

Analisa Perbandingan Pengaruh Variasi Jumlah Sudu 4 Dan 8 Pada Turbin Angin Savonius Terhadap Tegangan Dan Arus Generator Dc

Zulfikar, Partaonan Harahap, Herry Agung Laksono

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
Jl. Kapten Muchtar Basri, BA No. 03 Medan Telp. (061) 6622400 ex. 12 Kode pos 20238
e-mail: zulfikar@umsu.ac.id

Abstrak — Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan guna menggantikan sumber energi berbahan bakar fosil. Salah satu bentuk dari pemanfaatan energy angin adalah sebagai sumber energi untuk pembangkit tenaga listrik. Pengujian turbin tipe horizontal dan vertical untuk mendapatkan besar kinerja turbin dengan variasi jumlah sudu turbin, sudut kelengkungan turbin dan kecepatan aliran udara. Kinerja turbin dapat dilihat dari besar efisiensinya yang merupakan perbandingan daya keluaran terhadap daya masukan. Daya input turbin diperoleh dari pengukuran laju aliran udara dan luas permukaan penampang turbin yang menerima aliran udara, daya input akan divariasikan dengan memvariasikan laju aliran udara. Dari hasil penelitian variasi 4 sudu dan 8 sudu. Didapat variabel bebas adalah variasi jumlah sudu. Maka rata-Rata variasi 4 sudu dari hasil penelitian diatas didapatkan rata-rata dari Daya angin sebesar 96,2 Watt dan daya turbin angin sebesar = 4,9 Watt, Maka rata-Rata variasi 8 sudu dari hasil penelitian diatas didapatkan rata-rata dari Daya angin sebesar 77,4 Watt dan daya turbin angin sebesar = 2,78 Watt.

Kata kunci : PLTA, Variasi Sudu 4 dan 8, Daya Angin dan Daya Turbin Angin

Abstract — *Wind energy is an alternative energy that can be utilized for various purposes in order to replace fossil fuel energy sources. One form of utilization of wind energy is as an energy source for electricity generation. Testing horizontal and vertical type turbines to get the turbine performance with variations in the number of turbine blades, turbine curvature angle and air flow velocity. Turbine performance can be seen from the large efficiency which is the ratio of output power to input power. Turbine input power is obtained from measurements of air flow rate and surface area of the turbine cross section that receives air flow, input power will be varied by varying the air flow rate. From the results of research variations of 4 blades and 8 blades. Obtained an independent variable is the variation in the number of blades. Then the average variation of 4 blades from the above research results obtained an average of 96.2 Watts of wind power and wind turbine power of = 4.9 Watts, then the average variation of 8 blades from the results of the above studies obtained an average of Wind power is 77.4 Watt and wind turbine power is = 2.78 Watt.*

Keywords : *Hydroelectric Power, Variation of Blades 4 and 8, Wind Power and Wind Turbine Power*

I. PENDAHULUAN

Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan guna menggantikan sumber energi berbahan bakar fosil. Salah satu bentuk dari pemanfaatan energy angin adalah sebagai sumber energi untuk pembangkit tenaga listrik. Namun dewasa ini pemanfaatan energi angin terkhususnya di Indonesia belum maksimal hal ini dikarenakan mahalnya pembuatan turbin angin.

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil setidaknya memiliki tiga ancaman serius, yakni:

1. Menipisnya cadangan minyak bumi.
2. Kenaikan / ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak.
3. Polusi gas rumah kaca (terutama CO₂) akibat pembakaran bahan bakar fosil.

Saat ini disebut sebagai yang tertinggi selama 125 tahun belakangan, efek buruk CO₂ terhadap pemanasan global telah disepakati hampir oleh semua kalangan. Hal ini menimbulkan ancaman serius bagi kehidupan makhluk hidup di muka bumi. Oleh karena itu, pengembangan dan implementasi bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan perlu mendapatkan perhatian serius dari berbagai negara.

Pemanfaatan energi angin sebenarnya bukan barang baru bagi umat manusia. Semenjak 2000 tahun lalu teknologi pemanfaatan sumber daya angin dan air sudah dikenal manusia dalam bentuk kincir angin (windmills). Selain ramah lingkungan, sumber energi ini juga selalu tersedia setiap waktu dan memiliki masa depan bisnis yang menguntungkan. Kini sebagian besar negara maju di Eropa dan Amerika Serikat telah memanfaatkan sumber energi ini.

Pada masa awal perkembangannya, teknologi energi angin lebih banyak dimanfaatkan sebagai sulih tenaga manusia dalam bidang pertanian dan manufaktur, maka kini dengan teknologi dan bahan yang baru, manusia membuat turbin angin untuk membangkitkan energi listrik yang bersih, baik untuk penerangan, sumber panas atau tenaga pembangkit untuk alat-alat rumah tangga. Menurut data dari American Wind Energy Association (AWEA), hingga saat ini telah ada sekitar 20.000 turbin angin diseluruh dunia yang dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik.

Kebanyakan turbin semacam itu dioperasikan dilahan khusus yang disebut “ladang angin” (wind farm). Di negara-negara Eropa, pemanfaatan sumber energi yang dapat diperbaharui diperkirakan bakal mencapai 8% dari permintaan energi ditahun 2005. Energi angin menjadi salah satu alternatif yang banyak dipilih dan sekaligus berfungsi mengurangi emisi gas karbondioksida (CO) yang dihasilkan oleh perangkat sumber energi sebelumnya. Tujuh tahun belakangan ini, kapasitas energi angin terpasang di Eropa melonjak hingga 40% per tahun dan saat ini kapasitas tersebut dapat memenuhi kebutuhan listrik lebih dari 5 juta kepala keluarga. Industri energi tenaga angin diperkirakan bakal memiliki kapasitas 40.000 MW (mega Watt) yang dapat mencukupi kebutuhan listrik untuk 50 juta kepala keluarga pada tahun 2010.

Energi angin adalah energi yang relatif bersih dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan karbon dioksida (CO₂) atau gas-gas lain yang berperan dalam pemanasan global, sulphur dioksida dan nitrogen oksida (jenis gas yang menyebabkan hujan asam). Energi ini pun tidak menghasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan ataupun manusia. Meski demikian, harap diingat bahwa sekecil apapun semua bentuk produksi energi selalu memiliki akibat bagi lingkungan.

Hanya saja efek turbin angin sangat rendah, bersifat lokal dan mudah dikelola. Di samping itu turbin atau kincir angin memiliki pesona tersendiri dan menjadi atraksi wisata yang menarik, seperti misalnya saja kincir-kincir angin di negeri Belanda. (Nanang Okta : 2006). Turbin angin merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik menjadi energi gerak, dimana energi penggerakanya berasal dari angin.

Energi gerak selanjutnya diteruskan berupa putaran sudu dan poros generator sehingga menghasilkan energi listrik. Turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin angin yang pertama dibuat manusia. Turbin angin sumbu vertikal modern menerapkan bentuk yang aerodinamis pada rotornya tegak lurus untuk menghasilkan momen gaya sehingga memberikan keuntungan yang lebih dalam menangkap energi angin.

Keunggulan dari turbin angin model vertikal ini adalah mempunyai desain menara yang sederhana

dan ekonomis, dapat di terapkan pada daerah-daerah yang memiliki kecepatan angin yang bervariasi dan memanfaatkan angin dari berbagai arah, sehingga tidak memerlukan mekanisme *control yaw*. Turbin angin vertikal memiliki kecepatan angin awal lebih rendah dari pada turbin angin horisontal, sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.

Namun turbin angin sumbu vertical memiliki beberapa kelemahan yaitu produksi energinya hanya 50% dari efisiensi turbin angin sumbu horisontal karena mempunyai *drag* tambahan yang dimilikinya saat turbin angin beroperasi. Salah satu bentuk dari pemanfaatan energi angin adalah sebagai sumber energi untuk pembangkit tenaga listrik. Keunggulan dari turbin ini yaitu mampu mengekstrak angin dengan kecepatan angin yang kecil (min 2m/s) dibandingkan dengan kecepatan angin yang ada di Eropa maupun di Amerika yang mencapai 20 m/s.

Pengujian turbin tipe horizontal dan vertical untuk mendapatkan besar kinerja turbin dengan variasi jumlah sudu turbin, sudut kelengkungan turbin dan kecepatan aliran udara. Kinerja turbin dapat dilihat dari besar efisiensinya yang merupakan perbandingan daya keluaran terhadap daya masukan. Daya input turbin diperoleh dari pengukuran laju aliran udara dan luas permukaan penampang turbin yang menerima aliran udara, daya input akan divariasikan dengan memvariasikan laju aliran udara.

1. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengujian tegangan dan arus pada Turbin Angin Savonius dengan 4 Sudu
2. Bagaimana pengujian tegangan dan arus pada Turbin Angin Savonius dengan 8 Sudu
3. Bagaimana perbandingan daya yang dihasilkan variasi jumlah 4 sudu dan 8 sudu

2. Tujuan

1. Mengetahui hasil pengujian tegangan dan arus pada Turbin Angin Savonius dengan 4 Sudu
2. Untuk mengetahui pengujian tegangan dan arus pada Turbin Angin Savonius dengan 8 Sudu

Mengetahui perbandingan daya yang dihasilkan variasi jumlah 4 sudu dan 8 sudu

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit listrik yang dimiliki oleh PLN secara umum menggunakan energi yang termasuk tidak terbaharui, untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat itulah, diperlukan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan sumber daya yang ada. Secara geografis, Indonesia berpotensi untuk mengembangkan pembangkitan listrik energi alternatif terbarukan tersebut. Salah satunya adalah energi angin yang berhembus relatif

stabil sepanjang tahun dengan rata-rata kecepatan 5 m/detik. Menurut beberapa peneliti sebelumnya di kemukakan oleh beberapa peneliti di antaranya :

- Farel h. Napitupulu, surya siregar Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara dengan judul perancangan turbin vertikal axis savonius dengan menggunakan 8 buah sudu lengkung yang menghasilkan energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan guna menggantikan sumber energi berbahan bakar fosil. Salah satu bentuk dari pemanfaatan energi angin adalah sebagai sumber energi untuk pembangkit tenaga listrik. Keunggulan dari turbin ini yaitu mampu mengekstrak angin dengan kecepatan angin yang kecil (min 2 m/s) dibandingkan dengan kecepatan angin yang ada di Eropa maupun di Amerika yang mencapai 20 m/s. Hasil perhitungan keseluruhan dari turbin angin vertikal Savonius ini hanya ingin memberitahu bahwa bagaimana merancang dan membangun turbin angin ini. Dalam perancangan ini akan dihasilkan turbin savonius yang akan menghasilkan tenaga listrik sebesar 132 Watt yang dapat digunakan pada skala kecil seperti lampu dirumah. Adapun dimensi dari rotor yang dirancang adalah dengan luas sapuan rotor 0,99 m² dengan menggunakan sudu lengkung dan jenis transmisi yang digunakan adalah menggunakan roda gigi lurus. Sedangkan *coefisien performance* (Cp) yang dihasilkan adalah 0,5275, *tip speed ratio* (λ) yang dihasilkan sebesar 0,372 dan efisiensi rotor turbin (η_{turbin}) adalah 0,591.
- Thoriq Mustaqim, Nur Aklis dan Marwan Effendy Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan judul studi eksperimen pengaruh jumlah sudu terhadap kerja turbin angin horisontal berbasis naca 4415, menghasilkan Pemanfaatan sumber energi angin merupakan upaya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Untuk kepentingan itu sistim konversi angin menjadi energi listrik sangat diperlukan. Oleh karena itu, dalam laporan ini akan dibahas sistim turbin angin poros horisontal dengan variasi jumlah sudu (3,4 dan 5 sudu), yang berbasis NACA 4415. Pengujian dilakukan di pantai Pandansimo, Yogyakarta. Pengujian diawali dengan merakit semua komponen turbin angin yang terdiri dari menara, yaw drive, ekor pengarah dan sudu turbin, Komponen sudu turbin angin terbuat dari plat besi dengan tebal 2 mm dan berdiameter 2,85 m. Untuk pengambilan data digunakan alat ukur seperti anemometer, tachometer digital, dan data logger. Anemometer dipasang pada ketinggian yang sama dengan ketinggian turbin angin. Parameter dalam pengujian ini meliputi kecepatan sudu tanpa beban dan dengan beban. mengukur arus, tegangan, daya dan energi listrik, yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, kecepatan angin

mempengaruhi putaran turbin angin. Semakin tinggi kecepatan angin semakin tinggi putaran turbin angin. Pengujian tanpa beban dengan variasi 3 sudu menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 4 dan 5 sudu. Sementara, pengujian dengan beban pada variasi 5 sudu menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan pada variasi yang lain. Kontruksi turbin angin dengan variasi 5 sudu menghasilkan koefisien daya yang tinggi, hingga mencapai dua kali dari variasi 3 dan 4 sudu.

- Wahyudi Budi Pramono, Warindi, Achmad Hidayat Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia dengan judul perancangan mini Motor turbin angin 200 w untuk energi angin kecepatan rendah Energi listrik adalah salah satu energi yang dihasilkan dari hasil konversi berbagai jenis energi primer, salah satunya adalah energi angin. Potensi energi angin selalu tersedia walaupun kecepatannya rendah. Kecepatan angin yang rendah tersebut harus dikonversikan menjadi energi listrik dengan Motor yang sesuai dengan karakteristik kecepatan anginnya. Penelitian ini akan merancang dan membuat sebuah mini Motor dengan daya keluaran 200 W yang mampu bekerja pada karakteristik angin kecepatan rendah. Mini Motor ini berjenis radial fluks magnet permanen dengan menggunakan magnet Neodymium N50, dirancang pada kecepatan 500 rpm dengan daya yang dihasilkan sebesar 200 Watt pada tegangan 50 V dan frekuensi 50 Hz. Hasil pengujian mini Motor ini saat berbeban pada kecepatan 495 rpm dihasilkan nilai tegangan antar saluran sebesar 48,86 V, arus saluran 2,09 A, daya 177,56 VA dengan faktor daya 0,87 lagging atau 154,57 watt dan efisiensi 85,97%. Motor dapat bekerja dengan baik pada karakteristik angin yang berubah-ubah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu komponen pembangkit listrik tenaga bayu (angin).

Secara keseluruhan potensi energi angin di Indonesia rata-rata tidak besar, tetapi berdasarkan survei dan pengukuran data angin yang telah dilakukan sejak 1979, banyak daerah yang prospektif karena memiliki kecepatan angin rata-rata tahunan sebesar 3.4-4.5 m/detik atau mempunyai energi antara 200 kWh/m sampai 1000 kWh/m. Potensi ini sudah dapat dimanfaatkan untuk pembangkit energi listrik skala kecil sampai 10 kW.

Energi listrik adalah energi yang dapat dihasilkan dari konversi berbagai jenis energi, salah satunya adalah energi angin. Untuk menghasilkan hasil konversi energi angin menjadi energi listrik dibutuhkan peralatan utama yaitu Motor yang mampu menkonversi energi mekanis menjadi energi listrik. Rata rata kecepatan angin di wilayah Indonesia tergolong berkecepatan rendah, hanya daerah daerah tertentu saja yang memiliki

kecepatan angin yang sedang sampai tinggi, seperti di daerah pantai atau di atas bukit.

Kecepatan angin yang rendah bukan berarti potensi energi yang terkandung di dalamnya tidak dapat dimanfaatkan atau dikonversikan menjadi energi listrik, tetap dapat dimanfaatkan tetapi diperlukan Motor yang sesuai dengan karakteristik kecepatan angin tersebut. Pembangkit energi listrik tenaga angin dengan kecepatan rendah secara garis besar mempunyai fungsi dan cara kerja yang sama dengan pembangkit energi listrik tenaga angin lainnya. Hanya saja perbedaannya terletak pada jenis dan desain turbin angin untuk kecepatan rendah. Maka dari itu untuk memaksimalkan energi listrik yang dihasilkan dilakukan modifikasi beberapa peralatan seperti pada turbin, transmisi, Motor, dan peralatan penunjang lainnya (Marsudi, 2005).

Pembuatan pembangkit energi angin sebenarnya sangat sederhana dan dapat dilakukan secara mandiri, terutama untuk daya yang kecil (Jati, 2012). Dalam makalah ini akan disajikan langkah-langkah perancangan dan pembuatan Motor mini daya 200 W untuk keperluan pembangkitan energi listrik dari energi angin dalam kecepatan rendah.

Turbin angin merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik menjadi energi gerak, dimana energi penggerakannya berasal dari angin. Energi gerak selanjutnya diteruskan berupa putaran sudu dan poros Motor sehingga menghasilkan energi listrik.

Berdasarkan arah sumbu rotasi rotor turbin angin digolongkan menjadi 2 yaitu, *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*, Turbin angin sumbu horisontal, atau biasa dikenal juga dengan sebutan turbin angin aksial, memiliki poros putar yang selalu searah dengan arah angin yang datang dan Motor yang terletak diujung menara, sebagian menambahkan sebuah *gearbox* yang mengubah putaran turbin menjadi lebih cepat ketika berputar.

Kelebihan dari turbin angin sumbu horisontal secara umum adalah memiliki koefisien daya yang relatif tinggi, dan tidak terjadi masalah yang berkaitan dengan getaran. Kelemahannya adalah karena model turbin angin ini biasa divariasikan dengan jumlah sudu, maka pada jumlah tertentu terutama *single blade* perlu *balancing* yang akurat. *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* Turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin angin yang pertama dibuat manusia.

Turbin angin sumbu vertikal modern menerapkan bentuk yang aerodinamis pada rotornya tegak lurus untuk menghasilkan momen gaya sehingga memberikan keuntungan yang lebih dalam menangkap energi angin. Keunggulan dari turbin angin model vertikal ini adalah mempunyai desain menara yang sederhana dan ekonomis, dapat diterapkan pada daerah-daerah yang memiliki

kecepatan angin yang bervariasi dan memanfaatkan angin dari berbagai arah, sehingga tidak memerlukan mekanisme *control yaw*.

Turbin angin vertikal memiliki kecepatan angin awal lebih rendah dari pada turbin angin horisontal, sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang. Namun turbin angin sumbu vertikal memiliki beberapa kelemahan yaitu produksi energinya hanya 50% dari efisiensi turbin angin sumbu horisontal karena mempunyai *drag* tambahan yang dimilikinya saat turbin angin beroperasi. Karena dipasang lebih dekat dengan dasar turbin diletakkan, seperti tanah atau puncak sebuah bangunan maka aliran angin akan bergejolak sehingga akan memunculkan masalah yang berkaitan dengan getaran.

Lokasi Pemanfaatan Energi Angin

Lokasi yang diinginkan dalam penempatan turbin angin adalah pada daerah yang memiliki kecepatan angin yang relatif konstan, arahnya tak berubah-ubah dan sedikit kemungkinan kecepatan angin yang sangat besar. Ditinjau dari letaknya pemanfaatan energi angin dibedakan menjadi tiga bagian yaitu:

1. onshore
2. offshore
3. nearshore.

Instalasi turbin onshore didefinisikan pada jarak 3 km atau lebih dari garis pantai dan umumnya instalasi dilakukan di daerah berbukit untuk mendapatkan percepatan topografis. Akan tetapi penentuan lokasi tepatnya harus dilakukan secara hati-hati karena dapat menyebabkan perbedaan kecepatan angin yang signifikan. Instalasi turbin nearshore umumnya didefinisikan di wilayah pantai dari 3 km di daratan ke 10 km pada laut dari garis pantai. Pemanfaatan pada lokasi ini mengutamakan keuntungan dari adanya angin darat dan angin laut sehubungan dengan perbedaan suhu laut dan darat. Ketika instalasi dilakukan di laut lebih dari 10 km dari pantai maka disebut sebagai instalasi turbin offshore.

Keuntungan dari pemasangan ini disebabkan oleh kecepatan angin yang relatif lebih tinggi sehubungan dengan tahanan geseknya yang lebih rendah dibandingkan di daratan. Selain itu, keberadaan turbin-turbin relatif tidak mengganggu dibandingkan dengan pemasangan di daratan. Akan tetapi, pemasangan dilaut tentu akan memiliki kekurangan yakni membutuhkan transmisi yang lebih kompleks sehubungan dengan jarak dan harus melalui lautan.

Konversi Energi Angin

Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi menggunakan kincir angin. Energi

mekanik yang dihasilkan oleh kincir angin dapat dimanfaatkan secara langsung atau dikonversi menjadi energi listrik. Animasi menunjukkan pemanfaatan energi mekanik secara langsung terjadi sebagai berikut: Angin yang bergerak mengenai sayap kincir menyebabkan kincir berputar. Perputaran kincir tersebut menyebabkan terbentuknya energi mekanik, yang kemudian dapat menggerakkan pompa sehingga air naik ke atas dan di tampung ke dalam tangki.

Sedangkan konversi energi angin menjadi energi listrik (Animasi) adalah sebagai berikut: Angin yang melalui sudu-sudu kincir menyebabkan kincir berputar. Putaran kincir menyebabkan Motor ikut berputar. Di dalam Motor energi angin diubah menjadi energi listrik. Untuk pembangkit tenaga listrik skala kecil, karena kecepatan angin senantiasa berubah-ubah, maka perlu adanya pengatur tegangan. Disamping itu perlu baterai untuk menyimpan energi, karena seiring terdapat kemungkinan dimana angin tidak bertiup. Bila angin tidak bertiup, Motor tidak berfungsi sebagai motor, sehingga perlu sebuah pemutus otomatis untuk mencegah Motor bekerja sebagai motor. Perlu menjadi catatan bahwa apabila energi mekanik yang dihasilkan maka pada umumnya turbin angin disebut sebagai kincir angin, akan tetapi bila dikonversi menjadi listrik maka disebut sebagai turbin angin.

Disain Turbin Angin

Kebanyakan turbin angin dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik sehubungan dengan kemudahan dalam pemanfaatannya. Berdasarkan sumbu putarnya, turbin angin didisain dalam dua tipe besar yakni turbin dengan sumbu putar horizontal dan turbin dengan sumbu putar vertikal. Turbin sumbu horizontal memiliki rotor dan Motor listrik di bagian atas menara. Sumbu ini diarahkan pada arah angin. Kebanyakan sudu turbin menghadap ke arah angin yang datang untuk menghindari turbulensi akibat terhalang oleh menara turbin. Beberapa tipe dari turbin sumbu horizontal mencakup kincir angin dan turbin angin modern.



Gambar 1. Kincir Angin

Tipe yang pertama pada umumnya memiliki empat sudu yang terbuat dari kayu. Tipe ini biasa digunakan untuk memompa air. Tipe yang kedua biasanya memiliki tiga sudu dan dapat diarahkan dengan sistem kendali. Turbin ini memiliki kecepatan dan efisiensi yang tinggi. Turbin jenis ini telah dikembangkan secara komersial untuk menghasilkan listrik. Beberapa keuntungan turbin jenis sumbu horizontal adalah stabilitas yang baik karena pusat gravitasinya disamping sudu, kemampuannya untuk mengatur sudu sehingga "angle of attack" yang terbaik dapat diperoleh. Turbin sumbu vertikal memiliki poros rotor yang berputar secara vertikal. Keuntungannya adalah Motor dan gearbox dapat diletakkan di bawah sehingga beban menara lebih ringan. Turbin juga tidak perlu diarahkan sesuai arah angin. Akan tetapi selama perputaran dapat terjadi gaya berbalik dan gaya drag. Selain itu penempatan di atas menara lebih sulit, sehingga harus dipasang di tempat yang agak rendah yang berarti ekstraksi energinya juga lebih rendah. Beberapa jenis dari turbin sumbu vertikal mencakup kincir angin dengan layar berputar, turbin Darrieus dan Savonius.



Gambar 2. Turbin Layar Berputar

Tipe pertama merupakan penemuan yang relatif baru, terbuat dari layar dan dapat membangkitkan listrik pada kecepatan 2m/s. Turbin Darrieus memiliki efisiensi yang cukup tinggi tetapi menghasilkan ripple torka yang besar. Torka awal dari turbin ini sangat rendah, sehingga umumnya perlu turbin lain untuk menggerakkan turbin sampai pada kecepatan tertentu. Turbin Savonius relatif sederhana dan terdiri dari dua atau lebih mangkuk.



Gambar 3 Turbin Darrieus

Gaya-gaya angin pada turbin sumbu horizontal pada prinsipnya gaya-gaya angin yang bekerja pada sudu-sudu kincir sumbu horizontal terdiri atas tiga komponen (Gambar), yaitu:

- Gaya aksial, yang mempunyai arah sama dengan angin, gaya ini harus ditampung oleh poros dan bantalan Gaya sentrifugal s, yang meninggalkan titik tengah. Bila kipas bentuknya simetris, semua gaya sentrifugal s akan saling meniadakan atau resultannya sama dengan nol.
- Gaya tangensial t, yang menghasilkan momen, bekerja tegak lurus pada radius dan yang merupakan gaya produktif Energi kinetik angin diperoleh berdasarkan energi kinetik sebuah benda dengan massa m, kecepatan v, maka rumus energi angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = 0.5 m v^2 \dots\dots\dots (1)$$

Sedangkan jumlah massa yang melewati suatu tempat per unit waktu adalah:

$$m = A v \rho \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

$$A = \text{luas penampang (m}^2\text{)}$$

$$\rho = \text{kerapatan (kg/m}^3\text{)}$$

Maka energi angin yang dihasilkan persatuan waktu adalah :

$$P = 0.5 \rho A v^3 \text{ Watt} \dots\dots\dots (3)$$

Efisiensi daya dari turbin adalah :

$$\eta = \frac{\text{Daya yang dihasilkan}}{0,5 \rho A v^3} \dots\dots\dots (4)$$

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Contoh: batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dengan diameter kipas r adalah :

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^2 \dots\dots\dots (5)$$

III. METODE

Tempat dan lokasi Penelitian

Proses produksi elemen-elemen turbin angin poros horizontal dilakukan dengan cara manual. Setelah pembuatan dan assembly objek penelitian selesai, pengujian turbin angin dapat dilakukan. Semua proses penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Teknik UMSU Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan.

Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Peralatan Penelitian

Peralatan penunjang yang digunakan untuk yaitu:

1. Solder yang akan digunakan untuk merakit atau menghubungkan rangkaian.
2. Alat Ukur Listrik yang digunakan untuk mengukur daya masuk dan daya keluar.
3. Hands Tools (alat tangan seperti : Obeng, Tang, Kunci-kunci alat, dan lain sebagainya).

Bahan-Bahan dan alat Penelitian

1. Baling-baling kipas berbentuk vertikal berfungsi menangkap datangnya laju angin dan mengubah hembusan angin menjadi energi gerak yang akan memutar Generator.
2. Generator DC berfungsi sebagai pembangkit tenaga listrik yang digunakan untuk mensuplay kebutuhan listrik.
3. Charge Controller berfungsi mengontrol arus untuk pengisian ke baterai sehingga tidak terjadi overcharging (kelebihan pengisian daya karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltage dari Generator.
4. Battery (aki) berfungsi sebagai penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia atau konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia.
5. Inverter berfungsi mengubah tegangan listrik DC (Direct Current) menjadi tegangan listrik AC (Alternating Current).

Jalannya Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan tema permasalahan yang akan diteliti dengan cara melakukan studi pustaka guna memperoleh berbagai teori-teori dan konsep yang akan mendukung penelitian yang akan dilaksanakan.
2. Mencari data dari pengujian alat ukur terhadap dispenser yang berlainan merek sehingga didapatkan data yang dibutuhkan untuk diolah pada bab selanjutnya.

Pada perancangan ini terdapat 5 alat utama guna menghasilkan listrik diantaranya turbin angin, generator dc, rangkaian charger yang digunakan untuk mengisi sebuah aki 12 volt, dan inverter 500 watt yang akan merubah tegangan dc menjadi tegangan ac yang akan disuplay pada beban percobaan. Kemudian mengetahui berapa besar tegangan keluaran (output) yang dihasilkan dari generator DC.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan variasi 4 sudu dan 8 sud. Variabel bebas adalah variasi jumlah sudu. Variabel terikat adalah putaran poros dan daya listrik yang dihasilkan. Turbin angin *savonius* adalah jenis turbin angin tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya drag yang di hasilkan dari tiap-tiap sudunya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menumbuk sudu.

Tabel 1. Hasil Pengukuran yang dilakukan Dengan variasi 4 sudu

No	Waktu	Suhu (°C)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)
1	09.00 – 11.00	29	2,6	3	2,1
2	11.00 – 13.00	30	2,5	2,8	2
3	13.00 – 15.00	32	2,8	2,8	1,8
4	15.00 – 17.00	28	3	3,1	1,7
5	17.00 – 19.00	31	2,4	2,7	1,9

Untuk menghitung luas sapuan angin dengan menggunakan rumus dari persamaan berikut. perhitungan dilakukan pada diameter turbin dan jari-jari turbin sebesar 0,29 , maka dapat menjadi:

$$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,29^2 = 0,10 \text{ m}^2 \text{ atau } 10 \text{ cm.}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan yang dilakukan Dengan variasi 8 sudu

No	Waktu	Daya Angin	Daya Turbin Angin	Koefisien Daya	Efesiensi
1	09.00 – 11.00	0,79	2,7	0,29	0,29
2	11.00 – 13.00	55,5	2,6	21,3	21,3
3	13.00 – 15.00	105,5	2,9	36,4	36,4
4	15.00 – 17.00	93,7	3,2	29,2	29,2
5	17.00 – 19.00	131,7	2,5	52,7	52,7

Dari hasil perhitungan rata-rata pada daya angin dan daya turbin angin maka dapat di lihat perbandingan pada tabel 3 dibawah ini, didapatkan rata-rata dari Daya angin dan rata-rata daya turbin angin sebesar.

Tabel 3. perhitungan rata-rata daya angin dan turbin angin

Rata-rata	Daya Angin 4 Sudu	Daya Angin 8 sudu
P_rata-rata daya angin	96,2 Watt	77,4 Watt
P_rata-rata daya turbin angin	4,9 Watt	2,78 Watt

V. KESIMPULAN

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan, bisa ditarik beberapa kesimpulan yaitu Dengan variasi 4 sudu dan 8 sudu. Variabel bebas adalah variasi jumlah sudu. Maka rata-Rata variasi 4 sudu dari hasil penelitian diatas didapatkan rata-rata dari Daya angin sebesar 96,2 Watt dan daya turbin angin sebesar = 4,9 Watt. Rata-Rata variasi 8 sudu dari hasil penelitian diatas didapatkan rata-rata dari Daya angin sebesar 77,4 Watt dan daya turbin angin sebesar = 2,78 Watt. Hasil perbandingan antara variasi 4 sudu dan 8 sudu pada pembangkit listrik tenaga angin menunjukkan bahwa daya angin dan daya turbin angin sangat besar pada variasi 4 sudu sedangkan pada variasi 8 sudu daya angin dan daya turbin angin lebih kecil

Berdasarkan penelitian perbandingan variasi 4 sudu dan 8 sudu pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin maka saran yang dapat disampaikan adalah Dalam penelitian ini turbin angin yang digunakan adalah turbin angin poros vertikal dengan menggunakan blade terbuat dari pipa paralon. Perlu dilakukan beberapa modifikasi dari bentuk blade agar lebih efisien dalam menangkap laju angin, dan untuk pemilihan variasi 4 sudu dan 8 sudu sebaiknya dipilih variasi 4 sudu karena mampu mengeluarkan arus dan tegangan yang besar dan daya angin cukup besar sehingga mampu meningkatkan performansi dari turbin angin tersebut serta diadakan penelitian lanjutan mengenai pemanfaatan energi angin dengan variasi 4 sudu dan 8 sudu agar energi terbaru kan ini dapat dikembangkan menjadi pembangkit energi listrik hybrid sehingga mampu menjadi pembangkit energi alternatif yang lebih efisien untuk berbagai keperluan manusia yang tidak tersupply listrik PLN.

VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] Asy'ari, Hasyim. Abdul Rozak dan Feri Setia Putra. 2014. *Pemanfaatan Solar Cell Dengan PLN Sebagai Sumber Energi Listrik Rumah Tinggal*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

[2] Aryanto, Firman. I Made Mara dan Made Nuarsa. 2013. *Pengaruh Kecepatan Turbin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram.

[3] Santoso, Ari Wibawa Budi. Imam Pujo Mulyatno. 2014. *Pemanfaatan Tenaga Angin dan Surya Sebagai Alat Pembangkit Listrik Pada Bagan Perahu*. Universitas Diponegoro: Indonesia.

[4] Padmika, Made. I Made Satriya Wibawa dan Ni Luh Putu Trisnawati. 2017. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Ventilator Sebagai Penggerak*

- Generator*. Jurusan Fisika, Universitas Udayana: Bandung.
- [5] Ramadhan, Anwar Ilmar. Ery Diniardi dan Sony Hari Mukti. 2016. *Analisis Disain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 Wp*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [6] Yunginger, Raghel. Nawir dan N Sune. 2015. *Analisis Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Kota Gorontalo*. Universitas Gorontalo.
- [7] Muttaqin, Zaidid. Dedet C Riawan dan Heri Suryoatmojo. 2012. *Desain dan Implementasi Tech Bench Turbin Angin Untuk Mengetahui Karakteristik Turbin Angin*. Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.
- [8] Widyanto, Wisnugroho dan Agus. 2018. *Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Pelapis Energi Surya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Pulau Wangi-wangi*. Loka Perencanaan Teknologi Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan: Wakatobi.
- [9] Daryanto, Y. 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG-UPT-LAG: Yogyakarta.
- [10] Widayana, Gede. 2012. *Pemanfaatan Energi Surya*. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FTK, UNDIKSHA.
- [11] Purwoto, Bambang Hari. Muhammad Alimul F dan Ilham Fahmi Huda. 2018. *Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif*. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta.
- [12] Fahlevi, Reza. 2014. *Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [13] Effendi, Asnal. 2012. *Pembangkit Listrik Sel Surya Pada Daerah Pedesaan*. Dosen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Padang, Institut Teknologi Padang: Padang.