

## PENGARUH SUDUT SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL

**Abdul Razak, Husin Ibrahim, Abdul Rahman**

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

e-mail: razak1103@yahoo.com ; husinibrahim@yahoo.co.id ;

abdulrahman120759@polmed.ac.id

### **Abstrak**

*Turbin angin 6 sudu komersial juga telah banyak beredar di pasaran dan telah cukup banyak digunakan dalam skala kecil untuk berbagai penggunaan, terutama menghasilkan energi listrik. Namun performa dari turbin angin tersebut masih kurang optimal. Cut in speed turbin angin 6 sudu komersial nilainya masih cukup besar yaitu 5 m/s. Jika desain rotor tidak optimal maka potensi daya dari angin dengan kecepatan 5 m/s terbuang percuma. Dalam pengkonversian energi angin oleh turbin angin, desain dari rotor memegang peranan penting agar dihasilkan energi yang optimal. Erich Hau dalam Wind turbines Fundamental, technologies, Application, Economics (2013) menuliskan bahwa turbin angin dengan banyak sudu mempunyai koefisien daya paling besar yaitu 0,31 pada tip speed ratio sebesar 1,5 dalam kondisi ideal. Untuk mendapatkan angka itu diperlukan desain yang optimal dari sebuah rotor dan kondisi angin yang ideal. Dalam penelitian ini, peneliti melakukan pengujian terhadap variasi sudut sudu 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, dan 80°. Dari pengujian yang dilakukan pada Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) di laboratorium dengan variasi sudut sudu dihasilkan kondisi kinerja terbaik pada sudut sudu 70° dimana daya Turbin maksimal 1,542 watt dan efisiensi maksimal yang dicapai 19%.*

**Kata kunci:** Turbin Angin, Sudut sudu, Kinerja.

### **PENDAHULUAN**

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 digunakan di Denmark, Belanda, dan Negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan windmill. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Co: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Co: batubara dan minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Wilayah Indonesia yang berada di sekitar daerah ekuator merupakan daerah pertemuan sirkulasi Hadley, Walker, dan lokal. Kondisi ini ditengarai memiliki potensi angin yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif pembangkit listrik yang selama ini lebih banyak menggunakan bahan bakar minyak bumi.

Seiring perkembangan zaman, kebutuhan listrik semakin meningkat, untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut di bangun PLTA, PLTMH serta pembangkit listrik lainnya seperti PLTU, PLTD, maupun PLTG yang sangat bergantung pada bahan bakar fosil dan berpotensi menimbulkan polusi terhadap lingkungan yang tujuannya untuk memenuhi target pemerintah 35.000 MW yang telah dicanangkan.

Mengingat sumber energi fosil, khususnya minyak bumi yang tergolong sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable resources*), dan tentunya ketersediaannya akan sumber tersebut terus berkurang, maka perlu dimanfaatkannya

sumber energi alternatif yang ketersediaannya di alam selalu terjamin dan ramah lingkungan. Untuk itu perlu untuk diadakan kajian lebih mendalam untuk menentukan daerah-daerah yang memiliki potensi sumber energi angin di wilayah Indonesia khususnya daerah yang mengalami kesulitan dalam sistem jaringan listrik.

Pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui mulai banyak diterapkan diberbagai negara. Total kapasitas yang dimanfaatkan pada tingkat dunia pada pertengahan tahun 2013 sebesar 296.255 MW dan diprediksi pada akhir tahun 2013 akan meningkat menjadi 318.000 MW. Berdasarkan data dari *World Wind Energy Association (WWEA)* (2013) Cina, Amerika, Jerman, Spanyol, dan India merupakan 5 Negara yang paling banyak menggunakan energi Angin. Total kapasitas energi angin yang dimanfaatkan kelima negara tersebut mencapai 73% dari kapasitas yang tersedia.

Di Indonesia, dalam *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025, juga sudah memulai untuk menggunakan potensi angin yang dimiliki. Pembangkit listrik tenaga angin atau sering disebut juga pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) juga sudah mulai banyak digunakan di Indonesia meskipun masih dalam skala kecil, PLTB ini tersebar di beberapa wilayah yaitu NTB, NTT, Yogyakarta, Jawa tengah, Sulawesi Utara dan Sulawesi Tenggara.

Turbin angin 6 sudu komersial juga telah banyak beredar di pasaran dan telah cukup banyak digunakan dalam skala kecil untuk berbagai penggunaan, terutama menghasilkan energi listrik. Namun performa dari turbin angin tersebut masih kurang optimal. *Cut in speed* turbin angin 6 sudu komersial nilainya masih cukup besar yaitu 5 m/s. Jika desain rotor tidak optimal maka potensi daya dari angin dengan kecepatan 5 m/s terbuang percuma.

Dalam pengkonversian energi angin oleh turbin angin, desain dari rotor memegang peranan penting agar dihasilkan energi yang optimal. Erich Hau dalam *Wind turbines Fundamental, technologies, Application, Economics* (2013) menuliskan bahwa turbin angin dengan banyak sudu mempunyai koefisien daya paling besar yaitu 0,31 pada *tip speed ratio* sebesar 1,5 dalam kondisi ideal. Untuk mendapatkan angka itu diperlukan desain yang optimal dari sebuah rotor dan kondisi angin yang ideal. Pemilihan airfoil dan desain sudu secara langsung sangat berdampak pada performa turbin angin.

Maka dari itu perlu dilakukan studi desain sudu, dan selanjutnya dilakukan optimalisasi desain sudu. Salah satu yang menjadi perhatian dalam kajian sudu turbin angin adalah penentuan sudut sudunya sehingga kinerja turbin angin menjadi maksimal dan menghasilkan daya yang optimal sesuai desain yang telah ditentukan. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk mengkaji “Pengaruh Sudut Sudu terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal TASH)”

## TINJAUAN PUSTAKA

### Energi Angin

Daya adalah energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin, seperti diungkapkan dengan persamaan dibawah ini (Daryanto: 2007).

$$P=0,5A \rho V^3 \text{ Watt} \tag{1}$$

Persamaan mengenai daya angin ini dapat dijabarkan sebagai berikut. Karena perbedaan kerapatan udara di dataran rendah dan di daerah yang tinggi, energi angin yang dapat diekstrak di daerah pantai akan lebih besar dibandingkan dengan yang di pegunungan. Kemudian apabila suatu tempat memiliki kecepatan angin 2 kali lebih cepat

dari tempat lain, tempat pertama tersebut memiliki energi angin 8 kali lebih besar. Oleh karena itu, pemilihan lokasi sangat menentukan besarnya penyerapan energi angin.

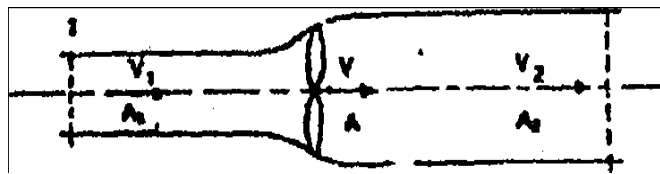
Daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin dengan luas sapuan rotor  $A$  adalah,

$$P_{maks} = 16/27 \times 0,5 \rho A V^3 \text{ Watt} \quad (2)$$

Angka  $16/27 = 59,3\%$  ini disebut batas Betz (*Betz limit*, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin sumbu vertikal. (Daryanto: 2007). A. Betz dalam bukunya *Die Windmuhlen im Lichte neuer Forschung. Die Naturwissenschaft* (1927), dianggap sebagai sarjana yang pertama memperkenalkan teori tentang turbin angin. Ia mengasumsikan bahwa, suatu turbin ideal merupakan rotor tanpa naf (hub) dan mempunyai sudu-sudu yang tak terhingga jumlahnya tanpa hambatan. Juga diasumsikan bahwa, aliran udara di depan dan di belakang rotor memiliki kecepatan yang seragam (aliran laminar).

Jika  $V_1$  = kecepatan angin di depan rotor,  $V_2$  = kecepatan angin di belakang rotor dan  $V$  = kecepatan angin pada saat melalui rotor (Gambar 1) maka berdasarkan persamaan kontinuitas (Tedjo. R. N: 2005).

$$A_1 V_1 = A \cdot V = A_2 V_2 \quad (3)$$



Gambar 1. Asumsi Teori Betz

### Daya turbin

Energi kinetik dari massa udara yang bergerak dengan kecepatan  $u$  pada arah  $x$  adalah:

$$U = 0,5 m V^2 = 0,5 \rho A x V^2, \text{Joules} \quad (4)$$

Besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh angin (potensi angin) adalah turunan dari energi kinetik terhadap waktu dan sebanding dengan rapat massa udara yang mengalir melalui permukaan tertentu dan kecepatan angin yang melalui bidang permukaan sapuan rotor.

$$P_w = 0,5 \rho A V^3, \text{ Watt} \quad (5)$$

Daya mekanis yang dihasilkan dari kerja rotor turbin angin adalah:

$$P_m = C_p 0,5 \rho A V^3, \text{ Watt} \quad (6)$$

$C_p$  = Koefisien daya rotor (*Power Coefficient*)

Besarnya torsi untuk poros yang berputar diberikan oleh persamaan, (Shigley, 1983, Kane, 1987):

$$T_m = (P_m / \omega_m) \text{ ,m} \quad (7)$$

$$F_m = \mu . N \text{ dan } m = .o$$

TSR (*Tip Speed Ratio*) atau perbandingan kecepatan di tip turbin angin (ujung) dan kecepatan angin yang didapat oleh turbin. Untuk menghitung TSR ( $\lambda$ ) dapat menggunakan persamaan:

$$\lambda = \omega_m . r_{rotor} / V \quad (8)$$

### Koefisien Daya

Koefisien daya adalah hal penting dalam merancang turbin angin karena menunjukkan berapa besar energi angin yang dapat diekstraksi dari energi kinetik angin yang melalui penampang rotor. Koefisien daya sangat mempengaruhi kinerja turbin angin, dan koefisien daya dipengaruhi oleh konstruksi turbin angin dan prinsip konversi energinya. Keluaran daya dari rotor dinyatakan dengan

$$P_m = \frac{1}{4} \rho A (V_1^2 - V_2^2)(V_1 + V_2) \quad (9)$$

Dimana:

$V_1$  = kecepatan angin sebelum melewati turbin (m/s)

$V_2$  = kecepatan angin setelah melewati turbin (m/s)

Efisiensi/perbandingan antara daya luaran turbin terhadap daya total yang melalui penampang rotor disebut koefisien daya  $C_p$  yaitu

$$C_p = P_m / P_w \quad (10)$$

### Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah alat yang digunakan untuk merubah energi angin menjadi energi putar menggunakan bilah-bilah sudu yang kemudian diteruskan ke generator sebagai penghasil listrik.

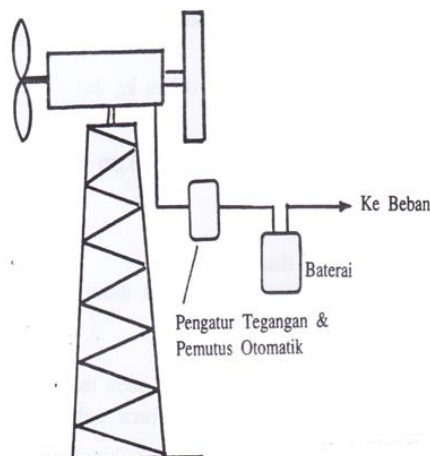
#### a. Jenis Turbin Angin

##### 1. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.

##### 2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah.

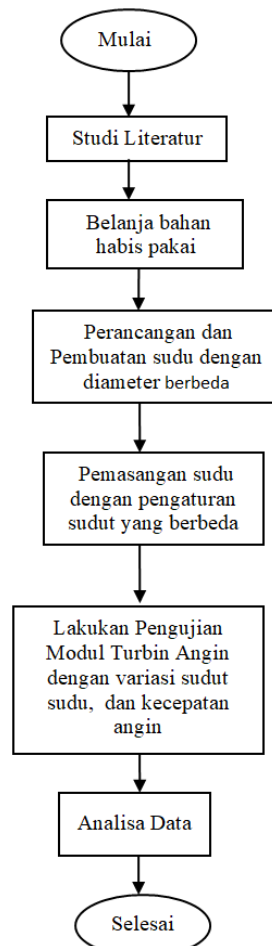


Gambar 2. Skema Pusat Listrik Tenaga Angin Skala Kecil

## METODE PENELITIAN

### Metodologi dan Lokasi Penelitian

Metododologi penelitian yang dilakukan adalah sebagaimana yang tercantum pada *flowchart* di bawah ini:



Gambar 3. *Flowchart* penelitian

Lokasi penelitian yang dilakukan adalah Laboratorium Terpadu Politeknik Negeri Medan.

### Tahapan-Tahapan Penelitian

Beberapa tahapan dalam penelitian ini adalah:

- a. Menyiapkan modul/alat uji dan memasang 6 buah sudu yang dapat dipasang dan dilepas pada rotor modul yang ada pada labarotorium Terpadu Politeknik Negeri Medan.
- b. Melakukan Pengujian  
Pengujian modul Pembangkit Listrik Tenaga Bayu PLTB dengan mengatur ukuran sudut sudu TASH, mengatur persentase putaran blower (mendapatkan kecepatan angin nominal) dan kemudian mencatat semua data putaran rotor, Arus dc, tegangan dc, temperatur dan tekanan udara.
- c. Menghitung daya rotor, koefisien daya pada berbagai variasi sudut sudu dan kecepatan angin.
- d. Menganalisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja TASH.

### Parameter Pengukuran dan Pengamatan

Parameter yang diamati/diukur pada penelitian ini adalah putaran rotor, daya TASH, arus dan tegangan pada beban DC, temperatur dan tekanan udara dengan variasi sudut sudu 30,40,50,60,70 dan 80 derajat. Posisi sudut sudu 0° dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 4. Posisi sudut sudu TASH pada 0°

### Model Penelitian

Model penelitian yang dilakukan berupa eksperimen di laboratorium.

### Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini adalah pertama melakukan pengaturan kecepatan angin dengan mengatur persentase putaran blower dan mengatur posisi sudut sudu rotor. Kemudian menghubungkan Turbin angin dengan beban DC yang merupakan satu rangkaian. Pencatatan data hasil pengujian yang telah terintegrasi dengan sistem komputer

### Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini adalah dengan melakukan eksperimen di laboratorium dengan menggunakan sistem komputer Sementara itu, analisa data dengan menggunakan microsoft XL.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan pengujian Turbin Angin Sumbu Horizontal yang terdapat di Laboratorium terpadu Politeknik Negeri Medan hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel dan Gambar berikut ini;

Tabel 1. Data Penelitian Pada AVE 50%

| Sudut      | luas rotor        | V      | I     | N     | V     | T     | $\rho$               | Pteo | Pact  | W       | Torsi | Efisiensi |
|------------|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------|-------|---------|-------|-----------|
| Sudu (..°) | (m <sup>2</sup> ) | (Volt) | (A)   | (rpm) | (m/s) | (o C) | (Kg/m <sup>3</sup> ) | (W)  | (W)   | (rad/s) | (Nm)  | x100%     |
| 30         | 0,318             | 0,3    | 0,2   | 101   | 1,7   | 25,6  | 1,182                | 0,92 | 0,06  | 10,577  | 0,006 | 0,06      |
| 40         | 0,318             | 0,6    | 0,098 | 147   | 1,7   | 25,9  | 1,181                | 0,92 | 0,059 | 15,394  | 0,004 | 0,06      |
| 50         | 0,318             | 1      | 0,155 | 180   | 2,1   | 26    | 1,181                | 1,74 | 0,115 | 18,849  | 0,006 | 0,07      |
| 60         | 0,318             | 2      | 0,147 | 270   | 2     | 26,3  | 1,18                 | 1,50 | 0,294 | 28,274  | 0,010 | 0,20      |
| 70         | 0,318             | 1,3    | 0,098 | 198   | 1,8   | 26,5  | 1,179                | 1,09 | 0,127 | 20,734  | 0,006 | 0,12      |

Tabel 2. Data Penelitian Pada AVE 60%

| Sudut      | luas rotor        | V      | I     | N     | V     | T     | $\rho$               | Pteo | Pact  | W       | Torsi | Efisiensi |
|------------|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------|-------|---------|-------|-----------|
| Sudu (..°) | (m <sup>2</sup> ) | (Volt) | (A)   | (rpm) | (m/s) | (o C) | (Kg/m <sup>3</sup> ) | (W)  | (W)   | (rad/s) | (Nm)  | x100%     |
| 30         | 0,318             | 0,3    | 0,39  | 115   | 2,7   | 25,6  | 1,182                | 3,70 | 0,117 | 12,043  | 0,010 | 0,03      |
| 40         | 0,318             | 0,9    | 0,1   | 180   | 2,5   | 26    | 1,181                | 2,93 | 0,09  | 18,849  | 0,005 | 0,03      |
| 50         | 0,318             | 1,4    | 0,143 | 239   | 2,7   | 26,1  | 1,18                 | 3,69 | 0,2   | 25,028  | 0,008 | 0,05      |
| 60         | 0,318             | 2,8    | 0,18  | 337   | 2,8   | 26,3  | 1,18                 | 4,12 | 0,504 | 35,290  | 0,014 | 0,12      |
| 70         | 0,318             | 1,9    | 0,133 | 358   | 2,5   | 26,4  | 1,179                | 2,93 | 0,253 | 37,489  | 0,007 | 0,09      |

**Tabel 3. Data Penelitian Pada AVE 70%**

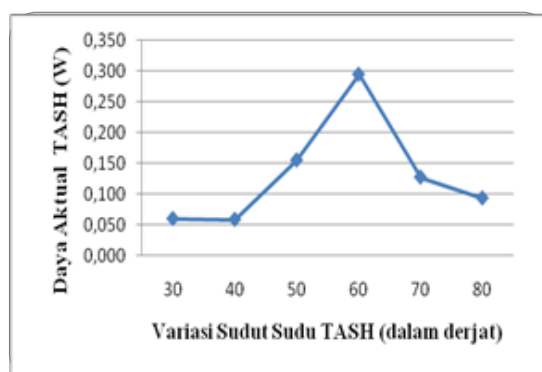
| Sudut               | luas rotor        | V      | I     | N     | V     | T     | $\rho$               | Pteo | Pact  | W       | Torsi | Efisiensi |
|---------------------|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------|-------|---------|-------|-----------|
| Sudu ( $^{\circ}$ ) | (m <sup>2</sup> ) | (Volt) | (A)   | (rpm) | (m/s) | (o C) | (Kg/m <sup>3</sup> ) | (W)  | (W)   | (rad/s) | (Nm)  | x100%     |
| 30                  | 0,318             | 0,3    | 0,47  | 130   | 3,1   | 25,7  | 1,182                | 5,60 | 0,141 | 13,613  | 0,010 | 0,03      |
| 40                  | 0,318             | 1,1    | 0,115 | 199   | 3     | 26    | 1,181                | 5,07 | 0,127 | 20,839  | 0,006 | 0,03      |
| 50                  | 0,318             | 2      | 0,161 | 276   | 3,1   | 26,2  | 1,18                 | 5,59 | 0,322 | 28,902  | 0,011 | 0,06      |
| 60                  | 0,318             | 3,7    | 0,2   | 396   | 3     | 26,4  | 1,179                | 5,06 | 0,74  | 41,469  | 0,018 | 0,15      |
| 70                  | 0,318             | 4,3    | 0,21  | 428   | 3     | 26,4  | 1,179                | 5,06 | 0,903 | 44,820  | 0,020 | 0,18      |

**Tabel 4. Data Penelitian Pada AVE 80%**

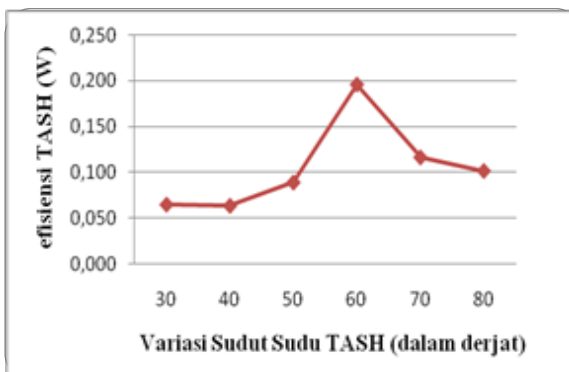
| Sudut               | luas rotor        | V      | I     | N     | V     | T     | $\rho$               | Pteo | Pact  | W       | Torsi | Efisiensi |
|---------------------|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------|-------|---------|-------|-----------|
| Sudu ( $^{\circ}$ ) | (m <sup>2</sup> ) | (Volt) | (A)   | (rpm) | (m/s) | (o C) | (Kg/m <sup>3</sup> ) | (W)  | (W)   | (rad/s) | (Nm)  | x100%     |
| 30                  | 0,318             | 0,4    | 0,56  | 141   | 3,7   | 25,8  | 1,182                | 9,52 | 0,224 | 14,765  | 0,015 | 0,02      |
| 40                  | 0,318             | 1,3    | 0,13  | 222   | 3,3   | 26    | 1,181                | 6,75 | 0,169 | 23,248  | 0,007 | 0,03      |
| 50                  | 0,318             | 2,6    | 0,166 | 316   | 3,5   | 26,2  | 1,18                 | 8,04 | 0,432 | 33,091  | 0,013 | 0,05      |
| 60                  | 0,318             | 4,4    | 0,223 | 447   | 3,4   | 26,4  | 1,179                | 7,37 | 0,981 | 46,809  | 0,021 | 0,13      |
| 70                  | 0,318             | 5,3    | 0,236 | 506   | 3,4   | 26,6  | 1,178                | 7,36 | 1,251 | 52,988  | 0,024 | 0,17      |

**Tabel 5. Data Penelitian Pada AVE 90%**

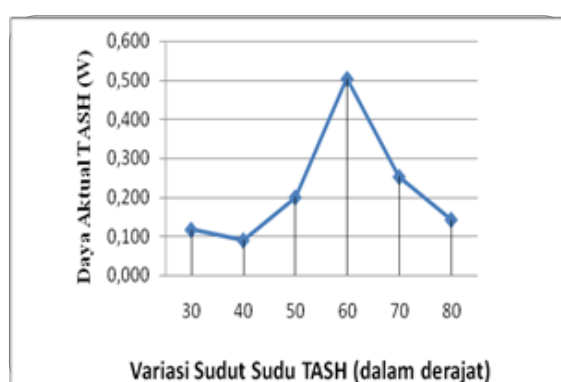
| Sudut               | luas rotor        | V      | I     | N     | V     | T     | $\rho$               | Pteo  | Pact  | W       | Torsi | Efisiensi |
|---------------------|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|---------|-------|-----------|
| Sudu ( $^{\circ}$ ) | (m <sup>2</sup> ) | (Volt) | (A)   | (rpm) | (m/s) | (o C) | (Kg/m <sup>3</sup> ) | (W)   | (W)   | (rad/s) | (Nm)  | x100%     |
| 30                  | 0,318             | 0,4    | 0,63  | 155   | 3,8   | 26    | 1,181                | 10,30 | 0,252 | 16,231  | 0,016 | 0,02      |
| 40                  | 0,318             | 1,4    | 0,145 | 244   | 3,4   | 26,1  | 1,18                 | 7,37  | 0,203 | 25,551  | 0,008 | 0,03      |
| 50                  | 0,318             | 2,7    | 0,18  | 345   | 3,6   | 26,3  | 1,18                 | 8,75  | 0,486 | 36,128  | 0,013 | 0,06      |
| 60                  | 0,318             | 4,7    | 0,228 | 488   | 3,5   | 26,5  | 1,179                | 8,04  | 1,072 | 51,103  | 0,021 | 0,13      |
| 70                  | 0,318             | 6      | 0,257 | 546   | 3,5   | 26,7  | 1,178                | 8,03  | 1,542 | 57,177  | 0,027 | 0,19      |



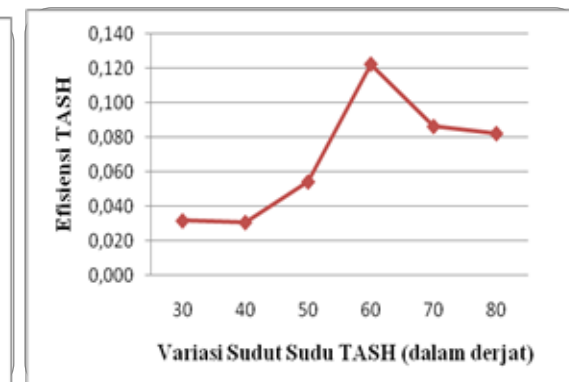
Gambar 5. Grafik Daya Aktual  $P_{akt}$  terhadap sudut sudu TASH pada AVE 50%



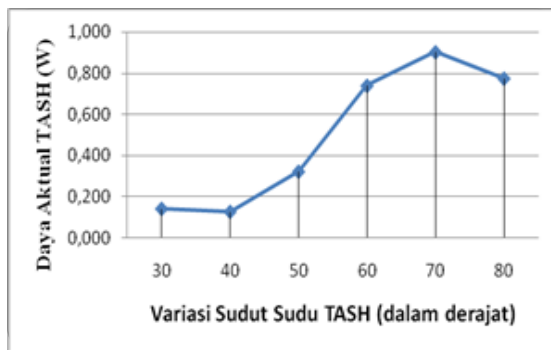
Gambar 6. Grafik Efisiensi terhadap Sudu sudu TASH pada AVE 50%



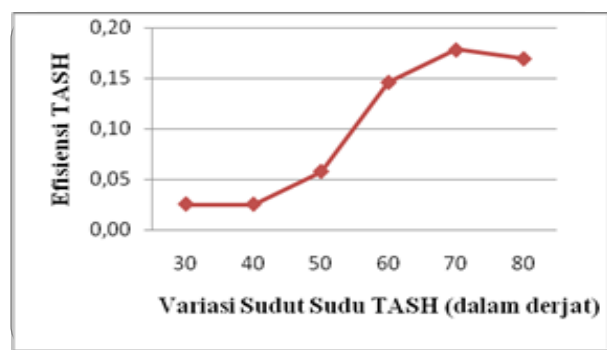
Gambar 7. Grafik Daya Aktual  $P_{akt}$  terhadap sudut sudu TASH pada AVE 60%



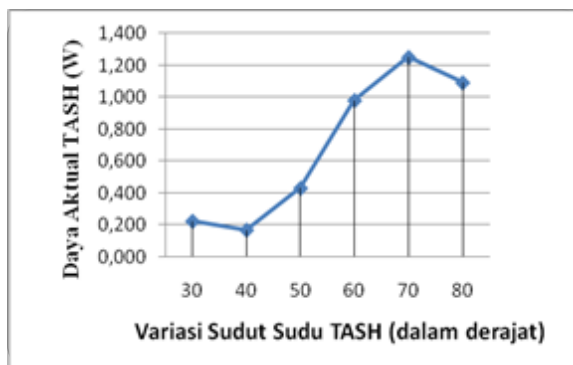
Gambar 8. Grafik Efisiensi terhadap Sudu sudu TASH pada AVE 60%



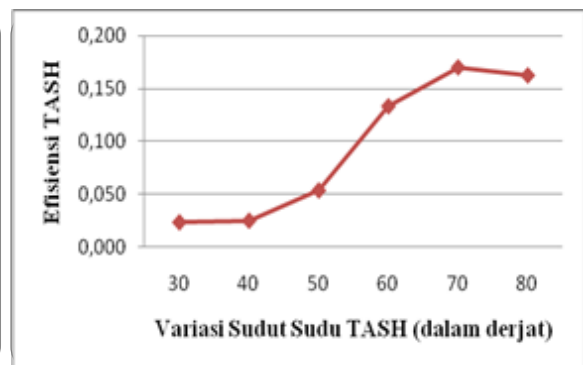
Gambar 9. Grafik Daya Aktual  $P_{akt}$  terhadap sudut sudu TASH pada AVE 70%



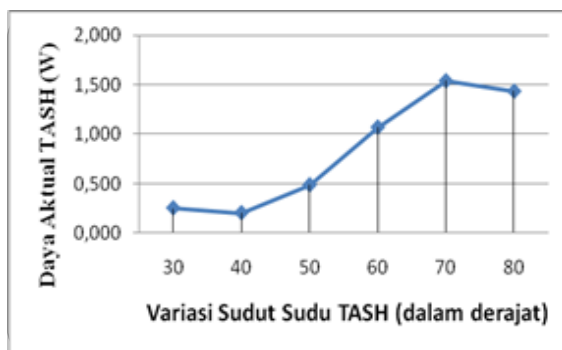
Gambar 10. Grafik Efisiensi terhadap Sudut sudu TASH pada AVE 70%



Gambar 11. Grafik Daya Aktual  $P_{akt}$  terhadap sudut sudu TASH pada AVE 80%



Gambar 12. Grafik Efisiensi terhadap Sudut sudu TASH pada AVE 80%



Gambar 13. Grafik Daya Aktual  $P_{akt}$  terhadap sudut sudu TASH pada AVE 90%



Gambar 14. Grafik Efisiensi terhadap Sudut sudu TASH pada AVE 90%

Dari Gambar 5 sampai dengan 14 dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan angin rendah (AVE 50% - AVE 60%) efisiensi dan daya yang besar dihasilkan pada sudut sudu  $60^\circ$ , namun untuk kecepatan angin yang tinggi nilai besar pada sudut sudu  $70^\circ$ . Pada sudut sudu  $80^\circ$  dengan kecepatan angin rendah ataupun tinggi selalu cenderung nilai yang diukur menurun. Oleh karena pada aplikasinya Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) memanfaatkan energi (kecepatan) angin yang tinggi, maka untuk aplikasinya sudut sudu terbaik adalah sebesar  $70^\circ$  bisa dipilih



## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap Turbin Angin Sumbu Horizontal dengan variasi sudut sudu  $30^0$ ,  $40^0$ ,  $50^0$ ,  $60^0$ ,  $70^0$  dan  $80^0$ , dan setelah dianalisa data yang diperoleh dari pengujian modul TASH tersebut, maka diperoleh kesimpulan yaitu;

- a. Energi angin salah satu sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan energi listrik
- b. Dalam perancangan Turbin angin sangat penting memperhatikan rancangan sudu turbin seperti ukuran sudut sudu dan sebagainya.
- c. Ukuran Sudut sudu yang memberikan kinerja lebih baik yaitu besaran sudut  $60^0$  hingga  $70^0$ , namun untuk kondisi kecepatan angin yang lebih tinggi sebaiknya memilih besar sudut sudu  $70^0$ .
- d. Sudut sudu  $80^0$  memberikan hasil yang cenderung menurun dari pada sudut sudu  $70^0$
- e. Pada sudut sudu  $70^0$  dihasilkan daya terbesar 1,542 Watt dan efisiensi 19%.

### Saran

Agar pada pengujian berikutnya dilakukan pengujian tentang pengaruh variasi diameter rotor terhadap Kinerja TASH

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].Abarzadeh, Mustafa. Kojabadi, Hossein Madadi. Chang, Liuyen (2010),. *Small Scale Wind Energy Conversion System. Sahand University of Technology. Iran.*
- [2].Maret Enggar Prasetya, dan Nuraklis (2015), *Studi Kinerja Turbin Angin Sumbu horizontal NACA 4412 dengan Modifikasi Sudu Tipe Flat Pada Variasi Sudut Kemiringan  $0^0$ ,  $10^0$ ,  $15^0$  Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta*
- [3].Puji S, Satwiko, dan Taufik (2012), *Studi Awal Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Daya Keluaran Turbin Angin Tipe Horizontal Berdiameter 1,6 Meter Sebagai Sumber Penyedia Listrik Pada Proyek Rumah Dc Di Fmipa UNJ, Prosiding Seminar Nasional Fisika UNJ*
- [4].Nur Asyik Hidayatullah (2016), *Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker*
- [5].Suwarti, (2013), *Analisis Turbin Angin Tipe Poros Horizontal Terhadap Variasi Jumlah Sudu Dengan Sudu Dibuat Dari Pipa Pvc Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin*
- [6].Sutra Angga Wijendra, (2017, *Kemiringan Sudut Baling – Baling Turbin Angin Sumbu Horizontal Dan Kecepatan Angin Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal, Jurnal Teknik Mesin Volume 05 Nomor 01 UNESA.*
- [7].Yusuf Dewantoro Herlambang, (2015), *Kaji Eksperimental Turbin Angin Multiblade Tipe Sudu Flate Plate Sebagai Penggerak Mula Pompa Air Prosiding Seminar Nasional Polines.*