

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi angin

Energi angin merupakan bentuk energi yang tersedia di alam. Angin yang bergerak memiliki energi sejak dahulu energi angin telah banyak dimanfaatkan manusia energi ini mempunyai dua sisi yang bertolak belakang. Pada suatu sisi angin bisa menjadi musibah, seperti angin, dan badai topan. Di sisi lain angin bisa menjadi sumber tenaga yang dibutuhkan manusia, untuk mempermudah kegiatannya.

Energi angin adalah pengumpulan energi yang berguna dari angin. Tenaga angin banyak jumlahnya tidak terbatas, tersebar luas, bersih, dan tidak menimbulkan efek rumah kaca. Di Indonesia pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga angin tersebut pembangkit listrik tenaga Bayu (PLTB). Energi angin bisa dimanfaatkan dengan berbagai manusia, sehingga mampu menunjang aktifitas atau keseharian mereka. Sampai saat ini pemanfaatan energi angin sudah semakin luas. Berikut beberapa manfaat energi angin bagi kehidupan :pembangkit listrik, energi angin dapat menggerakkan kincir angin sebagai pembangkit listrik. Dengan menggunakan energi ini kita dapat mengurangi pencemaran dan polusi udara, serta menjaga keutuhan cadangan bahan bakar.

2.2. Asal Energi Angin

Angin adalah energi alternatif yang terus diperbaharui secara alami. Dilansir dari National Geographic angin terbentuk dari matahari yang tidak

memenasskan permukaan bumi secara merata. Sehingga udara panas naik dan udara dingin masuk kebawahnya untuk menggantikna udara yang naik.

Energi angin yang memutar kincir yang diteruskan untuk memutar baling-baling pada generator pada bagian belakang kincir angin, sehingga menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan angin sebagai energi terbarukan pada tahun 2009 telah menghasilkan energi listrik sebesar 159 GW setara 2% komsusmsi listrik dunia (*World Wind Energy Associationn Report/WWAE 2010*). Angka tersebut meningkat menjadi 200 GW pada tahun 2010. Amerika, China, Spayol, dan Jerman merupakan negara paling besar yang memanfaatkan energi angin, baik onshore maupun di offshore.

2.3. Kincir Angin

Kincir angin adalah alat yang mampu memanfaatkan kekuatan angin untuk di ubah menjadi kekuatan mekanik. Dari proses itu memberikan kemudahan berbagai kegiatan manusia *yang* memerlukan tenaga yang besar seperti memompa air untuk mengairi sawah atau mengiling biji-bijian. Kincir angin modern adalah mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik, disebut juga dengan turbin angin. Turbin angin bnyak di temukan di eropa dan amerika utara.

Perkembangan teknologi telekomunikasi mengalami kemajuan yang cukup pesat, karena setiap orang ingin dapat berkomunikasi dimanapun dan kapanpun. Salah satu teknologi telekomunikasi yang digunakan adalah komunikasi nirkabel. Pembuatan perangkat yang menunjang hal tersebut ikut berkembang, baik dalam bahan baku pembuatan material perangkat ataupun sistemnya. Namun, banyak dari pencipta perangkat tersebut tidak memperhatikan dampak terhadap

lingkungan sekitar. Penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui pada sisi material perangkat dan catu daya yang digunakan menyebabkan dampak buruk terhadap lingkungan sekitar. Gerakan pecinta lingkungan (Go Green) sudah sering terdengar, setidaknya.

Penggunaan energi alternatif beberapa tahun ini banyak terdengar, seperti angin, air, matahari, dan biogas. Dalam pengaplikasiannya banyak penelitian mulai dari hal yang sederhana hingga ke hal yang sulit, dengan satu tujuan yaitu ISSN: 2442-5826 e-Proceeding of Applied Science: Vol.1, No.2 Agustus 2015 | Page 1429 View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk brought to you by CORE provided by Open Library menyelamatkan bumi dari krisis energi. Pada Penelitian yang dilakukan oleh Dosen Teknik Elektro UNNES pada tahun 2010 Tentang “Pemberdayaan Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas” didapatkan hasil seperangkat sistem inovasi teknologi pembangkitan energi listrik bersumber dari energi matahari yang dapat dimanfaatkan untuk memberikan suplai energi listrik pada lampu pengatur lalu lintas. Hal tersebut mendorong saya untuk ikut berpartisipasi dengan menggunakan energi alternatif listrik melalui panas dan angin sebagai pembangkit Access Point.

2.4. Turbin angin

Turbin angin adalah yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan pengngigilingan padi, keperluan irigasi dan lainnya. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik Masyarakat.

Pada umumnya daya efektif yang dapat dipanen oleh sebuah turbin hanya sebesar 20%-30%. Jadi rumus yang dapat dikalikan dengan 0,2 atau 0,3 untuk mendapatkan hasil yang cukup baik. Prinsip dasar kerja turbin angin adalah mengubah energi mekanis menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan energi listrik.

Kecepatan angin atau velositas gelombang angin adalah sebuah kuantitas atmosferik fundamental. Kecepatan angin disebabkan oleh pergerakan angin dari tekanan tinggi ke tekanan rendah, biasanya karena ada perubahan suhu. Kecepatan angin dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya sebagai letak tempat dimana kecepatan angin di dekat khatulistiwa lebih cepat dari yang jauh dari garis khatulistiwa. Semakin tinggi tempat, semakin kencang pula angin yang bertiup, hal ini disebabkan oleh pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Di permukaan bumi, pohon, gunung, dan topografi yang tidak rata lainnya memberikan gaya gesekan yang besar. Semakin tinggi suatu tempat, gaya gesekan ini juga semakin kecil,

2.5. Klasifikasi Turbin Angin

Berdasarkan sumbu putar rotor, turbin angin dapat digolongkan menjadi dua klasifikasi utama yaitu turbin angin sumbu vertikal (VAWT) dan turbin angin sumbu horizontal (HAWT). Sedangkan dilihat dari aerodinamisnya, maka rotor turbin dibagi menjadi dua tipe. Pertama adalah tipe drag dimana memanfaatkan gaya hambatan sebagai penggerak rotor. Kedua adalah tipe lift yang memanfaatkan

gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

2.5.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin dengan sumbu horizontal memiliki sudu-sudu yang berputar pada bidang vertikal seperti baling-baling pesawat terbang. Turbin angin biasanya Blade dengan bentuk penampang khusus di mana aliran udara di satu sisi dapat bergerak lebih cepat daripada aliran udara di sisi lain berangin melewatinya. Fenomena ini menciptakan area bertekanan rendah di belakang blade dan area bertekanan tinggi di depan blade. Perbedaan tekanan ini menciptakan gaya yang memutar sudu.



Gambar 2. 1 Turbin Angin Sumbu *Horizontal*
Sumber: (Alfatoni, W.C. 2023)

1. Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Dasar Menara yang tinggi memperbolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin) antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di

sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh mete ke atas, kecepatan angin meningkat 20%.

2. Kelemahan Sumbu Horisontal (TASH)

- a. Menara yang tinggi serta bila yang panjang sulit di angkut dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- b. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta pada operator yangampil.
- c. Kontruksi Menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- d. TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
- e. Ukuran yang tinggi merintangai jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan landscape.
- f. Berbagai varian doownwindmenderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.

3. Jenis-jenis turbin angin TASH

Apa pun yang bergerak memiliki energi kinetik, dan ilmuwan serta insinyur menggunakan energi kinetik angin untuk menghasilkan listrik. Energi angina tau tenaga angin, dibuat menggunakan turbin angina alat yang menyalurkan tenaga angin untuk menghasilkan listrik. Angin meniup bila turbin yang melekat pada rotor . Rotor memutar generator untuk menghasilkan listrik.

Ada dua jenis turbin angin:

a. Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

Jika bila rotor dihubungkan dengan poros horizontal, turbin itu adalah HAWT, turbin HAWT paling banyak digunakan untuk aplikasi komersial.

b. Vertikal Axis Wind Turbine (VAWT)

Salah satu jenis turbin angin yang rotornya memutar dipasang secara vertikal. Cara desain seperti ini memungkinkan sensitivitas yang lebih rendah terhadap angin, menjadikannya pilihan yang sempurna untuk tempat-tempat dimana arah angin sering berubah. Kemana pun arah angin bertiup, baling-baling akan tetap bergerak dan memutar poros untuk menghasilkan tenaga.

2.5.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama dengan grup horizontal. Namun, bilahnya berputar di bidang sejajar dengan tanah, seperti mesin kocokan telur. (Daryanto, 2007) Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki poros rotor utama yang disusun secara vertikal. Keuntungan utama dari penyusunan turbin ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke arah angin agar efektif. Keuntungan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu memanfaatkan angin dari segala arah.

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) adalah salah satu turbin angin dengan poros rotor melintang terhadap arah angin, dan komponen utama diletakkan pada dasar turbin. Hal ini mungkin yang meletakkan generator dan boks gerigi pada dasar turbin yang mempermudah perawatan dan perbaikan. TASV tidak perlu di

arahkan pada arah angin, yang menghilangkan kebutuhan mekanisme penginderaan angin dan orientasi turbin.



Gambar 2. 2Turbin Angin Sumbu Vertikal
Sumber: *(Heharia, M, Hemowo, dkk 2021)*

1. Kelebihan Turbin TASV

- a. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.(TASV)
- b. Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- c. TASV memiliki sudut airfoil (bentuk sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- d. Desain TASV berbila lurus dengan potongan melintang membentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkaran TASH.

e. TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH.

Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h.)

f. TASV biasanya memiliki tip speed ratio (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bila dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin terhembus sangat kencang.

g. TASV yang didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.

h. TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit).

i. TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.

j. Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

2. Kelemahan turbin TASV

a. kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang memiliki saat kincir berputar.

b. TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.

c. Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.

- d. Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawa saat angin bertiup.

3. Jenis-jenis turbin TASV

Ada tiga jenis turbin angin sumbu vertical, yaitu:

a. Turbin angin Darrieus

Merupakan salah satu TASV (Turbin Angin Sumbu Vertikal) dengan efisiensi terbaik serta mampu menghasilkan torsi cukup besar pada putaran dan kecepatan angin yang tinggi. Turbin angin Darrieus mengaplikasikan blade dengan bentuk dasar aerofoil NACA. Prinsip kerja turbin angin darrieus yaitu memanfaatkan gaya lift. Kelemahan utama dari turbin angin Darrieus yaitu yakni memiliki torsi awal berputar yang sangat kecil hingga tidak dapat melakukan self start.

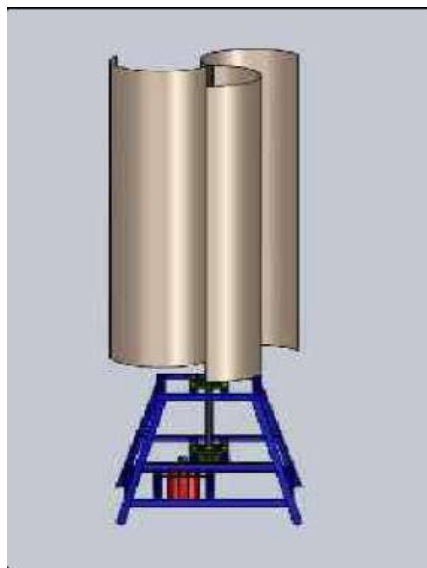


Gambar 2. 3Turbin Darreus
Sumber: (Fadila, A.2020)

Pada aplikasinya, *darrieus wind turbine* selalu membutuhkan perangkat bantuan untuk melakukan putaran awal. Perangkat bantu yang digunakan berupa motor listrik atau umumnya lebih sering menggunakan gabungan turbin angin savonius pada poros utama. Untuk menghindari fluktuasi torsi yang besar, aplikasi turbin angin Darrieus umumnya menggunakan tiga blade.

b. Turbin angin Savonius

Turbin angin savonius adalah desain modern yang mengurangi jumlah kecepatan angin yang diperlukan untuk menghasilkan listrik dengan efisiensi yang cukup tinggi. Sistem kelistrikan energi angin savonius yang dimodifikasi sangat mudah dibuat dan dipasang. Faktanya, itu bisa diselesaikan dalam beberapa jam, tops. Akan dapat menghubungkan sisi generator ke saluran utama dengan cara yang tangga. Dengan turbin yang dirancang dengan baik akan dapat membangun sumber energi sisi *grid* gratis untuk rumah anda.



Gambar 2. 4Turbin Angin Savonius
Sumber: (Chairany, P. 2016)

c. Turbin tipe H-Rotor

Turbin tipe H adalah variasi dari tipe Darrieus. Keduanya sama-sama menggunakan prinsip gaya angkat untuk menggerakkan sudu. Tipe H jauh lebih simple dari tipe darrieus. Bila tipe darrieus menggunakan bilah lurus.



Gambar 2. 5 Turbin tipe *H-Rotor*
Sumber: (Wiljeng Trisawi, M, A. 201)

2.6. Kontruksi Turbin Angin

Secara umum, konfigurasi utama turbin angin poros datar terdiri dari beberapa bagian yaitu; rotor (blade dan hub), nase/nacelle, generator, transmisi gearbox, kopling dan rem, sistem orientasi (yaw system), menara, sistem kontrol dan pondasi.

Adapun penjelasan dari bagian masing-masing diatas sebagai berikut:

a. Sudu (blade/baling-baling)

Rotor turbin angin yang terdiri dari baling-baling/sudu dan hub merupakan bagian dari turbin yang berfungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak

b. Rotor Hub

Hub merupakan bagian dari rotor yang berfungsi menghubungkan sudu dengan shaft (poros) utama.

c. Kontrol Pitch Sudu

Salah satu tipe rotor adalah dengan sudu terpasang variabel yang dapat diubah sudut serangnya dengan mengatur posisi sudut serang sudu terhadap arah angin bertiup.

d. Rem

Rem berfungsi untuk menghentikan putaran poros rotor yang bertujuan untuk keamanan atau pada saat melakukan perbaikan.

e. Poros Rotor Putaran Rendah

Poros rotor berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator, dapat secara langsung maupun melalui mekanisme transmisi gearbox.

f. Gaerbox

Pada umumnya transmisi di turbin angin berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator dengan dipercepat putarannya.

g. Generator

Generator merupakan komponen terpenting dalam sitem turbin angin, dimana fungsinya adalah merupakan energi gerak (mekanik) potar pada poros penggerak menjadi energi listrik. Tegangan dan arus lidtrik yang

dihasilkan oleh generator dapat berubah alternating current (AC) maupun direct current (DC) dan tegangan keluaranya didapatkan dari tegangan rendah (12 volt) atau sampai tegangan yang lebih tinggi (720 volt) atau lebih.

h. Kontrol Arah

Pada umumnya sudah menggunakan gelang aktif (active yawing system), yang digerakkan oleh motor servo. Kontrol yawing disini berfungsi menerima input dari sensor anemometer (mendeteksi kecepatan angin) dan wind direction (mendeteksi perubahan arah angin), dan memberikan komando kepada motor servo untuk membelokkan arah poros turbin angin dan juga memberikan masukan kepada kontrol pitch.

i. Anemometer

Sensor anemometer berfungsi untuk mendeteksi/mengukur kecepatan angin sebagai masukan kepada sistem kontrol dalam mengendalikan sistem.

j. Tail Vane

Salah satu sistem orientasi yang pasif (passive yawing) yaitu menggunakan ekor pengarah, fungsi ekor pengarah (tail vane) adalah untuk membelokkan posisi rotor terhadap arah datangnya angin.

2.7. Turbin Angin Crossflow

Turbin angin crossflow merupakan salah satu turbin angin sumbu vertikal memiliki banyak kelebihan. Turbin angin crossflow dapat di pasang pada daerah yang memiliki kecepatan angin yang rendah, sehingga sangat cocok dijadikan salah satu alternatif turbin angin yang ideal untuk potensi angin di Indonesia. Ini dikarenakan

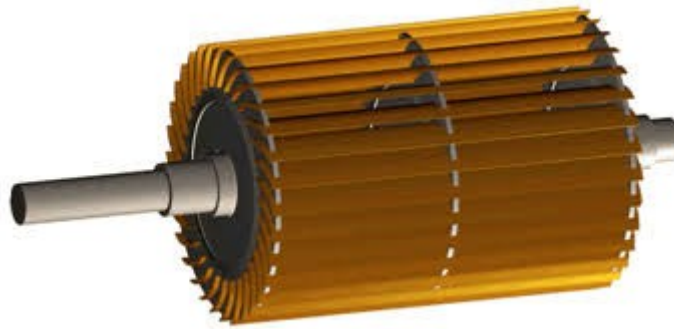
turbin angin crossflow memiliki kecepatan start up angin yang rendah dibandingkan dengan turbin angin lainnya. Dalam pemanfaatan turbin angin crossflow menjadi energi listrik dibutuhkan efisiensi kinerja yang baik.

Pelari dan nosel adalah dua komponen utama turbin aliran silang, manfaat momentum udara yang keluar dari nozzle adalah cara kerja *Cross-flow*. Pada kecepatan tertentu udara yang masuk memasuki bagian putaran turbin. Angin masuk melalui sudu-sudu jalan silinder sebelum keluar dari silinder melalui sudu-sudu. Jadi ketika angin masuk dan keluar silinder, energi angin diubah menjadi energi mekanik, yang menghasilkan energi 20% lebih banyak.

2.8. Sudu Turbin

Sudu merupakan bagian dari turbin dimana konfersi energi terjadi. Sudu terbagi dari bagian akar sudu, badan sudu, dan ujung sudu. Sudu dirangkai sehingga membentuk satu batang penuh. Pada turbin crossfow yang terdiri para meter pada sudu turbin ialah panjang sudu, bentuk sudu, dan jumlah sudu. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dhakal, dkk (2017) yang menyatakan bahwa sudu turbin dengan melengkung lebih sesuai untuk aliran crossflow dibandingkan dengan sudu turbin bentuk lurus. Jumlah sudu turbin dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sritram dan Suntivarakom (2009) dimana saat melakukan pengujian dengan menggunakan jumlah dua sampai tujuh sudu didapatkan kesimpulan turbin yang menggunakan lima sudu menghasilkan efisiensi paling tinggi berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Christine, dkk (2016) menyatakan bahwa efisiensi turbin meningkat ketika jumlah sudu turbin ditambah

dari sudu turbin 65%-70% dari keseluruhan tinggi tangki sirkulasi yang dimulai dari saluran masuk (inlet) tangki sirkulasi.



Gambar 2. 6 Sudu (*Blade*)
Sumber: (Khairul Fadli., 2013)

Sudu (blade) merupakan bagian turbin yang berfungsi untuk merubah gerak pancar angin yang masuk menjadi energi gerak/putaran atau pancaran angin yang masuk turbin dan mengenai sudu roda turbin akibat adanya fluida (angin, uap, udara, dll) yang dimana akan terjadi konversi energi yaitu energi kinetik menjadi energi mekanis yang menggerakkannya atau mengubah energi potensial menjadi energi kinetik.

Sudu atau blade turbin diklasifikasikan menjadi dua yaitu sudu impuls dan sudu reaksi. Kedua sudu ini berkontribusi dalam terciptanya energi putar pada turbin dengan prinsip dasar pemanfaatan energi potensial dan kinetik steam dengan nilai yang berbeda-beda.

2.9. Sirip Turbin

Turbin angin tipe bilah bersirip adalah jenis turbin angin poros vertikal yang memiliki sumbu rotor tegak lurus terhadap permukaan dengan sirip-sirip yang ada di setiap bilahnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui variasi sirip dan kecepatan angin terhadap unjuk kerja turbin sumbu vertikal tipe bilah bersirip.

Variabel bebas pada penelitian ini adalah jumlah sirip pada bilah (10, 12 dan 14) dan kecepatan angin mulai 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s dan 8 m/s. variabel terikat pada penelitian ini adalah unjuk kerja turbin angin yaitu BHP (Break Horse Power), torsi dan efisiensi. Sedangkan variable terkontrolnya adalah jumlah bilah pada turbin angin tipe bilah bersirip sebanyak 3 buah dengan tinggi $2,5 \times 10^{-1}$ m dan lebar 6×10^{-2} m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jumlah sirip pada bila sirip yang berbeda-beda berpengaruh pada unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip. BHP dan torsi maksimal diperoleh pada penggunaan bilah bersirip 7 buah pada kecepatan angin 8 m/s. daya yang dihasilkan sebesar 0,04 watt dengan torsi sebesar 0,043 Nm. Sedangkan efisiensi maksimal adalah 0,27%. Efisiensi maksimal dihasilkan pada penggunaan bilah bersirip 7 dengan kecepatan angin 6 m/s.

Baru-baru ini, beberapa penelitian membahas penghematan energi yang dapat dicapai oleh radiant cooling system dan diperoleh bahwa sistem pendinginan radiasi dapat menghemat energi pengguna sekitar 40 dibandingkan dengan sistem pendinginan konvensional. Salah satu cara untuk meningkatkan performa pendinginan dari coil radiant cooling adalah dengan menambahkan sirip pada pipa-pipa yang digunakan dalam sistem tersebut. Untuk melakukan analisa pengaruh jumlah sirip pada coil radiant cooling terhadap performa pendinginan, dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran suhu udara di sekitar pipa dengan menggunakan atau tanpa menggunakan sirip. Dalam penelitian menggunakan metode percobaan alat pendingin langsung dan penelitian kepustakaan ini untuk mengetahui pengaruh jumlah sirip pada radiant cooling terhadap performa

pendinginan dan memberikan rekomendasi yang berguna untuk pengembangan coil radiant cooling yang lebih efektif dalam pendinginan. Hasil laju perpindahan panas ini didapatkan dari perhitungan data yang paling rendah pada sirip 10 dengan nilai 21.164 kJ/kg dan untuk paling tinggi pada sirip 4 dengan nilai 23.077 kJ/kg. Hasil nilai laju perpindahan panas ini menunjukkan pada sirip 4 paling tinggi tinggi dibandingkan variasi sirip 6, 8, dan 10 disebabkan oleh perbedaan suhu dinding evaporator yang tinggi membuat proses pendinginan melalui media air menjadi lebih cepat. Dari data perhitungan COP di dapat nilai yang berbeda-beda dikarenakan pengaruh dari koefisien konveksi termal yang di pengaruhi oleh perbedaan jumlah sirip yang digunakan. Pada variasi jumlah sirip 10 lebih efisien dikarenakan nilai COP berbanding terbalik dengan biaya operasional, apabila COP lebih tinggi maka biaya operasional yang dikeluarkan akan menjadi lebih rendah. Pengaruh variasi jumlah sirip pada radiant cooling terhadap performa kinerja mesin pendingin adalah pada penelitian ini bisa di lihat pada nilai Efficiency energy ratio (EER) dimana pada jumlah sirip 10 dengan nilai 22,64 paling tinggi daripada variasi jumlah sirip 4, 6, 8. Kata Kunci: Radiant Cooling, Jumlah Sirip, COP, EER.

2.10. Rumus Yang Digunakan

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

1. Perhitungan Turbin Angin

a. Luas penampang turbin angin (A)

$$A = D \cdot h \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

A = luas penampang turbin angin (m²)

D = diameter (m)

h = tinggi (m)

b. Daya angin (P_{in})

Daya angin dapat dihitung dengan rumus:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

P_{in} = daya angin (watt)

ρ = massa jenis angin (kg/m³)

A = luas penampang (m²)

v = kecepatan angin (m/s)

c. Gaya pembebanan turbin angin (F)

Untuk menghitung gaya maka digunakan rumus berikut:

$$F = m \cdot g \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

F = gaya (N)

m = massa (kg)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)

d. Torsi turbin angin (τ)

Untuk menghitung torsi maka digunakan rumus berikut :

$$\tau = F \cdot r \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

τ = torsi (Nm)

F = gaya (N)

r = jari-jari (m)

e. Kecepatan angular (ω)

Untuk menghitung kecepatan angular atau kecepatan sudut maka digunakan rumus berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

ω = kecepatan angular

n = putaran (rpm)

π = konstanta lingkaran

f. Daya mekanis turbin angin (Pt)

Untuk menghitung daya mekanis turbin maka digunakan rumus berikut:

$$Pt = \tau \cdot \omega \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

Pt = daya mekanis turbin angin

τ = torsi (Nm)

ω = kecepatan angular (rad/s)

g. *Tip Speed Ratio* (λ)

Untuk menghitung *Tip Speed Ratio* maka digunakan rumus berikut :

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

λ = *Tip Speed Ratio* (rad)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

r = jari-jari (m)

v = kecepatan angin (m/s²)

h. Efisiensi turbin (η)

Untuk mencari nilai efisiensi turbin angin crossflow menggunakan rumus dibawah ini :

$$\eta = \frac{P_t}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

η = efisiensi turbin (100%)

P_t = daya turbin (watt)

P_{in} = daya angin (watt)

2.11. Jurnal Rujukan

Sumber energi minyak bumi masih mendominasi sebagai sumber energi utama. Permintaan energi minyak bumi dari tahun ketahun semakin meningkat hal ini dapat menyebabkan krisis energi. Dengan kondisi seperti ini maka perlu pengembangan sumber energi alternatif ramah lingkungan salah satunya adalah energi angin. Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber energi angin

yang sangat besar. Dikarenakan Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki garis pantai yang panjang. Angin yang berhembus di daerah pesisir pantai cukup tinggi, akan tetapi untuk daerah selain pesisir pantai memiliki kecepatan angin yang relatif rendah. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan turbin angin vertical axis. Turbin angin vertical axis tidak bergantung pada arah angin untuk menghasilkan efisiensi maksimal. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen, pembuatan turbin angin vertical axis jenis crossflow dengan memvariasikan jumlah blade. Variasi jumlah blade yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 6, 8, dan 12 buah. Pengujian ini dilakukan pada kondisi angin di lapangan yang telah dikondisikan searah. Hasil penelitian didapatkan bahwa turbin angin 12 blade menghasilkan daya dan efisiensi tertinggi dibandingkan dengan variasi jumlah blade 6 dan 8 buah. Dengan pembebanan lampu sebesar 5w 12v menghasilkan daya elektrik turbin sebesar 3,87 watt dan efisiensi 3,76% pada kecepatan angin 5,52 m/s.

Sumber energy terbesar yang dimanfaatkan saat ini masih dominan berasal dari fosil. Sumber energy fosil bersifat non renewable sehingga lama kelamaan akan habis dan energy fosil juga tidak ramah lingkungan karena menghasilkan gas CO₂. Oleh karena itu saat ini sangat banyak penelitian dilakukan tentang energi terbarukan agar mendapatkan sumber energy baru yang memiliki dampak positif bagi lingkungan dan bersifat renewable. Salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan mudah untuk didapat adalah energi angin. Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan energy angin sebagai penghasil listrik dengan menggunakan turbin angin savonius. Tujuan yang hendak dicapai adalah

mengetahui unjuk kerja turbin angin savonius tipe U tiga sudu melalui pengujian terhadap variable ukur yaitu kecepatan angin, kecepatan putar rotor dan daya yang dihasilkan alternator. Lokasi pengujian di pantai Air Tawar Padang. Dari hasil pengujian didapatkan putaran maksimum rotor adalah 196 rpm pada kecepatan angin 7,9m/s, besar daya 126 watt. Untuk putaran minimum rotor 53 rpm pada kecepatan angin 2,7 m/s tidak mampu menghasilkan daya karena putaran pada poros alternator setelah melewati system transmisi menjadi 156 rpm sehingga tidak mampu membangkitkan listrik, dimana spesifikasi alternator yang dipakai baru mampu menghasilkan listrik jika putaran besar dari 300rpm.

Pembangkit listrik konvensional merupakan salah satu pembangkit listrik yang menghasilkan polusi. polusi tersebut mengakibatkan global warming yang mengancam kehidupan semua makhluk termasuk manusia. Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang digunakan manusia, maka solusi untuk penanggulangan polusi dan kebutuhan listrik tersebut dengan menggunakan pembangkit listrik nonkonvensional, dan pembangkit listrik tenaga angin merupakan salah satu dari pembangkit nonkonvensional tersebut. Pembangkit listrik jenis horizontal merupakan satu diantara pembangkit listrik tenaga angin yang lain. Pembangkit ini dapat menghasilkan listrik dari bantuan angin yang mendorong turbin angin yang telah dibentuk dengan sudut tertentu. Untuk dapat menyesuaikan putaran yang dihasilkan, dibuatlah gearbox yang dapat menghasilkan putaran yang lebih banyak, yang diteruskan ke alternator, selanjutnya listrik yang telah dihasilkan disimpan di aki. Angin sangat penting bagi pembangkit ini untuk menghasilkan listrik, karena tanpa angin pembangkit ini tidak bisa menghasilkan listrik dan juga besarnya daya

yang dihasilkan tergantung juga pada kecepatan angin. Begitu juga dengan peranan temperatur semakin rendah temperatur daerah sekitar pembangkit maka semakin besar pula daya yang dapat dihasilkan.