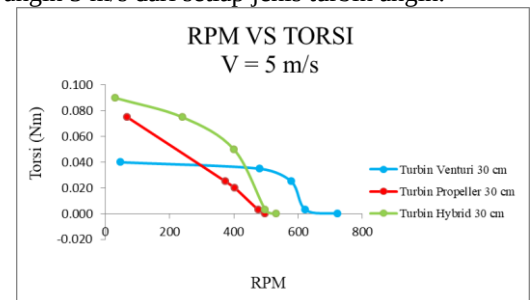
F = Gaya (N) . [11]

3. Analisa dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian disetiap variasi kecepatan angin, diketahui *TSR blade* turbin angin dan daya yang dihasilkan oleh turbin angin pada setiap variasi diameter turbin propeler. Dari data tersebut dapat dibuat grafik perbandingan *TSR* dengan daya yang dihasilkan generator turbin angin di setiap variasi kecepatan angin pada setiap variasi diameter turbin propeler.

3.1 Analisa

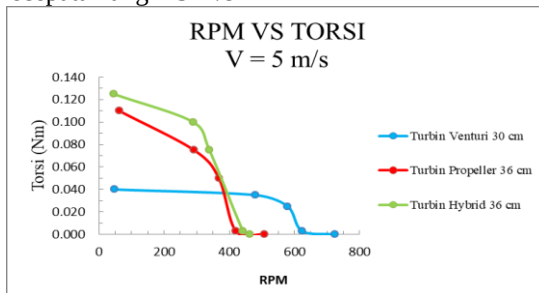
Pada turbin angin diameter 30 cm, performa paling bagus yaitu turbin angin *hybrid* pada kecepatan angin 5 m/s dari setiap jenis turbin angin.



Gambar 4 Grafik perbandingan RPM vs Torsi turbin angin diameter 30 cm $V = 5$ m/s

Pada grafik diatas dapat kita lihat perbandingan antara RPM dan Torsi pada turbin venturi diameter 30 cm, turbin *propeller* diameter 30 cm dan turbin *hybrid* diameter 30 cm dengan kecepatan angin 5 m/s. Berdasarkan grafik dapat kita ketahui bahwa turbin venturi tanpa turbin *propeller* menghasilkan penurunan putaran poros yang konstan dan mengalami kenaikan nilai Torsi yang konstan. Pada kecepatan 5 m/s tanpa beban, turbin venturi menghasilkan putaran poros sebesar 623 RPM dan nilai torsi sebesar 0 N m dan pada beban maksimal sebesar 1.6 N, turbin venturi menghasilkan putaran poros sebesar 47 RPM dengan nilai torsi sebesar 0.035 N m. Pada turbin *propeller* menghasilkan penurunan putaran poros dan mengalami peningkatan nilai torsi yang konstan. Pada kecepatan angin 5 m/s tanpa beban, turbin ini menghasilkan putaran poros sebesar 498 RPM dengan nilai torsi sebesar 0 N. Ketika mencapai beban maksimal sebesar 3 N, turbin ini menghasilkan putaran poros sebesar 68 RPM dengan nilai torsi sebesar 0.075 N m. Setelah dilakukan penggabungan turbin *propeller* di tengah turbin venturi menjadi turbin *hybrid*, pada kecepatan angin 5 m/s mengalami penurunan kecepatan putaran poros secara konstan tetapi mengalami peningkatan nilai torsi. Pada kecepatan angin 5 m/s tanpa beban, turbin *hybrid* menghasilkan putaran poros sebesar 532 RPM dengan nilai torsi sebesar 0 N. Lalu pada beban maksimal sebesar 3.6 N turbin ini menghasilkan putaran poros sebesar 30 RPM dengan nilai torsi sebesar 0,90 N m.

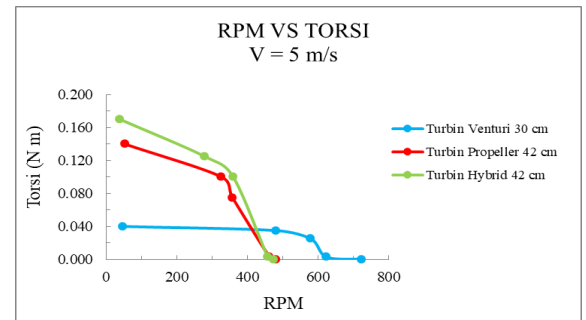
Pada turbin angin diameter 36 cm, performa paling bagus yaitu dimiliki turbin angin *hybrid* pada kecepatan angin 5 m/s



Gambar 5. Grafik perbandingan RPM vs Torsi turbin angin diameter 36 cm V = 5 m/s

Pada grafik diatas dapat kita lihat perbandingan antara RPM dan Torsi pada turbin venturi diameter 30 cm, turbin *propeller* diameter 36 cm dan turbin *hybrid* diameter 36 cm dengan kecepatan 5 m/s. Berdasarkan grafik dapat kita ketahui bahwa turbin venturi tanpa turbin *propeller* menghasilkan penurunan putaran poros yang konstan dan mengalami kenaikan nilai Torsi yang konstan. Pada kecepatan 5 m/s tanpa beban, turbin venturi menghasilkan putaran poros sebesar 723 RPM dan nilai torsi sebesar 0 N m dan pada beban maksimal sebesar 1.6 N, turbin venturi menghasilkan putaran poros sebesar 47 RPM dengan nilai torsi sebesar 0.040 N m. Pada turbin *propeller* menghasilkan penurunan putaran poros dan mengalami peningkatan nilai torsi yang konstan. Pada kecepatan angin 5 m/s tanpa beban, turbin ini menghasilkan putaran poros sebesar 508 RPM dengan nilai torsi sebesar 0 N. Ketika mencapai beban maksimal sebesar 4.4 N, turbin ini menghasilkan putaran poros sebesar 62 RPM dengan nilai torsi sebesar 0.110 N m. Setelah dilakukan penggabungan turbin *propeller* di tengah turbin venturi menjadi turbin *hybrid*, pada kecepatan angin 5 m/s mengalami penurunan kecepatan putaran poros secara konstan tetapi mengalami peningkatan nilai torsi. Pada kecepatan angin 5 m/s tanpa beban, turbin *hybrid* menghasilkan putaran poros sebesar 463 RPM dengan nilai torsi sebesar 0 N. Lalu pada beban maksimal sebesar 5 N turbin ini menghasilkan putaran poros sebesar 45 RPM dengan nilai torsi sebesar 0.125 N m.

Pada turbin angin diameter 42 cm, performa paling bagus yaitu pada turbin angin *hybrid* dengan kecepatan angin 5 m/s.



Gambar 6. Grafik perbandingan RPM vs Torsi turbin angin diameter 42 cm V = 5 m/s

Pada grafik diatas dapat kita lihat perbandingan antara RPM dan Torsi pada turbin venturi diameter 30 cm, turbin *propeller* diameter 42 cm dan turbin *hybrid* diameter 42 cm dengan kecepatan 5 m/s. Berdasarkan grafik dapat kita ketahui bahwa turbin venturi tanpa turbin *propeller* menghasilkan penurunan putaran poros yang konstan dan mengalami kenaikan nilai Torsi yang konstan. Pada kecepatan 5 m/s tanpa beban, turbin venturi menghasilkan putaran poros sebesar 723 RPM dan nilai torsi sebesar 0 N m dan pada beban maksimal sebesar 1.6 N, turbin venturi menghasilkan putaran poros sebesar 47 RPM dengan nilai torsi sebesar 0.040 N m. Pada turbin *propeller* menghasilkan penurunan putaran poros dan mengalami peningkatan nilai torsi yang konstan. Pada kecepatan angin 5 m/s tanpa beban, turbin ini menghasilkan putaran poros sebesar 480 RPM dengan nilai torsi sebesar 0 N. Ketika mencapai beban maksimal sebesar 5.6 N, turbin ini menghasilkan putaran poros sebesar 52 RPM dengan nilai torsi sebesar 0.140 N m. Setelah dilakukan penggabungan turbin *propeller* di tengah turbin venturi menjadi turbin *hybrid*, pada kecepatan angin 5 m/s mengalami penurunan kecepatan putaran poros secara konstan tetapi mengalami peningkatan nilai torsi. Pada kecepatan angin 5 m/s tanpa beban, turbin *hybrid* menghasilkan putaran poros sebesar 473 RPM dengan nilai torsi sebesar 0 N. Lalu pada beban maksimal sebesar 6.8 N turbin ini menghasilkan putaran poros sebesar 38 RPM dengan nilai torsi sebesar 0.170 N m.

3.2 Pembahasan

Dari hasil pengujian turbin angin venturi, variasi diameter *blade* propeler dan turbin angin *hybrid* di kecepatan angin 2.5 m/s sampai dengan 5 m/s, didapatkan variasi beban dan kecepatan putaran poros. Dari hasil pengolahan data tersebut maka dapat diketahui kecepatan sudut *blade*, *tip speed ratio*, dan daya yang dihasilkan oleh generator turbin angin.

Variasi diameter turbin propeler yang digunakan pada penelitian ini adalah 30 cm, 36 cm, dan 42 cm. Pengujian dilakukan pada setiap variasi diameter tanpa turbin *propeller* dan dengan penambahan turbin *propeller* di tengah turbin venturi. Setiap turbin dan variasi *blade* diuji

dengan kecepatan angin 2.5 m/s dan dilakukan penambahan kecepatan angin sebesar 0.5 m/s hingga mencapai kecepatan angin 5 m/s.

Dari hasil pengujian turbin angin venturi terjadi peningkatan performa turbin pada setiap kenaikan kecepatan angin yang mengalir melewati turbin angin. Semakin tinggi kecepatan angin yang mengalir maka kecepatan putaran poros turbin akan semakin tinggi. Sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin angin juga akan semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin tinggi kecepatan angin, energi kinetik angin tersebut semakin besar. Sehingga potensi energi yang tersedia untuk diekstrak oleh *blade* turbin angin akan semakin besar. Jika dibandingkan dari ketiga jenis turbin dan dalam kecepatan angin, turbin *hybrid* menghasilkan performa yang paling bagus pada kecepatan angin 5 m/s memiliki beban paling besar yaitu 6.8 N dengan kecepatan putaran poros sebesar 38 RPM menghasilkan nilai torsi sebesar 0.170 N m. Hal ini dikarenakan gabungan turbin venturi dan turbin *propeller* saling mendukung dengan diameter yang paling besar seiring dengan bertambahnya kecepatan angin.

Pada hasil pengujian turbin propeler dapat diketahui kecepatan putaran poros yang berbeda disetiap variasi diameter. Jika setiap variasi diameter turbin angin propeler dibandingkan dalam kecepatan angin 5 m/s, turbin angin *propeller* dengan diameter 42 cm memiliki performa yang paling bagus menghasilkan beban maksimal 5.6 Newton dengan kecepatan putaran poros sebesar 52 RPM menghasilkan nilai torsi sebesar 0,140 N m. Turbin angin dengan diameter 30 cm memiliki beban maksimal yang paling rendah yaitu 3Newton menghasilkan kecepatan putaran poros yaitu sebesar 68 rpm dan menghasilkan nilai torsi sebesar 0,075 N m. Sedangkan turbin angin dengan diameter 36 cm memiliki beban maksimal sebesar 4.4 Newton menghasilkan kecepatan putaran poros 62 RPM dan menghasilkan nilai torsi sebesar 0,110 Newton.

Dari hasil pengolahan data pengujian turbin angin dapat diketahui bahwa turbin angin propeler dengan diameter 42 cm memiliki performa yang paling bagus diantara ketiga variasi diameter turbin angin propeler pada kecepatan angin 2 m/s hingga 5 m/s. Hal ini bisa terjadi karena *blade* turbin angin propeler dengan diameter 42 lebih memiliki *start-up* paling bagus jika dibandingkan dengan turbin angin propeler dengan diameter 30 cm dan diameter 36 cm (*blade* yang pendek). Sehingga putaran *blade* turbin angin berdiameter besar lebih stabil.

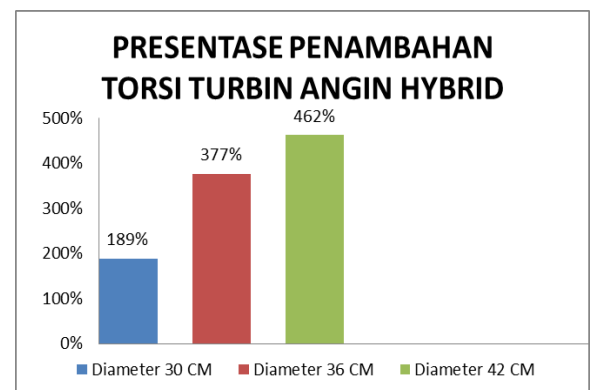
Setelah diketahui performa dari turbin propeler, turbin angin pun diuji dengan melakukan penambahan turbin *propeller* di tengah turbin venturi (turbin angin *hybrid*).

Dari hasil pengujian turbin angin *hybrid*, mengalami peningkatan performa jika dibandingkan dengan turbin venturi (tanpa turbin *propeller*) pada setiap variasi kecepatan angin. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan turbin *propeller* dapat

meningkatkan performa turbin angin *hybrid* ketika turbin *propeller* digabungkan di tengah turbin angin venturi.

Jika setiap variasi diameter dibandingkan dalam kecepatan angin 5 m/s, turbin angin *hybrid* berdiameter 42 cm memiliki peningkatan nilai torsi sebesar 0,170 N m dengan beban maksimal yaitu 6.8 Newton dan menghasilkan kecepatan putaran poros menjadi sebesar 38 RPM dan merupakan performa paling bagus pada setiap variasi diameter turbin *hybrid*. Pada turbin *hybrid* diameter 36 cm juga mengalami peningkatan torsi menjadi sebesar 0.125 N m dengan putaran poros menjadi sebesar 45 RPM dan beban maksimalnya sebesar 5 Newton. Turbin angin *hybrid* berdiameter 30 cm mengalami peningkatan nilai torsi menjadi 0.090 dengan kecepatan putaran poros yaitu menjadi 30 RPM dengan beban maksimal sebesar 3.6 Newton. Hal ini bisa terjadi karena turbin angin propeler disetiap variasi diameter menjadi pendukung pada turbin angin venturi ketika digabung di tengah turbin venturi. Sehingga, pada kecepatan angin tersebut, turbin angin venturi dan propeler diameter 42 cm memiliki performa paling bagus dengan kecepatan yang sinkron dan lebih stabil ketika digabungkan.

Dari data hasil pengujian yang tertera pada lampiran A, dapat diketahui presentase kenaikan turbin venturi ketika turbin *propeller* digabung ke tengah turbin venturi. Presentase kenaikan performa setiap variasi diameter *propeller* tersebut dapat kita lihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7 Grafik Presentase Penambahan Torsi Turbin Angin Hybrid

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data, disimpulkan bahwa turbin venturi memiliki performa paling bagus daripada turbin angin *propeller* dan turbin angin *hybrid*. Ketika dilakukan penambahan variasi turbin *propeller* di tengah turbin venturi menjadi turbin angin *hybrid*, maka turbin angin *hybrid* dengan diameter 42 cm memiliki presentase peningkatan torsi paling besar yaitu 462 %. Sedangkan turbin angin *hybrid* yang memiliki presentase penambahan daya paling rendah yaitu diameter 30 cm dengan presentase peningkatan daya sebesar 189%. Maka ketika

dilakukan variasi diameter, semakin besar rasio diameter turbin *hybrid* performa turbin angin semakin bagus

5. Daftar Pustaka

- [1] Nugroho, Difi N. 2011. Analisis Pengisian Baterai Pada Rancang Bangun Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Untuk Pencatutan Beban Listik. Skripsi. Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia
- [2] Jein Tulonga 2021. Kajian Potensi Energi Angin di Gunung Tumpa Kelurahan Tongkaina Kecamatan Bunaken Kota Manado. Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi, Manado
- [3] Muhammad Rizal Fachri 1. Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
- [4] Aryanto, Firman, dkk. 2013. Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 3 No. 1
- [5] Firanda, Fadel 2019. Kaji Eksperimental Variasi Turbin Angin *Propeller* Terhadap Performa Turbin Angin *Hybrid*. Pekanbaru: Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Vol. 6
- [6] A.M. Hidayatullah Iqsyah1 2017. Perancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Empat Sumbu Horizontal. Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar (Prinsip kerja)
- [7] Hanif Kurniawan 2016. Pemodelan turbin angin sumbu vertikal (vawt) tipe h-rotor untuk pembangkit listrik tenaga angin dipulau tabuhan. Jurusan teknik sistem perkapalan fakultas teknologi kelautan institut teknologi sepuluh nopember Surabaya (jenis-jenis turbin angin)
- [8] Kery A. 2009. Rancang Bangun Turbin Angin Mekanikal Untuk Pengisian *Accumulator*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. (Gaya yang terjadi)
- [9] Taufan Arif Adlie1, Teuku Azuar Rizal2, Arjuanda3 2015. Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya *Output* 1 KW. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh (komponen turbin)
- [10] John frans h. Siahaan 2016. Kajian modal analisis pada turbin angin sumbu vertikal jenis savonius tipe rotor u menggunakan software matlab metode FAST FOURIER TRANSFORM (fft). Departemen teknik mesin fakultas teknik universitas sumatera utara medan
- [11] Mentari Lailla Rachmawati 2010. Rancang Bangun Kincir Angin Model Savonius Termodifikasi Sebagai Sumber Energi Terbarukan. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta