

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi bahkan dapat diterapkan di laut. Pemanfaatan sumber energi angin di Indonesia masih sangat sedikit. Hal tersebut dimungkinkan karena teknologi atau pengetahuan yang belum populer, arah angin di daerah Indonesia mudah berubah-ubah dan kecepatannya berfluktuasi dan kurang ekonomis. Namun daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya. Angin sebagai sumber yang tersedia di alam dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik.

Angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnya sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan. Angin merupakan salah satu bentuk energi yang tersedia di alam yang diperoleh melalui konversi energi kinetik. Energi dari angin diubah menjadi energi kinetik atau energi listrik. Energi angin dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengurangan emisi karena tidak menghasilkan emisi CO² selama produksi energi listrik oleh turbin angin. (Andi Mulkan *et al.*, 2022).

Kecepatan angin merupakan seberapa cepat udara bergerak secara horizontal di atmosfer. Secara singkat, itu adalah angka kecepatan udara. Kecepatan ini diukur dalam satuan meter per detik atau km/jam, atau *knot* untuk navigasi. Kecepatan

angin dapat diklasifikasikan dari kecepatan angin yang tenang/rendah hingga kecepatan angin badai/sangat tinggi. (Abdy & Sanusi, 2020)

Tabel 2.1 Kategori Angin Berdasarkan Skala *Beaufort*

Skala Beaufort	Kategori angin	Kecepatan angin (m/s)
0	Tenang	0 – 0,2
1	Udara ringan	0,3 – 1,5
2	Hembusan lemah	1,6 – 3,3
3	Hembusan lembut	3,4 – 5,4
4	Hembusan sedang	5,5 – 7,9
5	Hembusan sedang	8,0 – 10,7
6	Hembusan kuat	10,8 – 13,8
7	Angin ribut lemah	13,9 – 17,1
8	Angin ribut	17,2 – 20,7
9	Angin ribut kuat	20,8 – 24,4
10	Badai	24,5 – 28,4
11	Badai amuk	28,5 – 32,6
12	Siklon	$\geq 32,7$

Sumber : (Abdy & Sanusi, 2020)

2.2 Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah alat yang mampu memanfaatkan kekuatan angin untuk dirubah menjadi kekuatan mekanik. Dari proses itu memberikan kemudahan berbagai kegiatan manusia yang memerlukan tenaga yang besar seperti memompa air untuk mengairi sawah atau menggiling biji-bijian. Turbin angin adalah mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Turbin angin dapat memiliki tiga buah bilah turbin. Jenis lain yang umum adalah jenis turbin dua bilah. Turbin angin kebanyakan ditemukan di Eropa dan Amerika Utara.

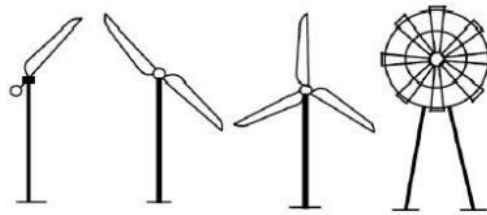
Turbin angin didesain untuk mengumpulkan dan meksploitasi energi angin yang mengalir melalui turbin tersebut. Untuk membuatnya, perlu penentuan tinggi menara yang optimal, menentukan sistem kontrol, jumlah dan bentuk dari bilah turbin, serta bentuk keseluruhan. Turbin angin dapat mengkonversi energi angin menjadi

energi listrik. Sebuah pembangkit listrik tenaga angin dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angin sehingga menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan didistribusikan ke rumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. (Iqsyah *et al.*, 2018).



Gambar 2.1 Turbin Angin
Sumber : (Iqsyah *et al.*, 2018)

Turbin angin memiliki dua jenis dasar yaitu turbin sumbu horizontal dan turbin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling-baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin berkecepatan paling tinggi. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya lift dan gaya drag, namun gaya *lift* jauh lebih besar dari gaya *drag* sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe *lift*. Turbin horizontal dibagi berdasarkan jumlah sudu yaitu turbin angin satu sudu (*single blade*), turbin angin dua sudu (*double blade*), turbin angin tiga sudu (*three blade*), dan turbin angin banyak sudu (*multi blade*).



Gambar 2.2 Turbin Angin Poros Horizontal
Sumber : *(Kurniawan, 2016)*

Sedangkan turbin angin sumbu vertikal yaitu turbin angin yang memiliki sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Turbin angin ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi dan mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Pengembangan turbin ini terus dilakukan untuk mengurangi masalah atau bahkan mengatasi masalah yang sering timbul. Beberapa tipe turbin angin ini diantaranya tipe Savonius, tipe Darrieus, dan tipe H. Turbin angin sumbu vertikal memiliki keunggulan tidak harus diubah posisinya jika angin berubah, tidak seperti turbin horisontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin. Dengan kondisi geografis Indonesia diperlukan sebuah pembangkit angin skala kecil yang dapat dioperasikan di segala daerah sehingga tercipta pemerataan energi ke seluruh negeri dan mengurangi krisis energi. (Firmansyah, 2022).



Gambar 2.3 Kincir Angin Poros Vertikal
Sumber : *(Rahman, 2022)*

Turbin angin memiliki fungsi sebagai mesin yang mengubah energi fluida seperti air, uap, atau gas menjadi energi mekanik atau gerakan. Energi mekanik tersebut kemudian dapat digunakan untuk berbagai tujuan. Turbin angin juga memiliki fungsi sebagai penghasil energi listrik, sebagai alternatif energi ramah lingkungan, untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi, dan pembangkit listrik yang murah dan mudah didapat.

Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi gerak angin menjadi energi mekanik putaran poros yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Energi putaran poros ini dapat dimanfaatkan secara langsung seperti pada tambak garam yaitu untuk memompa air laut ke tambak. Saat ini, pemanfaatan energi putaran poros lebih banyak digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Adapun langkah kerja dari turbin angin yaitu ketika angin bertiup angin tersebut akan menggerakkan bilah karena bilah turbin angin dirancang seperti sayap pesawat sehingga bilah tersebut akan berputar. Putaran bilah akan menggerakkan rotor (poros utama turbin) yang terhubung ke generator, yang akan mengubah energi mekanik putaran menjadi energi Listrik. Selanjutnya, listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan melalui kabel ke jaringan listrik untuk digunakan.

Turbin angin memiliki dua jenis utama yaitu turbin angin sumbu horizontal (HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal (VAWT). Turbin HAWT adalah yang paling umum, dengan bilah berputar di sekitar poros horizontal. Turbin VAWT memiliki bilah yang berputar di sekitar poros vertikal, dan sering digunakan dalam aplikasi skala kecil.

2.3 Turbin Angin Savonius

Turbin Savonius awal ditemukan oleh seorang profesor Finlandia bernama Sigurd J. Savonius (1922). Turbin angin Savonius memiliki konstruksi yang sederhana. Turbin kelompok sumbu vertikal yang dimaksud memiliki rotor setengah lingkaran sebagai desain intinya. Turbin Savonius memiliki prinsip kerja yang berdasarkan *differential drag windmill*. Tipe hambat yang dimanfaatkan turbin Savonius pada setiap sudutnya untuk menghasilkan energi putar pada turbin. Drag/hambatan adalah gaya yang dimanfaatkan oleh turbin secara berlawanan terhadap arah angin yang menyapu sudu pada turbin angin atau luas sapuan sudu turbin angin. (Arifin *et al.*, 2024)



Gambar 2.4 Turbin Angin Savonius
Sumber : (Irfansyah *et al.*, 2017)

Prinsip kerja turbin angin Savonius didasarkan pada pemanfaatan gaya dorong (*drag*) angin untuk memutar rotor vertikal. Turbin ini adalah salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine/VAWT*) yang sederhana dan cocok untuk kecepatan angin rendah. Turbin Savonius memiliki bilah berbentuk melengkung (biasanya seperti huruf "S" jika dilihat dari atas), dan ketika angin bertiup, sisi cekung bilah menangkap angin dan menghasilkan gaya dorong lebih besar dibandingkan sisi cembung yang menyebabkan rotor berputar.

Turbin angin Savonius memiliki beberapa jenis tipe yaitu :

1. Turbin Angin Savonius Tipe L

Turbin Savonius tipe L biasanya terdiri dari dua atau lebih bilah (*blade*) yang melengkung seperti bentuk setengah silinder atau menyerupai huruf "L" bila dilihat dari samping dan desain L pada bilah memungkinkan turbin ini memanfaatkan aliran angin dari berbagai arah dan menghasilkan gaya angkat yang lebih efektif sehingga efisien untuk mengkonversi energi angin pada kecepatan rendah menjadi energi mekanik. Savonius tipe L ini adalah desain yang paling efisien dari kincir angin savonius. Savonius tipe L ini tidak hanya memiliki keunggulan dari udara yang dibelokkan menjadi dua kali tetapi juga sebagian vanes bertindak seperti sebuah *airfoil* ketika berada di tepi membuat efek angkat kecil sehingga meningkatkan efisiensi. (A. N. Arifin, 2017)

Pada rancangan Savonius tipe L, angin yang menumbuk salah satu bilah rotor diharapkan lebih banyak mengalir ke bilah rotor lainnya melalui celah dekat poros sehingga menyediakan daya dorong tambahan pada bilah rotor ini. Melalui penambahan diameter, titik pusat gaya dorong angin pada rotor akan bergeser menjauhi poros rotor. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan torsi yang lebih besar.

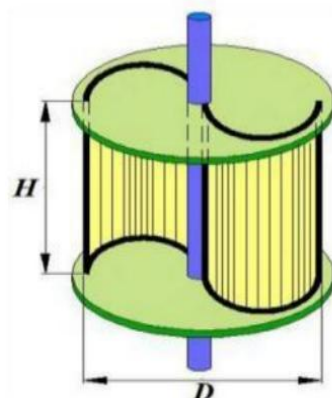


Gambar 2.5 Turbin Angin Savonius Tipe L
Sumber : (Firman et al., 2024)

2. Turbin Angin Savonius Tipe S

Turbin angin Savonius tipe S adalah salah satu variasi dari turbin angin Savonius yang bentuk bilahnya menyerupai huruf "S". Turbin tipe S dirancang untuk meningkatkan efisiensi dalam menangkap angin dengan desain bilah yang mampu menghasilkan lebih banyak gaya dorong dan memaksimalkan putaran.

Desain savonius tipe S ini juga sangat sederhana dan juga dapat dirancang dengan mudah dari drum. Desain savonius ini sedikit lebih efisien daripada tipe savonius yang lainnya karena beberapa aliran udara dibelokkan oleh kedua bilah lalu keluar pada salah satu sisinya. (A. N. Arifin, 2017).

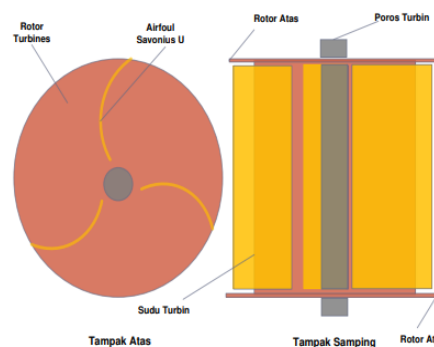


Gambar 2.6 Turbin Angin Savonius Tipe S
Sumber : (Cahya Irani et al., 2023)

3. Turbin Angin Savonius Tipe U

Turbin angin Savonius tipe-U memiliki dua atau lebih *blade* berbentuk setengah silinder yang dipasang pada sumbu vertikal. *Blade* ini dirancang untuk menangkap angin dari berbagai arah dan menghasilkan rotasi. Ketika angin bertiup, *blade* yang berada di sisi angin menerima gaya dorong yang lebih besar dibandingkan *blade* yang berada di sisi berlawanan. Perbedaan gaya dorong ini menyebabkan turbin berputar pada sumbu vertikalnya. Rotasi turbin menggerakkan poros yang terhubung

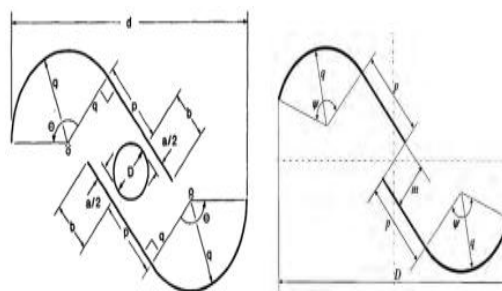
ke generator. Generator ini mengubah energi mekanik rotasi menjadi energi listrik yang dapat digunakan atau disimpan. *Cylindrical Guide Vane* digunakan dalam pengujian untuk mensimulasikan kondisi angin yang konsisten dan mengukur kinerja turbin dalam kondisi ideal. Ini memungkinkan evaluasi yang akurat terhadap desain dan fungsionalitas turbin.



Gambar 2.7 Turbin Angin Savonius Tipe U
Sumber : (Irfansyah et al., 2017)

4. Turbin Angin Savonius Tipe *Bach*

Turbin angin Savonius tipe *Bach* adalah variasi dari turbin angin Savonius yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi dalam menangkap angin dan menghasilkan energi pada kecepatan angin yang relatif rendah. Sudu tipe *Bach* memiliki bentuk sudu yang tidak sepenuhnya melengkung tetapi ada bagian dengan sudu lurus. Sejumlah penelitian telah menemukan bahwa rotor tipe *Bach* memiliki kinerja yang lebih baik daripada geometri lainnya.



Gambar 2.8 Turbin Angin Savonius Tipe *Bach*
Sumber : (Khairil Anwar, 2020)

5. Turbin Angin Savonius Tipe *Twist*

Tipe *twist* adalah salah satu hasil dari pengembangan turbin Savonius, tipe *twist* memberikan puntiran pada sudu – sudunya dengan sudut puntir (*twist angle*) tertentu. Besarnya sudut puntiran pada sudu turbin angin Savonius dapat berpengaruh terhadap performa turbin yang menentukan torsi, daya, dan efisiensi dari turbin angin Savonius tersebut.



Gambar 2.9 Turbin Angin Savonius Tipe *Twist*
 Sumber : (Nofrianto Pasae et al., 2025)

2.4 *Dimple*

Dimple adalah sebuah cekungan yang biasa dilihat pada sebuah bola golf. Cekungan-cekungan ini ternyata memiliki pengaruh terhadap pergerakan dari bola golf tersebut sehingga membantu agar bola golf dapat terbang lebih jauh. Turbin angin Savonius dengan *dimple* merupakan pengembangan dari turbin angin Savonius konvensional yang menggunakan desain *dimple* (cekungan-cekungan kecil seperti pada bola golf) pada permukaan bilahnya. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja turbin Savonius adalah dengan menambahkan variasi diameter *dimple* pada bilahnya.



Gambar 2.10 Model *Dimple* pada bola golf
 Sumber : (Rachmadi Wahyudi Adjie, 2017)

2.5 *Cylindrical Guide Vane*

Sudu pengarah (*guide vane*) merupakan *airfoil* atau plat yang digunakan untuk mengarahkan udara, gas atau air menuju rotor turbin atau saluran dengan kehilangan energi yang sedikit. Sudu pengarah terdiri dari sejumlah bilah stator yang berfungsi untuk mengarahkan fluida menuju rotor pada sudut yang sesuai dengan sudut masuk bilah turbin serta menambah atau mengurangi laju aliran fluida yang melewati turbin.

Adanya perbedaan luas area antara bagian luar dan bagian dalam *guide vane* akan menyebabkan efek venturi sehingga kecepatan angin akan meningkat. Bilah-bilah dari *guide vane* akan mengarahkan aliran angin langsung menuju bilah turbin, sehingga akan meningkatkan performa dari turbin itu sendiri.



Gambar 2.11 *Cylindrical Guide vane*
 Sumber : (Parinding, 2020)

2.6 Konsep Dasar Yang Digunakan

Berikut ini adalah rumus-rumus yang digunakan untuk melakukan perhitungan dan analisis kerja kincir angin yang diteliti, yaitu:

1. Luas Penampang

Luas penampang adalah luas suatu bentuk dua dimensi yang diperoleh Ketika suatu objek tiga dimensi seperti silinder diiris tegak lurus terhadap sumbu tertentu di suatu titik.

$$A = D \times h \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

A = Luas Penampang (m^2)

h = Tinggi sudu (m)

D = Diameter sudu (m)

2. Daya Angin (P_{in})

Daya angin (P_{in}) adalah daya yang dihasilkan oleh sudu kincir angin yang diakibatkan oleh hembusan angin. Daya angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A \cdot v^3 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

P_{in} = daya angin (Watt)

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

A = Luas penampang (m^2)

v = kecepatan angin (m/s)

3. Gaya Pembebanan

Gaya pembebanan mengacu pada gaya eksternal yang bekerja pada suatu sistem, seperti berat, gesekan, atau tegangan pegas, yang dapat mempengaruhi gerak atau stabilitas.

$$F = m \times g \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

F = Gaya pembebanan (N)

m = massa / beban (kg)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

4. Torsi (τ)

Torsi adalah hasil kali dari gaya pembebanan (F) dengan panjang lengan torsi. Perhitungan torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = F \times r \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

τ = torsi (Nm)

F = gaya pembebanan (N)

r = jari – jari poros (m)

5. Kecepatan sudut (ω)

Kecepatan sudut atau dalam kasus ini kecepatan ujung sudu merupakan kecepatan ujung sudu terhadap satu kali putaran poros setiap detik. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

ω = kecepatan sudu (rad/s)

n = putaran turbin (rpm)

π = konstantan lingkaran (3,14)

6. Daya Turbin (Pt)

Daya merupakan jumlah usaha yang dilakukan tiap satu satuan waktu.

Perhitungan daya turbin yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_t = \tau \times \omega \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

P_t = Daya turbi (watt)

τ = Torsi (Nm)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

7. Tip Speed Ratio (λ)

Tip Speed Ratio adalah perbandingan antara kecepatan linear lingkaran terluar kincir dengan kecepatan angin. Perhitungan nilai tip speed ratio dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

λ = *Tip Speed Ratio*

ω = kecepatan sudu (rad/s)

r = jari – jari poros (m)

v = kecepatan angin (m/s)

8. Efisiensi Turbin (η)

Efisiensi adalah kemampuan yang sering diukur untuk menghindari kesalahan saat melakukan suatu tugas. Untuk mencari nilai efisiensi turbin menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_t}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

η = Efisiensi turbin (%)

P_t = Daya turbin (Watt)

P_{in} = Daya angin (Watt)

9. Metode Analisis

1. Metode *least square*

Dimana nilai koefisien korelasi dapat dihitung dengan rumus:

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

r = Koefisien korelasi

n = Jumlah specimen

X = Nilai variabel X

Y = Nilai variabel Y

2. Metode *product momen*

Pada metode ini nilai koefisien korelasi dapat dihitung dengan rumus:

$$r = \frac{n\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

r = Koefisien korelasi

x = deviasi rata-rata variabel X , $= X - \bar{X}$

y = deviasi rata-rata variabel Y , $= Y - \bar{Y}$

3. Metode korelasi linear berganda

Alat ukur mengenai hubungan yang terjadi antara variabel terkait (variabel Y) dan dua atau lebih variabel bebas ($X_1, X_2, \dots, X_K$) korelasi linear berganda dengan dua variabel bebas yakni mengukur hubungan yang terjadi antara variabel terikat (variabel Y) dengan dua variabel bebas (X_1, X_2). Koefisien korelasi linear berganda untuk 3 variabel dirumuskan:

$$R_{Y.12} = \sqrt{\frac{r_{y.1}^2 + r_{y.2}^2 - 2r_{y.1}r_{y.2}r_{1.2}}{1 - r_{1.2}^2}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

$R_{Y.12}$ = koefisien korelasi 3 variabel 36

r_{y1} = koefisien korelasi Y dan X_1

r_{y2} = koefisien korelasi Y dan X_2

r_{12} = koefisien korelasi X_1 dan X_2

4. Nilai koefisien korelasi tiap variabel dapat dihitung dengan rumus :

$$r_{y1} = \frac{n\sum x_1 y - (\sum y)(\sum x_1)}{\sqrt{\{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}\{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2\}}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$r_{y2} = \frac{n\sum x_2 y - (\sum y)(\sum x_2)}{\sqrt{\{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}\{n\sum x_2^2 - (\sum x_2)^2\}}} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$r_{12} = \frac{n\sum x_1x_2 - (\sum x_1)(\sum x_2)}{\sqrt{\{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2\}\{n\sum x_2^2 - (\sum x_2)^2\}}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Artinya dari koefisien relasi (r)

Bila $0,9 < r < 1,00$ atau $-1,00 < r < -0,90$ berarti variabel memiliki hubungan yang sangat kuat

Bila $0,70 < r < -0,90$ atau $-0,90 < r < -0,70$ berarti variabel memiliki hubungan yang sangat kuat

Bila $0,50 < r < 0,70$ atau $-0,70 < r < -0,50$ berarti variabel memiliki hubungan yang moderat

Bila $0,30 < r < 0,50$ atau $-0,50 < r < -0,30$ berarti variabel memiliki hubungan yang lemah

Bila $0,0 < r < 0,30$ atau $-0,30 < r < 0,0$ berarti variabel memiliki hubungan yang sangat lemah

2.7 Jurnal Rujukan

(Nofrianto Pasae *et al*, 2025) “Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Tiga Sudu Model *Twist* dengan Variasi Sudut Puntir Sudu”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut puntir sudu terhadap torsi, daya, dan efisiensi turbin angin Savonius tiga sudu tipe *twist*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan melakukan pengujian terhadap turbin angin Savonius tiga sudu tipe *twist* dengan variasi sudut puntir sudu dengan dimensi diameter 250 mm dan tinggi 350 mm. Pada penelitian ini dilakukan variasi sudut puntir sudu yaitu 120° , 150° , dan 180° . Torsi maksimum yang dihasilkan sudut puntir 180° sebesar 2,94 Nm dengan beban 15 kg dan putaran 0 rpm. Daya maksimum yang dihasilkan sudut puntir 180° sebesar 8,16 Watt dengan beban 7 kg dan putaran 57,00 rpm. Efisiensi maksimum

yang dihasilkan sudut puntir 180° sebesar 15,38 % dengan putaran 57,00 rpm dan beban 7 kg. Berdasarkan data hasil pengujian dan perhitungan pada turbin angin Savonius tiga sudu model *twist* dengan variasi sudut puntir 120° , 150° , dan 180° maka dapat disimpulkan bahwa torsi maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 2,94 Nm terjadi pada sudut puntir 180° dengan beban 15 kg dan putaran 0 rpm, daya maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 8,19 Watt terjadi pada sudut puntir 180° dengan beban 7 kg dan putaran 57,0 rpm, dan efisiensi maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 15,38% terjadi pada sudut puntir 180° dengan beban 7 kg dan putaran 57,0 rpm.

(Cahya Irani *et al.*, 2023), “Uji Performa Turbin Angin Savonius Tipe U Berdasarkan Variasi Sudut *Guide Vane*”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *guide vane* atau *deflector* terhadap performa turbin angin Savonius Tipe U sebagai upaya peningkatan kinerja turbin angin Savonius Tipe U. Penelitian ini adalah jenis penelitian eksperimen, meliputi penambahan *guide vane* atau pengarah angin terdiri dari 3 variasi sudut *pitch* pada *guide vane* antara lain 30° , 60° dan 80° dengan variasi kecepatan angin menggunakan variasi jarak 150 cm, 180 cm dan 200 cm dari sumber angin berupa *blower* menuju turbin angin Savonius Tipe U dengan pengujian menggunakan generator dan tanpa generator dan dilakukan perbandingan dengan data tanpa menggunakan *guide vane* pada turbin angin Savonius Tipe U. Faktor – faktor yang diobservasi dan diukur yaitu kecepatan angin, daya, rpm (*rotation per minute*), torsi dan C_p (*Coefficient of power*). Hasil yang diperoleh yaitu pada variasi sudut *pitch* 40° rata-rata mengalami peningkatan daya turbin angin, semakin lebar sudut *pitch* pada *guide vane*, maka putaran yang dihasilkan akan semakin meningkat dan pada sudut *pitch guide vane* tertentu akan mencapai putaran

maksimal dan pada sudut *guide vane* tertentu putaran akan mulai turun, pada variasi sudut *pitch* 80° rata-rata kecepatan turbin mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena aliran udara yang berasal dari *blower* terhalang dengan sudu dari *guide vane*, sehingga aliran udara tidak dapat langsung menerpa *blade* dari turbin angin Savonius Tipe U, dan semakin lebar sudut *pitch guide vane*, maka daya dan torsi yang dihasilkan juga akan semakin meningkat dan pada sudut *guide vane* tertentu akan mencapai energi yang optimum kemudian akan mengalami penurunan.

(Andi Mulkan *et al.*, 2022), “Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik”. Tujuan dari studi penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi energi angin di Kota Banda Aceh serta merencanakan spesifikasi turbin angin yang sesuai berdasarkan hasil perhitungan. Penelitian ini dilakukan mulai bulan April 2015 sampai dengan bulan Mei 2015 dengan lokasi penelitian adalah di Kota Banda Aceh dengan menghitung kecepatan angin (*Knot*), dan menentukan arah angin terbanyak perbulan. Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu Untuk diameter rotor 8 meter, daya *output* yang paling besar pada bulan Agustus yaitu 18,71 kW dan yang terendah pada bulan Februari yaitu 0,95 kW. Daya *output* rata-rata adalah 7,18 kW dengan kecepatan angin rata-rata pada tahun 2014 adalah 9,39 m/s sedangkan untuk diameter rotor 6 meter, daya *output* tertinggi terlihat pada bulan Agustus yaitu 10,53 kW dan yang terendah pada bulan Februari yaitu 0,53 kW, kecepatan angin dan luas area sapuan rotor (*rotor swept area*) berpengaruh kepada daya *output* yang dihasilkan.

(Iqsyah *et al.*, 2018), “Perancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Empat Sumbu Horizontal”. Penelitian bertujuan untuk mengkaji cara

kerja pembangkit listrik tenaga kincir angin sehingga menghasilkan listrik. Metode yang digunakan antara lain studi literatur yaitu mencari buku, modul yang berkaitan dengan judul penelitian, pengumpulan alat dan bahan, perancangan, pengujian alat dan pengambilan data. Hasil perancangan yang diperoleh merupakan hasil dari pembangkit listrik kincir angin menggunakan empat sumbu horizontal yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Penelitian melakukan observasi dan survei alat yang dilakukan pada Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar yaitu hasil pengukuran tegangan penggunaan jumlah turbin, dan hasil pengukuran sampai di *output step up* pada saat diberi baterai (penyimpanan) dan beban lampu.