

PENGUJIAN TURBIN ANGIN DARRIEUS DI PANTAI MATEMATIK DELI SERDANG DENGAN VARIASI JUMLAH BLADE

Muslih Nasution, M. Rafiq Yanhar, Rusdian Tri Putra

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik

Universitas Islam Sumatera Utara

muslihnasution@gmail.com; rafiq@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi energi yang dibangkitkan adalah jumlah bilah angin. Penelitian ini dapat memberikan referensi kepada masyarakat secara umum dan khususnya kepada perancang turbin angin darrieus dengan rumitnya perhitungan dari konstruksi turbin tersebut, mereka dapat memilih konstruksi yang tepat. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa perhitungan didapat bahwa turbin dengan sudu 3 buah mampu menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan turbin dengan sudu berjumlah 2 dan 4. Maka dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah sudu turbin tidak menjadi acuan besarnya tingkat efisiensi yang dihasilkan, sebab semakin banyak sudu, maka aliran angina juga dapat terganggu, serta massa dari sudu turbin tersebut juga akan mempengaruhi putaran poros ke generator. Pada grafik Performa Turbin Darrius 2 sudu memperoleh daya maksimum sebesar 11,32 watt, pada turbin performa turbin darrius 3 sudu memperoleh daya maksimum sebesar 65 watt, dan pada turbin performa turbin darrius 4 sudu memperoleh daya sebesar 11,92 watt. Pada perbandingan performa turbin Darrius berdasarkan besar kuat arus yang dihasilkan. Kuat arus maksimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 3 buah, dan kuat arus minimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah. Perbandingan performa turbin Darrius berdasarkan besar voltase yang dihasilkan. Voltase maksimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah, dan voltase minimum juga dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah. Namun dapat dilihat performa turbin yang menghasilkan voltase rata-rata terendah adalah turbin Darrius dengan 2 sudu. Perbandingan performa turbin Darrius berdasarkan besar daya yang dihasilkan. Daya maksimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 3 buah, dan daya minimum juga dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah.

Kata-Kata Kunci : Energi, Turbin, Angin Darrieus, Sudu, Efisiensi Turbin

I. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang pesat pada eraglobalisasi ini mengakibatkan persaingan yang ketat di bidang industri energi. Salah satu masalah terbesar di Indonesia adalah masalah energi. Di Indonesia terdapat beberapa sumber energi terbarukan seperti energi air, matahari, angin dan lain-lain. Khususnya energi angin yang masih sedikit pemanfaatannya di Indonesia ini. Indonesia sebagai Negara kepulauan memiliki wilayah pesisir yang potensial untuk pengembangan listrik tenaga angin (PLTA). Karena sifatnya yang terbarukan (renewable) sudah jelas akan memberikan keuntungan karena angin tidak akan habis digunakan tidak seperti pada penggunaan bahan bakar fosil. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan. Salah satu pemanfaatan energi angin adalah menggunakan turbin angin. Turbin angin mampu mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan generator.

Secara umum Turbin angin terbagi menjadi dua yaitu turbin angin savonius dan Darrieus. Turbin angin Savonius adalah salah satu jenis kincir angin dengan axis horizontal yang mampu mengubah energi angin Horizontal menjadi energi kinetik rotasi. Turbin angin Darrieus adalah satu jenis turbin angin sumbu vertikal yang di gunakan untuk

menghasilkan listrik dari energi angin. Turbin terdiri dari bilah aerofil melengkung yang dipasang pada poros atau kerangka yang berputar.

Energi angin yang terdapat di pantai matematik Deli serdang, sumatera utara dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik. Melalui pemanfaatan energi angin tersebut pemakaian bahan bakar fosil (batu bara, gas dan minyak bumi) yang selama ini berlebihan dapat dikurangi dan dapat menghemat biaya mengingat begitu mahalnya harga bahan bakar tersebut.

Di pantai matematik Deli serdang, Medan, Sumatera Utara termasuk lokasi yang banyak menghasilkan angin dan masih ada energi yang terbuang dari angin tersebut Turbin angin yang sudah banyak digunakan adalah turbin angin sumbu vertikal yang memerlukan angin berkecepatan tinggi. Namun di Indonesia khususnya di pantai matematik Deli serdang, Medan, Sumatera Utara masih sangat rendah dan selalu berubah ubah. Pada turbin angin sumbu vertikal pemanfaatannya harus diarahkan sesuai dengan arah angin paling yang tinggi kecepatannya. Berbeda dengan turbin angin sumbu vertical jenis savonius yang mampu menerima angin dari segala arah dan memiliki torsi awal yang besar pada kecepatan angin yang rendah. Sehingga dapat digunakan di daerah dengan kecepatan angin yang rendah dan arah angin yang berubah ubah seperti dipantai matematik Deli

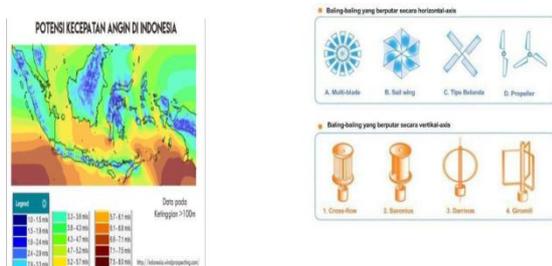
serdang, Medan, Sumatera Utara. Turbin angin sumbu vertical lainnya yaitu turbin angin jenis darrieus yang juga mampu menerima angin dari segala arah dan mampu berputar pada kecepatan rendah. Kelemahan turbin angin darrieus adalah tidak memiliki system *self starti*.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Turbin Angin

Secara sederhana energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutar blade-blade yang terdapat pada kincir angin, dimana blade-blade ini terhubung dengan poros dan memutar poros yang telah terhubung dengan generator dan menimbulkan arus listrik. Kincir yang besar dapat digabungkan secara bersama-sama sebagai energi tenaga angin, dimana akan memberikan daya kedalam sistem transmisi kelistrikan.

Model sederhana dari turbin angin mengambil dasar teori dari momentum, angin dengan kecepatan tertentu menabrak rotor yang memiliki performa sayap atau propeller. Dalam model sederhana, dimana memungkinkan Newtonian mechanics digunakan, aliran diasumsikan steady dan mendatar, udara diasumsikan incompressibel dan inviscid, dan aliran downstream (aliran setelah melalui rotor) diasumsikan konstan di sekeliling bagian streamtube dengan tidak ada diskontinuitas tekanan di seberang perbatasan streamtube.



Gambar 1. Potensi Kecepatan Angin Di Indonesia Dan Jenis Jenis Turbin Angin

2. Sudu (Blade)

Sudu (*Blade*) beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat berbagai macam bentuk sudu yang sesuai untuk turbin angin. Diantara beberapa bentuk sudu yang telah dibuat untuk turbin angin sumbu horizontal adalah multi blade, sailswing, tipe Belanda dan propeller. Sedangkan pada turbin angin sumbu vertikal adalah *cross-flow*, savonius, darrieus dan giromill.

Desain sudu turbin juga tidak terlepas dari rancangan sistem aerodinamis sudu turbin yang ditentukan dengan tipe airfoil yang digunakan. Airfoil merupakan bagian terpenting pada bagian sudu turbin untuk menerima aliran angin yang melintasi permukaan sudu. Menurut John, tipe airfoil yang digunakan pada saat ini memiliki dua tipe yaitu NACA 4412 dan NACA 23012. Berdasarkan pengujian airfoil yang dilakukan oleh John, dapat diketahui bahwa airfoil tipe NACA

4412 memiliki koefisien daya dan efisiensi sudu turbin yang lebih baik daripada airfoil tipe NACA 23012, Berdasarkan pengujian airfoil yang dilakukan oleh John, dapat diketahui bahwa airfoil tipe NACA 4412 memiliki koefisien daya dan efisiensi sudu turbin yang lebih baik daripada airfoil tipe NACA 23012, sehingga pada penelitian ini airfoil tipe NACA 4412 dalam merancang sudu turbin yang terpilih. Penentuan tipe aliran yang mengalir pada airfoil tipe NACA 4412 menggunakan persamaan bilangan Reynolds yang ditunjukkan pada Persamaan (John, 2012).

$$Re = \frac{\rho v c}{\mu}$$

Nilai sudut koefisien lift force dan drag force atau yang biasa dikenal dengan sudut serang (angle of attack) dari airfoil NACA 4412 (α) adalah sebesar 8.50 (John, 2012). Nilai koefisien tersebut dapat digunakan untuk menentukan sudut pitch (β) sebagai sudut sudu turbin yang digunakan untuk menerima aliran angin yang melewati area permukaan sudu berdasarkan Persamaan (John, 2012).

$$\beta = \phi - \alpha$$

Analisis distribusi gaya yang terjadi pada sudu turbin dilakukan berdasarkan perhitungan rancangan sudu turbin. Analisis distribusi gaya terfokus kepada analisis gaya dorong (drag force) [Fd] dan gaya angkat (lift force) [FL]. Distribusi kedua gaya ini dipengaruhi oleh koefisien gaya dorong (CD) sebesar 0.02333 dan gaya angkat (CL) sebesar 1.3086 di mana kedua koefisien tersebut tergantung dari nilai sudut (α) airfoil tipe NACA 4412 (John, 2012), massa jenis udara (ρ), luas penampang sudu turbin yang dirancang dari software desain SolidWork (A), dan kecepatan angin (v). Kedua gaya tersebut dapat diketahui dengan Persamaan 7 dan 8 (John, 2012).

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A$$

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho V^2 A$$

Setelah mengetahui besaran gaya angkat dan gaya dorong, maka dilakukan perhitungan gaya aksial (Fa) dan gaya tangensial (Ft) pada sudu turbin dengan pengaruh sudut apparentwind atau sudut arah angin masuk ke dalam sudu turbin (ϕ) yang dapat dihitung dengan Persamaan 9 (John, 2012) berdasarkan jari-jari rotor (r) dan TSR (λ) yang kemudian dilanjutkan dengan Persamaan 10 dan 11. (John, 2012).

$$F_L = F_L \cos \phi + F_{D+} \sin \phi$$

$$F_{\alpha} = F_L \sin \phi - F_D \cos \phi$$

Setelah melakukan desain sudu turbin, maka selanjutnya dapat ditentukan kondisi daya teoritis pada turbin. Daya teoritis pada perancangan turbin angin tipe Darrieus memperhitungkan laju aliran massa, daya mekanik rotor turbin, dan daya turbin

yang dibangkitkan oleh hembusan angin. Perhitungan laju aliran massa udara (\dot{m}), dipengaruhi oleh luas penampang (A) dari sudu yang dirancang. Perhitungan laju aliran massa (\dot{m}) menggunakan Persamaan 12. (Tong, 2010).

$$m = \rho \cdot A \cdot v$$

Daya mekanik turbin terletak pada bagian rotor turbin. Daya mekanik pada rotor turbin tergantung dari putaran rotor turbin (n) dan gaya torsi (T) yang terdapat pada sistem rotor turbin, dimana gaya torsi tersebut dipengaruhi oleh faktor antara lain laju aliran massa udara (\dot{m}), kecepatan angin yang masuk ke dalam rotor (v), dan jari-jari rotor (r). Analisis gaya torsi (T) dan daya mekanik (Pm) rotor turbin dapat dihitung dengan Persamaan 13 dan 14 (Tong, 2010).

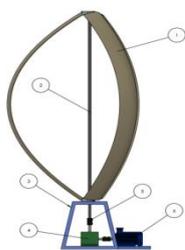
III. Metode Penelitian

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian PLTA ini dilakukan di Pantai Matematik Deli serdang, Sumatera Utara. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan di rencanakan selama 6 bulan di mualai daeu tanggal yang di setujui nya proposal penelitian ini sampai selesai.

3.2. Desain Alat Penelitian



Keterangan Gambar :

1. Plat
2. Poros
3. Rumah Transmisi
4. Gearbox
5. Transmisi
6. Generator

Gambar 2. PLT Angin

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan di Pantai Matematik Deli Serdang. Proses awal yaitu dengan survey lokasi dan dilanjutkan penelitian untuk mengoptimalkan pembangkit Listrik Tenaga Angin yang akan dilakukan mulai dari jumlah dan diameter blade.

Adapun tahapan pengambilan data yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Tahap Persiapan

- a. Menyusun proposal penelitian.
- b. Mencari literatur / pustaka yang relevan.
- c. Melakukan diskusi dengan grup dan dosen pembimbing dalam perncanaan skripsi dan alat PLTA.
- d. Membuat perencanaan alat yang di jadikan penelitian.
- e. Membuat alat ujian penelitian PLTA.

2. Tahap Pelaksanaan

- a. Menentukan data yang akan di ambil.
- b. Melaksanakan penelitian dan uji alat PLTA.

3. Tahap Pengolahan Data

- a. Mengelolah data yang di dapat dari hasil penelitian.
- b. Membuat kesimpulan dari hasil penelitian.

IV. Hasil Dan Pembahasan

Untuk dapat mengetahui kinerja turbin angina darrieus, serta pengaruh jumlah blade terhadap tingkat efisiensinya, maka perlu dilakukan perhitungan daya teoritis yang dapat dihasilkan oleh turbin darrieus. Disini daya teoritis turbin dapat diambil dari daya angina yang tersedia pada waktu tertentu.

4.1 Daya Teoritis Turbin

Daya teoritis dapat dicari menggunakan rumus yaitu

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 A$$

Dimana untuk massa jenis udara diketahui sebesar $1,2 \text{ kg/m}^3$. Luas penampang bergantung pada luas permukaan turbin yang terkena sapuan angina, sedangkan kecepatan udara diperoleh dari hasil pengamatan dilapangan. Maka daya turbin per satuan waktu pengamatan adalah sebagai berikut.

a. Jumlah Blade 2 Sudu

Berdasarkan pengamatan dilapangan yang dilakukan dalam waktu 6 jam diperoleh variasi perubahan kondisi kecepatan angin sebagai berikut:

Pada kondisi kecepatan angin 1,4 m/s

$$P = 0,5 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times [1,4 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{ m}^2 \\ = 7,4088 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ = 7,4088 \text{ watt}$$

Pada kondisi kecepatan angin 2,2 m/s

$$P = 0,5 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times [2,2 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{ m}^2 \\ = 28,7496 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ = 28,7496 \text{ watt}$$

Pada kondisi kecepatan angin 2,0 m/s

$$P = 0,5 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times [2,0 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{ m}^2 \\ = 21,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ = 21,6 \text{ watt}$$

Pada kondisi kecepatan angin 2,1 m/s

$$P = 0,5 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times [2,1 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{ m}^2 \\ = 25,0047 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ = 25,0047 \text{ watt}$$

Maka daya teoritis rata-rata dengan 2 sudu adalah

$$P = \frac{28,7496 \text{ watt} + 21,6 \text{ watt} + 25,0047 \text{ watt}}{3}$$

$$P = \frac{75,3543}{3}$$

$$P = 25,1181 \text{ watt}$$

b. Jumlah Blade 3 Sudu

Berdasarkan pengamatan dilapangan yang dilakukan dalam waktu 6 jam diperoleh variasi perubahan kondisi kecepatan angin sebagai berikut,

dimana dalam pengamatan tidak terjadi begitu banyak perubahan kecepatan angin.

Pada kondisi kecepatan angin 2,4 m/s

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \times 1,2 \text{kg/m}^3 \times [2,4 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{m}^2 \\ &= 37,3248 \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ &= 37,3248 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada kondisi kecepatan angin 2,0 m/s

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \times 1,2 \text{kg/m}^3 \times [2,0 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{m}^2 \\ &= 21,6 \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ &= 21,6 \text{ watt} \end{aligned}$$

Jumlah variasi data kecepatan angin yang diperoleh dipengaruhi oleh kualitas alat ukur yang digunakan, dimana tingkat ketelitian alat ukur akan sangat mempengaruhi tingkat pembacaan data yang dihasilkan.

Maka daya teoritis rata-rata dengan 3 sudu adalah

$$\begin{aligned} P &= \frac{37,3248 \text{ watt} + 21,6 \text{ watt}}{2} \\ P &= \frac{58,9248}{2} \\ P &= 29,46 \text{ watt} \end{aligned}$$

c. Jumlah Blade 4 Sudu

Berdasarkan pengamatan dilapangan yang dilakukan dalam waktu 6 jam diperoleh variasi perubahan kondisi kecepatan angin sebagai berikut:

Pada kondisi kecepatan angin 3,0 m/s

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \times 1,2 \text{kg/m}^3 \times [3,0 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{m}^2 \\ &= 72,9 \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ &= 72,9 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada kondisi kecepatan angin 2,0 m/s

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \times 1,2 \text{kg/m}^3 \times [2,0 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{m}^2 \\ &= 21,6 \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ &= 21,6 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada kondisi kecepatan angin 2,1 m/s

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \times 1,2 \text{kg/m}^3 \times [2,1 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{m}^2 \\ &= 25,0047 \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ &= 25,0047 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada kondisi kecepatan angin 2,2 m/s

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \times 1,2 \text{kg/m}^3 \times [2,2 \text{ m/s}]^3 \times 4,5 \text{m}^2 \\ &= 28,7496 \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 \\ &= 28,7496 \text{ watt} \end{aligned}$$

Maka daya teoritis rata-rata dengan 4 sudu adalah

$$\begin{aligned} P &= \frac{72,9 \text{ watt} + 21,6 \text{ watt} + 25,0047 \text{ watt} + 28,7496 \text{ watt}}{4} \\ P &= \frac{148,2543}{4} \\ P &= 37,0635 \text{ watt} \end{aligned}$$

4.2. Daya Aktual Turbin

Daya aktual turbin diperoleh berdasarkan hasil pengolahan data yang diperoleh dari pengamatan lapangan yang telah dilakukan. Dimana masing-masing variasi sudu dilakukan setidaknya selama 5

jam pengamatan. Untuk perhitungan daya actual digunakan rumus daya motor atau generator, yaitu

$$P = I.V$$

Untuk besar I (kuat arus) dan V (tegangan) diperoleh dari variasi data pengamatan lapangan.

a. Daya aktual Dengan 2 Sudu

Berdasarkan hasil pengamatan dilapangan, diperoleh data sebanyak 300 kondisi, dimana rata-rata data yang diperoleh adalah I=0.740133333 ampere dan V=11.06053333 volt. Maka daya aktual dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= I.V \\ &= 0.740133333 \text{ A} \times 11.06053333 \text{ Volt} \\ &= 8,1862 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan setiap kondisi hasil pengamatan dapat dilihat pada lampiran 1.

b. Daya Aktual Dengan 3 Sudu

Berdasarkan hasil pengamatan dilapangan, diperoleh data sebanyak 300 kondisi, dimana rata-rata data yang diperoleh adalah I=1.007733333 ampere dan V=12.8338 volt. Maka daya aktual dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= I.V \\ &= 1.007733333 \text{ A} \times 12.8338 \text{ Volt} \\ &= 12,9335 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan setiap kondisi hasil pengamatan dapat dilihat pada lampiran 2

c. Daya Aktual Dengan 4 Sudu

Berdasarkan hasil pengamatan dilapangan, diperoleh data sebanyak 300 kondisi, dimana rata-rata data yang diperoleh adalah I=0.41 ampere dan V=13.85583333 volt. Maka daya aktual dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= I.V \\ &= 0,41 \text{ A} \times 13.85583333 \text{ Volt} \\ &= 5,6808 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan setiap kondisi hasil pengamatan dapat dilihat pada lampiran 3.

4.3 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin merupakan tingkat keefektifan turbin dalam mengkonversi daya yang tersedia oleh angin dengan daya yang dihasilkan oleh generator atau turbin. Disini efisiensi turbin dapat dicari dengan cara membandingkan daya teoritis dengan daya actual.

a. Efisiensi dengan 2 sudu

$$\text{efisiensi} = \frac{P_{\text{aktual}}}{P_{\text{teoritis}}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{8,1862 \text{ Watt}}{25,1181 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 32\% \end{aligned}$$

b. Efisiensi dengan 3 sudu

$$\text{efisiensi} = \frac{P_{\text{aktual}}}{P_{\text{teoritis}}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{12,9335 \text{ Watt}}{29,46 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 43.90\% \end{aligned}$$

c. Efisiensi dengan 4 sudu

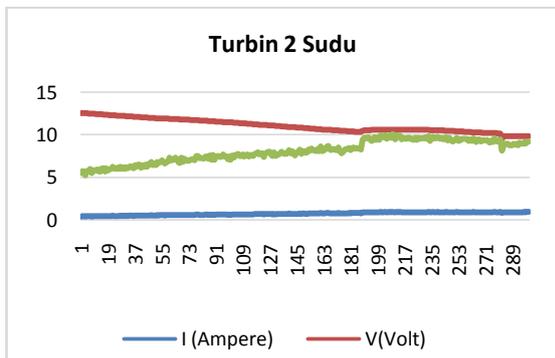
$$\begin{aligned} \text{efisiensi} &= \frac{P_{\text{aktual}}}{P_{\text{teoritis}}} \times 100\% \\ \text{Efisiensi} &= \frac{5,6808 \text{ Watt}}{25,1181 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 22,61\% \end{aligned}$$

Efisiensi turbin dipengaruhi oleh besar daya angin yang tersedia saat pengujian, sehingga perbandingan yang dilakukan adalah perbandingan antara daya angin dan daya generator pada waktu yang sama.

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa turbin dengan sudu 3 buah mampu menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan turbin dengan sudu berjumlah 2 dan 4. Maka dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah sudu turbin tidak menjadi acuan besarnya tingkat efisiensi yang dihasilkan, sebab semakin banyak sudu, maka aliran angin juga dapat terganggu, serta massa dari sudu turbin tersebut juga akan mempengaruhi putaran poros ke generator.

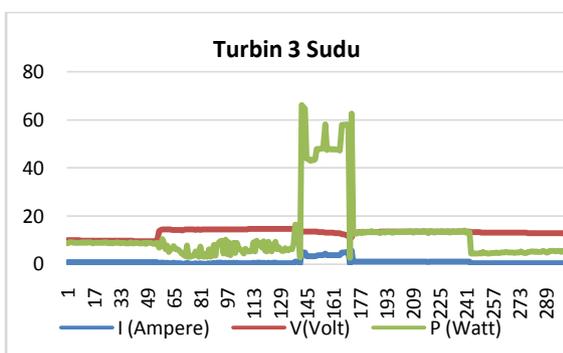
4.4 Diagram

Diagram Performa Turbin



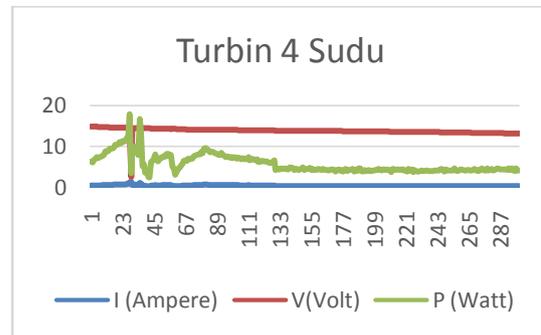
Gambar 3. Turbin 2 Sudu

Berdasarkan grafik dapat dilihat perbandingan performa turbin Darrius dengan 2 sudu, voltase maksimum sebesar 12,58 volt dengan kuat arus maksimum 0,9 ampere, sehingga diperoleh daya maksimum yang dihasilkan sebesar 11,32 watt.



Gambar 4. Turbin 3 Sudu

Berdasarkan grafik dapat dilihat perbandingan performa turbin Darrius dengan 3 sudu, voltase maksimum sebesar 14 volt dengan kuat arus maksimum 5 ampere, sehingga diperoleh daya maksimum yang dihasilkan sebesar 65 watt.ss



Gambar 5. Turbin 4 Sudu

Berdasarkan grafik dapat dilihat perbandingan performa turbin Darrius dengan 4 sudu, voltase maksimum sebesar 14,9 volt dengan kuat arus maksimum 0,8 ampere, sehingga diperoleh daya maksimum yang dihasilkan sebesar 11,92 watt.

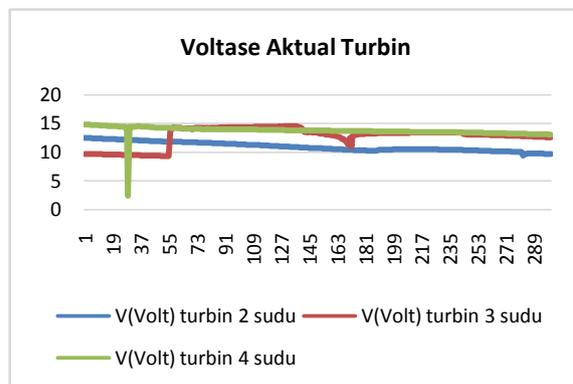
Diagram perbandingan kuat arus



Gambar 6. Perbandingan Kuat Arus Aktual

Berdasarkan grafik dapat dilihat perbandingan performa turbin Darrius berdasarkan besar kuat arus yang dihasilkan. Kuat arus maksimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 3 buah, dan kuat arus minimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah.

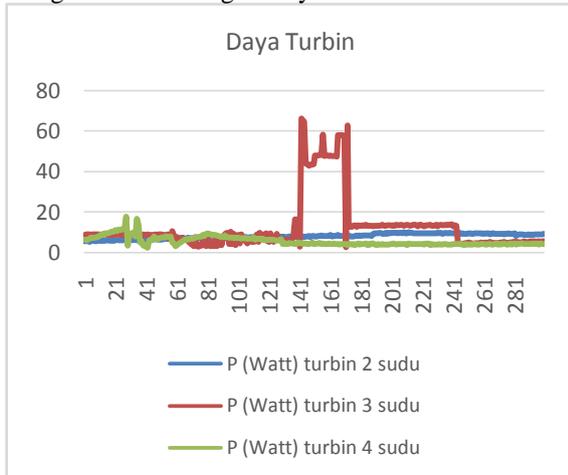
Diagram Perbandingan Voltase



Gambar 7. Perbandingan Voltase Aktual

Berdasarkan grafik dapat dilihat perbandingan performa turbin Darrius berdasarkan besar voltase yang dihasilkan. Voltase maksimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah, dan voltase minimum juga dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah. Namun dapat dilihat performa turbin yang menghasilkan voltase rata-rata terendah adalah turbin Darrius dengan 2 sudu.

Diagram Perbandingan Daya turbin



Gambar 7. Perbandingan Daya Aktual

Berdasarkan grafik dapat dilihat perbandingan performa turbin Darrius berdasarkan besar daya yang dihasilkan. Daya maksimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 3 buah, dan daya minimum juga dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah.

V. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari perhitungan didapat bahwa turbin dengan sudu 3 buah mampu menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan turbin dengan sudu berjumlah 2 dan 4. Maka dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah sudu turbin tidak menjadi acuan besarnya tingkat efisiensi yang dihasilkan, sebab semakin banyak sudu, maka aliran angin juga dapat terganggu, serta massa dari sudu turbin tersebut juga akan mempengaruhi putaran poros ke generator.
2. Pada grafik Performa Turbin Darrius 2 sudu memperoleh daya maksimum sebesar 9,82 watt, pada turbin performa turbin darrius 3 sudu memperoleh daya maksimum sebesar 65 watt, dan pada turbin performa turbin darrius 4 sudu memperoleh daya sebesar 17,85 watt
3. Pada perbandingan performa turbin Darrius berdasarkan besar kuat arus yang dihasilkan. Kuat arus maksimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 3 buah, dan kuat arus minimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah.

4. Perbandingan performa turbin Darrius berdasarkan besar voltase yang dihasilkan. Voltase maksimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah, dan voltase minimum juga dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah. Namun dapat dilihat performa turbin yang menghasilkan voltase rata-rata terendah adalah turbin Darrius dengan 2 sudu.
5. Perbandingan performa turbin Darrius berdasarkan besar daya yang dihasilkan. Daya maksimum dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 3 buah, dan daya minimum juga dihasilkan oleh turbin Darrius dengan sudu berjumlah 4 buah.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka peneliti memberikan saran sebagai berikut : Perlu adanya pengkajian kembali dengan sudu yang berbeda untuk mempelajari lebih lanjut tentang pengujian turbin angin dengan variasi jumlah blade yang berbeda.

Daftar Pustaka

- [1]. Cut Yana Usmaniar, Desi Ayu, dan Zuryatina Razak, 2009, *Studi Eksperimental Perancangan Turbin Angin Multi Blade Sebagai sumber Energi Alternatif* . program Studi Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Malukuasaleh.
- [2]. Daniel Teguh Rudianto, 2016, *Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto (2016) 'Rancang Bangun Turbin Angin Savonius'* Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
- [3]. Chamdani Irwan Saputra, Cecep E. Rustana, Hadi Nasbey, 2014, *Pengembangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Triple-Stage Savonius Dengan Poros Ganda*, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.
- [4]. Firman Aryanto, I Made Mara, Made Nuarsa, 2013, *Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal* Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- [5]. Ismail, Erlanda Pane Triyanti, 2012, *Optimasi Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darrius Untuk Penerangan Di Jalan Tol* Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila.
- [6]. Kaprawi, Fajri Prawira, 2015, *Rekayasa Mesin Studi Ekperimental Turbin Darrius Dengan Sudu* Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia.

- [7]. Nur Aklis, H'mim Syafi'i, Yunika Cahyo Prastiko, 2016, *Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Pitch Terhadap Performa Turbin Angin Darrieus-H Sumbu Vertikal NACA 0012*, Bima Mega Sukmana Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [8]. Sando Krisna Wardani, 2017, *Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Darrieus Tipe-H Influence Amount Blade To Performance Wind Turbine Darrieus Type-H ''*), Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Nusantara PGRI Kediri .
- [9]. Yeni Yusuf Tonglolangi, 2010, *Analisis Kinerja Kincir Angin Sederhana Dengan Dua Sudu PorosHorizontal*, Fakultas Teknik,Uki Toraja.
- [10]. Zaenal Abidin, Heris Syamsuri, 2018 , *Uji Eksperimental Pengaruh Lengath Pada Daya Putar Sistem Konversi Energi Turbin Angin Vertical*. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Galuh Ciamis.