



Uji Performa Sudu Turbin Berbahan Polimer Serat Karbon

Performance Test of Carbon Fibre Polymer Turbine Blade

Wisnu Kusuma Whardana, Erwin Erwin* dan Slamet Wiyono

Lab. Rekayasa Energi Baru Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
29/11/2021
Direvisi:
11/12/2021
Disetujui:
21/12/2021

Abstract

Sultan Wind Turbine is a vertical type wind turbine researched by New Renewable Energy Lab. which is used as development for wind energy utilization. In this wind turbine, there are problems in the form of blade resistance which is not strong enough to withstand wind velocity when the wind blows reaches 4 m/s. The blade, which is one of the parts that have the highest liability on the turbine, can be improved in terms of performance and their overall strength. The blade material which currently used is fibreglass, and Styrofoam can be substituted using a better material to improve its performance. Carbon fiber and ABS filament can be substituted as a blanket and airfoil to be used as materials for manufacturing new blades. This research will focus on improvised blades in terms of performance and strength. With an experimental and quantitative approach, the data obtained from the blades that have been improvised with carbon fiber and ABS filament, resulting in blades that are superior from their predecessors.

Keywords: wind, blade, performance.

Abstrak

Sultan *Wind Turbine* merupakan turbin angin jenis vertikal yang dikembangkan oleh Lab. Energi Baru Terbarukan digunakan sebagai pengembangan uji coba proses pemanfaatan energi angin. Pada turbin angin ini terdapat permasalahan berupa ketahanan sudu yang tidak kuat menahan angin ketika angin bertiup kencang yang mencapai 4 m/s. Sudu yang merupakan salah satu bagian yang dapat memiliki liabilitas paling tinggi dari turbin tersebut, dapat ditingkatkan performa dan ketangguhannya. Material Sudu yang digunakan saat ini berupa *fibreglass*, dan *styrofoam* dapat disubstitusi menggunakan material yang lebih baik untuk meningkatkan performanya. Serat karbon dan filamen ABS dapat disubstitusi sebagai pengganti body dan airfoil untuk digunakan sebagai bahan manufaktur sudu baru. Penelitian ini akan memfokuskan pada improvisasi sudu ditinjau dari performa, dan kekuatannya. Dengan pendekatan pengujian secara eksperimen dan kuantitatif, maka didapatkan data nilai pengujian dari sudu yang telah diimprovisasi serat karbon dan filamen ABS, menghasilkan sudu yang lebih unggul dari sudu pendahulunya.

Kata Kunci: angin, sudu, performa.

*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 821 8253 5758
email : erwin@untirta.ac.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Sultan Wind Turbine merupakan turbin angin jenis vertikal yang dikembangkan oleh Lab. Energi Baru Terbarukan digunakan sebagai pengembangan uji coba proses pemanfaatan energi angin. Pada turbin angin ini terdapat permasalahan berupa ketahanan sudu yang tidak kuat menahan angin ketika angin bertiup kencang yang mencapai 4 m/s.

Cilegon tempat dimana penelitian ini dilaksanakan, belum banyak yang mencoba menangkap potensi energi angin, untuk dimanfaatkan sebagai energi alternatif terbarukan, yang notabene Cilegon dekat lepas pantai yang memiliki potensi angin yang baik untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Sehingga dalam praktiknya diperlukan sudu yang memiliki performa yang unggul dalam menangkap energi angin yang sesuai dengan karakteristik dari kota Cilegon.

Adapun karakteristik dari angin, yaitu angin yang sering berubah-ubah, sering terjadinya turbulensi, kecepatan bertambah terhadap ketinggian (energi sebanding dengan pangkat tiga kelipatan), Potensi aktual ditentukan oleh distribusi kecepatan angin (topografi) lokasi. Sedangkan kecepatan angin di daerah Cilegon, yaitu: 2 m/s - 4 m/s (Sippa, 2019).

Turbin angin yang sekarang terletak pada lantai atas Gedung Rektorat Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dewasa ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut serta mencari penyelesaian masalah - masalah yang ada pada turbin tersebut. Salah satu masalah yang ditemukan pada turbin di atas adalah terjadi tabrakan antar sudu pada poros yang berbeda ketika angin menyentuh kecepatan 4 m/s serta deformasi pada sudu (Aryabathi, dkk., 2021).

Penelitian sudu sebelumnya menghasilkan sebuah analisa performa yang optimal dari desain sudu Darrieus H dengan jenis profil NACA S 1046 (Melin, 2013). NACA S 1046 (lihat Gambar 1) yang disimulasikan menggunakan metode pengujian *software Q-blade*, mendapatkan berbagai macam varian dan varian yang terbaik yaitu dengan panjang *chord* 170 mm, tinggi sudu 2200 mm, jari-jari sudu 320 mm. Hasil yang didapat dari varian ini mendapatkan nilai *coefficient of power* 0,543 dan *tip speed ratio* 2,51 (Muratoğlu, dkk., 2020).



Gambar 1. Profil *airfoil* NACA-S1046 (Muratoğlu, dkk., 2020).

Pada penelitian sebelumnya, Pemilihan spesifikasi di atas dilakukan berdasarkan perbandingan nilai *coefficient of power* (CP) dan *tip speed ratio* (TSR) dari beberapa varian yang didapatkan melalui metode Taguchi, sehingga didapatkanlah nilai CP dan TSR yang terbaik dengan spesifikasi yang ada pada Gambar 1 (Roy, dkk., 2017). Pemilihan spesifikasi tersebut belum dilandasi pada pemilihan material sudu yang diteliti, dengan sudu pendahulunya.

Setelah dibandingkan antara sudu yang diteliti dengan material *fibreglass* dengan sudu pendahulunya yang bermaterial *Styrofoam XPS*, didapatkan bahwa sudu bermaterial *fibreglass* memiliki nilai efisiensi berupa CP dan TSR yang lebih tinggi dari versi sebelumnya (Winata, dkk., 2020).

Penelitian sebelumnya yang lain menghasilkan sudu yang dibuat dengan acuan hasil simulasi profil desain sudu NACA-S1046 dengan material serat *fibreglass* komposit dan profil *airfoil* menggunakan kayu balsa. Didapatkan nilai performa dengan hasil kekuatan struktur lendutan bernilai 6,81 mm hingga 46,84 mm sesuai dengan variabel pembebanan, dan nilai kecepatan angin sebesar 18,64 mm/s². Terlihat pada nilai struktur lendutan pada sudu dengan material *fibreglass* yang mencapai 46,84 mm pada 90,65 N, nilai tersebut bisa ditingkatkan untuk menghindari beban lendutan dan torsional, agar sudu mampu mempertahankan strukturnya lebih baik ketika angin berkekuatan kencang.

Penelitian dari kekuatan serat karbon yang diuji tarik pada suatu lempeng baja yang telah dilapisi serat karbon komposit dan terdiri dari serat karbon dengan spesifikasi densitas 200 gr/m³ hingga 240 gr/m³. Berdasarkan penelitiannya didapatkan kurva grafis *stress - strain* pada baja yang dilapisi serat karbon komposit mampu menahan tegangan hingga 200 MPa sebelum akhirnya patah (Fadhil, dkk., 2014).

Sampel serat karbon komposit hanya mengalami peregangan elastis yang tidak terlalu panjang. Hal tersebut menunjukkan bahwa

komposit sifat fisik diantaranya ulet - getas. Ketika dilakukan proses analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada permukaan benda uji diketahui bahwa serat karbon komposit dapat mempertahankan strukturnya, namun tetap mengalami degradasi. Serat karbon hanya mengalami pengurangan dengan bentuk fisik yang hampir sama dengan bentuk fisik sebelum eksperimen (Fadhil, dkk., 2014).

Dengan nilai pengujian tegangan dari serat karbon yang mencapai 240 MPa dan memiliki densitas yang hampir mirip dengan *fibreglass* yang hanya mencapai 130 MPa (Winata, dkk., 2020), maka berdasarkan rumusan ini, substitusi material sudu berupa pelapisan menggunakan serat karbon komposit, diharapkan dapat menghasilkan sudu yang lebih unggul dalam taraf performa, spesifikasi, proses manufakturnya. Ketika ditinjau dari total massa, lendutan, kecepatan angin, dan momen puntir dari sudu yang telah dilapisi serat karbon.

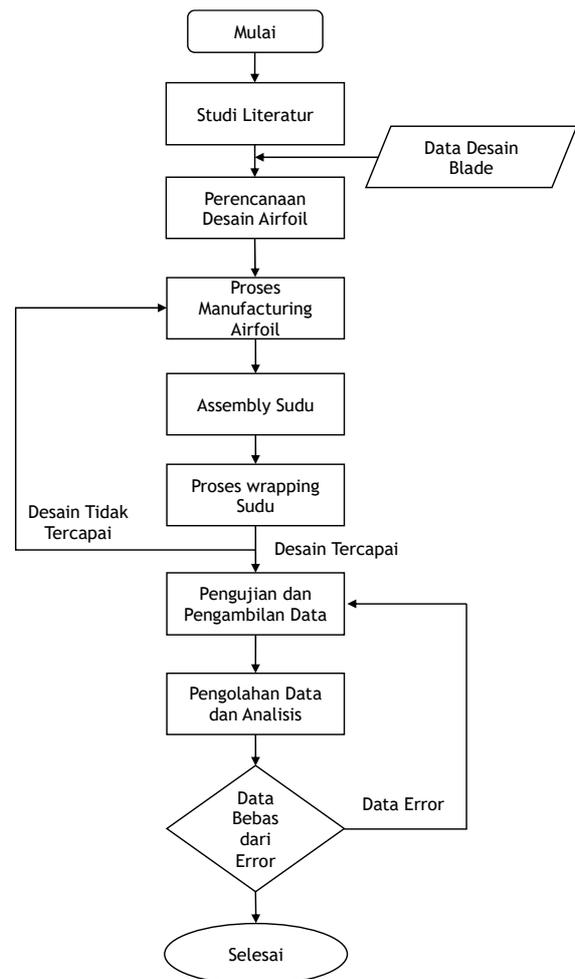
2. METODOLOGI

Adapun metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian berjenis Metode eksperimen merupakan metode penelitian kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (*treatment*/perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendalikan. Kondisi dikendalikan agar tidak ada variabel lain (selain variabel *treatment*) yang mempengaruhi variabel dependen.

Pada proses manufaktur, simulasi dan pengujian performa sudu ini, penelitian dilakukan di Lab. Energi Baru Terbarukan (Lab EBT) di Gedung Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten yang dilakukan pada tanggal 20 Januari 2021 s/d 16 November 2021.

Tahapan penelitian ini juga dapat dijabarkan tergambar dengan diagram alir penelitian, seperti yang tergambar pada Gambar 2. Dalam proses penelitian ini, melibatkan beberapa aspek material dalam perancangan pembuatan sudu yang sama dan berbeda dari sudu bermaterial *fibreglass*.

Material yang sama dalam pembuatan sudu bermaterial serat karbon melibatkan, poros aluminium $\frac{3}{4}$ inch sebagai poros utama, dan serat fiber sebagai pelapisnya. Sedangkan perbedaan material dari sudu sebelumnya diantaranya filamen ABS sebagai bahan *airfoil* NACA-S1046, dan serat karbon sebagai pelapis pendukungnya. Untuk pemilihan menggunakan material serat karbon 3K 220 gsm dengan anyaman model *twill* sebagai material perkuatannya.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

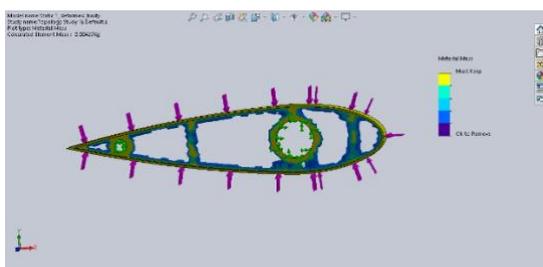
Pemilihan material ini diambil, mengikuti ketersediaan pasar pada saat penelitian ini dilakukan. Dan pertimbangan pemilihan serat karbon ini tidak banyak berpengaruh pada kekuatan atau sifat serat karbon pada umumnya. Penampakan dari serat karbon 3K 220 gsm dapat dilihat pada Gambar 3.



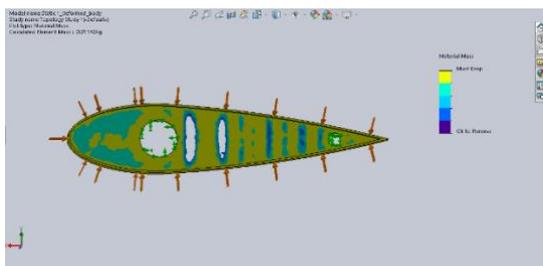
Gambar 3. Serat karbon 3K 220 gsm model Twill

Pada proses perancang *airfoil* penulis mengupayakan untuk mereduksi massa lebih lanjut untuk mengurangi massa *airfoil* dengan cara menggunakan metode simulasi *topology optimization*. Saat proses simulasi *topology optimization*, penulis menggunakan software *Solidworks 2018 SP1* dengan mensimulasikan desain digital acuan NACA-S1046 dan melanjutkan proses *topology study* (Ryan-Johnson, dkk., 2021).

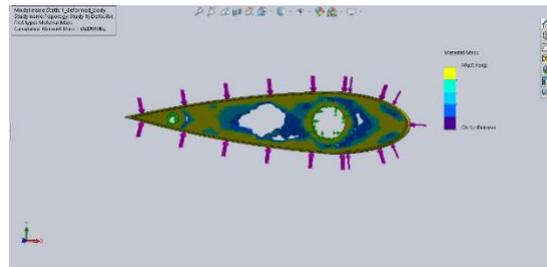
Topology Study Menghasilkan 3 buah desain *airfoil* yang telah dimodifikasi dengan acuan pembebanan maksimal pengujian sebesar 90,65 N, pada tiap permukaannya, dan model optimalisasi dengan tujuan, 1. *Minimize maximum displacement*, 2. *Best stiffness to weight ratio*, dan 3. *Minimize mass with displacement constraint*. Hasil dari masing-masing desain *topology* tersebut dapat dilihat pada ilustrasi pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 4. Desain *airfoil* 1



Gambar 5. Desain *airfoil* 2



Gambar 6. Desain *airfoil* 3

Adapun dari ketiga desain yang dihasilkan oleh software *Solidworks 2018 SP1*, *airfoil* yang dihasilkan memiliki massa tereduksi dengan rata-rata 10 gram, dari yang sebelumnya 13 gram. Penulis menggabungkan ketiga desain acuan tersebut pada desain digital dan didapatkan model dengan hasil seperti yang tertera pada Gambar 7.



Gambar 7. *Airfoil* NACA-S1046 yang telah dimodifikasi

Pada proses pengambilan data lendutan dan momen puntir menggunakan *dial indicator* (lihat Gambar 8) untuk mengukur jarak simpangan lendutan sebelum dan sesudah pemberian pembebanan. Adapun spesifikasi dari alat ukur yaitu, Mitutoyo 2046S, dengan *reading scale* 0-100, *range scale* 0-10 INC, dan nilai toleransi 0,001 mm.



Gambar 8. Mitutoyo 2046S

Pada proses analisa data dari sudu, pengujian melibatkan beberapa model perhitungan untuk mengetahui nilai data momen puntir dan kecepatan angin sudu.

Proses perhitungan momen puntir menggunakan perhitungan *trigonometri* (Nastiti, dkk., 2018) dan perhitungan kecepatan angin menggunakan perhitungan sentrifugal momen.

Perhitungan tersebut dapat dijabar seperti penjabaran perumusan sebagai berikut, yaitu:

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (1)$$

Dimana:

λ = Sudut puntir ($^{\circ}$)

y = Jarak sumbu terhadap *spindle* (mm)

x = Besar lendutan (mm)

Pengertian dari jarak sumbu terhadap *spindle* adalah jarak antara ujung panjang sudu tempat penempatan *spindel* terhadap poros utama.

Untuk perhitungan kecepatan angin dapat dijabarkan dengan perhitungan di bawah ini, yaitu.

$$F_s = \frac{m \times v^2}{r} \quad (2)$$

Dimana:

F_s = Gaya sentrifugal (N)

m = Massa (kg)

v = Kecepatan aliran (m/s^2)

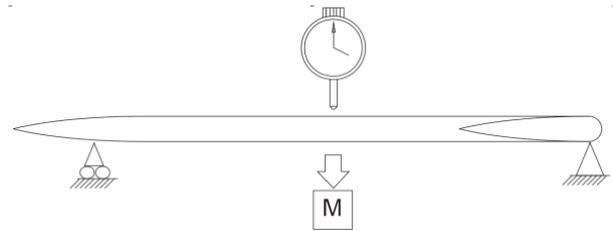
r = Jari-jari (m)

Setup proses pengambilan data lendutan (lihat Gambar 9) mengacu pada penelitian pengujian sebelumnya (Kamelia, dkk., 2021), dengan proses pengujian sebagai berikut, yaitu:

1. Membuat tempat pada tengah panjang sudu untuk diletakkannya sudu dan *dial indicator*.
2. Meletakkan sudu pada dua buah meja uji yang diletakkan tumpuan *cantilever* pada ujung dari setiap sudu.
3. Meletakkan *dial indicator* berada di titik berat dari sudu.
4. Memberikan massa tepat di titik berat dari sudu, massa diberikan dengan varian yang berbeda dan dilakukan secara berulang-ulang

sebanyak 30 kali mengikuti metode pengujian standar pengukuran dan menghindari adanya *miscalibration*.

5. Massa pembebanan terhitung sebesar 1,025 kg; 3,065 kg; 5,22 kg; 7,18 kg; dan 9,25 kg secara bertahap.
6. Mengukur hasil lendutan yang terjadi setelah diberikannya massa.



Gambar 9. Setup pengujian lendutan

Adapun alur proses pengujian momen puntir (lihat Gambar 10) pada sudu penelitian dengan metode eksperimen secara langsung, sebagai berikut, yaitu:

1. Membuat tempat untuk diletakkannya sudu dan *dial indicator* pada salah satu ujung sudu.
2. Meletakkan sudu pada tumpuan jepit pada salah satu ujung poros dari sudu.
3. Meletakkan *dial indicator* berada di titik berat (ujung sudu tidak berpenyangga) dari sudu.
4. Memberikan massa diujung titik berat dari sudu, massa diberikan dengan varian yang berbeda dan dilakukan secara berulang-ulang sebanyak 30 kali mengikuti metode pengujian standar pengukuran dan menghindari adanya *miscalibration*.
5. Massa pembebanan terhitung sebesar 1,025 kg; 3,065 kg; 5,22 kg, 7,18 kg, dan 9,25 kg secara bertahap.
6. Mengukur hasil lendutan yang terjadi setelah diberikannya massa.



Gambar 10. Setup pengujian momen puntir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Spesifikasi Sudu

Proses manufaktur dari sudu turbin bermaterial serat karbon, menghasilkan profil dan spesifikasi dari sudu Sultan *Wind Turbine* sebagai berikut, yaitu.

1. Dimensi Sudu :
 - 1) Panjang sudu : 2200 mm
 - 2) Panjang *airfoil* : 170 mm
 - 3) Jari-jari *airfoil* : 320 mm
2. Massa Sudu : 3,6 kg
3. Profil *Airfoil* Sudu : NACA-S1046

Dibandingkan dengan sudu pendahulunya yang bermaterial *fibreglass*, pendahulunya memiliki spesifikasi.

1. Dimensi Sudu :
 - 1) Panjang sudu : 2200 mm
 - 2) Panjang *airfoil* : 170 mm
 - 3) Jari-jari *airfoil* : 320 mm
2. Massa Sudu : 0,975 kg
3. Profil *Airfoil* Sudu : NACA-S1046

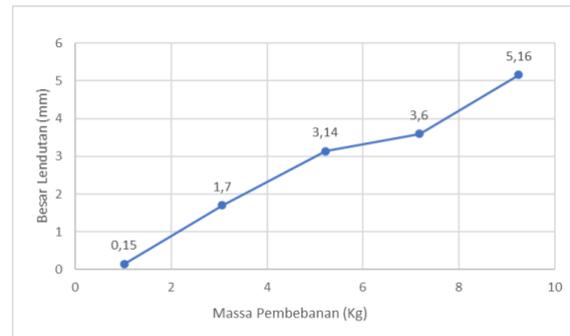
3.2. Data Pengujian Lendutan

Proses pengujian lendutan pada sudu yang diperkuat serat karbon, menghasilkan data lendutan dalam satuan milimeter (mm). Berikut pada [Tabel 1](#) disajikan data hasil pengujian pada sudu Darrieus:

Tabel 1. Data pengujian lendutan sudu bermaterial serat karbon

Pengujian Lendutan Sudu Turbin		
No.	Massa Lendutan (kg)	Besar Lendutan (mm)
1.	1,025	0,15
2.	3,065	1,7
3.	5,22	3,14
4.	7,18	3,6
5.	9,25	5,16

Dalam bentuk grafik, data lendutan yang tersaji dapat digambarkan seperti pada [Gambar 11](#). Pada grafik [Gambar 11](#), hasil pengujian pembebanan lendutan pada sudu bermaterial serat karbon, menunjukkan nilai lendut yang konstan dengan nilai terendah sebesar 0,15 mm dan terbesar sebesar 5,16 mm. Kurva lendutan juga tidak mengalami lonjakan nilai lendut yang eksponensial jika dibandingkan dengan sudu pendahulunya.



Gambar 11. Grafik besar lendutan sudu terhadap massa pembebanannya

3.3. Data Pengujian Momen Puntir

Proses pengujian momen puntir pada sudu yang diperkuat serat karbon, menghasilkan data lendutan dalam satuan milimeter (mm). Berikut pada [Tabel 2](#) ditampilkan data nilai hasil pengujian momen puntir pada sudu bermaterial serat karbon.

Tabel 2. Data pengujian momen puntir sudu bermaterial serat karbon

Pengujian Momen Puntir Sudu Turbin		
No.	Massa Lendutan (kg)	Besar Lendutan (mm)
1.	1,025	0,44
2.	3,065	1,41
3.	5,22	2,5
4.	7,18	3,62
5.	9,25	4,58

Dalam bentuk grafik, data lendutan yang tersaji dapat digambarkan seperti pada [Gambar 12](#).



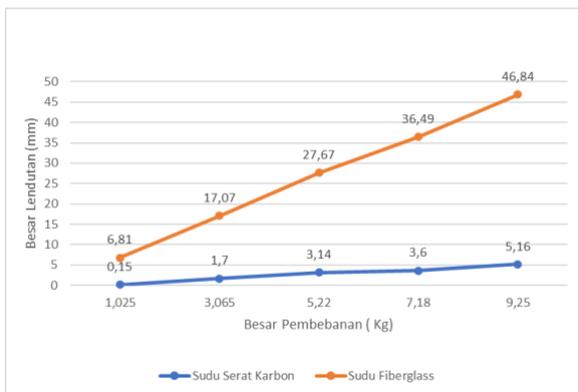
Gambar 12. Data pengujian momen puntir sudu bermaterial serat karbon

Pada grafik [Gambar 12](#) menunjukkan hasil nilai pembebanan puntir yang sama konstan dengan nilai. pembebanan lendut pada grafik

Gambar 11 sebelumnya. Nilai puntiran yang bernilai terkecil sebesar 0,44 mm dan terbesar sebesar 4,58 mm ini merupakan nilai yang sangat unggul dari nilai momen puntir sudu pendahulunya.

3.4. Analisa Data Lendutan Sudu Bermaterial Serat Karbon dan Sudu Bermaterial Fibreglass

Dengan diketahuinya nilai lendutan sudu bermaterial serat karbon, maka nilai ini dapat dibandingkan nilai lendutannya dengan nilai lendutan hasil sudu bermaterial *fibreglass*. Perbandingan ini akan memberikan gambaran besar pengaruh dari sudu turbin tanpa perkuatan serat karbon, dan dengan menggunakan serat karbon. Data perbandingan 2 buah sudu tersebut disajikan pada grafik Gambar 13.



Gambar 13. Grafik perbandingan data lendutan sudu bermaterial serat karbon terhadap sudu bermaterial *fibreglass*

Terlihat pada grafik Gambar 13, nilai pengujian kekuatan struktur kedua sudu tersebut, bahwa sudu bermaterial serat karbon memiliki nilai yang lebih unggul dari sudu bermaterial *fibreglass*. Dimana sudu bermaterial serat karbon memiliki nilai lendutan minimal 0,15 mm dan maksimal 5,16 mm, sedangkan sudu bermaterial *fibreglass* memiliki nilai lendutan minimal 6,81 mm dan maksimal 17,07 mm.

Perbedaan dari kedua figur nilai ini membuktikan bahwa pengaruh serat karbon sebagai material perkuatan sudu berhasil memperkuat sudu dari sudut pengujian lendutan, dibandingkan dengan serat *fibreglass* yang

digunakan sebagai pelapis dari sudu pendahulunya.

3.5. Analisa Data Momen Puntir

Dengan didapatkannya data lendutan puntir pada sudu bermaterial serat karbon, nilai momen puntir bisa ditentukan dengan persamaan trigonometri, maka nilai dari momen puntir untuk sudu dengan bermaterial serat karbon ini antara lain:

1. Momen puntir massa 1,025 kg

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{110}{0.44} = 0,23^{\circ}$$

2. Momen puntir massa 3,025 kg

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{110}{1.441} = 0,74^{\circ}$$

3. Momen puntir massa 5,22 kg

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{110}{2.5} = 1,31^{\circ}$$

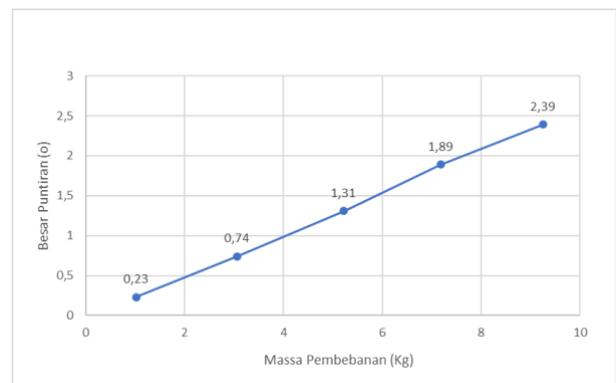
4. Momen puntir massa 7,18 kg

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{110}{0.44} = 1,89^{\circ}$$

5. Momen puntir massa 9,25 kg

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{110}{0.44} = 2,39^{\circ}$$

Dalam bentuk grafik, perhitungan momen puntir yang tersaji dapat digambarkan pada grafik sebagai berikut:



Gambar 14. Grafik perhitungan momen puntir

Berdasarkan hasil perhitungan nilai sudut puntir pada grafik Gambar 14, disimpulkan bahwa sudut puntir untuk sudu bermaterial serat karbon memiliki karakteristik yang kaku (*stiff*) pada aplikasinya dan memiliki nilai defleksi puntir yang minim.

3.6. Analisa Data Kecepatan Angin

Setelah diketahui besaran lendutan maksimal yang diberikan pada sudu bermaterial serat karbon ini, maka nilai kecepatan putar turbin, dengan perhitungan sentrifugal, didapatkan nilai kecepatan angin untuk sudu bermaterial serat karbon didapatkan hasil sebagai berikut:

$$F_s = \frac{m \times v^2}{r}$$

$$90,71 = \frac{3,6 \times v^2}{0,2}$$

$$90,71 = 11,25 \times v^2$$

$$v = 2,83 \text{ m/s}$$

Dari hasil perhitungan kecepatan angin diatas, dengan nilai 2,83 m/s maka dapat disimpulkan bahwa sudu bermaterial serat karbon, dapat melakukan rotasi sesuai dengan batas minimum angin yang ada di kota Cilegon dengan nilai 2 m/s, namun dengan kapabilitas penangkapan energi angin yang minim.

Hal ini disebabkan karena bobot massa dari sudu turbin terlalu berat dengan massa mencapai 3,6 kg, bila dibandingkan dengan massa sudu bermaterial *fibreglass* yang hanya mencapai bobot 0,975 kg dengan hasil kecepatan angin mencapai **7,83 m/s**.

4. SIMPULAN

Sudu bermaterial serat karbon memiliki kenggulan terhadap resistansi dari pembebanan lendut dan juga pembebanan puntir. Hal ini terbukti dengan minimnya nilai lendut dan puntir dibandingkan dengan nilai lendut dari sudu pendahulunya (Sudu bermaterial *fibreglass*).

Sudu bermaterial serat karbon mempengaruhi massa yang mengakibatkan kecepatan angin sudu tereduksi secara signifikan dari sudu pendahulunya (Sudu bermaterial *fibreglass*). Hal ini bisa disebabkan karena berat jenis dari serat karbon lebih berat dari serat *fibreglass* dan juga proses manufakturingnya yang berbeda.

Diharapkan untuk proses penelitian selanjutnya dapat menghasilkan sudu turbin yang memiliki performa sama atau lebih dari

sudu bermaterial serat karbon, dan memiliki total massa yang lebih ringan dari sudu bermaterial serat karbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryabathi, W., Erwin, E. dan Wiyono, S., 2021. Potensi Energi Angin pada Sisi Siku Atap Gedung Tinggi. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, hal. 205-214.
- Fadhil, Y.S.N., Siregar, M.A.M. dan Supriadi, S., 2014. Penelitian Sifat Termal dan Mekanik Komposit Serat Karbon. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII)*, 15-16 Oktober 2014. hal. 920-927.
- Kamelia, N., Sitompul, I.R. dan Suryanita, R., 2021. Analisis Numerik Sifat Mekanik Balok Baja dengan Penambahan Pengaku (Stiffener). *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), hal. 43-52.
- Melin, T., 2013. Parametric Airfoil Catalog, Part II: Göttingen 673 to YS930: An Aerodynamic and Geometric Comparison Between Parametrized and Point Cloud Airfoils. Linköping: Linköping University.
- Muratoğlu, A. dan demir, M.S., Investigating the Effect of Geometrical and Dynamic Parameters on the Performance of Darrieus Turbines: A Numerical Optimization Approach via QBlade Algorithm. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), hal. 413-4.
- Nastitip, G., Aulia, T.B. dan Muttaqin, M., 2018. Analisis Kapasitas Puntir Elemen Balok Beton Mutu Tinggi Dengan Substitusi Aditif, Agregat Halus Serta Agregat Kasar (Penggunaan Fly Ash Batu Bara, Pasir Pozzolan Dan Cangkang Sawit). *Jurnal Arsip Rekayasa*
- Roy, S., Branger, H., Luneau, C., Bourras, D. dan Paillard, B., 2017, Design Of An Offshore Three-Bladed Vertical Axis Wind Turbine For Wind Tunnel Experiments. *In International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (Vol. 57786, p. V010T09A046)*. American Society of Mechanical Engineers.
- Ryan-Johnson, W.P., Wolfe, L.C., Byron, C.R., Nagel, J.K. and Zhang, H., 2021. A Systems Approach of Topology Optimization for Bioinspired Material Structures Design Using Additive Manufacturing. *Sustainability*, 13(14), hal.8013-8032.

- Sippa, S., 2019. Rencana Program Dan Investasi Infrastruktur Jangka Menengah Kota Cilegon BAB IV. *Rencana Program Dan Investasi Infrastruktur Jangka Menengah Kota Cilegon*. Cilegon: Cipta Karya PU. [Cetak].
- Winata, A., dan Erwin, E., 2020. Manufaktur Dan Pengujian Sudu Turbin Tipe Darrieus H Dengan Jenis Profil NACA S-1046 Untuk Prototype Sultan Wind Turbine V.5.0. *Tesis*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. [Cetak].

