**PENGARUH VARIASI PROFIL SUDU DAN BESAR SUDUT *PITCH* SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN POROS HORISONTAL**

**M. Nawawi Imron Jaelani, I Kade Wiratama, I Made Mara**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram

Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat

Telpon.(0370) 636126, Fax. (0370) 636523.

***ABSTRACT***

 *Indonesia has the potential of wind energy with an average speed of 3-6 m/s and the electrical energy generated is approximately reach 9,290 MW. For the utilization of wind energy is required wind turbines to convert wind energy into electrical energy. The research was conducted on 3 horizontal wind turbine blade with airfoil profile variations such as arched plate, cambered airfoil, symmetric airfoil and pitch angle variation 5⁰, 10⁰, 15⁰, 20⁰, 25⁰, 30⁰ at wind speed of 4 m / s ± 0.3 m / s , The goal is to determine the effect of variations in airfoil profile and the pitch angle of the rpm, the power rotor, CPR and TSR. Data taken the form of rotor speed and the rest of the rotor speed is measured using a tachometer and a tensile load using the rope brake system. Wind turbines with blade arched plate types produce maximum power at a pitch angle 20⁰ with the rotor speed 250,09 rpm, rotor power 3,5592 Watt, CPR 0,118 and 3,272 TSR. While chambered blade types produce maximum power at a pitch angle 5⁰ with the rotor speed 252,18 rpm, rotor power 3,125 Watt, CPR 0,10374* *and 3,12671 TSR. While blade symmetric types produce maximum power at a pitch angle 15⁰ with the rotor speed 166,11 rpm, rotor power 1,2405 Watt, CPR 0,041158* *and 2,174 TSR. From this research, the best performance is produced by the wind turbine blade rotor arched plate with 3,5592 Watt.*

***Keywords****: airfoil, arched plate, cambered airfoil, symmetric airfoil, pitch angle.*

1. **Pendahuluan**

Energi angin sebagai salah satu sumber energi alternatif terbarukan merupakan energi yang mempunyai potensi cukup besar dan merupakan sumber energi yang tidak menimbulkan emisi karbondioksida sehingga ramah lingkungan. Namun demikian, pemanfaatan energi angin di Indonesia sekarang ini masih sangat minim. Dilihat dari segi input bahan bakar, pembangkit berbahan bakar batubara dan minyak mempunyai pangsa yang paling tinggi, yaitu masing-masing sebesar 42% (16,5 GW) dan 23% (9 GW), kemudian diikuti oleh pembangkit berbahan bakar gas dengan pangsa sekitar 22% (8,4 GW). Masih tingginya jumlah pembangkit BBM diimbangi dengan semakin meningkatnya jumlah pembangkit berbahan bakar energi terbarukan, seperti panas bumi, dengan jumlahnya mendekati 3% (1,2 GW), serta pembangkit berbasis hidro dengan jumlah dikisaran 10% (3,9 GW). Disamping itu, pembangkit listrik tenaga matahari dan tenaga bayu juga sudah mulai beroperasi dengan kapasitas total 1,6 MW (BPPT., 2013).

Salah satu penyebab minimnya pemanfaatan energi angin adalah kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia yang tergolong rendah. Indonesia memiliki potensi energi angin dengan kecepatan rata-rata 3 – 6 m/s (ESDM., 2015). Sehingga secara teori sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Namun demikian, dengan potensi angin di Indonesia yang hampir tersedia sepanjang tahun, pengembangan sistem pembangkit listrik energi angin untuk skala kecil sangat mungkin untuk diterapkan.

1. **Prinsip Konversi Energi Angin**

 Menurut ilmu fisika, energi kinetik dari sebuah benda dengan massa mud dan kecepatan angin $vw$ dirumuskan sesuai dengan rumus berikut dengan ketentuan kecepatan $vw $ tidak mendekati kecepatan cahaya (Bueche; 1991 dalam Kusbiantoro dkk., 2013).

E = ½ mud.$ $vw2 (2.1)

 dimana :

 E = energi angin (joule)

mud = massa udara (kg)

 vw= kecepatan angin (m/s)

 Rumus di atas juga berlaku untuk angin yang merupakan udara yang bergerak. Jika suatu “blok” udara memiliki penampang A dan bergerak dengan kecepatan $vw$, maka jumlah massa yang melewati suatu tempat dapat dilihat pada rumus berikut (White, 1986).

*ṁ* = ρ.A.$ vw$ (2.2)

Dimana :

*ṁ* = laju alir massa udara (kg/s)

ρ = kerapatan udara (kg/m3)

A = luas penampang (m2)

vw = kecepatan angin (m/s)

**2.1 Daya angin**

Daya anginadalah daya yang dibangkitkan oleh angin tiap luasan, sehingga daya angin dapat digolongkan sebagai energi potensial. Pada dasarnya daya angin merupakan angin yang bergerak per satuan waktu sehingga dapat dirumuskan pada persamaan berikut (Giancoli, 1995).

Power = Work (Energi angin) / time

 = (½ . mud. vw 2 )/ t

 = ½ . mud /t. vw 2

 = ½ . *ṁ* . vw 2

 = ½ ρ .A.vw 3 (2.3)

dimana :

P = daya angin (W)

*ṁ* = laju alir massa udara (kg/s)

mud = massa udara (kg)

t = waktu (s)

ρ = kerapatan udara (kg/m3)

A = luas penampang (m2)

vw = kecepatan angin (m/s)

**2.2 Torsi**

 Torsi biasa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut (Bueche, 1988 dalam kusbiantoro dkk, 2013). Untuk pengukuran torsi rotor digunakan metode *rope brake* seperti gambar dibawah ini:

 

 Gambar 1. Sistem *rope brake*

Torsi dengan sistem *rope brake* dapat di hitung dengan rumus berikut:

T = m . g . r (2.4)

Dimana:

 T = torsi (Nm)

m = massa pengereman (kg)

g = pecepatan gravitasi bumi (9,81 m/$s^{2})$

 r = jari-jari (m)

 **2.3 Daya mekanis turbin**

 Daya mekanisturbin adalah daya yang dihasilkan oleh turbin akibat energi kinetik angin yang menghantam rotor yang kemudian dirubah menjadi energi mekanik yang digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan listrik. Daya mekanis turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

Pr = T $\frac{2π ns }{ 60 }$ (2.5)

Dimana:

Pr = daya mekanik yang dihasilkan rotor (watt)

T = torsi (Nm)

*n*s = putaran rotor setelah pengereman (rpm)

**2.4 *Rotor Power coefficient (CPR)***

 *Rotor Power coefficient*adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan secara mekanik pada sudu akibat gaya angin terhadap daya yang dihasilkan oleh gaya *lift* pada aliran udara. Secara matematis, hubungan ini dapat dituliskan:

CPR *=*$ \frac{daya mekanis turbin}{daya angin}$

Maka,

CPR = $\frac{Pr }{P}$ = $\frac{T.2.π.ns/60}{\frac{1}{2}.ρ. A.vw^{3}}$ (2.6)

Dimana:

 CPR= koefisien daya rotor

 Pr = daya mekanik yang dihasilkan rotor (watt)

 P= daya mekanik total yang terkandung dalam angin yang melalui sudu (watt)

 *ρ* = massa jenis udara (kg/$m^{2}$)

A= luas penampang bidang putar sudu ($m^{2}$)

T = torsi (Nm)

*n*s = putaran rotor setelah pengereman (rpm)

**2.5 *Tip speed ratio (TSR)***

 *Tip speed ratio* merupakan rasio kecepatan ujung rotor turbin terhadap kecepatan angin yang melalui rotor. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah – ubah terhadap perubahan kecepatan angin. Turbin angin tipe *lift* memiliki *tip speed ratio* yang lebih besar dibanding dengan turbin angin tipe *drag. Tip speed ratio* dihitung dengan persamaan:

 λ = $\frac{π Dr n}{60 vw}$ (2.7)

Dimana

λ = tip speed ratio

Dr = diameter rotor (m)

*n* = putaran rotor sebelum pengereman (rpm)

 vw= kecepatan angin (m/s)

**3. Metode Penelitian**

Penelitian ini dikerjakan pada bulan September 2014 sampai juni 2015 Sedangkan proses pembuatan elemen – elemen turbin angin poros horisontal dilakukan secara manual dan dengan bantuan mesin di Laboratorium Mesin Proses Produksi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram. Kemudian proses perakitan dan pengambilan data dilakukan di daerah Mataram NTB.

**3.1 Profil sudu**



Gambar 2. Dimensi sudu



Gambar 3. *Symmetric airfoil (a), Cambered airfoil (b), Arched plate (c).*



Gambar 4. Pemasangan sudu



Gambar 5. Pengaturan sudut *pitch* sudu

**3.2 Prosedur penelitian**

 Pada tahap awal dilakukan pendisainan ukuran *airfoil* turbin angin menggunakan *software* matlab. Selanjutnya sudu dan komponen lainnya dibuat sesuai ukuran dan bentuk yang telah didesain. Kemudian komponen – komponen turbin dirakit menjadi sebuah *prototype* turbin angin. Pengambilan data dilakukan pada media penyearah dimana kecepatan angin 4 m/s ± 0,3 m/s didapatkan. Kecepatan angin diukur dengan *anemometer* pada empat titik di media penyearah.



Gambar 6. Rangkaian alat pengujian

**3.3 Diagram alir penelitian**



Gambar 7. Diagram alir penelitian

**4. Hasil dan Pembahasan**

**4.1 Putaran rotor (rpm)**

Gambar 8. Grafik hubungan sudut *pitch* dan profil sudu terhadap putaran rotor pada kecepatan angin 4 m/s.

 Berdasarkan gambar 8 di atas terlihat bahwa perbedaan besar sudut *pitch* menyebabkan terjadinya perbedaan besar putaran rotor pada setiap profil sudu. Pada sudut *pitch* 5⁰ sudu *cambered* dan *symmetric* menghasilkan putaran rotor maksimal, hal ini disebabkan karena pada sudut *pitch* 5⁰ bentuk permukaan sudu yang berhadapan dengan arah datangnya angin mendapatkan gaya dorong yang maksimum sehingga gaya *lift* yang dihasilkan besar dan mengakibatkan putaran rotor tinggi. Tetapi dengan penambahan besar sudut *pitch* akan mengakibatkan besarnya gaya dorong yang terjadi pada permukaan sudu yang menghadap arah datangnya angin berkurang sehingga daya angin yang diserap menjadi sedikit dan mengakibatkan penurunan gaya *lift*  dan putaran rotor.

Sedangkan untuk sudu jenis *arched plate* pada sudut *pitch* 5⁰ bentuk lengkungan sudu yang menghadap arah datangnya angin akan mengakibatkan aliran angin yang mengenai permukaan sudu pada daerah *tailing edge* akan bergerak berputar atau yang dikenal dengan istilah vortex, akibat kejadian tersebut gaya *lift* yang dihasilkan tidak maksimal sehingga menyebabkan putaran rotor belum maksimal. Tetapi dengan penambahan besar sudut *pitch* akan mengakibatkan vortex berkurang dan peningkatan gaya *lift* serta peningkatan putaran rotor. Dalam hal ini gaya *lift* maksimal didapatkan pada sudut *pitch* 20⁰ dimana putaran rotor maksimum tercapai. Sedangkan dengan penambahan besar sudut *pitch* di atas 20⁰ akan mengakibatkan aliran udara yang melewati permukaan sudu yang menghadap arah datangnya angin dengan yang membelakangi arah datangnya angin cendrung sama sehingga gaya gaya *lift* menjadi berkurang dan putaran rotor menjadi menurun.

**4.2 Daya rotor (Watt)**

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh sudut *pitch* dan profil sudu terhadap daya rotor yang dihasilkan pada kecepatan angin 4 m/s. Berdasarkan hasil pengujian daya rotor atas didapatkan grafik hubungan antara sudut *pitch* dan profil sudu terhadap daya rotor yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini:

Gambar 9. Grafik hubungan sudut *pitch* dan profil sudu terhadap daya rotor pada kecepatan angin 4 m/s.

Gambar 9di atas memperlihatkan bahwa perbedaan sudut *pitch* juga mempengaruhi daya rotor yang dihasilkan pada setiap profil sudu. Turbin angin dengan sudujenis *arched plate* pada sudut *pitch* 5⁰ menghasilkan daya rotor sebesar 2,434 Watt dan terus meningkat sampai 2,8473 Watt yang didapatkan pada sudut *pitch* 20⁰, dengan penambahan sudut *pitch* di atas 20⁰ daya kembali mengalami penurunan. Hal ini disebabkan pada sudut *pitch* 5⁰ gaya *lift* yang terjadi sudah mampu mengatasi gaya gesekan tetapi belum maksimal sehingga putaran sisa rotor yang dihasilkan kecil saat diberi pembebanan. Seiring dengan penambahan besar sudut *pitch* maka gaya *lift* menjadi lebih tinggi serta mampu mengatasi gaya gesek labih baik dan mengakibatkan putaran sisa tinggi, dimana gaya *lift* maksimal didapatkan pada sudut *pitch* 20⁰. Sedangkan pada sudut *pitch* di atas 20⁰ putaran sisa rotor kembali turun dikarenakan gaya *lift* yang terjadi mengalami penurunan. Selain itu grafik juga menunjukkan bahwa pada sudut *pitch* yang sama yakni 5⁰ dimana besar putaran rotor yang dihasilkan turbin angin dengan sudu *arched plate* lebih rendah dari sudu *cambered* tetapi daya rotor yang dihasilkan hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa sudu *arched plate* lebih efektif dalam mengatasi gaya gesekan.

Sedangkan pada turbin angin dengan sudu *cambered*, daya rotor yang dihasilkan pada sudut *pitch* 5⁰ merupakaan daya rotor tertinggi. Hal ini disebabkan pada sudut tersebut bentuk permukaan sudu menyerap daya angin dengan baik dan menghasilkan gaya *lift*  maksimal, sehingga mampu mengatasi gaya gesek yang terjadi dan berdampak pada rpm sisa yang tinggi ketika diberikan beban berupa pengereman sehingga menghasilkan daya rotor yang tinggi. Tetapi seiring dengan penambahan besar sudut *pitch* maka kemampuan rotor dalam menyerap daya anginpun ikut berkurang sehingga gaya *lift* menjadi turun dan mengakibatkan rpm sisa kecil sehingga daya rotor juga menurun.

Berbeda dengan turbin bersudu *symmetric,* daya optimum tidak dihasilkan pada sudut *pitch* 5⁰ dimana putaran tertinggi didapatkan, tetapi daya maksimal dihasilkan pada sudut *pitch* 15⁰. Hal ini dikarenakan turbin dengan sudu simetris pada sudut *pitch* 5⁰ memerlukan bantuan dalam mengatasi gaya gesek untuk melakukan putaran awal, sehingga ketika diberikan pembebanan putaran rotor akan cepat berhenti dan putaran sisapun akan kecil. Dan seiring dengan penambahan besar sudut *pitch* kemampuan untuk mengatasi gaya gesek awal semakin baik. Tetapi pada sudut *pitch* di atas 15⁰, ketika diberi pembebanan putaran rotor akan cepat berhenti. Hal ini dikarenakan dengan sudut di atas 15⁰ menyebabkan gaya *lift* turun sehingga rpm sisa semakin kecil dan menghasilkan daya rotor yang kecil.

**4.3 Rotor *Power Coeffient (CPR)***

 *Rotor Power Coeffient* merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan rotor terhadap daya angin. Dari data *CPR* didapatkan grafik hubungan antara sudut *pitch* dan profil sudu terhadap *CPR*  turbin angin horisontal yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini:

Gambar 10.Grafik hubungan sudut *pitch* dan profil sudu terhadap *CPR* pada kecepatan angin 4 m/s.

Pada gambar 10 grafik sudut *pitch* terhadap *CPR* di atas terlihat bahwa pada setiap variasi sudumenghasilkan nilai *CPR* yang berbeda. Dimana untuk turbin dengan sudu *arched plate* menghasilkan *CPR* maksimal pada sudut *pitch* 20° sebesar 0,0947. Sedangkan pada sudu jenis *chambered* dan *symmetric* dan menghasilkan *CPR* maksimal pada sudut *pitch* 5° dan 15° masing – masing sebesar 0,083 dan 0,0329. Hal ini dikarenakan daya rotor yang dihasilkan pada sudut – sudut *pitch* tersebut memiliki nilai tertinggi dan berdasarkan rumus 2.6 bahwa nilai daya rotor berbanding lurus terhadap *CPR* sehingga bisa dipastikan nilai *CPR* optimum didapatkan pada sudut *pitch* yang menghasilkan daya rotor tertinggi.

**4.4 *Tip Speed Ratio (TSR)***

*Tip Speed Ratio*merupakan rasio kecepatan ujung rotor turbin terhadap kecepatan angin yang melalui rotor. Untuk menghitung TSR kita membutuhkan variabel rpm awal rotor, diameter rotor dan kecepatan angin yang digunakan, dimana untuk diameter rotor 1 meter dan kecepatan angin 4 m/s. Kemudian data tersebut diolah dengan menggunakan rumus. Dari data TSR didapatkan grafik hubungan antara sudut *pitch* terhadap TSR seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini:

Gambar 11. Grafik hubungan sudut *pitch* dan profil sudu terhadap TSR pada kecepatan angin 4 m/s.

Berdasarkan gambar 11 di atas dapat dilihat bahwa perbedaan sudut *pitch* menyebabkan terjadinya perbedaan TSR pada setiap variasi sudu. Sudu jenis *arched airfoil* menghasilkan TSR maksimum 3,272 pada sudut *pitch* 20° dengan putaran 250,4 Rpm. Sedangkan untuk *airfoil* jenis *chambered* dan *symmetric* mengalami TSR maksimal pada sudut *pitch* 5° masing – masing sebesar 3,299 dan 2,382 dengan putaran 252,1 Rpm dan 182 Rpm. Sehingga nilai TSR maksimum untuk setiap profil sudu didapatkan pada sudut dimana poros mengalami putaran tertinggi. Hal ini disebabkan nilai TSR berbanding lurus dengan besar putaran yang terjadi.

**5. Kesimpulan dan Saran**

**5.1 Kesimpulan**

Dari hasil dan pembahasan pengaruh sudut *pitch* dan profil sudu terhadap kinerja turbin angin poros horisontal bisa ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan sudut *pitch* dan bentuk profil sudu memberikan pengaruh terhadap kinerja yang dihasilkan turbin angin poros horisontal.
2. Kinerja turbin terbaik dihasilkan oleh sudu jenis *arched plate* atau plat lengkung pada sudut *pitch* 20⁰ dengan daya sebesar 3,5592 Watt.
3. Desain sudu turbin tersebut belum mampu mencapai kinerja optimumnya pada kecepatan 4 m/s dikarenakan untuk sudu turbin horisontal dengan 3 bilah sudu akan dikatakan maksimum ketika nilai *CPR* berkisar antara 0,4 – 0,5 dan TSR berkisar antara 6 – 11.

**5.2 Saran**

Untuk penelitian selanjutnya gunakan kecepatan angin di atas 4 m/s karena dengan penambahan kecepatan angin akan meningkatkan kinerja yang dihasilkan dan kecepatan angin tersebut tersedia di daerah tempat turbin angin akan diaplikasikan.

**Daftar Pustaka**

[1] BPPT., 2013. *Indonesia Energy Outlook*.www.bppt.go.id.Pengembangan Energi Dalam Mendukung Sektor Transportasi Dan Industri Pengolahan Mineral; Jakarta

[2] Burton, T., David Sharpe., Nick Jenkins., Ervin Bossanyi., 2001. Wind Energy Handbook.Chichester : John Wiley & Sons.

[3] ESDM., 2015. Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia. <http://www.esdm.go.id/berita/37-umum/1962-potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia.pdf>; 14 februari 2015.

[4] Giancoli, Douglas C.; 1995: *Physics* *Fourth* *Edition*; Prentice Hall International Inc., New Jersey.

[5] Hau, Erich., 2005. Wind Turbines Fundamentals,Technologies, Application, Economics, 2nd Edition, Horst von Renouard, Springer, Germany.

[6] Kusbiantoro, A., Rudy Soenoko., Djoko Sutikno., 2013. *Pengaruh panjang lengkung sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros vertikal savonius.* Jurusan Teknik *Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya: Malang.*

[7] Muttaqin, F. Ridha., Bambang L., Widjiantoro., Ali Musyafa’., 2011.*Pemilihan Sudut Pitch Optimal Untuk Prototipe Turbin Angin Skala Kecil Dengan Tipe Bilah Non-Uniform Airfoil NREL S83n.* ITS Surabaya Indonesia: Surabaya.

[8] Ripaldi, A., Anas Baihaqi., David Sampelan., Yuhana Maurits., 2014. *Kajian Potensi Energi Angin Untuk Kebutuhan Listrik di Gili Trawangan Pulau Lombok*.Stasiun Klimatologi Kediri-Mataram: Mataram.

[9] White, Frank M.;1986 : *Fluid Mechanics*; McGraw Hill Book Company, New York.