Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)

RANCANG BANGUN KINCIR ANGIN UNTUK PENGGERAK AERATOR DI TAMBAK UDANG BELAWAN

Arrahim[1], Mulfi Hazwi[2], Pramio G. Sembiring[3], Mahadi[4], Dian M. Nasution[5], Marragi M.[6]
[1,2,3,4,5,6]Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Email: arrohim11@yahoo.com

ABSTRAK

Berdasarkan letaknya, Indonesia adalah negara yang berada dikawasan tropis. Hal ini menyebabkan karakterisktik angin Indonesia berbeda dengan kebanyakkan negara yang duluan memanfaatkan angin sebagai sumber energi. Pengembangan energi angin di Indonesia sendiri perlu menggunakan teknologi yang tidak memiliki penggaruh dalam perubahan arah angin seperti tipe kincir angin vertikal. Perancangan ini menggunakan tipe kincir angin vertikal Darrieus tipe H rotor, Sudunya sendiri menggunakan *NACA* 4415, panjang cord © 0.4 m, dan jumlah sudu 3 buah. Dimensi dari kincir angin adalah diameter sapuan 1.5 m, tinggi sudu 1.5 m, lebar kincir angin 1.5 m, tinggi total kincir 2.5 m dan berat sudu 1.5 kg. pada perancangan ini menggunakan aerator tipe paddle wheel dengan berat 1.5 kg dan jumlah aerator 2 buah. Pengujian untuk rancangan ini menggunakan variasi kecepatan dari 3 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s, 4.5 m/s dan 5 m/s. Hal ini untuk mengetahui seberapa efisien rancangan yang telah dibuat. Sistem kerja kincir angin ini adalah sistem apung dengan menggunkan transmisi untuk meneruskan putaran dari poros kincir ke poros aerator. Perbandingan roda giginya adalah 1:2 (percepatan). Hasil rancangan kincir ini didapat efisiensi putarannya 39-42%. Putaran tertinggi poros kincir angin didapat sebesar 106 rpm pada kecepatan angin 5 m/s. Sedangkan putaran terendah didapat sebesar 65 rpm pada kecepatan angin 3 m/s. Putaran tertinggi poros aerator didapat sebesar 212 rpm pada kecepatan 5 m/s. sedangkan putaran terendah didapat sebesar 130 rpm pada kecepatan angin 3 m/s

Kata kunci : *NACA*, sudu, transmisi, kincir angin

1. PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang kebutuhan akan energi menjadi hal yang sangat penting. Namun dalam pemenuhan kebutuhan akan energi terutama di Indonesia masih menggunakan bahan yang tidak dapat diperbarui seperti batubara, minyak bumi dan gas alam. Sehingga ketersediaan bahan bakunya sangat terbatas. Hal ini telah memacu manusia untuk mulai memanfaatkan sumber energi yang lain untuk memenuhi kebutuhan akan energi. Dalam hal ini bisa diambil contoh krisis energi listrik Sumatera Utara.

Sering terjadinya pemadaman listrik dan semakin mahal harga BBM sangat merugikan para pengusaha terutama pegusaha atau petani tambak udang. Karena dalam pembudidayaannya udang harus menerima oksigen yang cukup agar bisa bertahan hidup. Biasanya petani udang menggunakan aerator untuk menghasilkan oksigen. Aerator ini biasanya digerakkan oleh energi listrik namun jika terjadi pemadaman listrik biasanya menggunakan genset untuk menghidupkan aerator. Sehingga dengan polemik yang terjadi direncanakan pembuatan kincir angin untuk menggerakkan aerator sebagai alternatif energi konvensional.

Tujuan perancangan kincir angin ini sebagai berikut:

- Merancang kincir angin untuk menggerakkan aerator
- Mengoptimalisasi penggunaan bahan dan desain kincir angin
- Mengetahui berapa efisien putaran rancangan kincir angin disbanding teoritisnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi angin merupakan salah satu bentuk energi yang dapat diperbaharui. Angin merupakan gejala alam yang diakibatkan adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin.[1]

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)

Turbin angin merupakan pesawat dengan sudu berputar yang mengkonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Jika energi mekanik digunakan langsung secara permesinan seperti pompa atau *grinding stones*, maka mesin disebut kincir (*windmill)*. [1]

Jika energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik, maka mesin disebut turbin atau *wind energy converter* (WEC). Pemanfaatan turbin angin pada dasarnya memanfatkan putaran yang terjadi pada poros yang dihasilkan oleh sudu yang berputar kemudian disesuaikan berdasarkan kebutuhan yang ingin didapatkan seperti memutar poros generator untuk menghasilkan listrik atau memanfatkan putaran poros untuk pengilingan.

Turbin angin berdasarkan letak sumbunya, terbagi atas dua, yaitu :

1. Turbin angin sumbu vertikal.
2. Turbin angin sumbu horizontal

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, menjelaskan 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 (turbin).

Sehingga bedasarkan teori betz ini dapat dicari daya angin yang tersedia di alam dan daya turbin sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2}\rho . v^3 . A \qquad (W) \qquad (1)$$

$$P_T = \frac{1}{2} C_{p.} A_1 . \rho . V_1^3 \,(W) \qquad (2)$$

Turbin angin ini menggunakan *airfoil NACA* 4415. Gaya-gaya terjadi pada sudu turbin sebagai berikut:

Gaya hambat (*drag force*)

$$Fd = ½ \rho . Vr^2 . Ap . C_d \qquad (3)$$

Gaya angkat *(lift force)*

$$F_L = ½ \rho . Vr^2 . Ap . C_L \qquad (4)$$

Gaya torsi

$$Ft = F_L \sin Ø - F_D \cos Ø \qquad (5)$$

Gaya aksial

$$F_A = F_L \cos Ø + F_D \sin Ø \qquad (6)$$

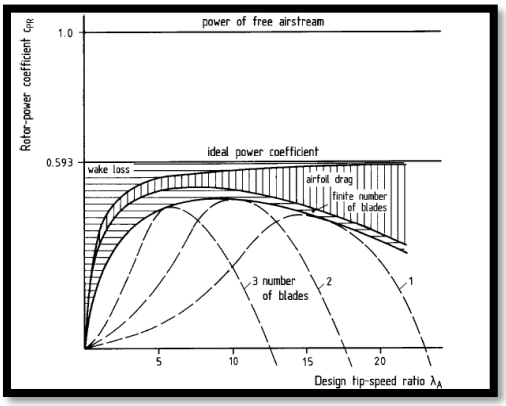
Koefisien daya (C_p) memiliki nilai maksimum sebesar 0,593 seperti tabel dibawah ini:



Gambar 1 Hubungan antara koefisien daya terhadap rasio kecepatan angin[2]

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)

Sedangkan tips speed ratio adalah perbandingan kecepatan keliling kincir angin c dengan kecepatan awal (v_1).



Gambar 2 Hubungan antara koefisien daya dengan desain *tip speed ratio*[3]

Sistem transmisi merupakan sistem yang sangat penting dalam pemindahan daya dan putaran suatu mesin, khususnya di kincir angin untuk aerator ini. Mengingat sumber energi angin yang ada di Indonesia tergolong kecil, maka pemilihan jenis transmisi yang paling sesuai sangat dibutuhkan agar kincir angin ini dapat bekerja sesuai yang diinginkan.

Sistem transmisi yang umumnya saat ini, yaitu transmisi manual dan transmisi otomatis. Juga terdapat sistem-sistem transmisi yang merupakan gabungan antara kedua sistem tersebut. Beberapa transmisi yang penting dalam perancangan kincir angin diantaranya:

- **Poros**

Komponen ini merupakan yang terpenting dari beberapa elemen mesin yang biasa dihubungkan dengan putaran dan daya. Poros merupakan komponen stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dan akan mengalami beban puntir serta lentur atau gabungannya.

Kadang poros dapat mengalami tegangan tarik, kelelahan, tumbukan atau pengaruh konsentrasi tegangan yang akan terjadi pada diameter poros terkecil atau pada poros yang terpasang alur pasak. Hal ini biasanya dilakukan pada penyambungan atau penghubungan antar komponen agar tidak terjadi pergeseran.

Menurut arah memanjangnya (*longitudinal*) maka dibedakan poros yang bengkok (poros engkol) terhadap poros lurus biasa, sebagai poros pejal atau poros berlubang, keseluruhannya rata atau dibuat mengecil. Menurut penampang melintangnya disebutkan sebagai poros bulat dan poros profil (contohnya dengan profil alur banyak dan profil K). di samping itu dikenal juga poros engsel, poros teleskop, poros lentur dan lain – lain.

Pada kontruksi kincir angin, poros biasanya ditemukan pada *gearbox* ataupun dalam menghubungkan elemen mesin yang lain sesuai denan kebutuhan alat. Material yang digunakan pada poros tergantung pada pemakiannya. Pada kondisi yang berat biasanya digunakan baja karbon.

Apabila dilihat dari pembebanan terhadap poros, maka dapt dibedakan atas tiga jenis poros, yaitu:

a. Poros Transmisi

Poros ini mengalami beban puntir murni dan lenturan dan daya yang ditransmisikan ke poros ini adalah melalui kopling, roda gigi, pulley dan sebagainya.

b. Spindel

Poros ini sering disebut dengan poros transmisi yang bentuknya relatif pendek dan biasanya beban yang terjadi adalah beban puntir. Syarat yang perlu untuk poros ini dalah harus memiliki deformasi yang kecil dan juga ketelitian ukuran dan bentuknya.

c. Gandar

Poros ini digunakan untuk menahan puntiran dan kadang-kadang poros ini tidak melakukan gerakan putar.

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)

- **Analisa poros yang digunakan pada kincir angin.**

Poros pada umumnya meneruskan daya melalui sabuk, roda gigi dan rantai. Dengan demikian poros tersebut mendapat beban puntir dan lentur sehingga pada permukaan poros akan terjadi tegangan geser *τ(=T/Z$_p$)* karena momen puntir *T* dan tegangan *σ(=M/Z)* karena momen lentur.

Untuk mengetahui kekuatan tegangan geser maksimum pada poros dalam mengunakan persamaan dibawah ini:

$$\tau_a = \frac{T}{\pi . d_s^3/16} = \frac{5{,}1\,T}{d_s^3} \qquad (7)$$

Dimana :

τ_a = Tegangan geser maksimum berdasarkan bahan poros , kg/mm^2

T = Torsi akibat putaran rotor , kg.mm

d_s = diameter poros , mm

Beban yang bekerja pada poros pada umumnya adalah beban berulang. Pada poros yang terpasang roda gigi untuk meneruskan daya besar maka kejutan berat akan terjadi pada saat mulai atau sedang berputar. Dalam analisa poros ini perlu dipahami faktor koreksi (K_t) yang berlaku pada poros yang terjadi momen puntir seperti tabel dibawah ini:

Untuk mengetahui momen punter dapat dicari dengan menggunakan persamaan ,

$$T = 9{,}74x10^5 \frac{p_t}{n_1} \qquad (8)$$

Selanjutnya untuk mendapatkan besar diameter poros harus dicari terlebih dahulu tenggangan tegangan geser ijin untuk bahan ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\overline{\tau_a} = \frac{\sigma_B}{Sf_1\ Sf_2} \qquad (9)$$

Dimana:

$\overline{\tau_a}$ = tegangan geser ijin bahan (kg/mm^2)

σ_B = kekuatan tarik bahan (kg/mm^2)

Sf_1 = faktor keamanan untuk batas kelelahan puntir yang harganya 5,6 untuk bahan S-F dan 6,0 untuk bahan S-C

Sf_2 = faktor keamanan akibat pengaruh konsentrasi tegangan seperti adanya alur pasak pada poros, harganya 1,3÷3,0

Hal yang lain perlu diperhatikan dalam penganalisaan poros pada kincir angin ini juga faktor koreksi (K_m) pada momen lentur. Ketentuan yang berlaku pada ASME, pada poros yang berputar dengan pembebanan momen lentur yang tetap, besar faktor K_m adalah 1,5. Unutk beban dengan tumbukan ringan K_m terletak pada 1,5-2,0, dan untuk beban dengan tumbukan berat K_m terletak antara 2,0-3,0. Besar τ_{max} yang dihasilkan harus lebih kecil dari tegangan geser yang diizinkan τ_a.

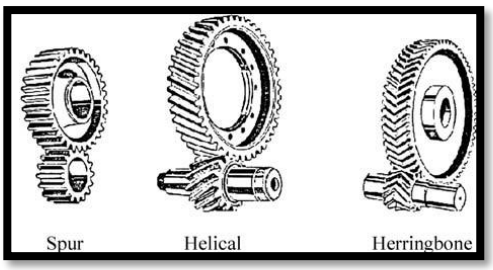
Sehingga dapat dicari diameter poros d_s (mm) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d_s = \left[\frac{5{,}1}{\overline{\tau_a}}\ K_t . C_b . T\right]^{1/3} \qquad (10)$$

- **Roda Gigi**

Secara umum roda gigi digunkan untuk memindahkan atau meneruskan daya dan putaran poros. Dengan adanya roda gigi dapat dinaikkan atau diturunkan jumlah putaran poros pada poros keluaran dengan jalan mengatur rasio roda gigi. Dalam kontruksi kincir angin, pemakaian roda gigi sangat penting. Bahan yang umum digunakan pada roda gigi untuk kincir angin adalah baja.

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)



Gambar 3 Roda gigi yang umum dipakai pada kincir angin.[4]

Jika diameter lingkaran jarak bagi dinyatakan dengan d (mm), dan jumlah gigi dengan z, maka jarak bagi lingkar t (mm) dapat ditulis sebagai

$$t = \frac{\pi d}{z} \qquad (11)$$

Sedangkan untuk modul merupakan hasil bagi diameter dengan jumlah gigi

$$m = \frac{d}{z} \qquad (12)$$

Maka hubungan modul dan jarak bagi lingkar adalah:

$$t = \pi \times m \qquad (13)$$

Jika putaran roda gigi yang berpasangan dinyatakan dengan n_1 (rpm) pada poros pengerak dan n_2 (rpm) pada poros yang digerakkan, diameter lingkaran jarak bagi d_1 dan d_2 (mm), dan jumlah gigi z_1 dan z_2, maka perbandingan putaran *u* didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$u = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{m.z_1}{m.z_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{i} \qquad (14)$$

i adalah perbandingan roda gigi atau perbandingan transmisi. Untuk mencari diameter perbandingan bisa digunakan persamaan:

$$d_b = \frac{2a}{l+i_1} \text{ dan } u = d_b.i_1 \qquad (15)$$

- Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros sehingga putaran dan gerak bolak – baliknya berlangsung dengan halus, aman dan tahan lama. Bantalan banyak digunakan pada aplikasi kincir angin. Biasanya ditemukan pada roda gigi dan *blade pitch system*.

Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Atas Dasar Gerakan Bantalan Terhadap Poros

a. Bantalan Luncur. Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditempu oleh permukaan bantalan dengan perantaraan lapisan pelumanas.

b. Bantalan Gelinding. Pada bantalan ini terjadi gesek gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol atau rol jarum dan rol bulat.

2. Atas Dasar Arah Beban Terhadap Poros

a. Bantalan Radial. Arah beban yang ditumpu bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros.

b. Bantalan aksial. Arah beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros.

c. Bantalan gelinding khusus. Bantalan ini dapat menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus sumbu poros.

Pada bantalan analisa beban yang digunakan dengan menggunakan persamaan:

$$W = w \times l \qquad (16)$$

Keterangan:

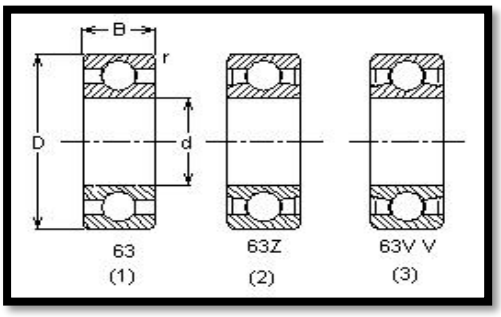
W adalah beban bantalan (kg)

w adalah beban persatuan panjang (kg/mm)

l adalah panjang bantalan (mm)

$$W \geq \frac{1000\ x\ 60}{\pi} . \frac{(pv)_a\ x\ l}{N} \qquad (17)$$

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)



Gambar 4. Bantalan[4]

Tekanan (p) yang terjadi pada bantalan ini dapat di analisa dengan menggunakan persamaan:

$$p = \frac{W}{l \, x \, d} \qquad (18)$$

Pada perancangan kincir angin ini menggunkann sistem terapung. Sehingga kincir bisa dipindahkan dari satu tempat ke tempat yang lain.

3. METODE PENELITIAN

Kincir angin digunakan untuk untuk menggerakkan aerator dibuat sendiri dengan memanfaatkan bahan-bahan yang ada disekitar kita. Bahan dan alat yang digunakan untuk membuat sebuah kincir angin ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 1 Bahan yang Digunakan

NO.	NAMA BAHAN	DIMENSI (mm)	UNIT
1	Plat seng	1000x2000x0.5	10
2	Besi siku	20 x 20	8
3	Besi siku	40x 40	2
4	Besi beton	Ǿ = 10	5
5	Baut	M8	100
6	Baut	M10	20
7	Busur las	Ǿ = 3	1
8	Besi As (ST 37)	Ǿ = 25, l = 1300	1
9	Plat hub	250 x 80	1
10	Plat aluminium	2000 x 1000 x 0.8	1
11	Plat hub fan	150 x 40	1
12	Kabel	l = 1500	
13	Plat aluminium	2000 x 1000 x 2	1
14	Pulley		1
15	Poros Pemutar		1

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)

Alat yang digunakan dalam perakitan kincir angin ini ditampilkan pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2 Alat-alat yang digunakan dalam pengerjaan kincir angin

NO	NAMA ALAT	UNIT
1	Mesin bor	1
2	Gergaji	1
3	Tang potong	1
4	Gunting	1
5	Kikir	1
6	Amplas	1
7	Ballpoin	1
8	Penggaris	1
9	Jangka sorong	1
10	Obeng	1
11	Mesin las	1
12	Mesin bubut	1
13	Mesin gerinda	1

Alat yang telah selesai di pabrikasi ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 5 Kincir angin yang telah difabrikasi.

Kincir angin ini menngunakan sistem apung. Sudunya sendiri menggunakan *airfoil NACA* tipe 4415 dengan panjang sudu 1.5 m, diameter sapuan 1.5 m dan tinggi kincir angin adalah 2.5 m.

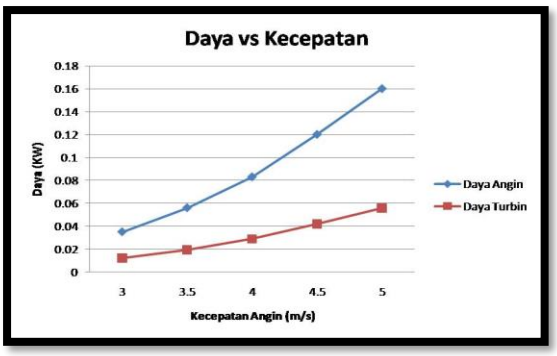
Pengujian untuk rancangan ini menggunakan variasi kecepatan 3 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s, 4.5 m/s dan 5 m/s.

Transmisi menggunakan roda gigi kerucut, bantalan luncur dan poros pejal berbahan baja. Sudunya sendiri menggunakan bahan alumunium. Rangka bawahnya menggunakan besi siku dengan pengapungnya menggunakan diregen sebanyak 4 buah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah hubungan kecapatan angin terhada daya angin tersedia di alam dan daya yang bisa di konversi oleh kincir angin

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)



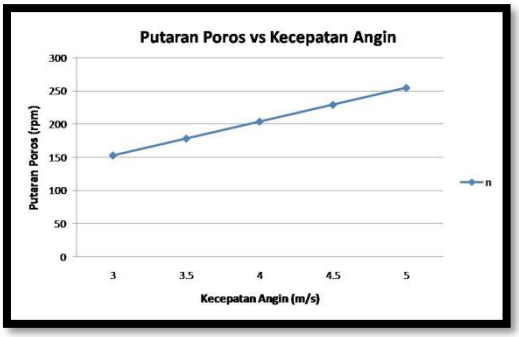
Gambar 6 Grafik perbandingan daya dengan kecepatan angin

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin besar angin yang ada di alam semakin besar pula daya yang dihasilkan kincir angin.

Putaran poros kincir didapat dengan asumsi bahwa tip speed ratio rancangan sebesar 4. Sehingga didapat bedasarkan hasil perhitungan putaran poros kincir sebagai berikut

Tabel 3 perhitungan putaran poros terhadap kecepatan angin

C (m/s)	TSR (	V (m/s)	n (rpm)
12	4,0	3,0	153
14	4,0	3,5	178
16	4,0	4,0	204
18	4,0	4.5	229
20	4,0	5,0	255



Gambar 7 Grafik Putaran poros vs kecepatan angin

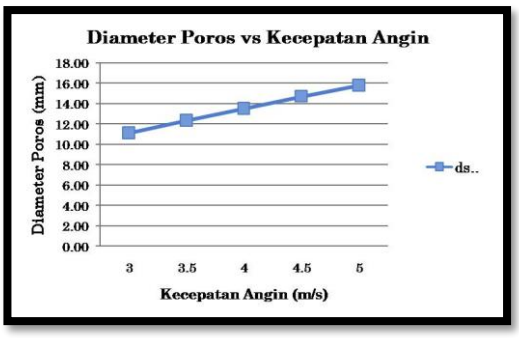
Pada gambar 7 diatas terlihat putaran poros yang dihasilkan semakin besar apabila kecepatan angin semakin bertambah besar.

Sehingga dari hasil perhitungan daya dan putaran poros maka dapat rancangan poros yang sesuai untuk kincir angin ini. Dari hasil perhitungan didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4 perhitungan poros kincir angin

V (m/s)	n (rpm)	P_t (kw)	T (kg.mm)	d_s (mm)
3,0	153	0,035	223	9,22
3,5	178	0,056	306	10,26
4,0	204	0,083	397	11,17
4,5	229	0,12	510	12,15
5,0	255	0,16	611	12,91

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)



Gambar 8 grafik hubungan antara putaran terhadap diameter poros

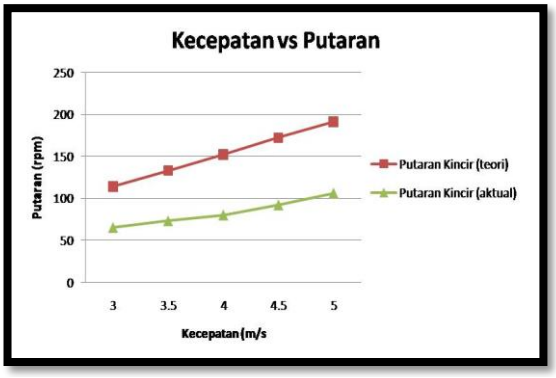
Berdasarkan tabel 4 dan gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar putaran kincir maka poros yang dirancang harus besar juga. Hal ini karena dipengaruhi faktor sefty poros baik itu momen puntir maupun momen lentur poros.

Hasil percobaan yang dilakukan di alboratorium setelah benda jadi didapat data sebagai berikut:

Tabel 5 Hasil percobaan kincir angin

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Aerator (rpm)
3,0	65	130
3,5	73	146
4,0	80	160
4,5	92	184
5,0	106	212

Sehingga hasil perbandingan perhitungan dengan percobaan dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 9 garfik perbandingan putaran kincir secara teori dengan aktualnya.

Sehingga jika dilihat dari grafik dapat dilihat bahwa rancangan ini belum maksimal. Dari data percobaan didapat hasil efisiensi rancangan putaran kincir sebagai berikut:

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, Juni 2016 (ISSN: 0216-7492)

Tabel 6 hasil perhitungan efisiensi rancangan

V (m/s)	Putaran Kincir (teori) (rpm)	Putaran Kincir (aktual) (rpm)	efisiensi (%)
3	153	60	42,48
3.5	178	73	41,01
4	204	80	39,22
4.5	229	92	40,17
5	255	106	41,57

Sehingga bedasarkan garfik dan perhitungan didapt hasil efisinesi diantara 39-42 %. Rendah hasil efisiensi ini juga dipengaruhi karena pengujian yang dilakukan dilaboratorium hanya menggunakan satu kipas sehingga angin tidak mengenai seluruh area bidang sudu.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, dan perhitungan yang didapatkan sebagai berikut:

1. Spesifikasi kincir angin
   a. Tipe kincir adalah sumbu vertikal darius H rotor
   b. Tinggi 2,5 m
   c. Panjang rangka 1,5 meter
   d. Profil sudu *airfoil NACA* 4415
   e. Panjang sudu 1,5 m dengan bahan almunium
2. Tramisi kincir angin
   a. Menggunakan bantalan luncur
   b. Roda gigi tipe kerucut dengan perbandingan 1:2 (percepatan)
   c. Poros menggunakan poros pejal berbahan baja dengan diameter 17 mm
3. Efisiensi putaran rancangan berkisar 39-42 %. Pada percobaan didapat hasil putaran sebagai berikut:.
   a. Pada poros Kincir putran tertinggi sebesar 106 rpm pada kecepatan angin 5 m/s. Sedangkan putaran terendah didapat sebesar 65 rpm pada kecepatan angin 3 m/s.
   b. Pada poros aerator didapat putaran tertinggi sebesar 212 rpm pada kecepatan 5 m/s. sedangkan putaran terendah didapat sebesar 130 rpm pada kecepatan angin 3 m/s

DAFTAR PUSTAKA

[1] Astu dan Djati Nursuhud, 2006, *Mesin Konversi Mesin*, Pernerbit: Andi Offset, Yogyakarta
[2] Eric Hau, 2006. *Wind turbine ;fundamentals, technologies, application, economics*. Springer. Germany.
[3] Manwell,J.F. 2009. *Wind Energy explained; theory, design, and Application;second edition.* Jhon Wiley and sons,Ltd, Publications.
[4] Sularso. Kiyokatsu Suga, 1978, *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*, Pradyna Paramita, Jakarta.