

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Metode pengumpulan data penelitian dilakukan dengan cara mempelajari jurnal dan literature penulisan yang mendukung. Penelitian terkait dengan turbin angin vertikal Darrieus sebelum nya telah dilakukan oleh Ismail pada tahun 2017 dengan judul "*Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darrieus Penerangan Jalan Tol*" dengan jumlah sudu turbin sebanyak dua buah, sudut puntiran sudu turbin sebesar 300 , diameter rotor sebesar 350 mm, dan ketinggian rotor sebesar 1,050 mm untuk kecepatan rata-rata angin sebesar 2.1 m/s. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin sebesar 1.908 Wh, dimana energi listrik yang disimpan mampu bertahan selama 12 jam di dalam akumulator sebesar 24 V dan kapasitas sebesar 50 Ah. Aplikasi energi tersebut dapat diterapkan pada dua buah lampu LED dengan daya sebesar 40 Watt 8-24 Volt DC dan total beban pemakaian sebesar 1.104 Wh<sup>[4]</sup>.

Penelitian lain juga dilakukan di tahun 2019 oleh Susio, Bambang Widodo, dkk dengan judul "*pengaruh Jumlah Bilah dan sudut Pasang Terhadap Daya Turbin Angin H-Darrieus Termodifikasi sebagai Pembangkit Tenaga Listrik Skala Rumah Tangga*" desain sudu dengan menggunakan airfoil dan profil pada sudut pasang sudu yang bagaimana memberikan daya keluaran dan tegangan keluaran yang optimal. Turbin angin didesain dengan 2 bilah dan 4 bilah dengan sudut pasang yang bisa diatur untuk mendapatkan perbedaan daya optimal masing-masing desain<sup>[5]</sup>.

Penelitian lain juga dilakukan di tahun 2020 oleh Sugeng Dwi Mulyo, Subuh Isnur Haryudo dengan judul "*Prototipe Turbin Darrieus Tipe H Sebagai Alat Charging Baterai Untuk Memenuhi Kebutuhan Beban Penerangan*" Sistem akan lebih baik jika menggunakan Generator DC dengan rating lebih baik karena konversi energi akan

maksimal. Pada konstruksi baling baling akan lebih baik menggunakan model dan bahan yang lebih lebar dan ringan agar dapat memaksimalkan penangkapan energi angin. Media Akumulator dengan nilai 6 Volt terlalu kecil untuk skala lampu sederhana, sehingga lebih baik jika Akumulator lebih besar agar mampu menyuplai lampu dengan daya lebih besar<sup>[6]</sup>.

Penelitian lain juga di lakukan di tahun 2020 oleh Nobertus Dodi, Krnowo dengan judul “*Pengaruh Jumlah sudu Terhadap Kinerja Turbin sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H*” Pada prototipe turbin bahwa turbin angin dengan variasi 2 sudu masih membutuhkan bantuan untuk melakukan putaran awal dikarenakan pada sudu terjadinya aliran yang menerobos melalui celah-celah tengah pada turbin yang mengakibatkan turbin berhenti pada putaran rendah<sup>[7]</sup>.

Penelitian serupa juga dilakukan di tahun 2021 oleh abdurrahim, Muhamad Ismail Yusuf dengan judul “*Rancang Bangun Prototipe Turbin Angin Tipe Darrieus dengan kecepatan angin di dwsa Temanjuk*” meliputi perancangan desain turbin angin darrieus turbin angin dengan ukuran tinggi turbin sebesar 330 mm, diameter sebesar 400 mm, panjang chord sebesar 60 mm, dan diameter poros sebesar 10 mm yang dibuat dengan bahan plat aluminium dan menggunakan 3 buah sudu<sup>[8]</sup>.

Dari kajian pustaka yang diambil dapat di simpulkan maka dari jurnal tersebut yaitu merancang pembangkit listrik tenaga angin. Ada juga beberapa jenis turbin yg di gunakan Jenis turbin yang di gunakan adalah turbin darrieusus dan juga Tipe yang di gunakan dalam kajian pustaka tersebut yaitu tipe darrieus tipe – H. Dalam kajian pustaka telah merancang turbin tersebut dengan 2 bilah dan dari kajian tersebut dengan menggunakan beban dari generator, namun voltase arus yang di hasil dari generator di abaikan.

Maka dalam rancangan yang akan di buat kali ini juga menggunakan jenis turbin darrieus dengan desain yang berbeda dengan menambah kan bilah yang berawal hanya 2 buah dalam rancangan ini akan menambahkan dengan 2 bilah lagi menjadi 4 bilah supaya memudahkan kinerjanya.

Tabel 2. 1 Perbandingan Ide TA dengan Penelitian Terkait

Penelitian	Metode	Hasil
Perancangan turbin angin vertikal tipe darrieus	Review Literature, Observasi, Perancangan, Analisis	Rata-rata kecepatan angin pada jalan tol yaitu 2,1 m/s dengan kecepatan angin terbesar yaitu 3,43 m/s dalam kondisi malam hari. Untuk memenuhi beban lampu LED 40 waat dengan beban daya sebesar 1104 Wh maka diperlukan dua buah turbin dengan daya total sebesar 1908 Wh dan waktu simpan energi selama 12 jam pada malam hari.
pengaruh Jumlah Bila dan sudut Pasang Terhadap Daya Turbin Angin H-Darrieus Termodifikasi sebagai Pembangkit Tenaga Listrik Skala Rumah Tangga	Penelitian Modeling ,simulasi	berdasarkan dimensi turbin angin yang disimulasikan dapat digambarkan bahwa dengan variasi 4 bilah dan sudut pasang (pitch) 350 dan 400 , kecepatan angin 5 m/s dan RPM 500 mampu menghasilkan daya turbin angin sebesar 246,83 watt sampai dengan 255,62 watt. Hal ini tentu saja, model ini menghasilkan pembangkit listrik tenaga angin skala rumah tangga
Prototipe turbin darrieus tipe H sebagai alat charging batre	Metode Pengembangan	Sistem kerja Prototipe Turbin Angin Darrieus Tipe H bekerja menghasilkan Tegangan Rata rata 39 Volt pada Kecepatan Angin. Rata

		<p>rata 4,5 m/s. Pada Kecepatan Angin yang sama mampu charging</p> <p>Akumulator 6 Volt 4,5Ah dengan Arus Rata rata 0,2295 A dengan waktu 15,68 jam. Waktu Penggunaan Akumulator didapatkan waktu selama 36 jam.</p> <p>Setelah dibandingkan Waktu Charging Akumulator Dan Waktu Penggunaan Akumulator, Prototipe Turbin Angin Darrieus Tipe H</p>
<p>Pengaruh Jumlah sudu Terhadap Kinerja Turbin sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H</p>	<p>Observasi, Perancangan, Analisis</p>	<p>prototipe turbin angin ini memvariasikan pada jumlah sudu yaitu dengan 2 sudu, 3 sudu dan 4 sudu. Dari variasi ini jumlah 2 sudu n bahwa turbin angin dengan variasi 2 sudu masih membutuhkan bantuan untuk melakukan putaran awal dikarenakan pada sudu terjadinya aliran yang menerobos melalui celah-celah tengah pada turbin yang mengakibatkan turbin berhenti pada putaran rendah.</p>
<p><i>Rancang Bangun</i></p>	<p>Review, Observasi,</p>	<p>Daya angin sebesar 5 Watt dan dengan kecepatan angin sebesar</p>

<p><i>Prototype Turbin Angin Tipe Darrieus dengan kecepatan angin di dwsa Temanjuk “</i></p>	<p>Perancangan, Analisis</p>	<p>2,7 m/s maka didapatkan spesifikasi rancangan turbin angin dengan ukuran tinggi turbin sebesar 330 mm, diameter sebesar 400 mm, panjang chord sebesar 60 mm, dan diameter poros sebesar 10 mm yang dibuat dengan bahan plat aluminium dan menggunakan 3 buah sudu Luas sapuan angin pada turbin angin darrieus tersebut sebesar 0,4144 m<sup>2</sup> .</p>
<p>Tugas Akhir Rancang bangun turbin angin poros vertikal darrieus tipe H untuk lampu Led</p>	<p>Perancangan Modifikasi Turbin angin Darrieus Tipe H dengan 4 sudu</p>	<p>Rancang bangun Turbin angin Darrieus Tipe H di modifikasi menjadi 4 sudu, spesifikasi dengan sudu ukuran tinggi sudu 80cm dan lebar sudu 26 cm ,luas rotor 0,014 m<sup>2</sup>, dengan tinggi turbin 33 cm lebar antara sudu 60cm,dengan menggunakan plat alumunimum dengan ukuran 0,005 mm, rotor menggunakan 1inch, menggunakan generator low rpm , menggunakan rasio gear 1 :10 .dengan tinggi dudukan lebar 60 cm tinggi 30 cm dan terdapat sensor tegangan, arus, sensor ini hanya untuk menampilkan.</p>

## 2.2 Sistem Konversi Energi Angin Menjadi Energi Listrik

Udara yang bergerak mempunyai massa, kerapatan dan kecepatan. Dengan adanya faktor-faktor tersebut, angin mempunyai energi kinetik dan energi potensial. Energi kinetik dan potensial ini dapat digunakan sebagai energi terbarukan sebagai pembangkit sistem tenaga listrik berupa PLTB. PLTB merupakan sebuah sistem dimana energi angin diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan sebuah turbin angin<sup>[15]</sup>. Pulau Jawa merupakan pusat ekonomi Indonesia sendiri baru akan mengembangkan pembangkit tenaga angin di daerah Bondowoso dengan kapasitas 60 MW<sup>[16]</sup>.



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Berteknologi *Hybrid*

(sumber :<https://pjusolarpv.wordpress.com/2019/07/19/pembangkit-listrik-tenaga-hybrid-angin-dan-matahari/>)

## 2.3 Dasar Teori

### 2.3.1 Energi Angin

Energi angin adalah salah satu energi terbarukan, sejak dahulu energi angin mulai dimanfaatkan sebagai keperluan sehari-hari. Dibutuhkan kincir angin untuk merubah energi kinetik yang terdapat pada angin menjadi energi mekanik untuk menggerakkan pompa, penggilingan dan menggerakkan generator sebagai penghasil listrik. Sekarang banyak negara maju mulai mengembangkan energi angin untuk menghasilkan energi listrik, karena angin merupakan energi yang ramah lingkungan<sup>[11]</sup>.

Angin merupakan udara yang bergerak dari daerah bertekanan udara tinggi ke daerah yang bertekanan udara lebih rendah. Pergerakan udara ini disebabkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan

tekanan udara di sekitarnya. Jika udara dipanaskan akan memuai yang akhirnya naik karena menjadi lebih ringan. Jika udara yang dipanaskan naik, tekanan udara menjadi turun karena udara berkurang kerapatannya sehingga udara dingin di sekitarnya akan mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tersebut. Udara lalu menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Di atas tanah udara menjadi panas dan kembali naik. Beberapa daerah di Indonesia yang secara geografi merupakan daerah aliran angin karena merupakan wilayah *nozzle effect* atau penyempitan antara dua pulau atau daerah<sup>[12]</sup>.

Kerapatan angin umumnya memiliki nilai  $1.225 \text{ kg/m}^3$ , arah angin bergerak dari daerah maksimum ke daerah minimum dan kekuatan angin adalah sebanding dengan kecepatannya. Energi kinetik ( $E_k$ ) dari massa udara ( $m$ ) yang bergerak dengan kecepatan ( $v$ ) dapat dinyatakan sebagai Perhitungan energi angin secara matematis berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Memperhatikan area penampang ( $A$ ) tertentu, di mana udara lewat pada kecepatan ( $v$ ), volume ( $V$ ) mengalir melalui unit waktu tertentu adalah:

$$V = v A \dots\dots\dots (2.2)$$

Aliran massa ( $m$ ) dengan kepadatan udara ( $\rho$ ) adalah:

$$m = \rho v A \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan yang mengekspresikan energi kinetik ( $E_k$ ) dari udara yang bergerak ( $v$ ) dan aliran massa ( $m$ ) menghasilkan jumlah energi yang melewati penampang ( $A$ ) per unit waktu. Energi ini secara fisik identik dengan dengan kekuatan ( $P_{turbin}$ ):

$$p_{turbin} = \frac{1}{2} (\rho Av) v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(2.4)$$

P =daya yang di hasilkan oleh energi angin (joules/s (watt))

ρ =massa jenis angin (1.225)

v =kecepatan angin (m/s)

A =luas satuan rotor ( $m^2$ )

Energi kinetik angin per satuan waktu

$p_{in} = 0,5 (\rho Av) v^2$  di ubah dari

$$p_{in} = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.5)$$

$p_{in}$  = daya angin,watt

$\rho$  = massa jenis, $kg/m^3$

A = luas penampang melintang arus angin yang di tangkap kincir, $m^2$

Apabila di asumsikan masa jenis  $\rho = 1,2 \text{ kg}/m^3$

$$p_{in} = 0,6 \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.6)$$

**2.3.2 Potensi Turbin Angin**

Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (balong-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik. Jadi proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor kemudian menjadi energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah sebagai berikut :



1. Rotor (baling-baling), rotor turbin sangat bervariasi jenisnya, diameter rotor akan berbanding lurus dengan daya listrik. Semakin besar diameter semakin besar pula listrik yang dihasilkan, dilihat dari jumlah sudu rotor (baling-baling), sudu dengan jumlah sedikit berkisar antara 2-6 buah lebih banyak digunakan.
2. Kecepatan angin, kecepatan angin akan mempengaruhi kecepatan putaran rotor yang akan menggerakkan generator yang dapat menghasilkan arus listrik pada putaran rendah .
3. Jenis genertor, generator tebagi dalam beberapa karakteristik yang berbeda, sistem konversi energi angin adalah generator Listrik yang dihasilkan dari Sistem Konversi Energi Angin akan bekerja optimal pada siang hari di mana angin berhembus cukup kencang dibandingkan dengan malam hari, sedangkan penggunaan listrik biasanya akan meningkat pada malam hari. Untuk mengantisipasi, sistem ini sebaiknya tidak langsung digunakan untuk keperluan produk-produk elektronik, namun terlebih dahulu disimpan dalam satu media seperti baterai atau aki sehingga listrik yang keluar besarnya stabil dan bisa digunakan kapan saja. Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kincir angin<sup>[9]</sup>.

Tabel 2. 2 Potensi Energi Angin dan Lokasi Potensial

(Sumber: LAPAN,2005)

<b>KELAS</b>	<b>Kecepatan angin (m/s)</b>	<b>Daya Spesifik (<math>W/m^2</math>)</b>	<b>Kapasitas (kW)</b>	<b>Lokasi</b>
<i>Skala Kecil</i>	2,5 - 4,0	< 75	s/d 50	<i>Jawa, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi</i>
<i>Skala Menengah</i>	4,0 – 5,0	75 - 150	50 – 100	<i>NTB, NTT, Sulsel, Sultra</i>
<i>Skala Besar</i>	>5,0	>150	>100	<i>Sulsel, NTB, NTT, Pantai Selatan Jawa</i>

### 2.3.3 Kincir Angin

Kincir angin merupakan sebuah alat yang memanfaatkan energi angin dan merubahnya menjadi gerak mekanis yang dapat digunakan untuk keperluan seperti menggiling biji-bijian, memompa air dan bisa juga digunakan sebagai alat pembangkit listrik. Dalam perkembangannya kincir angin pertama kali di temukan oleh bangsa Persia pada tahun 200SM. Pada masa tersebut kincir angin yang dinamai *panemone* dimanfaatkan untuk menggiling gandum. Kincir ini memiliki sumbu vertikal dengan layar-layar yang terbuat dari buntelan alan-alang dan kayu. Sejak saat itu kincir angin mulai di kembangkan mulai dari keperluan pengairan bahkan bisa digunakan untuk pembangkit listrik. Dari sekian banyak kincir angin yang diciptakan, dapat dibedakan terhadap posisi sumbunya sebagai berikut<sup>[11]</sup>.

#### 2.3.3.1 Kincir Angin Sumbu Vertikal

*Vertical Axis Wind Turbin* (VAWT) adalah kincir angin yang pemasangan poros utamanya tegak lurus. Pada tipe ini sangat baik digunakan pada lingkungan yang arah anginnya tidak menentu, karna sudu yang tegak lurus terhadap arah angin memungkinkan kincir berputar terhadap sumbu yang vertikal. Berikut ini adalah kincir angin sumbu vertikal:

##### a. Kincir Angin Savonius

Turbin angin dengan konstruksi sederhana yang ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius (1922). Turbin yang termasuk dalam kategori TASV (Turbin Angin Sumbu Vertikal) ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder. Konsep turbin angin savonius cukup sederhana prinsip kerjanya berdasarkan *differential drag windmill*. Kincir angin Savonius seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 adalah kincir angin sumbu vertikal berbasis *drag*. Diciptakan oleh insinyur Finlandia SJ Savonius pada tahun 1922 menggunakan dua pisau berbentuk “S” untuk rotor. Sebuah penelitian mengenai turbin angin jenis savonius bisa didapatkan nilai koefisien

daya mencapai 31% sehingga banyak peneliti yang mengembangkan kincir angin *Vertikal Axil Wind Turbine* (VAWT) jenis savonius<sup>[11]</sup>.



*Gambar 2. 2* Turbin angin Sevonius<sup>[11]</sup>

**b. Kincir Angin WePOWER**

Kincir angin *WePOWER* seperti ditunjukkan Gambar 2.7 merupakan kincir angin vertikal yang mampu bekerja baik di daerah yang kondisi kecepatannya rendah. Kincir angin *WePOWER* adalah kincir angin jenis poros vertikal buatan perusahaan yang bernama *PacWind* dan bekerja sama dengan *WePower, United States* lalu dikembangkan dalam proyek *green energy* (energi ramah lingkungan). Kincir model ini mampu menerima angin dari segala arah dan mampu menerima kecepatan angin yang rendah, kincir ini cocok di tempatkan pada gedung gedung bertingkat, pedesaan, dan di rumah-rumah seperti di pemukiman atau dilahan pertanian<sup>[11]</sup>.



*Gambar 2. 3* Kincir angin tipe WePOWER

(Sumber : [www.apakabardunia.com/2011/07/10-kincir-angin-terbaik-berdesain.html](http://www.apakabardunia.com/2011/07/10-kincir-angin-terbaik-berdesain.html))

### 2.3.3.2 Kincir Angin Sumbu Horizontal

*Horizontal Axis Wind Turbin (HAWT)* atau kincir angin tipe horisontal adalah kincir angin yang memiliki poros sejajar dengan arah angin. Kincir angin ini sangat banyak digunakan karena memiliki efisiensi yang tinggi. Kincir angin tipe ini membutuhkan penggerak untuk merubah posisi kincir agar sesuai dengan arah datangnya angin<sup>[11]</sup>. Berikut adalah contoh-contoh kincir angin sumbu horisontal:

#### a. Kincir Angin Propeller

Kincir angin tipe propeller Gambar 2.8 memiliki bentuk sudu yang menyerupai sayap pesawat. Kincir angin inilah yang sampai sekarang masih digunakan dan layak digunakan untuk keperluan komersil, karena kincir angin tipe ini memiliki efisiensi yang sangat baik.

#### b. Kincir Angin Propeller

*American multiblade* dirancang oleh Daniel Halladay pada tahun 1854, disain kincir angin ini memiliki jumlah sudu yang banyak dan sebuah layar untuk merubah posisi kincir sesuai datangnya arah angin. Kincir angin ini digunakan untuk memompa air tanah menuju

permukaan dan kincir angin yang lebih besar digunakan sebagai penggiling gandum dan pemotong jerami<sup>[11]</sup>.



Gambar 2. 4 Kincir Angin Tipe Propeller

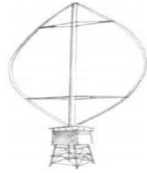
(sumber : <http://jendeladengabei.blogspot.com/2012/11/pembangkit-listrik-tenaga-bayu-angin.html>)

### 2.3.4 Turbin Angin Darrieus

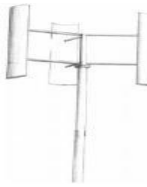
Turbin angin ini merupakan jenis VAWT dengan efisiensi tinggi dan mampu menghasilkan torsi cukup besar pada putaran dan kecepatan angin yang tinggi. Turbin angin Darrieus mengaplikasikan sudu dengan bentuk dasar airfoil simetris (seperti NACA seri 4-digit 0012, 0015, 0018, dll). Mengacu pada bentuk sudu, prinsip kerja turbin angin Darrieus memanfaatkan gaya *lift* yang terjadi ketika permukaan airfoil dikenai aliran angin<sup>[10]</sup>. Turbin angin sumbu vertikal ini mempunyai bilah-bilah tegak yang berputar kedalam dan keluar dari arah angin. Bertipe gaya angkat yang menghasilkan lebih banyak daya output dan efisiensi tinggi. Desain darrieus ini cukup baik dan dapat menghasilkan torsi yang besar dimana berpengaruh terhadap putaran generator<sup>[17]</sup>.

H-rotor adalah pengembangan dari turbin angin Darrieus tipe *Straight-bladed* dengan menggunakan dua *blade* saja. Tipe ini dikembangkan di Inggris melalui penelitian pada tahun 1970-1980 dengan tujuan untuk menyederhanakan bentuk turbin angin Darrieus

tipe *Straight-blade*. Sketsa turbin angin jenis H-rotor ini ditunjukkan pada Gambar.



*Gambar 2. 5* Turbin Angin Darrieus VAWT Tipe Eggbeater  
(atau *Curved Bladed*)



*Gambar 2. 6* Turbin Angin Darrieus VAWT Tipe *Straight-bladed*



*Gambar 2. 7* Turbin Angin *Darrieus* VAWT Tipe H-Rotor

### 2.3.5 Koefisien Daya

Koefisien daya adalah hal penting dalam merancang turbin angin karena menunjukkan berapa besar energi angin yang dapat diekstraksi dari energi kinetik angin yang melalui penampang rotor menjadi suatu daya. Koefisien daya sangat mempengaruhi kinerja turbin

angin, dan dipengaruhi oleh konstruksi turbin angin dan prinsip konversi energinya. Menurut hukum betz, mengatakan bahwa energi kinetik yang bisa dikonversikan menjadi energi mekanik pada sebuah wind turbine adalah kurang dari  $\frac{16}{27}$  atau 59% saja. Sehingga di dapatkan sebagai Perhitungan koefisien<sup>[13]</sup>. secara matematis berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$C_p = \frac{P_p}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

$C_p$  = koefisien daya (%)

$P_{poros}$  = daya yang dihasilkan oleh kincir (watt)

$P_{in}$  = daya angin (watt)

Koefisien daya ( $C_p$ ) merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan dan daya yang dimiliki angin yang hanya mencapai nilai sederhana sekitar 0,2 hingga 0,3. Dengan rotor yang bergerak lebih cepat dengan bilah rotor yang memanfaatkan gaya angkat, koefisien daya mendekati 0,5 dapat dicapai. Rotor turbin multi bilah berputar lambat namun memiliki torsi tinggi, torsi jauh lebih rendah untuk rotor dengan kepadatan bilah rendah dan sedikit bilah. Turbin dengan torsi awal tinggi seperti turbin dengan rotor dua bilah yang bekerja cepat memiliki torsi Awal yang besar sehingga hampir tidak dapat memulai kecuali bilah dipasang ke sudut yang optimal<sup>[13]</sup>.

### 2.3.6 Tip Speed Ratio

*Tip Speed Ratio* (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin. TSR juga dapat dilambangkan dengan  $\lambda$ . Secara perumusan dapat dituliskan<sup>[11]</sup>. Sebagai Perhitungan *tip speed ratio* secara matematis berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$TSR = \frac{2\pi r n}{60V} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

$TSR$  = tip speed ratio

$r$  = jari jari rotor

$n$  = putaran poros kincir (rpm)

$V$  = kecepatan angin (m/s)

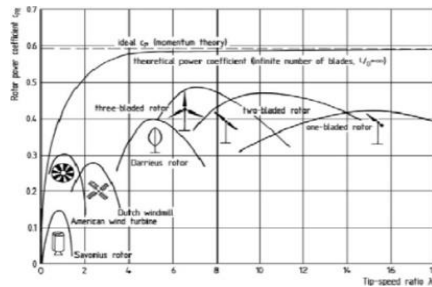
Tabel 2. 3 Hubungan TSR dengan Jumlah Sudu

$TSR (\lambda)$	Jumlah Sudu ( $B$ )
1	8-24
2	6-12
3	4-6
4	3-4
>4	1-3

Sumber : Laysen, 1983

Pada dasarnya, lebih banyak energi yang akan dihasilkan oleh *wind turbine* yang berskala besar daripada yang lebih kecil dimana pada *wind turbine* berskala besar akan menggunakan rotor yang besar, sehingga dari situ diperlukan pula tower dengan ketinggian yang harus lebih memadai. Adapun ketinggian *wind turbine* juga mempengaruhi daya angin yang bisa didapatkan, sehingga secara tidak langsung juga akan mempengaruhi performansi *wind turbine* secara keseluruhan. Tinggi tower memberikan pengaruh pada kenaikan performansi karena faktor ketinggian merupakan faktor yang mempengaruhi kecepatan angin<sup>[11]</sup>.





Gambar 2. 8 Grafik Kofisien daya turbin angin  
(sumber: Ismail dkk 2017)

### 2.3.7 Teori NACA

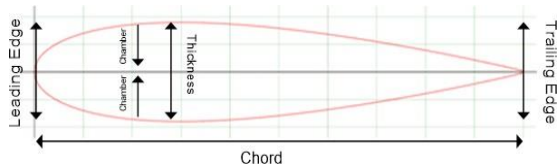
*Airfoil* dalam bahasa inggris adalah suatu bentuk sayap atau pisau (baling–baling, rotor atau turbin). *NACA airfoil* adalah bentuk sayap pesawat terbang yang dikembangkan oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA) Amerika. Bentuk *airfoil* NACA ini di rincikan berdasarkan daftar angka rincian bentuk *airfoil* atau disebut sebagai angka “NACA”. Parameter dalam kode numerik dapat dimasukkan kedalam persamaan untuk mendapatkan penampang *airfoil* dan menghitung sifat–sifat dari *airfoil* itu sendiri. *leading edge* dalam puluhan prosentase dari *chord*. Dua digit terakhir menggambarkan prosentase ketebalan maksimum dari *chord*. *Airfoil* NACA 0018 memiliki *chamber* yang selalu bernilai nol yaitu simetris antara atas dan bawah. Angka 18 menunjukkan besarnya prosentase ketebalan dari panjang *chord* <sup>[14]</sup>.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Blade

Type	NACA 0018
<i>Chamber</i>	0%
<i>Chord</i>	22 cm
<i>Thickness</i>	4 cm

Bagian-bagian *airfoil* adalah sebagai berikut:

- a. *Leading Edge* : Sisi depan airfoil
- b. *Trailing Edge* : Sisi belakang airfoil
- c. *Chord* : Jarak antara *leading edge* dan *trailing edge*
- d. *Chord Line* : Garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge*
- e. *Camber* : Jarak maksimum antara mean *camber line* dengan *chord line*
- f. *Thickness* : Jarak maksimum antara permukaan atas dan bawah airfoil.



Gambar 2. 9 Bentuk Blade Turbin Angin NACA 0018

(Sumber: <http://airfoiltools.com/airfoil/naca4digit>)

### 2.3.8 Generator

Generator adalah sumber tegangan listrik yang di peroleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator memiliki dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat setator. Poros generator biasanya diputar menggunakan usaha luar yang dpat berasal dari turbin. Generator berkerja menggunakan prinsip kerja hukum Faraday yaitu bahwa apabila sepotong kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet yang berubah-ubah, maka didalam kawat tersebut akan terbentuk GGL induksi. Demikian pula sebaliknya sepotong kawat penghantar listrik digerak-gerakan dalam medan magnet, maka kawat penghantar tersebut terbentuk GGL induksi<sup>[18]</sup>. Dibawah ini terdapat Gambar 2.7 Generator Low Rpm Tutbine Permanen Magnet dan terdapat pula Tabel spesifikas.



Gambar 2. 10 Generator Low Rpm Turbine Permanen Magnet

Tabel 2. 5 Spesifikasi Generator Low Rpm

No	Spesifikasi	
1	Tipe	Generator Low Rpm
2	Tegangan	12 VDC
3	Menghasilkan Daya	5 watt
4	Lebar/ panjang	79.1mm/130mm

### 2.3.9 Arduino Uno

Arduino adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 (datasheet) yang memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog. Anda hanya perlu menghubungkan board Arduino Uno ke komputer, untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan. Berfungsi pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware* memiliki prosesor Atmel AVR dan *software* memiliki bahasa pemrograman. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan *assembler* yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (*libraries*) Arduino. Keunggulan dari arduino ini memiliki bootloader sendiri, harga terjangkau, menggunakan port USB, memiliki banyak library gratis dan memiliki modul siap pakai<sup>[19]</sup>. Di bawah ini terdapat Gambar 2.8 Arduino Uno terdapat pula Tabel spesifikasi.



Gambar 2. 11 Arduino Uno

Tabel 2. 6 Spesifikasi Arduino Uno

NO	Spesifikasi	
1	Mikrokontroler	Atmega328P
2	Tegangan Operasi	5V
3	Tegangan Input (disarankan)	7-12V
4	Tegangan Input (bebas)	6-20V

5	Pin I/O Digital	14
6	Pin I/O Digital PWM	6
7	Pin Input Analog	6
8	Panjang/Lebar	68,6 mm/ 53,4 mm
9	Berat	25 gram

### 2.3.10 Solar Charger Controller

*Solar Charge Controller* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya / *solar cell*. *Solar charge controller* menerapkan teknologi *Pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya / *solar cell* 12 volt umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 volt<sup>[20]</sup>. Di bawah ini terdapat Gambar 2.9 *Charger Controller* dan terdapat pula Tabel spesifikasi.



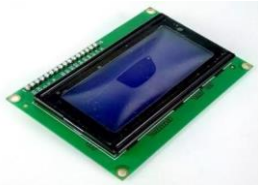
Gambar 2. 12 *Solar Charger Controller*

Tabel 2. 7 Spesifikasi *Solar Charger Controller*

NO	Spesifikasi	
1	<i>Rated Voltage</i>	12V/24V
2	<i>Rated Current</i>	10A
3	<i>Input Power</i>	390W

### 2.3.11 *Liquid Crystal Display (LCD)*

*Liquid Crystal Display (LCD)* adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf maupun grafik. Pemakaian tampilan LCD sudah tersedia dalam bentuk modul yaitu tampilan LCD beserta rangkaian pendukungnya. LCD mempunyai pin data, kontrol catu daya, dan pengatur kontras tampilan<sup>[21]</sup>. Dibawah ini terdapat Gambar 2.4 *Liquid Crystal Display* dan terdapat pula Tabel spesifikasi.



Gambar 2. 13 *Liquid Crystal Display*

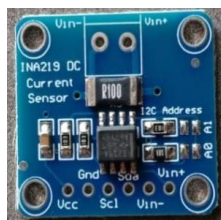
Tabel 2. 8 Spesifikasi *Liquid Crystal Display*

No	Spesifikasi	
1	Catu daya	5V DC
2	Antarmuka	Paralel
3	Jumlah baris	4
4	Jumlah kolom	16
5	Tipe LCD	Character
6	<i>Backlight</i>	Biru / hijau

### 2.3.12 **Sensor INA219**

Sensor INA 219 adalah sebuah sensor yang dapat mendeteksi nilai tegangan, arus DC dan daya. Keunggulan Sensor INA 219 lebih unggul dibandingkan dengan sensor lain nya, lebih andal karena dapat menangani pengukuran arus sisi tinggi, hingga 26 VDC, meskipun disuplai dengan tegangan 3.3 V maupun 5 V akan tetap mendeteksi nilai tegangan yang ada. Cara kerja Sensor INA 219 adalah dengan sebuah penguat presisi yang mengukur tegangan melintasi resistor 0,1 Ohm, 1% sensor pendeteksi. INA 219 memiliki *input* maksimum

penguat adalah 320 mV ini berarti dapat mengukur hingga 3,2 A dengan ADC 12 bit internal, resolusi pada kisaran 3.2A adalah 0.8 mA. Nilai perolehan internal ditetapkan pada minimum div 8, arus maksimal adalah 400 mA dan resolusinya adalah 0.1 mA. sistem selanjutnya dapat menghapus 0,1 Ohm resistor pendeteksi arus dan menggantinya dengan mereka sendiri untuk mengubah rentang<sup>[22]</sup>. Di bawah ini terdapat Gambar 2.11 INA 219 dan terdapat pula Tabel spesifikasi.



Gambar 2. 14 INA 219

Tabel 2. 9 Spesifikasi INA 219

NO	Spesifikasi	
1	Power supply	3.3v-5v
2	Data Level	3.3v-5v
3	Pengukuran tegangan	0-26VDC
4	Pengukuran arus	0-3.2A
5	Berat	15 ram

### 2.3.13 Sensor Rpm Proximity Hall

Sensor ini di kenal dengan nama Tachometer. Tachometer biasanya merupakan magnet permanen generator DC kecil. Jika generator berotasi, akan menghasilkan tegangan DC yang proporsional langsung terhadap kecepatan. Tachometer sering dipasang ke motor untuk menghasilkan sebagai masukan pengendali (*Controller*). Pengukuran kecepatan sistem digital menggunakan piringan bercelah yang disambung para poros motor. Putaran celah yang disensor menggunakan sensor cahaya akan menghasilkan pulsar yang dapat diproses lebih lanjut oleh pengolah digital<sup>[23]</sup>. Di bawah ini terdapat Gambar 2.12 sensor *Proximity Hal* dan terdapat pula Tabel spesifikasi

Gambar 2. 15 Modul Sensor *Proximity Hall*Tabel 2. 10 Spesifikasi *Proximity Hall*

NO	Spesifikasi	
1	<i>Proximity hall mode</i>	NJK-5002C
2	<i>Display</i>	biru LED 67*32mm
3	<i>Measure range</i>	5-9999 RPM
4	<i>Appearance</i>	M12mm cylinder
5	<i>Detected objects</i>	Magnet
6	<i>Detection range</i>	10mm
7	Berat	300 am

### 2.3.14 Sensor Anemometer

Anemometer merupakan sensor angin untuk mengukur kecepatan angin di sekitarnya dan juga banyak digunakan pada stasiun pengukuran cuaca. Pengukuran kecepatan/RPM angin yang bisa digunakan ada beberapa metode yang digunakan, salah satunya menghitung waktu yang terjadi tiap munculnya sinyal pulsa, namun perhitungan yang diterapkan pada percobaan ini didasarkan atas konsep rotasi per menit, yakni menghitung jumlah rotasi yang dilakukan peralatan selama satu menit, jumlah rotasi tersebut dapat diketahui dengan menghitung jumlah pulsa yang di bangkitkan oleh sensor agar dapatkannya waktu pembacaan yang lebih cepat maka dapat dilakukan pengukuran dalam waktu singkat namun di kompensasi dengan faktor pengali<sup>[24]</sup>. Dibawah ini terdapat Gambar 2.13 sensor anemometer dan terdapat pula Tabel spesifikasi.





Gambar 2. 16 Sensor Anemometer

Tabel 2. 11 Spesifikasi Sensor Anemometer

NO	Spesifikasi	
1	<i>Working voltge</i>	3,3v-5 VDC
2	<i>Tipe</i>	Celah
3	<i>Output</i>	Pulse digital TTL
4	Barat	1

### 2.3.15 Sensor Tegangan dan ACS712

#### 1. Sensor tegangan DC

Sensor tegangan DC merupakan rangkaian pembagi tegangan yang dibuat menjadi sebuah modul. Modul sensor tegangan DC ini mampu untuk mengukur tegangan hingga 25 V, pada modul sensor tegangan DC yang ditunjukkan terdapat tiga pin yang dihubungkan pada mikrokontroler, yaitu 2 pin sebagai sumber tegangan (vcc dan ground) dan 1 pin sebagai output dari modul sensor tersebut.

#### 2. Sensor ACS712

Sensor arus jenis ACS712 digunakan untuk membaca nilai arus yang mengalir ke akumulator. Sensor ACS712 bekerja berdasarkan prinsip Hall Effect, arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga menghasilkan medan magnet kemudian ditangkap oleh integrated Hall IC dan diubah menjadi tegangan proporsional. Data yang berupa tegangan analog, pada sensor arus ACS712 yang ditunjukkan terdapat tiga pin yang dihubungkan pada mikrokontroler, yaitu 2 pin sebagai sumber tegangan (vcc dan ground) dan 1 pin sebagai output dari modul

sensor tersebut<sup>[25]</sup>. Dibawah ini terdapat Gambar 2.14 sensor Tegangan, ACS712 dan terdapat pula Tabel spesifikasi.



Gambar 2. 17 Sensor Tegangan dan ACS712

Tabel 2. 12 Spesifikasi Sensor Tegangan dan Arus

NO	Spesifikasi	
1	<i>Voltage</i>	0-25 Vdc
2	<i>Arus</i>	20 A
3	Merek	Tegangan da ACR 712
4	Dimensi	31 mm x 13 mm

### 2.3.16 Baterai atau Aki

Baterai merupakan alat menyimpan energi listrik melalui proses elektrokimia. Proses elektrokimia adalah didalam baterai terjadi perubahan kimia menjadi listrik (proses pengosongan) dan listrik menjadi kimia dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda pada baterai yaitu dengan melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan pada sel<sup>[26]</sup>. Dibawah ini terdapat Gambar 2.15 baterai dan terdapat pula Tabel spesifikasi.



Gambar 2. 18 Baterai

Tabel 2. 13 Spesifikasi Baterai

NO	Spesifikasi	
1	<i>Voltage</i>	12V
2	<i>Capacity</i>	7,2 Ah
3	<i>Model Number</i>	SB1272B
4	<i>Dimensi</i>	14,5x6x9 cm

**~Halaman Ini Sengaja Dikosongkan~**