

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Berbagai penelitian telah dilakukan mengenai konversi energi dan pemanfaatan turbin angin sebagai sumber energi alternatif oleh para peneliti. Penelitian dilakukan untuk menemukan kombinasi yang tepat baik dari desain maupun material yang digunakan dalam turbin angin. Terdapat banyak jurnal yang dapat dijadikan acuan dan landasan munculnya ide-ide baru untuk pengembangan penelitian ini. Penelitian-penelitian tersebut juga melandasi penelitian yang penulis lakukan.

Penelitian yang dilakukan oleh Lutfi Laili dkk (2020) menitikberatkan pada pengaruh jumlah sudu terhadap performa turbin angin savonius tipe U. Pengujian dilakukan terhadap turbin angin dengan sudu-sudu yang terbuat fiber dengan rangka berbentuk U. Rangka dari sudu tersebut dibentuk dengan sudut 180° dengan tinggi 1200 mm dan jari-jari 250 mm. Pengujian terhadap turbin angin dilakukan secara langsung di daerah pesisir pantai. Dari pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan semakin sedikit jumlah sudu yang digunakan maka nilai dari daya output akan semakin besar dimana daya output yang dihasilkan pada turbin dengan 2 sudu dan kecepatan angin 4,6 m/s adalah sebesar 28,37 watt dan daya output yang dihasilkan pada turbin 2 sudu dan kecepatan 5 m/s adalah sebesar 38,88 watt. Pengujian juga dilakukan untuk menganalisis pengaruh jumlah sudu dengan koefisien daya. Dari analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin sedikit jumlah sudu yang digunakan maka nilai koefisien daya akan semakin besar. Pada turbin 2 sudu didapat nilai koefisien sebesar 0,235 sedangkan pada turbin sudu 4 didapat nilai koefisien sebesar 0,090. Selain itu dari pengujian didapatkan hubungan antara jumlah sudu dan daya output generator, dimana jika jumlah sudu semakin banyak maka semakin besar juga nilai dari daya output generatornya.

Penelitian yang dilakukan oleh Homzah dkk (2020) mengenai pembuatan dan pengujian pada *prototype* turbin angin tipe savonius. Turbin angin savonius ini dibuat menggunakan material filamen pada mesin 3D *Printing*. Penelitian ini dilakukan terhadap turbin angin savonius yang dibuat dengan jumlah sudunya sebanyak 6 buah sudu. Simulasi terhadap *wind tunnel* turbin angin dilakukan menggunakan aplikasi CFD *simulator*. Dalam pengujian tersebut digunakan variasi kecepatan angin sehingga dapat terlihat perbandingan antara kecepatan angin dan daya *output* yang dihasilkan. Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada kelengkungan sudut ganda meningkat menjadi 90%. Kemudian daya bersih yang dihasilkan turbin angin sudut ganda perlahan naik dari 13% ke 36% daya turbin (Watt).

Penelitian yang dilakukan oleh Jamal (2019) mengenai pengaruh jumlah sudu pada turbin dengan keterkaitannya terhadap kinerja turbin savonius. Penelitian ini dilakukan terhadap turbin angin savonius yang dibuat dengan memvariasikan jumlah sudunya yaitu sebanyak 2, 3, dan 4 buah sudu. Dalam pengujian tersebut digunakan juga variasi kecepatan angin untuk mengetahui keterkaitannya dengan kinerja turbin angin savonius. Variasi kecepatan angin yang digunakan yaitu 3,5 m/s; 4,5 m/s; 5,5 m/s; 6,5 m/s. Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin sedikit jumlah sudu pada turbin akan menghasilkan putaran yang lebih besar seperti pada turbin dengan 2 sudu putarannya lebih besar daripada turbin dengan 3 dan 4 sudu, namun momen torsinya menjadi rendah seiring dengan jumlah sudu yang sedikit. Turbin dengan 2 sudu memiliki momen torsi yang lebih kecil daripada turbin dengan 3 dan 4 sudu. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui hubungan antara jumlah sudu dengan efisiensi turbin angin savonius tersebut. Dari data pengamatan didapat bahwa pada turbin dengan 2 sudu nilai efisiensi terdapat pada interval 4,99 – 28,32 %, pada turbin dengan 3 sudu didapat nilai efisiensi dengan interval 4,58 – 40,59 %, dan pada turbin dengan 4 sudu didapat nilai efisiensi pada interval 4,73 – 40,95 %. Selain itu, dari penelitian yang

dilakukan peneliti didapatkan bahwa daya output yang dihasilkan berbanding lurus dengan beban yang dikenakan dan juga selaras dengan kecepatan angin yang digunakan pada pengujian.

Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Untung Surya Dharma dkk (2016) yang bertujuan untuk mengamati pengaruh dari desain sudu terhadap kinerja atau unjuk kerja dari *prototype* turbin angin jenis *vertical axis savonius*. Pengujian ini dilakukan pada turbin angin vertikal dengan luas platnya 1200 cm² dan dimensi 5/16 ; luas platnya 1320 cm² 6/16; luas platnya 1440 cm² 7/16 dan pada sembilan variasi kecepatan yaitu 3,6 m/s; 4 m/s; 4,13 m/s; 4,5 m/s; 4,6 m/s; 4,67 m/s; 5,4 m/s; 5,63 m/s; dan 6,1 m/s. Pengujian dilaksanakan secara langsung dengan menempatkan turbin angin yang telah dibuat di lapangan yang telah ditetapkan. Pengambilan data menggunakan multimeter tester dan data yang diambil berupa nilai tegangan atau voltase serta nilai besaran kuat arus listrik dalam satuan ampere. Dari penelitian yang dilakukan oleh peneliti didapatkan hasil bahwa daya turbin dan daya generator yang terbaik dihasilkan pada desain turbin dengan dimensi sudu 7/16 dengan kecepatan angin sebesar 6,1 m/s, dimana nilai daya turbin yang dihasilkan 6,125 watt dan nilai daya generator yang dihasilkan yaitu 4,391 watt. Kemudian dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan peneliti didapat nilai efisiensi tertinggi adalah pada turbin dengan dimensi sudu 7/16 dan kecepatan 6,1 m/s sebesar 18,66%, diikuti dengan turbin dimensi sudu 6/16 kecepatan angin 6,1 m/s senilai 16,13% kemudian pada turbin dengan dimensi sudu 5/16 dan kecepatan angin 6,1 m/s nilai efisiensinya sebesar 12,76 m/s.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zulfikar dkk (2019) yang menitikberatkan penelitian pada nilai tegangan sekaligus arus generator DC yang dihasilkan jika dipengaruhi oleh jumlah sudunya pada turbin angin savonius. Adapun variasi jumlah sudu yang digunakan adalah turbin dengan 4 sudu dan turbin dengan 8 sudu. Pengujian ini dilakukan terhadap turbin angin savonius dengan sudu-sudu yang terbuat dari pipa paralon. Proses pembuatan komponen-komponen turbin dan assembly turbin dilakukan

secara manual, poros dibuat dengan poros horizontal dan baling-balingnya dengan arah vertikal sehingga angin yang memutar baling baling dapat menggerakkan generator. Pada penelitian ini terdapat lima komponen utama yang digunakan yaitu turbin angin yang dibuat terlebih dahulu, rangkaian charger, generator DC, dan inverter. Adapun dari pengujian yang telah dilakukan oleh peneliti dapat disimpulkan bahwa turbin angin savonius dengan 4 sudu menghasilkan rata-rata nilai daya angin dan daya turbin angin lebih besar daripada turbin angin savonius dengan 8 sudu. Pada turbin angin savonius dengan 4 sudu didapatkan nilai rata-rata daya anginnya sebesar 96,2 watt dan nilai rata-rata daya turbin angin sebesar 4,9 watt. Sedangkan pada turbin angin savonius dengan 8 sudu hanya menghasilkan nilai rata-rata daya angin sebesar 77,4 watt dan rata-rata daya turbin angin senilai 2,78 watt.

Penelitian yang dilakukan oleh Marsono dkk (2018) menganalisis nilai kekakuan dari sudu turbin angin dengan poros vertikal. Penelitian dilakukan pada sudu turbin angin yang terbuat dari material komposit serat karbon dengan menggunakan rekayasa penampang inersia. Peneliti menemukan bahwa sudu turbin yang dibuat dari satu lapisan serat karbon saja kurang memiliki nilai kekakuan yang diperlukan pada turbin angin sehingga kinerjanya kurang maksimal. Pada penelitian yang dilakukan, peneliti menambahkan kerangka pada sudu turbin tersebut untuk memperkuat turbin. Sebelum dilakukan pengujian, sudu turbin yang telah dibuat akan dilakukan pengukuran terlebih dahulu. Dari pengujian yang telah dilakukan peneliti dapat disimpulkan bahwa setelah dilakukan pengukuran berat pada material komposit didapatkan jumlah resin lebih banyak daripada jumlah serat karbonnya dan resin merupakan penyumbang nilai kekakuan terbesar. Kemudian setelah ditambahkan rangka nilai kekakuan dan kekuatan lentur ikut meningkat. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa nilai kelenturan tertinggi terdapat pada sudu yang memiliki tinggi tulang 12 mm sebesar 4,544 kg/mm², diikuti dengan sudu yang memiliki tinggi tulang 9 mm dengan nilai kelenturan 4,145 kg/mm² dan pada sudu dengan tinggi

tulang 6 mm memiliki nilai kelenturan sebesar 4,008 kg/mm². Pengujian dilakukan juga terhadap nilai kekakuan, dimana nilai kekakuan tertinggi terdapat pada sudu dengan tinggi tulang 12 mm dengan nilai sebesar 0,2250 kg/mm, diikuti dengan sudu yang memiliki tinggi sudu 9 mm dengan nilai kekakuan sebesar 0,0740 kg/mm dan sudu yang memiliki tinggi sudu 6 mm dengan nilai kekakuan sebesar 0,0258 kg/mm. Dari pengujian dan analisis yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai kekakuan yang diperlukan dalam pembuatan sudu turbin angin tersebut dapat terpenuhi dengan penambahan rangka berupa tulang penguat dengan lebar tulangnya 30 mm dengan tinggi tulang sebesar 9 mm.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Turbin Angin

Turbin angin adalah salah satu alat yang dimanfaatkan sebagai penghasil energi alternatif. Prinsip kerja turbin angin adalah dengan memanfaatkan angin untuk memutar sudu-sudu pada turbin angin, energi mekanik berupa putaran yang dihasilkan dari pemanfaatan energi angin ini akan didistribusikan ke generator kemudian diubah menjadi energi listrik. Turbin angin ini sangat efektif digunakan sebagai penghasil energi alternatif dikarenakan mudah dicari baik di daerah pesisir pantai, dataran tinggi dan lain-lain. Kemudian kita tidak perlu mengeluarkan biaya lebih untuk menggunakan energi angin tersebut.

Turbin angin terbagi menjadi dua jenis berdasarkan arah sumbunya, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal atau sumbu tegak. Turbin angin dengan sumbu horizontal biasanya diletakkan berlawanan dengan arah angin dan sudu-sudunya didesain dengan posisi sedikit miring sehingga energi dari angin tersebut dapat memutar baling-baling atau sudu-sudu pada turbin tersebut tanpa terjatuh akibat dorongan angin yang cukup tinggi. Turbin angin dengan sumbu horizontal biasanya diletakkan pada posisi yang tinggi karena mampu dioperasikan pada kecepatan angin yang cukup tinggi sehingga rangka dan pondasinya pun

harus kokoh. Turbin angin dengan sumbu vertikal atau sumbu tegak ini adalah turbin angin yang cukup sederhana, penggunaannya tidak harus di daerah yang tinggi, selain itu posisi sudu-sudunya tidak harus diarahkan berlawanan dengan arah angin sehingga penggunaan dan perawatannya lebih mudah. Turbin angin vertikal dapat digunakan meski dengan kecepatan angin yang rendah.

2.2.2 Turbin Angin Savonius

Turbin angin savonius adalah turbin angin yang sudu-sudunya bertumpu pada sumbu dengan arah vertikal. Putaran sudu-sudu yang diakibatkan oleh angin ini akan disalurkan menjadi energi rotasi yang memutar poros pada generator dan kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Turbin angin savonius ini dapat beroperasi meski di daerah dengan kecepatan angin yang rendah, kinerjanya pun tidak berpengaruh pada arah angin. Selain itu biaya yang diperlukan untuk pembuatannya pun terbilang cukup rendah.



Gambar 2.1 Turbin Angin Savonius (Jamal, 2019)

Sudu-sudu yang terdapat pada turbin angin tipe savonius ini biasanya berbentuk U. Sudu-sudu tersebut menghasilkan daya dorong dari angin yang digunakan untuk mempertahankan rotasi pada turbin angin. Turbin angin savonius terdiri dari beberapa sudu yang melekat pada porosnya. Baling-

baling tersebut berfungsi untuk menangkap laju angin dan mengubahnya menjadi energi gerak berupa putaran pada porosnya. Dalam pembuatannya, turbin angin tipe savonius dengan sumbu vertikal ini cenderung didesain dengan sederhana dan proses pembuatannya tidak terlalu rumit.

Selain turbin angin savonius terdapat juga turbin jenis lain, yaitu turbin angin tipe darrieus. Turbin ini sangat efektif untuk menangkap energi angin dari berbagai sisi, desainnya yang diatur sedemikian rupa terhadap poros sehingga angin yang bergerak dari arah manapun dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan baling-balingnya. Turbin angin darrieus disusun tegak lurus terhadap poros dan kelebihanannya dapat mengkonversikan energi angin dari arah manapun.



Gambar 2.2 Turbin Angin Darrieus (Zulfikar dkk., 2019)

2.2.3 Komposit Serat Karbon

Komposit serat karbon adalah material yang terbuat dari dua bahan penyusun utama yaitu resin dan material penguatnya berupa serat karbon. Material ini memiliki massa yang cukup ringan namun serat karbon membuatnya menjadi material yang kuat sehingga penggunaan komposit serat karbon pada pembuatan sudu-sudu turbin angin sesuai dengan karakteristik sudu-sudu turbin angin.

2.2.4 Parameter Analisa

Adapun parameter-parameter yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Luas penampang sudu

Untuk menentukan luas penampang pada sudu yang akan digunakan di *prototype* turbin angin dapat diketahui dengan mencari nilai sudut yang terbentuk terlebih dahulu dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\frac{2h}{L} = \tan \frac{\alpha}{4}$$

Keterangan:

h = tinggi lengkungan sudu (m)

L = lebar sudu (m)

Setelah mengetahui besaran sudut yang terbentuk maka dilanjutkan mencari luas penampang dan jari-jari dengan menggunakan sudut yang sebelumnya didapat sebagai variabel diketahuinya. Adapun rumus untuk mencari nilai luas penampang adalah sebagai berikut:

$$L = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$r = \frac{L}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Keterangan:

L = lebar sudu (m)

r = jari-jari sudu (m)

Dikarenakan sudu-sudu berbentuk melengkung maka perlu diketahui lebar yang sebenarnya dari sudu tersebut. Untuk mengetahui nilai dimensi lebar dari sudu tersebut dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$b = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360}$$

Keterangan:

b = lebar sudu setelah melengkung (m)

d = diameter sudu (m)

2. Daya angin

Daya angin adalah kemampuan angin untuk memutar sudu-sudu pada turbin angin. Adapun untuk mengetahui nilai dari daya angin dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Keterangan:

P_A = daya angin (Watt)

ρ = massa jenis udara (kg/mm^3)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan angin (m/s)

3. Daya turbin angin

Ketika angin bergerak dan mengenai baling-baling atau sudu-sudu pada turbin angin maka porosnya pun ikut berputar. Dari proses ini lah dihasilkan daya turbin yang merupakan nilai *output* dari daya angin. Daya turbin angin dapat diketahui dengan persamaan berikut ini:

$$P_T = \omega \cdot T$$

Keterangan;

P_T = daya turbin (Watt)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

$T = \text{torsi (Nm)}$

4. Daya generator

Dari mulai proses angin mendorong sudu-sudu turbin lalu memutar poros yang kemudian didistribusikan ke generator untuk dapat dikonversikan menjadi energi listrik didapatkan daya generator. Adapun untuk mengetahui nilai dari daya generator dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_g = V \cdot I$$

Keterangan:

$P_g = \text{daya generator (Watt)}$

$V = \text{tegangan listrik (volt)}$

$I = \text{kuat arus listrik (ampere)}$

5. Efisiensi turbin angin

Langkah terakhir yang harus dilakukan adalah menghitung nilai efisiensinya sehingga kita dapat menentukan kombinasi mana yang paling tepat digunakan pada *prototype* turbin angin dan menghasilkan daya paling optimal. Efisiensi merupakan nilai perbandingan daya generator dengan daya angin dari turbin, efisiensi dapat diketahui menggunakan persamaan berikut ini:

$$\eta = \frac{P_g}{P_A} \cdot 100\%$$

Keterangan:

$\eta = \text{efisiensi (\%)}$

$P_g = \text{daya generator (Watt)}$

$P_A = \text{daya angin (Watt)}$