

DESAIN PROTOTIPE TURBIN *DARRIEUS* TIPE H SEBAGAI ALAT *CHARGING* BATERAI UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN BEBAN PENERANGAN

Sugeng Dwi Mulyo

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: sugengmulyo@mhs.unesa.ac.id

Subuh Isnur Haryudo

S1 Teknik Eektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: subuhisnur@unesa.ac.id

Abstrak

Sumber energi fosil pada saat ini menipis dan tidak ramah lingkungan selama penggunaannya. Karena itu harus dimulai penggunaan sumber energi alternatif. Yang mudah didapatkan adalah sumber energi angin. Pembangkit listrik tenaga angin atau turbin yang paling mudah dibuat adalah tipe vertikal. Dan salah satu jenisnya adalah Darrieus H. Turbin tipe ini digunakan karena memiliki konstruksi sederhana dan tidak bergantung pada arah angin. Setelah dilakukan serangkaian pengujian Prototipe Turbin *Darrieus* tipe H menghasilkan tegangan rata rata 39 volt pada kecepatan angin rata rata 4,5 m/s. Pada rata rata kecepatan angin yang sama prototipe mampu melakukan *charging* akumulator 6 volt 4,5 Ah dengan arus rata rata 0,2295 A dengan waktu pengisian 15,68 jam. Waktu penggunaan akumulator 36 jam. Prototipe turbin angin *Darrieus* tipe H memiliki efisiensi turbin sebesar 76%.

Kata Kunci: Energi Angin, Pembangkit Listrik, Turbin *Darrieus* H, Akumulator.

Abstract

Fossil energy sources are currently depleting and not environmentally friendly during use. Because it must start the use of alternative energy sources. Which is easily obtained is a source of wind energy. The easiest wind power or turbine power plant is vertical type. And one type is Darrieus H. This type of turbine is used because it has a simple construction and does not depend on wind direction. After a series of testing of the H type Darrieus Turbine Prototype, it produces an average voltage of 39 volts at an average wind speed of 4.5 m / s. At the same average wind speed the prototype is capable of charging an accumulator of 6 volts 4.5 Ah with an average current of 0.2295 A with a charging time of 15.68 hours. The time to use the accumulator is 36 hours. The type H Darrieus wind turbine prototype has a turbine efficiency of 76%.

Keywords: Wind Energy, Power Plants, Turbine Darrieus H, Accumulators..

PENDAHULUAN

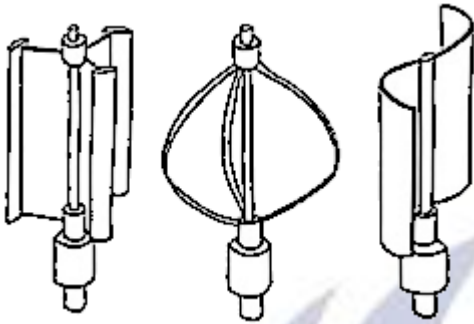
Indonesia adalah negara dengan garis pantai sangat panjang dan memiliki potensi menyakinkan untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga angin, namun hal itu belum dapat dimanfaatkan secara maksimum. Menurut Aklis dkk (2016) Pemakaian energi angin di Indonesia masih belum optimal hanya 1,06 MW dari 28.658,36 MW kapasitas pembangkit PLN. Di Indonesia kecepatan angin berkisar antara 2 m/s hingga 6 m/s yang cocok untuk pembangkit listrik skala kecil (10 kW) dan menengah (10-100 kW). aka dari itu diperlukan pembangkit tenaga listrik yang efisien dan sederhana sehingga ketergantungan energi fosil dapat perlahan berkurang.

Pembangkit listrik tenaga angin yang banyak digunakan adalah turbin angin dengan sumbu vertikal. Turbin angin sumbu vertikal adalah turbin dengan sumbu rotasi tegak lurus pada permukaan tanah. Prastiko (2016) menyebut 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 atau menengah yang banyak dan dapat dioperasikan di daerah sehingga tercipta pemerataan energi ke seluruh negeri dan mengurangi krisis energi.

KAJIAN PUSTAKA

Turbin Angin Vertikal



Gambar.1 Jenis Turbin Angin Vertikal

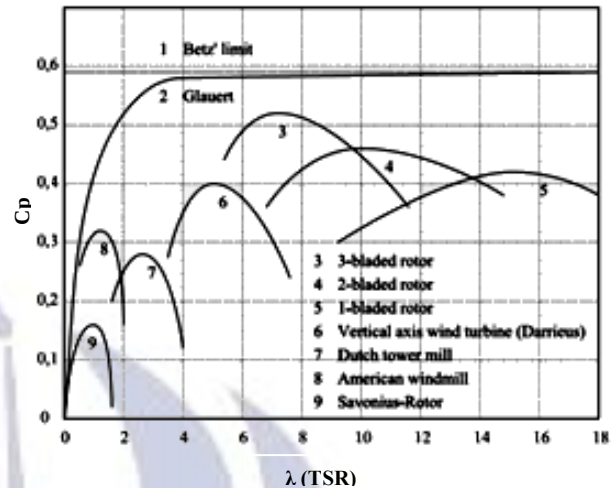
Sumber: Latif dkk (2013)

Turbin angin memanfaatkan energi angin yang mudah di dapatkan. Turbin angin Horizontal menghasilkan daya lebih besar dari Turbin angin Vertikal, namun juga membutuhkan kecepatan angin yang lebih besar untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Turbin angin sumbu vertikal adalah turbin angin dengan gerakan sudu sejajar arah angin. Turbin jenis ini memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat digunakan pada kecepatan angin bervariasi dengan arah angin yang berbeda beda seperti Gambar 1.

Keuntungan Turbin angin vertikal adalah rendah bunyi, mudah digunakan, serta mampu menangkap angin dari arah manapun, seperti diungkapkan Jayaramudu dan Raghaya (2017). Turbin angin vertikal dapat diletakkan pada permukaan tanah yang mana lebih mudah untuk digunakan.

Turbin Angin Darrieus

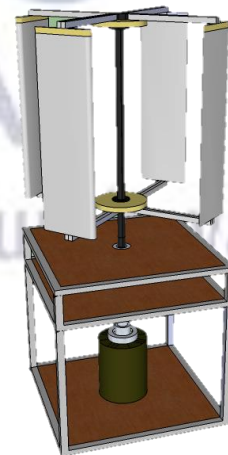
Dua tipe utama turbin angin vertikal, yaitu *Savonius* dan *Darrieus*, yang membedakan dari dua tipe tersebut adalah dalam kemampuan berputar. Menurut Teli dkk (2018), *Savonius* bersifat menarik atau *drag driven* sedangkan *Darrieus* bersifat mengangkat atau *lift driven*. Keuntungan dari Turbin angin *Darrieus* adalah memiliki koefisien daya (C_p) lebih besar dan kecepatan angin yang lebih rendah dibandingkan dengan koefisien daya Turbin angin *Savonius*. Grafik hubungan koefisien daya (C_p) turbin angin dengan rasio kecepatan sudu terhadap kecepatan angin (*Tip Speed Ratio*) atau TSR (λ) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar.2 Grafik koefisien daya turbin angin

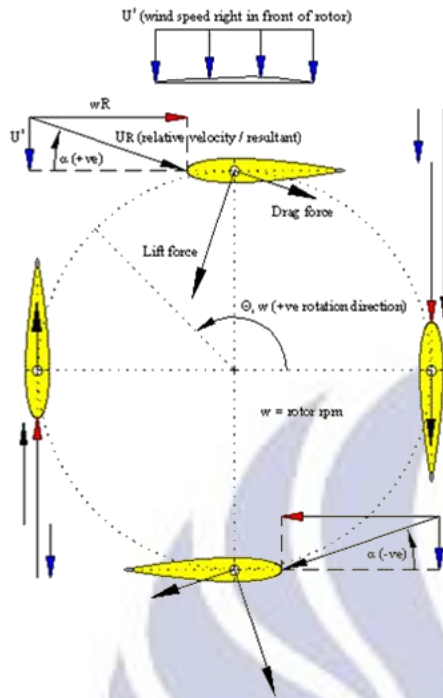
Sumber: Ismail dkk (2017)

Turbin Angin *Darrieus* ditemukan saat seorang insinyur Perancis ada tahun 1920, Georges Jean Marie Darrieus membuat sebuah konstruksi turbin angin sederhana dan efisien. Huruf terdepan menjelaskan bentuk dari kincir itu sendiri. Seperti H *Darrieus* memiliki bentuk seperti huruf H yaitu sebuah kincir dengan bilah sudu lurus dihubungkan dengan satu atau lebih lengan dengan poros rotor. Putaran pada Turbin Angin *Darrieus* dipengaruhi oleh *lift driven* atau gaya angkat. Gaya angkat atau *lift driven* pada Turbin Angin *Darrieus* adalah gaya yang dihasilkan saat benda apapun bergerak melewati suatu fluida atau suatu fluida melewati suatu benda. Konstruksi Turbin Angin *Darrieus* Tipe H ada pada Gambar 3.



Gambar.3 Desain Turbin Angin *Darrieus* Tipe H

Desain Prototipe Turbin Darrieus Tipe H Sebagai Alat Charging Baterai Untuk Memenuhi Kebutuhan Beban Penerangan



Gambar.4 Gaya gaya pada setiap sudu
Sumber: Arsad dan Hartono (2009)

Prinsip kerja Turbin Angin *Darrieus* dapat dijelaskan secara sederhana. Apabila arah angin berasal dari depan turbin. Ketika pergerakan turbin lebih cepat atau menyamai dengan kecepatan angin yang tak terganggu, dengan kata lain rasio kecepatan sudu terhadap kecepatan angin atau TSR (λ) lebih dari 3. Garis vektor percepatan dari sudu *airfoil* turbin pada posisi angular berbeda beda terlihat pada Gambar 4.

Dengan nilai TSR yang lebih dari 3, turbin akan memotong angin dengan *angle of attack* atau sudut serang yang kecil. Resultan gaya *lift* akan membantu putaran turbin sedang gaya *drag* akan menabrak putaran dari turbin. Ketika gaya *lift* nol pada sisi 0° dan sisi 180° dengan turbin simetris bergerak paralel menuju arah datang angin, torsi berubah menjadi negatif pada posisi ini. Mendekat pada posisi 90° dan posisi 270° , komponen gaya *lift* lebih besar dibandingkan gaya *drag* sehingga mendapatkan torsi. Total torsi persatu putaran akan memiliki nilai positif jika turbin diposisikan pada tempat yang tepat sehingga dapat berputar pada arah yang benar.

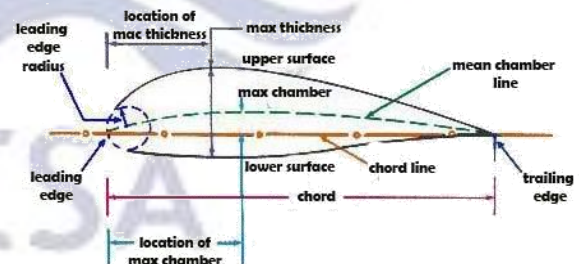
Selain daya angkat, putaran Turbin angin *Darrieus* juga di pengaruhi oleh bentuk sudu turbin. Berbeda dengan turbin angin *Savonius* yang

berbentuk silinder belah, bentuk sudu turbin angin *Darrieus* berbentuk *Airfoil*. *Airfoil* adalah bentuk aerodinamik yang memberikan gaya angkat tertentu. *Airfoil* telah distandarisasi oleh lembaga NACA atau *National Advisory Committee for Aeronautics*.

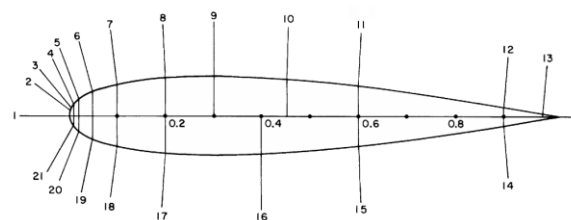
Airfoil NACA telah diberikan kode yang merepresentasikan bentuk fisik *airfoil*. Misal untuk seri NACA 0012 merupakan seri empat digit yang menyatakan beberapa kondisi, digit pertama menyatakan persen garis tengah *airfoil* horisontal maksimal atau *chamber* untuk garis lurus penghubung bagian paling depan dan belakang *airfoil* atau *chord*, digit kedua menyatakan sepersepuluh persen maksimal *chamber* pada *chord* dari *leading edge* atau bagian paling depan *airfoil*, sedang kedua digit dibelakang menyatakan ketebalan *airfoil* terhadap *chord*. Terlihat pada Gambar 6, NACA 0012 adalah *airfoil* berbentuk simetris yang memiliki ketebalan maksimal 12 persen dari panjang *chord* sudu. Bagian bagian dari sebuah *airfoil* dijelaskan pada Gambar 5.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini memiliki proses utama menguji keefektifan produk yang dihasilkan. Metode ini disebut Metode Penelitian dan Pengembangan. Tujuan penelitian ini membuat dan menguji prototipe Turbin *Darrieus* tipe H yang mampu mengisi Akumulator 6 volt 4,5 Ah.

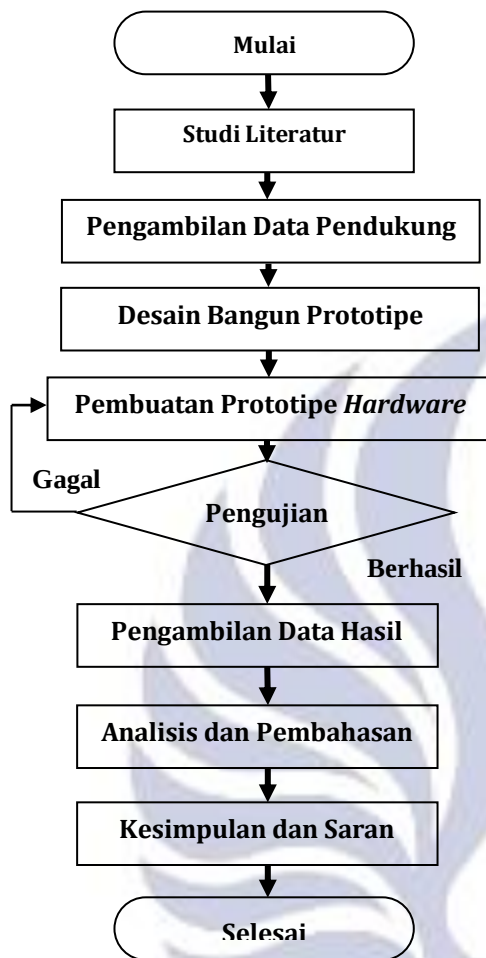


Gambar.5 Bagian bagian *Airfoil*
Sumber: Arsad dan Hartono (2009)



Gambar.6 Bentuk Profil *Airfoil* NACA 0012

Sumber: McAlister dkk (1978)

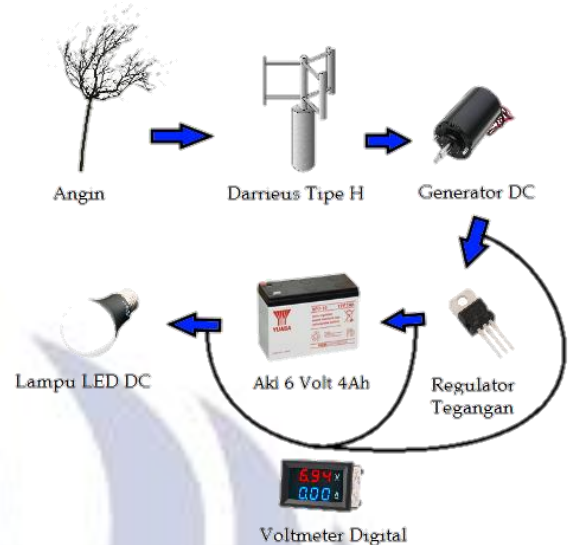


Gambar.7 Tahapan Rancangan Penelitian

Rancangan Penelitian

Diagram Alir Perencanaan *Hardware* ditunjukkan pada Gambar 7. Seperti terlihat alur dimulai dengan Studi Literatur mengenai Turbin Angin, dilanjutkan Pengambilan Data Pendukung rancangan awal alat, kemudian dilanjutkan Desain Bangun Prototipe. Pembuatan Prototipe *Hardware* dilakukan setelah perancangan selesai, lalu dilanjutkan Pengujian alat. Jika hasil pengujian sesuai rancangan dilanjutkan Pengambilan Data Hasil, dan apabila gagal menghasilkan data sesuai rancangan, maka dilakukan kembali Pembuatan Prototipe *Hardware* yang dapat menghasilkan output lebih baik dari pengujian sebelumnya.

Setelah hasil dikumpulkan lalu dilakukan Analisis dan Pembahasan. Dari Analisis dan Pembahasan didapatkan Kesimpulan kinerja alat dan yang terakhir Saran diberikan guna menunjang Penelitian lanjutan.



Gambar.8 Desain Blok Prototipe

Desain Prototipe Turbin *Darrieus* Tipe H

Desain Prototipe secara sederhana adalah berupa sebuah turbin angin yang disambungkan vertikal dengan *gearbox* untuk menggerakkan generator yang menghasilkan tegangan menyuplai energi pada baterai. Desain Blok prototipe yang dirancang oleh penulis terlihat pada Gambar 8.

Pada penelitian ini penulis melakukan pengukuran tegangan yang dihasilkan generator pada kecepatan angin tertentu ketika diberi beban akumulator. Dan juga mengamati arus dan tegangan proses *charging* baterai.

Hal hal yang harus ditentukan dalam pembuatan Alat ini antara lain Ukuran Turbin Angin, mulai Tinggi Alat, Lebar dan Jumlah Sudu. Dari penentuan ukuran dapat digunakan sebagai penentuan lanjutan seperti penentuan Luas Penampang. Dengan rumus Luas Lingkaran sebagai berikut pada Rumus (1).

$$A = \pi \times r^2 \quad (1)$$

Keterangan:

A = Luas Penampang (Volt)

π = phi

r = Jari jari (m)

Berdasarkan Rumus (1) dengan nilai phi sebesar 3,14 dan nilai Jari jari Turbin 0,25 m didapatkan Luas Penampang Turbin seluas 0,1962 m².

Desain Prototipe Turbin Darrieus Tipe H Sebagai Alat Charging Baterai Untuk Memenuhi Kebutuhan Beban Penerangan

Tabel.1 Spesifikasi Turbin Angin

N o.	Parameter Turbin	Keterangan
1	Diameter Turbin	0,5 m
2	Tinggi Turbin	0,5 m
3	Jumlah Sudu Turbin	4
4	Lebar Sudu Turbin	0,03 m
5	Panjang Sudu	0,16 m
6	Luas Penampang	0,1962 m ²
7	Diameter Gigi Rotor	0,195 m
8	Diameter Gigi Generator	0,065 m

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kegiatan implementasi skripsi yang berjudul "Rancang Bangun Prototipe Turbin *Darrieus* Tipe H Sebagai Alat *Charging* Baterai Untuk Memenuhi Kebutuhan Beban Penerangan" telah menghasilkan sebuah rangkaian berfungsi dengan baik yang dapat menghasilkan tegangan rata rata sekitar 6 Volt untuk mengisi daya Akumulator berkapasitas 4,5 Ah, yang digunakan sebagai suplai beban penerangan untuk ruangan sederhana.

Spesifikasi Turbin Angin yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan spesifikasi diatas Turbin Angin *Darrieus* Tipe H dibuat dengan bahan kayu dan seng yang dinilai lebih ringan.

Pengujian Turbin *Darrieus* Tipe H

Turbin berfungsi sebagai penghasil energi kinetik yang berfungsi untuk memutar rotor generator. Pengujian ini terlihat pada Gambar 9, bertujuan untuk mencari nilai putaran yang sesuai dengan spesifikasi generator. Hasil Pengujian Turbin Angin dijabarkan pada Tabel 2.



Gambar.9 Pengujian Turbin Angin

Tabel.2 Hasil Pengujian Turbin Angin

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm) dengan <i>Gearbox</i>	Putaran Generator (rpm) dengan <i>Gearbox</i>
3 m/s	53 rpm	150 rpm
4 m/s	64 rpm	198 rpm
5 m/s	72 rpm	210 rpm
6 m/s	85 rpm	236 rpm

Tabel.3 Hasil Pengujian Tegangan Generator

Kecepatan Angin (m/s)	Output Generator tanpa <i>Gearbox</i> (Volt)	Output Generator dengan <i>Gearbox</i> (Volt)
3 m/s	14 Volt	28 Volt
4 m/s	21 Volt	31 Volt
5 m/s	27 Volt	47 Volt
6 m/s	26 Volt	50 Volt

Tabel.4 Hasil Pengujian Arus Generator

Output Generator (Volt)	Arus Generator (Ampere)	Daya Output (watt)
28 Volt	0,165 A	4,62 watt
31 Volt	0,181 A	5,611 watt
47 Volt	0,279 A	13,113 watt
50 Volt	0,293 A	14,65 watt

Pengujian Generator

Pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai tegangan dan arus yang sesuai dengan spesifikasi input akumulator. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Generator dijabarkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Pengujian Rangkaian Regulator

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tegangan regulator apakah stabil sesuai dengan yang diharapkan. Hasil Pengujian Rangkaian Regulator dijabarkan pada Tabel 5.

Pengujian Box Charging

Pengujian ini menghasilkan data tegangan dari generator dc dan arus *charging* akumulator. Hasil Pengujian *Box Charging* dijabarkan pada Tabel 6.

Pengujian Penggunaan Akumulator

Pengujian bertujuan untuk mengetahui waktu beban penerangan menggunakan Tegangan Awal Akumulator 5,88 Volt. Hasil Pengujian Penggunaan Akumulator dijabarkan pada Tabel 7.

Tabel.5 Hasil Pengujian Rangkaian Regulator

Kecepatan Angin (m/s)	Input Tegangan (Volt)	Tegangan Regulator (Volt)
3 m/s	28 Volt	8.53 Volt
4 m/s	31 Volt	8.53 Volt
5 m/s	47 Volt	8.53 Volt
6 m/s	50 Volt	8.53 Volt

Tabel.6 Hasil Pengujian Box Charging

Kecepatan Angin (m/s)	Arus tanpa Gearbox (Ampere)	Arus dengan Gearbox (Ampere)
3 m/s	0.0203 A	0,165 A
4 m/s	0.0287 A	0,181 A
5 m/s	0.0383 A	0,279 A
6 m/s	0.0065 A	0,293 A

Tabel.7 Hasil Pengujian Penggunaan Akumulator

Arus Lampu (Ampere)	Penggunaan (Jam)	Tegangan Akhir Akumulator (Volt)
0.10 A	1 Jam	5,83 Volt
0.10 A	1,5 Jam	5,81 Volt
0.10 A	2 Jam	5,78 Volt
0.10 A	2,5 Jam	5,76 Volt
0.10 A	3 Jam	5,74 Volt

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 3 Rata rata Data dapat didapatkan dengan Rumus (2) berikut:

$$\text{Rata rata} = \text{Total Nilai Data} / \text{Frekuensi Data} \quad (2)$$

Berdasarkan Rumus (2), maka nilai dari Rata rata Kecepatan Angin 4,5 m/s, Rata rata Tegangan Output Generator dengan Gearbox 39 Volt dan Rata rata Arus Pengisian dengan Gearbox 0,2295 Ampere.

Analisis Pengujian Turbin Angin

Pengujian ini menggunakan kecepatan angin 3 - 6 m/s dengan blower. Berdasarkan Schubel dan Crossley (2012) Rumus Daya Angin seperti berikut:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (3)$$

Keterangan

P_{in}	= Daya Angin	(watt)
ρ	= Kepadatan Udara	(kg/m ³)
A	= Luas Penampang	(m ²)
v	= Kecepatan Angin	(m/s)

Berdasarkan Rumus (3) dengan Kepadatan Udara 1,2 kg/m³, Luas Penampang 0,1962 m² dan Rata rata Kecepatan Angin 4,5 m/s didapatkan Daya sebesar 12,7075 watt.

Analisis Generator DC

Generator yang dipakai DC dengan rating tegangan 100 Volt untuk 390 rpm. Arus yang dihasilkan sistem terlihat pada Gambar 10. Sehingga sesuai bahwa kecepatan putar generator berbanding lurus dengan frekuensi elektrik yang dihasilkan oleh generator. Dari hasil perbandingan digunakan sebagai data perhitungan Daya Output dengan Rumus (4) sebagai berikut:

$$P_{out} = V \times I \quad (4)$$

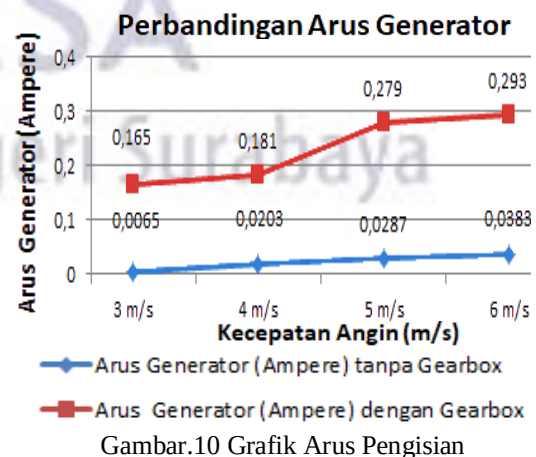
Keterangan:

P_{out}	= Daya Output	(watt)
V	= Tegangan	(Volt)
I	= Arus	(Ampere)

Berdasarkan Rumus (4) dengan Tegangan Output Rata rata 39 Volt dan Arus Pengisian dengan Gearbox Rata rata 0,2295 Ampere didapatkan Daya Output 9,6685 watt.

Analisis Pengujian Rangkaian Regulator

Sesuai dengan Datasheet IC Regulator LM7908 yang memiliki input minimal tegangan 8 Volt dan output tegangan sekitar 8 Volt (Datasheet LM78xx). Sehingga Rangkaian Regulator Tegangan bekerja dengan baik menghasilkan tegangan stabil untuk charging Akumulator.



Desain Prototipe Turbin Darrieus Tipe H Sebagai Alat Charging Baterai Untuk Memenuhi Kebutuhan Beban Penerangan

Analisis Box Charging

Akumulator berperan sebagai beban yang menimbulkan perubahan energi listrik yang mengalir pada Akumulator untuk disimpan menjadi energi kimia seperti lampu yang merubah energi listrik menjadi cahaya dan panas. Sesuai dengan Hukum Ohm, berbunyi arus pada suatu beban berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan beban.

Analisis Waktu Pengisian

Dari Pengujian *Box Charging* dapat digunakan untuk Perhitungan Waktu Pengisian Akumulator. Waktu Pengisian Akumulator adalah waktu yang diperlukan untuk Turbin angin untuk mengisi Akumulator hingga penuh. Perhitungan Waktu Pengisian Akumulator sebagai berikut:

$$T_a = \{Ah / I\} - 20\% \quad (5)$$

Keterangan:

T_a = Waktu Pengisian {jam}
 Ah = Kapasitas Akumulator {Ah}
 I = Arus Pengisian {Ampere}
20 % = Standar Defisiensi Akumulator
{Akumulator efisien digunakan hingga minimal 20% dari kapasitasnya}

Berdasarkan Rumus (5) dengan nilai Kapasitas Akumulator 4,5 Ah dan Arus Pengisian Rata rata degan *Gearbox* sebesar 0,2295 Ampere serta Standar Defisiensi Akumulator sebesar 20 % dibutuhkan Waktu Pengisian Akumulator selama 15,68 Jam.

Analisis Penggunaan Akumulator

Pengujian ini menggunakan Akumulator 6 Volt 4,5 Ah setelah dilakukan pengisian dengan Turbin Angin Sumbu Vertikal *Darrieus* Tipe H. Lampu DC LED yang digunakan sengaja dibuat secara mandiri. Lampu dengan Tegangan 6 Volt dan Arus 0,1 Ampere digunakan sebagai sarana penerangan ruang sederhana.

Berdasarkan Rumus (5) maka sebuah akumulator 6 Volt 4,5 Ah jika digunakan untuk menyuplai energi listrik untuk sebuah beban dengan Daya 0,6 Watt dan Arus 0,1 Ampere akan mampu bertahan secara efisien selama 36 jam.

Efisiensi

Hasil Efisiensi Alat didapatkan dengan rumus Efisiensi Generator sebagai berikut:

$$\eta = P_{out} / P_{in} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

η = Efisiensi (%)
 P_{out} = Daya Output (watt)
 P_{in} = Daya Angin (watt)

Berdasarkan Rumus (6) Efisiensi yang mampu dihasilkan oleh turbin angin dengan potensi Daya Angin sebesar 12,7075 watt dan hasil Daya Output sebesar 9,6685 watt adalah 76 %.

Selain itu Keandalan Alat juga di buktikan dengan Perbandingan Antara Waktu antara Pengisian dan Penggunaan Beban sebagai berikut:

Waktu Pengisian : Waktu Penggunaan

15,68 Jam : 36 jam

Waktu Pengisian < Waktu Penggunaan

PENUTUP

Simpulan

Setelah pengujian Sistem kerja Prototipe Turbin Angin *Darrieus* Tipe H bekerja menghasilkan Tegangan Rata rata 39 Volt pada Kecepatan Angin Rata rata 4,5 m/s. Pada Kecepatan Angin yang sama mampu *charging* Akumulator 6 Volt 4,5 Ah dengan Arus Rata rata 0,2295 A dengan waktu 15,68 jam. Waktu Penggunaan Akumulator didapatkan waktu selama 36 jam. Setelah dibandingkan Waktu *charging* Akumulator dan Waktu Penggunaan Akumulator, Prototipe Turbin Angin *Darrieus* Tipe H memiliki Efisiensi Turbin sebesar 76%.

Saran

Sistem akan lebih baik jika menggunakan Generator DC dengan rating lebih baik karena konversi energi akan maksimal. Pada konstruksi baling baling akan lebih baik menggunakan model dan bahan yang lebih lebar dan ringan agar dapat memaksimalkan penangkapan energi angin. Media Akumulator dengan nilai 6 Volt terlalu kecil untuk skala lampu sederhana, sehingga lebih baik jika Akumulator lebih besar agar mampu menyuplai lampu dengan daya lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aklis, Nur dkk. 2016. *Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Pitch Terhadap Performa Turbin Angin Darrieus Sumbu Vertikal NACA 0012*. Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Arsad, Agus Muhammad dan Firman Hartono. 2009. *Pembuatan Kode Desain dan Analisis Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe H*. Universitas Nurtanio. Bandung: Jurnal Teknologi Dirgantara.
- Ismail, Erlanda Pane dan Triyanti. 2017. *Optimasi Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darrieus Untuk Penerangan di Jalan Tol*. Universitas Pancasila. Jagakarsa: Prosiding Semnastek.
- Jayaramudu, Owk dan P. Madhu Raghaya. 2017. *Design and Fabrication of Vertical Axis ind Turbine for Power Generation*. Department of Mechanical Engineering, SREC. Nandyal: International Journal of Engineering Innovation and Research.
- Latif, Melda, Refdinal Nazir dan Hamdi Reza. 2013. *Analisa Proses Charging Akumulator Pada Prototipe Turbin Angin Sumbu Horisontal di Pantai Purus Padang*, Jurusan Teknik Elektro. Universitas Andalas. Padang: Jurnal Nasional Teknik Elektro.
- McAlister, Kenneth W., Lawrence W. Carr dan William J. McCroskey. 1978. *Dynamic Stall Experiments on the NACA 0012 Airfoil*. Ames Research Center. California: NASA Technical Paper 1100.
- Prastiko, Yunika C. 2016, *Uji Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus H NACA 0018 Modifikasi dengan Variasi Sudut Pitch 35°, 40°, 50°, 55°, 60°*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Schubel, Peter J. dan Richard J. Crossley. 2012. *Wind Turbine Blade Design*. University of Nottingham. Nottingham: Energies Open Acces.
- Teli, Hemant G., Yogesh R. Kokare dan M.T. Sawant., 2018. *Design of Vertical Axis Wind Turbines for Electricity Generation*. SSPM'S College of Engineering. Kankavli: International Journal for Scientific Research & Development.