

UJI PERFORMANSI TURBIN ANGIN PROFIL SUDU NACA 0018 SEBAGAI PENGGERAK AERATOR DI TAMBAK UDANG

Rijal B.Sitorus¹, Tulus B. Sitorus², Syahril Gultom³, Farel H. Napitupulu⁴, Taufiq bin Nur⁵
^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
Email : bintang_rijal@yahoo.com

ABSTRAK

Letak geografis Indonesia sebagai negara tropis menyebabkan karakteristik angin di Indonesia sangat berbeda dengan karakteristik angin di negara-negara maju yang telah memanfaatkan angin sebagai sumber energinya. Untuk itu perlu mengembangkan teknologi turbin angin sumbu vertikal yang tidak dipengaruhi perubahan arah datangnya angin. Penelitian ini menggunakan model turbin angin sumbu vertikal Darrieus Tipe-H dengan profil sudu NACA 0018, panjang chord (C) 0,4 m, sudut pitch 6^0 dan jumlah sudu 3 buah. Dimensi turbin angin yaitu diameter (D) 2 m, tinggi (H) 1,5 m dan massa sudu 1,5 kg. Ada 2 buah aerator yang digunakan dalam penelitian ini dengan massa aerator 1,5 kg. Pengujian turbin angin dilakukan pada variasi kecepatan angin yang berasal dari sebuah kipas yaitu 2,2 m/s, 2,6 m/s, 3 m/s; 3,2 m/s, 4 m/s dengan dibebani aerator dan tidak dibebani aerator. Pengujian juga dilakukan di tambak udang dengan kecepatan angin rata-rata 3 m/s. Dari hasil pengujian diperoleh putaran turbin pada saat tidak dibebani aerator dengan variasi kecepatan angin yaitu 12 rpm, 20 rpm, 26 rpm, 30 rpm, 62 rpm dan putaran turbin setelah dibebani aerator yaitu 8 rpm, 12 rpm, 16 rpm, 23 rpm, 56 rpm. Ketika turbin diuji di tambak udang menghasilkan putaran 80 rpm dengan dipasang aerator. Sehingga diperoleh daya turbin secara teori untuk memutar aerator di tambak udang sebesar 7,68 Watt dengan 1 buah aerator terpasang pada kedalaman aerator 2,5 cm dibawah permukaan air.

Kata kunci : Turbin angin Darrieus-H, NACA 0018, sudut pitch, variasi kecepatan angin

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber energi angin di Indonesia masih langka, hal tersebut dimungkinkan karena pengaruh teknologi atau pengetahuan yang belum populer, arah angin yang tidak tetap dan dipandang kurang ekonomis. Angin dipandang sebagai proses alam yang kurang memberikan nilai ekonomis bagi kegiatan masyarakat, namun jika hal ini dimanfaatkan secara optimal dapat memberikan pengaruh yang besar untuk mengurangi krisis energi yang sedang terjadi sekarang ini. Daerah-daerah pesisir di Indonesia memiliki kapasitas angin yang cukup besar dan memungkinkan untuk dikembangkan pembangkit listrik tenaga angin yang sifatnya terbarukan, berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari, karena bergerak angin memiliki energi kinetik.

Energi angin dapat dikonversi atau di transfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan turbin angin. Oleh karena itu turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi [1].

2.2 Turbin Angin

Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak di atas permukaan bumi. Sudah sejak dahulu angin berjasa bagi

2.2.1 Jenis – jenis Turbin Angin

Desain turbin angin yang ada saat ini secara umum terbagi menjadi dua, yaitu turbin angin sumbu mendatar (HAWT) dan sumbu vertikal (VAWT). Berdasarkan fungsi gaya aerodinamis, rotor terbagi menjadi dua, yaitu rotor tipe *drag* dan rotor tipe *lift*.

1. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Turbin angin sumbu horizontal

2. *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 2 H Rotor



Gambar 3 Darrieus



Gambar 4 Savonius Rotor Rotor

2.3 Teori momentum elementer Betz

Teori ini diperkenalkan pertama kali oleh Albert Betz. Teori ini menjelaskan bahwa dengan menerapkan hukum fisika dasar, energi mekanik yang dapat diekstrak dari aliran udara yang melewati suatu penampang dibatasi oleh energi yang terkandung pada aliran udara. Penelitian lebih lanjut ekstraksi daya yang optimal didapatkan dengan rasio tertentu antara kecepatan aliran udara yang berada didepan mesin konversi energi dan kecepatan aliran di belakang mesin tersebut [2].

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{Joule}) \quad (1)$$

Dimana :

E = Energi (Joule)

m = massa udara (kg)

v = kecepatan angin (m/ s)

Banyaknya udara yang mengalir tiap satuan waktu pada luas penampang A tertentu jika angin yang bergerak dengan kecepatan v , dituliskan sebagai berikut :

$$\dot{V} = vA \quad \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad (2)$$

Dimana :

\dot{V} = kapasitas aliran udara (m³/s)

A = Luas penampang melintang aliran (m²)

dan laju aliran massa dengan kerapatan ρ adalah :

$$\dot{m} = \rho vA \quad \left(\frac{kg}{s} \right) \quad (3)$$

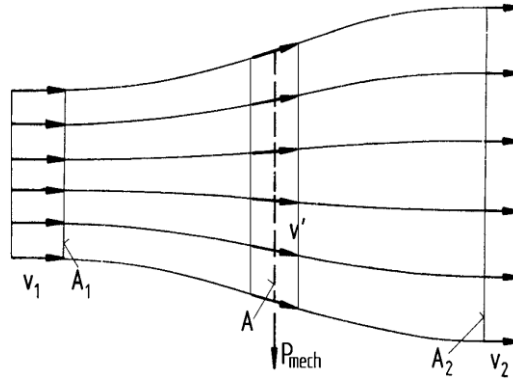
Dimana :

\dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

ρ = massa jenis angin (kg/m³)

Besar energi yang terkandung di dalam massa udara mengalir yang melewati luas penampang A per satuan waktu pada Gambar 5 adalah :

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 A \quad (4)$$



Gambar 5 Pemodelan aliran dari Teori Momentum Betz [3]

Energi mekanik yang diekstrak dari angin akibat perbedaan kecepatan udara dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot v_1 \cdot A_1 - \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^3 \cdot A_2 = \frac{1}{2} \rho (v_1^3 \cdot A_1 - v_2^3 \cdot A_2) \quad (5)$$

Dimana :

P = daya yang diekstrak (W)

ρ = massa jenis udara (kg/ m³)

A_1 = Luas penampang aliran sebelum melalui rotor (m²)

A_2 = Luas penampang aliran setelah melalui rotor (m²)

v_1 = Kecepatan aliran udara sebelum melewati rotor (m/s)

v_2 = Kecepatan aliran udara setelah melewati rotor (m/s)

atau

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (v_1^2 - v_2^2) \quad (6)$$

$$F = \dot{m} (v_1 - v_2) \quad (7) \quad (2.7)$$

$$P = Fv' = \dot{m} (v_1 - v_2) v' \quad (8)$$

dimana :

v' = kecepatan aliran udara pada rotor (m/s)

$$\frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (v_1^2 - v_2^2) = \dot{m} \cdot (v_1 - v_2) \cdot v' \quad (9)$$

maka kecepatan udara yang melewati rotor adalah :

$$v' = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (10)$$

Maka besar daya keluaran mekanik yang dihasilkan adalah :

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2) \quad (11)$$

daya udara sebelum melewati turbin atau daya yang terdapat pada udara adalah :

$$P_o = \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^3 \cdot A \quad (12)$$

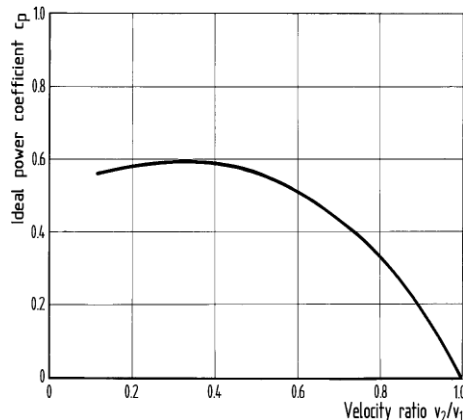
Rasio perbandingan antara daya yang dihasilkan turbin atau daya keluaran mekanik dengan daya yang terdapat pada udara disebut dengan *power coefficient* (C_p) dengan persamaan :

$$C_p = \frac{P}{P_o} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \rho A v_1^3} \quad (13)$$

koefisien daya (C_p) dapat ditentukan secara langsung dari perbandingan v_2 / v_1 adalah :

$$C_p = \frac{P}{P_o} = \frac{1}{2} \left| 1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right| \left| 1 + \frac{v_2}{v_1} \right| \quad (14) \quad (2.14)$$

Koefisien daya tergantung pada perbandingan antara kecepatan udara sebelum dan sesudah melalui turbin. Hubungan keterkaitan itu dapat dilihat pada Gambar 6, solusi analitis dapat ditemukan dengan mudah bahwa koefisien daya mencapai titik maksimum pada rasio kecepatan tertentu.



Gambar 6 Koefisien daya terhadap rasio kecepatan aliran sebelum dan setelah dikonversi [3] dengan $v_2 / v_1 = 1/3$ yaitu koefisien daya maksimum, C_p menjadi

$$C_p = \frac{16}{27} = 0,593$$

2.4 Tip Speed Ratio

Tip speed ratio adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan nominal angin tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh terhadap kecepatan rotor. Turbin angin tipe *lift* akan memiliki *tip speed ratio* yang relatif besar dibandingkan dengan turbin angin *drag*.

Tip speed ratio (tsr) dihitung dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{\omega r}{V_a} = \frac{2\pi n r}{60 V_a} \tag{15}$$

Dimana :

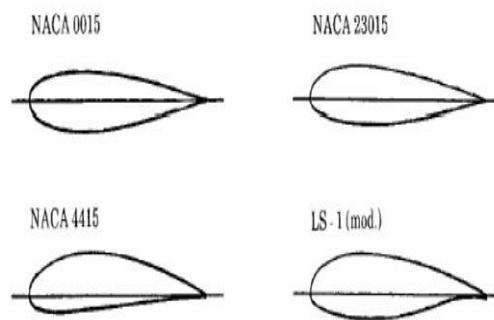
r = jari- jari rotor (m)

n = putaran poros turbin tiap menit (rpm)

V_a = kecepatan angin (m/s)

2.5 Airfoil

Profil airfoil adalah elemen penting dalam konversi energi angin. Terdapat beberapa variabel yang dinyatakan dalam menggambarkan bentuk *airfoil* diantaranya panjang profil *airfoil* (*chord*), ketebalan (*thickness*), dan kelengkungan (*chamber*). Pada Gambar 7 adalah bentuk-bentuk *airfoil*.



Gambar 7 Bentuk *airfoil* [3]

2.6 Bilangan Reynold

Bilangan Reynold (Re) menyatakan perbandingan gaya- gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan (viskositas). Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi. Dilihat dari kecepatan aliran, dikategorikan laminar bila aliran tersebut mempunyai bilangan Re lebih dari 4000. Rumus bilangan Reynolds pada turbin angin adalah :

$$Re = \frac{\rho.C.W}{\mu} \quad (16)$$

dimana :

C = panjang chord (m)

W = kecepatan absolut elemen sudu (m/s)

μ = viskositas dinamik udara (Ns/m²)

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

Kecepatan absolute elemen sudu adalah :

$$W = V_1 \sqrt{(\lambda - \sin \theta)^2 + (\cos \theta)^2} \quad (17)$$

dimana :

W = Kecepatan absolute elemen sudu (m/s)

V₁ = Kecepatan angin sebelum memasuki turbin (m/s)

λ = tip speed ratio

θ = perpindahan sudut gerak melingkar sudu (°)

Bilangan Reynold merupakan faktor yang mempengaruhi gaya *lift* dan gaya *drag* pada *airfoil*, namun dalam banyak perhitungan awal bilangan Reynold dapat diabaikan karena hanya memiliki urutan kedua pada karakteristik untuk menentukan gaya *lift* dan gaya *drag* [4].

2.7 Gaya Aerodinamik pada Turbin Angin Darrieus H

Teori elemen bilah digunakan untuk menganalisa gaya aerodinamika pada *rotating machine*. Pada teori ini, gaya angkat dan gaya hambat dihitung per elemen sudu kemudian diintegrasikan sepanjang sudu.

- Gaya hambat (*drag force*)

Gaya *drag* adalah gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda

Besar gaya hambat dapat dihitung dengan rumus :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V_a^2 A_T C_D \quad (18)$$

- Gaya angkat (*lift force*)

Gaya angkat (*lift*) adalah gaya pada arah tegak lurus arah aliran yang dihasilkan ketika fluida bergerak melalui benda yang berpenampang *airfoil*

Besarnya gaya angkat dapat dihitung dengan rumus :

$$F_L = \frac{1}{2} \rho V_a^2 A_T C_l \quad (19)$$

Dari gambar 10 dapat dirumuskan gaya normal dan gaya tangensial menjadi :

$$F_{normal} = -F_l \cos \alpha - F_d \sin \alpha \quad (20)$$

$$F_{tan\ genisial} = -F_l \sin \alpha - F_d \cos \alpha \quad (21)$$

sehingga torsi yang diperoleh searah putaran pada θ tertentu suatu *airfoil* adalah :

$$T = B.R.(F_l \sin \alpha + F_d \cos \alpha) \quad (22)$$

Dimana :

B = jumlah *blade*

R = jari- jari turbin (m)

Maka daya turbin dapat dihitung dari berapa besar torsi dengan rumus :

$$P_T = T.\omega \quad (23)$$

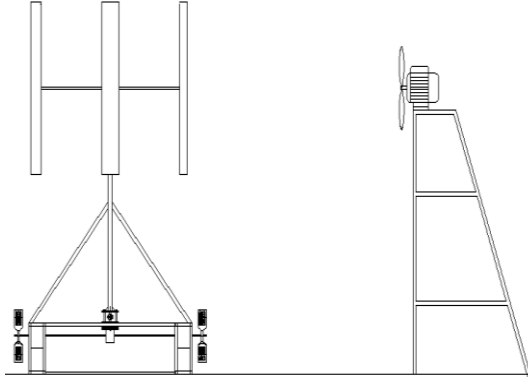
$$P_T = T \frac{2.\pi.N}{60} \quad (24)$$

dimana :

N = putaran poros setiap menit (rpm)

3. METODOLOGI

Pengujian dilakukan setelah mengetahui kecepatan nominal angin yang akan diuji. Dalam hal ini, kecepatan angin dihasilkan dari angin buatan yang dihasilkan dari fan atau kipas yang digerakkan motor listrik seperti pada Gambar 8 . Kecepatan angin diukur dengan menggunakan thermo- anemometer. Untuk mendapatkan kecepatan angin yang diinginkan maka dilakukan dengan cara mengubah jarak antara *fan* dengan turbin angin hingga tercapai kecepatan nominal angin yang diinginkan.



Gambar 8 Sketsa pengujian turbin angin dengan sumber angin dari *fan*

3.1 Pengamatan Data Pengujian

Pada pengujian ini, data- data yang diamati adalah :

1. Parameter kecepatan angin yang diukur dengan menggunakan Thermo- Anemometer.
2. Parameter putaran poros turbin dan poros aerator yang diukur dengan menggunakan digital tachometer.

3.2 Tahap Pengujian dan Pengambilan Data

Tahap- tahap pengujian dan pengambilan data adalah :

1. Turbin angin siap diuji pada jarak yang sudah ditentukan dengan *fan*.
2. *Fan* disiapkan pada tempat dudukannya dengan posisi aman.
3. *Fan* dijalankan untuk menghasilkan kecepatan angin yang direncanakan.
4. Setelah rotor berputar, diperhatikan hingga putaran rotor kelihatan stabil maka pengambilan data dilakukan dengan membaca angka nominal yang tertera pada alat ukur. Pada pengujian pertama dilakukan tanpa dipasang aerator. Data yang diambil adalah putaran poros turbin angin dan aerator.
5. Pengujian kedua dilakukan dengan memasang kedua aerator pada ujung poros aerator.
6. Dengan cara yang sama pada poin satu sampai lima, pengujian untuk selanjutnya dengan variasi kecepatan angin.
7. Pada saat pencatatan pada setiap alat ukur, dilakukan tiga kali pembacaan pada alat ukur untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan diambil nilai rata- rata karena fluktuasi yang terjadi pada saat pembacaan pengukuran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

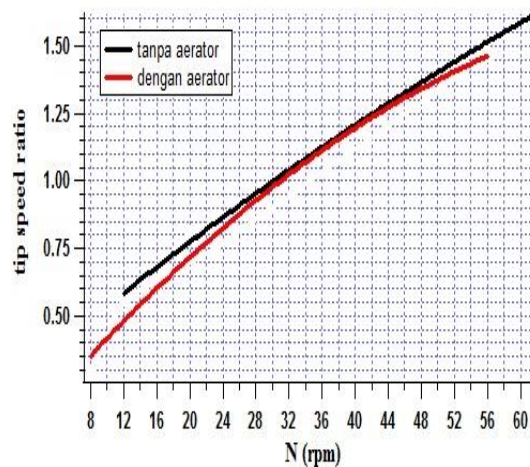
Pengujian yang dilakukan untuk mengambil data kecepatan angin, putaran poros turbin dan putaran aerator yang dihasilkan. Hasil pengujian dibandingkan dengan yang dilakukan secara eksperimen dan hasil yang di dapat setelah diuji di tambak udang hingga bisa memutar aerator di permukaan air

4.1 Tip Speed Ratio

Pada hasil pengujian kecepatan angin $v = 3 \text{ m/s}$ dengan putaran turbin tanpa aerator $n = 26 \text{ rpm}$ dan dengan dipasang aerator putaran turbin $n = 16 \text{ rpm}$, maka untuk masing- masing tip speed ratio dapat dihitung sebagai berikut :

- Tip speed ratio tanpa aerator $n = 26$ rpm

$$\lambda = \frac{2\pi n.r}{60v} = \frac{2 \times \pi \times 100 \times 1}{60 \times 5} = 0,907$$



Gambar 9 Grafik putaran turbin terhadap tip speed ratio

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran turbin maka semakin besar juga *tip speed ratio* yang dihasilkan. *Tip speed ratio* maksimum tanpa aerator 1,6223 dan *tip speed ratio* minimumnya 0,5709. Tetapi *tip speed ratio* maksimum dengan aerator 1,465 dan *tip speed ratio* minimumnya 0,2854. Hal ini dapat dikatakan bahwa beban aerator yang terpasang pada turbin itu akan mempengaruhi besarnya *tip speed ratio* yang dihasilkan. Pada waktu tanpa aerator menghasilkan *tip speed ratio* yang lebih besar daripada *tip speed ratio* dengan dibebani aerator pada kecepatan angin yang sama.

4.2 Torsi dan Daya Turbin

Torsi pada turbin dapat dihitung dengan rumus :

$$T = B F_T R \tag{4.10}$$

Pada $V_a = 3$ m/s, $N = 26$ rpm dengan $F_T = 1,0763$ maka nilai torsi adalah :

$$T = 3 \times 1,0763 \times 1$$

$$T = 3,22 \text{ Nm}$$

Maka daya turbin yang dihasilkan adalah :

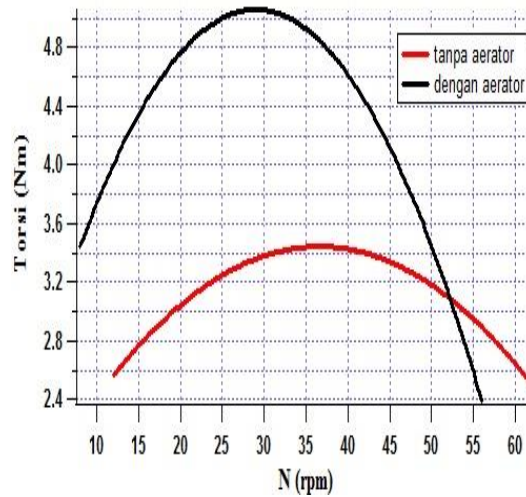
$$P = T \times \omega \tag{4.11}$$

$$P = T \frac{2\pi N}{60}$$

$$P = T \frac{2 \cdot \pi \cdot 60}{60}$$

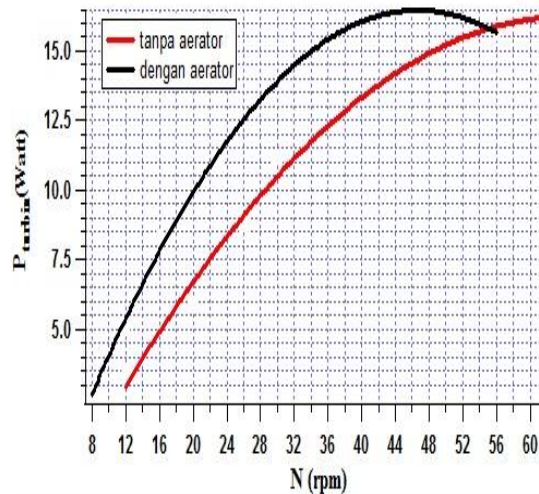
$$P = 8,78 \text{ Watt}$$

Dengan cara yang sama, nilai torsi dan daya yang dihasilkan dapat dicari pada setiap variasi kecepatan angin



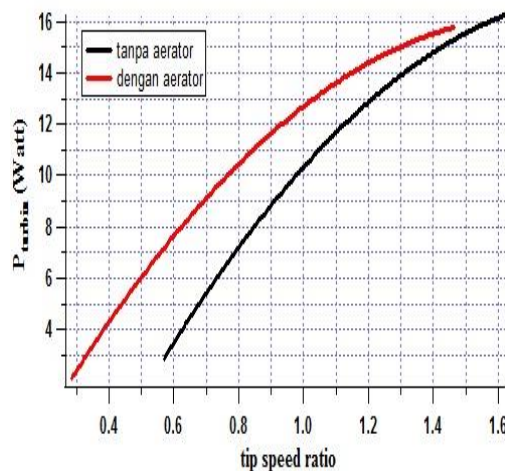
Gambar 10 Grafik putaran poros turbin terhadap torsi

Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa saat turbin dibebani aerator torsi maksimum yang dihasilkan turbin adalah 4,96 pada putaran 16 rpm dan torsi minimum 2,413 Nm saat putaran turbin maksimum 56 rpm. Sedangkan saat turbin tidak dibebani aerator, torsi maksimum 3,56 Nm dengan putaran 30 rpm dan torsi minimum 2,489 Nm saat putaran turbin maksimum 62 rpm.



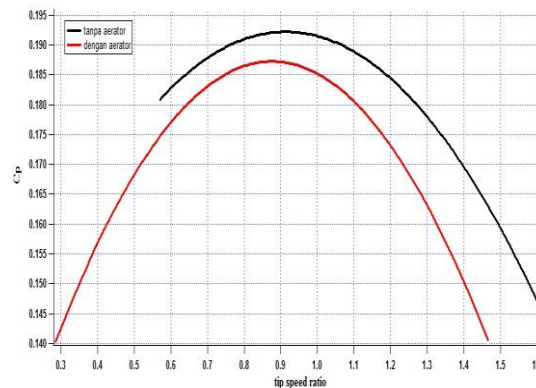
Gambar 11 Grafik putaran poros turbin terhadap daya turbin

Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa semakin besar putaran poros turbin maka semakin besar juga daya yang dihasilkan turbin.



Gambar 12 Grafik tip speed ratio terhadap daya turbin

Pada gambar 12 dapat dilihat bahwa semakin besar *tip speed ratio* maka semakin besar juga daya yang dihasilkan turbin.



Gambar 13 Grafik *tip speed ratio* terhadap koefisien daya

Pada gambar 13 dapat dilihat bahwa saat turbin dibebani aerator, koefisien daya maksimum adalah 0,193 sedangkan saat turbin tidak dibebani aerator maka koefisien daya maksimum 0,196.

4.3 Hasil Pengujian di Tambak Udang

Setelah dilakukan pengujian di laboratorium, selanjutnya turbin diaplikasikan di tambak udang. Pengujian di tambak udang dilakukan pada jam 3 sore sampai dengan jam 5 sore. Hasil pengujian yang dapat menghasilkan putaran turbin maksimum 80 rpm dengan kecepatan angin rata-rata 3 m/s dengan dipasang aerator, hal ini sangat berbeda dengan putaran yang dihasilkan turbin pada saat pengujian di laboratorium yang hanya menghasilkan 16 rpm. Putaran turbin tidak sama di laboratorium dan di lapangan akibat dari turbulensi yang terjadi pada saat pengujian.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa turbin dapat memutar aerator pada kecepatan angin 3 m/s dengan putaran turbin 80 rpm. Kedalaman aerator 2,5 cm di bawah permukaan air dan hanya satu aerator yang bisa terpasang supaya bisa bergerak menghasilkan percikan air. Putaran aerator ketika menghasilkan percikan dalam air 32 rpm.

Besar daya yang diperlukan untuk menggerakkan aerator di tambak udang dari hasil perhitungan rumus-rumus adalah 7,68 Watt

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Besar torsi rata-rata yang diperlukan untuk memutar aerator secara teori adalah 1,2 Nm
2. Daya turbin rata-rata yang diperlukan secara teori untuk memutar aerator adalah 0,8 Watt
3. Daya maksimum yang dihasilkan turbin pada pengujian di laboratorium tanpa aerator adalah 16,156 Watt, sedangkan dengan beban aerator daya maksimum adalah 15,664 Watt
4. Nilai koefisien daya maksimum secara teori yang dihasilkan turbin angin tanpa aerator adalah 0,196 dan dengan aerator sebesar 0,193
5. Untuk proses terjadinya sistem aerasi di tambak udang, hanya 1 buah aerator yang bisa terpasang. Pada saat 2 buah aerator dipasang pada ujung poros aerator, turbin angin tidak bisa memutar aerator sehingga tidak terjadi proses aerasi di tambak udang.
6. Putaran aerator ketika menghasilkan percikan air adalah 32 rpm dengan kedalaman aerator 2,5 cm di bawah permukaan air
7. Daya yang diperlukan untuk memutar aerator 1 buah dengan kedalaman 2,5 cm dibawah permukaan air adalah 7,68 Watt dengan efisiensi turbin 16,3 %

5.2 Saran

1. Pada saat pengujian turbin angin sebaiknya menggunakan *wind tunnel* untuk menjaga aliran udara seragam dan kecepatan angin konstan.

2. Untuk penelitian lebih lanjut lagi sebaiknya menambah variasi kecepatan angin agar karakteristik pada turbin angin terlihat lebih jelas.
3. Untuk penelitian lebih lanjut lagi supaya menambah tinggi turbin angin untuk mendapatkan putaran turbin yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Facruddin, Muhammad. 2011. *Rancang bangun sistem aerator dengan menggunakan energi surya*. IPB: Bogor
- [2] Burton, Tony, David Sharpe, Nick Jenkins, and Ervin Bossanyi. "Wind Energy Handbook"
- [3] Erich Hau, 2005. *Wind turbine ;fundamentals, technologies, application, economics*. Springer. Germany
- [4] Mathew, Sathyajith. 2006. "Wind Energy Fundamentals. Resources Analysis and Economics". India. Springer
- [5] Baker JR.. 2003. *Features to aid or enable self starting of fixed pitch low solidity vertical axis wind turbines*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics
- [6] Daryanto, Y., 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG - UPT- LAGG
- [7] Bhutta, M.M.A dkk, 2011. *Vertical axis wind turbine – A review of various configurations and design techniques*. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier
- [8] Anwar, M.S., 2008. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Stasiun Pengisian Accu Mobil Listrik*. Tugas Sarjana. Surabaya: ITS [9] Gorelov DN. 2009. *Analogy between a flapping wing and a wind turbine with a vertical axis of revolution*. Applied Mechanics and Technical Physics
- [9] Kadir, A., "Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik Dan Potensi Ekonomi", Universitas Indonesia Press, Jakarta, 1987.
- [10] Boyd, Claude E. . 1997. *Pond water aeration systems*. Journal of Aquacultural Engineering, Elsevier
- [11] Manwell, J.F . 2009. *Wind Energy explained; theory, design, and Application; second edition*. Jhon Wiley and sons, Ltd, Publications
- [12] Shubel, Piter J and Richard J. Crossley, 2012. "Wind Turbine Blade Design"