

TURBIN ANGIN HORIZONTAL ROTOR GANDA SEBAGAI PENGGERAK POMPA IRIGASI PERTANIAN

Moh. Ibnu Kharisma Alfajri², Mustaqim², Galuh R wilis³

1 Mahasiswa, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal

2, 3 Dosen Fakultas Teknik, Universitas Pancasakti Tegal

Abstrak

Dewasa ini krisis air yang sering terjadi pada wilayah Indonesia membuat pemerintah kedodoran dalam menangani permasalahan krisis air tersebut. Terlebih para petani yang sudah memulai bercocok tanam yang dalam perjalanannya sering menemui kendala dengan kurangnya pasokan air untuk mengalir lahan persawahan khususnya di wilayah Kabupaten Tegal. Dari ancaman kekeringan itulah, maka diperlukan pengembangan teknologi dalam rangka menanggulangi ancaman yang akan terjadi, salah satunya pengembang turbin angin sebagai penggerak pompa.

Penelitian turbin angin ini dalam rangka pengembangan energi angin yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik kecepatan angin terhadap pengaruh daya yang dihasilkan turbin angin horizontal dengan rotor ganda sebagai penggerak pompa irigasi pertanian melalui putaran poros turbin. Metode yang digunakan adalah eksperimental, di mana alat di tempatkan langsung di lapangan dan mengambil data kemudian diteliti untuk dianalisa. Dengan memanfaatkan energi angin dalam menggerakkan rotor turbin kemudian diteruskan menggerakkan engkol pompa yang bertujuan untuk menghasilkan debit air yang dihasilkan oleh pompa. Sistem penggerak pada pompa air ini menggunakan poros engkol yang diteruskan ke pompa air. Kecepatan angin yang diperoleh 1.5 m/s sampai 4.4 m/s diukur dengan menggunakan *anemometer*, sedangkan putaran turbin yang dihasilkan diukur dengan menggunakan alat *tachometer*.

Dari hasil penelitian yang didapat menunjukkan hasil putaran turbin yang bervariasi, hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin yang tersedia, kecepatan angin terbesar 4.4 m/s menghasilkan putaran turbin sebesar 119 rpm dengan daya yang dihasilkan sebesar 0.011 watt, sedangkan kecepatan angin terkecil 1.5 m/s dengan putaran turbin 54 rpm dengan daya yang dihasilkan 0 watt. Pada sistem penggerak pompa perlu digunakan sistem transmisi roda gigi untuk mereduksi kecepatan angkat pompa agar nantinya pompa air bisa lebih maksimal.

Kata kunci : Turbin angin horizontal, rotor ganda, poros engkol, pompa

PENDAHULUAN

Dewasa ini krisis air yang sering terjadi pada wilayah Indonesia membuat pemerintah sering kedodoran dalam menangani permasalahan krisis air tersebut. Terlebih para petani yang sudah memulai bercocok tanam yang dalam perjalanannya sering menemui kendala dengan kurangnya pasokan air untuk

mengaliri lahan persawahan khususnya di wilayah kabupaten Tegal. Musim kemarau yang melanda wilayah Kabupaten Tegal sejak beberapa pekan terakhir membuat lahan pertanian terancam krisis air. Petani mulai kesulitan mengalir sawah, namun beberapa petani yang nekat menanam padi berinisiatif membuat sumur bor. Berdasarkan pemetaan daerah rawan

bencana yang dilakukan Bappeda beberapa waktu lalu, terdapat sejumlah kecamatan yang menjadi daerah rawan kekeringan. Daerah itu meliputi kawasan pantura dan kawasan tengah di beberapa Kecamatan yaitu Warureja, Suradadi, Kramat (Pantura), Kedungbanteng, Jatinegara, dan Balapulang. Lahan pertanian yang terancam kekeringan seluas 7.439 hektare di Kabupaten Tegal mengandalkan pasokan air dari Waduk Cacaban, Kecamatan Kedungbanteng. Pada tahun yang lalu air waduk tersebut terus menyusut karena kemarau panjang. Data dari Pelaksana Alokasi Air Balai Pelaksana Sumber Daya Air (BPSDA) pemali Comal menyebutkan, pada kemarau sebelumnya, elevasi air Waduk Cacaban hanya tinggal 77,5 meter dengan volume 8,02 juta meter kubik. Padahal sesuai rancangan, volume air seharusnya mencapai 12,44 juta meter kubik. Ancaman itu mulai melanda pertanian di Kecamatan Dukuhwaru. Seperti halnya lahan pertanian di Kalisoka. Tanah di lahan persawahan tersebut mulai merekah. Saluran air di wilayah tersebut juga telah mengering. Sejumlah petani mulai membuat sumur bor untuk mengaliri lahannya (harian suara merdeka pada tanggal 21 agustus 2013). Ancaman kekeringan itulah, maka diperlukan pengembangan teknologi dalam rangka menanggulangi ancaman yang akan terjadi, salah satunya dengan pengembangan energi angin.

Dengan kebutuhan energi yang terus meningkat, maka pemanfaatan energi angin sebagai energi terbarukan bisa menjadi salah satu sumber energi di tengah kebutuhan energi yang terus meningkat saat ini. Pemanfaatan energi terbarukan yang kini terus dikembangkan berharap nantinya bisa mengurai permasalahan – permasalahan yang kerap terjadi di masa kini dan masa yang akan datang. Tersediaannya energi angin yang tak terbatas nantinya bisa menjadi salah satu energi terbarukan yang lebih maksimal dimanfaatkan dan menjadi salah satu

sumber energi ramah lingkungan sekaligus alternatif pengganti konsumsi energi fosil.

Pemanfaatan dan pengembangan energi angin untuk menggerakkan pompa yang bisa menaikkan air dari dalam sumur bor menjadi teknologi pengganti dari penggunaan mesin diesel sebagai irigasi yang mampu memenuhi kebutuhan air para petani. Dan pemanfaatan teknologi ini sangat ramah lingkungan dan bisa meminimalisir konsumsi bahan bakar fosil. Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah mendapatkan karakteristik turbin angin horizontal dengan rotor ganda dalam menggerakkan pompa.

LANDASAN TEORI

Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak disebabkan adanya perbedaan tekanan. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi menuju daerah bertekanan lebih rendah. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi oleh sinar matahari. Daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperatur yang lebih tinggi dari pada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Menurut hukum gas ideal, temperatur berbanding terbalik dengan tekanan, dimana temperatur yang tinggi akan memiliki tekanan yang rendah, dan sebaliknya.

Udara memiliki massa m dan kecepatan v akan menghasilkan energi kinetik sebesar:

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan v dan melewati daerah seluas A adalah:

$$V = vA$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan p , yaitu:

$$m = pV = pvA$$

sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah:

$$P_w = \frac{1}{2} (\rho Av) \cdot (v^2) = \frac{1}{2} \rho Av^3$$

Dengan: P_w = daya angin (watt)

ρ = densitas udara ($\rho = 1.225$ kg/m³)

A = luas penampang turbin (m²)

V = kecepatan udara (m/s)

Besar daya di atas adalah daya yang dimiliki oleh angin sebelum dikonversi atau sebelum melewati turbin angin. Dari daya tersebut tidak semuanya dapat dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin (Ajao dan Adeniyi, 2009).

Turbin angin

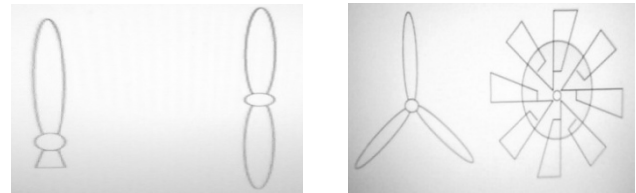
Turbin angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam sistem konversi energi angin (SKEA). Turbin angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik atau menggerakkan pompa untuk pengairan. Pemanfaatan energi angin telah dilakukan sejak lama. Pertama kali digunakan untuk menggerakkan perahu di sungai Nil sekitar 5000 SM. Penggunaan kincir sederhana telah dimulai sejak permulaan abad ke-7 dan tersebar diberbagai Negara seperti Persia, Mesir, dan Cina dengan berbagai desain. Di Eropa, kincir angin mulai dikenal sekitar abad ke-11 dan berkembang pesat saat revolusi industri pada awal abad ke-19 (Ajao dan Mahamood, 2009). Desain turbin angin yang ada saat ini secara umum terbagi menjadi dua, yaitu turbin angin sumbu mendatar (HAWT) dan sumbu vertikal (VAWT).

Berdasarkan bentuk rotor, turbin angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu mendatar (*horizontal axis wind turbine*) dan turbin angin sumbu vertical (*vertical axis wind turbine*) (Daryanto, 2007).

a. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) merupakan turbin yang

poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Biasanya turbin jenis ini memiliki *blade* berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pada pesawat. Pada turbin ini, putaran rotor terjadi karena adanya gaya *lift* (gaya angkat) pada *blade* yang ditimbulkan oleh aliran angin. Turbin ini cocok digunakan pada tipe angin sedang dan tinggi, dan banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar.

Jumlah *blade* pada HAWT bervariasi, mulai dari satu *blade*, dua *blade*, tiga *blade*, dan banyak *blade* (*multi blade*) yang penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi angin. Secara umum semakin banyak jumlah *blade*, semakin tinggi putaran turbin



Singleblade, Doublebladed, Three-bladed Multi-bladed

Gambar 2.2 Variasi jumlah blade pada HAWT (Daryanto, 2007)

Setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan turbin jenis ini, yaitu memiliki efisiensi yang tinggi, dan *cut-in wind speed* rendah. Kekurangannya, yaitu turbin jenis ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah angin selain itu penempatan dinamo atau generator berada di atas tower sehingga menambah beban tower.

b. *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor

dapat berputar pada semua arah angin. Ada tiga tipe rotor pada turbin angin jenis ini, yaitu: Savonius, Darrieus, dan H rotor. Turbin Savonius memanfaatkan gaya *drag* sedangkan Darrieus dan H rotor memanfaatkan gaya *lift*.



(a) Savonius Rotor (b) Darrieus Rotor (c) H Rotor

Gambar 2.3 Turbin angin sumbu tegak (Mittal, 2001)

Teori Momentum Elementer Betz

Dalam sistem konversi energi angin, energi mekanik turbin hanya dapat diperoleh dari energi kinetik yang tersimpan dalam aliran angin, berarti tanpa perubahan aliran massa udara, kecepatan angin di belakang turbin haruslah mengalami penurunan. Dan pada saat yang bersamaan luas penampang yang dilewati angin haruslah lebih besar, sesuai dengan persamaan kontinuitas. Jika v_1 kecepatan angin di depan rotor, $v =$ kecepatan angin saat melewati rotor, dan $v_2 =$ kecepatan angin di belakang rotor, maka daya mekanik turbin diperoleh dari selisih energy kinetik angin sebelum dan setelah melewati turbin.

Sehingga perbandingan daya mekanik turbin dan daya keluaran teoritiknya, yang biasa disebut sebagai factor daya (C_p) adalah:

$$C_p = \frac{P_T}{P_w} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1 + v_2)(v_1 - v_2)}{\frac{1}{2} \rho A v_1^3}$$

C_p maksimum diperoleh apabila $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ yang menghasilkan nilai sebesar 0,593. Ini berarti, meski dengan asumsi ideal, dimana aliran dianggap tanpa gesekan dan

daya keluaran dihitung dengan tanpa mempertimbangkan jenis turbin yang digunakan, daya maksimum yang bisa diperoleh dari energi angin adalah 0,593 yang artinya hanya sekitar 60% saja daya angin yang dapat dikonversi menjadi daya mekanik. Angka ini kemudian disebut faktor Betz.

Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin. TSR dilambangkan dengan λ (Mittal, 2001).

$$\lambda = \frac{\omega R}{v_w}$$

Dengan $\lambda =$ tip speed ratio
 $\omega =$ kecepatan sudut turbin (rad/s)

$R =$ jari-jari turbin (m)

$v_w =$ kecepatan angin (m/s)

Selain menggunakan persamaan (2.15), TSR juga dapat diperoleh dari persamaan:

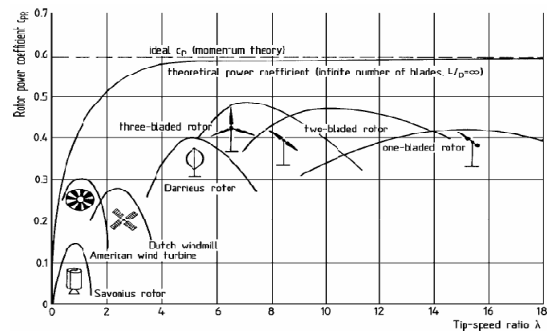
$$\lambda = \frac{\text{bladetip speed}}{v_w}$$

Blade tip speed merupakan kecepatan ujung *blade* atau rotor, dimana:

$$\lambda = \frac{\text{rotationalspeed}(rpm) \times \pi \times D}{60}$$

dengan D adalah diameter turbin (RWE npower renewables, 2009).

Karena setiap tipe turbin angin memiliki karakteristik yang berbeda-beda, maka faktor daya sebagai fungsi dari TSR juga berbeda sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.4 Variasi *Tip Speed Ratio* Dan Koefisien Daya C_p Pada Berbagai Jenis Turbin Angin (Sumber : Hau, 2006)

Daya Penggerak Pompa Torak

Suatu pompa torak bila bekerja, mula-mula menghisap cairan melalui pipa hisap dan kemudian memompa cairan tersebut keluar melalui pipa hantar.

Jika:

H_s = head hisap pompa dalam meter

H_d = head hantar/buang pompa dalam meter

w = berat spesifik cairan

Q = debit cairan, m³/s

Gaya pada torak pada langkah pemompaan/maju adalah:

$F_d = w.H_d.A$ kg (SI : kN)

dan gaya torak pada langkah penghisapan/mundur adalah:

$F_s = w.H_s.A$ kg (SI : kN)

Kerja spesifik yang dilakukan oleh pompa adalah:

$Y = g.(H_s + H_d)$ kg.m (SI : kN-m)

Daya teoritik yang diperlukan untuk menggerakkan pompa adalah sebesar:

$P_T = w.g.Q(H_s + H_d)$ kW

Daya sebenarnya yang diperlukan untuk menggerakkan pompa selalu lebih besar daripada gaya teoritis, karena adanya bermacam-macam kerugian (losses).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah metode experimental yaitu suatu penelitian / uji coba langsung di lapangan yang memungkinkan peneliti memanipulasi variabel dan meneliti akibat – akibatnya. (Arikuntoro, 2006). Dalam penelitian ini variabel sudah ditentukan sehingga pelaksanaannya meliputi variabel terikat dan variabel bebas. Dan turbin angin yang akan dibuat adalah dengan rancangan rotor ganda dengan diameter turbin 2,4 meter dengan 12 bilah sudu datar atau 6 sudu di tiap rotornya, kemudian penopang tiang

Instrumen Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian dengan spesifikasi berikut :

1. Diameter Turbin

Perancangan dan pembuatan turbin angin ini menggunakan ukuran dengan diameter 3 m.

2. Jumlah Turbin

Pada penelitian ini penggunaan turbin menggunakan turbin ganda (rotor ganda) hipotesa awal dengan menggunakan turbin dengan rotor ganda ini adalah untuk mendapatkan daya turbin yang lebih besar.

3. Jumlah Sudu

Jumlah sudu yang dibuat dan digunakan sebanyak 12 bilah sudu.

4. Sudut Serang Turbin

Pada penelitian sebelumnya di dapatkan daya maksimum pada sudu 20⁰, maka dari itu data ini kami jadikan rujukan untuk menetapkan besaran sudu yang akan digunakan dalam penelitian.

5. Bahan Sudu

Bahan sudu menggunakan kayu jati hasil memanfaatkan bahan yang ada di sekitar (tersedia di rumah).

6. Kecepatan angin

Pada kecepatan angin yang akan digunakan nantinya akan di cari dari kecepatan 1 – 5 m/s, nilai kecepatan angin ini berdasarkan hasil penelitian sebelumnya.

7. Diameter pipa = 1 inch (2.54 cm)

8. Panjang langkah pompa = 10 cm

9. Tinggi keluaran pompa dari permukaan air = 75 cm

Metode Analisa Data

Metode dalam analisa data adalah deskriptif yaitu statistik yang berfungsi untuk mendeskripsikan atau memberikan gambaran terhadap obyek yang diteliti melalui data sampel atau populasi sebagaimana adanya, tanpa melakukan analisis dan membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum.

PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 19-21 Januari 2016 bertempat di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Pancasila Tegal dengan hasil data yang diperoleh sebagai berikut :

4.1 Tabel hasil uji kecepatan angin dan putaran poros turbin

No.	Kecepatan angin (m/s)	Putaran poros (Rpm)	Volume (m ³)	Debit Air = Q (m ³ /s)
1.	1.5	54	0	0
2.	2.2	73	0.0005	0.0000083
3.	2.9	93	0.00068	0.000011
4.	4	113	0.0008	0.000013
5.	4.4	119	0.00092	0.000015

1. Kerapatan Udara

Dalam pengujian yang dilakukan diketahui bahwa suhu lingkungan adalah 33⁰C. dengan kerapatan udara (ρ) adalah 1.2 kg/m³.

2. Daya Teori Turbin Angin

Energi yang dimiliki angin dapat diperoleh dari persamaan :

$$W = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad \text{dan nilai A didapat dari persamaan =}$$

Dimana :

W = Energi angin (Watt)

ρ = Kerapatan Udara (Kg/m³)

A = Luas Sapuan Turbin (m²)

V = kecepatan angin (m/s)

Perhitungan turbin angin dengan kecepatan angin (V) 4,4 m/s.

$$\begin{aligned} P_{\text{teoritis}} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 7,065 \cdot 4,4^3 \\ &= 4.24 \cdot 85,18 \\ &= 361,16 \text{ watt} \end{aligned}$$

3. Debit Air

Untuk mendapatkan debit air dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = V/t$$

Di mana :

Q = Debit air (m³/s)

V = Volume (m³)

t = Waktu (s)

Dari tabel di atas dapat diperoleh debit air dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= V/t \\ &= 0.00092/60 \end{aligned}$$

$$= 0.000015$$

4. Daya Pompa Air

Daya pompa air dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Di mana :

P = Daya pompa air (Watt)

ρ = Rho air (1000 kg/m³)

g = Gravitasi bumi (9.81 m/s²)

h = head total pompa (m)

Untuk mendapatkan hasil daya pompa dari tabel di atas, maka diperoleh sebagai berikut :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$P = 1000 \cdot 9.81 \cdot 0.000015 \cdot 0.75$$

$$P = 0.081 \text{ Watt}$$

5. Koefisien Power (Cp)

Koefisien power (cp) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$Cp = Pa/Pt$$

Di mana :

Cp = Koefisien Power

Pa = tual

Pt = $\frac{\pi D^2}{4}$ oritis

Maka di atas dapat diperoleh :

$$Cp = Pa/Pt$$

$$Cp = 0.081/361,16$$

$$Cp = 0.00030$$

6. Tipe Speed Ratio (TSR)

Tipe speed ratio (TSR) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\text{rotational speed (rpm)} \cdot \pi \cdot r \cdot D}{V_a} \\ &= \frac{119 \times 3.14 \times 3}{4.4 \times 60} \\ &= 4.25 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapat nilai seperti tabel berikut :

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Data

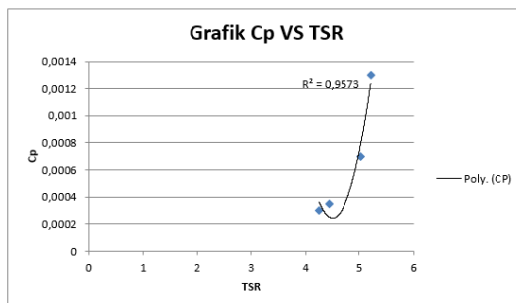
No.	Kecepatan angin (m/s)	Putaran poros (Rpm)	Volume (m ³)	Debit Air = Q (m ³ /s)	Daya Aktual Pompa (watt)	Daya Teoritis Turbin (watt)	Cp Pa/Pt	TSR Vu/Va
1.	2.2	73	0.0005	0.0000083	0.061	45.14	0.0013	5.21
2.	2.9	93	0.00068	0.000011	0.081	103.38	0.0007	5.03
3.	4	113	0.0008	0.000013	0.096	271.29	0.00035	4.43
4.	4.4	119	0.00092	0.000015	0.11	361.16	0.00030	4.25

Dengan selesainya melakukan pengujian dan pengolahan data pada turbin angin rotor ganda sebagai penggerak pompa

irigasi pertanian maka diperoleh data-data daya ideal angin, torsi, daya kincir, ratio kecepatan ujung serta efisiensi dari kincir.

Daya ideal angin yang diperoleh berbeda-beda, hal ini disebabkan oleh kecepatan angin yang berbeda-beda pula. Data yang di peroleh untuk kecepatan angin di mulai dari kecepatan 1.5 m/s sampai kecepatan 4.4 m/s, dari pengolahan data menunjukkan semakin besar nilai kecepatan angin, maka putaran poros akan semakin besar hal ini akan mempengaruhi debit air yang dihasilkan. Akan tetapi ketika kincir berputar pada kecepatan angin 1,5 m/s pompa belum bisa mengeluarkan air, dan ketika kecepatan angin sudah masuk ke 2.2 m/s barulah pompa bisa mengeluarkan air. Adapun hubungan karakteristik turbin angin horizontal rotor ganda sebagai penggerak pompa irigasi pertanian dinyatakan dalam grafik berikut :

Gbr 4.3. Hubungan antara TSR dengan Cp



Gbr 4.3. Hubungan antara TSR dengan Cp

Dari gbr 4.3 bisa kita analisa bahwa untuk nilai Cp akan semakin besar apabila nilai TSR semakin besar, dalam hal ini nilai Cp tertinggi adalah 0.0013 dengan nilai TSR sebesar 5.21, sedangkan untuk nilai Cp terendah

didapatkan 0.0003 dan nilai TSR sebesar 4.25. jadi semakin kecil TSR maka semakin besar Cp yang di hasilkan.

KESIMPULAN

Semakin besar nilai Cp yang dihasilkan dipengaruhi oleh TSR yang semakin besar, dan turbin angin horizontal rotor ganda sebagai penggerak pompa irigasi pertanian akan bekerja pada nilai TSR 4-5.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi.2010. *Prosedur Penelitian*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Astu Pudjanarsa (2008) dan Djati Nursuhud (2008), "*Mesin Konversi Energi*". Andi Yogyakarta, Yogyakarta, 2008.
- Dakso Sriyono, (trans), Ing. Fritz Dietsel, (1980), "*Turbin Pompa dan Kompresor*", Erlangga, Jakarta.
- Dandi Harahap, (trans), Joseph Edward Shingley Professor Emeritus dan Larry D. Mitchell Professor of Mechanical Engineering. (1995), "*Perencanaan Teknik Mesin*", Edisi keempat jilid dua, Erlangga, Jakarta.
- Anggi Septiaji, "*Analisis Kemiringan Sudut Sudu Turbin Angin Horizontal Terhadap Daya Yang Dihasilkan*". Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasakti Tegal, 2012.
- Slamet Riyadi, "*Turbin Angin Poros Vertikal Untuk Penggerak Pompa Air*". Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasakti, Tegal, 2013.
- www.pertanian.go.id/pajale2015/h1.5.PENGAIRAN.pdf