

# PEMBUATAN DESAIN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL (VAWT) DAN PANEL SURYA UNTUK PEMANFAATAN ENERGI LISTRIK

<sup>1</sup> Mayesha Dwi Fikako, <sup>2</sup> Muhammad Luqman Bukhori, <sup>3</sup> Ferry Setiawan, <sup>4</sup> Muhammad Azizzurrahman, <sup>5</sup> Muhammad Kevin Adam

<sup>1,2,3,4,5</sup> *Teknik Dirgantara, STTKD Yogyakarta*

## Abstrak

Pembuatan turbin angin vertikal dengan panel surya merupakan pemanfaatan energi angin dan energi panas menjadi salah satu energi yang dimanfaatkan, agar dapat diubah menjadi energi listrik, sehingga dapat membantu aktivitas manusia dan menjadi energi terbarukan yang ramah dengan lingkungan. Maka dibuatlah desain turbin angin vertikal menggunakan *software solidworks 2022*, perancangan terdiri dari beberapa bagian, yaitu panel surya, *blade/rotor* turbin angin, *blade support*, *shaft*, *pole arm*, *bearing housing*, *bearing*, tiang dan *box* panel listrik, dengan *electric installation* yang terdiri dari *controller*, *battery*, dan lampu, semua bagian dirancang dalam bentuk gambar 3D dan 2D. Turbin angin dengan ukuran tiang 5.02 m, kemudian ditambah 1.27274 m, *blade* turbin, panjang tiang lampu 1 m, kotak generator dan baterai 50 cm x 40 cm x 20 cm. Angin akan mendorong *blade* dari turbin angin yang bentuk *helical* dengan NACA 0021 dengan luas area *blade* 0.11 m, sehingga turbin *helical* akan memanfaatkan gaya angkat (*lift*) dan memutar bilah *blade* turbin dan menggerakkan generator agar mengkonversi energi listrik dari putaran turbin dan disimpan dalam baterai untuk menghidupkan lampu sebagai penerangan. Pada turbin angin vertikal energi listrik menghasilkan 51,8 watt/s serta energi listrik dari panel surya menghasilkan 13,25 VDC, maka daya total hasil dari turbin angin vertikal dan panel surya 71,6 Watt/h. Desain turbin angin vertikal yang ditambahkan dengan panel surya dapat disebut *hybrid*.

**Kata kunci:** Turbin Angin, *Helical*, Energi Listrik, NACA 0021

## Abstract

*The manufacture of vertical wind turbines with solar panels is the utilization of wind energy and heat energy as one of the energies that can be utilized, so that they can be converted into electrical energy, so that they can help human activities and become renewable energy that is friendly to the environment. Then a vertical wind turbine design was made using solidworks 2022 software, the design consists of several parts, namely solar panels, wind turbine blades/rotor, blade supports, shafts, pole arms, bearing housings, bearings, poles and electrical panel boxes, with proper electric installation. consisting of a controller, battery, and lights, all parts are designed in 3D and 2D drawings. Wind turbine with a pole size of 5.02 m, then add 1.27274 m, turbine blade, 1 m long light pole, generator box and battery 50 cm x 40 cm x 20 cm. The wind will drive the blade of a helical wind turbine with NACA 0021 with a blade area of 0.11 m, so that the helical turbine will utilize lift and rotate the turbine blades and drive the generator to convert electrical energy from turbine rotation and stored in the battery for turn on the light as lighting. In a vertical wind turbine, electricity produces 51.8 watts/s and electricity from solar panels produces 13.25 VDC, so the total power output from the vertical wind turbine and solar panels is 71.6 Watt/h. A vertical wind turbine design added with solar panels can be called a hybrid.*


**Keywords:** Wind Turbine, *Helical*, Electrical Energy, NACA 0021

## Pendahuluan

Peradaban yang semakin maju dan pesat membuat peningkatan energi dalam pemenuhan kebutuhan baik dalam bidang industri hingga rumah tangga, sehingga dunia mengalami krisis energi. Manusia tidak bisa mengandalkan dari energi fosil dimana energi dari fosil juga mengakibatkan gas rumah kaca yang mengganggu ekosistem dunia. Penggunaan energi baru dan terbarukan harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia tidak hanya sebagai upaya untuk mengurangi pemakaian energi fosil melainkan juga untuk mewujudkan energi bersih atau ramah lingkungan. (Azhar dan Satriawan: 2018). Selanjutnya, Pemenuhan energi dalam suatu negara menjadi suatu hal yang sangat penting karena sangat mempengaruhi perkembangan industri di negara tersebut. Salah satu komoditi unggulan dalam peradaban modern adalah energi. (Ridwan dan Latief: 2019). Indonesia memiliki pulau sekitar 17.000 dengan garis pantai sekitar 95.181 Km pada tahun 2022 dengan iklim tropis yang

<sup>1</sup>Email Address: [190302074@students.sttkd.ac.id](mailto:190302074@students.sttkd.ac.id)

Received 20 Desember 2023, Available Online 30 Desember 2023

 <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i2.952>

dilewati angin muson setiap musimnya. Potensi energi angin yang dimiliki Indonesia yaitu sekitar 9,3 GW akan tetapi yang terpasang hanya sekitar 0,5 GW. Dengan desain turbin sumbu vertikal dapat memanfaatkan aliran angin dari berbagai arah sehingga turbin tidak memerlukan pengarah angin untuk mendapatkan angin agar dilewati serta mendapatkan kecepatan paling tinggi dari angin yang melewati turbin. Berdasarkan uraian di bagian pendahuluan yang digunakan dalam penelitian adapun rumusan masalah yaitu bagaimana desain turbin angin vertikal dengan tipe *helic* dan bagaimana bagian-bagian desain turbin angin vertikal dengan tipe *helic*. Sehingga tujuan dalam penelitian ini untuk membuat desain *blade* sumbu vertikal agar mengetahui desain dalam 3 dimensi dan 2 dimensi dan mengetahui bagian-bagian desain turbin angin tipe *helic*.

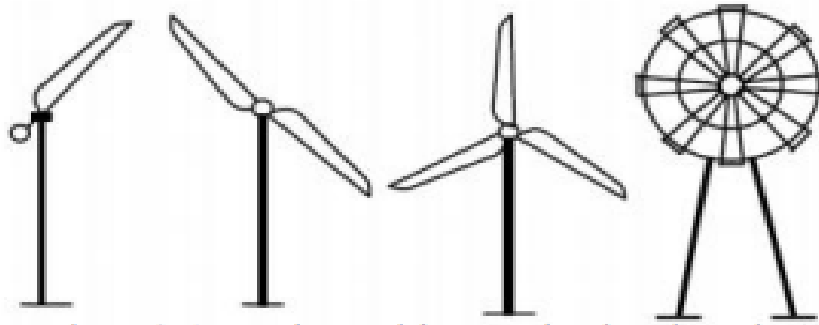
## Tinjauan Pustaka

### Turbin Angin

Turbin angin merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi angin menjadi energi listrik. Berdasarkan arah sumbu gerakannya, turbin angin terbagi menjadi dua, seperti : turbin angin sumbu horizontal *horizontal axis wind turbine* (HAWT) dan sumbu vertical *vertical axis wind turbine* (VAWT). Kemudian prinsip gaya aerodinamik yang terjadi, turbin angin dibagi menjadi dua, yaitu jenis: *lift* dan *drag*. Pengelompokan dengan prinsip aerodinamik tersebut pada rotor dimaksud dengan apakah turbin angin memanfaatkan energi angin dengan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui rotor atau memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan oleh aliran udara yang melewati bentuk aerodinamis sudut. Sehingga bisa dikatakan terdapat turbin angin yang menggunakan rotor atau *blade* dengan jenis *drag* dan turbin angin yang memanfaatkan jenis *lift*. Turbin angin memiliki jenis-jenis yang terbagi menjadi dua yaitu:

### Turbin Angin Horizontal

Turbin angin berdasarkan sumbu horizontal adalah turbin angin yang mempunyai sumbu rotasi rotornya secara paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin ini memiliki poros utama serta generator listrik di puncak menara kemudian diarahkan ke arah datangnya angin sehingga energi angin dimanfaatkan. Dengan prinsip aerodinamis pada turbin angin horizontal, gaya *lift* lebih besar dibandingkan dengan gaya *drag* sehingga *blade* turbin ini memanfaatkan gaya *lift*.



**Gambar 1. Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudut**  
(Sumber: Mathew,2006)

Seperti gambar di atas, turbin angin yang memiliki sudut-sudut berbeda, yaitu berdasarkan table 1:

**Table 1 turbin angin horizontal berdasarkan sudut-sudut**

No	Nama objek
1	Turbin angin satu sudut ( <i>single blade</i> )
2	Turbin angin dua sudut ( <i>double blade</i> )
3	Turbin angin tiga sudut ( <i>three blade</i> )
4	Turbin angin banyak sudut ( <i>multi blade</i> )

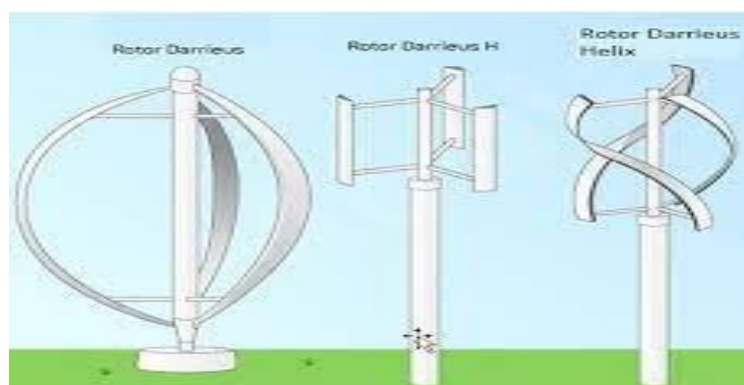
## Turbin Angin Vertikal

Turbin angin dengan sumbu vertikal adalah turbin angin dengan sumbu rotasinya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Sehingga turbin ini memiliki efisiensi dari pada turbin dengan sumbu horizontal, dimana angin yang melewati turbin vertikal dapat melalui rotor dari berbagai arah sehingga lebih efektif untuk mendapatkan hasil energi dari angin. Sehingga turbin ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu Turbin angin dengan sumbu vertikal tidak perlu diubah posisinya saat arah angin berubah, tidak membutuhkan struktur menara yang besar, konstruksi/desain pada turbin yang sederhana, turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan dalam penempatan komponen mekanik dan komponen elektronik serta perawatan atau *maintenance* yang mudah dan mendukung pengoperasinya.

Turbin angin dengan sumbu vertikal mempunyai beberapa jenis berdasarkan sumbunya, yaitu:

### Turbin Angin Darrieus

Turbin angin *darrieus* pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Turbin *darrieus* memiliki prinsip aerodinamik yang dapat memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudut *blade*, akan tetapi *torsi* rotor turbin ini rendah. Walaupun memiliki torsi rendah turbin ini putaran turbin *darrieus* lebih tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan energi listrik, namun turbin ini membutuhkan energi awal agar dapat memulai putaran pada rotor.



**Gambar 2 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal darrieus**  
(Sumber: Fadiel Muhammad Akbar & Chailillulah Rangkuti, 2018)

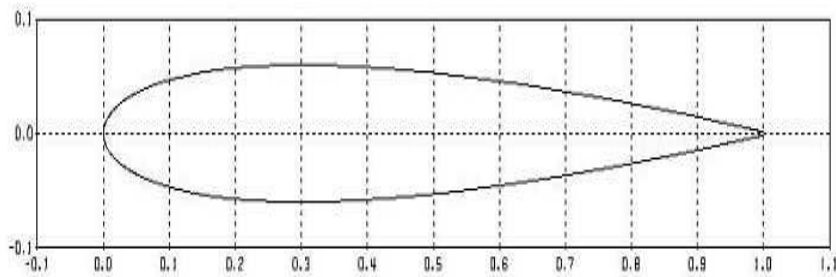
### Airfoil

*Airfoil* merupakan suatu bentuk geometri, ketika ditempatkan pada aliran fluida akan memproduksi gaya angkat (*lift*) lebih besar dari gaya hambat (*drag*). Pada *airfoil* ada beberapa bagian, yaitu *leading edge* merupakan bagian yang paling depan dari *airfoil*, *trailing edge* merupakan bagian yang paling belakang dari *airfoil*, *chamber line* merupakan garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan permukaan bawah dari *airfoil* *mean chamber line*, *chord line* merupakan garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*, *chord* (*c*) merupakan jarak antara *leading edge* dengan *trailing edge*, maksimum *chamber* merupakan jarak maksimum antara *mean chamber line* dan *chord line*. Posisi maksimum *chamber* diukur dari *leading edge* dalam bentuk persentase *chord*. maksimum *thickness* merupakan jarak maksimum antara permukaan atas dan permukaan bawah *airfoil* yang juga diukur tegak lurus terhadap *chord line*.

### NACA

NACA *airfoil* merupakan bentuk dari *airfoil* sayap pesawat terbang yang dikembangkan oleh *National Advisory Committee for Aeronautics (NACA)*. Sampai saat Perang Dunia ke-2, *airfoil* sering digunakan sebagai hasil riset dari Göttingen. Selama periode ini banyak pengujian *airfoil* dilakukan diberbagai negara, tetapi hasil riset dari NACA yang terkemuka dengan pengujian yang dilakukan

NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau *thickness* serta pengujiannya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dan terakurasi dibanding yang lain. NACA yang akan digunakan yaitu NACA 0021 seperti pada gambar 4.



**Gambar 3 Penampang airfoil NACA 0021**  
(Sumber: Hidayat, 2014)

### Bagian-bagian dalam Electric Instalation

*Controller*, atau bisa disebut dengan BBC (*Battery Charging Controller*) merupakan alat yang berfungsi untuk mengatur aliran listrik sebelum masuk ke baterai dan untuk melindungi baterai agar tidak mengalami *over charging* (kelebihan pengisian dan kelebihan tegangan) dari turbin angin dan panel surya



**Gambar 4 BBC hybrid**  
(Sumber: ME Girsang, R Pramana, 2017)

Baterai, atau *battery* merupakan alat yang menyimpan energi listrik yang telah dikonversi dan dapat mengalirkan aliran listrik ke objek seperti lampu.

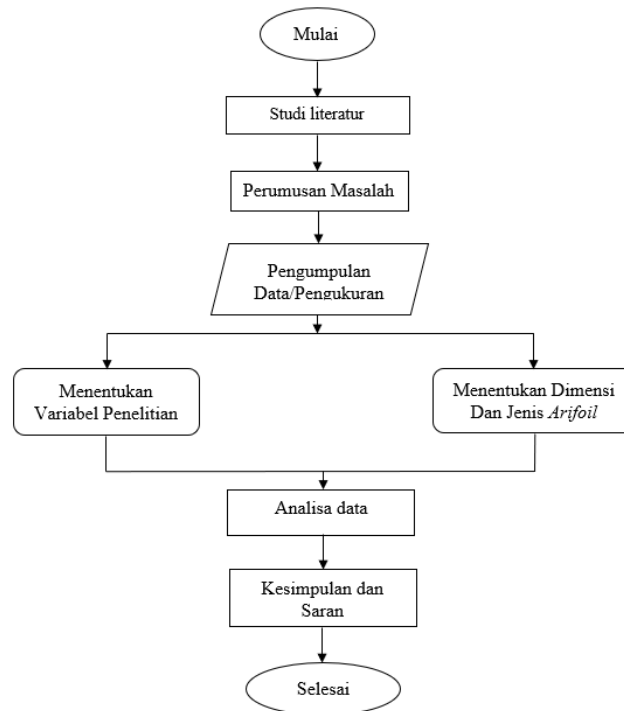


**Gambar 5 Baterai lifepo4**  
(Sumber: id.aliexpress.com)

## Metode Penelitian

Pengumpulan data merupakan tahap awal yang akan dilakukan sebelum melakukan penelitian, yang bertujuan agar mengetahui ilmu pengetahuan, dan mengolah data sebagai bahan penelitian. Dalam prosedur penelitian ini, alur penelitian yaitu sebagai berikut:

Gambar 3. Alur penelitian



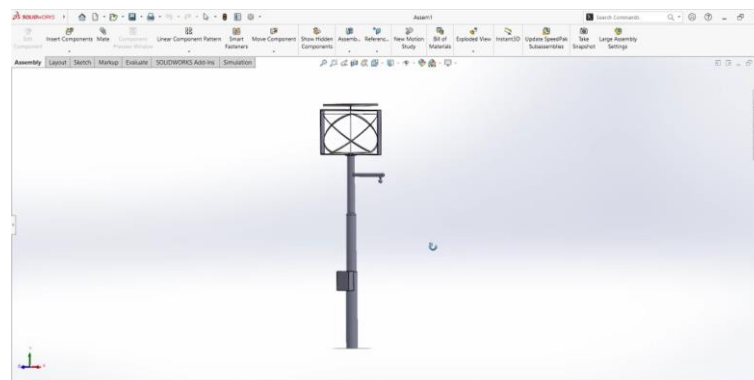
Gambar 3. Alur Penelitian

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil manufaktur

#### 1. Bagian-bagian Desain atau Rancangan Turbin Angin Tipe *Helic*

Dalam penelitian ini, desain turbin angin tipe *helic* dengan perpaduan panel surya (*solar panel*) menggunakan SolidWorks 2022 ditampilkan pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 6 Desain turbin angin *helic*

Dengan desain tersebut turbin angin ini akan dibagi dalam beberapa bagian sehingga mengetahui fungsi bagian tersebut dan menghasilkan energi listrik. dimensi ukuran pada turbin angin vertikal dapat dilihat sebagai berikut:

**Table 2 Keterangan ukuran turbin angin**

No	Objek	Ukuran (m)
1	Luas bilah rotor ( <i>blade</i> )	0,11 m
2	Tinggi bilah rotor ( <i>blade</i> )	1,27274 m
3	Panel surya (s x s)	1 m
4	Panjang <i>blade support</i>	1,42289 m
5	Tinggi <i>shaft</i>	1,14 m
6	Tinggi tiang penopang	5,02 m
7	Panjang tiang penopang lampu	1 m
8	<i>Pole arm</i> (p x l)	2,04 m x 1,17 m
9	<i>Bearing housing</i> (s x s)	0,125 m x

Selanjutnya, melakukan pendataan kecepatan angin di Bukit Paralayang Parangtritis pada desain atau rancangan turbin angin vertikal seperti pada table 3.

**Table 3 Data kecepatan angin di Bukit Paralayang Parangtritis**

Waktu	Kecepatan angin minimal (m/s)	Kecepatan angin maksimal (m/s)	Rata-rata kecepatan angin (m/s)
Pagi	3,43	9,06	6,24
Siang	4,55	6,61	5,58
Sore	3,89	5,00	4,44
Malam	1,73	2,15	1,94
Total rata-rata angin			4,55

Dari data kecepatan angin di Bukit Paralayang Parangtritis, menghasilkan perhitungan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin dan panel surya sebagai berikut:

#### a) Hasil energi listrik dari turbin angin vertikal

Dengan rata-rata kecepatan angin 4,55 m/s yang telah diukur menggunakan anemometer dapat dihitung sebagai berikut:

$$\rho = \text{Desensitas udara } 1,16 \text{ kg/m}^3$$

$$V_1 = \text{Kecepatan aliran udara sebelum melewati rotor blade } 4,55 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \text{Kecepatan aliran udara setelah melewati rotor blade } 1,501 \text{ m/s}$$

$$A = \text{Luas penampang } 110 \text{ mm (0,11 m) dikarenakan ada 4 Blade rotor maka (0,44 m/s)}$$

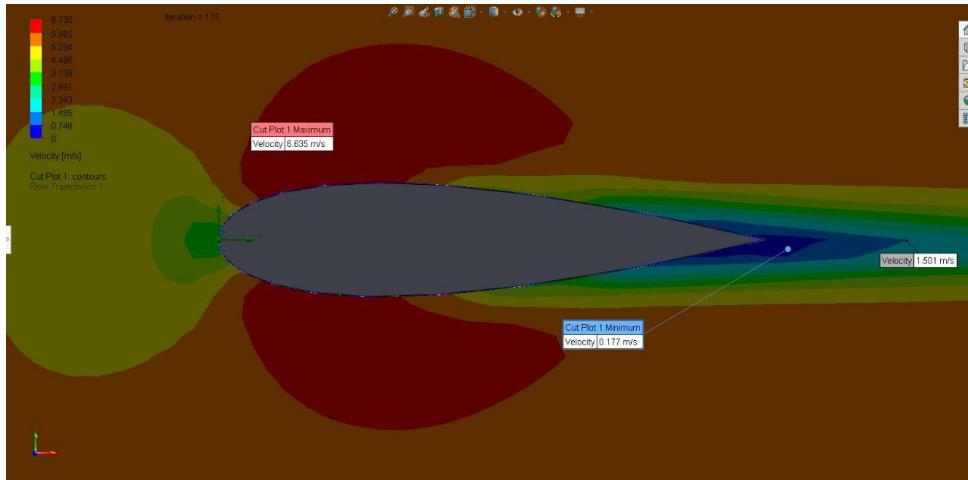
$$P = \frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)$$

Sehingga,

$$P = \frac{1}{4} \cdot 1,16 \cdot 0,44 \cdot (4,55^2 - 1,501^2) (4,55 + 1,501)$$

$$P = 14,294 \text{ Watt/s}$$

$$P = 51,8 \text{ Watt/h}$$



**Gambar 7 Hasil analisa kecepatan udara sesudah melewati Airfoil NACA 0021 menggunakan software SolidWorks 2022 flow simulation**

**b) Tegangan output dari panel surya**

Tegangan output dari panel dan radiasi matahari berdasarkan penelitian sebelumnya mempunyai nilai seperti pada table 4.

**Table 4 Tegangan Output dari Panel dan Radiasi Matahari**

No	Radiasi dari Panel Surya (W/m <sup>2</sup> )	Tegangan Output (VDC)
1	2,5	12,2
2	3,8	12,5
3	5,1	12,8
4	8,1	13,5
5	7,6	13,8
6	7,5	12,7
7	7,9	12,9
8	8,8	14,5
9	10,3	14,8
10	9,9	12,8
Rata-rata	7,5	13,25

(Sumber: Girsang, M. E., & Pramana, R., 2017)

Pada data tersebut, rata-rata radiasi dari panel surya 7,5 W/m<sup>2</sup> yang menghasilkan tegangan output sebanyak 13,25 VDC.

**c) Total daya yang dihasilkan dari turbin angin vertikal dan panel surya**

Dalam penelitian ini, hasil daya yang dihasilkan dari turbin angin vertikal dan panel surya sebagai berikut:

Diketahui:

$$P_{total\ daya\ turbin\ angin} = 51,8\ Watt/h$$

$$P_{total\ daya\ turbin\ p.surya} = 13,25\ VDC = 331,25\ Watt/s = 19,8\ Watt/h$$

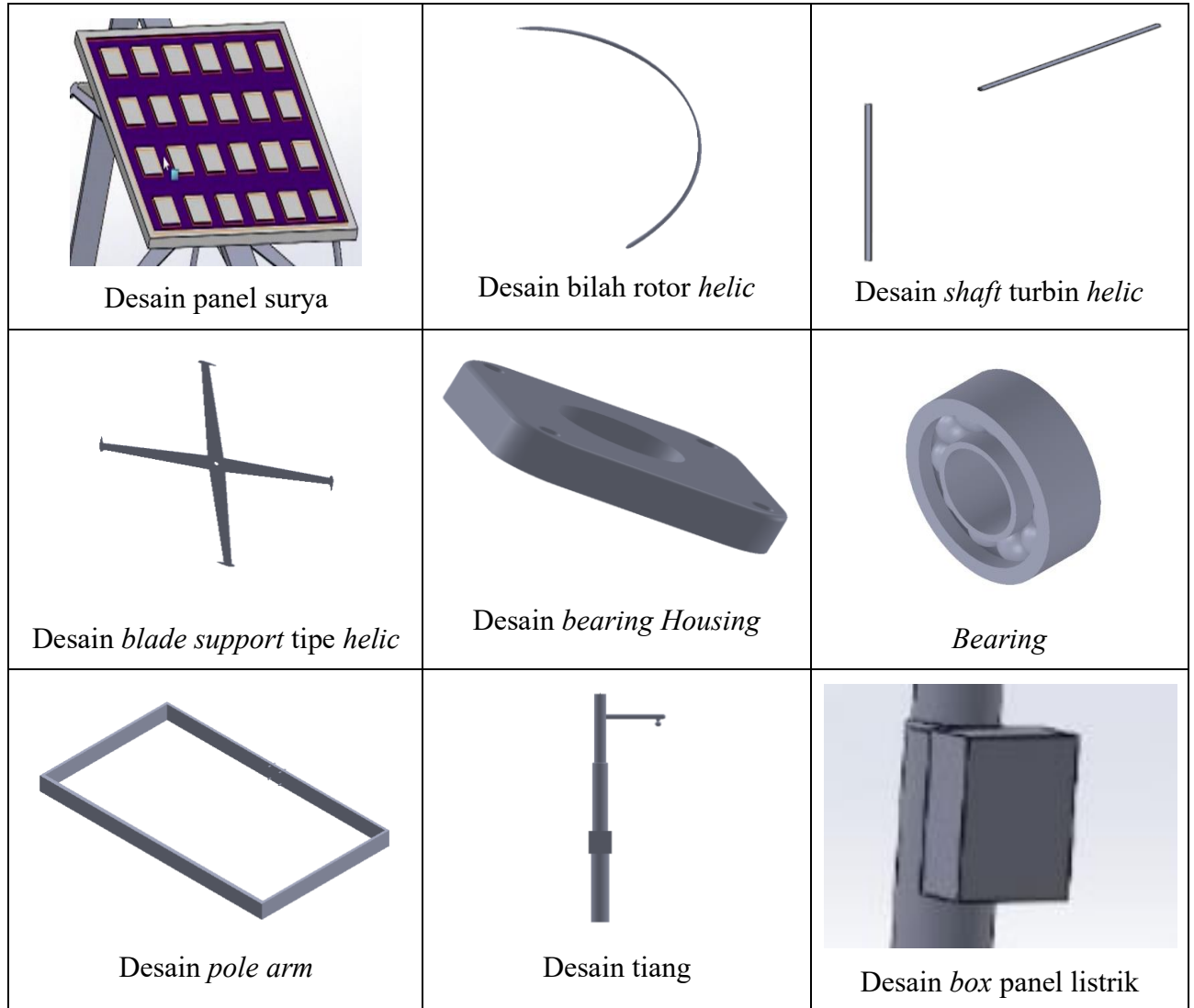
$$P_{total\ daya} = P_{total\ daya\ turbin\ angin} + P_{total\ daya\ turbin\ p.surya}$$

Sehingga,

$$P_{total\ daya} = 51,8 + 19,8 = 71,6\text{ Watt/h}$$

### Bagian-bagian *Electric Instalation* pada Turbin Angin Vertikal Tipe *Helic* dan Panel Surya

Pada Gambar 8. Merupakan bentuk desain atau rancangan dengan menggunakan *Software SolidWorks 2022* sebagai berikut:



**Gambar 8** Desain bagian-bagian pada turbin angin

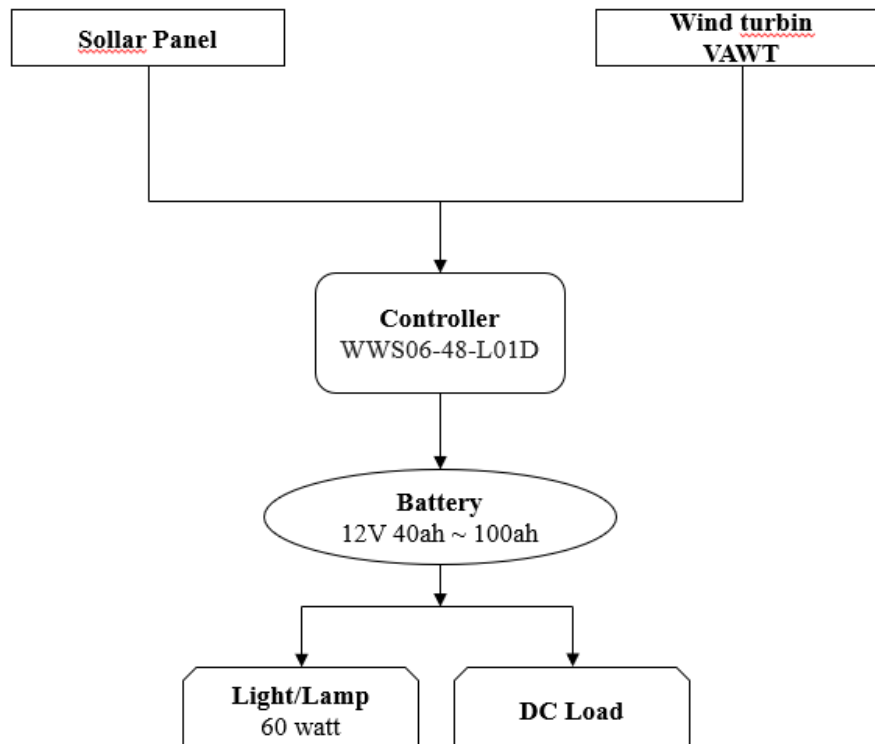
Berdasarkan bagian-bagian dalam desain turbin angin vertikal mempunyai tujuan, yaitu : **a)** bagian desain panel surya ini bertujuan sebagai daya untuk membantu putaran awal pada rotor turbin *helic* serta menjadi daya tambahan hasil dari energi listrik, **b)** desain *blade helic* ini bertujuan sebagai langkah memanfaatkan angin agar dapat memutar *shaft* dimana *blade* ini terhubung dengan *shaft* dengan bantuan penampang bilah atau *blade support*, **c)** *shaft* ini bertujuan untuk menghasilkan putaran yang nanti akan dikonversi menjadi energi listrik, **d)** desain *blade support* bertujuan untuk sebagai penampang *blade* yang terhubung dengan *shaft* yang dimana *shaft* tersebut akan berputar, **e)** desain ini *bearing housing* bertujuan sebagai penempatan *bearing* dimana nantinya *bearing* ini akan membantu saat *shaft* berputar, **f)** *Bearing* merupakan alat yang membantu putaran *shaft*, **g)** desain ini *pole arm* bertujuan untuk menyangga turbin dan panel surya sehingga panel surya dengan turbin



angin menjadi terpisah, **h)** bagian desain tiang ini bertujuan sebagai penopang turbin angin dan panel surya beserta dengan bagian-bagian pada turbin dan penopang lampu, **i)** desain *box* panel listrik ini yang bertujuan untuk tempat pemasangan listrik atau penempatan pemasangan bagian *electric*.

### Bagian-bagian *Electric Instalation* pada Turbin Angin Vertikal Tipe *Helic* dan Panel Surya

Gambar 5 merupakan diagram *electric installation* pada turbin angin dan panel surya sebagai berikut:



**Gambar 9** Diagram electric installation pada turbin angin dan panel surya

Agar mempertegas yang terdapat dalam diagram tersebut, maka energi panas dari panel surya dan energi angin dari turbin angin akan dikonversi menuju ke *controller* atau *Hybrid Charge Controller* beserta data monitoring oleh *controller* yang mempunyai fungsi untuk mengatur kelebihan arus, kemudian mengatur arus *overloading* dan memonitor temperatur baterai. Dengan spesifikasi *product model* (WWS06-48-L01D), *rated battery voltage* 48 V, *rated wind turbine input power* 600 W, *maximum wind turbine input power* 900 W, *wind turbine brake current* 13 A, *rated solar input power* 300 W, *charge shutoff voltage* 58 V, *charge recovery voltage* 52.8 V, *display mode* LCD display, *quiescent current* 20 mA.

Setelah energi listrik melewati *controller*, energi listrik akan masuk ke baterai dengan jenis baterai lifepo4 yang berfungsi sebagai penyimpanan energi listrik yang mempunyai spesifikasi dari karakteristik listrik, yaitu: *nominal voltage* 12.8V, *nominal capacity* (30 Ah, 50 Ah, 100 Ah), *energy* (384 Wh, 640 Wh, 1280 Wh), *internal resistance* ( $\leq 25$  m $\Omega$ ), *cycle life* ( $> 2000$  cycles), *months self discharge* ( $< 3$  %), *efficiency of discharge* 96 ~ 99 %. Kemudian untuk *standard charge*, yaitu: *charge voltage* ( $14.6 \pm 0.2$  V), *charge mode* (0.2 C to 14.6 V, then 14.6V, *charge current* to 0.02C (CC/CV)), *charger current* (10 A, 15 A, 20 A), *max charge current* (10 A, 15 A, 20 A), *charge cut-off voltage* ( $15.6V \pm 0.2V$ ). Selanjutnya untuk *standard discharge*, yaitu : *continuous current* (10 A, 15 A, 20 A), *max pulse current* (80 A ( $< 3s$ )), *discharge cut-off voltage* 10 V. Setelah energi listrik berada dalam baterai maka energi listrik dapat disuplai ke bagian listrik lainnya seperti ke lampu jalan berjenis Pju Led Osram Ledenvo dengan spesifikasi 60 Watt, sehingga hasil energi listrik dari turbin angin vertikal menghasilkan 51,8 watt dan pada panel surya ketika saat terkena radiasi tinggi menghasilkan 14,8

VDC

## Kesimpulan

Dalam desain atau rancangan turbin angin vertikal dengan tipe *helic* harus menggunakan *pole arm* dikarenakan turbin angin ini menambahkan panel surya di bagian atas *blade* atau bilah rotor agar *blade* dapat berputar tanpa gangguan dari panel surya. Pada turbin angin vertikal energi listrik menghasilkan 51,8 watt/s serta energi listrik dari panel surya menghasilkan 13,25 VDC, maka daya total hasil dari turbin angin vertikal dan panel surya 71,6 Watt/h. Sehingga dapat membantu putaran awal untuk turbin angin dan memberikan energi listrik tambahan. Dengan desain turbin angin vertikal yang ditambahkan dengan panel surya dapat disebut dengan *hybrid energy* atau gabungan sumber penghasil energi listrik yang mana energi ini tidak hanya sebagai energi untuk penerangan akan tetapi dapat menunjang aktivitas di Bukit Paralayang Parangtritis Yogyakarta sesuai dengan kapasitas baterai.

## Daftar Pustaka

- Afifudin, M. A., & Sarwono, R. H. (2010). Studi Eksperimental Performansi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) dengan Variasi Desain Turbin. *Jurnal Skripsi. Surabaya: Institut Sepuluh November*.
- Anwar, N. R. H. (2021). Perancangan Turbin Angin Jenis Helical untuk Sistem Pembangkit Listrik. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 19(1), 9-17.
- Carrigan, T. J., Dennis, B. H, Z. X., & Wang, B. P. (2012). Aerodynamic shape optimization of a vertical-axis wind turbine using differential evolution. *International Scholarly Research Notice*, 2012.
- DeCoste, J., McKay, D., Robinson, B., Whitehead, S., Wright, S., Koksall, M., & Hughes, L. (2005). Vertical axis wind turbine. *Department of Mechanical Engineering Dalhousie University*, 1-77.
- Girsang, M. E., & Pramana, R. (2017). Prototipe Hibrid Panel Surya dan Turbin Angin Untuk Menyediakan Daya Kamera Pemantau Bawah Laut di Kepulauan Riau. *J. Electr. Eng. UMRAH*, 1-14.
- Hidayat, M. F. (2014). Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 0021 dengan ANSYS Fluent. *Jurnal Kajian Teknologi*, 10(2).
- Huda, S. S., & Arief, I. S. (2014). Analisa Bentuk Profile dan Jumlah Blade Vertical Axis Turbine terhadap Putaran Rotor untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), G25-G29.
- Junaidin, B. (2020). Design of helical-blade rotor of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT). In *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta* (Vol. 6, pp. 145-150).
- Kurniawan, H., Nugroho, T. F., & Prastowo, I. H. (2016). Pemodelan Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) tipe H Rotor untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin.
- Miller, S. D. (2008). Lift, Drag and moment of a NACA 0015 Airfoil. *Department of Aerospace engineering*, 28.
- Suryadi, A. (2020). Pemanfaatan Pembangkit Turbin Angin Savionus Helix dengan Solar Cell pada Daerah Terpencil. In *Seminar Nasional Teknik Elektro* (Vol. 5, No. 1, pp. 13-17).
- Sawalhi, N. (2016). Helical Wind Turbine In partial fulfillment of the requirements for the Degree of Bachelor of Science in Mechanical Engineering. *Prince Mohammad Bin Fahd University*.
- Tharo, Z. (2019). Kombinasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Angin Untuk Mewujudkan Energi Murah dan Ramah Lingkungan, *Jurnal Ilmiah Abdi Ilmu*, 12(2), 143-149.
- Vembrianto, S. P., Junaidi, J., & Wicaksono, R. A. Simulasi Perbandingan Aliran Udara Pada Turbin Angin Vertikal Model Cross-Flow Dengan Dan Tanpa Menggunakan Guide Vane Melingkar. *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 2(2), 152-158.
- Winarto, F. E. W., & Sugiyanto, S. (2013). Potensi Pembangkitan Listrik Hybrid Menggunakan Vertical Axis Wind Turbin tipe Savonius Dan Panel Sel Surya. *Jurnal Teknologi*, 6(2), 147-152.
- Zhuga, A. T., Munyaradzi, B., & Shonhiwa, C. (2006, July). Design of alternative energy systems: A self-starting Vertical Axis Wind Turbine for stand-alone applications (charging batteries). In *Proceedings from the 2 nd International Conference on Appropriate Technology* (p. 72).