

## Pengaruh Posisi Sirip Sudu Terhadap Karakteristik Kincir Angin Petani Garam Di Pantai Utara Jawa

Doddy Purwadianto, Trio Pardomuan D.

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Sanata Dharma  
Kampus III Paingan Maguwoharjo Depok Sleman  
Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia  
E-mail: purwadodi@gmail.com

### Abstrak

Pemanfaatan energi angin (bayu) sudah dimanfaatkan oleh petani garam di pantai Utara Jawa sejak tahun 1970. Karakteristik kincir angin model kincir Petani Garam di Pantai Utara Jawa belum banyak diteliti. Kincir angin berporos horizontal ini adalah kincir angin dengan sudu plat datar yang bersirip. Jumlah sudu kincir angin jenis ini sangat bervariasi, pemakaian jumlah sudu 2 atau 4 sering digunakan sebagai sumber tenaga pompa air yang memindahkan air garam dari kolam yang satu ke kolam yang lain, sudu berbentuk papan bersirip dan terbuat dari bahan kayu yang kuat. Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi kincir adalah posisi sirip sudu. Penggunaan posisi sirip sudu yang tepat adalah salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi. Penelitian tentang posisi sirip sudu model ini belum pernah dilakukan. Penelitian ini bertujuan menganalisa pengaruh posisi sirip sudu terhadap efisiensi atau koefisien daya yang dihasilkan. Alat penelitian terdiri dari model kincir angin sudu plat datar bersirip, diameter kincir 80 cm, ukuran sirip  $30 \times 7 \text{ cm}^2$ , jumlah sudu 2 dengan 4 variasi posisi sirip sudu ( $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ), terowongan angin dengan menghasilkan 3 variasi kecepatan angin (8,5 m/detik, 7 m/detik, 5,5 m/detik), alat ukur kecepatan angin, alat pengganti mekanisme pembebanan. Variabel yang dicatat adalah kecepatan angin ( $v$ ), putaran poros rotor kincir ( $n$ ), beban ( $F$ ). Hasil penelitian menunjukkan koefisien daya maksimum sebesar 21% pada kincir angin dengan posisi sirip sudu  $10^\circ$  dan pada kecepatan angin sekitar 7 m/detik. Makin besar sudut posisi sirip sudu pada penelitian ini, makin rendah efisiensi atau koefisien daya yang dihasilkan.

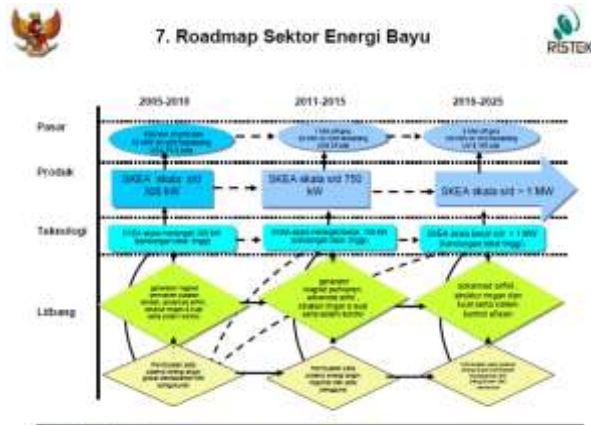
*Kata kunci:* efisiensi, koefisien daya, sudu plat datar, energy angin, posisi sirip sudu.

### Pendahuluan

Di negara-negara berkembang yang mempunyai banyak pulau seperti Indonesia wilayah pantai sangat besar sehingga sumber daya daerah di tepi pantai akan semaksimal mungkin memanfaatkan potensi pantai dan lautan menjadi mata pencaharian sehari-hari, pantai sebagai obyek wisata, pelelangan ikan, pembuatan garam dan lain-lain. Perkembangan suatu daerah akan sangat memerlukan ketersediaan energi bahan bakar untuk sarana transportasi, listrik, dan sarana lain. Pengadaan energi alternatif semakin gencar seiring kebutuhan pembukaan lahan produktif yang besar sementara ketersediaan energi berbasis bahan bakar fosil semakin menipis dan tidak menjangkau daerah-daerah terpencil atau terpinggir. Saat ini isu tentang krisis energi semakin kuat, hal ini dibuktikan terjadi kenaikan kebutuhan bahan bakar fosil yang luar biasa, sehingga pengembangan energi alternatif sebagai

pengganti bahan bakar fosil semakin semarak dilakukan oleh beberapa peneliti.

Pemerintah Indonesia memberi perhatian pada pengembangan energi alternatif atau sering disebut energy terbarukan untuk mendukung keamanan ketersediaan energi tahun 2025 [2]. Salah satu potensi sumber energi terbarukan yang banyak mendapat perhatian adalah energi angin [3, 4]. Salah satu penekanan pada penelitian dan pengembangan adalah *advanced airfoil*. Potensi angin di pesisir pantai di Indonesia cukup besar sehingga petani-petani garam memanfaatkan sumber energi yang gratis dan tak terbatas ini. Energi kincir angin menggerakkan pompa untuk memompakan air dari kolam air garam yang satu ke kolam yang lain. Penyelidikan pemanfaatan potensi energi angin untuk pengolahan garam juga telah banyak dilakukan di sejumlah negara [9,10]. Studi pemanfaatan energi angin di lepas pantai [19, 20] dan keuntungan dan kerugian ekonomis pemanfaatan energi angin [5,6,8,9, 13-15] juga telah dilakukan meskipun terjadi pro dan kontra [11,24,25].

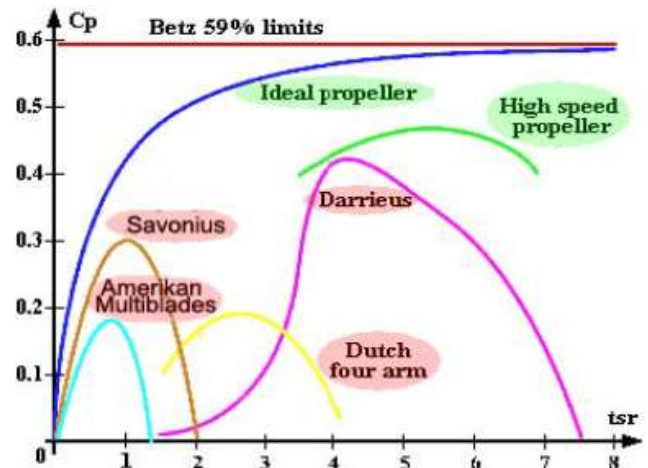


**Gambar 1.** Peta Jalan Energi Angin Indonesia  
(Sumber : [2], halaman 59)



**Gambar 2.** Kincir Petani Garam di Pantai Utara Jawa

Karakteristik angin di daerah tropis khususnya di daerah pesisir pantai Indonesia memiliki variasi kecepatan yang besar dan stabilitas yang kecil sehingga diperlukan pengkajian fundamental terhadap karakteristik aliran daerah tropis yang akhirnya berujung pada pengkajian terus-menerus karakteristik jenis-jenis kincir angin yang sesuai dengan keadaan tersebut.



**Gambar 3.** Kurva hubungan koefisien daya,  $C_p$  dan tip speed ratio,  $tsr$ , untuk berbagai jenis kincir standar

### Kajian Teori

Angin yang merupakan udara yang bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah membawa energi kinetik ( $E_k$ ) yang besarnya berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan angin dan massa udara m.

$$E_k = 0.5 m v^2 \quad (1)$$

Persamaan (1) dapat dikembangkan ke dalam bentuk persamaan hubungan antara daya yang tersedia ( $P_{in}$ ) dan luas aliran, kecepatan angin sebagai berikut :

Daya tersedia,  $P_{in}$  :

$$P_{in} = 0.6 A v_\infty^3 \quad (2)$$

dengan  $A$  = luas penampang kincir angin  
 $v_\infty$  = kecepatan angin

Daya yang dihasilkan poros kincir,  $P_{out}$  :

$$P_{out} = 2 \pi n \left( \frac{1}{60} \right) T \left( \frac{1 J}{1 N m} \right) \quad (3)$$

atau

$$P_{out} = \pi n T / 30$$

dengan  $n$  = kecepatan putar poros kincir angin

$T$  = Torsi yang dihasilkan poros kincir angin.

dan

$$T = F L \quad , \quad F = \text{gaya pada lengan} \quad (4)$$

Untuk menentukan koefisien daya,  $C_p$  (coefficient of power), daya output dihitung dibandingkan dengan daya teoritis yang diberikan oleh angin,  $P_{in}$  sebagai berikut :

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (5)$$

Koefisien daya,  $C_p$  selanjutnya digambarkan hubungannya dengan tip speed ratio,  $tsr$  yang merupakan perbandingan kecepatan keliling lingkaran

terluar kincir dengan kecepatan angin :

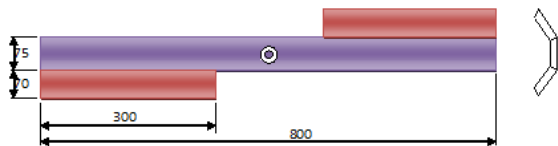
$$tsr = \frac{v_{Tip}}{v_{\infty}}$$

(6)

dengan  $v_{Tip}$  = kecepatan tangensial ujung sudu

### Motode Penelitian

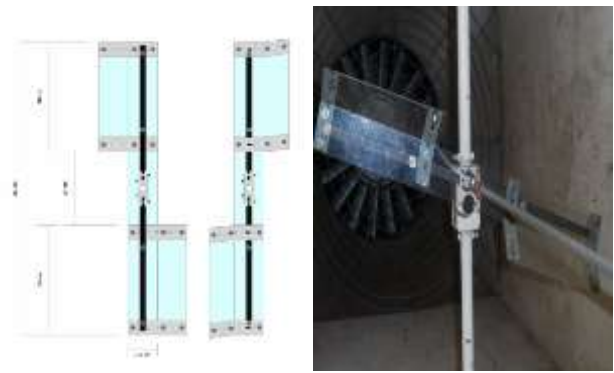
Model kincir yang diuji dalam penelitian ini adalah model kincir yang banyak dipakai oleh petani garam di pesisir utara Jawa jenis propeler plat datar. Karakteristik model kincir propeler dua sudu dipandang dapat mewakili model kincir propeler dua atau lebih sudu. Model kincir propeler ini dapat dianggap sebagai model kincir plat datar yang bersirip (gambar 4). Kincir angin dalam penelitian ini bersudu 2 yang terbuat dari akrilik setebal 1,5 mm dan dipasang pada rangka tunggal plat besi lebar 15 mm. Kontruksi sirip dapat disesuaikan sudutnya dengan plat datar (Gambar 4, 5a). Diameter kincir adalah 800 mm, terdiri kincir plat datar dengan lebar 75 mm dengan diameter/panjang 800, sirip lebar 70 mm dan panjang 300mm



**Gambar 4.** Penampang Kincir Angin penelitian, jenis propeller plat datar bersirip dengan jumlah sudu 2

Pengujian dilakukan pada terowongan angin (*wind tunnel*) dengan ukuran luas penampang 120 cm x 120 cm, panjang 240 cm. Daya blower 5 kWatt. Kecepatan angin pada lorong angin dapat diatur antara 5 m/detik sampai dengan 8 m/detik. Pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer yang diletakkan pada bagian inlet lorong angin. Kecepatan putar kincir angin diukur pada poros kincir angin dengan menggunakan tachometer, dan mekanisme pembebanan menggunakan mekanisme pengereman

Pengujian penelitian ini memvariasikan sudut sirip yakni  $10^0$ ,  $20^0$ ,  $30^0$ ,  $40^0$  dan memvariasikan kecepatan angin antara 5 – 8,5 m/detik.



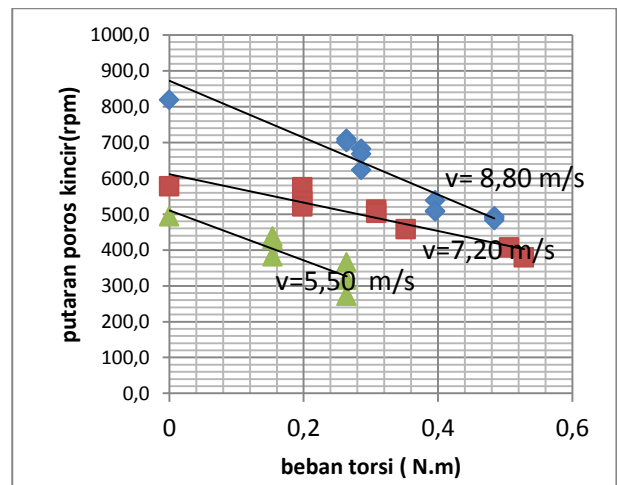
**Gambar 5.** (a) Gambar dimensi kincir penelitian, (b) Penempatan kincir dalam terowongan angin (*wind tunnel*)

Pengukuran dilakukan dalam 3 variasi kecepatan angin dalam kisaran 5 m/s hingga 8,5 m/s. Beban pengereman yang diberikan pada poros kincir dimulai dari tanpa beban hingga beban yang menyebabkan kincir berhenti berputar. Setiap pengujian dilakukan 3 kali pengulangan.

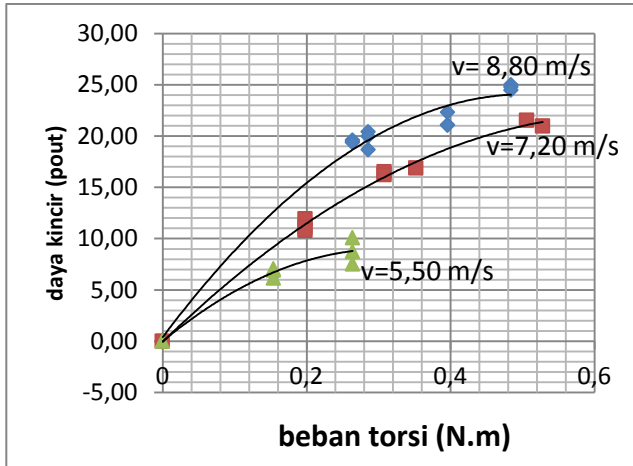
Pengukuran torsi diperoleh dari perhitungan beban pengereman dikalikan jarak/jari-jari plat pengereman. Daya input dan daya output dihitung dengan memakai Pers. 2 dan Pers. 3. Semua hasil perhitungan putaran poros, torsi, daya output, tsr, koefisien daya,  $C_p$  digambarkan grafik masing-masing.

### Hasil Dan Pembahasan

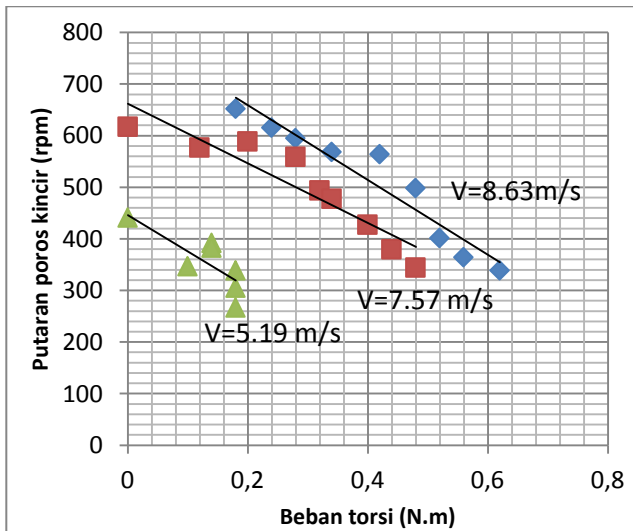
Gambar 6, 8, 11, 12, 14, menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban, putaran tertinggi dihasilkan oleh kincir dengan sirip bersudut  $10^0$  sebesar 819 rpm dan paling rendah 473 rpm pada kincir dengan sirip bersudut  $40^0$ . Gambar tersebut juga menunjukkan besarnya torsi yang dapat dihasilkan oleh kincir, makin besar sudut sirip menghasilkan makin besar torsi yang dihasilkan pada kecepatan angin yang sama.



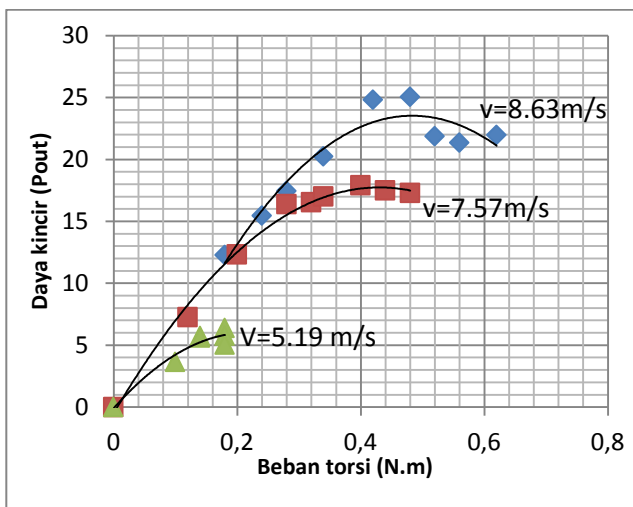
**Gambar 6.** Hubungan Putaran poros kincir dan Beban Torsi untuk Kincir bersudut sirip  $10^0$ .



**Gambar 7.** Hubungan Daya kincir,  $P_{out}$  dan Beban Torsi untuk Kincir bersudut sirip  $10^{\circ}$ .



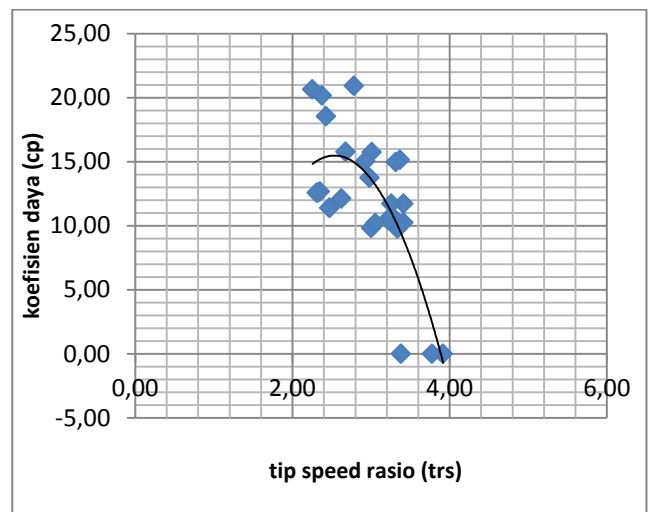
**Gambar 8.** Hubungan Putaran poros kincir dan Beban Torsi untuk Kincir bersudut sirip  $20^{\circ}$ .



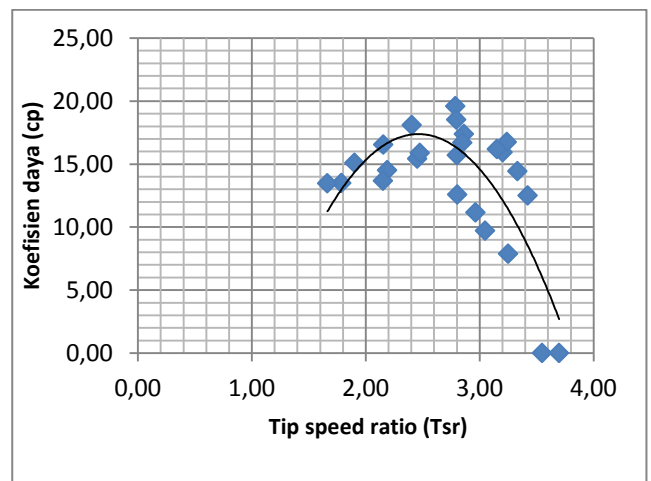
**Gambar 9.** Hubungan Putaran poros kincir dan Beban Torsi untuk Kincir bersudut sirip  $10^{\circ}$ .

Beban torsi dipengaruhi oleh kecepatan aliran angin, makin besar kecepatan angin makin besar pula torsi yang dihasilkan. Hasil penelitian untuk kincir jenis propeler plat datar bersirip ini menghasilkan torsi sekitar 0,2 – 0,7 Nm.

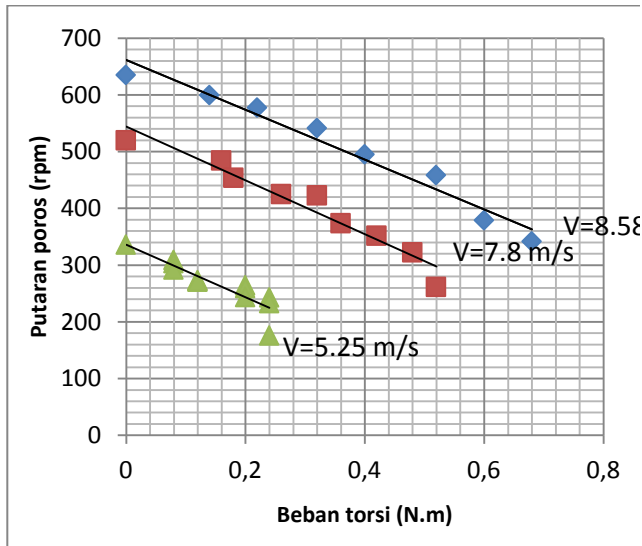
Pada gambar 7, 9, 13, 15, menunjukkan hubungan antara daya kincir dan beban torsi yang dihasilkan pada kincir propeler bersirip bersudut dengan diameter 800 mm, daya kincir rata-rata maksimal yang dihasilkan kincir adalah 22 Watt untuk kecepatan angin sekitar 8,5 m/s, 15 Watt untuk kecepatan sekitar 7,5 m/s, 7 Watt untuk kecepatan 5,25 m/s.



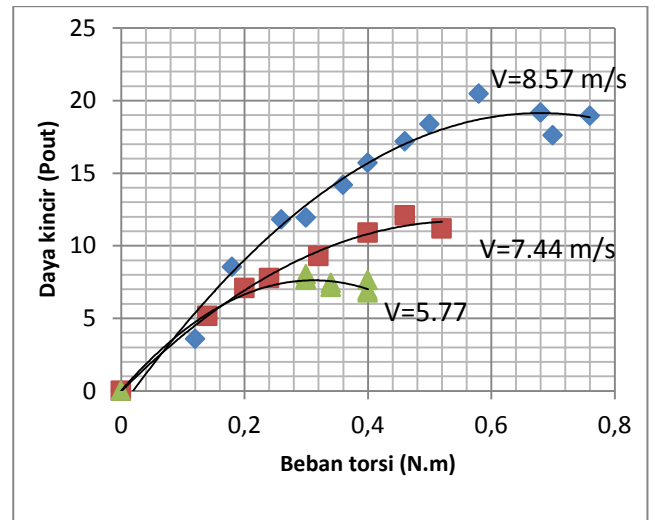
**Gambar 10.** Hubungan Koefisien Daya,  $C_p$  dan Tip Speed Ratio,  $tsr$  untuk Kincir bersudut sirip  $10^{\circ}$ .



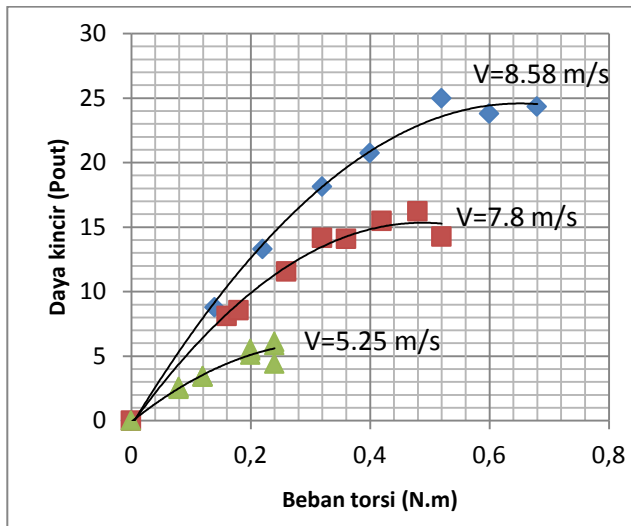
**Gambar 11.** Hubungan Koefisien Daya,  $C_p$  dan Tip Speed Ratio,  $tsr$  untuk Kincir bersudut sirip  $20^{\circ}$ .



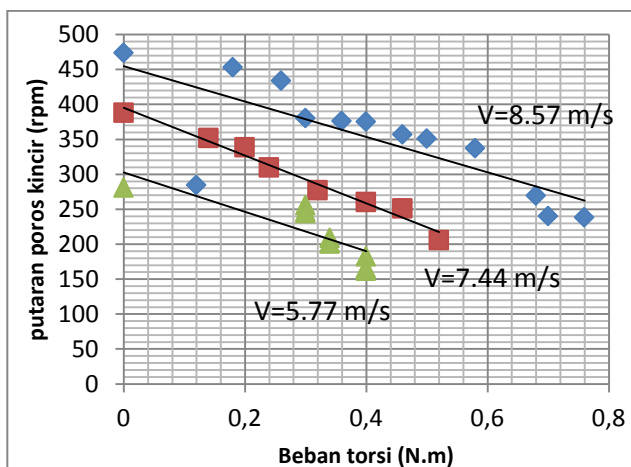
**Gambar 12.** Hubungan Putaran poros dan Beban Torsi untuk Kincir bersudut sirip  $30^{\circ}$ .



**Gambar 15.** Hubungan Putaran poros kincir dan Beban Torsi untuk Kincir bersudut sirip  $40^{\circ}$ .

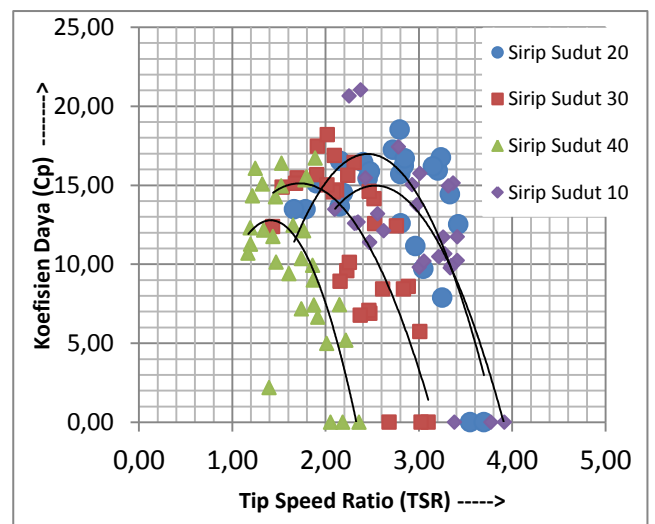


**Gambar 13.** Hubungan Putaran poros kincir dan Beban Torsi untuk Kincir bersudut sirip  $30^{\circ}$ .



**Gambar 14.** Hubungan Putaran poros dan Beban Torsi untuk Kincir bersudut sirip  $40^{\circ}$ .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prestasi kincir propeler bersirip dengan sudut  $10^{\circ}$  mempunyai prestasi terbaik dengan nilai koefisien daya maksimum 21% pada kecepatan angin 7,2 m/s. Pada kecepatan yang sama kincir bersirip dengan sudut  $20^{\circ}$  menghasilkan koefisien maksimum 19%, hal ini menunjukkan bahwa kincir propeler plat datar dan bersirip mempunyai prestasi terbaik pada kincir dengan sirip yang bersudut antara  $10^{\circ}$  dan  $20^{\circ}$  (gambar 16). Nilai tsr yang menghasilkan prestasi kincir terbaik merata pada kisaran 1,2 – 3,4, hal ini dapat diartikan bahwa kincir model ini berprestasi baik pada kecepatan angin antara 5-8,5 m/s.



**Gambar 16.** Hubungan Koefisien Daya,  $C_p$  dan Tip Speed Ratio, tsr untuk Kincir bersudut sirip  $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$

### Kesimpulan

Penelitian kincir angin jenis propeler bersirip yang dipakai petani garam di pesisir pantai utara Jawa

menunjukkan bahwa sudut sirip pada sudu sangat berpengaruh terhadap karakteristik kincir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $C_p$  maksimum 21% pada kincir plat datar bersirip dengan sudut kemiringan  $10^0$ . Karakteristik kincir pada variasi sudut sirip antara  $10^0$  sampai dengan  $40^0$  menunjukkan bahwa prestasi kincir mengalami penurunan seiring bertambahnya sudut kemiringan sirip sudu baik nilai efisiensi atau koefisien daya,  $C_p$  dan putaran poros yang dihasilkan, 819 rpm (sudut sirip  $10^0$ , tanpa beban) dan terendah 473 rpm (sudut sirip  $40^0$ , tanpa beban) pada kecepatan angin sekitar 8,5 m/detik, tetapi torsi mengalami kenaikan seiring bertambahnya sudut sirip sudu pada kecepatan angin yang sama. Kincir model propeler plat datar bersirip mempunyai prestasi sangat baik jika sudut sirip antara  $10^0 - 20^0$ .

### Referensi

- [1] Dodge, D.M., 2006, *Illustrated History of Wind Power Development*, 10-3-2009, <http://telosnet.com/wind/>
- [2] \_\_\_\_\_, 'Buku Putih Penelitian, Pengembangan Dan Penerapan Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2005 – 2025', **KNRT** (Kementerian Negara Riset dan Teknologi) Republik Indonesia; Jakarta, 2006.
- [3] Jeff Anthony, 'Wind Power Engineering Challenges 2007-2015', *Cogeneration & Distributed Generation Journal*, 23:3, 20-33
- [4] K. Kaygusuz: Wind Power for a Clean and Sustainable Energy Future, *Journal Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 4:1, 122-133, 2009
- [5] I. Baniasad Askari & M. Ameri (2012): Techno-economic Feasibility Analysis of Stand-alone Renewable Energy Systems (PV/bat, Wind/bat and Hybrid PV/wind/bat) in Kerman, Iran, *Journal Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 7:1, 45-60
- [6] A. Vardar & B. Çetkin (2009): Economic Assessment of the Possibility of Using Different Types of Wind Turbine in Turkey, *Journal Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 4:2, 190-198
- [7] Sharma C. & Persad D. (2004): Development of a Wind Resource Assessment Tool For Trinidad and Tobago, *Journal Energy Engineering*, 101:3, 50-77
- [8] D. Zejli, K. E. Aroui, A. Lazrak, K. E. Boury & A. Elmidaoui (2010): Economic feasibility of a 11-MW wind powered reverse osmosis desalination system in Morocco, *Journal Desalination and Water Treatment*, 18:1-3, 164-174
- [9] Joachim Käufler, Robert Pohl & Hadi Sader (2011): Seawater desalination (RO) as a wind powered industrial process — Technical and economical specifics, *Journal Desalination and Water Treatment*, 31:1-3, 359-365
- [10] Andrés Payo, Jose M. Cortés, Ana Antoranz & Rafael Molina (2010): Effect of wind and waves on a nearshore brine discharge dilution in the east coast of Spain, *Journal Desalination and Water Treatment*, 18:1-3, 71-79
- [11] Willett Kempton, Jeremy Firestone, Jonathan Lilley, Tracy Rouleau & Phillip Whitaker (2005): The Offshore Wind Power Debate: Views from Cape Cod, *Journal Coastal Management*, 33:2, 119-149
- [12] C. M. Wang, T. Utsunomiya, S. C. Wee & Y. S. Choo (2010): Research on floating wind turbines: a literature survey, *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 3:4, 267-277
- [13] M. Balat (2009): A Review of Modern Wind Turbine Technology, *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31:17, 1561-1572
- [14] A. Gungor & N. Eskin (2008): The Characteristics That Define Wind as an Energy Source, *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30:9, 842-855
- [15] Rahim Kurji & Maziar Arjomandi (2012): Techno-economic assessment of the application of small-scale wind turbines, *International Journal of Sustainable Energy*, DOI:10.1080/14786451.2012.748765
- [16] J. A. Orosa, E. J. García-Bustelo & A. C. Oliveira (2012): Realistic Solutions for Wind Power Production with Climate Change, *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 34:10, 912-918
- [17] Charles R. Warren & Richard V. Birnie (2009): Re-powering Scotland: Wind Farms and the 'Energy or Environment?' Debate, *Scottish Geographical Journal*, 125:2, 97-126
- [18] YB. Lukiyanto, Y. Teguh Triharyanto, Kincir Angin Savonius Dua Tingkat dengan Variasi Celah Antar Sudu., *Proceeding Seminar Ilmu Pengetahuan Teknik 2012 "Teknologi Untuk Mendukung Pembangunan Nasional"*, Bandung, November 2012, halaman 21-25
- [19] Rines, "Investigasi Pengaruh Pitch Angle terhadap Unjuk Kerja Pada Model Kincir Angin Bersudu Datar Persegi Panjang", *Proceeding Seminar Nasional Teknik Mesin 8 2013, Surabaya, Indonesia*.