

SIMULASI NUMERIK PADA *DIFFUSER AUGMENTED WIND TURBINES* DENGAN ROTOR GANDA KONTRA ROTASI

Y. Heru Irawan¹, M. Agung Bramantya²

¹Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional

²Jurusan Teknik Mesin & Industri, Universitas Gadjah Mada

¹yhirawan@sttnas.ac.id

²bramantya@ugm.ac.id

Abstrak

Energi angin adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang ada di Indonesia. Energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. Turbin angin sumbu horizontal dijadikan pokok bahasan pada penelitian ini, dimana model turbin angin diberi tambahan diffuser. Selain itu, model turbin angin ini juga dikembangkan dari turbin angin rotor tunggal menjadi turbin angin rotor ganda dengan arah putaran berlawanan atau kontra rotasi. Penelitian ini digunakan metode simulasi numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent untuk mengetahui performa turbin angin. Simulasi dilakukan pada kecepatan angin 3 m/s, dengan perbandingan panjang dan diameter inlet diffuser 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5. Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa semakin besar perbandingan panjang dan diameter inlet diffuser maka daya mekanik yang dihasilkan rotor turbin angin semakin besar. Turbin angin rotor ganda dengan perbandingan panjang dan diameter inlet diffuser 2,5 menghasilkan performa tertinggi pada rotor depan dan rotor belakang. Semakin besar perbandingan panjang dan diameter inlet diffuser maka daya mekanik yang dihasilkan rotor depan dan rotor belakang yang berada di dalam diffuser juga mengalami peningkatan.

Kata kunci: Energi angin, turbin angin, diffuser, kontra rotasi

Abstract

Wind energy is one form of renewable energy in Indonesia and its potential is very large to be utilized. Wind energy can be converted into electrical energy using wind turbines. Horizontal axis wind turbine will be the subject of this study, where the wind turbine model will be given additional diffuser. In addition, this wind turbine model will also be developed from a single rotor wind turbine into a double rotor wind turbine with opposite rotation direction or counter rotation. This research uses numerical simulation method using ANSYS Fluent software to know wind turbine performance. Simulations were performed at wind speeds of 3 m/s, with the ratio of the length and diameter of the inlet diffuser 0.5; 1; 1.5; 2; and 2.5. Based on the simulation results, it can be seen that the greater the ratio of inlet length and diameter, the mechanical power generated by the wind turbine rotor is greater. Double rotor wind turbine with a length ratio and 2.5 inlet diameter produces the highest performance on the front rotor and rotor rear. The greater the ratio of the length and diameter of the inlet, the mechanical power generated by the front rotor and the rotor inside the diffuser also increases.

Keywords: Wind energy, wind turbine, diffuser, counter rotation

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi di negara berkembang seperti Indonesia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas perekonomian di negara tersebut. Sampai saat ini, energi fosil masih menjadi sumber energi utama yang digunakan di Indonesia. Salah satu energi alternatif yang sangat potensial untuk dimanfaatkan di Indonesia adalah energi angin. Peralatan yang digunakan untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dinamakan turbin angin. Total energi yang diperoleh pembangkit listrik tenaga angin yang terpasang di Indonesia adalah sekitar 1,6 MW dalam skala non komersial [10]. Model turbin angin yang paling banyak digunakan adalah model turbin angin sumbu horizontal (*horizontal axis wind turbine* atau HAWT). Model turbin angin ini mempunyai ciri poros yang sejajar dengan arah angin.

Turbin angin sumbu horizontal mempunyai efisiensi maksimum 59%, angka ini sering disebut dengan *betz limits* [2]. Tetapi efisiensi aktual dari sebuah turbin angin hanya berkisar 20%-50%, hal ini disebabkan adanya kerugian-kerugian dalam sebuah sistem turbin angin seperti kerugian transmisi

ataupun kerugian gesekan [9]. Salah satu inovasi yang dibuat untuk meningkatkan efisiensi dari turbin angin sumbu horizontal adalah dengan menambahkan *diffuser* pada konstruksi turbin angin atau dikenal dengan *diffuser augmented wind turbines (DAWT)* [1,6,8]. Penambahan *diffuser* pada konstruksi turbin angin meningkatkan kecepatan angin yang mengarah pada turbin angin [6]. Karena kecepatan angin di dalam *diffuser* yang meningkat, maka daya mekanik yang dihasilkan turbin angin yang berada di dalam *diffuser* juga pasti meningkat. Daya mekanik yang dihasilkan turbin angin dengan penambahan *diffuser* 2,4 kali lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin konvensional [6]. Penambahan *diffuser* pada konstruksi turbin angin berdampak positif jika arah angin konstan dari satu arah saja [6].

Selain penambahan *diffuser*, ada juga inovasi lain yang dibuat untuk meningkatkan efisiensi turbin angin, yaitu *counter rotating wind turbines (CRWT)*. CRWT merupakan turbin angin sumbu horizontal dengan rotor ganda yang berputar saling berlawanan arah. Berdasarkan teori momentum, Newman menyimpulkan bahwa koefisien daya maksimum atau efisiensi teoritis maksimum dari turbin angin yang mempunyai dua rotor adalah 64% [7]. Berdasarkan hal ini, maka penelitian terhadap CRWT terus dilakukan untuk memaksimalkan efisiensinya. Pada CRWT, masing-masing rotor mempunyai efisiensi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan performa turbin angin konvensional. Hal ini disebabkan karena interaksi antar rotor saat berputar bersama-sama dengan arah yang berlawanan [4]. Dengan diameter rotor yang sama, rotor belakang pada CRWT menunjukkan performa yang lebih rendah dibanding dengan rotor depan, hal ini diakibatkan karena aliran udara yang menuju rotor belakang sudah terganggu oleh putaran rotor depan [4]. Rotor belakang menangkap 2% - 8% dari total energi aliran [4], dengan kata lain rotor belakang digunakan untuk menangkap energi sisa dari rotor depan.

Salah satu parameter yang cukup penting dalam konstruksi CRWT adalah jarak aksial diantara rotor depan dan rotor belakang. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, efisiensi CRWT tertinggi didapat pada CRWT dengan perbandingan jarak aksial diantara rotor sebesar 0,61 [3]. Hasil simulasi numerik terhadap CRWT juga menunjukkan bahwa karakteristik putaran dan torsi pada rotor depan berbanding lurus dengan jarak aksial diantara rotor. Sementara itu, karakteristik putaran dan torsi pada rotor belakang berbanding terbalik terhadap jarak aksial diantara rotor [5]. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa efisiensi optimal CRWT terjadi pada perbandingan jarak aksial $0.2d - 0.7d$ (d adalah diameter rotor depan) [5]. Turbin angin model CRWT masih terus diteliti dan dikembangkan untuk mendapatkan performa yang maksimal dan bekerja pada kecepatan angin yang rendah [5].

Pada penelitian ini, DAWT dengan *diffuser* yang sederhana akan di aplikasikan pada konstruksi turbin angin rotor ganda kontra rotasi atau *counter rotating wind turbines (CRWT)*. Aliran fluida yang melewati konstruksi DAWT dengan rotor ganda kontra rotasi akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *diffuser* pada performa turbin angin dengan rotor ganda kontra rotasi. Dimensi *diffuser* divariasikan dengan perbandingan panjang *diffuser* (L) dan diameter *inlet diffuser* (D).

2. Metode Penelitian

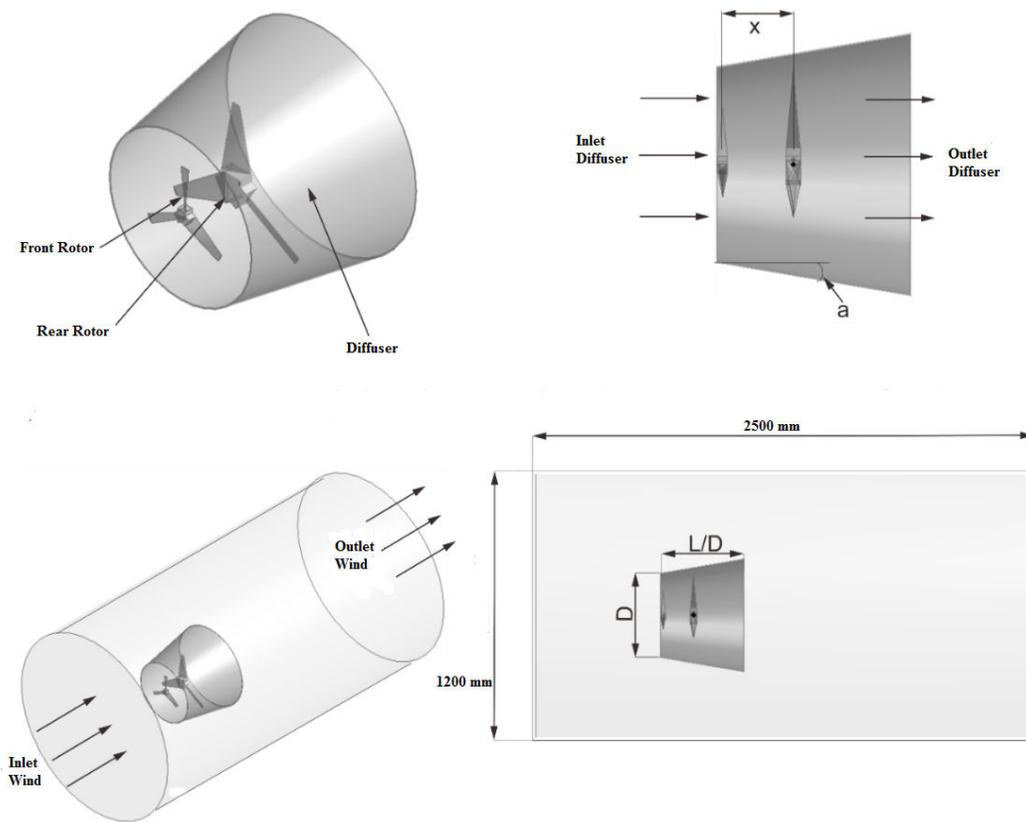
Penelitian dilakukan terhadap turbin angin model DAWT dengan rotor ganda kontra rotasi menggunakan metode simulasi dengan perangkat lunak ANSYS Fluent. Simulasi dilakukan pada kecepatan angin 3 m/s. Model penelitian ditunjukkan pada gambar 1, dalam penelitian ini objek yang diteliti hanya rotor dan *diffuser*. Spesifikasi lengkap model penelitian adalah sebagai berikut.

Spesifikasi model Turbin angin rotor ganda kontra rotasi:

- Diameter rotor depan (D_1)	= 230 mm
- Diameter rotor belakang (D_2)	= 400 mm
- Perbandingan jarak aksial antar rotor (x/D_1)	= 0,61
- Jumlah <i>blade</i> masing-masing rotor	= 3
- Jenis airfoil	= NACA 0012
- Material <i>blade</i>	= Kayu balsa
- Arah putaran rotor depan	= <i>clockwise</i>
- Arah putaran rotor belakang	= <i>counter clockwise</i>

Spesifikasi *Diffuser*:

- Diameter <i>inlet</i> (D_{inlet})	= 150 mm
- Diameter <i>outlet</i> (D_{outlet})	= 300 mm
- Tebal <i>diffuser</i> (t)	= 2 mm
- Perbandingan Panjang <i>diffuser</i> (L/D_{inlet})	= 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5

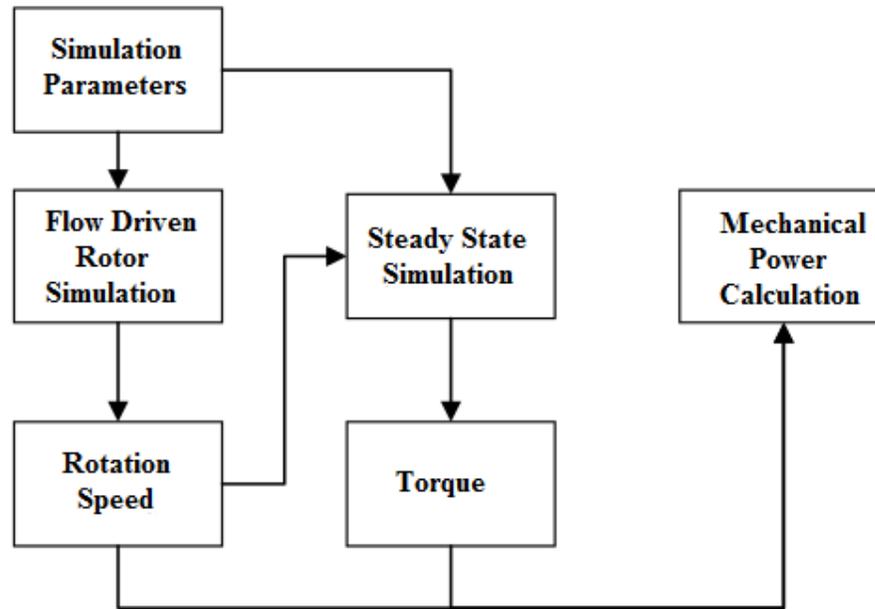


Gambar 1. Model Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dari penelitian ini adalah perbandingan panjang *diffuser* (L) terhadap diameter *inlet diffuser* (D). Variabel terikat dari penelitian ini adalah putaran rotor, torsi rotor, dan daya mekanik yang dihasilkan rotor depan dan rotor belakang. Berdasarkan variabel tersebut, maka dapat ditentukan model yang akan disimulasikan. Detail model yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut.

- Model 1 = Model turbin angin rotor ganda kontra rotasi tanpa *diffuser*
- Model 2 = Model turbin angin rotor ganda kontra rotasi dengan *diffuser* ($L/D_{inlet} = 0,5$)
- Model 3 = Model turbin angin rotor ganda kontra rotasi dengan *diffuser* ($L/D_{inlet} = 1$)
- Model 4 = Model turbin angin rotor ganda kontra rotasi dengan *diffuser* ($L/D_{inlet} = 1,5$)
- Model 5 = Model turbin angin rotor ganda kontra rotasi dengan *diffuser* ($L/D_{inlet} = 2$)
- Model 6 = Model turbin angin rotor ganda kontra rotasi dengan *diffuser* ($L/D_{inlet} = 2,5$)

Simulasi numerik yang akan dilakukan terdiri dari dua tahap. Tahap pertama dinamakan dengan *flow driven rotor simulation* sedangkan tahap kedua dinamakan *steady state simulation*. Simulasi tahap pertama digunakan untuk mengetahui putaran rotor turbin angin dan simulasi tahap kedua digunakan untuk mengetahui torsi yang dihasilkan dari masing-masing rotor turbin angin. Simulasi tahap pertama dan tahap kedua menggunakan parameter simulasi yang sama. Langkah-langkah simulasi yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Langkah Simulasi

Flow driven rotor simulation adalah simulasi numerik yang digunakan untuk memprediksi kecepatan sudut optimal rotor dengan kecepatan angin yang sudah ditentukan sebelumnya. Simulasi ini menghitung putaran rotor turbin angin pada tiap *time step* simulasi sampai putaran rotor menjadi stabil. Untuk menjalankan simulasi ini, kita harus mengaktifkan *6dof solver* pada ANSYS Fluent. *6Dof solver* pada ANSYS Fluent menggunakan gaya dan momen inerti rotor untuk menghitung atau memprediksi gerak putar dari rotor dengan terlebih dahulu ditentukan *center of gravity* dari rotor tersebut [11]. Gerak rotasi yang sudah didapatkan kemudian digunakan untuk menentukan posisi rotor. Posisi rotor tiap *time step* simulasi dimonitor oleh *motion history* pada ANSYS Fluent, lewat *motion history* ini putaran rotor dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\omega = \Delta\theta/\Delta t \quad (1)$$

Kecepatan sudut (ω) adalah besarnya perubahan sudut ($\Delta\theta$) dalam jangka waktu tertentu (Δt). *Motion history* pada ANSYS Fluent merekam setiap pergerakan rotor pada setiap *time step* simulasi, sehingga dengan menggunakan *motion history*, kecepatan sudut atau kecepatan putar rotor pada tiap *time step* dapat dihitung. Hasil dari simulasi tahap pertama ini adalah data putaran rotor, selanjutnya data putaran rotor ini digunakan sebagai data masukan untuk memprediksi torsi rotor pada simulasi tahap kedua.

Steady state simulation menggunakan metode *multiple rotating reference frame* untuk memodelkan aliran fluida disekitar DAWT dengan rotor ganda kontra rotasi. Prinsip dasar metode *multiple rotating reference frame* adalah menggerakkan fluida disekitar objek yang berputar (rotor) sesuai dengan arah dan kecepatan putar rotor tersebut. Metode ini digunakan untuk memprediksi torsi yang dihasilkan rotor turbin angin dengan kecepatan putar rotor yang sudah ditentukan sebelumnya. Daya mekanik dari rotor turbina angin dapat dihitung menggunakan persamaan 2, dimana P adalah daya mekanik rotor, T adalah torsi rotor, ω adalah kecepatan sudut rotor, dan n adalah putaran rotor. Daya mekanik turbin angin CRWT diperoleh dari persamaan 4, dimana P_{CRWT} adalah daya mekanik turbin CRWT, P_{front} adalah daya mekanik rotor depan, dan P_{rear} adalah daya mekanik rotor belakang.

$$P = T x \omega \quad (2)$$

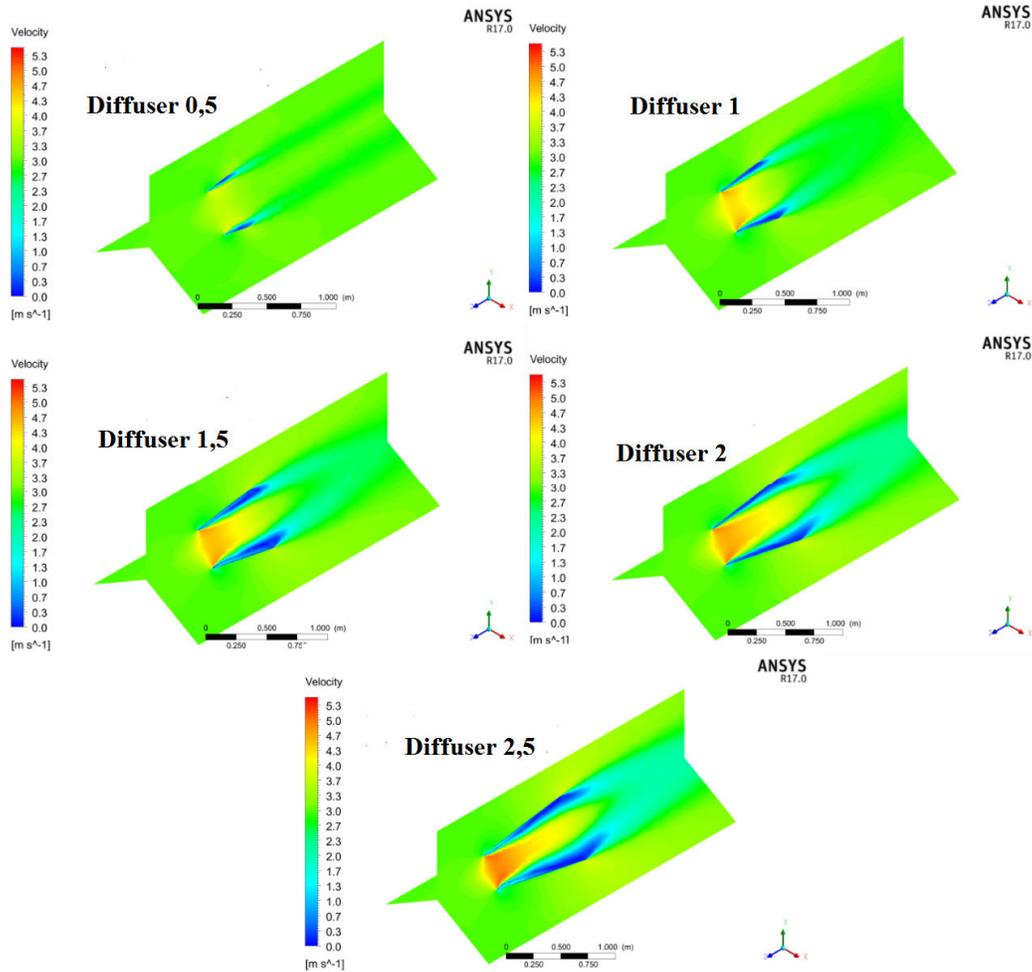
$$\omega = 2\pi n/60 \quad (3)$$

$$P_{CRWT} = P_{front} + P_{rear} \quad (4)$$

3. Hasil dan Analisis

3.1. Hasil simulasi *steady* pada *diffuser* tanpa rotor

Simulasi *steady* pada *diffuser* digunakan untuk mengetahui peningkatan kecepatan angin yang terjadi di dalam *diffuser*.



Gambar 3. Hasil simulasi *steady* pada *diffuser*

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi *steady* pada *diffuser* tanpa rotor. Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *diffuser*, maka kecepatan angin di daerah sekitar rotor akan bertambah. Kenaikan kecepatan angin yang tinggi terjadi pada daerah *inlet diffuser* sedangkan pada daerah *outlet diffuser* kenaikan kecepatan angin relatif kecil. Ukuran panjang *diffuser* yang besar mengakibatkan kecepatan angin meningkat di daerah sekitar *inlet diffuser*. Karena kenaikan kecepatan angin yang tinggi terjadi di daerah *inlet diffuser*, maka penempatan rotor turbin angin akan menghasilkan performa yang optimal jika diletakkan pada daerah *inlet diffuser*.

Tabel 1 Hasil simulasi *steady* pada *diffuser*

Wind turbines model	Maximum wind speed inside diffuser (m/s)	Wind speed increase (%)
Diffuser (L/D = 0.5)	4.05	35
Diffuser (L/D = 1)	4.8	60
Diffuser (L/D = 1.5)	4.81	60.33
Diffuser (L/D = 2)	4.98	66
Diffuser (L/D = 2.5)	5.05	68.33

Tabel 1 menunjukkan hasil simulasi *steady* pada *diffuser* tanpa rotor. Kenaikan kecepatan angin di dalam *diffuser* meningkat saat perbandingan panjang *diffuser* diperbesar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perbandingan panjang *diffuser* berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan angin yang terjadi di dalam *diffuser*.

3.2. Hasil simulasi *flow driven rotor* pada DAWT dengan rotor ganda kontra rotasi

Hasil dari simulasi *flow driven rotor* adalah putaran maksimal rotor, untuk dapat mengetahui performa rotor maka digunakan bilangan nondimensi yang merepresentasikan putaran rotor, bilangan nondimensi tersebut adalah *tip speed ratio (TSR)*. TSR merupakan perbandingan kecepatan tangensial ujung rotor dengan kecepatan angin.

Tabel 2 Hasil simulasi *flow driven rotor* pada DAWT dengan rotor ganda kontra rotasi

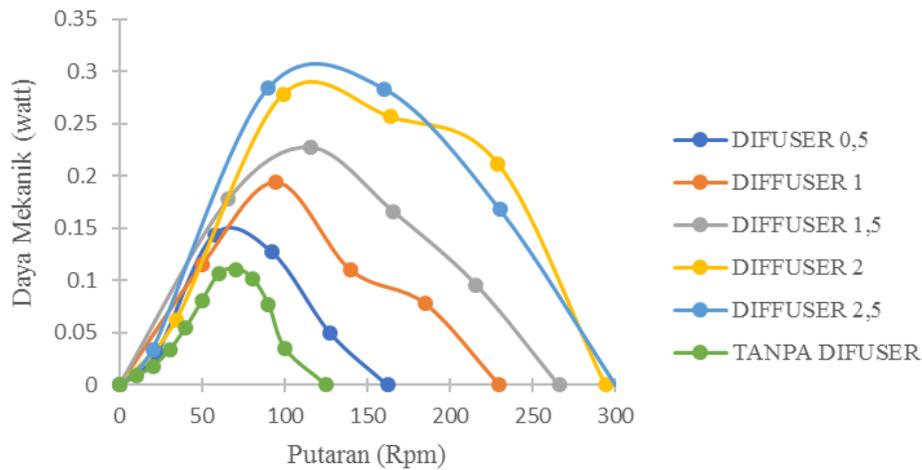
Wind turbines model	Front rotor		Rear rotor	
	ω (rad/s)	TSR	ω (rad/s)	TSR
Without diffuser	124.99	4.79	72.34	4,82
Diffuser (L/D = 0.5)	162.48	6.23	79.28	5,29
Diffuser (L/D = 1)	229.86	8.81	91.63	6,11
Diffuser (L/D = 1.5)	271.07	10.39	99.48	6,63
Diffuser (L/D = 2)	294.20	11.28	111.25	7,42
Diffuser (L/D = 2.5)	300.08	11.50	124.22	8,28

Tabel 2 menunjukkan hasil simulasi *flow driven rotor* pada DAWT dengan rotor ganda kontra rotasi. TSR yang dihasilkan turbin angin rotor ganda tanpa *diffuser* adalah 4,79 dan 4,82 masing-masing untuk rotor depan dan rotor belakang. TSR yang dihasilkan oleh rotor depan dengan perbandingan panjang *diffuser* L/D 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5 adalah 6,23; 8,81; 10,39; 11,28; dan 11,50. TSR yang dihasilkan rotor belakang adalah 5,29; 6,11; 6,63; 7,42; dan 8,28 untuk perbandingan panjang *diffuser* L/D 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5. TSR yang dihasilkan masing-rotor meningkat seiring dengan diperbesarnya perbandingan panjang *diffuser*. Peningkatan TSR terjadi karena peningkatan kecepatan angin yang terjadi di dalam *diffuser*. TSR yang dihasilkan oleh masing-masing rotor di dalam *diffuser* berbanding lurus dengan perbandingan panjang *diffuser*, semakin besar perbandingan panjang *diffuser* maka TSR rotor juga semakin meningkat.

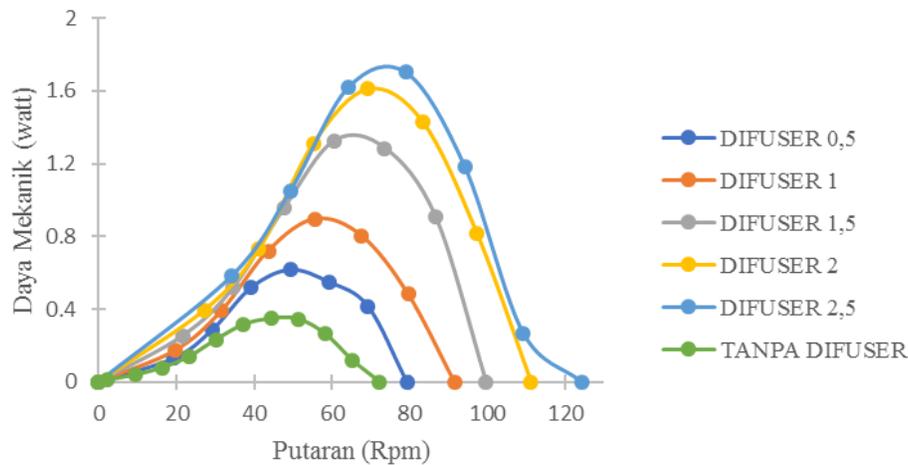
Hasil dari simulasi *flow driven rotor* menunjukkan bahwa bahwa penambahan panjang *diffuser* menghasilkan kecepatan angin yang meningkat di dalam *diffuser*, karena peningkatan kecepatan angin inilah maka putaran optimal rotor depan dan rotor belakang yang ada di dalam *diffuser* juga meningkat, ditandai dengan meningkatnya TSR.

3.3. Hasil Simulasi *steady* pada DAWT dengan rotor ganda kontra rotasi

Performa dari sebuah turbin angin dapat dilihat dari daya mekanik yang dihasilkan turbin angin. Daya mekanik turbin angin merupakan hasil perkalian antara torsi rotor turbin angin dengan putaran rotornya. Torsi dari sebuah rotor turbin angin diperoleh dari simulasi *steady* turbin angin dengan putaran tertentu.



Gambar 4. Hasil simulasi *steady* untuk rotor depan



Gambar 5. Hasil simulasi *steady* untuk rotor belakang

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan daya mekanik yang dihasilkan masing-masing rotor turbin angin pada putaran rotor terendah sampai putaran rotor tertinggi. Daya mekanik yang dihasilkan oleh rotor depan dengan perbandingan panjang *diffuser* L/D 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5 adalah 0,144 watt; 0,1946 watt; 0,2277 watt; 0,2782 watt; dan 0,2842 watt. Daya mekanik yang dihasilkan rotor belakang adalah 0,6208 watt; 0,8952 watt; 1,3269 watt; 1,6106 watt; dan 1,7025 watt untuk perbandingan panjang *diffuser* L/D 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5.

Berdasarkan hasil simulasi *steady* pada gambar 4 dan gambar 5, turbin angin rotor ganda tanpa *diffuser* menghasilkan daya mekanik yang relatif kecil jika dibandingkan dengan turbin angin rotor ganda dengan penambahan *diffuser*. Turbin angin rotor ganda dengan penambahan *diffuser* ($L/D = 2,5$) menghasilkan performa tertinggi pada rotor depan dan juga rotor belakang. Semakin besar perbandingan L/D pada *diffuser* maka daya mekanik yang dihasilkan rotor depan dan rotor belakang yang berada di dalam *diffuser* juga mengalami peningkatan. Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan daya maksimal yang dapat dicapai oleh turbin angin rotor ganda selama proses simulasi.

Tabel 3 Daya Maksimal rotor depan

Tanpa Diffuser	0,1109 watt
Diffuser 0,5	0,144 watt
Difusser 1	0,1946 watt
Diffuser 1,5	0,2277 watt
Diffuser 2	0,2782 watt
Diffuser 2,5	0,2842 watt

Tabel 4 Daya maksimal rotor belakang

Tanpa Diffuser	0,3494 watt
Diffuser 0,5	0,6208 watt
Difusser 1	0,8952 watt
Diffuser 1,5	1,3269 watt
Diffuser 2	1,6106 watt
Diffuser 2,5	1,7025 watt

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan pada DAWT dengan rotor ganda kontra rotasi, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Penambahan *diffuser* mengakibatkan kecepatan angin di daerah sekitar rotor bertambah. Kenaikan kecepatan angin yang tinggi terjadi pada daerah *inlet diffuser* sedangkan pada daerah *outlet diffuser* kenaikan kecepatan angin relatif kecil.
2. Penambahan panjang *diffuser* menghasilkan kecepatan angin yang meningkat di dalam *diffuser*, karena peningkatan kecepatan angin inilah maka putaran maksimal rotor depan dan rotor belakang yang ada di dalam *diffuser* juga meningkat, ditandai dengan meningkatnya TSR.
3. Turbin angin rotor ganda dengan penambahan *diffuser* ($L/D = 2,5$) menghasilkan performa tertinggi pada rotor depan dan juga rotor belakang. Semakin besar perbandingan L/D pada *diffuser* maka daya mekanik yang dihasilkan rotor depan dan rotor belakang yang berada di dalam *diffuser* juga mengalami peningkatan.

Daftar Pustaka

- [1] Abe, K., Ohya, Y., *An investigation of flow fields around flanged diffuser using CFD*, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamic 92 (2004) 315 – 330.
- [2] Betz A. Schraubenpropeller mit geringstem energieverlust. Germany: Gottinger Nachr: 1919.
- [3] Bramantya, M.A., Huda, L.A., *An experimental study on the mechanics power of counter rotating wind turbines model related with axial distance between two rotors*, IEEE, 978-1-5090-0741-7 (2016)
- [4] Hoang, A.D., Chang-Jo Yang, Design and performance evaluation of a 10KW scale counter-rotating wind turbine rotor, Journal of The Korean Society of Marine Environment & safety (2014).
- [5] Irawan, Y.H., Bramantya, M.A., *Numerical simulation of the effect of axial distance between two rotors in counter-rotating wind turbines*, IEEE, 978-1-5090-4357-6 (2016).
- [6] Matsushima, T, Takagi, S, Muroyama, S, *Characteristic of highly efficient propeller type small wind turbine with a diffuser*, Renewable energy, 31 (2006) 1343 – 1354.
- [7] Newman BG. Actuator-disc theory for vertical-axis wind turbine . Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 1983;15:pp.347-355.
- [8] P.D.C ten Hoopen, *An Experimental and computational investigation of a diffuser augmented wind turbines*, Master of Science Thesis, Delft University of Technology (2009).
- [9] Seungmin Lee, Hogeon Kim, Eunkuk Son & Soogab Lee, Effect of design parameters on aerodynamic performance of a counter-rotating wind turbine, Renewable energy, 42 (2012) 140.
- [10] Soeripno M, Murti N, Blowing Wind Energy in Indonesia, Emergy Procedia 47 (2014) 273 – 282.
- [11] Tuyen Quang Le, Kwang-Soo Lee, Jin-Soon Park & Jin Hwan Ko, Flow-driven rotor simulation if vertical axis tidal turbine: A comparison of helical and straight blades, IJNAOE, (2014) 6:257-268.