



PENERBITAN ARTIKEL ILMIAH MAHASISWA

Universitas Muhammadiyah Ponorogo

PENGARUH VARIASI JUMLAH *STAGE* TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL *SAVONIUS* TIPE- L

Krisna Slamet Rasyid, Sudarno, Wawan Trisnadi Putra
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo
Email : auto.krisna@gmail.com

Abstrak

Ketergantungan akan energi listrik terus meningkat dan ketersediaan energi fosil saat ini mengalami penurunan maka diperlukan sumber energi baru yang terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satu energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi angin. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan unjuk kerja model turbin angin Savonius tipe L dengan 3 variasi. Ketiga variasi turbin angin tersebut dibuat dalam tiga stage, dengan ukuran yang sama yakni 0,35 m x 0,60 m.. Setiap model turbin angin diuji untuk mengetahui torsi, putaran poros, daya kincir, TSR dan koefisien daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model turbin Savonius dengan jumlah 2 stage memberikan koefisien daya (C_p) maksimal (21,86 % pada kecepatan angin 8,57 m/s) tertinggi di antara ketiga model turbin yang diteliti. Model turbin angin Savonius dengan bentuk sudu standar menghasilkan koefisien daya maksimal 14,10 % pada kecepatan angin 7,92 m/s. Serta turbin angin ketiga menghasilkan koefisien daya sebesar 16,39 % pada kecepatan angin 8,7 m/s

Kata kunci : Energi terbarukan, Turbin angin, Koefisien daya

PENDAHULUAN

Bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia berbanding lurus dengan kebutuhan energi listrik yang akan terus meningkat. Pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi listrik menjadi salah satu penyebab meningkatnya kebutuhan energi listrik. Pembangkit listrik di Indonesia kebanyakan menggunakan energi fosil sebagai bahan bakarnya, sedangkan energi fosil termasuk energi yang tidak dapat diperbarui. energi fosil ketersediaannya sangat terbatas dan proses alam untuk dapat kembali menyediakannya kembali memerlukan waktu yang sangat lama. Pemakaian energi fosil juga menghasilkan gas sisa pembakaran berupa

CO dan CO₂ yang berdampak kepada pemanasan global.

Oleh karena itu, maka perlu ada Oleh karena itu, maka perlu ada pemanfaat energi alternatif yang terbarukan (*renewable energy*) dan ramah lingkungan sebagai sumber energi baru. Dari beberapa energi terbarukan, salah satunya adalah energi angin. Pemanfaatan energi angin di Indonesia belum begitu optimal, meskipun di beberapa daerah sudah mampu memanfaatkan energi angin sebagai pembangkit listrik ataupun sebagai penggerak pompa, namun penerapannya belum bisa dibilang efektif. Kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia yang berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s tergolong kecepatan angin rendah,

sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi angin di Indonesia tersedia hampir sepanjang tahun, sehingga memungkinkan untuk dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) memetakan pada 120 lokasi yang menunjukkan di beberapa wilayah Indonesia memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing Pantai Selatan Jawa, Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Timur, dan Nusa Tenggara Barat.

Turbin angin menjadi salah satu cara untuk memanfaatkan energi angin. Dengan bantuan generator turbin angin mampu mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik. Secara garis besar turbin angin dikelompokkan menjadi 2 macam yaitu Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). Turbin angin sumbu horizontal mempunyai keunggulan yaitu dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi dan relatif memiliki kapasitas daya yang lebih besar. Namun turbin angin jenis ini tidak dapat berputar dengan kecepatan angin yang rendah karena membutuhkan torsi awal yang sangat besar saat turbin mulai berputar dan juga pemanfaatannya harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya (Karwono, 2008). Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) khususnya jenis *savonius vertical axis* mampu menerima aliran angin dari segala arah, memiliki *self starting* yang baik sehingga mampu memutar rotor pada kecepatan angin rendah, selain itu torsi yang dihasilkan relatif tinggi (Salgorzey, 2007). Turbin jenis ini memiliki rugi-rugi karena sebagian arah putaran sudunya

yang melawan arah angin, sehingga memiliki efisiensi yang relatif lebih rendah dibanding turbin angin *horizontal axis*.

Dengan berdasarkan kelebihan dan kekurangan masing-masing jenis turbin angin tersebut. Turbin yang sesuai untuk kecepatan angin rendah adalah turbin *Savonius*. Karena menurut penelitian (Kamal, 2008) Turbin ini memiliki torsi awal yang besar pada kecepatan angin rendah.

(Soelaiman dkk, 2007) melakukan beberapa penelitian tentang beberapa macam *blade*/sudu, yaitu *Savonius* dengan *blade* tipe U dan *Savonius* dengan *blade* tipe L. dari penelitian mereka menyimpulkan bahwa *blade Savonius* tipe L menghasilkan unjuk kerja yang paling baik dibandingkan dengan tipe yang lain.

(Bayu Mahendra, Rudy Soenoko, 2013) dalam penelitiannya yang berjudul Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin *Savonius type L*. Menggunakan metode penelitian eksperimental dengan variasi jumlah sudu : 2, 3, dan 4 buah dengan variabel bebas kecepatan angin pada *wind tunnel* dari kecepatan 3 m/s sampai 7 m/s. Didapatkan hasil analisis bahwa turbin angin dengan jumlah sudu 3 buah memiliki unjuk kerja yang tinggi dibandingkan dengan jumlah sudu yang lain. Hal ini dikarenakan pada turbin *savonius type L* sudu 3 mempunyai jarak antara sudu yang satu dengan lainnya terhadap poros sudu turbin mempunyai kerenggangan yang menjadikan aliran dapat mengalir dan menerpa sudu di belakang poros dan ini akan meningkatkan gaya momen serta mengurangi gaya hambat

negatif pada sudu sehingga aliran turbulensi yang terdapat pada turbin tersebut relatif kecil.

(**J. Kumbernuss, dkk 2012**), melakukan penelitian jumlah *stage* pada turbin angin *Helix*. Pada penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa jumlah *stage* dengan *aspect ratio* yang tepat dapat meningkatkan performa *Savonius*.

Berdasarkan uraian di atas dapat diambil kesimpulan bahwa desain turbin angin *Savonius type L* cocok untuk digunakan pada kecepatan angin yang rendah (<10 m/s). Penggunaan 3 sudu pada turbin angin tersebut memiliki performa yang lebih baik dari jumlah sudu yang lain. Memvariasi jumlah *stage* pada turbin angin sumbu vertikal jenis *Helix* juga dapat meningkatkan performanya. Untuk itu peneliti mengasumsikan bahwa upaya untuk meningkatkan daya yang dapat dihasilkan oleh turbin angin *Savonius type L* masih dapat dilakukan, salah satunya dengan memvariasikan jumlah *stage* pada turbin angin tersebut. Menambah jumlah *stage* pada turbin angin sumbu vertikal *Savonius type L* maka juga akan menambah jumlah sudu keseluruhan pada turbin yang menerima angin tanpa perlu menambah jarak antar sudu. Asumsi ini berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa jumlah sudu 3 buah memiliki performa yang lebih baik dibanding jumlah sudu yang lain karena memiliki jarak antar sudu yang lebih besar sehingga mengurangi gaya hambat negatif pada sudu.

Maka dari itu dalam penelitian ini dilakukan modifikasi terhadap turbin angin sumbu vertikal *Savonius type L* dengan memvariasikan jumlah

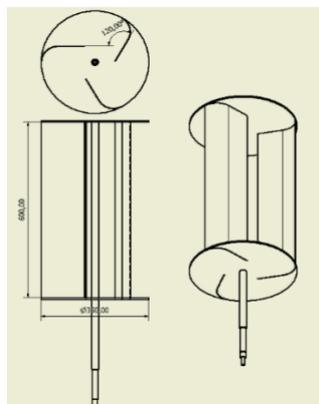
stage dan menggunakan 3 sudu pada setiap *stagenya* untuk menambah luas penampang turbin angin tanpa mengurangi jarak antar sudu. Harapannya dengan variasi ini dapat meningkatkan daya turbin angin tersebut

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan turbin angin jenis *Savonius* tipe L dengan memvariasi jumlah *stage* dengan harapan dapat meningkatkan daya turbin dan mengurangi *drag* pada turbin.

A. Turbin savonius tipe L 1 tingkat

Turbin ini dijadikan sebagai patokan untuk melihat hasil dari kedua variasi turbin lain yang akan diuji. Desain merujuk kepada turbin angin savonius tipe L yang sudah pernah dilakukan uji coba oleh peneliti sebelumnya. Dengan mengubah sedikit konstruksi untuk menyesuaikan dengan *wind tunnel* yang ada di laboratorium sebagai tempat untuk menguji turbin tersebut.



Gambar 1. Model turbin angin 1 tingkat

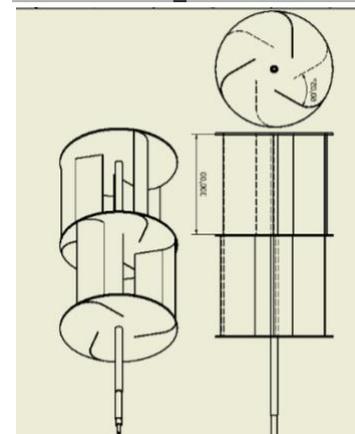
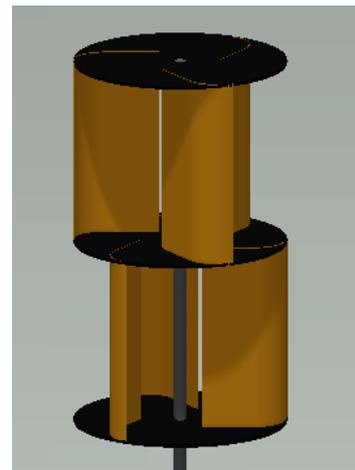
Spesifikasi turbin savonius tipe L 1 Tingkat :

- a. Diameter Rotor : 350 mm

- b. Jumlah rotor : 2 Buah (Rotor Atas dan Rotor Bawah)
- c. Tinggi total turbin : 600 mm
- d. Tinggi sudu : 600 mm
- e. Perbedaan sudut antar sudu : 120°

B. Turbin angin Savonius tipe L 2 tingkat

Pada turbin ini dilakukan variasi dengan menambah tingkat pada turbin menjadi 2 tingkat. Dengan tidak mengurangi ketinggian total dari turbin maka sudu pada turbin ini di potong menjadi dua bagian, sehingga didapat ukuran sudu sepanjang 300 mm. Kemudian dilakukan perubahan sudut pada *stage* pertama dan *stage* kedua sebesar 60°.



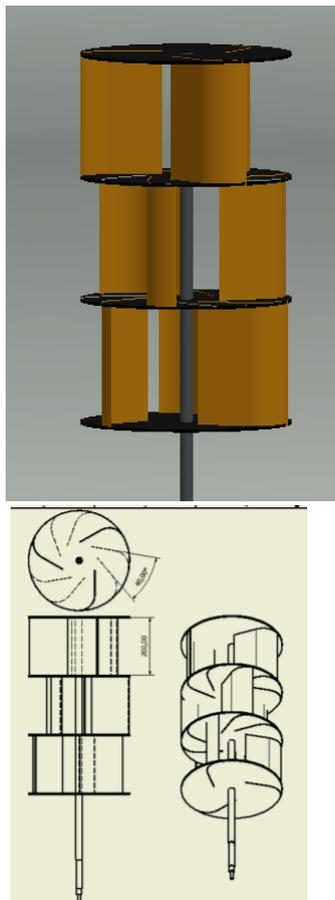
Gambar 2. Model turbin angin variasi 2 tingkat

Spesifikasi turbin savonius tipe L 2 tingkat :

- a. Diameter Rotor : 350 mm
- b. Jumlah rotor : 3 buah (Rotor atas, Rotor tengah dan rotor bawah)
- c. Tinggi total turbin : 600 mm
- d. Tinggi sudu : 300 mm
- e. Perbedaan sudut antar sudu : 60°

C. Turbin Angin Savonius tipe L 3 Tingkat

Sama halnya dengan turbin angin savonius tipe L 2 tingkat, variasi pada turbin angin ini memiliki tinggi total yang sama dengan turbin angin awal. ukuran untuk masing-masing sudu sepanjang 200 mm. Untuk perbedaan sudut antar stage pertama, kedua dan ketiga sebesar 40°



Gambar 3. Model turbin angin variasi 3 tingkat

Spesifikasi turbin savonius tipe L 3 tingkat :

- a. Diameter Rotor : 350 mm

- b. Jumlah rotor : 4 buah (Rotor atas, dua Rotor tengah dan rotor bawah)
- c. Tinggi total turbin : 600 mm
- d. Tinggi sudu : 200 mm
- e. Perbedaan sudut antar sudu : 40°

METODE ANALISIS

1. Energi dan Daya Angin

Prinsip utama sistem konversi energi angin adalah mengubah energi potensial yang dimiliki angin menjadi energi kinetik putar poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin.

Energi kinetik untuk suatu massa angin m yang bergerak dengan kecepatan v yang nantinya akan diubah menjadi energi putar poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

yang dalam hal ini :

E : Energi kinetik (Joule)

m : Massa udara yang bergerak (Kg)

v : Kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor.

Dari Persamaan (2.1), dapat diketahui daya adalah energi per satuan waktu (J/s) maka persamaan tersebut dapat ditulis menjadi :

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

yang dalam hal ini :

P_a : daya yang dihasilkan angin (J/s = Watt).

\dot{m} : massa udara yang mengalir per satuan waktu (kg/s).

v : kecepatan angin (m/s).

Di mana :

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \dots\dots\dots(2.3)$$

yang dalam hal ini :

ρ = massa jenis udara (Kg/m^3).

A = luasan angin yang ditangkap turbin (m^2).

Dengan substitusi, Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3), daya angin (P_a) dapat dirumuskan menjadi :

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot A \cdot v) \cdot v^2$$

disederhanakan menjadi :

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dalam penggunaan secara sederhana dengan mengasumsikan ρ udara : 1,2 Kg/m^3 maka diperoleh persamaan :

$$P_a = 0,6 \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.6)$$

2. Perhitungan Torsi Turbin.

Torsi adalah perkalian *vector* antara jarak sumbu putar dengan gaya yang bekerja pada titik yang berjarak dari sumbu pusat. Yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = r \cdot F \dots\dots\dots(2.7)$$

yang dalam hal ini:

T : torsi dinamis yang dihasilkan dari putaran poros, (Nm)

r : jarak lengan ke poros, (m)

F : gaya pada poros akibat puntiran, (N)

3. Perhitungan Daya Turbin

Perhitungan daya pada gerak melingkar pada umumnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = T \cdot \omega \dots\dots\dots(2.8)$$

yang dalam hal ini :

T: torsi dinamis, Nm

ω : kecepatan sudut, rad/s

Karena 1 $Rpm = 2 \pi Rad$, maka pada turbin angin besarnya kecepatan sudut (ω) dirumuskan sebagai :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots(2.9)$$

Maka besarnya daya turbin berdasarkan persamaan (2.8) dapat dinyatakan dengan:

$$P_t = T \cdot \omega$$

$$P_t = T \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

$$P_t = \frac{T\pi n}{30} \dots\dots\dots(2.10)$$

yang dalam hal ini:

P_t : daya poros turbin angin, $Watt$

n : putaran poros setiap menit, Rpm

4. Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. *Tip speed ratio* dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{2\pi Dn}{60v} \dots\dots\dots(2.11)$$

Yang dalam hal ini :

λ = *Tip speed ratio*

D = Diameter rotor (m)

n = Putaran rotor (Rpm)

v = Kecepatan angin (m/s)

5. Koefisien daya (Cp)

Koefisien daya (Cp) adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh turbin (P_t) dengan daya yang disediakan oleh angin (P_a), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Cp = \frac{P_k}{P_a} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

yang dalam hal ini :

Cp : koefisien daya, %

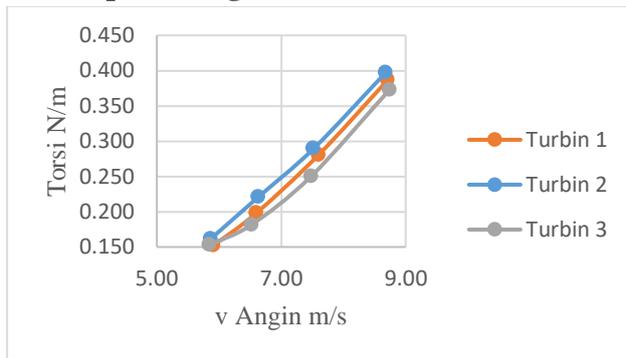
P_t : daya yang dihasilkan oleh turbin, $Watt$

P_a : daya yang dihasilkan oleh angin, Watt

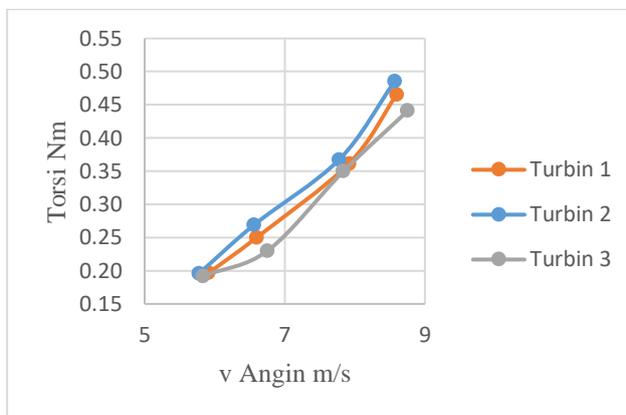
HASIL DAN PEMBAHSAN

Berdasarkan data hasil penelitian dan perhitungan, maka dapat dibuat grafik hubungan antara torsi (T), daya turbin (P_t), TSR , CP dengan kecepatan angin (v) untuk setiap variasi turbin angin.

1. Grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan angin

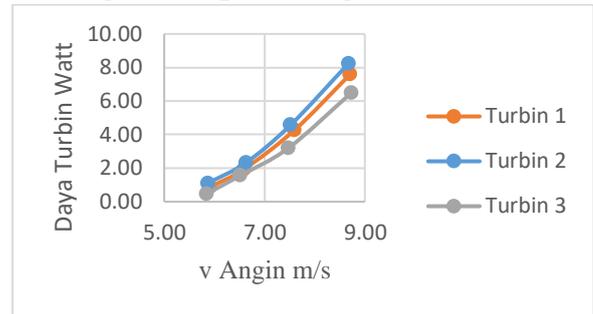


Grafik 1. Perbandingan torsi dengan kecepatan angin pada turbin tanpa pembebanan

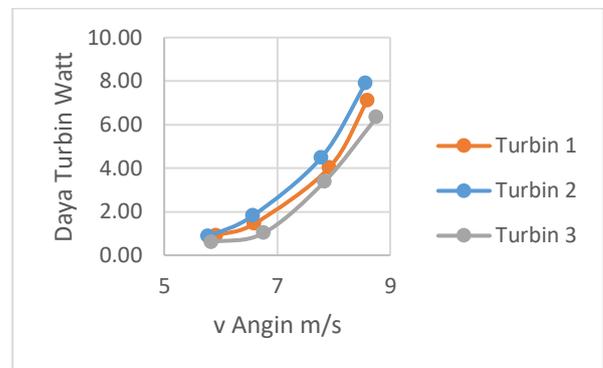


Grafik 2. Perbandingan torsi dengan kecepatan angin pada turbin dengan pembebanan

2. Grafik hubungan antara daya turbin dengan kecepatan angin

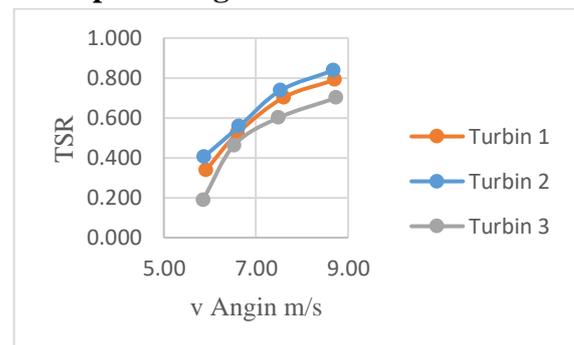


Grafik 3. Perbandingan daya turbin dengan kecepatan angin pada turbin tanpa pembebanan

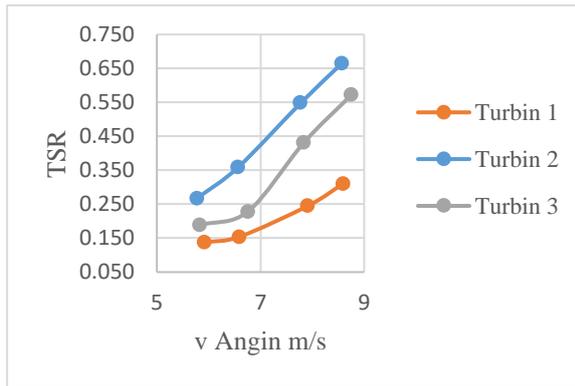


Grafik 4. Perbandingan daya turbin dengan kecepatan angin pada turbin dengan pembebanan

3. Grafik hubungan antara TSR dengan kecepatan angin

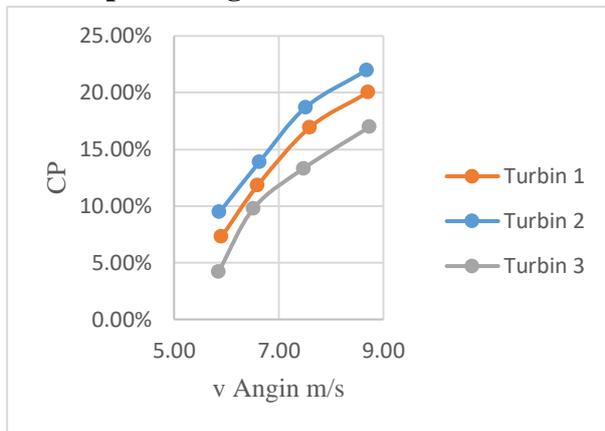


Grafik 5. Perbandingan TSR dengan kecepatan angin pada turbin tanpa pembebanan

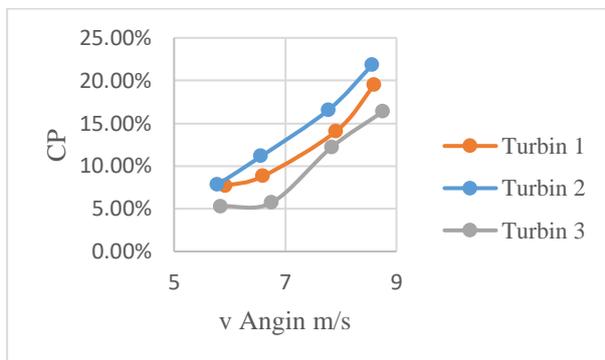


Grafik 6. Perbandingan TSR dengan kecepatan angin pada turbin dengan pembebanan

4. Grafik hubungan antara CP dengan kecepatan angin



Grafik 7. Perbandingan CP dengan kecepatan angin pada turbin tanpa pembebanan



Grafik 8. Perbandingan CP dengan kecepatan angin pada turbin dengan pembebanan

Dari hasil penelitian dan perhitungan dapat dilihat pengaruh jumlah *stage* terhadap unjuk kerja turbin. Turbin angin

dengan sudu standar (1 *stage*) menghasilkan koefisien daya (C_p) sebesar 20,02 % pada kecepatan angin 8,71 m/s. Turbin angin dengan jumlah 2 *stage* menghasilkan koefisien daya sebesar 21,97 % pada kecepatan angin 8,68 m/s. Serta Turbin angin dengan jumlah 3 *stage* menghasilkan koefisien daya sebesar 16,96 % pada kecepatan angin 8,74 m/s pada saat dilakukan pembebanan. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa turbin dengan variasi jumlah 2 *stage* mempunyai koefisien daya yang lebih besar dari pada turbin lainnya.

Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara dan kecepatan angin, tersebut dapat dijelaskan bahwa daya yang dihasilkan sebuah turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin dan luas dari sudu turbin atau luas daerah sapuan angin. Jadi semakin besar nilai kecepatan angin dan luas daerah sapuan angin maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Akan tetapi daya angin maksimum yang dapat di ekstrak oleh turbin angin dengan sapuan rotor adalah sekitar 59,3% saja. Nilai 59,3% tersebut adalah nilai efisiensi maksimum yang mampu dihasilkan dari sistem *wind turbine*. Oleh karena itu dilakukan analisa *coefficient of power* (C_p) yang dimiliki oleh turbin angin tersebut. Analisa ini perlu dilakukan untuk mengetahui pada kondisi yang seperti bagaimana turbin dapat bekerja maksimum yang ditunjukkan oleh *coefficient of power* yang tinggi. Perhitungan nilai C_p itu sendiri dapat diperoleh dengan cara membandingkan nilai daya turbin dengan nilai daya angin.

Coefficient of power (C_p) dari rotor *Savonius* juga tergantung pada jumlah *stage*. Pengujian telah dilakukan dengan memvariasikan jumlah *stage* (dari satu sampai tiga), dengan memvariasikan sudut antar sudu untuk mengoptimalkan jumlah *stage*. Ketika jumlah *stage* meningkat dari

satu stage ke dua, nilai C_p meningkat, yaitu turbin dengan dua *stage*.

Namun ketika jumlah *stage* meningkat dari dua ke tiga, kinerja menurun karena peningkatan inersia dari rotor. Sehingga dari beberapa tabel di atas dapat disimpulkan bahwa ketika jumlah *stage* ditingkatkan dari satu ke dua, rotor menunjukkan karakteristik kinerja yang lebih baik. Akan tetapi kinerja akan rusak ketika jumlah *stage* menjadi tiga. Hal ini terjadi disebabkan oleh peningkatan inersia dari rotor. Dari penelitian ini, jelas bahwa jumlah *stage* yang mampu menghasilkan daya maksimum untuk rotor *Savonius* adalah dua *stage*.

KESIMPULAN

Dari pengujian model turbin angin yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Daya turbin angin tertinggi pada saat dilakukan pembebanan sebesar 7,90 Watt pada turbin angin dengan variasi jumlah *stage* 2 sebesar 21,97 % saat kecepatan angin 8,57 m/s. Daya turbin semakin meningkat ketika dilakukan variasi jumlah *stage*. Berat turbin mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin. Sehingga pada variasi *stage* berjumlah tiga daya yang dihasilkan oleh turbin mengalami penurunan.
2. Semakin banyak jumlah *stage* pada turbin angin maka semakin besar kecepatan putaran yang akan dihasilkan, tetapi jumlah gaya *drag* yang ditimbulkan akan semakin tinggi juga, sehingga menurunkan koefisien daya
3. Pembebanan mempengaruhi putaran dan daya yang dihasilkan oleh turbin. Hal ini dapat dilihat dari koefisien daya yang menunjukkan bahwa ketika dilakukan pembebanan, maka koefisien

daya pada masing-masing turbin semakin meningkat.

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut mengenai bentuk sudu yang mampu meningkatkan unjuk kerja turbin.
2. Ketelitian dalam pembuatan turbin angin perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang maksimal
3. Perlu dikembangkan *wind tunnel* sebagai tempat untuk menguji turbin yang lebih baik, sehingga data yang didapat bisa mendekati dengan keadaan lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto, Y, 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. BALAI PPTAGG UPT LAGG. Yogyakarta
- Hau, E. 2006. *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Applications, Economics 2nd Edition*. Berlin : Springer.
- J.Kumburnuss n, J.Chen,H.X.Yang,L.Lu 2012. *Investigation Into The Relationship Of The Overlap Ratio And Shift Angle Of Double Stage Three Bladed Vertical Axis Wind Turbine(VAWT)*, Jurnal
- Karnowo; 2008: *Pengaruh Perubahan Overlap Sudu Terhadap Torsi Yang Dihasilkan Turbin Angin Savonius Tipe U*, Majalah Ilmiah STTR, Cebu
- LAPAN. *Potensi Energi Angin Indonesia.:* <http://www.Energy.lip.go.id>.
- Mahendra Bayu. 2012, *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Tipe L*. Universitas Brawijaya

Sargolzay, J. 2007. *Prediction of The Power Ratio in Wind Turbine Savonius Rotors Using Artificial Neural Networks*. Zahedan: Baluchestan University

Soelaiman; 2006 : *Pengaruh bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius*. Majalah Ilmiah STTR, Cepu.