

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Dasar Teori Penelitian

Penelitian ini dilakukan tidak lepas dari penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai bahan perbandingan. Adapun hasil-hasil penelitian yang dijadikan perbandingan tidak lepas dari penelitian yang berhubungan dengan perancangan turbin angin. Adapun penelitian terdahulu yaitu:

1. Penelitian peneliti terdahulu meliputi penelitian yang dilakukan oleh Napitupulu dan Siregar pada tahun 2014 tentang perancangan turbin Savonius sumbu vertikal dengan menggunakan 8 bilah melengkung. Dalam penelitian ini, Napitupulu dan Siregar membahas cara merancang dan membuat turbin angin. Dari penelitiannya diperoleh hasil efisiensi rotor turbin sebesar 0,5911 (Napitupulu & Siregar, 2014).
2. Penelitian yang dilakukan oleh Yoga Kusuma Wardhana, Cok Gede Indra Partha, I Wayan Sukerayasa dengan judul Pemanfaatan Udara Buang *Exhaust Fan* Untuk Pembangkit *Honeycomb* Berbasis *ATMEGA 2560*. Permasalahan dalam penelitian ini adalah Lebih dari 90% Energi mempengaruhi emisi gas rumah kaca sebagai akibat pembakaran bahan bakar global. *Exhaust fan* adalah sistem yang baik untuk memanfaatkan energi angin. Sistem pembuangan ini cocok untuk pembangkit listrik yang dilengkapi dengan turbin angin sebagai tenaga penggerak dimana kecepatan angin yang dicapai lebih tinggi dan stabil dibandingkan angin alami namun memiliki

karakteristik turbulen. Jenis angin ini tidak baik untuk turbin angin. *Honeycomb* adalah alat yang digunakan untuk mengurangi sifat tidak baik ini. Hasil yang diperoleh ketika menambahkan sarang lebah heksadesimal pada *exhaust fan* dengan kecepatan 6 m/s menggunakan turbin tipe Savonius mengurangi kecepatan turbin yang sebelumnya tidak stabil antara 952 dan 1007 putaran/menit hingga kecepatan stabil. adalah 866 rpm dan daya keluaran generator berkurang 0,3 watt. Penambahan Honeycomb membantu stabilisasi kecepatan putaran turbin pada 866 rpm dan aliran udara menjadi laminar.

3. Penelitian ini dilakukan oleh Lutfi Laili Salim, Ridwan, Sri Poernomo Sari, Iwan Setyawan dengan judul Analisis Performa Turbin Angin Savonius Tipe U dengan Memvariasikan Jumlah Sudu Turbin. Permasalahan dalam penelitian ini adalah turbin angin merupakan sarana utama yang dapat digunakan untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Desain turbin angin yang baik menentukan kinerja pembangkit listrik tenaga angin/bayu (PLTB). Turbin Savonius dengan sumbu vertikal merupakan salah satu solusi alternatif produksi energi listrik karena pengembangan Turbin Savonius ditujukan untuk efisiensi yang ekonomis, seperti dapat beroperasi pada kecepatan angin yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi turbin Savonius yang dihasilkan, daya generator yang dihasilkan dan efisiensi generator yang digunakan. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen

dengan memvariasikan jumlah bilah 2, 3 dan 4. Pengujian dilakukan langsung di wilayah pesisir pantai. Hasil yang diperoleh dari pengolahan data adalah keluaran daya tertinggi turbin 2 bilah = 38,88 watt. Faktor daya maksimum, turbin 2 bilah = 0,235. Sedangkan keluaran daya tertinggi yang dihasilkan generator = 34,3 watt pada turbin 4 sudu. Efisiensi generator terbesar adalah 12,02% pada turbin 4 sudu.

4. Penelitian ini dilakukan oleh Hafifur Rohman dengan Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Savonius Pada Kecepatan Angin Rendah. Permasalahan penelitian ini adalah pemanfaatan energi angin untuk diubah menjadi energi listrik, khususnya penggunaan turbin angin sebagai bagian yang mengubah energi angin menjadi energi gerak (mekanik) kemudian didistribusikan untuk menghasilkan energi listrik. Turbin angin menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan tekanan energi angin untuk memutar turbin kemudian putaran turbin tersebut digunakan untuk memutar rotor turbin yang dihubungkan dengan rotor generator, yang selanjutnya digunakan untuk memutar rotor turbin. mengubahnya menjadi energi listrik. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di daerah penelitian Rembangan diperoleh hasil bahwa kincir angin dapat berputar pada saat kecepatan angin terukur 1,9 m/s tanpa beban dan pada saat dialiri lampu arus searah dengan kapasitas total daya 100 m/s. S. . Dengan susunan paralel lampu 75 watt dan lampu 25 watt dapat berputar

pada saat kecepatan angin 2,3 m/s. Berdasarkan pengujian beban, tegangan tertinggi yang dapat dihasilkan sebesar 29,3 volt dengan arus 0,12 amp dengan daya 3.516 watt dengan kecepatan rotor 353 rpm.

Bedanya dengan penelitian saat ini adalah alat ini masih berupa prototype. Sedangkan penelitian yang dilakukan Napitupulu dan Siregar hanya merancang dan memproduksi turbin angin. Energi angin yang digunakan juga berasal dari turbin angin.

2.2 Energi Angin

Energi angin merupakan salah satu bentuk energi matahari yang tidak langsung, karena angin muncul akibat pemanasan matahari yang tidak merata di permukaan bumi sehingga menimbulkan perbedaan tekanan di atmosfer. Angin mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Oleh karena itu, energi angin juga merupakan energi kinetik yang dihasilkan oleh pergerakan massa udara. Turbin angin memperoleh daya masukan dengan mengubah gaya angin menjadi torsi (gaya putar) yang bekerja pada bilah rotor. Besarnya energi angin yang ditransmisikan ke rotor bergantung pada berat jenis angin, luas permukaan rotor, dan kecepatan angin.

Adapun kekurangan dari pemanfaatan energi angin, yaitu :

1. Memerlukan sumber angin yang cukup
2. Penyebaran angin yang tidak merata bisa menyebabkan produksi energi yang tidak konsisten
3. Biaya modal yang tinggi
4. Bising

Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahap konversi energi: pertama, angin akan membuat rotor (bilah kipas) bergerak sehingga menyebabkan rotor berputar selaras dengan hembusan angin, kemudian terjadi perputaran rotor. terhubung ke generator, dari mana arus listrik dihasilkan. Jadi proses konversi tahapan energi dimulai dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor dan kemudian menjadi energi listrik. Besar kecilnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain sebagai berikut:

1. Rotor (turbin), jenis rotor turbin sangat bervariasi, diameter rotor akan sebanding dengan kapasitas listrik. Semakin besar diameternya, semakin besar pula daya yang dihasilkan. Dilihat dari jumlah sudut rotor (blade), sudut dengan angka kecil dari 2 sampai 6 lebih umum digunakan.
2. Kecepatan angin, kecepatan angin akan mempengaruhi kecepatan putaran rotor yang akan menggerakkan generator.
3. Generator dibagi menjadi beberapa karakteristik yang berbeda. Generator Cocok untuk Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) merupakan generator yang mampu menghasilkan arus listrik dengan kecepatan putaran rendah.

Pada Tabel 2.1 dibawah ini merupakan grafik rasio Beaufort dimana kecepatan angin dapat dilihat dari rasio tersebut. Skala Beaufort merupakan ukuran empiris kecepatan angin untuk mengamati kondisi di darat atau laut. Pada skala Beaufort, terdapat beberapa jenis kekuatan angin seperti angin tenang, angin tenang, angin sepoi-sepoi, angin sedang, angin sangat kencang, angin topan, dan angin puting beliung.

Tabel 2. 1 Deskripsi Angin Menurut Kondisi

Skala Beaufort	Deskripsi Angin	Kondisi Darat	Laju Angin (km/jam)
0	Tenang	Tenang. Asap naik vertical	< 1,5 km/jam
1	Angin sepoi sangat lemah	Gerakan angin terlihat di asap	1,5 – 5 km/jam
2	Angin sepoi lemah	Angin terasa pada muka, daun berdesir	6 – 11 km/jam
3	Angin sepoi	Daun dan ranting mulai bergerak konstan	12 – 19 km/jam
4	Angin sepoi sedang	Debu dan kertas mulai terangkat. Cabang kecil mulai bergerak	20 – 28 km/jam
5	Angin sepoi segar	Pohon-pohon kecil mulai bergoyang	29 – 38 km/jam
6	Angin sepoi kuat	Cabang besar bergerak, tong sampah kosong bisa terbalik	39 – 49 km/jam
7	Angin agak kencang	Seluruh pohon bergerak. Berjalan mulai sulit untuk melawan angin	50 – 61 km/jam
8	Angin sangat kuat	Beberapa ranting jatuh dari pohon	62 – 74 km/jam
9	Badai lemah	Beberapa cabang mulai patah dari pohon	75 – 88 km/jam
10	Badai sedang	Pohon mulai tumbang	89 – 102 km/jam
11	Badai kuat	Banyak kerusakan padatanaman	103 – 117 km/jam

12	Angin topan	Kerusakan parah pada tanaman, kaca mungkin pecah	>118 km/jam
----	-------------	--	-------------

Energi angin mirip dengan energi matahari, artinya energi angin merupakan salah satu sumber energi alternatif non-fosil terbarukan yang berlimpah dan tersedia di alam. Kondisi angin secara umum dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Angin merupakan suatu zat cair homogen yang bergerak dengan kecepatan tertentu, energi kinetik yang tersimpan dalam suatu massa udara bermassa (m) dan kecepatan (v) yang bergerak sepanjang sumbu x dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

Di mana :

E : Energi kinetik (*Joule*)

m : Massa (kg)

v : Kecepatan angin (m/s)

2.3 Energi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bertenaga angin didasarkan pada spesifikasi teknis turbin dan kecepatan angin maksimum turbin. Berdasarkan kecepatan start dan pemotongan terukur, dapat diketahui Berapa lama turbin dapat diproduksi ? daya pada kecepatan angin tertentu dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = P_l \times \left(\frac{v^3 - v_c^3}{v_o^3 - v_c^3} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

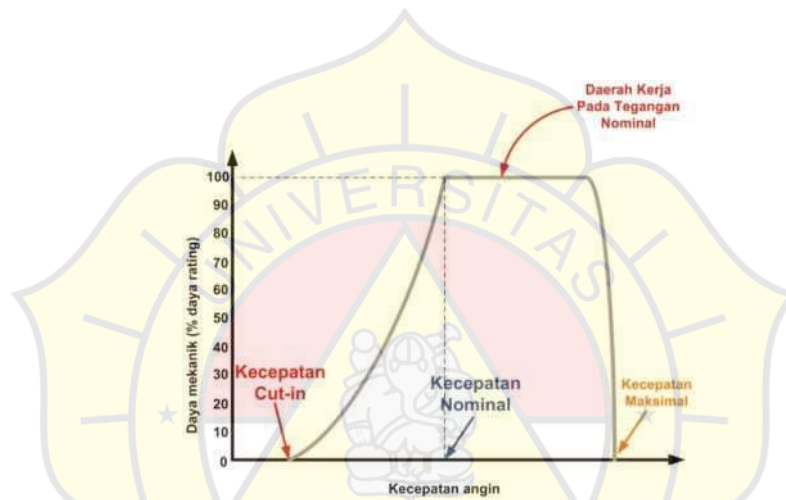
P_l : Rating daya turbin (W)

P : Daya listrik (W)

v : Kecepatan angin ($\frac{m}{s}$)

v_c : Kecepatan angin *cut in* ($\frac{m}{s}$)

v_o : Kecepatan angin *cut off* ($\frac{m}{s}$)



Gambar 2. 1 Klasifikasi kecepatan angin

Kecepatan rated adalah kecepatan angin awal mula, kecepatan *cut in* merupakan kecepatan angin yang dapat menghasilkan daya listrik minimal dan kecepatan *cut off* merupakan kecepatan angin yang menjadi batas aman dari operasi kerja turbin angin.

2.4 Turbin Angin

Turbin angin adalah mesin dengan bilah berputar yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Jika energi mekanik digunakan langsung pada mesin seperti pompa dan penggiling, maka mesin (turbin) tersebut disebut

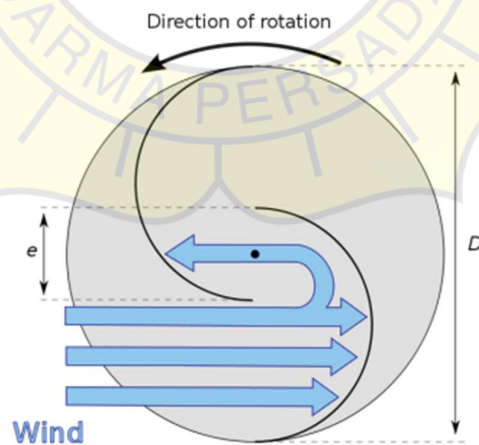
kincir angin. Jika energi mekanik diubah menjadi energi listrik, mesin tersebut disebut turbin angin atau pengubah energi angin (WEC).

2.5 Jenis – Jenis Turbin

1. Turbin *Savonius*
2. Turbin *Helical*
3. Turbin *Darrieus*
4. Turbin *2 blade*
5. Turbin *3 blade*

2.6 Turbin Savonius

Turbin Savonius pertama kali dikembangkan oleh seorang ilmuwan bernama J. Savonius pada tahun 1920. Ide awal dikembangkan oleh Flettner. Bentuk rotor Savonius terdiri dari silinder yang dipotong sepanjang sumbu bidang tengah menjadi dua bagian, dan bagian-bagian tersebut disusun mendatar menyerupai huruf S.



Gambar 2. 2 Turbin Angin Savonius

2.7 *Vanbelt Turbin*

Vanbelt merupakan link transmisi berbahan karet dengan penampang trapesium. Sabuk mobil bekerja dengan cara mentransmisikan gaya dari satu poros ke poros lainnya.



Gambar 2.3 *Vanbelt*

2.8 *Pulley*

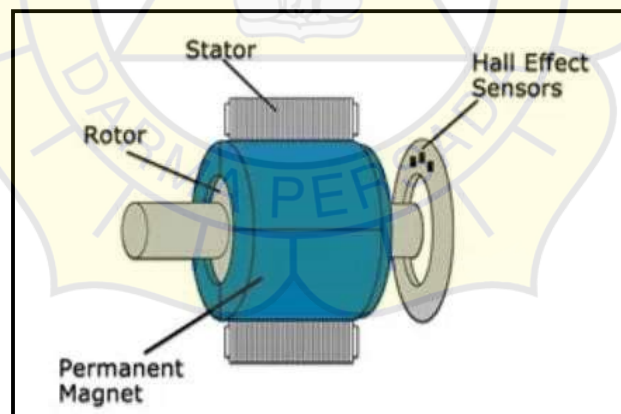
Pulley adalah bagian atau aksesoris mesin produksi yang berfungsi sebagai penyangga *V-belt* atau *T-belt* pada mesin produksi. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pulley merupakan perangkat dari *V-belt* atau *T-belt*, sehingga *pulley* dan *V-belt* merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan.



Gambar 2.4 *Pulley*

2.9 Generator

Generator adalah suatu alat atau mesin yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dimana energi mekanik yang diambil dari energi potensial dan energi kinetik akan menggerakkan rotor melalui poros sambungan generator. Untuk menghasilkan listrik gunakan energi potensial yang diperoleh dari sumber angin. Energi potensial akan mendorong bilah turbin atau baling-baling sehingga menimbulkan energi kinetik. Energi ini diubah menjadi energi listrik oleh generator melalui belitan kumparan stator dan magnet rotor. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berupa arus bolak-balik (AC) dan arus searah (DC). Output dari alternator dapat menghasilkan tegangan DC sedangkan generator DC harus diproses terlebih dahulu menggunakan saklar untuk mengatur output dari generator. Perbedaan generator DC dan generator AC terletak pada belitan jangkar dan belitan stator.



Gambar 2. 5 Generator

Didalam generator memiliki 3 bagian utama, yaitu:

1. Stator merupakan bagian generator yang diam.
2. Rotor merupakan bagian generator yang bergerak.

3. Celah udara merupakan ruangan antara stator dan rotor.

Dalam hal ini belitan stator dirangkai untuk generator induksi tiga fasa, tetapi juga dapat dirangkai untuk generator induksi satu fasa. Disamping itu belitan stator pada generator induksi juga dirangkai untuk jumlah kutub tertentu sesuai dengan kebutuhan.

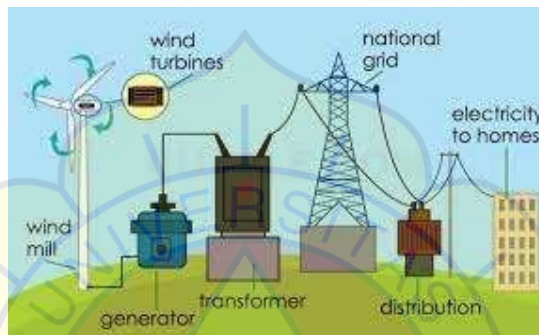
Rotor generator induksi terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

1. Inti rotor yang bahannya terbuat dari besi tuang.
2. Alur dan gigi materialnya sama dengan inti, alur digunakan untuk meletakkan belitan.
3. Belitan rotor terbuat dari tembaga.
4. Dari konstruksi lilitan akan memberikan dua jenis rotor yaitu generator induksi dengan rotor sangkar atau rotor kurung dan generator induksi dengan rotor belitan.
5. Poros atau as.

Stator dan rotor membentuk rangkaian magnetis, berbentuk silindris yang simetris dan diantaranya terdapat celah udara. Apabila celah udara yang terdapat diantara stator dan rotor terlalu lebar maka efisiensi mesin akan semakin rendah dan apabila terlalu sempit maka akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin.

2.10 Prinsip Kerja Turbin Angin

Prinsip dasar pengoperasian turbin angin adalah mengubah energi gerak angin menjadi energi yang mampu memutar kincir air, kemudian putaran kincir tersebut digunakan untuk memutar generator yang akan menghasilkan listrik tenaga listrik. Biasanya listrik yang dihasilkan oleh generator akan disimpan di baterai sebelum digunakan. (Sumiati dkk., 2013).



Gambar 2. 6 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Prinsip turbin angin bekerja sangat sederhana yaitu:

1. Angin akan meniup bilah kincir angin sehingga bilah bergerak.
2. Bilah kincir angin akan memutar poros.
3. Poros dihubungkan ke gearbox, di gearbox kecepatan perputaran poros ditingkatkan dengan cara mengatur perbandingan roda gigi dalam gearbox.
4. Gearbox dihubungkan ke generator. generator merubah energi mekanik menjadi energi listrik.
5. Dari generator energi listrik menuju transformer untuk menaikkan tegangannya kemudian baru timbul daya listrik.

Generator beroperasi berdasarkan hukum Faraday, yaitu jika suatu kawat bergerak dalam medan magnet maka akan terjadi induksi pada kedua ujung kawat

tersebut. Jika kedua ujungnya dihubungkan dengan suatu beban, misalnya lampu, maka akan mengalir arus dan muncul energi listrik (Sumiati, 2013).

2.11 Rumus Yang Digunakan

Berikut rumus yang digunakan untuk menentukan perhitungan pada Torsi yaitu:

$$T = \frac{v^2 \cdot r^3}{\lambda}$$

Dimana: λ = Tip Speed Ratio

v = Kecepatan Angin

r = Jari-jari rotor

Berikut rumus rancangan metode optimasi sudu turbin kecepatan putar rotor:

$$\Omega = \frac{\lambda r}{r} \cdot v$$

Dimana: λr = Tip Speed Ratio

v = Kecepatan Angin

r = Jari-jari sudu

Berikut rumus untuk menghitung koefisien daya turbin angin sebagai berikut:

$$Cp = \frac{8/27 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3}{1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3}$$

Dimana: ρ = massa jenis udara kering = 1.225 kg/m^3

A = Luas sapuan area rotor

V = Jari-jari rotor

$$C_p = \frac{8/27 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3}{1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3}$$

$$C_p = 0.59 \rightarrow 59\%$$

Berikut rumus untuk mengukur Daya Angin dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_w = \frac{1}{2} \dot{m} V^2$$

$$\dot{m} = \rho A V$$

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \dots \dots \dots (1)$$

Di mana:

P_w : Daya Angin (W)

ρ : Densitas Udara (kg/m^3)

A : Tinggi (H) x Diameter Turbin (D)

S : Luas Sapuan Turbin (m^2)

V : Kecepatan Angin (m/s)

Rumus Daya Turbin yang diformulasikan sebagai berikut:

$$P_T = T \cdot \omega \dots\dots\dots(2)$$

Di mana

P_T : Daya Turbin (W)

ω : Putaran Poros Turbin (rpm)

T : Torsi Poros (Nm)

