

## KONFIGURASI BILAH NACA 3612 TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL (TASH)

**Syahrul Nur Wahyudi**

Mahasiswa S1  
Universitas Negeri Semarang  
Jurusan Teknik Mesin  
syahrulnw@students.unnes.ac.id

**Dony Hidayat Al-Janan**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Negeri Semarang  
Jurusan Teknik Mesin  
aljanan@mail.unnes.ac.id

**Danang Dwi Saputro**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Negeri Semarang  
Jurusan Teknik Mesin  
Danangdwisaputro@mail.unnes.ac.id

*To improve electrical energy better, the design and optimization of micro scale wind turbines has become a very important element in research. The aims are improving the ability to capture power and maximize energy production properly. The object of this study was horizontal axis wind turbine performance testing with the configuration of types and numbers of NACA 3612 blade variation in terms of output power ( $W$ ), efficiency ( $\eta$ ) and tip speed ratio (TSR). The tests carried out in the laboratory using a wind tunnel. There are 8 variations of wind speed, 1.41 m/s, 1.76 m/s, 2.51 m/s, 3.74 m/s, 4.81 m/s, 5.50 m/s, 5.71 m/s and 6.11 m/s. The results showed that the best power value was a taperless type with 2 blades of 0.846 watts with a maximum rotating speed of 876.3 rpm at 6.11 m/s wind speed. For the best efficiency value obtained at 3.74 m/s wind speed on the type of taper with a number of 4 blades of 2.9% at TSR 4.778. While the maximum TSR occurs in the type of taper with a number of 3 blades of 6.256 at 3.74 m/s wind speed by testing without using a prony brake.*

**Keywords :** Optimization, Type and Number of Blades, HAWT, Prony Brake.

### 1. PENDAHULUAN

Turbin angin merupakan salah alat dalam Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) [1]. Menurut terminologi, turbin angin mampu mengkonversi energi kinetik menjadi energi listrik [2]. Energi angin merupakan salah satu energi baru terbarukan yang ramah lingkungan [3], tidak menghasilkan karbon [4], bahkan berkontribusi memenuhi 4% kebutuhan energi dunia dan mengurangi emisi karbon CO<sub>2</sub> dari total kapasitas instalasi 392 GW pada akhir juni 2015 [5].

Energi baru terbarukan seperti turbin angin memainkan peranan penting dalam menghasilkan energi listrik. Gaya aerodinamik pada turbin angin masih banyak menjadi objek penelitian [6]. Menurut Wiratama [7], untuk mendapatkan performa yang optimal selain perubahan jenis bilah yaitu dengan membentuk bilah sedikit melengkung atau memuntir (*twist*), sehingga gaya aerodinamisnya semakin baik. Konsep penggunaan *twist* yaitu dengan mengubah sudut serang (*angle of attack*) untuk merespon beban dorong yang dihasilkan oleh energi angin. Dalam banyak kasus, metode ini dapat meningkatkan produksi energi tahunan sebesar 10-15% dengan menggunakan dua sudut puntir dan 5-7% untuk satu sudut puntir maksimum [8].

Desain optimasi turbin angin skala mini dan mikro menjadi elemen yang sangat penting dalam penelitian mutakhir untuk meningkatkan penangkapan energi listrik [9]. Parameter utama dalam optimasi daya yang dihasilkan dari ekstraksi turbin angin biasanya bergantung pada bilah yang dapat menghasilkan kecepatan putaran rotor [10]. Saat ini, TASH lebih baik dari pada turbin angin sumbu vertical (TASV) karena mempunyai efisiensi yang lebih tinggi [11].

Tujuan dalam mendesain bilah turbin angin adalah untuk memperbaiki kemampuan penangkapan daya dan memaksimalkan produksi energi dengan baik [9]. Saat turbin angin berputar, bilah dapat mempengaruhi performa secara langsung pada pergerakan angin yang berbeda. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin mempunyai batasan yang biasa disebut *Betz limit* yang dapat mengkonversi 16/27 atau setara 59.3% energi kinetik dari angin [6]. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya total energi angin yang disebabkan oleh putaran rotor yang dapat menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial [12]. Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi bahan acuan untuk pengembangan dan optimasi TASH

dengan mengoptimalkan efisiensi bilah TASH.

## 2. METODE DAN BAHAN

Metode pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan pengujian eksperimen. Penelitian ini digunakan untuk mengamati dan menguji kelompok perlakuan terhadap kelompok kontrol yang digunakan untuk membuktikan hipotesis yang dirumuskan. Penelitian ini membahas tentang pengujian performa turbin angin terhadap pengaruh perbedaan jenis dan jumlah bilah yang digunakan.

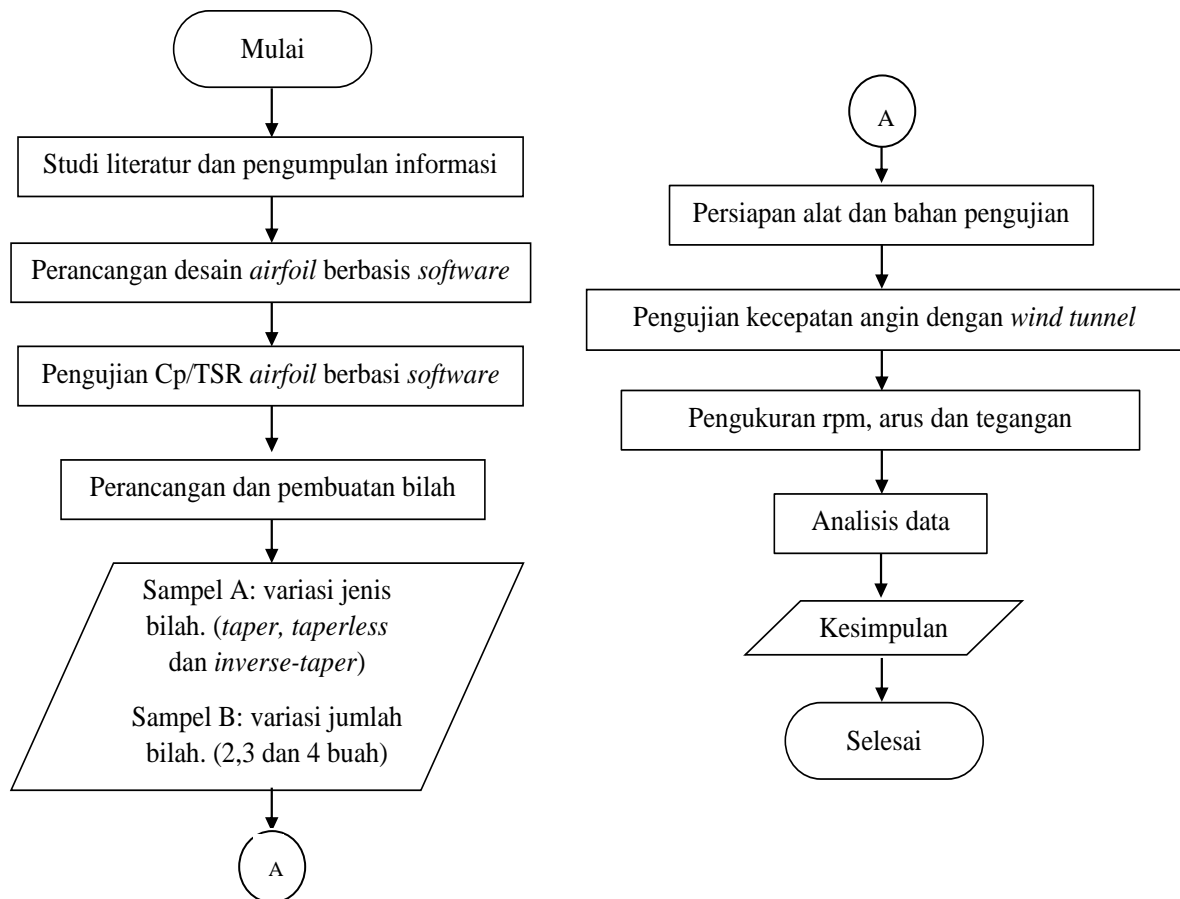
### 2.1 Parameter penelitian

Airfoil yang digunakan adalah NACA 3612 dengan diameter bilah 700 mm. Mempunyai luasan dan massa yang sama besar masing-masing 18000 mm<sup>2</sup> dan 30,4 gr dan sudut twist sebesar 14.36o–7.81o dari pangkal ke ujung bilah. Beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 buah LED dan resistor 1 Ω.

### 2.2 Variabel penelitian

Menurut Gulo [13], variabel adalah suatu konsep dimana terdapat variasi pada objek yang akan diteliti, sedangkan menurut Priyono [14], Penelitian kuantitatif terbagi menjadi dua, yaitu variabel bebas dan terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah jenis bilah, jumlah bilah, dan kecepatan angin. Sedangkan putaran bilah, torsi, arus dan tegangan output yang dapat menghasilkan daya termasuk dalam variabel terikat.

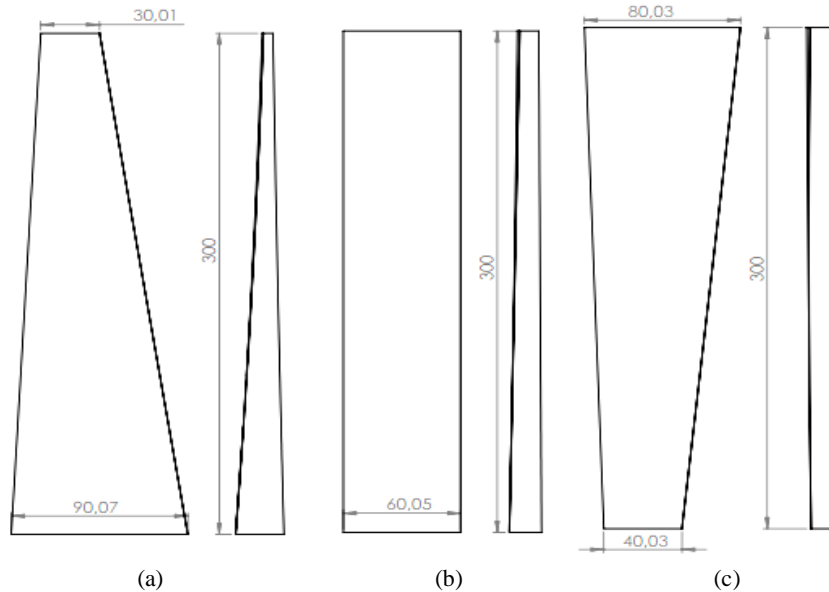
### 2.3 Prosedur penelitian



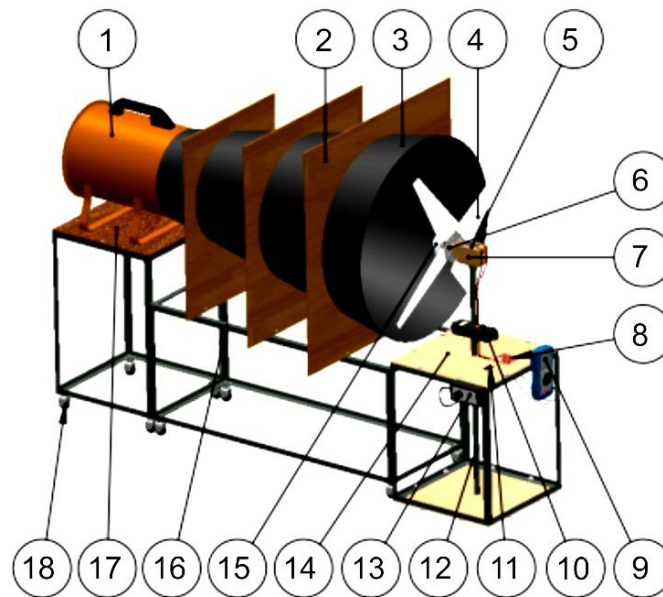
Gambar 1: Diagram alir penelitian.

### 2.4 Desain penelitian

Penelitian ini fokus membahas tentang performa TASH terhadap pengaruh perbedaan jenis dan jumlah bilah yang digunakan. Pengukuran dan pengamatan yang diambil adalah hasil putaran, arus dan tegangan yang dihasilkan pada kecepatan angin tertentu seperti pada gambar 1. Berikut rancangan desain penelitian yang berisi desain variasi jenis bilah pada gambar 2 dan skema alat pengujian pada gambar 3.



**Gambar 2:** Variasi jenis desain bilah (a) *taper*, (b) *taperless*, (c) *inversetaper*.



Keterangan :

- |                               |                                   |  |
|-------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1. <i>Portable ventilator</i> | 7. <i>Housing DC motor</i>        | 13. <i>Dimmer</i>                      |
| 2. <i>Penyangga tunnel</i>    | 8. <i>Rangkaian kelistrikan</i>   | 14. <i>Dudukan seksi uji</i>           |
| 3. <i>Wind tunnel</i>         | 9. <i>Digital multimeter</i>      | 15. <i>Cone</i>                        |
| 4. <i>Bilah</i>               | 10. <i>Anemometer</i>             | 16. <i>Dudukan wind tunnel</i>         |
| 5. <i>DC motor</i>            | 11. <i>Dual volt-ampere meter</i> | 17. <i>Dudukan portable ventilator</i> |
| 6. <i>Hub connector</i>       | 12. <i>Tiang penyangga TASH</i>   | 18. <i>Roda</i>                        |

**Gambar 3:** Skema alat penelitian.

### 2.5 Alat dan Bahan

Alat penelitian yang digunakan adalah *anemometer digital* Benetech tipe GM816 yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin, *LCD digital laser photo tachometer* 2.5-100000 rpm DT2234C+ yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran bilah, *multimeter AC/DC voltage tester* Richmeter RM101 untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan pada penelitian, *notebook* Samsung N148 plus yang digunakan untuk desain dan simulasi bilah TASH, *DC motor* Canon FH-71860 digunakan sebagai alat konversi dari putaran menjadi energi listrik, *Dimmer* 2000 W digunakan sebagai pengatur kecepatan angin, gergaji, bor tangan, dan penggaris digunakan sebagai alat pendukung pembuatan bilah TASH. Adapun bahan yang digunakan yaitu triplek, kertas, lem kayu, mur dan baut.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Rancangan pada penelitian ini mempunyai luasan dan massa bilah yang sama besar, masing masing yaitu 18000 m<sup>2</sup> dan 30,4 gr, sudut *twist* sebesar 14.36°– 7.81° dari pangkal ke ujung bilah, dengan dengan pembebanan pengujian menggunakan 1 buah LED dan resistor 1 Ω. Bilah pada penelitian ini juga dirancang dapat mengkonversi pada kecepatan maksimal 6 m/s. Berikut adalah sajian data hasil pengukuran dan perhitungan pada pengujian TASH dengan menggunakan wind tunnel.

#### 3.1 Daya angin

Angin merupakan fluida bergerak yang mempunyai massa [15]. Berdasarkan hukum newton II tentang gerak, segala sesuatu yang bergerak pada kecepatan tertentu mempunyai energi kinetik (Asy'ari, et al., 2012: 44) seperti pada persamaan 1. Sehingga energi kinetik pada angin dapat dirumuskan [16]:

$$Ek = 1/2mv^2 \tag{1}$$

Jika blok udara mempunyai penampang  $A(m^2)$  dan bergerak dengan kecepatan  $v(m/s)$ , maka persamaan massa dapat ditulis:

$$m = \rho Avt \tag{2}$$

Sehingga jika persamaan (1) dan (2) digabungkan, maka:

$$P_{angin} = \rho Av^3 \tag{3}$$

Dalam penelitian ini, tabel 1 menjelaskan tentang hasil perhitungan daya dengan menggunakan persamaan 3, tabel 2 dan tabel 3 menjelaskan hasil pengukuran *start up wind speed* dengan 2 variasi pengukuran.

**Tabel 1:** Hasil perhitungan daya angin.

KEC. ANGIN (m/s)	DAYA ANGIN (W)
1.41	0.646
1.76	1.259
2.51	3.685
3.74	12.219
4.81	25.919
5.50	38.724
5.71	43.356
6.11	52.974

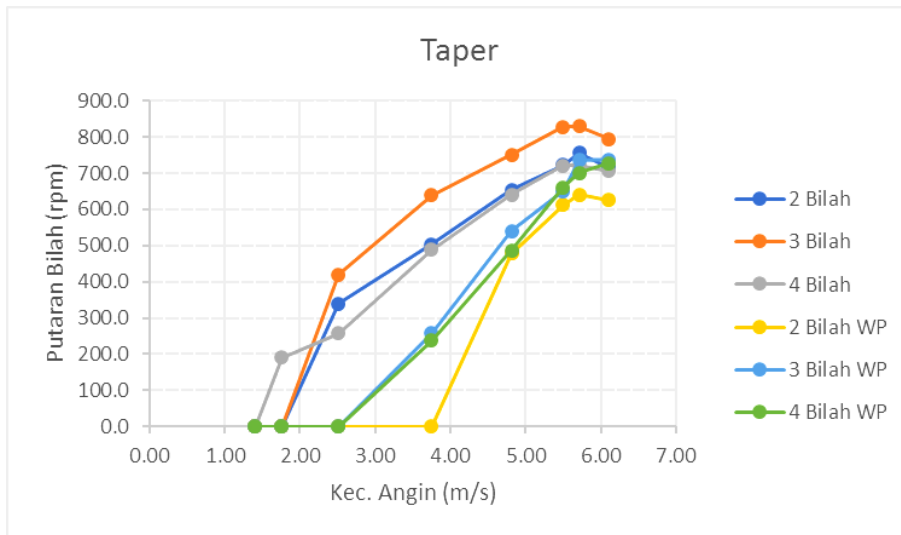
**Tabel 2:** Hasil pengukuran *tachometer* pada *start up wind speed* (m/s) tanpa *prony brake*.

JENIS	JUMLAH		
	2	3	4
<i>Taper</i>	2,51	2,51	2,51
<i>Taperless</i>	4,81	4,81	2,51
<i>Inversetaper</i>	4,81	4,81	3,74

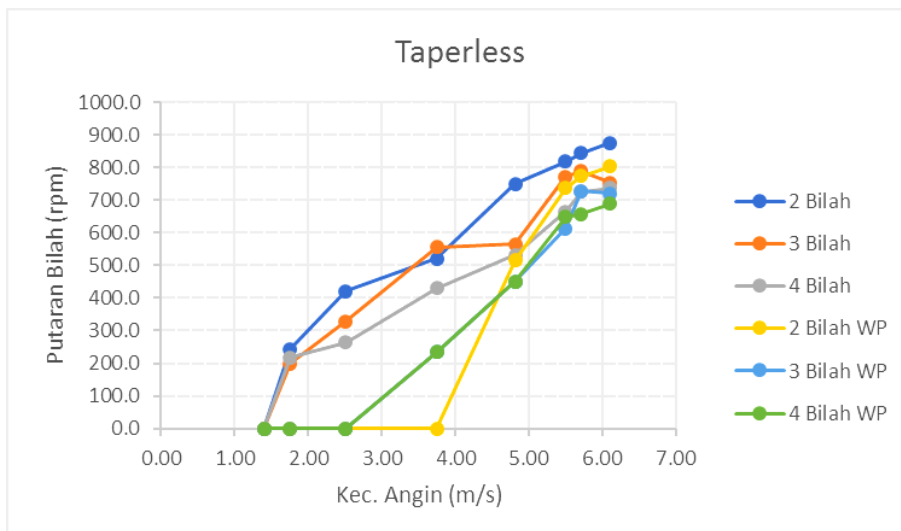
**Tabel 3:** Hasil pengukuran *tachometer* pada *start up wind speed* (m/s) dengan *prony brake*,

JENIS	JUMLAH		
	2	3	4
<i>Taper</i>	4,81	3,74	3,74
<i>Taperless</i>	4,81	3,74	3,74
<i>Inversetaper</i>	4,81	3,74	3,74

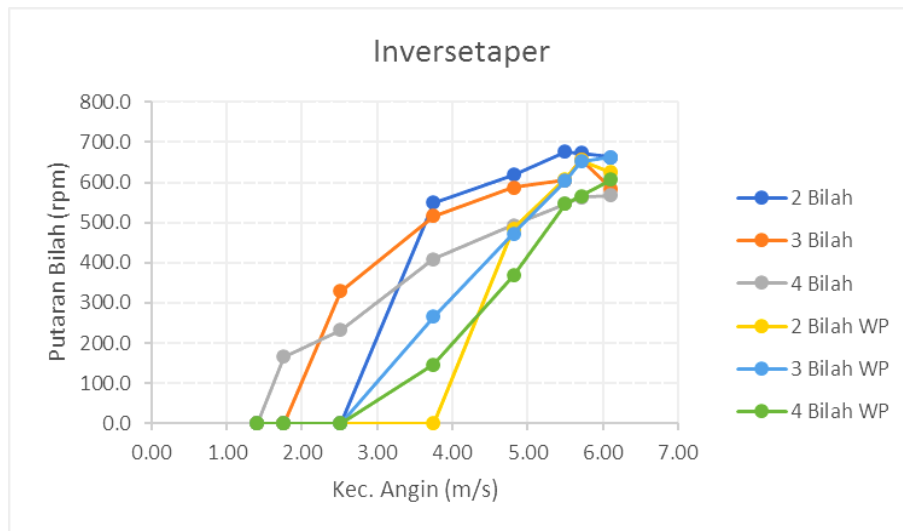
**3.2 Hubungan kecepatan angin dan putaran bilah pada variasi jenis dan jumlah bilah**



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4:** Hubungan kecepatan angin dan putaran bilah pada jenis bilah (a) *taper* (b) *taperless* (c) *inverseaper*.

Putaran bilah maksimum yang dihasilkan TASH pada penelitian ini adalah jenis *taperless* dengan jumlah 2 bilah sebesar 876,3 rpm untuk pengujian tanpa *prony brake* dan 804,7 rpm dengan menggunakan *prony brake* pada kecepatan angin 6,11 m/s seperti pada gambar 4.

Dari variasi jenis dan jumlah bilah mempunyai karakteristik kemampuan penangkapan angin yang berbeda satu sama lain. Jumlah bilah yang sedikit pada penelitian ini mempunyai nilai putaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah 4 bilah karena penambahan jumlah bilah pada penelitian ini menjadi beban tambahan yang dapat mengakibatkan pengurangan kecepatan angin setelah melewati bilah dimana aliran angin seakan menabrak bilah karena celah yang terlalu rapat. Akan tetapi, bilah dengan jumlah yang semakin banyak mempunyai kelebihan konversi pada kecepatan angin rendah karena momen yang cukup besar.

### 3.3 Hubungan kecepatan angin dan daya pada variasi jenis dan jumlah bilah

Pada penelitian ini, daya tidak dapat diukur, sehingga perolehan data melalui proses perhitungan. Menurut Robertson [17], Pengertian daya merupakan energi yang dibutuhkan tiap satuan waktu sehingga dapat dinotasikan dengan persamaan 4:

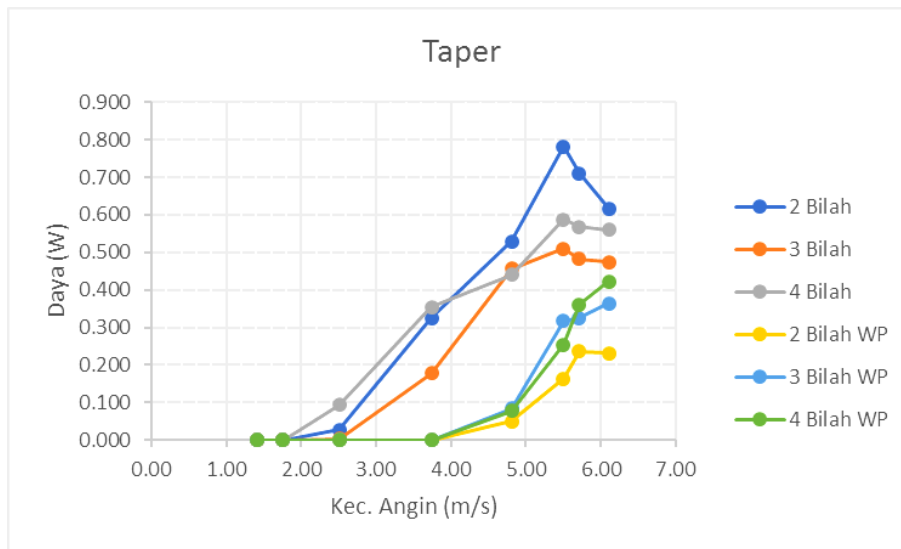
$$P = W / t \tag{4}$$

Dengan,

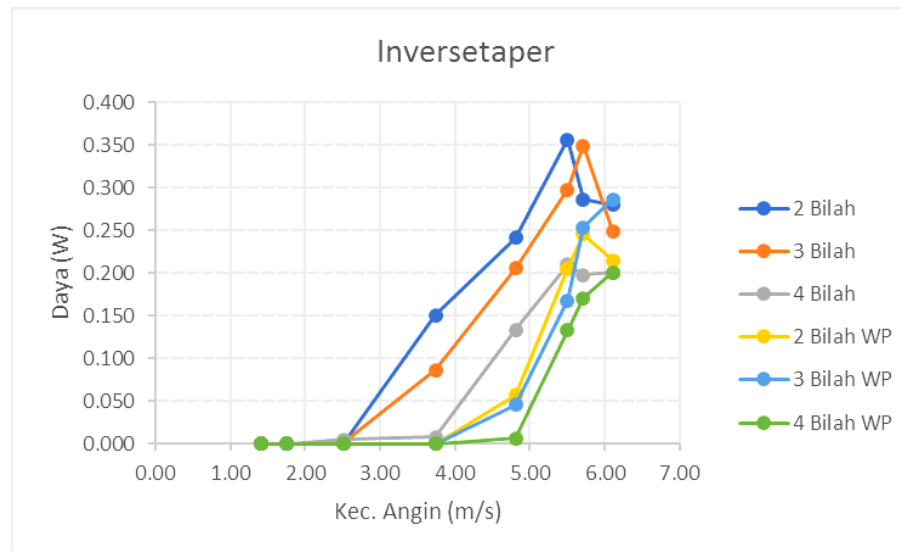
$$W = VI t \tag{5}$$

Sehingga bila persamaan (4) dan (5) digabungkan, maka:

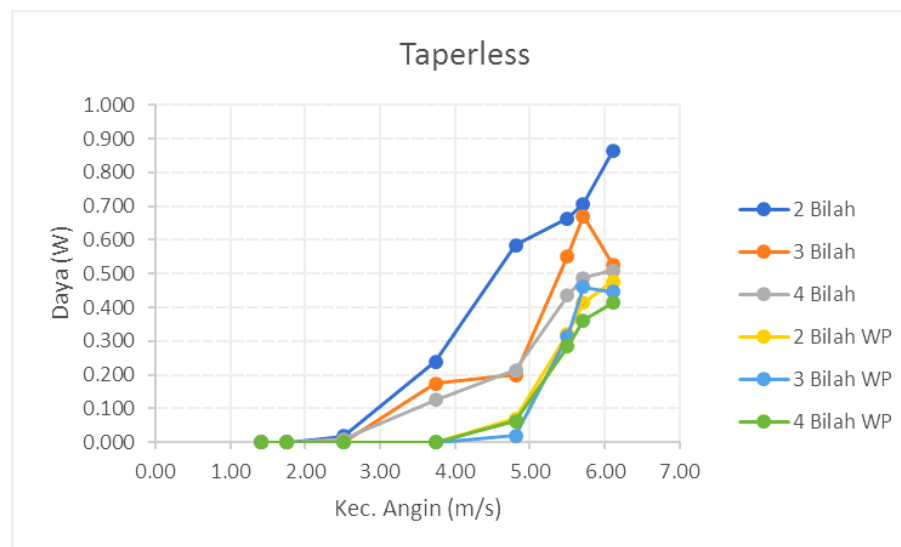
$$P = VI \tag{6}$$



(a)



(b)



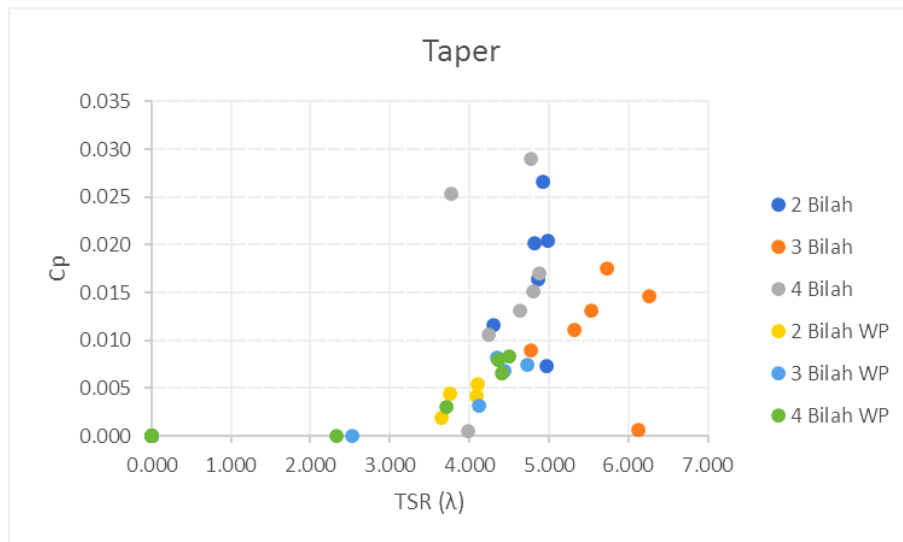
(c)

Gambar 5: Grafik perbandingan kecepatan angin dan daya pada jenis bilah (a) *taper*, (b) *taperless* dan (c) *inversetaper*.

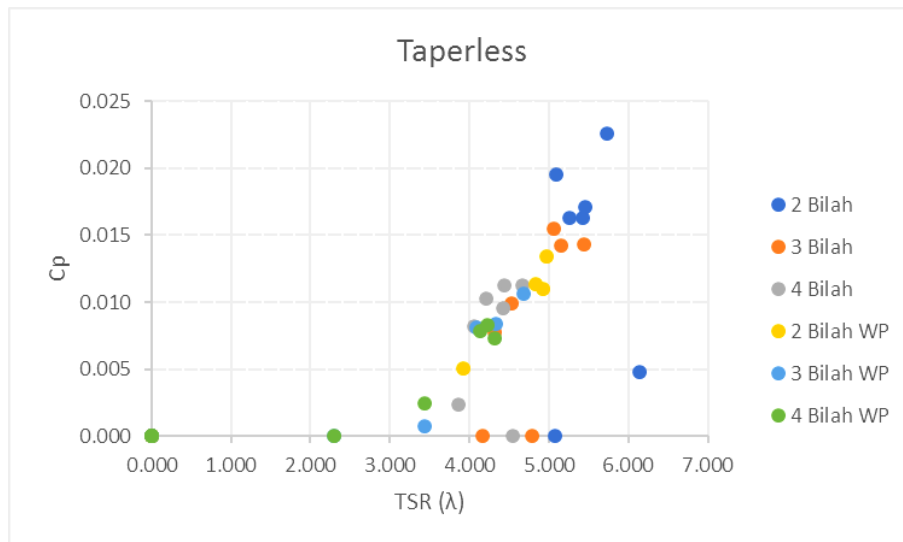
Daya *output* maksimum yang dihasilkan TASH pada penelitian ini adalah jenis *taperless* dengan jumlah 2 bilah sebesar 0,846 watt pada pengujian tanpa *prony brake* dan 0,477 watt dengan *prony brake* pada 6,11 m/s seperti pada gambar 5.

Grafik daya cenderung meningkat seiring meningkatnya kecepatan angin. Akan tetapi pada kondisi maksimal perancangan, tiap jenis dan jumlah bilah mempunyai kemampuan yang berbeda dalam mengkonversi dari energi putar pada bilah yang diteruskan melalui poros menjadi daya. Daya yang dihasilkan dari TASH ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan daya angin, hal ini dipengaruhi oleh banyaknya faktor gesekan pada turbin dan efisiensi generator yang menyebabkan daya sistem semakin kecil.

### 3.4 Hubungan $C_p$ dan TSR pada variasi jenis dan jumlah bilah

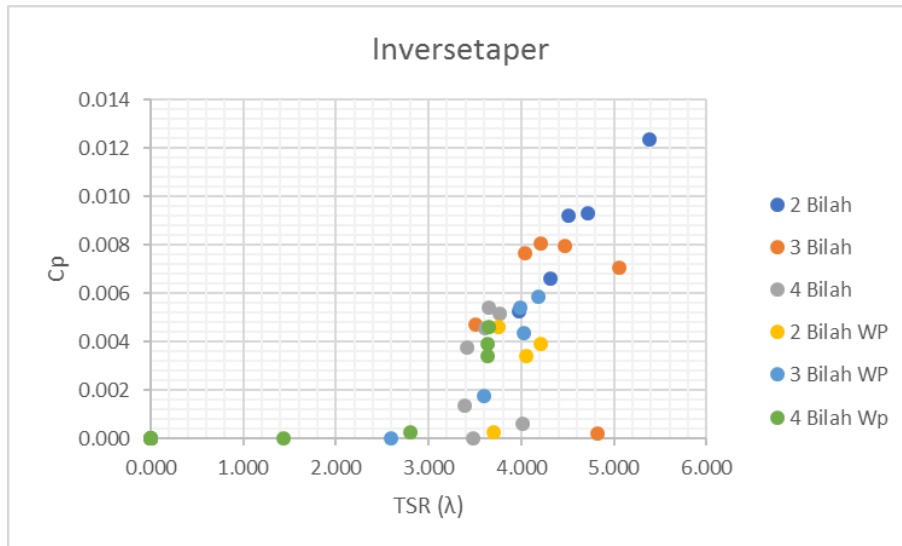


(a)



(b)





(c)

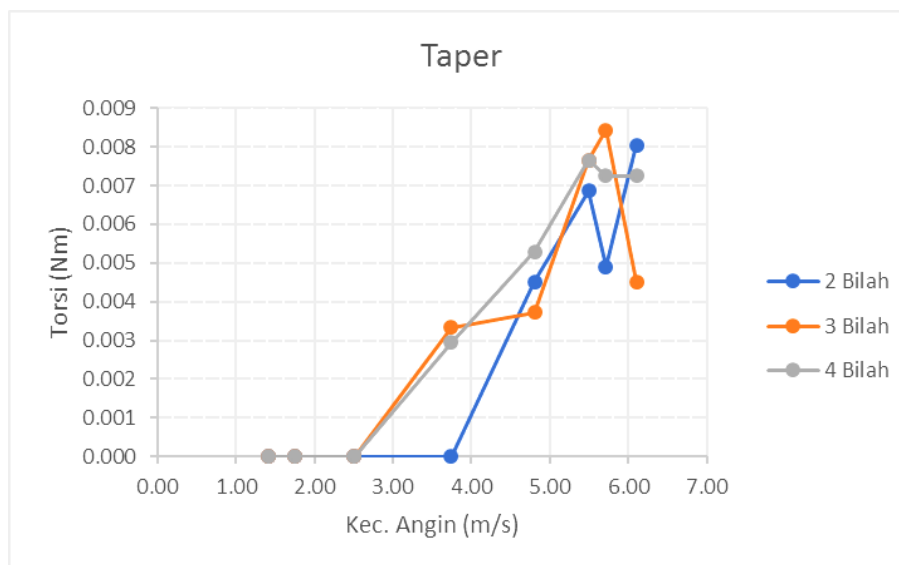
**Gambar 6:** Grafik perbandingan  $C_p$  dan TSR pada variasi jenis bilah (a) *taper*, (b) *taperless* dan (c) *inversetaper*.

Efisiensi maksimum yang dihasilkan TASH pada penelitian ini adalah bilah jenis *taper* dengan jumlah 4 bilah sebesar 2,9% pada kecepatan angin 3,74 m/s untuk pengujian tanpa *prony brake*. Sedangkan efisiensi maksimum pengujian dengan *prony brake* adalah jenis *taperless* dengan jumlah 2 bilah sebesar 1,3% pada kecepatan angin 5,71 m/s seperti pada gambar 6.

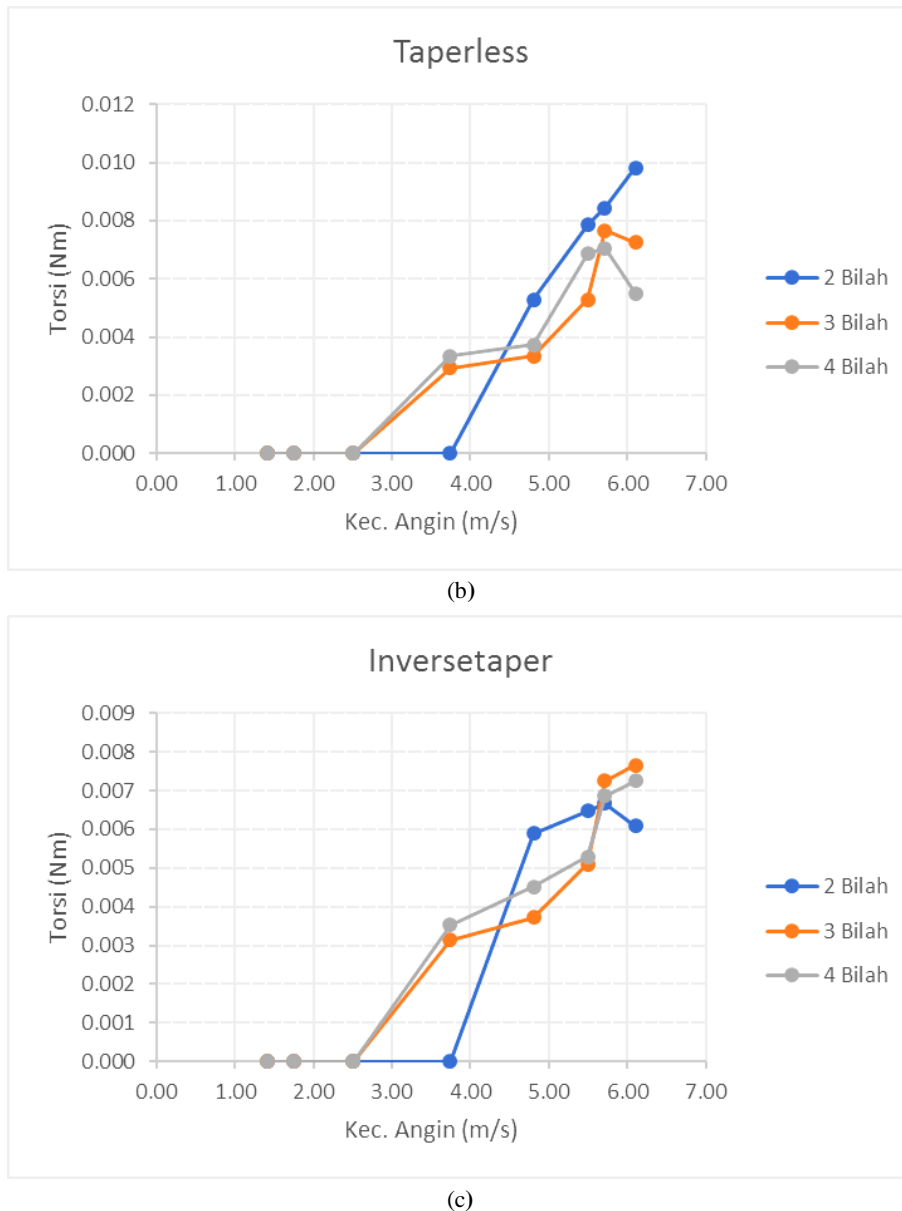
Nilai TSR pada eksperimen TASH berkisar antara 0 sampai 6,256. Nilai TSR maksimum yang dihasilkan terdapat pada jenis *taper* dengan jumlah 3 bilah sebesar 6,256 pada kecepatan angin 3,74 m/s untuk pengujian tanpa menggunakan *prony brake*. Sedangkan pengujian dengan *prony brake* terdapat pada jenis *taperless* dengan jumlah 2 bilah sebesar 4,969 pada kecepatan angin 5,71 m/s.

Nilai efisiensi dari grafik  $C_p$ /TSR terdapat pada kisaran TSR 0 sampai 6,256. Nilai efisiensi pada penelitian ini sangat kecil sekali jika dibandingkan dengan efisiensi optimal. Hal ini terjadi karena daya yang dihasilkan cenderung lebih kecil dibandingkan dengan daya energi angin. Faktor utama yang mempengaruhi adalah efisiensi generator dan adanya rugi-rugi gesekan sumber angin terhadap tunnel sehingga distribusi angin kurang merata.

### 3.5 Hubungan Kecepatan Angin dan Torsi pada Variasi Jenis dan Jumlah Bilah



(a)



**Gambar 7:** Grafik perbandingan kecepatan angin dan torsi pada variasi bilah (a) *taper*, (b) *taperless* dan (c) *inversetaper*.

Torsi maksimum yang dihasilkan TASH pada penelitian ini adalah jenis *taperless* dengan jumlah 2 bilah sebesar 0,0098 Nm pada kecepatan angin 6,11 m/s seperti pada gambar 7. Analisa pada perbandingan ini hanya bisa pada pengujian TASH dengan menggunakan *prony brake*, dimana didapatkan nilai massa untuk menghitung torsi.

#### 4. KESIMPULAN

Pengujian dengan menggunakan *prony brake* dalam eksperimen ini masih kurang optimal dibandingkan tanpa *prony brake* dalam semua parameter pengukuran dan perhitungan. Hal ini dikarenakan adanya beban tambahan dan juga fluida yang dapat mempengaruhi kinerja TASH.

Putaran bilah maksimum yang dihasilkan TASH pada penelitian ini adalah jenis *taperless* dengan jumlah 2 bilah sebesar 876,3 rpm yang menghasilkan daya *output* maksimum sebesar 0,846 watt untuk pengujian tanpa *prony brake* pada kecepatan angin 6,11 m/s sesuai dengan rata-rata kecepatan angin di Indonesia sebesar 2,5-6 m/s, sedangkan efisiensi maksimumnya adalah jenis *taper* dengan jumlah 4 bilah sebesar 2,9% pada kecepatan angin 3,74 m/s untuk pengujian tanpa menggunakan *prony brake*.

Nilai TSR berkisar antara 0 sampai 6,256. Nilai TSR maksimum yang dihasilkan terdapat pada bilah jenis *taper* dengan jumlah 3 sebesar 6,256 pada kecepatan angin 3,74 m/s untuk pengujian tanpa

menggunakan *prony brake*. Torsi maksimum TASH yang dihasilkan adalah jenis *taperless* dengan jumlah 2 bilah sebesar 0,0098 Nm untuk pengujian dengan *prony brake* pada kecepatan angin 6,11 m/s.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis haturkan kepada Allah SWT yang melimpahkan rahmat dan nikmat Nya sehingga masih diberi kesempatan untuk menuntut ilmu sampai jenjang S1. Kepada kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan do'a dan dukungan terbaik serta investasi ilmu kepada anak-anaknya. Kepada seluruh civitas akademik Universitas Negeri Semarang yang berkontribusi langsung dalam membimbing dan mengarahkan penulisan artikel. Kepada LBN sebagai lembaga riset yang telah menjadikan penulis inspirasi sebagai acuan penulisan artikel dan kepada seluruh kawan penulis yang juga banyak terlibat dalam penyusunan hingga tahap akhir penyelesaian penulisan artikel ini.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] NAKHODA, Y. I., & SALEH, C., "Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal", *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*, Surabaya, Institut Teknologi Adhi Tama, 2015.
- [2] JHA, A., *Wind Turbine Technology*, USA, CRC Press, 2011.
- [3] KINACHI, E., *Numerical and Experimental Investigation of the Rotor Blades of an HAWT with a Profile HKAS Inspired by a Maple Seed*, Duisburg, University of Duisburg-Essen, 2011.
- [4] SANG, L. Q., MURATA, J., MORIMOTO, M., KAMADA, Y., MAEDA, T., & LI, Q., "Experimental Investigation of Load Fluctuation on Horizontal Axis Wind Turbine for Extreme Wind Direction Change", *Fluid Science and Technology*, v. 12, n.1, 1, 2017.
- [5] MAIZI, M., MOHAMED, M., DIZENE, R., & MILHOUBI, M., "Noise Reduction of a Horizontal Wind Turbine Using Different Blade Shapes", *Renewable Energy*, 2, 2017.
- [6] AL-ABADI, A., ERTUNE, O., EPPLE, P., KOERBEL, W., & DELGADO, A., "Development of an Experimental Setup for Double Rotor HAWT Investigation", *ASME Turbo Expo*, p. 1., Copenhagen, Denmark, ASME, 2012.
- [7] WIRATAMA, I. K., MARA, I. M., & PRINA, L. E., "Pengaruh Jumlah Blade dan Variasi Panjang Chord Terhadap Performasi Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)", *Dinamika Teknik Mesin*, 110-116, 2014.
- [8] LOBITZ, D., VEERS, P., & MIGLIORE, P., "Enhanced Performance of HAWTs Using Adaptive Blades", *Researchgate*, 1-8, 2015.
- [9] LANZAFAME, R., MAURO, S., & MESSINA, M., "Numerical and Experimental Analysis of Micro HAWTs Designed for Wind Tunnel Applications", *International Jurnal of Energy and Enviromental Engineering*, 1, 2016.
- [10] WANG, W., CARO, S., FOUAD, B., & MEJIA, O. R., "A Simplified Morphing Blade for Horizontal Axis Wind Turbines", *Solar Energy Engineering*, 2, 2013.
- [11] ULLY, D. N., SOEPARMAN, S., & HAMIDI, N., "Pengaruh Pemasangan Sudu Pengarah dan Variasi Jumlah Sudu Rotor terhadap Performance Turbin Angin Savonius", *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5, 127-134, 2014
- [12] ISMAIL, & ARRAHMAN, T., "Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Dengan Kapasitas 3 MW", *Presisi*, v. 18, n. 2, 14-15, 2017.
- [13] GULO, W., *Metodologi Penelitian*, Jakarta, Grasindo, 2010.
- [14] PRIYONO., *Metode Penelitian Kuantitatif*, Sidoarjo, Zifatama, 2016
- [15] SIFA, A., CASIMAN, & RIZQON, H., "Pengujian Kincir Angin Horizontal Type di Kawasan Tambak sebagai Energi Listrik Alternatif untuk Penerangan", *IRWNS*, 167-168, 2014.
- [16] HIDAYATULLAH, N. A., & NINGRUM, H. N., "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Angin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker", *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)*, v. 1, n. 1, 7, 2015.
- [17] ROBERTSON, C. R., *Fundamental Electrical and Electronic Principles*, UK, Newnes, 2008.