

RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL DENGAN TIPE BILAH *INVERSE TAPER* BERBAHAN DASAR KOMPOSIT SERAT TANDAN KOSONG SAWIT

Reinhard Parulian Damanik^[1], Dinni Agustina^[2], Awaludin Martin^[2]
Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia
^[1]reinhard.damanik5711@student.unri.ac.id, ^[2]dinniagfa@lecturer.unri.ac.id, ^[3]awaludinmartin01@gmail.com

ABSTRACT

Overcome the use of fossil fuel based power plants is improving annually and waste in Indonesia palm that cannot be used again, it is the basis for this research through the planning and manufacturing of wind turbine blades of elementary substance composite fibers of empty palm. As for the wind turbine blades designed to be adapted for areas with low wind speeds, the blade is made with an inverse taper type that can convert wind energy into a rotor round with a large torque. The type of airfoil used is NACA 4415 with increasing the chord thickness percentage by 30%. The result of the calculation, obtained radius blade 1,1m and hub 0,2m with the number of blades 5. In the making of blades, the fibre of empty palm is given alkaline treatment with a 3% NaOH rate of 2 hours. Composites made with 5% fiber content of epoxy resin with the length of fiber used is 30mm. Based on the aerodynamic simulation results using Qblade applications, the blade can generate 318W of power at 7m/s wind speeds with blade rotation speed 120rpm.

Keyword: *Inverse Taper, Fibre Bunch of Empty Palm*

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik di Indonesia setiap tahunnya kian meningkat, sedangkan produksi listrik dari pembangkit energi terbarukan masih rendah, karena rendahnya kapasitas terpasang dibandingkan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Di tahun 2017, pembangkit listrik berbahan bakar fosil menghasilkan 7 kali lebih banyak energi listrik daripada pembangkit berbasis energi terbarukan. Namun jika ditahun-tahun berikutnya hanya memanfaatkan pembangkit listrik berbahan bakar fosil, tidak menutup kemungkinan sulitnya mencari suplai bahan bakar fosil [1].

Salah satu solusi menghadapi kebutuhan energi listrik yang kian meningkat tanpa harus menggunakan bahan bakar fosil adalah memanfaatkan energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan dan menjadi topik dalam penelitian ini adalah energi angin. Turbin angin sebagai salah satu pembangkit energi yang mempunyai potensi besar untuk memecahkan masalah kebutuhan energi listrik. Untuk memanfaatkan energi angin, penelitian ini membahas mengenai perhitungan dan pembuatan bilah turbin angin dengan material yang ringan dan kuat dengan prinsip konversi energi, berdasarkan kondisi angin di daerah sekitar perencanaan pembuatan turbin angin.

Penelitian ini meneliti bilah turbin angin yang cocok untuk wilayah Pekanbaru. Energi angin di Pekanbaru, berada dalam klasifikasi kecepatan angin rendah [2]. Oleh karena itu berdasarkan arah sumbu gerak, jenis turbin angin yang dipilih adalah turbin angin sumbu horizontal. Turbin angin sumbu horizontal memiliki kelebihan dibandingkan sumbu vertikal yang membuatnya baik digunakan pada wilayah dengan kondisi kecepatan angin rendah,

yaitu sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin [3].

Turbin angin sumbu horizontal memiliki 3 jenis bilah berdasarkan bentuk desain, yaitu *taper* (meruncing ke atas), *taperless* (tidak meruncing), *inverse taper* (meruncing terbalik) [4]. Untuk wilayah dengan klasifikasi kecepatan angin rendah, diperlukan jenis bilah yang dapat mengkonversi energi angin menjadi putaran rotor dengan torsi yang besar [5]. Oleh sebab itu dipilih jenis bilah *inverse taper*.

Putar bilah turbin angin dengan torsi yang besar cenderung pelan, oleh karena itu diperlukan *tip speed ratio* yang rendah [6]. Berdasarkan pengujian Nishizawa, turbin angin dengan bilah jenis *inverse taper* berjumlah 5, menghasilkan torsi yang paling tinggi dengan *tip speed ratio* 2,5, dibandingkan jenis dan jumlah bilah turbin angin lainnya [7].

Adapun tipe airfoil yang digunakan dalam penelitian ini adalah NACA 4415 dengan peningkatan ketebalan 30% yang memiliki nilai efisiensi lebih baik dari NACA 4415 & NACA 4412 [8]. Adapun data NACA 4415 dengan peningkatan ketebalan 30% yang di-input memiliki rasio koefisien *lift & drag* (C_L / C_D) sebesar 37 dengan sudut serangnya adalah 8° dan koefisien *lift* terhadap sudut serang (C_{LD}) sebesar 1,48.

Blade (bilah) yang dibuat pada turbin angin harus kuat dan ringan, agar nantinya bilah mampu menahan energi angin yang datang [9]. Beberapa penelitian pembuatan komposit serat tandan kosong sawit dengan resin epoksi, menjadikan suatu material yang ringan dan kuat [10]. Yusoff melakukan penelitian mengenai variasi kandungan serat tandan kosong sawit pada pembuatan komposit dengan resin epoksi. Pada penelitian ini

variasi kandungan serat pada komposit adalah 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Komposit yang dibuat dengan perbandingan serat terhadap resin 5% memiliki kekuatan tarik maksimum, demikian kandungan serat 5% lebih optimum dibandingkan komposit dengan variasi kandungan serat lainnya yang telah diuji [11]. Alam melakukan penelitian mengenai komposit menggunakan serat tandan kosong sawit yang diberi perlakuan alkali dengan variasi panjang seratnya. Adapun komposit yang diuji menggunakan variasi panjang serat 10mm, 20mm, 30mm, 40mm dan panjang serat yang diacak (random). Diperoleh *tensile strength* dan *tensile modulus* terbesar dimiliki komposit yang dimuat dengan panjang serat 30mm [12]. Faizi telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi konsentrasi perlakuan alkali terhadap serat tandan kosong sawit. Perlakuan alkali (NaOH) dilakukan dengan perendaman serat tandan kosong kelapa sawit selama 2 jam dengan variasi konsentrasi larutan NaOH 0%, 3%, 5%, 7%, 10%. Hasil penelitian tersebut diperoleh serat yang diberi perlakuan alkali dengan komposisi larutan NaOH 3% memiliki nilai kekuatan tarik maksimum dibandingkan yang lainnya [13].

Wilayah Pekanbaru yang lahannya banyak dijadikan peluang usaha bagi perusahaan bahkan penduduk setempat untuk ditanam sawit, menjadikan banyak limbah sawit yang terbuang sia-sia. Salah satunya adalah tandan kosong sawit. Hal ini memberikan ide pada penulis untuk membuat inovasi pembuatan bilah turbin angin yang memanfaatkan serat alam sebagai material dasar pembuatan, yaitu serat tandan kosong sawit dan resin epoksi sehingga menjadi bahan komposit.

2. Metodologi

Adapun tahapan dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

2.1 Penentuan Data Kecepatan Angin Perancangan

Untuk menentukan data kecepatan angin perancangan Pengambilan data kecepatan angin di Pekanbaru dilakukan di *Rooftop* Gedung C Fakultas Teknik, Universitas Riau. Adapun data yang diperoleh, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Kecepatan Angin di Pekanbaru 19-21 Juli 2019

Tanggal	Pukul (WIB)					
	00	04	08	12	16	20
19 Juli	2,4	3,7	3,6	6,6	3,2	2,5
20 Juli	2,1	3,5	4,5	6,1	4,2	2,2
21 Juli	1,9	3,6	5,1	7,0	3,3	2,2

Kecepatan angin perancangan yang dipilih adalah kecepatan angin maksimum dari data kecepatan angin yang diperoleh, untuk menghindari kerusakan bilah apabila menerima kecepatan angin

tinggi. Oleh karena itu, kecepatan angin perancangan dipilih adalah 7m/s.

2.2 Perancangan Geometri Bilah

Adapun beberapa variabel yang ditentukan dalam langkah awal perancangan geometri bilah turbin angin dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Variabel-variabel untuk Mendapatkan Geometri Bilah

Variabel	Nilai
Daya Rencana (P_e)	300 Watt
Kecepatan Angin Perancangan (V_D)	7m/s
Tip Speed Ratio (λ)	2,5
Jumlah Bilah (B)	5
Efisiensi Bilah (C_p)	0,36
Densitas Udara (ρ_{air}) @ 30 °C	1,22kg/m ³

Dalam perancangan bilah, hal pertama yang harus dilakukan yaitu menghitung jari-jari bilah. Jari-jari bilah dihitung menggunakan persamaan 1 [14]:

$$R = \left[\frac{2 P_e}{C_p \eta_T \eta_g \rho_a \pi V_D^3} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Untuk mendapatkan panjang *chord* dan sudut puntir tiap elemen, *tip speed ratio* parsial dari tiap elemen harus diketahui. *Tip Speed Ratio* Parsial merupakan perbandingan antara kecepatan elemen bilah pada posisi tertentu dengan kecepatan angin dan untuk menentukan *Tip Speed Ratio* Parsial, digunakan Persamaan 2 [14].

$$\lambda_r = \frac{r}{R} \times \lambda \quad (2)$$

Untuk menentukan sudut puntir (pada tiap elemen bilah, hal pertama yang harus ditentukan yaitu *flow angle* (pada setiap elemen bilah. *Flow angle* ditentukan menggunakan persamaan 3 [14].

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \quad (3)$$

Setelah *flow angle* ditentukan, sudut puntir pada setiap elemen dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 4 [14].

$$\beta = \phi - \alpha \quad (4)$$

Setelah sudut puntir diketahui, selanjutnya panjang *chord* dari setiap elemen dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 5 [14].

$$C_r = \frac{8\pi r}{BC_L} \times (1 - \cos \phi) \quad (5)$$

Setelah geometri bilah didapat, maka selanjutnya dilakukan optimasi bilah untuk

menghasilkan bilah yang efisien dan untuk memudahkan dalam proses produksinya [14]. Proses optimasi bilah dilakukan dengan cara linierisasi dari elemen bilah. Untuk mempermudah proses, linierisasi dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel. Dari linierisasi ini didapatkan persamaan:

1. Persamaan Linier Panjang *Chord*

$$y = 0,0145(x) + 0,2052 \quad (6)$$

2. Persamaan Linier Sudut Puntir

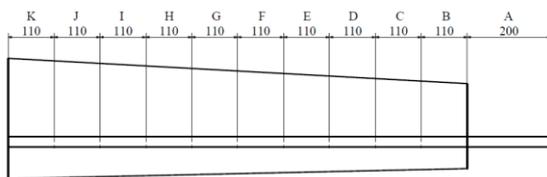
$$y = -2,9983(x) + 35,929 \quad (7)$$

Setelah persamaan linierisasi didapat, maka persamaan tersebut digunakan untuk proses linierisasi gemoteri yang telah didapat. Hasil linierisasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Geometri Bilah

Jari-jari Parsial (m)	Sudut Puntir (°)	Chord (m)
0,20	32,90	0,220
0,31	29,93	0,234
0,42	26,93	0,249
0,53	23,94	0,263
0,64	20,94	0,278
0,75	17,94	0,292
0,86	14,94	0,307
0,97	11,94	0,321
1,08	8,94	0,336
1,19	5,95	0,350
1,30	2,90	0,365

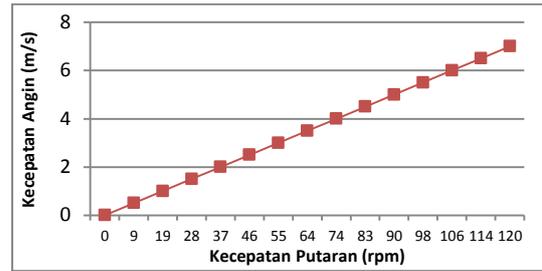
Pemodelan geometri bilah yang akan dibuat dapat dilihat pada gambar 1.



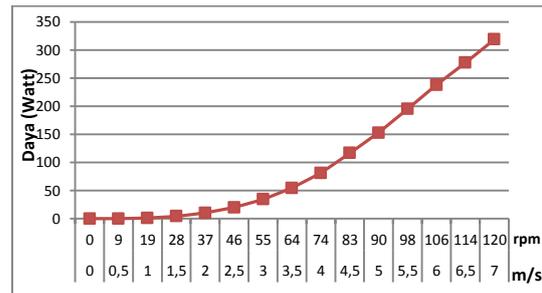
Gambar 1. Geometri Bilah

2.3 Validasi Rancangan

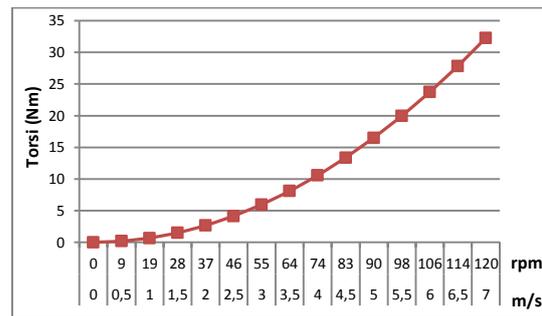
Setelah diperoleh geometri bilah, dilakukan validasi perancangan untuk mengetahui apakah rancangan bisa beroperasi dengan optimal. Validasi ini dilakukan dengan melakukan simulasi aerodinamis bilah menggunakan aplikasi Qblade. Untuk melakukan simulasi, terlebih dahulu spesifikasi rotor turbin angin di-input seperti, tipe airfoil, dimensi bilah, kecepatan angin perancangan (v_D), tip speed ratio (λ), jumlah bilah (B), dll.



Gambar 2. Grafik Kecepatan Angin (m/s) vs Kecepatan Putaran (rpm)



Gambar 3. Grafik Daya (W) vs Kecepatan Putaran (rpm)



Gambar 4. Grafik Torsi (Nm) vs Kecepatan Putaran (rpm)

Dari hasil simulasi, bilah akan berputar dengan kecepatan 120rpm pada saat kecepatan angin 7m/s yang menghasilkan daya sebesar 318W. Adapun torsi yang dihasilkan rotor pada saat kecepatan angin 7m/s adalah 32Nm. Berdasarkan hasil simulasi, perancangan bilah dapat beroperasi optimal, sehingga dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

2.4 Proses Produksi

Hal pertama yang dilakukan dalam proses produksi adalah persiapan alat dan bahan. Proses selanjutnya, tandan kosong sawit dipotong untuk diambil seratnya, kemudian dibersihkan dengan air. Kemudian serat diberi perlakuan alkali agar mengurangi lignin yang terdapat pada serat dengan direndam selama 2 jam, dengan komposisi NaOH 3% terhadap air. Setelah direndam, serat kemudian

dijemur di bawah sinar matahari dan dibiarkan hingga kering. Adapun proses selanjutnya pemotongan serat menjadi sepanjang 30mm.

Untuk proses produksi selanjutnya adalah pembuatan *molding* cetakan bilah. Pertama-tama *styrofoam* dengan ukuran 100mm x 400mm sepanjang 1,2 meter dipotong menjadi sesuai geometri bilah, selama pengerjaan ini, diperlukan ketelitian agar bentuk *styrofoam* sesuai dengan geometri bilah. Langkah selanjutnya dalam pembuatan *molding* cetakan, yaitu pendempulan permukaan *styrofoam*. Hal ini perlu dilakukan karena cetakan akan dibuat dari resin polyester dan serat kaca. Dimana saat pemisahan cetakan dari *molding* nantinya diharapkan, *molding* dari bahan *styrofoam* tidak patah. Maka, diperlukan pelapisan hingga *molding* menjadi kuat yaitu dengan pendempulan.



Gambar 5. *Molding* yang Sudah Didempul dan Diampelas

Setelah dilakukan pendempulan, permukaan *molding* dilakukan pengamplasan untuk mendapatkan permukaan yang halus dan hasil yang baik. Jika hasil pengamplasan terdapat lubang atau bergelombang, maka harus dilakukan pengulangan pendempulan dan pengamplasan pada wilayah yang tidak rata tersebut untuk hasil yang baik. Pada proses pengamplasan dibutuhkan kesabaran dan ketelitian untuk membuat hasil *molding* yang baik.

1. Pembuatan Cetakan Bilah

Pada proses pembuatan cetakan bilah, proses pencetakan dilakukan sebanyak 2 kali. Hal ini dilakukan karena bagian bilah yang akan dicetak terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian depan (A) dan bagian belakang (B). Pada proses pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay-up*. *Hand lay-up* dilakukan secara manual dengan cara meletakkan serat ke cetakan dan kemudian membasahi serat dengan kuas. Proses ini membutuhkan ketelitian agar serat pada cetakan tidak bergeser saat dilakukan pengolesan. Berikut dijelaskan proses pembuatan cetakan bilah:

- a. Pada tahap pertama adalah *molding* direkatkan triplek melamin di bagian tengahnya. Agar permukaan cetakan tidak lengket dengan serat kaca, maka dilakukan proses pemberian *wax* pada permukaan *molding* dengan cara memoles

secara berulang sebanyak 7 kali dengan selang waktu 10 menit. Adapun pemberian *wax* ini bertujuan agar pemisahan cetakan yang sudah kering dari *molding* nantinya menjadi lebih mudah.



- Gambar 6. *Molding* yang sudah direkatkan triplek melamin
- b. Kedua, dilakukan pemolesan resin polyester pada permukaan *molding* dan triplek secukupnya dengan rasio resin polyester terhadap katalis adalah 1kg : 1ml. Kemudian dilakukan pemberian tekanan dengan pompa vakum dan kantong kedap udara selama 2 jam. Adapun metode ini disebut dengan *vacuum bagging*, yang bertujuan untuk mengurangi gelembung udara (*voids*) pada proses pembuatan.



Gambar 7. Proses *Vacuum Bagging* pada Lapisan Pertama Pembuatan Cetakan Bagian Depan

- c. Setelah Proses *vacuum bagging* selesai, *molding* dilepas dari kantong kedap udara. Kemudian dilakukan pelapisan serat kaca pada *molding*, dimana tiap pelapisan diawali dan diakhiri dengan pemolesan resin polyester. Untuk tahap ini diberikan 1 lapis serat kaca saja. Kemudian dilakukan proses *vacuum bagging* selama dua jam. Setelah selesai dibiarkan dahulu selama 24 jam dan siap dilepas dari kantong kedap udara.
- d. pada tahap ini, dilakukan pelapisan seperti tahap sebelumnya tetapi menggunakan 4 lapisan serat kaca, sehingga pemolesan resin polyester dilakukan sebanyak 5 kali. Kemudian dilakukan proses *vacuum bagging* selama dua jam. Setelah selesai dibiarkan dahulu selama 24 jam dan siap dilepas dari kantong kedap udara.
- e. Kemudian dilakukan pemisahan triplek melamin pada *molding* dan cetakan bilah bagian depan.



Gambar 8. Hasil Cetakan Bilah Bagian Depan

- f. Untuk membuat cetakan bilah bagian belakang, terlebih dahulu dilakukan pemberian *wax* pada permukaan *molding* dengan cara memoles secara berulang sebanyak 7 kali dengan selang waktu 10 menit. Setelah itu dapat mengikuti tahap b sampai d.
- g. Setelah selesai kedua bagian cetakan bilah, dilakukan pemisahan *molding* pada cetakan secara perlahan.

2. Pembuatan Bilah

Pada proses pembuatan komposit serat tandan kosong sawit, menggunakan metode *hand lay-up*. Metode ini membutuhkan ketelitian agar serat pada cetakan tidak bergeser saat dilakukan pengolesan. Adapun bilah dibuat pada kedua sisi bagian cetakan dan setelah kering nantinya akan direkatkan menjadi satu buah bilah. Berikut ini adalah langkah pembuatan bilah:

- a. Langkah pertama yang dilakukan adalah pemberian *wax* pada permukaan cetakan dengan cara memoles secara berulang sebanyak 7 kali dengan selang waktu 10 menit. Adapun pemberian *wax* ini bertujuan agar pemisahan bilah yang sudah kering dari cetakan nantinya menjadi lebih mudah. Pada tahap ini, diaplikasikan pada cetakan bagian depan dahulu.
- b. Langkah kedua, dilakukan pemolesan pertama dengan resin epoksi dan *hardener* saja tanpa menggunakan serat, hal ini dilakukan agar hasil bilah memiliki permukaan yang halus. Pemolesan dilakukan pada permukaan cetakan dengan berat yang sudah terukur dengan rasio resin epoksi terhadap *Hardener* adalah 1 : 2. Kemudian dilakukan pemberian tekanan dengan pompa vakum dan kantong kedap udara selama 2 jam. Setelah itu, kantong kedap udara kemudian dilepas.



Gambar 9. Proses Pemolesan Resin Epoksi pada permukaan cetakan

- c. Setelah selesai, dilakukan pelapisan dengan tahapannya yaitu resin epoksi, serat tandan kosong sawit dan terakhir adalah resin epoksi. Sebelum pelapisan serat tandan kosong sawit, berat dari serat ditimbang menjadi 5% dari total komposit yang dibuat pada tiap cetakan, atau komposisi serat terhadap resin epoksi adalah 1:20. Kemudian dilakukan proses *vacuum bagging* selama 2 jam. Setelah selesai dibiarkan dahulu selama 24 jam dan siap dilepas dari kantong kedap udara.



Gambar 10. Proses *vacuum bagging* dalam pembuatan bilah bagian depan.

- d. Kemudian dilakukan pembuatan bilah bagian belakang dengan terlebih dahulu melakukan pemberian *wax* pada permukaan cetakan bagian belakang dengan cara memoles secara berulang sebanyak 7 kali dengan selang waktu 10 menit. Setelah itu dapat mengikuti tahap b dan c.



Gambar 11. Hasil Pembuatan Bilah Bagian Belakang

- f. Setelah kedua sisi bilah selesai dicetak, dilakukan pemotongan pada tiap tepi bilah yang berlebih. Kemudian bilah diberi *rectangular hollow* sebagai rusuk bilah agar menjaga bilah tetap kokoh, lalu dilakukan perekatan kedua sisi bilah menggunakan lem epoksi.



Gambar 12. Hasil Pembuatan Bilah

3. Hasil

Berikut ditampilkan hasil pembuatan bilah turbin angin *inverse taper*, pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil Pembuatan Bilah Turbin Angin

Dari hasil dari perancangan dan pembuatan bilah didapatkan radius bilah 1,1m dan *hub* 0,2m dengan panjang *chord* pangkal bilah 0,13m dan panjang *chord* ujung bilah 0,27m dengan sudut puntir pangkal 27° dan ujung 17° .

Dari hasil simulasi Qblade, bilah mampu berputar dengan kecepatan 120rpm pada saat kecepatan angin 7m/s yang menghasilkan daya sebesar 318W dengan torsi sebesar 32Nm.

Bilah menghasilkan torsi yang besar tetapi dengan kecepatan putaran yang rendah. Oleh sebab itu, diperlukan sistem transmisi agar dapat meningkatkan kecepatan putaran poros pada saat sampai ke generator untuk menghasilkan listrik dengan nilai yang sesuai dari daya bilah hasilkan.

4. Kesimpulan

Adapun Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu:

1. Perencanaan dan pembuatan bilah terdiri dari, tipe bilah *inverse taper* yang sesuai untuk wilayah dengan kecepatan angin rendah.
2. Geometri bilah dengan radius bilah 1,1m dan *hub* 0,2m dengan panjang *chord* pangkal bilah 0,13m dan panjang *chord* ujung bilah 0,27m dengan sudut puntir pangkal 27° dan ujung 17° .
- 3 Dari simulasi aerodinamis bilah menggunakan aplikasi Qblade dengan kecepatan angin 7m/s, bilah mampu berputar dengan kecepatan putaran 120rpm dan menghasilkan daya sebesar 318W.

Daftar Pustaka

- [1] *Institute for Essential Services Reform*. 2018. Laporan Status Energi Bersih Indonesia 2018. Jakarta: *Institute for Essential Services Reform (IESR)*.
- [2] Stasiun Metrologi Pekanbaru. 2018. Data Kecepatan Angin di Pekanbaru. Pekanbaru.

- [3] Hatta. 2017. "Perancangan Bilah Tipe *Inverse Taper* Pada Turbin Angin Berdasarkan Kondisi Angin di Pekanbaru". *Jom F-TEKNIK Vol 4*.
- [4] Bachtiar, Wahyudi Hayattul. 2018. "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras". Tesis. Teknik Elektro Institut Teknologi Padang.
- [5] GS.Tino Ferinando. 2017. "Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Berdiameter 2,6 Meter Di Gedung C Fakultas Teknik Universitas Riau". *Jom F-TEKNIK Vol 4*.
- [6] Ayman, Nada, Ali, Al-Shahrani. 2017. "Shape Optimization of Low Speed Wind Turbine Blades using Flexible Multibody Approach". Tesis. College of Engineering Jazan University.
- [7] Nishizawa, 2013. An Experimental Study of the Shapes of Rotor for Horizontal-Axis Small Wind Turbines. *Renewable Energy*. Japan. Volume 49. pp 6-9
- [8] Prasad, Janakiram, Prabu, Sivasubramaniam. 2014. Design and Development of Horizontal Small Wind Turbine *Blade* for Low Wind Speeds. *International Journal of Engineering Science & Advanced Technology*. Volume 4. pp 75-84.
- [9] Piggott. 2000. *Wind Power Workshop*. England: Centre For Alternative Technology.
- [10] Li. 2007. "Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review". Springer Science and Business Media.
- [11] Yusoff. 2010. "Mechanical Properties of Short Random Oil Palm Fibre Reinforced Epoxy Composites". *Sains Malaysia*. Volume 39. pp 87-92.
- [12] Alam. 2015. "Degradation and stability of green composites fabricated from oil palm empty fruit bunch fiber and polylactic acid: Effect of fiber length". *Journal of Composite Materials*. Volume 0. pp 1-12.
- [13] Faizi. 2018. "The Effect of Alkaline Treatments with Various Concentrations on Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Fibre Structure". Tesis. School of Mechatronic Engineering, University Malaysia Perlis.
- [14] Mathew. 2006. *Wind Energy Fundamentals Resource Analysis and Economics*. India: Springer.