

Pengujian Kinerja Turbin Angin Savonius Sumbu Vertikal Overlap Dengan Deflektor Lengkung Ganda

Muhammad Halil¹

Abstract.

Wind energy is a renewable energy source that can be converted into electrical energy. The utilization of wind energy can replace oil dwindling energy supplies in the world. One wind turbine that can transform wind energy into electric energy is Savonius turbine, which Savonius turbine can work at relatively low wind speeds. In this study Savonius turbine uses a double curved deflector in pairs upstream of the turbine and the turbine as well. Deflector mobilized with a double curved hinge system so that it can be in the know its performance in the best condition. The curvature of the deflector is 1/4 of the circumference of the rotor. This study was conducted at a speed of between 4 m/s to 6 m/s. The results showed that the condition of the double curved deflector orientation $\alpha_2 = 135^\circ$ angle $\beta_2 = 45^\circ$ of the direction of flow produces the best or highest C_p , as well as working torque at low rpm.

Keywords: Savonius Turbine, single curved deflector, renewable energy

Pendahuluan

Hampir semua sektor kehidupan (industri, rumah tangga, transportasi, jasa, dan lain-lain) tidak bisa dipisahkan dari sektor energi. Pemenuhan energi listrik untuk berbagai kebutuhan saat ini dirasakan masih sangat tergantung pada sumber daya energi tak terbarukan yang relatif semakin terbatas. Kondisi sumber daya energi yang sebagian besar tidak dapat diperbaharui, terutama minyak bumi, semakin lama semakin terbatas. Indonesia yang merupakan negara sedang berkembang, penyediaan energi merupakan faktor yang sangat penting dalam mendukung pembangunan. Kebutuhan akan energi terus meningkat sejalan dengan meningkatnya pembangunan terutama pembangunan di sektor industri, pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Minyak bumi sampai saat ini menjadi sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri. Saat ini minyak bumi juga menjadi komoditi penghasil penerimaan negara dan devisa. Kebutuhan akan minyak bumi yang semakin besar tersebut terus berlanjut, namun cadangannya semakin menipis. Semakin berkurangnya cadangan minyak dunia, termasuk Indonesia, telah mendorong pemerintah untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar minyak (Kepres No.10 tahun 2005 tentang penghematan energi) dan meningkatkan pemanfaatan sumber energi alternatif yang terbarukan. Pemerintah saat ini telah mencanangkan salah satu program yaitu pemanfaatan sumber daya energi lokal untuk mewujudkan Masyarakat Mandiri Energi.

Untuk menghadapi permasalahan energi nasional jangka panjang, menyangkut hal yang berkaitan

dengan *security of supply* dan keberlanjutan dalam penyediaan energi, yang pada akhirnya dapat mendukung pembangunan dan memenuhi kebutuhan seluruh masyarakat Indonesia, haruslah mempertimbangkan berbagai aspek. Aspek-aspek tersebut antara lain seperti lingkungan, ekonomi, dan aspek sosial kemanusiaan. Karena penggunaan teknologi dalam pemanfaatan sumber daya energi lokal sangat memerlukan sosialisasi, edukasi dan informasi yang cukup agar dapat diterima sebagai bagian budaya masyarakat yang belum pernah berinteraksi dengan berbagai teknologi Energi Baru Terbarukan (EBT) dan akibat pemanfaatannya pada dampak sosial kemanusiaan. Hal ini akan menentukan keberlanjutan pembangunan itu sendiri. Untuk Jangka panjang teknologi baru yang berkaitan dengan EBT tidak dapat dihindari, demikian pula pengetahuan yang cukup mendalam dalam ilmu bahan serta berbagai pemodelan matematik untuk mendukung kegiatan rekayasa.

Permasalahan energi nasional jangka pendek yang harus segera diselesaikan saat ini ialah menyiapkan sumber energi selain BBM (bahan bakar minyak) untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri nasional. Pemecahan masalah energi nasional jangka pendek haruslah diletakkan dalam suatu kerangka untuk menjawab masalah jangka panjang, sehingga menjadi suatu penyelesaian yang integral dan kelanjutannya. Berbagai jenis sumber EBT yang diperhatikan dalam Agenda Riset Nasional adalah sebagai berikut: (a) angin; (b) batubara kualitas rendah; (c) panas bumi; (d) *biofuels*, termasuk *biodiesel*, *bioethanol*, dan *bio-oil*; (e) biomassa dan biogas; (f) surya; (g) hidrogen dan *fuel-cell*; (h) nuklir; (i) energi laut,

¹Dosen Fak. Teknik Jur. T.Mesin UNHAZ Bengkulu
Majalah Teknis Simes Vol. 11 No. 1 Januari 2017

termasuk gelombang dan arus laut; dan (j) mini-hidro dan mikro-hidro; (k) *coal bed methane* (ARN 2006-2009).

Dari data statistik energi yang dikeluarkan oleh Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, Tahun 2004 dapat dilihat bahwa potensi energi terbarukan di Indonesia sangatlah besar, namun belum dimanfaatkan secara optimal.

Menurut data World Wind Energi Association Report (WWEA 2010), kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia sebesar 1,4 MW yang tersebar di Nusa Penida (Bali), Bangka Belitung, Yogyakarta dan Pulau Selayar (Sulawesi Utara). Jumlah tersebut belum mencapai angka yang signifikan untuk memenuhi scenario *energy mix 2025*. Artinya pemerintah harus berusaha keras untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga angin dengan kapasitas total 1.000 MW hingga 13 tahun mendatang.

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Energi listrik merupakan suatu bentuk energi yang berasal dari sumber arus, sedangkan banyaknya energi tiap satuan waktu dimana pekerjaan sedang berlangsung atau kerja dikenal dengan daya listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Turbin angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk memutar atau menggerakkan generator listrik.

Sistem yang diyakini secara tepat untuk memanfaatkan energi angin adalah dengan model sumbu tegak. *Vertical Axis Turbine* pada awalnya dikenal dan digunakan pada sistem kincir angin. Desain awal turbin jenis ini ditemukan di Persia sekitar tahun 500-900 M, dimana digunakan untuk memompa air dan penggilingan gandum. Sistem ini mempunyai banyak kelebihan khususnya pada sisi desain yang sederhana dan biaya yang lebih murah, jika dibandingkan dengan tipe turbin yang bersumbu horizontal. Namun paten atas konsep *Vertical Axis Turbine* dilakukan pertama kali oleh Georges Jean Marie Darrieus pada tahun 1925 di Prancis. Perlu diketahui bahwa sebenarnya jenis dari *Vertical Axis Turbine* itu sendiri ada 5 (lima) tipe, yaitu : SC-Darrieus (*Straight Blade*), H-Darrieus (*Straight Blade*), Darrieus (*Curved Blade*), Gorlov (*Helical Blade*) dan Savonius (*Straight/Skewed*).

Turbin savonius adalah mesin yang di dorong oleh gaya *drag*. Rotasi rotor terjadi karena perbedaan *drag* antara *bucket* maju/*advancing* (cembung) dan *bucket* kembali/*returning* (cekung). Rotor Savonius beroperasi pada *tip speed ratio* rendah. Hal ini dianggap sebagai keuntungan. Rotor Savonius memiliki desain dan konstruksi sederhana, tapi masih tidak sepepuler dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal.

Kailash, et. al. [7] (2011) melakukan suatu penelitian terhadap peningkatan kinerja rotor savonius dimodifikasi dengan menyediakan deflektor di sisi *bucket returning*. Posisi pelat deflektor pada posisi optimal dapat meningkatkan C_p max. Untuk modifikasi rotor Savonius *single-stage* didapat sebesar 50%. Untuk *two-stage* dengan fasa pergeseran 0° dan 90° meningkat masing-masing sebesar 42% dan 31% dan untuk *three-stage* C_p max = 17%.

Dalam penelitian lainnya Kailash, et. al. [8] (2012) selanjutnya melakukan penelitian dengan menggunakan dua pelat deflektor dengan tujuan untuk mengurangi gaya balik pada *bucket* cekung atau meningkatkan gaya positif pada *bucket* cembung sehingga dapat meningkatkan gaya net. Penghambat aliran (*deflector*) dipasang pada aliran menuju *bucket advancing*/cembung dan dengan memusatkan aliran menuju *bucket returning*/cekung. Pengujian dilakukan untuk mengetahui posisi optimum dari pelat deflektor pada sisi *bucket advancing* dan pada sisi *bucket returning*. Hasil menunjukkan bahwa dua pelat deflektor ditempatkan pada posisi optimal di hulu meningkatkan koefisien daya C_p sebesar 0,35. Hasil ini meningkat secara signifikan lebih tinggi dari pada koefisien daya untuk rotor tanpa pelat deflektor yang hanya sebesar 0,14.

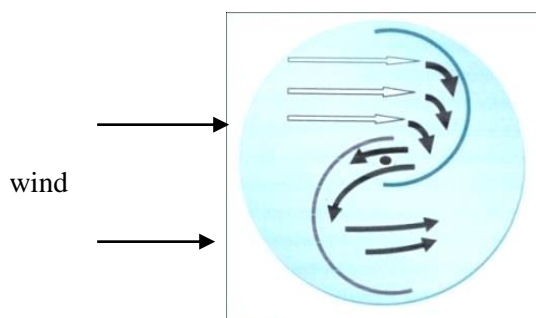
Mahmoud, et. al. [19] (2012) dalam penelitiannya menyatakan bahwa rotor Savonius dua sudu lebih tinggi effisiensinya di bandingkan tiga dan empat bilah, dan dengan menggunakan ujung piring (end plate) effisiensi lebih tinggi di bandingkan tanpa ujung pelat.

Burcin Deda Altan, et. al. [2] (2008) merancang turbin angin svonius dengan cara pengaturan pelat deflektor lurus ganda (L1, L2), hasil penelitiannya bahwa pengaturan menggunakan deflector ganda dapat meningkatkan kinerja rotor savonius karena dapat mencegah torsi negatif. dalam penelitiannya mereka menggunakan tiga cara pengaturan deflector dengan mengubah dua panjang pelat deflector lurus dan sudut terhadap horizontal axis, hasil penelitian menunjukkan bahwa deflector yang memiliki pelat lurus terpanjang yang lebih baik pada sudut optimum β adalah 15° dan untuk sudut

α adalah 45° dengan C_p yang dihasilkan adalah 0,385. Burcin Deda Altan et. al. [2] (2008) juga meneliti menggunakan analisa numeric yang menyatakan bahwa posisi deflektor sudut $\alpha = 45^\circ$ dan sudut $\beta = 15^\circ$ adalah nilai torsi yang tertinggi. Bahwa pelat lurus deflektor berfungsi untuk membelokkan arah angin yang di tempatkan di depan rotor tujuannya untuk mencegah torsi negatif pada permukaan cekung rotor savonius.

Turbin angin memiliki prinsip kerja sama seperti turbin pada umumnya. Dimulai dari pemanfaatan energi kinetik yang dimiliki oleh angin, yang kemudian dikonversikan oleh sudu menjadi energi mekanik poros atau rotor.

Turbin angin *savonius* adalah jenis turbin angin tipe *drag*, dimana turbin ini menghasilkan gaya drag dengan memanfaatkan gaya drag yang di hasilkan dari tiap- tiap sudunya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menumbuk sudu.



Gambar 1 Prinsip kerja turbin angin Savonius

Dari tinjauan diatas maka :

- Performa Turbin Savonius sumbu vertikal masih banyak diperbaiki untuk menaikkan efisiensi dan konstruksi.
- Turbin Savonius sumbu vertikal yang tidak menggunakan deflektor effisensinya rendah.

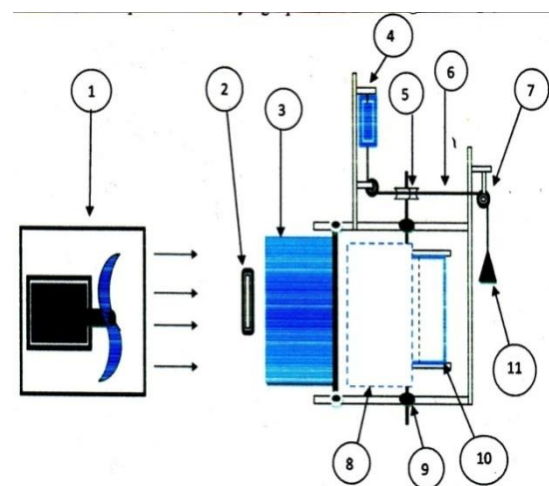
Dalam studi penulis mencoba untuk memperbaiki kinerja turbin Savonius dengan memasang deflektor lengkung tunggal di depan hulu turbin savonius dengan tujuan dapat menaikkan efisiensi pada turbin savonius.

Metode dan Prosedur

Dalam penelitian ini menggunakan pengambilan data yang berisikan data primer yang diambil dari experiment di laboratorium. Selain itu juga penulis juga menerapkan Metode Litelatur yaitu dengan mempelajari literatur dari jurnal Ilmiah baik nasional maupun internasional sebagai bahan referensi untuk menyelesaikan penelitian serta Metode Observasi Langsung yaitu dengan cara meneliti langsung alat yang digunakan untuk mendapatkan data yang diperlukan.

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

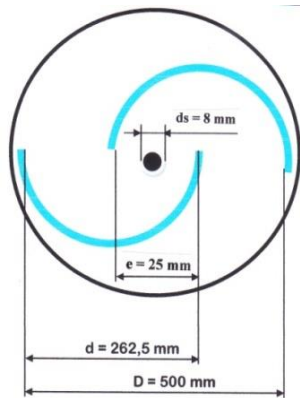
1. Menghitung koefisien daya C_p dan koefisien torsi C_T turbin terhadap pengaruh deflektor lengkung pada kecepatan angin (V)
2. Menghitung koefisien daya C_p dan koefisien torsi C_T turbin terhadap pengaruh orientasi sudut (α) deflektor lengkung.



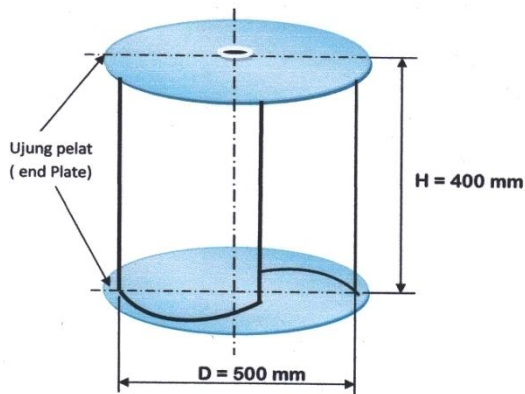
Gambar 2 Skema penelitian turbin angin Savonius dengan pelat deflektor tunggal lengkung : (1)Wind tunel ; (2) Anemometer ; (3) Pelat deflektor ; (4) neraca pegas ; (5) pully ; (6) tali ; (7) rol ;(8) Pelat deflektor (9) bantalan ; (10) turbin ; (11) beban

Turbin angin yang digunakan adalah turbin angin Savonius menggunakan bahan pelat alumunium., tebal 0.8 mm dengan diameter total rotor $D = 500$ mm, panjang sudu $H = 400$ mm, dengan aspect ratio 1,25, diameter Poros $d_s = 8$ mm, sudu adalah $\frac{1}{2}$ dari silinder dengan diameter $d = 262,5$

mm. untuk bahan ujung pelat atas dan bawah adalah pelat Aluminium dengan tebal $t_2 = 0,8 \text{ mm}$, jarak kedua sudu $e = 25 \text{ mm}$ atau $e^* = \frac{25}{262,5} = 0,09$ (Gambar 3a).



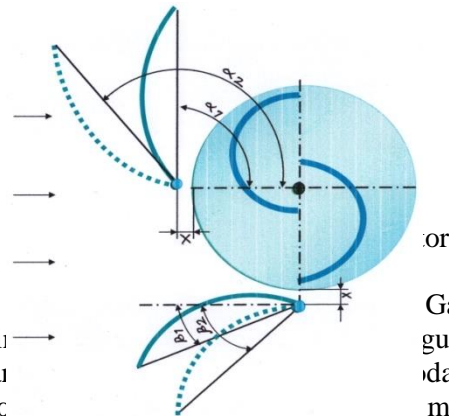
a



Gambar 3. (a).(b) Dimensi ukuran turbin Savonius

b. Sudut Deflektor

Sudut deflektor (α) adalah sudut antara arah aliran dengan kedua ujung deflektor. Orientasi sudut deflektor untuk turbin Savonius diterapkan pada posisi $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 90^\circ$, $\alpha_3 = 135^\circ$ dan jarak deflektor terhadap turbin $X = 10 \text{ mm}$. Apabila $\alpha = 45^\circ$ maka posisi deflektor menutupi $\frac{1}{4}$ bagian lingkaran turbin (Gambar 4).



Skema 2. turbin bantala dynamc

or

Gambar gunakan da rem melekat

pada lengan frame oleh engsel dan tongkat penyanggah untuk mengatur sudut deflektor. Sebuah dinamometer tali rem digunakan untuk memuat beban (10) dan neraca pegas (4) yang terhubung melalui tali. kondisi rotor dibebani secara bertahap untuk membaca neraca pegas, beban, dan rotasi kecepatan pada rotor. beban ditambahkan bertahap sampai rotor berhenti memutar atau di mana beban maksimum tercapai. Untuk setiap beban, kecepatan rotasi diukur dengan tachometer, dan kemudian diubah menjadi bentuk berdimensi, disebut tip speed ratio dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{U}{U_0} \quad (1)$$

dimana U_0 dan U adalah kecepatan aliran bebas dan kecepatan tangensial dari rotor Savonius, masing-masing. Kecepatan aliran angin diukur dengan anemometer digital. Torsi pengereman efektif diukur dengan menggunakan neraca pegas digital. Maka koefisien torsi dan daya adalah sebagai berikut:

$$\tau = 9,81 (W - S) \cdot \left(\frac{D_b + D_r}{2} \right) \quad (2)$$

$$C_p = C_T \cdot \lambda \quad (3)$$

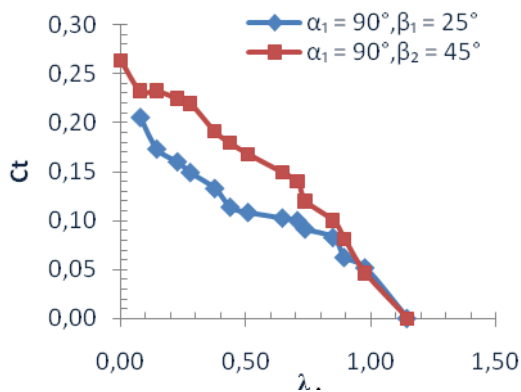
Hasil dan Pembahasan

1. Analisa turbin Savonius sudut deflektor $\alpha_1 = 90^\circ$, $\beta_1 = 25^\circ$ dan $\alpha_2 = 90^\circ$, $\beta_2 = 45^\circ$ pada kecepatan angin 4 m/s.

a. Koefisien torsi C_T terhadap TSR

Pada gambar grafik 5 torsi yang dihasilkan turbin Savonius posisi sudut deflektor $\alpha_1 = 90^\circ$, $\beta_1 = 25^\circ$ menunjukkan $C_{T \max} = 0,2054$ pada $\lambda = 0,076$ dimana batasan operasi torsi pada range $0,076 < \lambda < 1,145$. dan pada deflektor $\beta_1 = 90^\circ$, $\alpha_2 = 45^\circ$ menunjukkan C_T

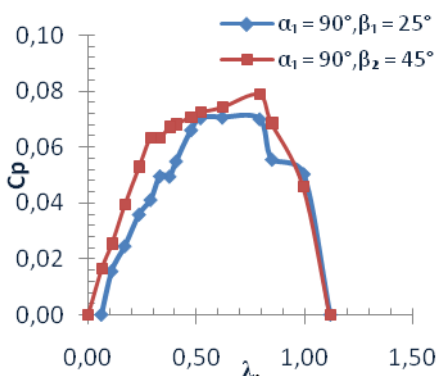
$C_{Tmax} = 0,2631$ pada $\lambda = 0,063$ dimana batasan operasi torsi pada range $0,063 < \lambda < 1,117$.



Gambar 5. Grafik perbandingan koefisien torsi terhadap TSR turbin Savonius sudut deflektor $\alpha_1 = 90^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$ dan $\alpha_1 = 90^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ kecepatan angin 4 m/s

b. Koefisien daya C_p terhadap λ TSR

Pada gambar 6. didapat nilai C_p pada Posisi deflektor $\alpha_1 = 90^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$ $C_{Pmax} = 0,0708$ pada $\lambda = 0,774$ dan Posisi deflektor $\alpha_1 = 90^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ $C_{Pmax} = 0,0791$ pada $\lambda = 0,792$ efisiensi maksimum yang dihasilkan Grafik koefisien daya C_p dan efisiensi TSR λ berbentuk parabola dimana nilai C_p , λ semakin menurun sampai pada titik terendah pada posisi nol, ini menunjukkan rotor turbin berhenti karena besarnya gaya yang bekerja pada poros.

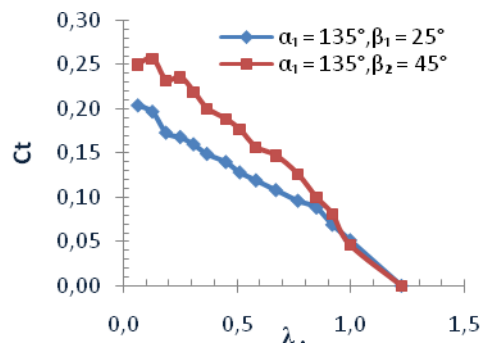


Gambar 6. Grafik perbandingan koefisien daya terhadap TSR turbin Savonius sudut deflektor $\beta_1 = 90^\circ$ $\alpha_1 = 25^\circ$ dan $\alpha_1 = 90^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ kecepatan angin 4 m/s

2. Analisa turbin Savonius sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$ dan $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ pada kecepatan angin 4 m/s.

a. Koefisien torsi C_T terhadap TSR (λ). Pada gambar Grafik 7 torsi turbin Savonius pada sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$

didapatkan $C_{Tmax} = 0,2039$ pada $\lambda = 0,066$ disini terlihat terjadi peningkatan nilai torsi dibandingkan dengan sudut deflektor deflektor $\alpha_1 = 90^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$. Hal ini terjadi karena posisi deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$ meningkatkan laju aliran udara mengarah ke rotor turbin sehingga putaran turbin meningkat. pada posisi sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ didapatkan $C_{Tmax} = 0,2504$ $\lambda = 0,061$ lebih besar di bandingkan sudut $\beta_2 = 25^\circ$ karena posisi deflektor lebih besar arah angin menuju sudu turbin.

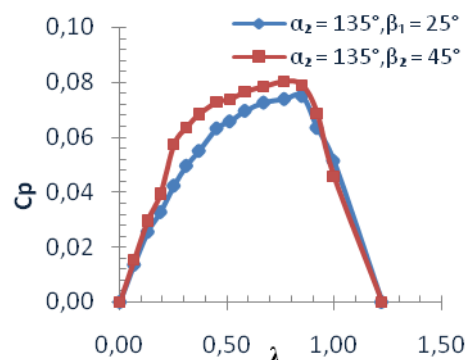


Gambar 7. Grafik koefisien torsi turbin Savonius sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$ dan $\alpha_1 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ pada kecepatan angin 4 m/s.

b.

koefisien daya (C_p) terhadap TSR (λ).

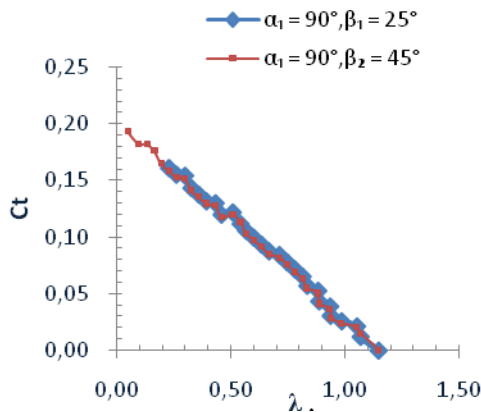
Pada gambar 8 didapat Grafik koefisien daya turbin Savonius sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$. Daya maksimum yang dihasilkan $C_{Pmax} = 0,0749$ $\lambda = 0,847$. pada $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ daya maksimum yang dihasilkan $C_{Pmax} = 0,0803$ $\lambda = 0,061$ lebih besar dari daya yang dihasilkan turbin sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$.



Gambar 8. Grafik koefisien daya terhadap TSR turbin savonius sudut $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$ dan $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ kecepatan angin 4 m/s

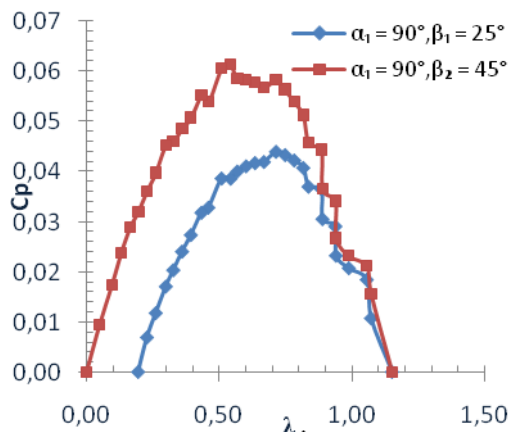
3. Analisa turbin Savonius sudut deflektor $\alpha_1 = 90^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$ dan $\alpha_1 = 90^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ kecepatan angin 6 m/s

- a. Koefisien torsi C_T terhadap TSR
 Pada Gambar 9 Torsi yang dihasilkan turbin savonius posisi sudut deflektor $\alpha_1= 90^\circ$ $\beta_1= 25$ $C_{Tmax} = 0,1609$ pada $\lambda = 0,043$ pada posisi $\alpha_1= 90^\circ$ $\beta_2= 45$ $C_{Tmax} = 0,1932$ $\lambda = 0,048$ pada kecepatan angin 6 m/s ini torsi lebih rendah di bandingkan kecepatan angin 4m/s



Gambar 9. Grafik C_T turbin Savonius sudut deflektor $\alpha_1= 90^\circ$ $\beta_1= 25$ dan $\alpha_1= 90^\circ$ $\beta_2= 45$ kecepatan angin 6 m/s

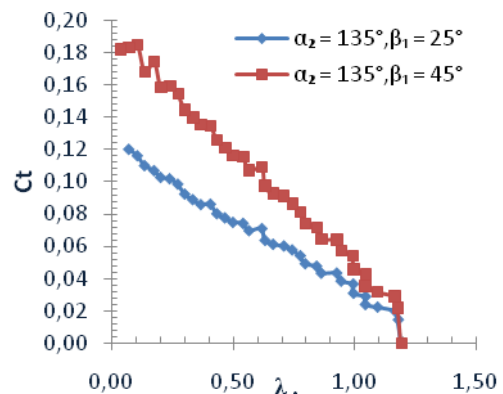
- b. Koefisien daya C_p terhadap TSR (λ)
 Pada gambar grafik 10 posisi sudut deflektor $\alpha_1= 90^\circ$ $\beta_1= 25$ didapat nilai $C_{pmax} = 0,0440$ pada $\lambda = 0,522$, posisi $\alpha_1= 90^\circ$ $\beta_2= 45$ nilai $C_{pmax} = 0,0583$ pada $\lambda = 0,713$.



Gambar 10. Grafik koefisien daya C_p terhadap TSR (λ) sudut deflektor $\alpha_1= 90^\circ$ $\beta_1= 25$ dan $\alpha_1= 90^\circ$ $\beta_2= 45$ kecepatan angin 6 m/s

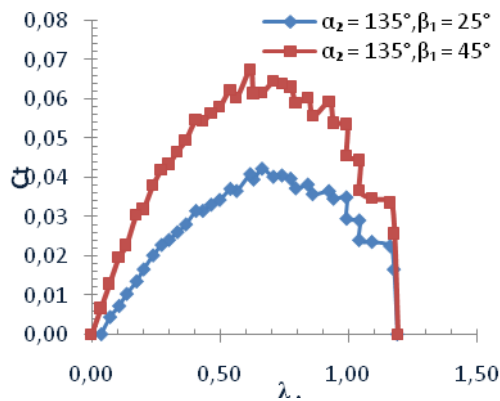
4. Analisa turbin Savonius sudut deflektor $\alpha_2= 135^\circ$ $\beta_1= 25$ dan $\alpha_2= 135^\circ$ $\beta_2= 45^\circ$ kecepatan angin 6 m/s.

- a. Koefisien torsi C_t terhadap TSR (λ)
 Pada gambar grafik 11 menunjukkan nilai torsi maksimum posisi sudut deflektor $\alpha_2= 135^\circ$ $\beta_1= 25$ $C_{Tmax} = 0,1206$ pada $\lambda = 0,036$. Batasan operasi turbin pada range $0,036 < \lambda < 1,216$. posisi sudut deflektor $\alpha_2= 135^\circ$ $\beta_2= 45$ $C_{Tmax} = 0,1823$ pada $\lambda = 0,036$. lebih kecil di bandingkan dengan turbin Savonius kecepatan angin 6 m/s.



Gambar. 11. Grafik koefisien torsi C_T turbin Savonius sudut deflektor $\alpha_2= 135^\circ$ $\beta_1= 25$ dan $\alpha_2= 135^\circ$ $\beta_2= 45$ kecepatan angin 6 m/s

- b. Koefisien daya C_p terhadap TSR (λ)
 Koefisien daya C_{pmax} dari data tabel 4.15 dan 4.16 (terlampir) diplotkan terhadap TSR (λ) maka didapatlah Gambar 4.9 dibawah ini.
 Dari Gambar 4.9. didapat nilai koefisien pada posisi sudut deflektor $\alpha_2= 135^\circ$ $\beta_1= 25$ Koefisien daya maksimum $C_{pmax} = 0,0424$ pada $\lambda = 0,645$ dan posisi deflektor $\alpha_2= 135^\circ$ $\beta_2= 45$ $C_{pmax} = 0,0676$ $\lambda = 0,618$ relatif menurun dibandingkan dengan turbin yang sama sudutnya pada kecepatan 6 m/s.



Gambar 12. Grafik koefisien daya dan efisiensi turbin sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$ dan $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ kecepatan angin 6 m/s

Kesimpulan

Dari hasil pengujian kinerja turbin angin Savonius dengan menggunakan pelat deflektor lengkung tunggal serta dari hasil analisa perhitungan data pengujian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Koefisien daya C_p maksimum tertinggi pada sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$. kecepatan angin 4 m/s $C_{p_{max}} = 0,803$ $C_{T_{max}} = 0,2504$, Efisiensi maksimum $\eta_{max} = 8,027\%$ dan daya turbin $P_T = 0,556$ Watt. Pada kecepatan angin 6 m/s sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ $C_{p_{max}} = 0,0676$, $C_{T_{max}} = 0,1823$, Efisiensi maksimum $\eta_{max} = 6,763\%$. dan daya turbin $P_T = 1,657$ Watt
- Efisiensi maksimum tertinggi adalah pada sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$ pada kecepatan angin 4 m/s $\eta_{max} = 8,027\%$, dan kecepatan angin 6 m/s $\eta_{max} = 6,763\%$. efisiensi terbaik pada kecepatan Penggunaan pelat deflektor lengkung ganda di bagian hulu depan turbin dan sisi samping dapat meningkatkan kecepatan aliran angin, mengurangi gaya *drag* sudu turbin Savonius pada posisi balik sehingga dapat meningkatkan koefisien daya C_p dan koefisien torsi C_T .
- Penggunaan pelat deflektor lengkung ganda pada turbin Savonius sangat berpengaruh menaikan putaran rotor turbin, dimana pada sudut deflektor $\alpha_1 = 135^\circ$ $\beta_1 = 25^\circ$ dan $\alpha_1 = 135^\circ$ $\beta_1 = 45^\circ$ menghasilkan putaran rotor tertinggi.
- Koefisien daya C_p maksimum tertinggi pada sudut deflektor $\alpha_2 = 135^\circ$ $\beta_2 = 45^\circ$. kecepatan angin 4 m/s $C_{p_{max}} = 0,803$ $C_{T_{max}} = 0,2504$, Efisiensi maksimum $\eta_{max} = 8,027\%$ dan daya turbin 4 m/s.

Daftar Pustaka

- Burcin D.A, Mehmet A, and Aydogan O. 2008. *An Experimental Study On Improment Of a Savonius Rotor Performance With Curtaining*. Journal Elsevier Expeimental Thermal and Fluid science 32 (2008) 1673-1678.
- Burcin D Altan, Mehmet A. 2008. Journal Elsevier *An experimental andnumerical study on the improvement of the performance of Savonius wind rotor* 49 (2008) 3425-3432.
- Consul, C.A., Willden, R.H.J., Ferrer, E. and McCulloch, M.D. 2009. Influence of Solidity on the Performance of a Cross-Flow Turbine. *Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference*, Uppsala, Sweden.
- Frank M, White .1986. Fluid Mechanics McGraw Hill Book Company, New York.
- Gorban, A. N., Gorlov, A. M. and Silantyev V. M. 2001. Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow. *Journal of Energy Resources Technology*, Vol. 123.
- Hau, E. 2006. *Wind Turbines - Fundamentals, Technologies, Application, Economics*”, 2nd edition, Springer, Berlin.
- Kailash, G., Eldho, T.I. and Prabhu, S.V. 2012. Performance Study of Modified Savonius Water Turbine with Two Deflector Plate. *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 2012, article ID 679247.
- Kailash, G., Eldho, T.I. and Prabhu, S.V. 2011. Influence of the Deflector Plate on the Performance of Modified Savonius Water Turbine. *Applied Energy*, vol. 88 no. 9.
- Kaprawi, Santoso, D. and Radentan, A. 2013. Performance of Combined Water Turbine with Semielliptic Section of the Savonius Rotor. *International Journal of Rotaring Machinery*. Vo. 13. Articel ID. 985943.
- Khan, M. J., Iqbal, MT., and Quaicoe, J.E. 2007. River Current Energy Conversion System Progress, Prospects and Chalenges. *Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12 (2008) 2177-2193.
- Khan, M. N. I., Iqbal, T.M., Hichey, M. and Masek, V. 2009. Performance of Savonius Rotor as a Water Current Turbine. *Journal of Ocean Technology*, vol. 4 no. 2.
- Khan, N. I., Hinchey, M., Iqbal, T. and Masek, V. 2010. On Scaling Laws for Savonius Water Current Turbines. *Jurnal of Ocean Technology*, Vol. 5, No. 2.

- Kyozuka, Y., Ogawa, K. and Wakahama, H. 2006. Tidal Current Power Generation Making Use of a Bridge Pier. *Renewable Energy Proceedings*.
- Kyozuka, Y. 2008. An Experimental Study on the Darrieus-Savonius Turbine for the Tidal Current Power Generation. *Journal of Fluid Science and Technology*, vol. 3 no. 3.
- Mittal, Neeraj. 2001. Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT. Thesis. UK: Departemen of Mechanical Engineering University of Strathclyde
- Manwell, J.F., Mc Gowan, J.G. and Rogers, A. L. 2002. *Wind Energy Explained (Theory, Design and Application)*. John Wiley & Sons, Ltd, USA.
- Menet, J. L. 2004. A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study. *Renewable Energy*, vol. 29, no. 11, pp. 1843–1862.
- Munson, B.R., Young, D.F. and Okiishi, T.H. alih bahasa Harinaldi et. all. 2003. *Mekanika Fluida*. edisi 4 jilid 2, penerbit Erlangga, Jakarta.
- Mahmoud N.H., A.A. El-Haroun, E.Wahha, M.H Nasef. 2012 .An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. *Alexandria Engineering Journal* (2012) 51, 19-25
- Nakajima, M., Iio, S. and Ikeda, T. 2008. Performance of Double-Step Savonius Rotor for Environmentally Friendly Hydraulic Turbine. *Journal of Fluid Science and Technology*, vol. 3 no. 3.
- Ragheb, M. and Ragheb, A.M. 2011. Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio, Fundamental and Advanced Topics in Wind Power, Rupp Carriveau (Ed.), ISBN: 978-953-307-508-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/fundamental-and-advanced-topics-in-wind-power/wind-turbines-theory-the-betz-equation-and-optimal-rotor-tip-speed-ratio>
- Sargolzaei, J. and Kianifar, A. 2007. Estimation of the Power Ratio and Torque in Wind Turbine Savonius Rotors Using Artificial Neural Networks. *International Journal of Energy*, Issue 2, Vol. 1.
- Sukata Roy, Ujjwal K. and Saha 2013. Review on Numerical Investigations into The Design and Development of Savonius Wind Rotors. *Journal Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24 (2013) 73-83
- Suseno, M. 2011. Turbin Angin. Online available <http://michaelsuseno.blogspot.com/2011/09/turbin-angin.html>. [accessed 22 Oktober 2012]
- Saha U.K, Thotla S, and Maity D. 2008. Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*
- Takao, M., Kuma, H., Maeda, T., Kamada, Y., Oki M. and Minoda, A. 2009. A Straight-Blade Vertical Axis Wind Turbine with a Directed Guide Vane Row – Effect of Guide Vane Geometry on the Performance. *Journal of Thermal Science*, vol. 18