

## Pengaruh Perubahan Jarak Aksial Dua Rotor Terhadap Daya Mekanik yang Dihasilkan dalam *Counter Rotating Wind Turbine* (CRWT)

Hermawan dan M. A. Bramantya<sup>\*</sup>

Universitas Gadjah Mada, Departemen Teknik Mesin dan  
Industri, Jl Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Indonesia

hermawan\_ugm@yahoo.com

### Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri lebih dari 17.000 pulau. Karakteristik pulau kecil tersebut miskin akan sumber daya alam, seperti air bersih dan pasokan listrik. Dalam makalah ini akan dibahas terkait pengembangan turbin angin sumbu horizontal dengan dua rotor yang berputar saling berlawanan, counter rotating wind turbine (CRWT). Variabel bebas yang dipakai adalah variasi terhadap kecepatan angin ( $u$ ) sebesar 2,0 m/s, 3,0 m/s dan 4,2 m/s dan perbandingan jarak aksial antara dua rotor ( $X$ ) terhadap diameter rotor depan ( $d_1$ ) sebesar 0,44; 0,61 dan 0,70. Variabel terikat berupa kecepatan sudut poros, torsi poros dan daya poros yang dihasilkan dari rotor depan dan rotor belakang. Selain itu, variabel terkontrol berupa perbandingan diameter rotor depan terhadap rotor belakang, desain rotor depan dan belakang dan jumlah sudu tiga buah untuk rotor depan dan rotor belakang. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa produksi daya tertinggi turbin model CRWT berlangsung pada perbandingan jarak aksial 0,61 untuk variasi kecepatan angin yang berbeda, yaitu 0,1532 watt untuk kecepatan angin 2,0 m/s, 0,2517 watt untuk kecepatan angin 3,0 m/s dan 0,3488 watt untuk kecepatan angin 4,2 m/s.

**Kata kunci** : turbin angin, jarak aksial, dual rotor, counter rotating wind turbine, daya turbin.

### Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri lebih dari 17.000 pulau. Karakteristik pulau kecil tersebut miskin akan sumber daya alam, seperti air dan pasokan listrik. Konsumsi energi di daerah tersebut akan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Permintaan energi akan bahan bakar fosil meningkat terus, sedangkan sumber daya minyak menipis sehingga menyebabkan kekurangan persediaan energi di banyak pulau. Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang sangat fleksibel, karena pemanfaatan angin dapat dilakukan di manapun. Oleh sebab itu, potensi dari energi kinetik yang terkandung dalam angin harus mampu dimaksimalkan untuk menghasilkan energi

listrik atau energi mekanik lainnya. 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 bumi yang tidak merata oleh sinar matahari. Berdasarkan kondisi tersebut, kecepatan angin di Indonesia tidak selalu sama dalam mencapai pada kecepatan maksimum sepanjang waktu. Dengan faktor tersebut, pengembangan model turbin angin diperlukan untuk meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan.

Dalam makalah ini akan dibahas terkait pengembangan turbin angin sumbu horizontal, di mana model turbin angin tersebut akan dikembangkan dari turbin angin satu rotor (SRWT) menjadi turbin angin dual rotor (DRWT) yang

menggerakkan dua poros secara terpisah dalam satu alternator. Turbin angin model DRWT dalam pengaplikasiannya terdiri dari dua gerakan rotor, yaitu dua rotor sama-sama berputar dalam satu arah, sedangkan gerakan lainnya yaitu memutar kedua rotor saling berlawanan arah (CRWT). Tujuan dari penelitian ini yaitu merancang turbin angin sumbu horizontal dengan model CRWT yang sesuai untuk kecepatan angin rendah, mengetahui daya total yang dihasilkan dari rotor depan dan rotor belakang dengan memvariasikan perubahan jarak aksial antara kedua rotor serta perubahan kecepatan angin dan mengetahui peningkatan daya output antara turbin angin model CRWT terhadap model SRWT.

Sebagian besar wilayah Indonesia memiliki kecepatan angin rendah rata-rata 3 m/s hingga 4 m/s di 84 wilayah. Pratama melakukan penelitian menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD), dengan memvariasikan perbandingan diameter rotor depan dengan rotor belakang terhadap perubahan kecepatan angin. Dalam desainnya, diameter rotor belakang dibuat tetap sebesar 1 meter dengan jarak aksial terhadap rotor depan sebesar 0,6. Untuk kecepatan angin 4 m/s dan perbandingan diameter rotor depan dan belakang 1:2, daya yang dibangkitkan sebesar 17,3 watt dengan koefisien daya 3,95% dibandingkan model SRWT. Jung dkk juga melakukan penelitian aliran aerodinamis dengan CFD terkait perbandingan rotor depan dan rotor belakang. Daya yang diproduksi terus meningkat untuk perbandingan diameter rotor depan 1/4 hingga 5/8. Selain itu, penelitian tersebut juga meneliti jarak aksial antara dua rotor di mana jarak relative merupakan perbandingan jarak aksial terhadap diameter rotor depan. Peningkatan daya rotor model CRWT terus meningkat seiring pertambahan jarak relatif dari 1/8 hingga 1/2. Kumar melakukan penelitian terhadap perbandingan jarak aksial antara rotor belakang dan rotor

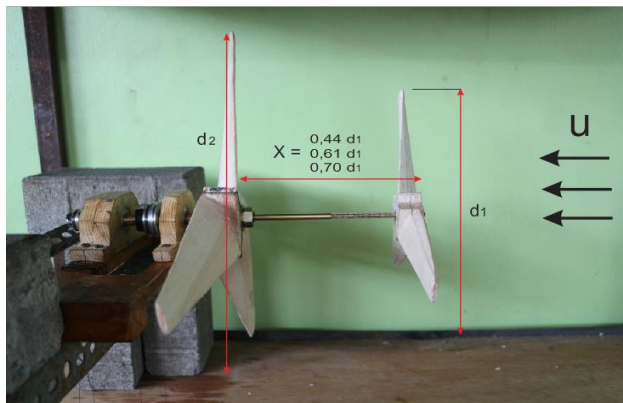
belakang dengan menggunakan CFD untuk jarak aksial 0,25; 0,5; 0,65 dan 0,75. Peningkatan daya terbesar berlangsung pada jarak aksial relative sebesar 0,65 dengan 9,67% dibandingkan model SRWT.

### **Metodologi Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian yaitu metode penelitian eksperimental. Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol. Variabel bebas adalah variasi terhadap kecepatan angin ( $u$ ) sebesar 2,0 m/s, 3,0 m/s dan 4,2 m/s dan perbandingan jarak aksial antara dua rotor ( $X$ ) terhadap diameter rotor depan ( $d_1$ ) sebesar 0,44; 0,61 dan 0,70. Variabel terikat yaitu kecepatan sudut poros, torsi poros dan daya poros yang dihasilkan dari rotor depan dan rotor belakang. Selain itu, variabel terkontrol adalah perbandingan diameter rotor depan terhadap rotor belakang, desain rotor depan dan belakang dan jumlah sudu tiga buah untuk rotor depan dan rotor belakang.

Eksperimen dilakukan tiga kali pengujian untuk memperkuat hasil akhir. Pengambilan data dimulai ketika rotor sudah berputar dalam kondisi steady state dan akan dibebani dengan menggantungkan massa secara bertahap pada tali. Permukaan tali akan bergesekan dengan permukaan pulley, sehingga mampu menimbulkan torsi dan gaya gesek pada tali. Gaya gesek antara tali dengan pulley diabaikan dalam penelitian. Saat rotor depan dan rotor belakang berputar dalam kondisi steady state, rotor depan akan diambil datanya dengan pembebanan terlebih dahulu hingga putaran berhenti, sedangkan rotor belakang tetap berputar dalam kondisi tanpa beban. Langkah tersebut juga diperlakukan dalam pengambilan data rotor belakang.

Tabel 1. Spesifikasi model CRWT dan SRWT



Spesifikasi	Rotor Depan	Rotor Belakang
Jumlah blade	3	3
Diameter rotor	230 mm	400 mm
Posisi rotor	Upwind	Upwind
Jenis airfoil	NACA 0012	NACA 0012
Material blade	Kayu balsa	Kayu Balsa
Rotasi	Searah jarum jam	Berlawanan arah jarum jam

Putaran yang disajikan merupakan rerata data putaran dari tiga kali pengujian.

$$n_{\text{rerata}} = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3} \quad (1)$$

Besarnya torsi yang timbul dalam poros dihitung menggunakan prinsip prony brake.

$$T = F r = m g r \quad (2)$$

Daya poros dapat dihitung dengan persamaan

$$P = T \omega \quad (3)$$

Total daya merupakan penjumlahan daya maksimal rotor depan dengan rotor belakang

$$P_{\text{total}} = P_{\text{depan}} + P_{\text{belakang}} \quad (4)$$

Energi angin merupakan fungsi persamaan kecepatan angin sesaat sebelum menabrak rotor.

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (5)$$

Gambar 1. Skema pengujian turbin angin

Koefisien daya merupakan perbandingan daya poros yang dibangkitkan terhadap daya angin.

$$c_p = \frac{P_{\text{rotor}}}{P_{\text{angin}}} \quad (6)$$

Prosentase daya merupakan perbandingan selisih daya dibangkitkan model CRWT dengan model SRWT terhadap daya model SRWT tersebut.

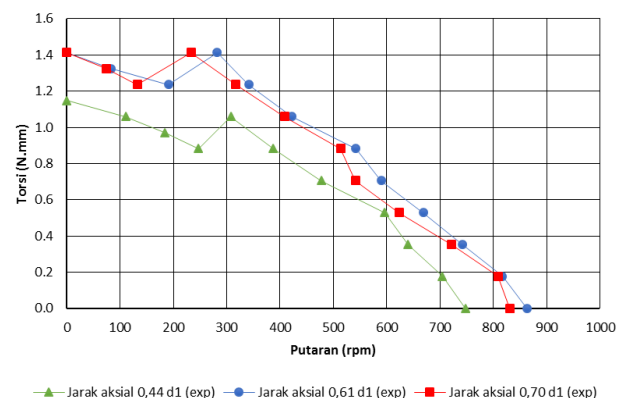
$$N_p = \frac{(P_{\text{CWRT}} - P_{\text{SRWT}})}{P_{\text{SRWT}}} \times 100\% \quad (7)$$

## Hasil dan Pembahasan

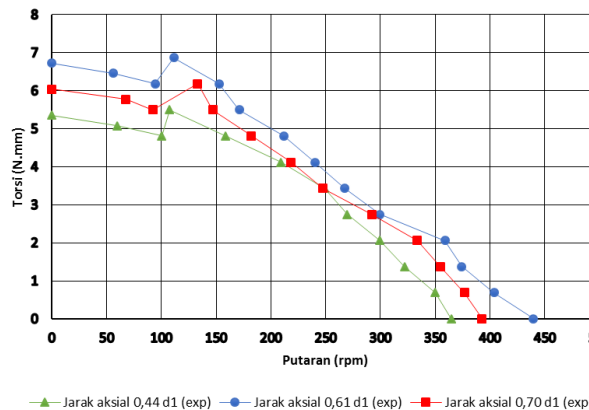
Dari hasil eksperimen, data akhir yang disajikan berupa torsi, putaran, daya, koefisien daya dan prosentase peningkatan daya.

### Torsi

Seiring pertambahan massa yang digantungkan maka torsi yang dibebankan semakin besar, namun putaran poros akan semakin melambat. Untuk grafik hubungan putaran dengan torsi rotor depan, pola grafik akan mencapai puncak torsi maksimum pada putaran tertentu (gambar 2). Apabila beban massa ditambahkan maka putaran akan berhenti secara mendadak. Hal tersebut diakibatkan kerugian mekanik akibat ketidakseimbangan rotor massa rotor dan getaran yang timbul dari poros sebagai efek dari momen bending. Selain itu, kerugian dialami akibat aliran yang tidak ideal dan kemungkinan fluida bocor dari saluran angin.

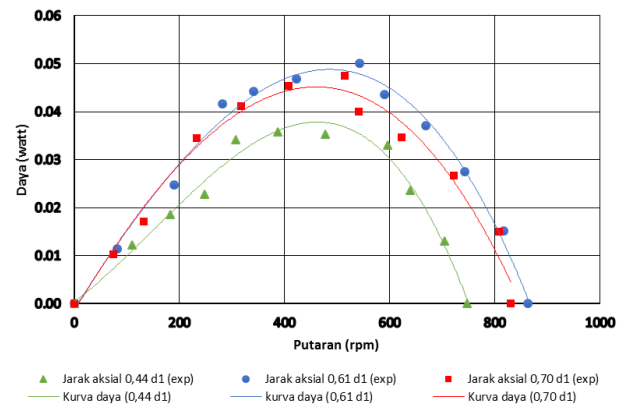


Gambar 2. Hubungan putaran dengan torsi untuk rotor depan, kecepatan angin 2,0 m/s

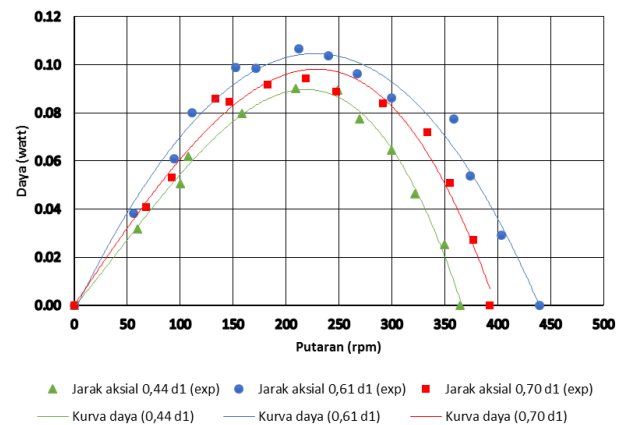


Gambar 3. Hubungan putaran dengan torsi untuk rotor belakang, kecepatan angin 2,0 m/s

Grafik hubungan putaran dengan torsi untuk rotor belakang menunjukkan bahwa pola data torsi akan mencapai torsi maksimum pada putaran rendah (gambar 3). Semakin tinggi kecepatan angin, maka torsi maksimum akan dicapai pada putaran yang semakin rendah. Hal tersebut menunjukkan adanya kestabilan rotor dalam beroperasi seiring pertambahan daya angin. Kerugian mekanik dalam rotor belakang diakibatkan oleh ketidakseimbangan rotor belakang dalam manufaktur dan getaran poros dari rotor depan yang merambat melalui bearing. Selain itu, kerugian dalam aliran fluida karena faktor aliran yang tidak ideal akibat vorteks dan turbulensi rotor depan, kebocoran saluran angin dan hambatan geometri benda eksternal selain dua rotor seperti letak menara turbin dan rangka.



Gambar 4. Hubungan putaran dengan daya untuk rotor depan, kecepatan angin 2,0 m/s



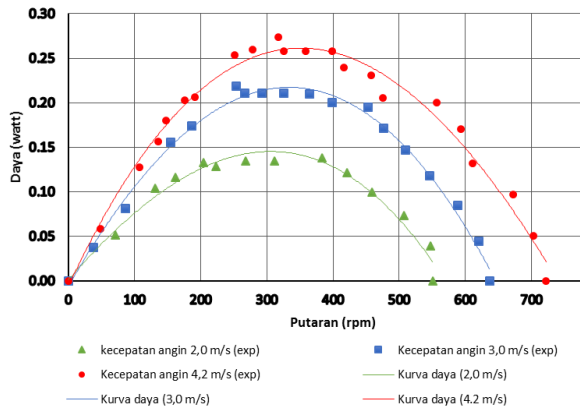
Gambar 5. Hubungan putaran dengan daya untuk rotor belakang, kecepatan angin 2,0 m/s

### Daya rotor

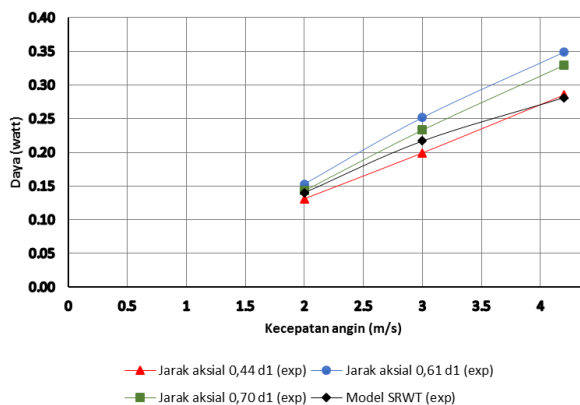
Daya merupakan perkalian antara torsi poros dengan kecepatan sudut poros tersebut. Gambar 3, 4, dan 5 menunjukkan besar daya yang dibangkitkan. Untuk rotor depan, daya meningkat seiring kenaikan kecepatan angin. Daya terbesar yang dibangkitkan terletak pada jarak aksial relatif sebesar 0,61 untuk setiap kecepatan angin yang bervariasi. Dengan menggunakan interpolasi data, maka daya maksimum dari puncak kurva daya dapat diketahui.

Selain daya rotor depan, daya yang dibangkitkan dari rotor belakang dipengaruhi oleh aliran vorteks dan turbulensi yang dihasilkan dari rotor depan. Rotor belakang dapat menghasilkan daya

yang lebih besar dari rotor depan sebab ukuran diameter rotor belakang yang lebih besar dari rotor depan, sehingga dapat membangkitkan daya dengan luas area rotor lebih luas dalam penangkapan daya angin.



Gambar 6. Hubungan putaran dengan daya untuk model SRWT



Gambar 7. Daya total yang dibangkitkan turbin angin model CRWT dan model SRWT

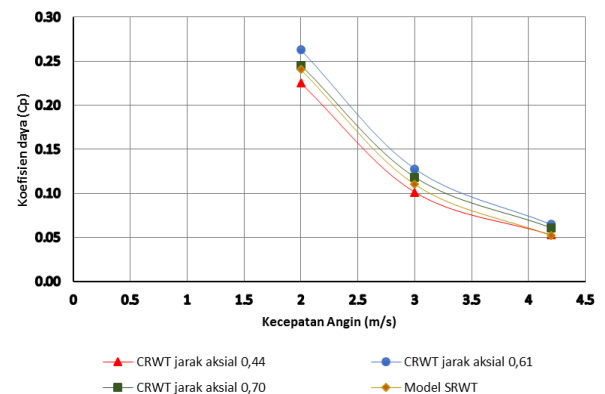
Area rotor yang luas juga dapat membantu rotor belakang untuk lebih stabil terhadap perubahan kecepatan angin yang datang dengan lebih banyak kecepatan angin yang dapat diekstraksi. Seiring kenaikan kecepatan angin, rotor belakang mampu mengalami peningkatan dalam pembangkitan daya.

Daya yang dibangkitkan dari model SRWT merupakan hasil ekstraksi daya angin oleh rotor belakang tanpa ada pengaruh dari rotor depan. Daya maksimal

meningkat seiring kenaikan kecepatan angin.

### Daya total

Daya total merupakan penjumlahan daya maksimal yang dibangkitkan antara rotor depan dan rotor belakang untuk model CRWT. Selain itu, daya total model SRWT merupakan daya yang dibangkitkan dari rotor belakang tanpa pengaruh rotor depan. Daya total terbesar diproduksi model CRWT pada jarak aksial relatif 0,61 untuk setiap variasi kecepatan angin yang berbeda (gambar 6).



Gambar 8. Koefisien daya turbin angin model CRWT dan model SRWT

### Koefisien daya

Koefisien daya merupakan perbandingan daya yang dibangkitkan turbin angin terhadap daya angin yang datang menuju turbin angin. Seiring kenaikan kecepatan angin, maka koefisien daya turbin angin semakin kecil. Hal tersebut mengindikasikan bahwa daya yang dibangkitkan turbin angin semakin rendah seiring peningkatan kecepatan angin yang datang menabrak turbin angin. Koefisien daya terbesar diproduksi model CRWT pada jarak aksial relatif 0,61 untuk tiga variasi kecepatan angin yang berbeda (gambar 8).

## **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil eksperimen yang berlangsung, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu:

Penurunan produksi daya output dari turbin angin diakibatkan gesekan antara poros pejal dan poros berlubang dengan penghubung bearing yang saling berputar berlawanan arah sisinya. Selain itu, pemilihan bahan untuk pulley menimbulkan gesekan terlalu besar dengan tali dan ketidakseimbangan yang dialami rotor baik rotor depan dan rotor belakang.

Produksi daya tertinggi turbin model CRWT berlangsung pada perbandingan jarak aksial 0,61 untuk variasi kecepatan angin yang berbeda, yaitu 0,1532 watt untuk kecepatan angin 2,0 m/s, 0,2517 watt untuk kecepatan angin 3,0 m/s dan 0,3488 watt untuk kecepatan angin 4,2 m/s.

Peningkatan koefisien daya terbesar terjadi pada perbandingan jarak aksial 0,61 pada setiap perubahan kecepatan angin, yaitu koefisien daya sebesar 0,263 untuk kecepatan angin 2,0 m/s, koefisien daya sebesar 0,128 untuk kecepatan angin 3,0 m/s, dan koefisien daya sebesar 0,065 untuk kecepatan angin 4,2 m/s.

Prosentase peningkatan daya terbesar terjadi pada kecepatan angin 4,2 m/s untuk jarak aksial 0,61 sebesar 24,00 %, untuk kecepatan angin 3,0 m/s mengalami peningkatan daya 16,04 % dan untuk kecepatan 2,0 m/s mengalami peningkatan daya 9,27 % untuk jarak aksial yang sama. Selain itu, untuk jarak aksial 0,44 mengalami penurunan prosentase peningkatan daya di mana daya rotor tidak lebih besar dari daya yang dihasilkan dari model SRWT.

## **Daftar Pustaka**

- [1] S. Martosaputro, & Murti N., 2013, Wind hybrid power generation marketing development initiatives (WHyPGen), Respects Magazine 1st ed, Vol. 3, 22-25.
- [2] Y. Daryanto, 2007, Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Balai PPTAGG - UPT-LAGG.
- [3] A. Ihwan dan I. Sota, 2010, Kajian Potensi Energi Angin untuk Perencanaan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) di Kota Pontianak, available at: <http://fmipa.unlam.ac.id/Flux/wp-content/uploads/2012/12/4.-Andi-Ihwan-Ibrahim-Sota.pdf>, diakses 2 Februari 2016.
- [4] A.R. Pratama, 2015, Analisis Peningkatan Daya Pada Dual Rotor Turbin Angin Counter Rotating dengan Variasi Perbandingan Diameter Rotor Depan dan Rotor Belakang, Tugas Akhir Teknik Mesin dan Industri, UGM, Yogyakarta.
- [5] S. N. Jung, T. S. No, and K. W. Ryu, 2004, Aerodynamic Performance Prediction of a 30 kW Counter Rotating Wind Turbine System, Renewable Energy 30 (2005) pp.631-644.
- [6] P. S. Kumar, R. J. Bensingh, and S. Ilangoan, 2013, Computational and Experimental Analysis of a Counter Rotating Wind Turbine System, Journal of Scientific & Industrial Research, Vol.72 pp.300-306.