

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Angin

Angin merupakan salah satu unsur yang dapat mempengaruhi kondisi cuaca dan iklim. Angin adalah pergerakan udara yang disebabkan adanya perbedaan tekanan udara yang mengakibatkan adanya hembusan atau tiupan disuatu tempat atau daratan

Angin pada dasarnya gerakan udara yang terjadi diatas permukaan bumi. Angin bergerak dikarenakan perbedaan temperatur udara, tekan udara dan ketinggian. Semakin besar perbedaan tekan udara maka kecepatan angin akan meningkat. Perbedaan angin pada siang hari relatif tinggi dibandingkan pada malam hari. Indonesia berada pada garis khatulistiwa, udara menjadi panas mengembang dan menjadi ringan dan turun kebawah bergerak ke daerah dingin, udarah menjadi dingin dan turun kebawah. Dengan demikian terjadi perpindahan udarah secara musimnya yang biasa di kenal dengan angin muson. Perpindahan angin dari dari kutup utara ke selatan menyusuri permukaan bumi, dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari selatan kembali ke kutup utara melalui lapisan udara yang lebih tinggi.

Angin adalah energi tenaga bayu yang mudah di dapatkan, tapi pemanfaatanya yang masih jarang digunakan sebagai sumber alternatif. Angin biasanya di manfaatkan para petani sebagai irigasi, pencacah hasil panen, pengering dan lainnya. Seiring berkurangnya sumber energi yang berupa fosil, minyak bumi, batu bara maka angin pun bisa di jadikan sumber energi listrik yang di bantu untuk memutar turbin yang biasa dikenal PLTB (pembangkit listrik tenaga bayu). Berkurangnya perhatian penggunaan tenaga angin di Indonesia.

2.2 Karakteristik Angin

Adanya perbedaan kecepatan udara menimbulkan variasi temperatur gerak udara dari suatu ketinggian ke tempat yang lain. Sedangkan arah angin dipengaruhi Diakibatkan perbedaan kecepatan angin di sekitar garis khatulistiwa dengan daerah kutub bumi. Hal ini yang mengakibatkan perbedaan angin di Indonesia dengan kecepatan angin di berbagai negara dan benua. Udara di iklim tropis lebih tinggi dibandingkan equator. musim angin muson timur diakibatkan angin pasat timur laut di belahan bumi utara dan sebaliknya musim angin muson barat dari belahan bumi selatan. Pada angin muson banyak membawa uap air dikarenakan hembusan laut lepas, akan tetapi ada beberapa wilayah di permukaan bumi angin pasat tersebut mengalami perubahan arah akibat pengaruh lingkungan setempat. Di Indonesia berada pada garis khatulistiwa dengan letak geografis terletak antar dua benua dan dua samudra hingga bumi berputar pada porosnya mengelilingi matahari dan biasanya musim berganti tiap enam bulannya berada pada utara dan enam bulan berada di selatan yang biasa disebut angin muson timur dan barat. Adapun faktor mempengaruhi kecepatan angin yakni, pohon, lembah, pegunungan, dan variasi temperatur sempit.

Beberapa karakteristik angin di Indonesia antara lain:

- a. Arah angin yang sering berubah
- b. Sering terjadi turbulensi
- c. Kecepatan rata-rata angin relatif rendah

2.3 Pemanfaatan Energi Angin

Angin sebagai sumber energi dalam penggunaannya mempunyai manfaat antara lain:

- a. Energi angin tidak akan habis dan bisa di dapatkan berbagai tempat.
- b. Tidak menimbulkan emsi dan rama akan lingkungan.
- c. Biaya konversi lebih murah dibandingkan energi minyak bumi dan energi fosil.
- d. Cocok untuk daerah tidak terjangkau oleh PLN

Di Alam keberadaan angin begitu melimpah sehingga mudah didapatkannya. Penggunaan energi angin yang tidak mencemari akan lingkungan. Salah satunya cara mengkonversi angin yaitu dengan cara berupa kincir angin dan turbin udara. Turbin angin memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik sedangkan kincir angin memanfaatkan angin menjadi energi kinetik.

2.4 Definisi Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin atau alat mekanik yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi dan biji-bijian, keperluan irigasi, dan lainnya. Turbin angin terdahulu banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan negara lain yang lebih dikenal dengan sebutan negara *windmill* (Arifin, 2011)

Beberapa penelitian yang telah melakukan penelitian terkait tentang turbin angin, Bambang Setioko (2007), kenaikan harga BBM mendorong masyarakat untuk mencari alternatif baru yang murah dan mudah didapat untuk mendapatkan energi mekanik menjadi tenaga listrik. Energi angin merupakan energi yang murah dan mudah didapat, sehingga hal ini dimanfaatkan untuk memutar turbin angin yang digunakan sebagai tenaga penggerak generator listrik.

Kini turbin angin mulai banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dengan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbarui yaitu angina. Walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin sebagai pembangkit listrik belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional atau pembangkit listrik dengan sumber energi fosil (PLTD, PLTU), turbin angin masih terus dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam kurung waktu tertentu manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam yang tak terbarui, misalnya batu bara, minyak bumi, gas bumi sebagai bahan bakar untuk membangkitkan listrik.

Angin merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang tersedia di alam dan tak dapat habis atau hilang keberadaanya. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanik dengan menggunakan alat konversi energi yaitu turbin angin. Cara kerja dari turbin angin cukup sederhana, energi angin yang berhembus akan menabrak permukaan *blade* dan akan memutar turbin angin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator yang terletak di bagian belakang turbin, sehingga rotor generator berputar dan akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan ke dalam baterai sebelum nantinya dapat dimanfaatkan.

2.5 Komponen Turbin Angin

A. Turbin angin sumbu Horizontal

Secara umum, komponen utama mesin turbin angin poros horizontal terdiri dari sudu (*blade*), rotor, rem dan kopling, poros putaran rendah, poros putaran tinggi, generator, yaw sistem kontrol, tower dan pondasi, Sebagai contoh, gambar di bawah

ini merupakan bagian-bagian utama dan fungsinya dari turbin angin bersumbu horizontal.

a. Sudu Blade

Sudu (blade) berfungsi mengubah hembusan angin menjadi energi kinetik untuk memutar generator listrik. Semakin panjang baling-baling maka akan semakin banyak menerima terpaan angin sehingga akan semakin besar energi putaran mekanik yang dihasilkan untuk memutar generator. Adanya sebelum poros baling-baling disambung ke generator listrik, ditambahkan gearbox untuk menambah atau mengurangi kecepatan putar generator listrik sesuai kebutuhan.

b. Rotor hub

Hub merupakan bagian dari rotor yang berfungsi menghubungkan sudu dengan *shaft* (poros) utama

c. Rem dan kopling

Rem berfungsi untuk menghentikan putaran poros rotor yang bertujuan untuk keamanan atau pada saat dilakukan perbaikan. Sedangkan kopling berfungsi untuk memindahkan daya poros ke transmisi gearbox atau langsung ke generator, dengan meredam getaran dari poros rotor serta sebagai salah satu sarana meluruskan sambungan (alignment).

d. Poros rotor putaran rendah

Poros rotor berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator, dapat secara langsung maupun melalui mekanisme transmisi gearbox.

e. Generator

Generator merupakan komponen terpenting dalam sistem turbin angin, dimana fungsinya adalah merubah energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak menjadi energi listrik. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berupa alternating current (AC) maupun direct current (DC) dan tegangan outputnya didapat dari tegangan rendah (12 volt) atau sampai tegangan (680 volt) atau lebih.

f. Yawing kontrol

Pada turbin angin yang relatif besar, umumnya sudah menggunakan sistem geleng aktif (active yawing system), yang digerakkan oleh motor servo. Kontrol yawing disini berfungsi menerima input dari sensor anemometer (mendeteksi kecepatan angin) dan wind direction (mendeteksi perubahan arah angin), dan memberikan komando kepada motor servo untuk membelokkan arah shaft turbin angin dan juga memberikan input kepada kontrol pitch.

B. Komponen Turbin Angin sumbu Vertikal

Secara umum komponen turbin angin vertikal terdiri dari beberapa komponen diantaranya rotor, sudu, stator

a. Rotor

Rotor berfungsi mengubah energi kinetik angin menjadi energi gerak berupa putaran poros. Pada perancangan rotor tersebut dibuat dengan menggunakan 16 buah magnet yang dipasang pada setiap permukaan. Tetapi di dalam penempatan dari 16 buah magnet tersebut dibagi 2 yang masing-masing menjadi 8 buah, kemudian magnet tersebut digabung sehingga magnet menjadi 2 tingkat.

b. Sudu

Sudu merupakan bagian penting dari sebuah turbin. Geometri dan posisi sudu yang tepat akan meningkatkan daya angkat yang dapat dihasilkan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi turbin. Sudu dikatakan baik apabila bahan yang digunakan ringan tetapi kuat, sehingga mampu menahan beban atau tegangan yang terjadi karena putaran rotor. Saat ini banyak dikembangkan sudu yang menggunakan material serat karbon.

c. Stator

Stator terdiri dari beberapa coil atau kumparan dari kawat tembaga yang dilapisi oleh bahan isolator. Jumlah kumparan menentukan tegangan yang bisa dikeluarkan oleh generator tersebut. Stator yang telah dibuat terdiri dari 4 kumparan, 6 kumparan, dan 8 kumparan yang masing-masing kumparan terdiri atas 1000 lilitan dan setiap kumparan digabung secara seri sehingga didapat 1 fasa tegangan.

2.6 Prinsip Kerja Turbin Angin Savonius

Turbin angin memiliki prinsip kerja sama seperti turbin pada umumnya dimulai dari pemanfaatan energi kinetik yang dimiliki oleh angin, yang kemudian dikonvensional oleh sudu menjadi energi mekanik poros atau rotor. Turbin angin Savonius adalah jenis turbin angin tipe *drag*, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya *drag* yang dihasilkan dari tiap-tiap sudunya. *Drag* merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menumbuk sudu (White, 1986).

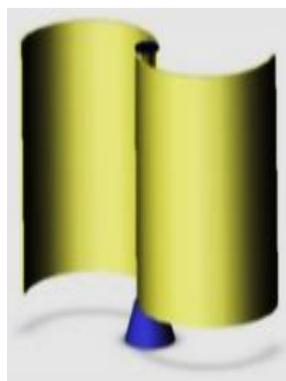
2.8 Jenis Jenis Turbin Angin

2.8.1 Turbin Angin *Darrieus*

Turbin Darrieus biasa juga dikenal dengan nama turbin eggbeater. georges darrieus Penemu pertamakali turben Darrieus pada tahun 1931. Turbin angin darrieus turbin angin yang merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin Turbin darrieus memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibandingkan dengan turbin Savonius sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun turbin ini menggunakan menggunakan energi awal untuk memulai putaran. Rotor turbin angin darrieus pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin darrieus disebut juga turbin angin H.

2.8.2 Turbin Angin Savonius

Awal Savonius sendiri pertama kali di kembangkan di flettner pada tahun 1920 oleh J.Savonius. Savonius banyak digunakan sebagai sebuah rotor, dimana bentuknya dibuat dari sebuah selinder yang dipotong pada sumbu bidang sentral menjadi dua bagian dan bagian tersebut disusun menyilang menyerupai huruf S



Gambar 2.2. Turbin angin sumbu vertikal Savonius
Sumber : (Ahmad Marabdi Siregar, Faisal Lubis, 2019)

Geometri dari rotor Savonius memungkinkan aliran fluida mengalir tegak lurus terhadap bidang sudu bagian cembung dan bagian cekung. Dimana koefisien drag untuk aliran tegak lurus dengan bidang cembung sebesar 1.2 Meskipun demikian, turbin angin memiliki keunggulan dan keterbatasan, yaitu :

1. Keunggulan

- a. Turbin angin tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.
- b. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar dan konstruksi turbin sederhana.

2. Keterbatasan

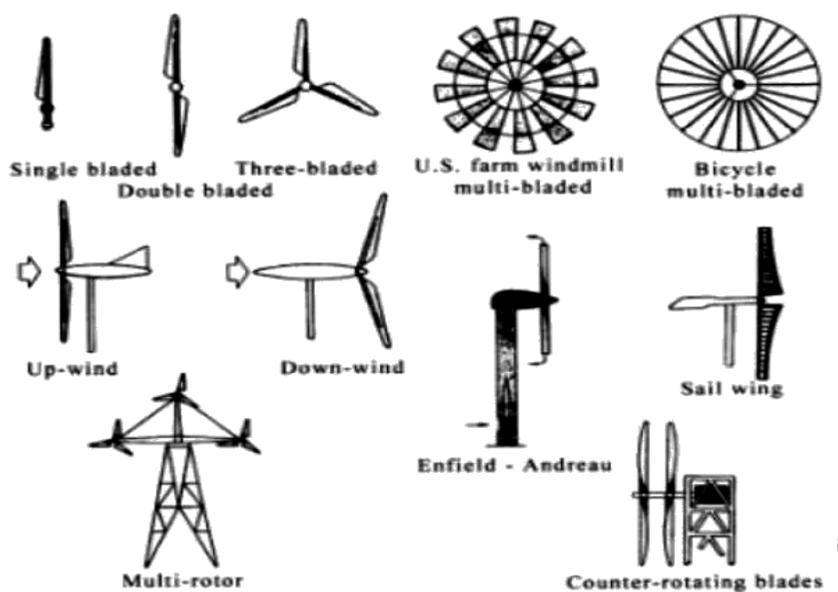
- a. Kebanyakan turbin angin memiliki penurunan efisiensi turbin angin horizontal, terutama karena hambatan yang mengurangi drag menghasilkan lebih banyak angin, terutama yang menyalurkan angin ke daerah kolektor.
- b. Memiliki rotor terletak dekat dengan tanah dimana kecepatan angin lebih rendah dan tidak mengambil keuntungan dari kecepatan angin tinggi di atas. Jika dilihat dari prinsip *aerodinamis* rotor yang digunakan.

Berdasarkan arah sumbunya turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu :

2.9 Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel pada permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dengan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat dimanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin

kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin penggunaan baling-baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor angin mengarah pada angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya *lift* dan gaya *drag*. Namun gaya *lift* jauh lebih besar dari gaya drag sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan turbin tipe *lift*.



Gambar 2.3. Turbin horisontal, jumlah sudu
Sumber : (Aryanto, 2007)

2.10. Konsep Dasar Perhitungan

a. Luas Penampang Sudu (A)

$$A = Dxh \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

A = Luas penampang (m^2)

D = Diameter sudu (m)

h = tinggi sudu (m)

b. Gaya pembebanan (F)

$$F = m \cdot g \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

F = Gaya pembebanan (N)

m = Massa / beban (kg)

g = Percepatan grafitasi (m/s²)

c. Daya Angin (P_{in})

Daya angin (P_{in}) adalah daya yang dihasilkan oleh sudu kincir angin yang diakibatkan oleh hembusan angin. Daya angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

P_{in} = Daya angin (Watt)

ρ = Massa jenis angin (kg/m³)

A = Luas penampang (m²)

v = Kecepatan angin (m/s²)

d. Kecepatan sudut (ω)

Kecepatan sudut atau dalam kasus ini kecepatan ujung sudu merupakan kecepatan ujung sudu terhadap satu kali putaran poros setiap detik. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan:

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

n = Putaran turbin (rpm)

π = Konstanta lingkaran (3,14)

e. Torsi (τ)

Torsi adalah hasil kali dari gaya pembebanan (F) dengan panjang lengan torsi (perhitungan torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = F \cdot r \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

τ = Torsi (Nm)

F = Gaya pembebanan (N)

r = Jari – jari poros (m)

f. Daya turbin (Pt)

Perhitungan daya turbin yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_t = \tau \cdot \omega \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

P_t = Daya turbin (Watt)

τ = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

g. Efisiensi Turbin (η)

Untuk mencari nilai efisien spiral cone menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\eta = \frac{P_t}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

η = Efisiensi turbin (%)

P_t = Daya turbin (Watt)

$$P_{in} = \text{Daya angin (Watt)}$$

h. Tipe speed ratio (λ)

Tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan linear lingkaran terluar kincir dengan kecepatan angin. Perhitungan nilai *tip speed ratio* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana

λ = *Tip speed ratio*

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

r = Jari-jari poros (m)

v = Kecepatan angin (m/s)

2.11 Fan Axial

Kipas angin (*fan*) adalah alat mekanis yang menghasilkan aliran gas yang konstan, seperti udara. Fan dipergunakan untuk menghasilkan angin. Fungsi utamanya sebagai pendingin udara, penyegar udara, ventilasi (*exhaust fan*), pengering. Perkembangan fan semakin bervariasi baik dari segi ukuran penempatan posisi, serta fungsi. Ukuran fan dimulai dari ukuran mini (kipas angin yang di pegang di tangan menggunakan energi baterai yang telah ditanamkan), fan juga digunakan dalam unit cpu computer yang berpungsi pendingin pc, kartu grafis, power supply dan casing. Dan dalam penelitian ini digunakan kipas angin jenis *axial fan*, dimana jenis *fan* ini cocok digunakan pada tekanan sedang sampai dengan tekanan tinggi. *Fan* jenis ini juga dapat dipercepat sampai kecepatan tertentu dan menghasilkan udara pada arah berlawanan, dan berguna dalam berbagai penggunaan. Secara umum

fan di bedakan menjadi dua jenis, yakni *fan sentrifugal*, menggunakan impeller berputar untuk menggerakkan aliran udara dan *fan axial* menggerakkan aliran udara sepanjang sumbu *fan* dan jenis fan ini yang akan digunakan dalam penelitian ini sebagai sumber tenaga angin untuk memutar turbin.



Gamabar 2.4 fan axial
Sumber: ([gusriwandi, 2014](#))

2.12 Jurnal Rujukan

Sukanda, J. M. (2020). Energi angin merupakan salah satu energi salah satu sumber energi yang memiliki potensi yang baik dalam pengembangan sistem konversi energi terbarukan karena perolehan sumber daya yang mudah dan ramah lingkungan. Konversi energi angin menjadi energi terbarukan yaitu dengan memanfaatkan angin sebagai penggerak rotor yang kemudian disebut dengan turbin angin. Turbin angin adalah suatu alat yang dapat memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik dengan cara mengonversikan energi angin menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator dimana energi yang dihasilkan berupa energi listrik. Terdapat dua macam turbin angin yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang

sumbu rotasinya tegak lurus dengan permukaan tanah, turbin angin vertikal memiliki kelebihan yaitu dapat menerima angin dari segala arah, konstruksi sederhana, tidak membutuhkan stuktur menara yang besar sehingga perawatannya mudah [2]. Berdasarkan bentuk sudu dan konstruksi turbin angin, turbin angin sumbu vertikal dibedakan menjadi tiga yaitu Savonius.

Jamal, J (2019), Turbin angin Savonius adalah turbin angin yang dapat beroperasi pada kecepatan angin yang rendah, turbin jenis ini sangat tepat digunakan untuk beberapa tempat di Indonesia. Penelitian bertujuan untuk meningkatkan kinerja turbin angin Savonius dengan variasi jumlah sudu turbin serta variasi kecepatan aliran udara.

Angin adalah udara yang bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan lebih rendah. Pergerakan angin inilah yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi dengan mengkonversi menjadi energi lainnya. Cara konversi energi angin menjadi energi mekanik dapat dilakukan dengan menggunakan turbin angin Savonius. Energi angin sebelum melewati turbin angin disebut juga energi input turbin. Energi angin yang melewati turbin tidak semuanya dapat dikonversi menjadi energi mekanik. Energi yang dibangkitkan turbin setelah menerima energi angin disebut energi mekanik yang biasa juga disebut dengan energi output turbin.

Prawiratama, A. Y., (2023), Jenis turbin angin dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan letak poros, yaitu turbin angin dengan poros vertikal dan turbin angin dengan poros horizontal. Pada pengujian ini kinerja turbin angin Savonius dapat diukur dengan menggunakan skema brake dynamometer. Brake dynamometer

ini menggunakan sistem pulley, beban timbel, dan timbangan pegas digital yang disambungkan dengan benang nylon yang menyelubungi pulley pada poros turbin angin Savonius.

Muhammad Irfansyah, (2017). Turbin angin Savonius sudu U dengan penambahan sudu NACA 0012 dengan variasi kecepatan angin, untuk turbin angin Savonius U memiliki dimensi diameter 12,7 cm dengan tinggi 50 cm dan NACA 0012 tinggi 50 cm dengan lebar 14 cm. Dari hasil penelitian turbin angin menunjukkan bahwa dengan penambahan sudu NACA 0012 berpengaruh terhadap putaran poros, dengan menggunakan variasi kecepatan angin 2,3 m/s, 3,5 m/s, 4,0 m/s, 6,2 m/s, 7,2 m/s, dari data yang di dapat dengan menggunakan penambahan sudu NACA 0012 kecepatan poros tertinggi 132,9 rpm dengan kecepatan angin 7,2 m/s. Dengan pemanbahan sudu NACA 0012 putaran poros terendah 33,2 rpm dengan kecepatan angin 2,3 m/s.

Ulhans Khuliki (2017). Rasio *overlap* dari turbin Savonius merupakan jarak *overlap bucket*, dengan diameter turbin savonius. Adanya *overlap* pada turbin Savonius memungkinkan fluida yang memasuki sisi cekung pada suatu *bucket* dapat mengalir ke sisi cekung *bucket* dapat mengalir ke sisi cekung *bucket* yang lainya dan dapat menghasilkan tambahan tekanan. Pada gambar *rasio overlap* di lambangkan dengan x dan koefisien power C_p . Hubungan antara *rasio overlap* dengan koefisien power turbin Savonius telah di teliti oleh Blackwell (14), dengan konfigurasi dua *bucket*, tinggi turbin 1 m, diameter *bucket* 0,5 m dan diameter rotor nominal sebesar 1 m. Diketahui bahwa Re/m sebesar 432.000, dengan *variasi rasio* pada gap antara

0,1 dan 0,15 memberikan hasil yang optimum pada *rasio overlap* sekitar 0,85 yaitu sebesar 25% (14).