

PENGARUH JUMLAH *BLADE* DAN VARIASI PANJANG *CHORD* TERHADAP PERFORMANSI TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL (TASH)

I Kade Wiratama, I Made Mara, L. Edsona Furqan Prina
Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Mataram
Email: kwiratama@tm.ftunram.ac.id

Abstract

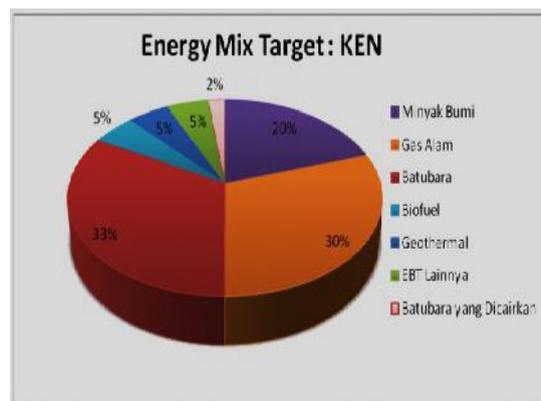
The willingness of electrical energy is one energy system has a very important role in the economic development of a country's survival. As one energy source (wind) can be converted into electrical energy with the use of a horizontal axis wind turbine. Wind Energy Conversion Systems (WECS) that we know are two wind turbines in general, ie the horizontal axis wind turbine and vertical axis wind turbine is one type of renewable energy use wind as an energy generator. The purpose of this study was to determine the effect of the number of blade and the radius chord of rotation (n), Torque (T), Turbine Power (P), Power Coefficient (CP) and Tip Speed Ratio (λ) generated by the horizontal axis wind turbine with form linear taper. The results show that by at the maximum radius of the chord R3 the number blade 4 is at rotation = 302.700 rpm, $P_{turbine} = 7.765$ watt, Torque = 0.245 Nm, $\lambda = 3.168$ and $C_p = 0.403$ or 40.3%.

Keywords: *Torque, Chord, Coefficient Power and Tip Speed Ratio.*

A. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik dalam sistem penyediaan energi nasional merupakan hal yang sangat penting dan juga mempunyai peran sangat besar dalam kelangsungan perkembangan ekonomi suatu negara. Terlebih lagi saat ini dimana ketersediaan cadangan energi yang berasal dari fosil yang semakin menipis maka akan memunculkan tantangan yang harus dihadapi oleh pemerintah dalam penyediaan kebutuhan energi akibat dari bertambahnya jumlah penduduk dan juga peningkatan perekonomian. Dalam Kebijakan Energi Nasional, salah satu kebijakan utama pengembangan energi nasional adalah meningkatkan diversifikasi energi melalui upaya pemanfaatan energi terbarukan seperti panas bumi, tenaga air, energi surya, energi angin dan biomassa dimana ditargetkan sebesar 17% menggunakan energi terbarukan dari total *energy mix* pada tahun 2025. Dengan memanfaatkan energi terbarukan maka ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil pada sistem penyediaan energi nasional dapat dikurangi. Selain itu, isu pemanasan global yang dikaitkan dengan konsumsi bahan bakar fosil menjadi salah satu alasan untuk mengurangi tingkat penggunaan bahan bakar fosil.

Mengingat kedepan peran energi terbarukan yang sangat penting dalam sistem penyediaan energi nasional, maka diperlukan kebijakan yang mendukung keberlanjutan pelaksanaannya.



Gambar 1. Target *energy mix* Kebijakan Energi Nasional (KEN), [1 6].

Tabel 1. Pengelompokan potensi energi angin, pemanfaatan dan lokasi potensial.

KELAS	Kec. Angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m^2)	Kapasitas (kW)	Lokasi
Skala Kecil	2,5 - 4,0	< 75	s/d 10	Jawa, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi
Skala Menengah	4,0 - 5,0	75 - 150	10 - 100	NTB, NTT, Sulsel, Sultra
Skala Besar	>5,0	> 150	> 100	Sulsel, NTB, NTT, Pantai Selatan Jawa

(Sumber : [1 6])

Dari data tabel 1 menunjukkan bahwa energi angin sangat potensial untuk

dimanfaatkan sebagai sumber penggerak kincir angin untuk menghasilkan energi listrik (SKEA). Untuk mendapatkan efek kontinuitas putaran turbin angin pada rentang kisaran tersebut maka efisiensi penangkap angin (baling-baling) haruslah dibuat seefektif mungkin. Oleh karena itu pertimbangan aerodinamik terhadap efek variasi kecepatan angin dan faktor baling-baling seperti bentuk sudu, jumlah sudu dan variasi panjang chord serta variasi luasan penangkap angin akan sangat berpengaruh terhadap output energi yang dihasilkan.

Berdasarkan permasalahan diatas terkait kebutuhan energi listrik dan potensi energi angin yang bisa dikembangkan maka investigasi yang dilakukan bertujuan untuk memperoleh performansi turbin angin poros horizontal yang maksimal dengan mengetahui pengaruh jumlah *blade* dan *radius chord* pada turbin angin sumbu horizontal.

B. LANDASAN TEORI

Energi Angin

Teori Momentum Elementer Betz

Besarnya efisiensi teoritis turbin angin C_p adalah 0,593, [2 5]. Dengan kata lain, rotor turbin angin akan mampu mengkonversikan energi angin menjadi daya rotor (daya berguna) tidak lebih dari 60% dari tenaga total angin. Betz adalah orang pertama yang menemukan nilai ini, untuk itu nilai ini disebut juga dengan *Betz Factor*.

Turbin Angin

Efisiensi Turbin Angin

Efisiensi Rotor

Daya angin maksimum yang tersedia pada turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah:

$$P = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

maka daya yang dapat diekstrak menjadi daya rotor pada turbin angin menjadi:

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2)$$

Daya Turbin Angin

Daya adalah energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin, seperti diungkapkan dengan persamaan berikut:

$$\text{Daya Angin } P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (3)$$

$$\text{Daya Turbin } P = T \cdot \omega \quad (4)$$

dimana :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}, [3].$$

dimana, P = Daya (Watt)

ρ = Massa jenis angin (Kg/m^3)

A = Luas Penampang (m^2)

V = Kecepatan Angin (m/s)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

n = kecepatan putaran (rpm)

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 rotor.

Tip speed ratio dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot r}{60 \cdot V} \quad (5)$$

dimana :

λ : *tip speed ratio*

r : jari-jari rotor (m)

n : putaran rotor (rpm)

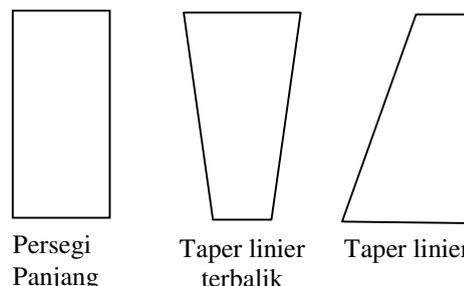
V : kecepatan angin (m/s)

Konstruksi Turbin Angin

Blade

Untuk mendapatkan performan yang optimal dari sebuah kincir angin ketika dioperasikan maka perlu diperhatikan sebagai berikut:

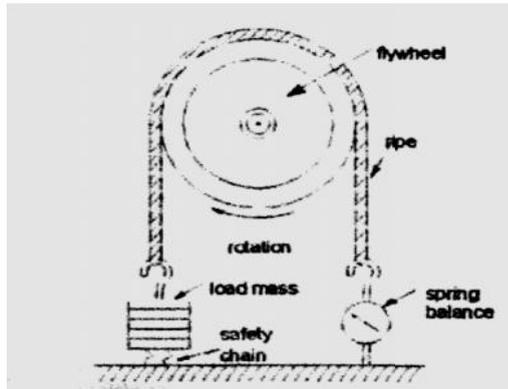
- Bentuk *blade* seperti sekrup atau memuntir, sehingga aerodinamisnya semakin baik.
- Untuk mendapatkan energi yang lebih baik sayap-sayap dipasang langsung pada rotor.
- Untuk *blade* yang ideal berjumlah 3 buah *blade*, karena menghasilkan pembagian gaya dan keseimbangan yang lebih baik, [4].



Gambar 2. Jenis Jenis Model *Blade*, [1].

Rope brake

Sistem *rope brake* di tunjukkan pada gambar :



Gambar 3. Sistem *Rope Brake*, [5].

Sistem ini biasanya digunakan untuk mesin dengan kecepatan yang relatif lambat untuk mencari torsi.

$$T = \text{Gaya Tangensial} \times \text{Radius} \\ = 9,81 (M) \frac{Df+dr}{2} \quad (6)$$

Ket : Df = Diameter *flywheel* (m)

dr = Diameter *rope* (m)

M = Beban Pengereman (Kg)

C. METODELOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*) yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh jumlah blade dan variasi panjang *chord* terhadap unjuk kerja turbin angin sumbu horizontal.

Variable-Variable Penelitian

Variable terikat: Daya Turbin (P), Putaran (n), Torsi (T), *Tip speed ratio* (TSR), *Coefficient Power* (CP)

Variabel bebas: Variasi panjang *chord* sendiri yang dibuat menggunakan pipa pvc sebesar $R1 = 45$ mm, $R2 = 60$ mm dan $R3 = 75$ mm: Jumlah *blade* yang digunakan yaitu 2, 3, 4 dan 5 *blade*.

Prosedur Penelitian

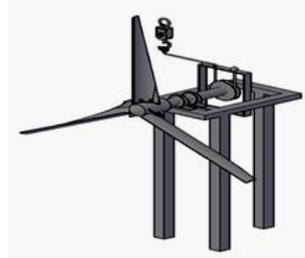
Tahap *Drawing*

Untuk tahap *drawing* ini menggunakan bantuan *software*, yaitu *AutoCad*. Pada tahap *drawing* juga menentukan bahan-bahan

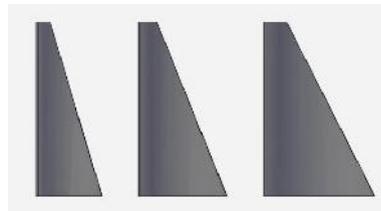
yang akan digunakan dalam pembuatan turbin angin tersebut.

Tahap Pembuatan

Berikut model turbin angin yang digunakan dalam penelitian



Gambar 4. Gambar Turbin Angin



Gambar 5. Bentuk *Blade*

Tahap Pengujian

Pengujian model dilakukan di laboratorium dimana untuk mendapatkan kecepatan angin digunakan bantuan kipas angin dengan mengatur kecepatan angin. Setelah kecepatan nominal angin ditentukan, maka pengujian dengan cara menggunakan angin buatan yang dihasilkan oleh sebuah kipas atau fan. Kecepatan angin yang dihasilkan fan diukur dengan menggunakan *anemometer* sesuai dengan kecepatan angin yang diinginkan dengan cara memindahkan jarak antara fan dengan objek penelitian yaitu prototype turbin angin. Variasi panjang *chord* $R1$, $R2$, dan $R3$ dan jumlah *blade* 2, 3, 4, dan 5 *blade*.

Metode Pengumpulan Data

Pada pengujian ini data-data yang akan diamati adalah parameter kecepatan angin yang diukur dengan menggunakan *Anemometer*, putaran poros turbin yang diukur dengan menggunakan *Tachometer* dan gaya pengereman untuk menghitung torsi turbin angin menggunakan *rope brake*.

Pengolahan Data.

Data yang di yang diperoleh nantinya akan digunakan untuk menghitung Torsi (T), *Coefficien Power* (Cp), *Tip Speed Ratio* (λ), dan Daya Listrik (P) yang dimiliki oleh turbin

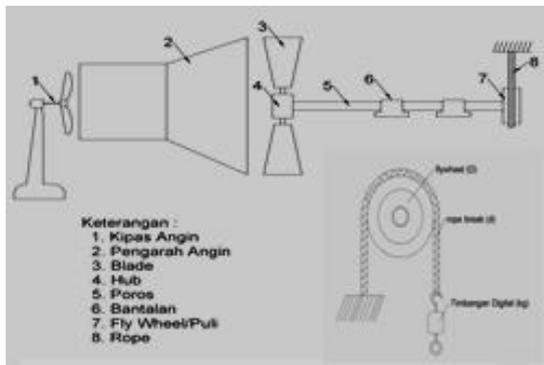
kemudian diolah didalam rumus dan di tampilkan dalam bentuk grafik.

Tahap Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan uji statistik terhadap data-data yang didapatkan pada tahap pengujian. Selain itu juga dianalisa dengan membandingkan grafik manakah yang lebih baik, sehingga dihasilkan suatu data yang sesuai dengan tujuan awal penelitian.

Pelaksanaan Penelitian

Tahap persiapan pada tahap ini dilakukan persiapan sebelum melakukan penelitian yaitu pemasangan alat, melakukan inspeksi pada setiap objek penelitian, mengoperasikan peralatan pendukung dan melihat kondisi lingkungan apakah kondisi pengujian dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil hasil yang optimal



Gambar 6. Set-Up Alat Uji dan Benda Uji

Tahap pengujian dan pengambilan data sehingga setelah keempat point tahap persiapan di atas terpenuhi dan pengambilan data dapat dilakukan.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Tabel 2. Hasil Pengambilan Data Untuk Putaran (n).

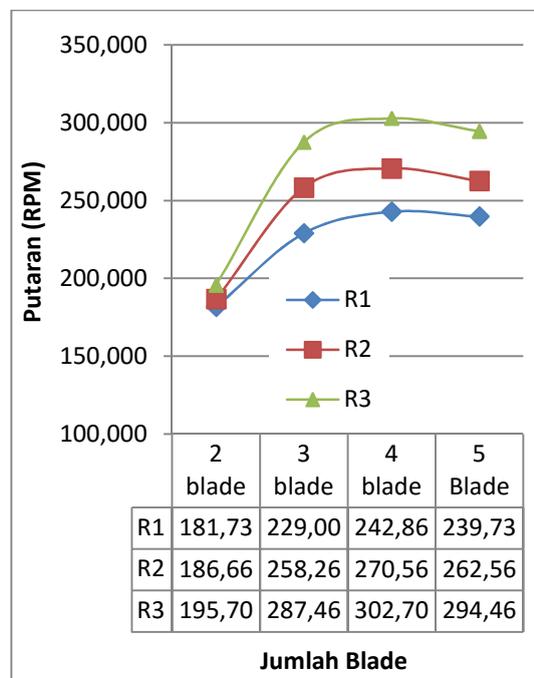
Jumlah Blade	Jumlah Putaran Turbin (RPM)		
	R1	R2	R3
2	182,500	187,400	195,700
2	180,900	185,900	195,600
2	181,800	186,700	195,800
3	229,200	258,300	287,200
3	228,900	258,300	287,800
3	228,900	258,200	287,400
4	242,700	270,800	302,600
4	243,000	270,600	303,500
4	242,900	270,300	302,000
5	239,800	262,600	294,300
5	239,700	262,800	294,500
5	239,700	262,300	294,600

Tabel 3. Hasil Pengambilan Data Untuk Beban Pengereman.

Jumlah Blade	Beban Pengereman (Kg)		
	R1	R2	R3
2	0.105	0.120	0.150
2	0.105	0.125	0.155
2	0.105	0.125	0.150
3	0.155	0.295	0.570
3	0.147	0.295	0.590
3	0.145	0.290	0.580
4	0.307	0.540	0.844
4	0.304	0.548	0.843
4	0.305	0.545	0.845
5	0.268	0.357	0.675
5	0.266	0.353	0.677
5	0.265	0.355	0.674

Pembahasan

1. Hubungan Jumlah Blade dan Panjang Chord Terhadap Putaran (RPM).



Gambar 7. Grafik hubungan jumlah blade dan panjang chord terhadap putaran.

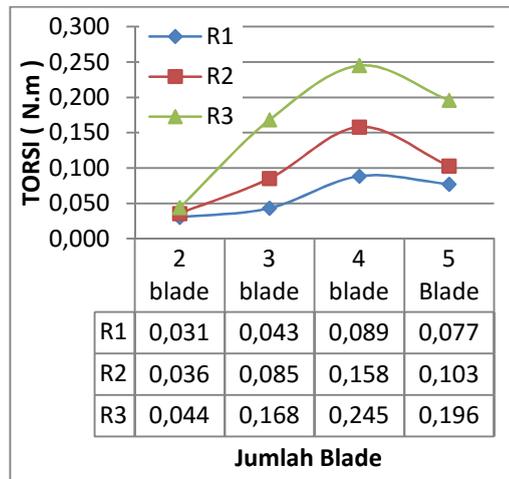
Dari grafik hubungan jumlah blade dan panjang chord terhadap putaran menunjukkan bahwa putaran maksimal yang dihasilkan oleh turbin angin sebesar 302,700 rpm dengan besar panjang chord maksimal R3 pada jumlah blade 4, sedangkan untuk putaran minimal yang terjadi pada besar panjang chord R1 sebesar 181,733 rpm pada jumlah blade 2.

Tabel 4. Analisa Statistik ANOVA Untuk Jumlah Putaran (RPM) Turbin Angin.

Anova Putaran (RPM) Dengan Taraf Signifikan 1 %					
Source of Variation	SS	df	MS	F	F crit
Jumlah Blade	41148,87	3	13716,29	78753,82	4,718051
Radius Chord	13151,8	2	6575,901	37756,37	5,613591
Interaction	2191,311	6	365,2185	2096,948	3,666717
Within	4,18	24	0,174167		
Total	56496,16	35			

Jika melihat data berdasarkan analisa statistik anova untuk Jumlah Putaran (RPM) maka terlihat bahwa dengan dilakukannya variasi variasi jumlah *blade* dan panjang *chord* berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin dengan taraf signifikan 1% hal ini terbukti dari nilai F (F hitung) yang lebih besar dari F *crit* (F tabel), Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hubungan interaksi yang terjadi dari kedua variasi yang dilakukan.

2. Hubungan Jumlah *Blade* dan Panjang *Chord* Terhadap Torsi (T).



Gambar 8. Grafik hubungan jumlah *blade* dan panjang *chord* terhadap Torsi.

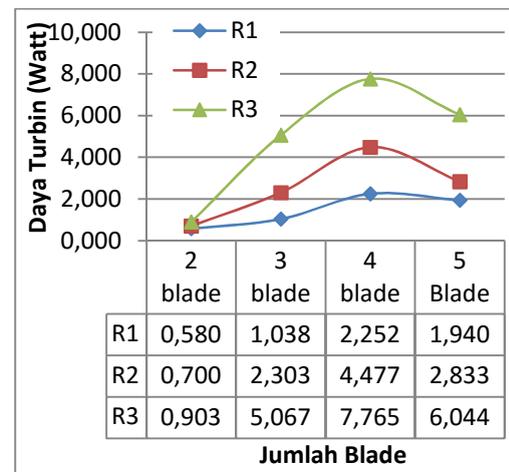
Dari grafik hubungan jumlah *blade* dan panjang *chord* terhadap Torsi meunjukkan bahwa torsi maksimum yang dihasilkan pada jumlah *blade* 4 dan panjang *chord* maksimal R3 sebesar Torsi 0,245 N.m, sedangkan daya minimum terjadi pada panjang *chord* terkecil R1 dan jumlah *blade* 2 sebesar Torsi 0,031 N.m.

Tabel 5. Analisa Statistik ANOVA Untuk Nilai Torsi Yang Dihasilkan.

Anova Torsi Dengan Taraf Signifikan 1 %					
Source of Variation	SS	df	MS	F	F crit
Jumlah Blade	21,18515	3	7,061715	28054,62	4,718051
Radius Chord	21,99895	2	10,99947	43698,47	5,613591
Interaction	7,406862	6	1,234477	4904,303	3,666717
Within	0,006041	24	0,000252		
Total	50,597	35			

Berdasarkan Tabel 5 yaitu analisa statistik anova di atas maka dengan dilakukannya variasi jumlah *blade* dan variasi panjang *chord* berpengaruh sangat nyata terhadap nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin dengan taraf signifikan 1% hal ini terbukti dari nilai F (F hitung) yang lebih besar dari F *crit* (F tabel). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hubungan interaksi dari keduanya dimana dari data tetap terlihat bahwa F (F hitung) lebih besar dari F (F *crit*).

3. Hubungan Jumlah *Blade* dan Panjang *Chord* Terhadap Daya Turbin.



Gambar 9. Grafik hubungan jumlah *blade* dan panjang *chord* terhadap daya turbin.

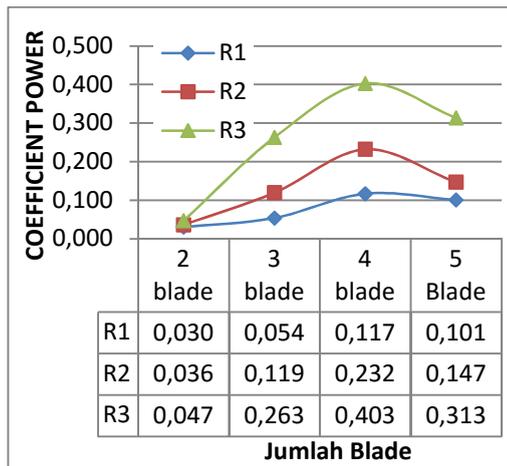
Dari Gambar 9 menunjukkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan pada jumlah *blade* 4 dan panjang *chord* terbesar R3 sebesar P turbin 7,765 watt, sedangkan daya minimum terjadi pada panjang *chord* terkecil R1 dan jumlah *blade* 2 sebesar P turbin 0,580 watt yang dihasilkan dari perkalian torsi (T) dengan kecepatan sudut (ω) yang diukur secara berurutan menggunakan *rope brake* dan *tachometer* pada saat penelitian.

Tabel 6. Analisa Statistik ANOVA untuk Daya Turbin (Watt).

ANOVA Daya Turbin dengan taraf signifikan 1 %					
Source of Variation	SS	df	MS	F	F crit
Jumlah Blade	80,3512	3	26,78373	23350,69	4,718051
Radius Chord	76,04565	2	38,02283	33149,19	5,613591
Interaction	23,4433	6	3,907216	3406,403	3,666717
Within	0,027529	24	0,001147		
Total	179,8677	35			

Dari Tabel 6 menunjukkan bahwa dengan dilakukannya variasi jumlah *blade* dan panjang *chord* berpengaruh sangat nyata terhadap daya turbin yang dihasilkan dengan taraf signifikan 1% hal ini terbukti dari nilai F (F hitung) yang lebih besar dari F *crit* (F tabel). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hubungan interaksi yang terjadi dari kedua variasi yang dilakukan.

4. Hubungan Jumlah *Blade* dan Panjang *Chord* Terhadap CP.



Gambar 10. Grafik hubungan jumlah *blade* dan panjang *chord* terhadap CP.

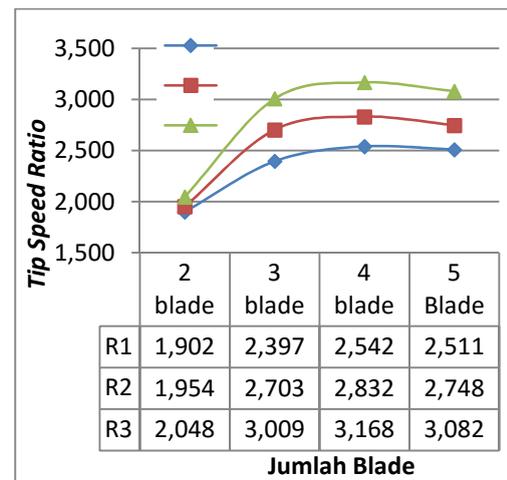
Nilai Cp ini diperoleh dengan cara membandingkan nilai daya mekanis real dengan nilai daya teoritis. Dari perhitungan Cp diketahui bahwa nilai Cp terbaik diperoleh pada panjang *chord* maksimal R3 dan jumlah *blade* 4 dengan nilai CP 0,403 atau 40,3%, sedangkan untuk nilai terkecil CP diperoleh pada panjang *chord* R1 dan jumlah *blade* 2 yaitu dengan nilai CP 0,030 atau 3,0%.

Tabel 7. Analisa Statistik ANOVA untuk Coefficient Power (RPM) Turbin Angin.

ANOVA Coefficient power (CP) dengan taraf signifikan 1 %,					
Source of Variation	SS	df	MS	F	F crit
Jumlah Blade	0,215209	3	0,071736	21600,1	4,718051
Radius Chord	0,204917	2	0,102458	30850,62	5,613591
Interaction	0,06339	6	0,010565	3181,155	3,666717
Within	7,97E-05	24	3,32E-06		
Total	0,483595	35			

Jika melihat data berdasarkan Tabel 7 maka dengan dilakukannya variasi jumlah *blade* dan variasi *radius chord* berpengaruh sangat nyata terhadap *coefficient power* yang dihasilkan oleh turbin dengan taraf signifikan 1% hal ini terbukti dari nilai F (F hitung) yang lebih besar dari F *crit* (F tabel). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hubungan interaksi yang terjadi dari kedua variasi yang dilakukan.

5. Hubungan Jumlah *Blade* dan Panjang *Chord* Terhadap TSR



Gambar 11. Grafik hubungan jumlah *blade* dan panjang *chord* terhadap TSR.

Dari Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai λ maksimal pada jumlah *blade* 4 dan panjang *chord* maksimal R3 lebih besar dibandingkan jumlah *blade* yang lain, hal ini karena faktor penentu dari λ seperti kecepatan angin dan putaran, sehingga dengan semakin meningkatnya putaran turbin maka λ yang dihasilkan akan meningkat.

Untuk semua pengujian *blade*, nilai λ maksimal pada panjang *chord* maksimal R3 terjadi pada jumlah *blade* 4 yaitu sebesar $\lambda_{max} = 3,168$, sedangkan untuk nilai

terendah pada panjang *chord* R1 dihasilkan pada jumlah *blade* 2 yaitu sebesar $\lambda_{min} = 1,902$.

Tabel 8. Analisa Statistik ANOVA Untuk Nilai *Tip Speed Ratio* Yang Dihasilkan.

Anova <i>Tip speed ratio</i> Dengan Taraf Signifikan 1 %					
Source of Variation	SS	df	MS	F	F crit
Jumlah Blade	4,505229	3	1,501743	78730,635	4,718051
Radius Chord	1,44171	2	0,720855	37791,664	5,613591
Interaction	0,239285	6	0,039881	2090,7975	3,666717
Within	0,000458	24	1,91E-05		
Total	6,186682	35			

Dari Tabel 8 menunjukkan bahwa dengan dilakukannya variasi jumlah *blade* dan variasi panjang *chord* berpengaruh sangat nyata terhadap nilai *tip speed ratio* yang dihasilkan oleh turbin dengan taraf signifikansi 1% hal ini terbukti dari nilai F (F hitung) yang lebih besar dari F *crit* (F tabel). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hubungan interaksi dari keduanya dimana dari data tetap terlihat bahwa F (F hitung) lebih besar dari F (F *crit*).

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari rangkaian investigasi dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Putaran yang dihasilkan pada turbin angin sumbu horizontal dengan jumlah *blade* 4 lebih baik bila dibandingkan dengan jumlah *blade* 2, 3 dan 5. Panjang *chord* R3 lebih baik dari R1 dan R2.
2. Unjuk kerja Turbin paling maksimum dihasilkan oleh turbin angin pada panjang *chord* R3 dengan jumlah *blade* 4 yaitu putaran = 302,700 rpm, $P_{turbin} = 7,765$ Watt, Torsi = 0,245 N.m, $\lambda = 3,168$ dan $C_p = 0,403$ atau 40,3%.
3. Unjuk kerja turbin yang dihasilkan pada panjang *chord* R3 dengan jumlah *blade* 4 lebih baik bila dibandingkan jumlah *blade* yang lainnya.
4. Variasi Jumlah *Blade* dan Panjang *chord* berpengaruh signifikan terhadap Putaran, Torsi, Daya Turbin, *Coefficient Power* dan *Tip Speed Ratio* dilihat dari hasil analisa statistik ANOVA.
5. Turbin angin hasil rancangan ini dapat dijadikan referensi untuk pengembangan dan penelitian Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) selanjutnya.

Saran

Dalam penelitian ini turbin angin yang digunakan adalah turbin angin sumbu horizontal dengan *blade* berbentuk *taper linier*, perlu dilakukan beberapa modifikasi dari bentuk *blade* yang berbentuk lengkung dengan memvariasikan arah lengkungan ditambah dengan bentuk rata. Selain itu perlu penelitian lebih terhadap sudut serang yang optimum digunakan untuk bentuk dasar *blade* turbin angin apakah dapat mempengaruhi unjuk kerja yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu horizontal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim CASINDO Nusa Tenggara Barat, 2011, *Rencana Aksi Energi Terbarukan Provinsi Nusa Tenggara Barat, Laporan D-25*. Mataram.
- [2] Hau, E., 2006, *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. Edisi Kedua. Germany. Springer.
- [3] Djuhana., 2013, *Metode Pengukuran Momen dan Daya*, Jakarta : Pusat Pengembangan Bahan Ajar , UMB.
- [4] Alamsyah, H., 2007, Pemanfaatan Turbin Angin Dua Sudu Sebagai Penggerak Mula Alternator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin, *Tugas Akhir*, Universitas Negeri Semarang.
- [5] Anonim 2, 2013, *Torque, The Rope Brake*