

RANCANG BANGUN PROTOTYPE TURBIN ANGIN GUNA MENENTUKAN PERBANDINGAN EFISIENSI YANG DIHASILKAN DARI JUMLAH BLADE 8 DAN JUMLAH BLADE 4

Sirdo Cipto Hasibuan¹, Robinson Purba², Bambang Widodo³, Susilo⁴

Alamat Korespondensi: sirdohasibuan17@gmail.com

Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia

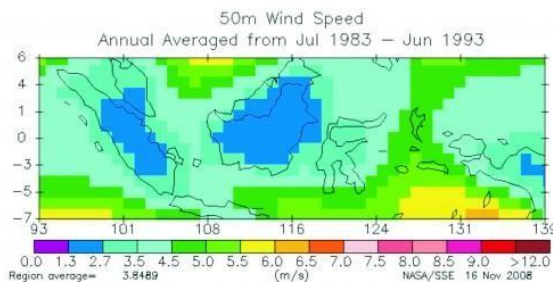
ABSTRAK

Penelitian ini merupakan hasil penelitian kincir angin poros vertikal Savonius . Dalam penelitian ini dirancang satu turbin dengan mengamati perbandingan jumlah sudu pada turbin terhadap ujuk kerja turbin seperti; daya dan efisiensi. Turbin terdiri dari blade dengan bentuk setengah silinder dengan luas penampang $A = 0,246176 \text{ m}^2$. Turbin angin ini didesain dengan diameter putar 170 cm dan perbandingan transmisi pada turbin dan generator yaitu 4:1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan jumlah sudu 8 dan 4, peforma terbaik dihasilkan oleh turbin angin jumlah sudu 8 dengan peningkatan 1,5 kali dibandingkan jumlah sudu 4. Kincir angin savonius dengan jumlah sudu 4 menghasilkan efisiensi paling tinggi sebesar 5% dan kincir angin savonius dengan jumlah sudu 8 menghasilkan efisiensi paling tinggi sebesar 10%. Pada kincir Angin Savonius sudu 4 tidak dapat berputar pada kecepatan angin rendah, hanya mampu berputar pada kecepatan angin $\geq 4 \text{ m/s}$. Hal ini diakibatkan karena celah antar sudu yang lebar, sehingga besarnya *upwind* dan *downwind* pada kincir sudu 4 sama besarnya. Daya Mekanik tertinggi Turbin angin savonius 8 sudu adalah 162, 85 watt dengan kecepatan angin 5,13 m/s pada percobaan tanpa beban dan daya mekanik terendah turbin angin savonius terjadi pada 4 bilah dengan beban sebesar 30,80 watt dengan kecepatan angin 3,71 m/s

Kata Kunci : Turbin Angin, Savonius, Kecepatan, Daya dan Efisiensi

1. Pendahuluan.

1.1. Latar belakang



Gambar 2.2. Data Kecepatan Angin Rata-rata Indonesia

Dari Gambar diatas terlihat Indonesia adalah salah satu negara yang potensial untuk dikembangkan dalam hal bidang energi terbarukan yaitu salah satunya energi angin. Pada umumnya bentuk turbin angin yang banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horizontal, walau demikian turbin angin sumbu vertikal menjadi alternatif untuk menghasilkan energi listrik disebabkan oleh beberapa keuntungan. Turbin angin vertikal memiliki Self Starting (Kemampuan awal untuk memutar

generator) yang baik sehingga mampu memutar rotor walaupun kecepatan angin rendah, selain itu torsi yang dihasilkan relatif tinggi. Saat ini penulis akan membandingkan peforma turbin angin sumbu vertikan jenis *Savonius*. Melalui penelitian ini, penulis akan mengungkap cara kerja dan potensi turbin angin dengan jumlah sudu yang berbeda sebagai pembangkit listrik tenaga angin dan membandingkannya.^[7]

1.2. Permasalahan.

1. Jakarta timur mempunyai potensi angin yang banyak tetapi kecepatannya rendah.
2. Dari penelitian 6 blade dan 4 blade didapat peforma yang baik pada turbin dengan jumlah blade 4, seharusnya luas penampang sangat berpengaruh pada peforma turbin. Karena itu peneliti ingin memastikan kembali dengan meneliti perbandingan dengan jumlah sudu 8 dan 4.
3. Untuk alternatifnya dibuat desain alat yang

sederhana dan mudah mendapatkannya, seperti kincir angin dengan poros vertikal.

4. Membuat dan menguji kemampuan kincir angin savonius dengan perbandingan jumlah sudu 8 dan 4 sehingga diketahui unjuk kerja alat, agar dapat mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap peforma turbin.

1.3. Tujuan Penelitian.

1. Membuat dan menguji model kincir angin Savonius dengan jumlah sudu 4 dan 8 sebagai pembangkit listrik.
2. Pengukuran kecepatan angin, pengukuran putaran, pengukuran tegangan dan arus listrik
3. Meghitung perbandingan daya yang dihasilkan oleh kincir dengan variasi jumlah sudu.
4. Menghitung efisiensi kincir angin yang dihasilkan.

2. Landasan Teori

2.1 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan udara antara tempat yang memiliki tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah atau dari daerah dengan suhu atau temperatur rendah ke wilayah bersuhu tinggi. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi oleh sinar matahari. Angin memiliki energi kinetik karena udara memiliki massa m dan bergerak dengan kecepatan v [7]. Daya yang dihasilkan pada poros suatu turbin merupakan transformasi energi kinetik yang terdapat pada aliran angin. Aliran angin yang bergerak dengan kecepatan tertentu diserap oleh susunan sudu dari turbin angin. Secara matematis, udara dengan massa (m) dan bergerak dengan kecepatan v , memiliki energi kinetik sebesar:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.1)$$

Dengan demikian dapat dihitung daya aliran angin dalam satuan watt yaitu:

$$P_w = \frac{1}{2}(\rho Av)(v^2) = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (2.2)$$

Dalam hal ini:

P_w = daya angin (watt)

ρ = densitas udara ($\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$)

A = luas penampang turbin (m^2)

v = kecepatan udara (m/s)

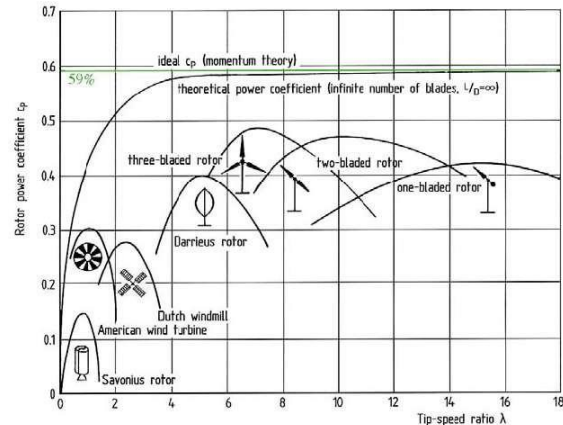
E_k = Energi kinetik (joule)

m = massa (kg)

v = Kecepatan (m/s)

Besar daya yang diperoleh dari persamaan (2.2)

merupakan daya murni maksimum yang dihasilkan oleh aliran angin. Sedangkan daya yang dapat dibangkitkan dari putaran rotor turbin savonius dapat dihitung melalui pendekatan teori Betz. Percobaan Betz dapat dilihat pada gambar (2.3) berikut:



Gambar 2.3. Grafik hubungan C_p dan λ dengan batas Batas Betz (Betz Limit)

Berdasarkan teori Betz yang divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar (2.3), menjelaskan ketidakmungkinan suatu desain turbin angin yang memiliki koefisien daya (C_p) diatas angka 59%. Hal ini dapat diartikan bahwa desain turbin angin terbaik tipe apapun tidak akan menghasilkan efisiensi rotor diatas 59%. Karena suatu turbin angin tidak akan mampu menyerap seluruh energi kinetik yang berada dalam aliran angin^[9]. Kinerja dari turbin angin disimbolkan oleh koefisien daya (C_p). Koefisien ini menunjukkan energi yang dihasilkan oleh turbin angin sebagai bagian dari total energi angin yang melalui luasan area turbin angin tersebut. Koefisien daya (C_p) yang dapat ditulis menurut persamaan:

$$C_p = \frac{P_T}{\frac{1}{2}\rho Av^3} \quad (2.6)$$

Dimana :

P_T = Daya Listrik

2.2 Gaya Hambat (*Drag*) dan Gaya Angkat (*Lift*)

Semua benda dalam aliran fluida akan mengalami gaya-gaya karena interaksi antara benda tersebut dengan aliran. Gaya-gaya tersebut dapat dikategorikan sebagai gaya-gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*). Gaya hambat udara (*drag*) merupakan gaya yang disebabkan oleh molekul-molekul dan partikel-partikel di udara yang sejajar dengan aliran fluida. Gaya ini timbul oleh perbedaan kecepatan antara benda padat dengan fluida. Gaya ini dialami oleh benda yang bergerak di udara. Pada benda yang diam gaya hambat udara nol. Ketika benda mulai bergerak, gaya hambat udara ini mulai muncul yang arahnya berlawanan dengan arah gerak, bersifat menghambat gerakan (itu sebabnya gaya ini disebut gaya hambat udara). Semakin cepat benda bergerak semakin besar gaya hambat udara ini. Gaya ini bekerja pada permukaan rotor.

Sedangkan gaya angkat (*lift*) ialah gaya yang dihasilkan oleh *airfoil* (contohnya seperti pada sayap pesawat terbang) atau turbin sumbu horisontal saat melintasi udara. Gaya yang timbul ini mampu mengangkat dengan arah yang tegak lurus aliran angin. Resultan gaya angkat (*lift*) akan membantu perputaran turbin sedangkan gaya hambat (*drag*) akan melawan perputaran dari turbin itu. Perbedaan tekanan antara bagian atas dan bawah *airfoil* memberikan gaya angkat pada turbin. Semakin melengkung (semakin aerodinamis) sayap atau *airfoil* maka semakin besar gaya angkatnya. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

2.3. Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda serta negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan istilah *windmill*. Berdasarkan bentuk rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu turbin angin sumbu mendatar atau *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Sedangkan klasifikasi turbin angin berdasarkan koefisien daya dan speed ratio yaitu seperti pada Gambar (2.3).

2.3.1. Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin jenis ini ialah jenis turbin angin yang paling banyak digunakan sekarang. Turbin ini terdiri dari sebuah menara yang di puncaknya terdapat sebuah baling-baling yang berfungsi sebagai rotor dan

menghadap atau membelakangi arah angin. Sebagian besar turbin angin jenis ini yang dibuat sekarang mempunyai dua atau tiga bilah baling-baling walaupun ada juga turbin bilah dengan baling-baling kurang atau lebih daripada yang disebut diatas.

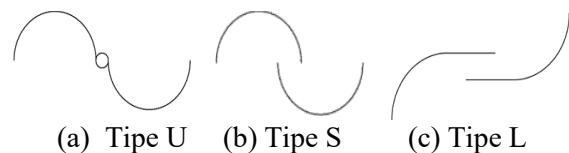


Gambar 2.4. Turbin Angin Sumbu Horizontal (Olson dan Visser, 2008)

2.3.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin poros Vertikal atau VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) adalah turbin dengan poros vertikal sepanjang menara dan mempunyai generator pembangkit listrik dibawah poros. Sedangkan turbin angin poros horizontal atau HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) adalah turbin dengan poros utama horizontal dan generator pembangkit listrik pada puncak menara.

Salah satu turbin angin poros vertikal adalah turbin angin savonius.



Keunggulan VAWT (*Vertikal Axis Wind Turbine*) tipe *drag* terhadap HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) yaitu, bentuk sudu yang sederhana, rendah *noise*, kerja pada aliran turbulensi lebih baik, memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, dinamo dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan, tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada HAWT. Kekurangannya yaitu kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan turbin angin sumbu horisontal. Turbin tipe ini banyak digunakan untuk konversi energi listrik skala kecil.

2.3.3 Gerak Kincir

Pada dasarnya rotor Kincir Angin mengambil tenaga dari angin dan membuatnya menjadi lebih pelan, dan menghasilkan tenaga. Ini dapat dilihat dengan adanya gaya yang diterapkan yaitu gaya yang diberikan oleh angin kepada kincir. Obyek yang bergerak searah aliran angin, menghasilkan gaya yang disebut “*Drag*” atau Gaya Seret.

Prinsip kerja kincir angin savonius adalah mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis dalam bentuk gaya dorong (*drag force*). Sebagian sudu mengambil energi angin dan sebagian sudu lagi melawan angin. Sudu yang mengambil energi angin disebut *downwind* sedangkan sudu yang melawan angin disebut *upwind*. Sudu *upwind* ini dapat mengurangi kecepatan *rotor*. Besarnya torsi pada *rotor* dan kecepatan *rotor* (rpm) tergantung pada selisih *drag force* sudu *upwind* dengan *drag force* sudu *downwind*.

2.4 Generator Sinkron

Generator sinkron adalah suatu mesin listrik yang digunakan untuk memproduksi energi listrik dari sumber mekanikal dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Energi mekanik diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula, sedangkan energi listrik diperoleh dari perpotongan medan magnet dengan penghantar, maka pada penghantar akan timbul gaya gerak listrik melalui proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan rotor dan stator. Perubahan energi ini terjadi karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator. Pergerakan relatif merupakan terjadinya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator) karena pergerakan medan magnet terhadap kumparan jangkar. Dikatakan generator sinkron karena kecepatan putaran medan magnet sama dengan kecepatan putaran rotor generator, sehingga kecepatan sinkron dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumparan medan generator sinkron terdapat pada rotor, sedangkan kumparan jangkar terdapat pada stator. Rotor generator sinkron yang terdiri dari belitan medan yang suplai dengan arus searah akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor. Karena kecepatan putaran medan magnet sama dengan kecepatan putaran rotor generator, maka generator sinkron ini akan menghasilkan energi listrik bolak balik (AC)

2.5 Transmisi

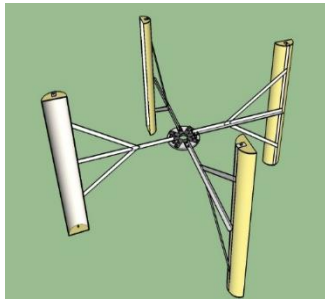
Jarak yang jauh antara dua poros sering tidak memungkinkan transmisi langsung dengan roda gigi^[14]. Transmisi dalam hal ini adalah pemindah tenaga dari turbin angin ke generator. CVT, lengkapnya *Continuously Variable Transmission*, merupakan salah satu sistem pemindah tenaga otomatis yang banyak digunakan saat ini. Perbedaan dasar CVT dibandingkan dengan pemindah tenaga lain, seperti transmisi otomatis konvensional dan manual, adalah cara meneruskan torsi dari mesin ke roda. Pada CVT, tidak lagi digunakan roda-roda gigi untuk menurunkan atau menaikkan putaran ke roda. Sebagai penggantinya, digunakan dua puli dan sabuk logam. Karena tidak ada lagi roda-roda gigi, maka pada CVT tidak ada perbandingan gigi seperti transmisi otomatis konvensional dan manual. Yang ada adalah perbandingan putaran dari terendah sampai tertinggi. Sebagian besar transmisi sabuk menggunakan sabuk-V karena mudah penanganannya dan harganya pun murah. Kecepatan sabuk direncanakan untuk 10 sampai 20 (m/s) pada umumnya, dan maksimum sampai 25 (m/s). Daya maksimum yang dapat ditransmisikan kurang lebih sampai 500 (kW)^[13].

3. Metode Penelitian

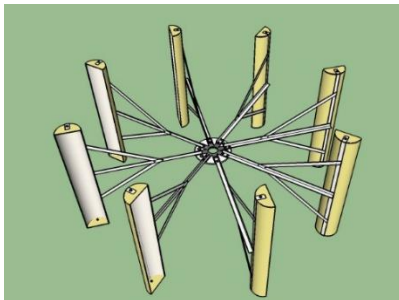
3.1 Diagram Alir

3.2 Pembuatan Kerangka dan Kincir Angin Savonius

Turbin Savonius standar tidak memiliki sisi sirip aerodinamis sedangkan turbin yang dimodifikasi memiliki sisi aerodinamis dengan ukuran sirip konstan untuk semua turbin termodifikasi. Turbin Savonius pada penelitian ini berbahan dasar pipa dengan tebal 0,3 mm. Material PVC ini bersifat ringan dan mudah dibentuk karena diambil dari bagian tengah pipa. Turbin pada penelitian ini memiliki ukuran tinggi 90 cm dan berdiameter 16 cm dengan diameter putar turbin 170 cm dengan media transmisi adalah pulley. Gambar (3.6) menunjukkan desain turbin 4 sudu sedangkan Gambar (3.7) menunjukkan desain turbin Savonius yang menggunakan 8 sudu



Gambar 3.6 Turbin Savonius 4 Bilah

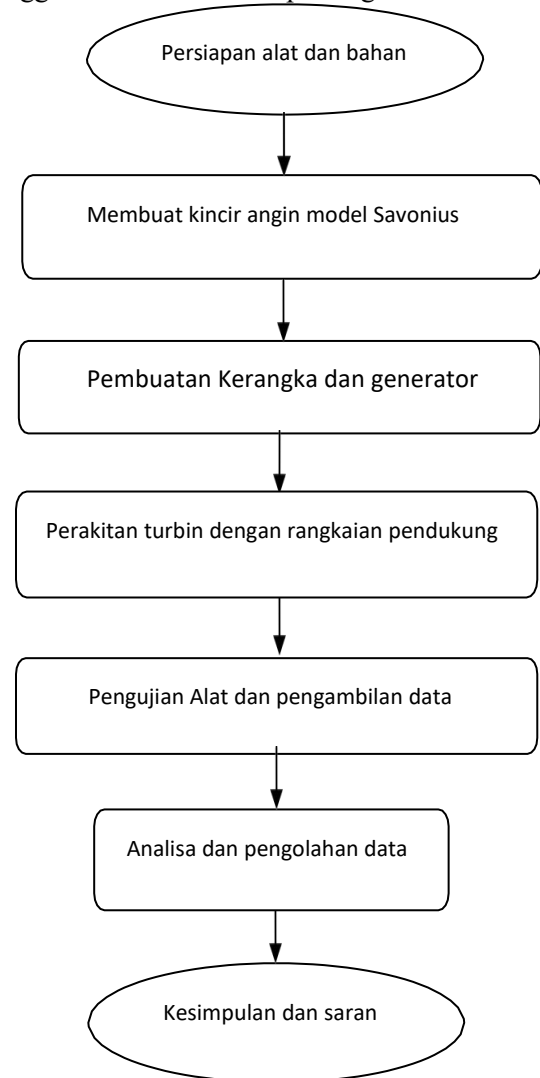


Gambar 3.7 Turbin Savonius 8 Bilah

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan ditunjukkan hasil penelitian yang mencakup hasil pengujian karakteristik turbin angin, yang meliputi hasil perbandingan putaran generator (n), daya keluaran listrik (P_{out}) dan menghitung efisiensi (C_p) serta TSR pembangkit listrik tenaga angin dari jumlah sudu 8 bilah dan 4 bilah yang sesuai perancangan dan

melalui pengukuran langsung dengan menggunakan alat bantu kipas angin.



Pengujian ini dilakukan dengan tahap-tahap yaitu :

1. Pembuatan turbin angin savonius
2. Pengukuran kecepatan angin, tegangan, kuat arus, putaran pulley dengan jumlah sudu 4 bilah dan 8 bilah dan menggunakan beban lampu DC 12 Volt 3 watt dan tanpa menggunakan beban.
3. Melakukan perhitungan secara statistik terhadap daya angin, daya arus(Daya yang dihasilkan generator), TSR dan juga efisiensi turbin.
4. Perhitungan transmisi
 $C=70$ cm $d_2 = 4$ cm
 $d_1 = 36$ cm sehingga $i = 4$

4.1 Analisa Perhitungan

Diameter sudu (d) = 16 cm , $r = 8$ cm = 0,08 m
 Tinggi sudu (t) = 90 cm = 0,9 m

Diameter pulley di turbin = 36 cm
 Diameter pulley di generator = 4 cm
 Diameter turbin yang dibentuk sudu = 170 cm, R = 85 cm

- Luas Penampang satu sudu. Sesuai dengan persamaan (2.8)

$$A = 2\pi r(r + t)$$

$$A = 2 \times 3,14 \times 0,08 m(0,08 m + 0,9 m)$$

$$A = 0,492352 m^2$$

Karena bentukan sudu setengah silinder maka $A=A/2 = 0,246176 m^2$

- Massa Jenis Angin

$$\rho_{angin} = 1,225 \frac{kg}{m^3}$$

- Maka P_{angin} untuk 8 bilah dengan menggunakan beban 1 lampu DC 12 V, 3 Watt, pada data pertama dengan menggunakan persamaan 2.2 adalah

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

$$P_w = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 0,492352 \times 4,24^3$$

$$P_w = 22,99 watt$$

Perhitungan Tip Speed Ratio

- Kecepatan Sudut Turbin

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n_{generator}}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 100,7 rpm}{60} = 10,53993 rad/s$$

- Maka tip speed ratio dihitung menggunakan persamaan 2.4

$$\lambda = \frac{\omega R}{v}$$

$$\lambda = \frac{10,53993 \frac{rad}{s} \times 0,85 m}{4,24} = 2,11$$

Karena $TSR > 1, 2,11 > 1$ artinya lebih banyak bagian blade yang mengalami gaya angkat (*lift*)

Kinerja Turbin Angin (Cp)

- P listrik (Menggunakan data turbin dengan menggunakan 8 bilah dan beban 1 lampu DC 12 V, 3 watt

$$P_{Listrik} = V \times I$$

Dimana :

$$V = 10,5 V$$

$$I = 0,9 ampere$$

Maka, $P_{Listrik} = 10,5 V \times 0,9 A = 9,45 Watt$

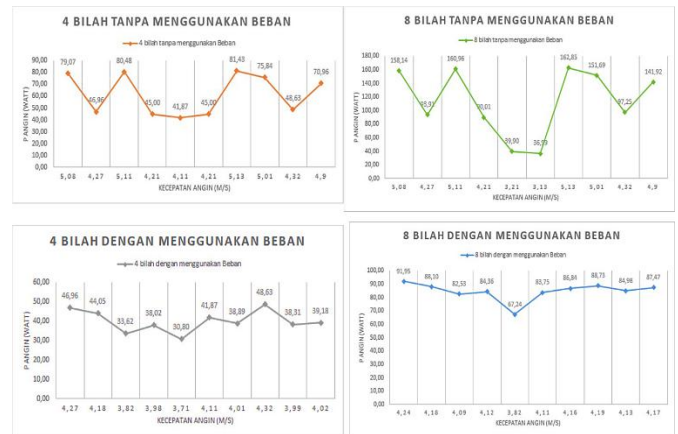
- P angin = 22,99 Watt

- Maka Cp dapat dihitung :

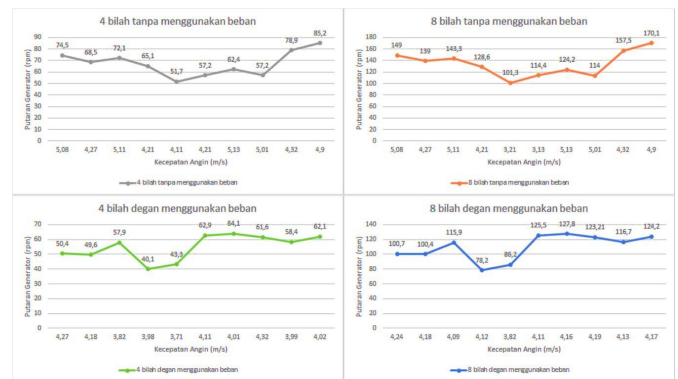
$$Cp = \frac{P_{listrik}}{P_{angin}}$$

$$Cp = \frac{9,45}{91,95} = 0,10$$

Dari data percobaan maka diperoleh grafik dibawah ini:



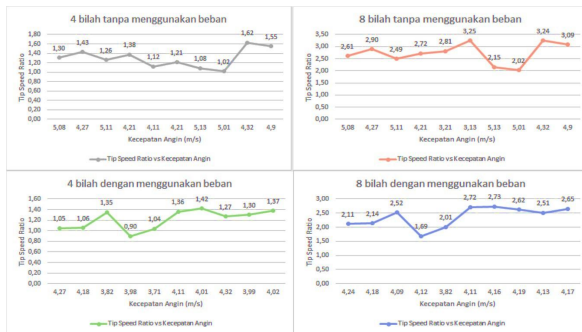
Grafik 4.1 Perbandingan daya angin dan kecepatan angin pada turbin menggunakan 8 sudu dan 4 sudu



Grafik 4.2 Perbandingan putaran generator dan kecepatan angin pada turbin menggunakan 8 sudu dan 4 sudu.



Grafik 4.3 Perbandingan Daya listrik dan Daya Mekanik Angin pada Turbin menggunakan 8 sudu dan 4 sudu

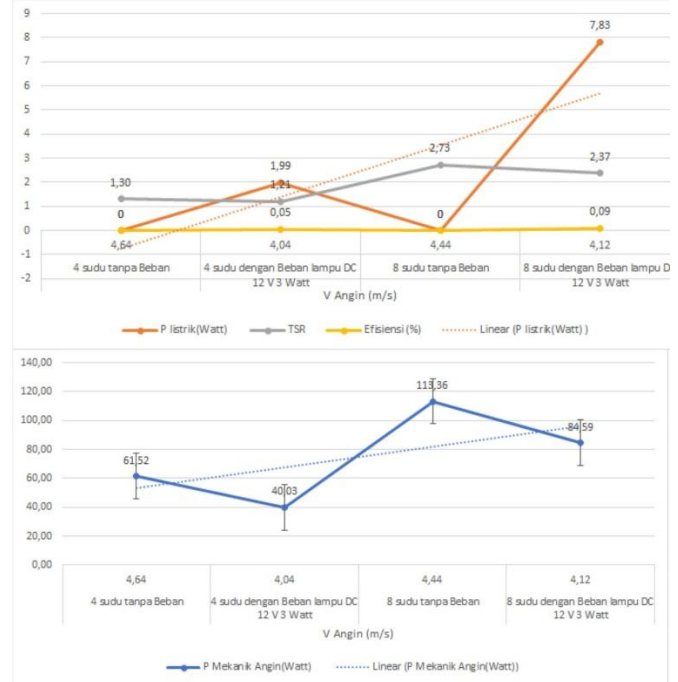


Grafik 4.4 Perbandingan TSR pada turbin dengan menggunakan 8 sudu dan 4 sudu

Dengan merata-ratakan diperoleh tabel dibawah ini:

	V angin (m/s)	P Angin (Watt)	P listrik (watt)	TSR(Tip Speed ratio)	Efisiensi (%)
4 sudu tanpa Beban	4,64	61,52	0	1,30	0
4 sudu dengan Beban lampu DC 12 V 3 watt	4,04	40,03	1,99	1,21	0,05
8 sudu tanpa Beban	4,44	113,36	0	2,73	0
8 sudu dengan Beban lampu DC 12 V 3 watt	4,12	84,59	7,83	2,37	0,09

Tabel 4.1 Rata-rata analisa perhitungan



Grafik 4.6 Grafik rata-rata hasil perhitungan turbin dengan jumlah blade 8 dan 4

Terlihat pada grafik 4.6 terlihat pada garis linear terjadi peningkatan pada yang signifikan pada daya mekanik angin, daya listrik, efisiensi dan Tip speed ratio. Fenomena yang terjadi menjelaskan bahwa jumlah sudu sangat berpengaruh terhadap performa turbin angin. Peningkatan unjuk kerja turbin dapat diamati 1,5 kali lebih besar. Untuk perbandingan efisiensi pada turbin savonius dengan menggunakan 8 bilah paling optimal adalah $C_p = 0,10$ dengan kecepatan angin 4,67 m/s, yang memiliki nilai C_p minimum adalah $C_p = 0,08$ diturbin savonius 8 bilah. Sedangkan turbin savonius bilah 4 menghasilkan C_p optimum dengan nilai $C_p = 0,05$, pada saat kecepatan angin 4,53 m/s, dan menghasilkan C_p minimum 3,71 m/s. Dapat dilihat perbandingan 8 bilah lebih koefisien dari pada 4 bilah. Daya listrik 8 bilah yang berbeban menunjukkan bahwa adanya kestabilan daya pada setiap kecepatan angin yang ada, diperoleh ketika mencapai kecepatan 4.67 m/s daya mencapai 9.45 watt tetapi ada penurunan menjadi 5.355 watt, ini terjadi karena perubahan kecepatan angin yang fluktuatif. Oleh karena itu, semakin cepat kecepatan angin maka daya listrik yang dihasilkan semakin besar. Adanya beban berupa lampu berkapasitas 12 volt menunjukkan kesempurnaan dari pembangkit ini. Karena beban yang ada memperhitungkan sebesar berapa daya yang dihasilkan. Sedangkan ketika tidak

adanya pembebanan maka akan terlihat fungsi dari kerja generator yang berpengaruh terhadap beban kebutuhan. Pada saat menggunakan turbin 4 bilah baik ketika menggunakan beban ataupun tanpa beban, terjadi penurunan daya aktif dikarenakan semakin banyak bilah maka daya keluaran mekanik yang dalam hal ini adalah angin yang dihasilkan, maka dengan turbin 4 bilah daya output mengecil.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Didapat hasil perbandingan jumlah sudu 8 dan 4, dan disimpulkan performa terbaik dihasilkan oleh turbin angin jumlah sudu 8 dengan peningkatan 1,5 kali dibandingkan jumlah sudu 4.
2. Kincir angin savonius dengan jumlah sudu 4 menghasilkan efisiensi paling tinggi sebesar 5%. Kincir angin savonius dengan jumlah sudu 8 menghasilkan efisiensi paling tinggi sebesar 10% .
3. Pada kincir Angin Savonius sudu 4 tidak dapat berputar pada kecepatan angin rendah, hanya mampu berputar pada kecepatan angin ≥ 4 m/s . Hal ini diakibatkan karena celah antar sudu yang lebar, sehingga besarnya *upwind* dan *downwind* pada kincir sudu 4 sama besarnya.
4. Terjadi peningkatan performa 1,5 kali pada turbin dikarenakan jumlah sudu, dimana jumlah sudu 8 lebih efisien dibandingkan jumlah sudu 4 .
5. Daya Mekanik tertinggi Turbin angin savonius 8 sudu adalah 162, 85 watt dengan kecepatan angin 5,13 m/s pada percobaan tanpa beban dan daya mekanik terendah turbin angin savonius terjadi pada 4 bilah dengan beban sebesar 30,80 watt dengan kecepatan angin 3,71 m/s

5.2 Saran

1. Kincir sebaiknya dibuat lebih ringan namun kuat, agar mampu berputar pada kecepatan yang lebih rendah.
2. Sebaiknya dilakukan pengambilan data lebih banyak, agar mendapatkan hasil yang maksimal.
3. Pada saat pengujian pastikan alat-alat pengujian berfungsi dengan baik dengan cara mengkalibrasi dan mengganti baterai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ruzita Sumiati, Khairul Amri, Hanif “ RANCANG BANGUN MICRO TURBIN ANGIN PEMBANGKIT LISTRIK UNTUK RUMAH TINGGAL DI DAERAH KECEPATAN ANGIN RENDAH”. (2014)
2. I Made Adi Sayoga, I Kade Wiratama, I Made Mara, Agus Dwi Catur Teknik Mesin Universitas

Mataram PENGARUH VARIASI JUMLAH BLADE TERHADAP AERODINAMIK PERFORMAN PADA RANCANGAN KINCIR ANGIN 300 Watt. (2014)

3. International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD-2015), Feb. 04 – 06, 2015, Mumbai, India ©2015 IEEE Vertical Axis Wind Turbine
4. Napitupuluh, F.H., Surya Siregar. (2013). Perancangan Turbin Vertikal Axis Savonius dengan menggunakan 8 buah Sudu lengkung. Jurnal Dinamis. 3 Vol. I, No.13, ISSN 0216-7492
5. I.B. Alit*, Nurchayati, S.H. Pamuji Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram Turbin angin poros vertikal tipe Savonius bertingkat dengan variasi posisi sudu. (2016)
6. Giovani. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Unjuk Kerja Kincir Angin Savonius Satu Tingkat dengan Variasi Jumlah Sudu 4 dan 6 (2010)
7. Nanang Rosidin. 2007. Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside Untuk Penerangan Jalan Tol. Tugas Sarjana. Bandung: ITB. Di akses pada 22 April 2010. Website: <http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl-nanangrosi-32320&q=savonius>.
8. Daryanto, Y. (2007). Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Yogyakarta : Balai PPTAG-UG-LAGG.
9. Roisin dan Cushman, Benoit. 2007. WIND ENERGY SYSTEMS (Aeolian Energy Systems).
10. Olson, David dan Visser, Ken. 2009. Self-Starting Contra-Rotating Vertical Axis Wind Turbine for Home Heating Applications. Department of Mechanical and Aeronautical Engineering.
11. Young, Hugh D. dan R. A. Freedman. 2002. Fisika Universitas. Jilid 1. Edisi ke-10. Jakarta: Erlangga. Terjemahan: University Physics. Edisi ke-8. 2000. Addison Wesley Longman, Inc.
12. Michael J. Thompson (March 2012), Fundamentals and Advancements in Generator Synchronizing Systems, SEL Journal of Reliable Power, Volume 3, Number 1

13. <http://web.ipb.ac.id>
14. Sularso, Elemen Mesin Kiyokatsu Suga, 2004