

Turbin Angin Poros Vertikal Sebagai Alternatif Energi Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU)

M. F. Soetanto, M.Taufan
Program Studi Teknik Aeronautika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung
INDONESIA
E-mail:mariosoetanto@yahoo.com

Abstrak

Makalah ini bertujuan untuk memberikan solusi alternatif lampu penerangan jalan umum, dengan mengembangkan dan memproduksi prototipe turbin angin poros vertikal jenis savonius tiga bilah yang disesuaikan dengan kecepatan angin rata-rata setempat di jalan Jawa Barat, khususnya jalan tol Purbaleunyi. Makalah ini mencakup rancangan turbin berdasarkan kajian secara teoritik, numerik, pembuatan serta pengujian daya mekanik model rotor. Kesimpulan hasil penelitian ini membuktikan bahwa rancangan turbin telah berfungsi dan untuk model dengan skala 1:25 dapat menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 20,759 Watt, sehingga bila dibuat prototip dalam ukuran sebenarnya dan untuk kondisi jalan tol dengan kecepatan sebesar 1,5 kali pengujian model, diharapkan dapat menghasilkan paling tidak daya listrik sebesar 280 Watt, yang cukup ideal untuk digunakan sebagai alternatif penerangan jalan umum.

Kata kunci: turbin angin, savonius tiga bilah, daya, pengujian model, alternatif PJU

1. PENDAHULUAN

Data Dinas Pertamanan dan Pemakaman Kota Bandung menyebutkan hanya terdapat 16.924 titik Penerangan jalan Umum (PJU) di kota Bandung. Padahal, menurut Kepala Subdinas Dekorasi Kota Dinas Petamanan Kota Bandung dibutuhkan paling sedikit 21.000 buah PJU [Sumber: Dinas Pertamanan dan Pemakaman Kota Bandung, 2006]. Hal tersebut sangat jauh dari ideal karena dari data titik PJU yang ada, sejak tahun 2006 sekitar 7.000 titik padam. Akibatnya pada malam hari sejumlah ruas jalan menjadi gelap gulita sehingga bisa saja menjadi rawan kejahatan [Alokasi APBD untuk PJU, 2006].

Energi angin merupakan energi terbarukan (*renewable energy*) yang memiliki berbagai keuntungan, diantaranya selalu dapat diperbaharui, dalam penerapannya tidak memerlukan transportasi, relatif murah (4-6 cent \$ per kWh)^[2], serta benefit ekonomi dalam rural area.

Teknologi turbin angin yang berkembang dewasa ini selalu mengacu pada perhitungan optimasi kinerja turbin angin dari luar negeri, dimana kondisinya sangat berbeda dengan kondisi angin di Indonesia yang dipengaruhi oleh iklim musoon. Turbin angin jenis Poros Vertikal yang dipilih

dalam penelitian ini adalah Rotor Savonius, karena walaupun jenis ini memiliki efisiensi relatif kecil jika dibandingkan dengan rotor berporos horizontal, tetapi mempunyai kemampuan beroperasi pada kecepatan angin yang relatif rendah, yaitu sekitar 1 – 2 m/s, sehingga sangat sesuai digunakan di Indonesia yang termasuk daerah muson [Tedjasukmana, 1980., Soetanto, dkk., 2006].

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian mengenai Pengembangan Prototipe Turbin Angin Poros Vertikal Sebagai Alternatif penerangan Jalan Tol yang didanai dalam program Hibah Strategis Nasional 2012.

Besarnya daya listrik yang dapat dihasilkan oleh rotor savonius adalah

$$P = C_p \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \dots \dots \dots (1.1)$$

dimana :

- P = Daya Rotor [Watt]
- C_p = Koefisien Daya
- = Massa Jenis Udara [kg/m^3]
- A = Luasan
- U = Kecepatan Angin [m/s]

Daya tersebut sebanding dengan hasil kali momen torsi rotor dengan kecepatan putar rotor yang dihasilkannya, sedangkan momen torsi sendiri adalah hasil perkalian gaya hambat yang terjadi

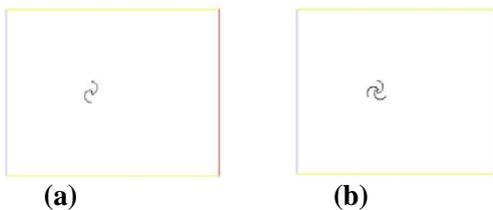
(D) dengan jarak rotor (d); adapun gaya hambat rotor diperoleh dari:

$$D = C_d \cdot \rho \cdot A \cdot U^2 \dots\dots\dots(1.2)$$

dimana C_d adalah koefisien gaya hambat. Dalam makalah ini disampaikan optimasi rotor savonius 2 bilah dan 3 bilah, perancangan dan pembuatan rotor serta proses assembling turbin angin. Optimasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Fluent 6.3, perancangan serta pembuatan bagian-bagian rotor dilakukan di hanggar aeronautika Politeknik Negeri Bandung.

2. METODOLOGI

Kaji numerik optimasi karakteristik 2 bilah dan 3 bilah rotor dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Fluent 6.3 guna mendapatkan koefisien gaya hambat yang lebih baik dalam desain dan tipe rotor. Dalam kajian ini terlebih dahulu dibuat model rotor turbin angin dalam suatu volume atur yang telah diperhitungkan sedemikian rupa sehingga terjadi aliran fluida dapat berkembang penuh (*fully developed flow*). Adapun inisialisasi batasan dan kondisi batasan-batasan yang diterapkan adalah, kondisi batas *wall* pada rotor, seperti yang tampak dalam Gambar 1. di bawah, adalah: kondisi *velocity inlet* pada inlet (dalam warna biru), kondisi *outflow* pada outlet (warna merah), serta kondisi *symmetry* (warna kuning) pada bagian-bagian yang lainnya.



Gambar 1. (a) Rotor dua bilah dan (b) rotor tiga bilah dengan batasan yang diterapkan

Perancangan bagian-bagian turbin dilakukan dengan mempergunakan perangkat lunak CATIA, sedangkan proses pembuatan dilakukan di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin Polban.

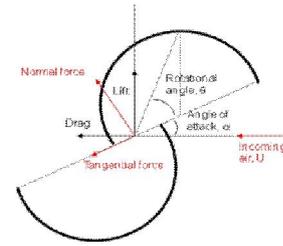
Perhitungan poros juga dilakukan secara teoritis guna mendapatkan dimensi poros yang diijinkan berdasarkan material yang dipilih.

3. HASIL DISKUSI

3.1. Kaji Numerik

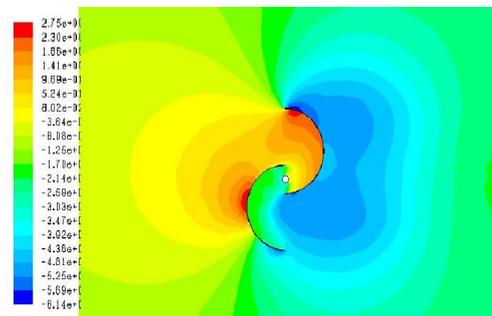
Analisa kaji numerik dilakukan dengan membandingkan koefisien gaya hambat yang

diperoleh dari masing-masing desain berdasarkan variasi rasio sudut serang, (Gambar 2). Dalam perhitungan ini diberikan lima variasi sudut serang, untuk masing-masing desain bilah, yaitu = 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, dan 1,2.



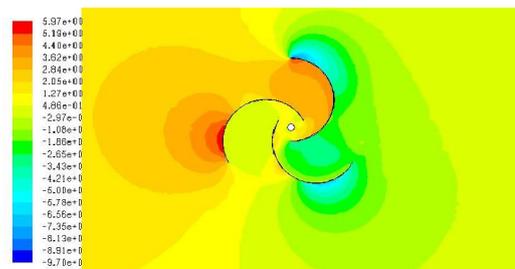
Gambar 2. Gaya yang bekerja pada rotor savonius

Optimasi meliputi distribusi tekanan, distribusi kecepatan, vektor kecepatan, dan koefisien gaya hambat yang terjadi. Distribusi tekanan pada rotor 2 bilah ditampilkan dalam Gambar 3., sedangkan pada rotor 3 bilah ditampilkan dalam Gambar 4., masing-masing terjadi pada sudut serang = 1,2.



Gambar 3. Distribusi tekanan pada rotor dua bilah yang terjadi pada = 1,2

Daerah betekanan tinggi dinyatakan dalam warna merah, sedangkan daerah yang bertekanan rendah dinyatakan dalam warna biru

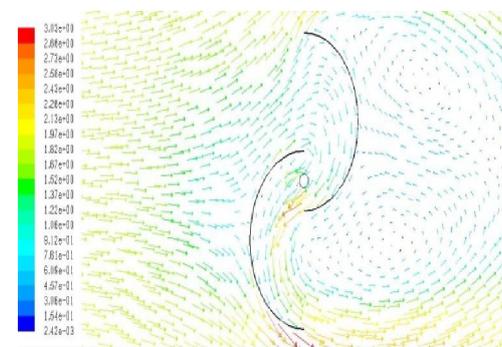


Gambar 4. Distribusi tekanan pada rotor tiga bilah untuk = 1,2

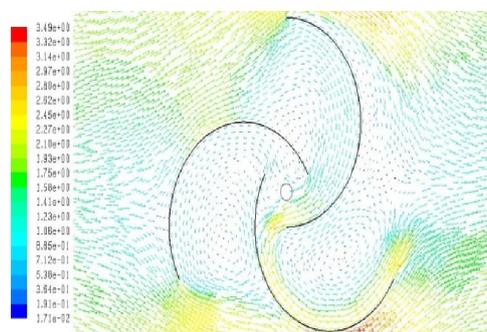
Distribusi tekanan yang terjadi pada rotor tiga bilah, diperoleh variasi tekanan sebesar $0,486 \times 10^5$ Pa hingga $5,97 \times 10^5$ Pa pada hulu aliran dan variasi tekanan sebesar $2,97 \times 10^5$ Pa hingga $9,7 \times 10^5$ Pa terjadi pada bagian hilir.

Hasil simulasi aliran yang terjadi di sekitar rotor dua bilah dan rotor tiga bilah memperlihatkan perbedaan variasi tekanan yang diperoleh di bagian hulu dan bagian hilir pada rotor tiga bilah lebih besar dibandingkan hasil perhitungan distribusi tekanan pada rotor dua bilah. Perbedaan variasi tekanan antara hulu dan hilir bilah rotor menunjukkan besarnya nilai gaya hambat yang dapat dihasilkan oleh desai rotor tersebut. Semakin besar perbedaan distribusi tekanannya berarti semakin besar pula gaya hambat yang dihasilkan untuk memutar turbin angin.

Perbedaan kecepatan yang terjadi antara rotor dua bilah dan rotor tiga bilah pada rasio sudut serang yang sama, ditampilkan dalam Gambar 5. Disini terlihat bahwa rotor tiga bilah memperoleh kecepatan maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan rotor dua bilah, yang mana dapat disimpulkan bahwa konfigurasi desain rotor tiga bilah mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan rotor dua bilah.



(a)



(b)

Gambar 5. Perbandingan vektor kecepatan pada rotor dua bilah (a) dan (b) rotor tiga bilah

Perbandingan hasil proses komputasi koefisien gaya hambat untuk masing-masing desain rotor dua bilah maupun tiga bilah ditampilkan dalam Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Koefisien gaya hambat, Cd, untuk desain rotor dua bilah dan tiga bilah

α	ω	Cd (rotor 2 bilah)	Cd (rotor 3 bilah)
0.2	1.648	1.3646	1.9302
0.4	3.296	1.3631	1.9377
0.6	4.944	1.3646	1.9473
0.8	6.592	1.3635	1.9512
1	8.24	1.3625	1.9591
1.2	9.88	1.3620	1.9688

Dengan hasil analisa tersebut, maka untuk tahap perancangan dan pembuatan prototipe turbin angin poros vertikal dibuat dengan desain rotor savonius tiga bilah.

3.2. Perancangan dan Pembuatan Turbin Angin

Perancangan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak CATIA. Prhitungan poros dilakukan secara kaji teoritis berdasarkan tegangan bahan yang diijinkan.

Diameter Poros berongga (do, di)

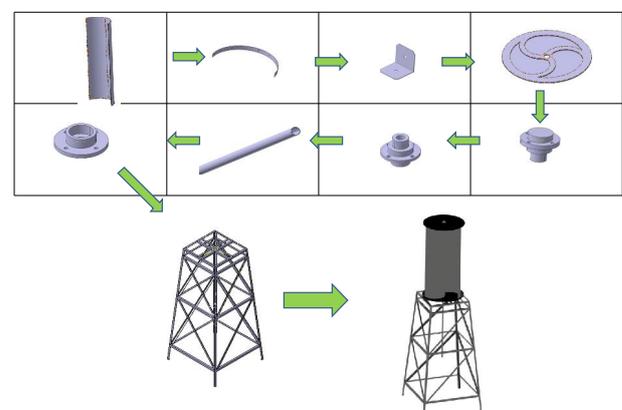
$$do \geq \left[\frac{5.1}{\tau a \times (1 - k^4)} \times \sqrt{(Kt \times T)^2 + (Km \times M)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$do \geq \left[\frac{5.1}{49 \times (1 - 0.5^4)} \times \sqrt{(2 \times 12855)^2 + (2 \times 64275)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$do \geq 24.257 \approx 25mm$$

Sehingga pemilihan material dan dimensi poros dianggap aman.

Hasil perancangan dapat dilihat dalam Gambar 6. di bawah ini



Gambar 6. Hasil perancangan desain turbin angin jenis rotor savonius rotor tiga bilah

Adapun pembuatan bagian-bagian turbin angin adalah:

3.2.1. Pembuatan Bilah Rotor Savonius

Dalam pembuatan bilah rotor, material yang digunakan adalah plat aluminium dengan ukuran 2400mm x 1200mm, tebal 0.5mm. Plat tersebut dipotong dan dirol sehingga membentuk 3 buah bilah rotor, seperti terlihat dalam Gambar 7. di bawah.



Gambar 7. Bilah rotor yang telah dirol.

3.2.2. Pembuatan poros dan Komponen Rotor Savonius

Proses selanjutnya adalah pembuatan poros, bearing danudukan bearing dengan menggunakan mesin potong, mesin bor, maupun mesin bubut. Seluruh proses permesinan ini dilakukan di laboratorium produksi teknik Mesin Polban, seperti terlihat dalam Gambar 8, dan hasilnya ditampilkan dalam Gambar 9.



Gambar 8. Proses pembuatan bearing pada mesin bubut



Gambar 9. Hasil pembuatan bearing yang digunakan

Pembuatan flange dilakukan dengan menggunakan material aluminium tebal 1 cm dan diperkuat dengan silinder dari material komposit. Seluruh proses dilakukan di Hanggar Aeronautika Polban. Gambar 9. di bawah ini menampilkan hasil pembuatan flange yang telah di pasang pada bilah rotor.



Gambar 9. Hasil pembuatan flange yang digunakan sebagai penguat bilah rotor

3.2.3. Pembuatan Menara

Pembuatan menara menggunakan material ST 42, dengan desain menara jenis eiffel. Perhitungan struktur kekuatan menara dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak CATIA.



Gambar 10. Hasil pembuatan menara yang digunakan

3.2.4. Assembling Turbin Angin



Gambar 11. Hasil assembling turbin angin

Selanjutnya dilakukan pengujian eksperimen turbin angin yang dilaksanakan di lingkungan kampus Polban. Parameter terukur yang dilakukan adalah kecepatan angin rata-rata setempat dan putaran turbin yang dihasilkan. Dari hasil eksperimen diperoleh daya turbin sebagai berikut:

Tabel 1. Data Pengujian Model Turbin

PENGUJIAN HARI PERTAMA				
no	v [m/s]	RPM	ω	P [watt]
1	3.5	445	46.5915	134.6275
2	2.6	230	24.081	55.18864
3	0.9	106	11.0982	2.28906
4	2.3	206	21.5682	38.20438
5	0.7	63.4	6.63798	1.07702
6	1.2	130	13.611	5.42592
7	2.3	220	23.034	38.20438

PENGUJIAN HARI KEDUA				
no	v [m/s]	RPM	ω [rad/s]	P [watt]
1	2.2	137	14.3439	33.435
2	2.2	60	6.282	33.435
3	0.9	40.7	4.26129	2.289
4	1	69.2	7.24524	3.140
5	0.9	29.2	3.05724	2.289
6	1.1	33.3	3.48651	4.179
7	1.5	40.3	4.21941	10.598
8	0.9	37.1	3.88437	2.289
9	0.7	37.4	3.91578	1.077
10	1	25.1	2.62797	3.140

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan secara numerik diperoleh koefisien gaya hambat rotor tiga bilah lebih besar daripada yang diperoleh rotor dua bilah. Dengan menggunakan persamaan gaya hambat, $D = 1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_d$, dengan ρ adalah kerapatan volume udara, V adalah kecepatan udara dan S adalah luasan, maka akan diperoleh gaya hambat untuk rotor tiga bilah lebih besar dibandingkan rotor dua bilah.

Dari hasil perhitungan kekuatan material poros diperoleh bahwa material poros yang digunakan ST 42 dengan poros berongga do 24,257 mm telah memenuhi persyaratan yang diijinkan.

Dari hasil perhitungan secara analitik teoritis model turbin angin diperoleh data daya dan momen sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 2. dibawah ini.

Tabel 2. Perhitungan Teoritis Daya dan Momen Model Turbin

Aspect Ratio	α	C_q	v [m/s]	P [watt]	d_{sv} [m]	h_{sv} [m]	ω	Q [Nm]
h/d=2	0.1	0.26	2.5	12.614	1	2	0.5	3.2138
	0.2	0.26	2.5	12.614	1	2	1	3.2138
	0.3	0.26	2.5	12.531	1	2	1.5	3.1925
	0.4	0.25	2.5	12.354	1	2	2	3.1475
	0.5	0.25	2.5	12.133	1	2	2.5	3.0913
	0.6	0.23	2.5	11.304	1	2	3	2.8800
	0.7	0.21	2.5	10.426	1	2	3.5	2.6563
	0.8	0.19	2.5	9.376	1	2	4	2.3888
	0.9	0.16	2.5	7.973	1	2	4.5	2.0313
	1	0.14	2.5	6.658	1	2	5	1.6963
	1.1	0.10	2.5	4.995	1	2	5.5	1.2725
	1.2	0.07	2.5	3.243	1	2	6	0.8263

Perhitungan teoritis berdasarkan teori Blade Element Momentum di atas adalah mengenai bentuk rotor konvensional atau rotor dengan dua bilah.

Dari hasil pengujian turbin angin di lapangan diperoleh rata-rata daya yang diperoleh adalah 20,759 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa rotor tiga

bilah memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan rotor dua bilah dari perhitungan teoritis.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. -, *Blue Print Pengelolaan Energi Nasional*, Situs DESDM, www.desdm.go.id
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/Wind>
3. Berita Harian Kompas, *Rencana Penyediaan Tenaga Listrik tahun 2004-2013*, 25 Maret 2006.
4. D. Spera, *WIND TECHNOLOGY: The Fundamental Concept of Wind Turbine Engineering*, ASME Press, 1994.
5. Soetanto, Maria F. dan Sugianto, *Rancang bangun dan Optimasi pemodelan Vertical Low speed Windmill dengan Memanfaatkan Energi Angin Sebagai Penggerak*, Laporan Penelitian DIK-S, UPPM-POLBAN, 2003.
6. F.S. Maria dan Sugianto, *Kaji Eksperimen Performansi Rotor Savonius yang Mempunyai kerampingan 4 dan 8*, Laporan Penelitian DIK-S, UPPM-POLBAN, 2004.
7. Marsis, Wisjnu P., *Kebijaksanaan Konservasi dan Diversifikasi Energi Sebagai Dasar Pengembangan Pemanfaatan energi Angin.*, Majalah LAPAN no. 14 th. III.
8. *The Value of Wind*, RepSource Indonesia Vol.2 No. 3, Winrock International, Winter 1997.