

Pengaruh Karakteristik Material Alumunium, PVC dan Fiberglass Terhadap Efisiensi Energi pada Kincir Angin Skala Kecil

Rahmawati¹, Jamil Hafizh¹, Ike Bayusari¹, Hermawati¹, Caroline¹
 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
 Universitas Sriwijaya
 Indralaya, Indonesia
 Penulis Korespondensi:etikmahyuddin@yahoo.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi variasi material sudu pada turbin Savonius dalam skala mikro yang digunakan untuk pengisian baterai ponsel. Mengingat pentingnya pengembangan energi terbarukan akibat berkurangnya ketersediaan energi fosil, penelitian ini fokus pada pemanfaatan energi angin sebagai alternatif energi terbarukan. Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan variasi material sudu berupa PVC, aluminium, dan fiberglass diuji untuk menentukan material yang paling efisien. Hasil penelitian menunjukkan variasi material sudu yang berbeda memiliki pengaruh signifikan terhadap energi listrik yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahwa material sudu aluminium bekerja lebih baik dibandingkan dengan dua material lainnya, disusul oleh fiberglass dan PVC. Aluminium menghasilkan tegangan sebesar 8.4 V, Arus sebesar 0.2 A dan daya sebesar 0.1688 Watt ketika di berikan angin paling tinggi yaitu 7,1 m/s. Yang menandakan bahwa aluminium dapat bekerja secara optimal dikarenakan massa yang ringan dan cocok digunakan sebagai material sudu turbin PLTB.

Keywords— *Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro, Turbin Savonius, Pengisian Baterai Ponsel, Material, Alumunium, PVC, Fiberglass.*

Abstract— This research aims to analyze the efficiency of different blade materials on a micro-scale Savonius turbine used for charging mobile phone batteries. Given the importance of developing renewable energy due to the decreasing availability of fossil energy, this study focuses on harnessing wind energy as an alternative renewable energy source. A prototype Wind Power Plant (PLTB) with blade materials consisting of PVC, aluminum, and fiberglass was tested to determine the most efficient material. The results indicate that the different blade materials have a significant impact on the generated electrical energy. The research findings demonstrate that aluminum blades perform better compared to the other two materials, followed by fiberglass and PVC. Aluminum produced a voltage of 8.4 V, a current of 0.2 A, and a power of 0.1688 Watts when subjected to the highest wind speed of 7.1 m/s. This indicates that aluminum can work optimally due to its lightweight and suitability as a blade material for PLTB turbines.

Keywords— *Micro-Scale Wind Power Plant, Savonius Turbine, Mobile Phone Battery Charging, Material, Alumunium, PVC, Fiberglass.*

I. PENDAHULUAN

Saat ini energi terbarukan mulai dikembangkan karena ketersediaan energi fosil akan semakin berkurang setiap tahunnya. Menurut International Energy Agency (IEC) atau Badan Energi Dunia permintaan energi fosil akan meningkat sebanyak 1,6% per tahun, dengan perkiraan peningkatan sebanyak 45% pada tahun 2030. Perlu di ingat juga bahwa saat ini sekitar 80% kebutuhan energi berasal fosil yang persediaannya selalu berkurang dan tidak akan tersedia selamanya [1]. Salah satu solusi yang dapat diambil ialah dengan menggunakan energi angin, selain menjadi energi yang terbarukan dan mudah di dapatkan, energi angin dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan pembangkit yang bernama PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu). Untuk mendapatkan energi listrik dibutuhkan generator yang dapat menghasilkan energi listrik yang diperoleh melalui konversi energi mekanik, salah satunya ialah energi mekanik yang didapatkan dari angin. Terdapat dua jenis generator yang umum digunakan antara lain adalah generator DC dan AC, untuk generator DC ialah generator yang menghasilkan listrik searah sedangkan generator AC ialah generator yang dapat menghasilkan listrik bolak-balik [2]. Pemanfaatan energi terbarukan, khususnya PLTB menjadi salah satu solusi penting demi menghadapi krisis energi fosil dan dampak yang ditimbulkannya. Dalam hal ini pengembangan PLTB terus dilakukan demi mendapatkan keandalan dan efisiensi baik dalam daerah berangin dan kurang berangin. Salah satu contoh pengembangannya ialah dengan menggunakan material turbin yang berbeda. Permasalahan muncul ketika mana material yang baik untuk digunakan karena

memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri baik dalam struktur, permukaan, daya tahan, dan lainnya. Berdasarkan penelitian sebelumnya belum ada komparasi dari penggunaan material ini maka dari itu untuk mengembangkan penelitian ini lebih lanjut ialah dilakukan pengujian untuk dilakukan perbandingan dengan harapan memberikan kontribusi nyata untuk penggunaan turbin yang adaptif, sesuai, dan terjangkau.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi Angin

Angin adalah pergerakan udara dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Hal ini terjadi akibat pemanasan permukaan bumi yang tidak merata oleh Matahari sehingga menyebabkan perbedaan suhu dan tekanan udara. Angin memainkan peran penting dalam pola cuaca, karena membantu mendistribusikan panas dan kelembapan ke seluruh planet. Kekuatan dan arahnya dapat bervariasi, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti fitur geografis dan kondisi atmosfer [3].

Seperti yang disebutkan dalam perencanaan strategis di Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) 2020–2024, kecepatan angin rata-rata tahunan di Indonesia hanya berkisar antara 3 m/s–6 m/s, hanya setengah dari negara-negara di belahan bumi utara dan selatan yang memiliki kecepatan angin lebih dari 8 m/s. Kecepatan angin yang rendah ini terjadi karena letak Indonesia yang berada di garis khatulistiwa dengan udara yang hangat dan tekanan rendah. Berdasarkan data kecepatan angin tersebut, potensi teknis pembangkit tenaga angin yang tercatat di Kementerian ESDM adalah sekitar 60,6 GW, dengan pemanfaatannya mencapai sekitar 0,15 GW hingga tahun 2020. Pemanfaatan ini masih jauh dari target yang tercantum dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), yang menyatakan bahwa pada tahun 2020, Indonesia seharusnya sudah memasang pembangkit tenaga angin sebesar 0,6 GW [3].

B. Konversi Energi

Konversi energi didefinisikan sebagai proses di mana perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya seperti konversi energi nuklir menjadi energi panas, konversi energi cahaya menjadi panas, energi panas menjadi kerja, dan lain-lain. Contohnya seperti mesin mobil, pemanas ruangan, pengering rambut, dan masih banyak lagi [4].

1) Daya Listrik

Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detiknya. Satuan daya listrik adalah Watt.

$$P = V \cdot I \cos \theta \quad (1)$$

$$P = I^2 R \quad (2)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (3)$$

Dimana :

P : Daya Listrik (Watt)

I : Arus (Ampere)

V : Tegangan (Volt)

2) Momen Inersia

Momen inersia adalah sebuah kecenderungan suatu benda untuk mempertahankan bentuknya ketika sedang berputar, beberapa faktor yang dapat mempengaruhi momen inersia adalah massa suatu benda, ukuran, dan bentuk benda itu sendiri. Pada PLTB savonius itu sendiri memiliki notasi momen inersia sebagai berikut.

$$I_{savonius} = \frac{2}{3} \rho \cdot H \cdot t \cdot d^3 \quad (4)$$

Dimana :

Pin: daya maksimum yang dihasilkan angin (Watt)

I : Momen Inersia (Kgm^2)

ρ : Massa Jenis Benda (Kg/m^3)

H : Tinggi sudu (m)

t : Ketebalan sudu (m)

d : Diameter sudu (m)

3) Torsi

Torsi adalah sebuah gaya yang muncul akibat benda yang berputar dari keadaan diam hingga berputar, atau bisa disebut juga sebuah gaya yang dapat membuat suatu benda untuk berputar disumbu tertentu. Rumus dari torsi itu sendiri adalah

$$\tau = I \times \alpha \quad (5)$$

Dimana :

τ : Torsi (Nm)

I : Momen Inersia (Kgm^2)

α : Percepatan sudut (m/s^2)

4) Efisiensi

Perbandingan antara daya keluaran (P_{out}) dengan daya masukan (P_{in}) disebut efisiensi generator dan dinyatakan dengan persamaan seperti berikut.

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

Dimana :

ηP : efisiensi

P_{out} : daya keluaran (Watt)

P_{in} : daya masukan (Watt)

C. Turbin Angin

Turbin angin adalah mesin yang mengubah energi kinetik yang tersedia dalam angin menjadi energi mekanik. Ketika energi mekanik angin digunakan langsung oleh mesin untuk memompa air atau menggiling batu, mesin ini disebut kincir angin [4]. Dua Jenis turbin angin yaitu :

1) Turbin Angin Vertikal

Jenis ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine), termasuk fakta bahwa turbin ini tidak perlu selalu terarah dengan sempurna ke arah angin, tidak memerlukan pola angin yang konstan dan stabil, serta dapat digunakan bahkan pada kecepatan angin rendah. Hal ini menghilangkan kebutuhan untuk menempatkannya di tanah yang lebih tinggi atau membangun menara yang tinggi, serta membuatnya lebih mudah untuk dirawat. Namun, keuntungan utama dari jenis VAWT ini adalah bahwa ia memerlukan mekanisme pemula eksternal karena torsi yang dihasilkannya rendah [5].

2) Turbin Angin Horizontal

Turbine ini terdiri dari hanya beberapa bilah rotor yang dioptimalkan secara aerodinamis, yang untuk tujuan pengaturan biasanya dapat diputar sekitar sumbu panjangnya (Pengaturan Pitch). Cara lain yang lebih murah untuk mengaturnya adalah dengan merancang bilah-bilah tersebut sedemikian rupa sehingga aliran udara yang melewati bilah-bilah akan menjadi turbulen pada kecepatan tertentu (Pengaturan Stall). Turbin-turbin ini dapat menghasilkan daya mulai dari 10 kW hingga beberapa MW. Turbin terbesar di pasar Eropa memiliki daya 8 MW, dan mesin yang lebih besar sedang diuji. Efisiensi jenis turbin ini sangat tinggi. Oleh karena itu, turbin ini hanya digunakan untuk pembangkit listrik yang memerlukan "mesin berkecepatan tinggi" untuk menjaga ukuran dan biaya transmisi gear serta generator tetap kecil dan murah [6].

D. PVC

PVC (Polyvinyl Chloride) adalah material yang paling banyak digunakan pada urutan ketiga setelah polietilena dan polipropilena. PVC memiliki karakteristik yang jika diuraikan akan memiliki sedikit kandungan minyak daripada termoplastik lainnya, yang membuatnya menjadi tahan lama dan hemat energi dan menghemat sumber daya. Secara umum PVC diaplikasikan pada sistem distribusi air dikarenakan memiliki sifat yang ringan, memiliki kekuatan yang tinggi, dan memiliki reaktivitas yang relatif rendah sehingga sangat cocok digunakan untuk pengaplikasian tersebut. Selain itu PVC juga dapat digunakan pada sistem kelistrikan sebagai sistem insulasi kabel listrik walau harus di modifikasi terlebih dahulu karena dapat menyebabkan masalah kesehatan apabila terbakar.

Secara kimia, polyvinyl chloride (PVC) menunjukkan sifat inert terhadap banyak zat kimia, membuatnya tahan terhadap korosi oleh asam dan basa. PVC umumnya stabil terhadap pelarut organik dan tidak mengalami perubahan signifikan pada suhu kamar. Namun, PVC dapat menjadi rentan terhadap degradasi pada suhu yang tinggi, menghasilkan pelepasan gas klorin yang mungkin berdampak pada lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan PVC sering kali mempertimbangkan kebijakan pengelolaan limbah dan keberlanjutan. Dari segi sifat mekanis, polyvinyl chloride (PVC) memiliki kekuatan dan elastisitas yang bermanfaat dalam berbagai aplikasi. PVC memiliki kekuatan tarik yang baik, membuatnya tahan terhadap tekanan dan beban mekanis. Kelembutan yang relatif tinggi memberikan kemampuan PVC untuk menahan benturan dan deformasi tanpa mengalami kerusakan struktural yang signifikan. Sifat elastis ini juga memungkinkan PVC untuk dapat diubah bentuk dengan relatif mudah, mendukung proses produksi yang beragam. Meskipun PVC memiliki sifat mekanis yang kuat, perlu diingat bahwa pemanasan berlebih atau tekanan yang berlebihan dapat mempengaruhi integritas mekanisnya. Oleh karena itu, penggunaan PVC dalam berbagai aplikasi sering mempertimbangkan dengan cermat beban mekanis yang diberikan dan kondisi operasionalnya [9].

PVC merupakan opsi yang baik digunakan sebagai material turbin savonius karena sifatnya yang tahan terhadap korosi, ringan, dan mudah dibentuk. Kemampuan PVC untuk diproses dengan biaya rendah menjadikannya pilihan ekonomis untuk produksi turbin savonius dalam jumlah besar. Dengan demikian, PVC dapat memberikan solusi yang efisien secara ekonomi tanpa mengorbankan kualitas dan keandalan turbin.

E. Aluminium

Aluminium adalah elemen non-besi merupakan logam ringan yang mempunyai sifat ringan, ketahanan korosi yang baik juga konduksi listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk melalui proses pembentukan atau permesinan, dan sifat baik lainnya sebagai sifat logam [7].

Sifat kimia aluminium mencakup kecenderungan untuk membentuk lapisan oksida yang melindungi permukaannya dari korosi. Aluminium bereaksi dengan oksigen di udara untuk membentuk lapisan tipis oksida aluminium, yang secara efektif mencegah korosi lebih lanjut. Sifat ini memberikan ketahanan terhadap korosi, membuat aluminium cocok untuk penggunaan di lingkungan yang rentan terhadap kelembaban atau zat kimia korosif. Selain itu, aluminium juga dapat bereaksi dengan asam kuat, seperti asam sulfat dan asam klorida, membentuk gas hidrogen dan garam aluminium. Kepekaan terhadap asam membuat perlu menghindari kontak aluminium dengan lingkungan yang bersifat asam secara berlebihan. Meskipun aluminium bersifat reaktif, lapisan oksida yang terbentuk memberikan perlindungan tambahan dan membuatnya tahan terhadap banyak kondisi kimia.

Aluminium memiliki sifat mekanis yang membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi teknik. Logam ini dikenal karena kekuatannya yang relatif tinggi, terutama ketika digunakan dalam paduan dengan elemen lain seperti tembaga, magnesium, dan mangan. Meskipun aluminium bersifat ringan, kekuatan yang dimilikinya cocok untuk konstruksi ringan di industri pesawat terbang, otomotif, dan struktur bangunan. Selain itu, aluminium memiliki kemampuan konduktivitas panas yang baik, memungkinkan untuk digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan transfer panas yang efisien, seperti dalam radiator kendaraan. Namun aluminium memiliki ketangguhan yang lebih rendah dibandingkan beberapa logam lainnya, seperti baja, sehingga perlu diperhatikan dalam aplikasi yang memerlukan tahanan terhadap keretakan atau kejutan.

Aluminium cocok digunakan untuk material turbin savonius karena kombinasi kekuatan, dan kemampuan penyesuaian desain. Kekakuan dan kekuatan relatif tinggi dari aluminium memungkinkannya untuk menahan beban yang dihasilkan oleh angin saat berputar. Fleksibilitas dalam penyesuaian bentuk juga merupakan keunggulan penting, memungkinkan desain turbin yang optimal sesuai dengan kebutuhan spesifik lokasi atau aplikasi.

F. Fiberglass

Fiberglass adalah material komposit yang terbuat dari serat kaca sangat halus yang ditenun menjadi lembaran atau kain, kemudian dipadukan dengan resin (seperti poliester) untuk menghasilkan material yang kuat dan ringan. Fiberglass mempunyai sifat elastis yang sangat baik sehingga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Bahan ini sangat kuat dan tahan lama, namun lebih ringan dari logam atau bahan komposit lainnya. Karena kemampuannya untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk, fiberglass sering digunakan untuk membuat lembaran atau perisai. Fiberglass banyak digunakan dalam industri dirgantara dan otomotif, serta untuk membuat berbagai produk seperti kapal, peralatan olahraga, dan komponen konstruksi. Keunggulan utama fiberglass adalah ketahanan terhadap korosi, kekuatan tinggi, dan kemampuan mudah dibentuk, menjadikannya pilihan populer untuk banyak aplikasi industri [8].

Fiberglass memiliki sifat kimia yang tahan terhadap korosi dan reaksi kimia. Karena terbuat dari serat kaca

yang tidak bereaksi dengan banyak zat kimia, fiberglass sering digunakan dalam lingkungan yang agresif, seperti industri kimia dan petrokimia. Ketahanannya terhadap korosi membuatnya cocok untuk aplikasi di lingkungan yang mengandung asam atau basa. Fiberglass memiliki keunggulan tambahan dalam hal daya tahan dan keawetan ketika terpapar zat kimia, membuatnya menjadi material pilihan dalam banyak aplikasi industri [9].

Sifat mekanik fiberglass termasuk kekuatan yang tinggi, ringan, dan kemampuan lentur yang baik. Serat kaca dalam strukturnya memberikan kekuatan tarik yang tinggi, sementara resin polimer memberikan fleksibilitas dan ketahanan terhadap patah. Kelebihan sifat mekanik ini membuat fiberglass sangat cocok untuk berbagai aplikasi, seperti konstruksi kapal, kendaraan, tangki penyimpanan, dan struktur lainnya di mana kekuatan, ringan, dan ketahanan terhadap tekanan dan lenturan sangat penting [10].

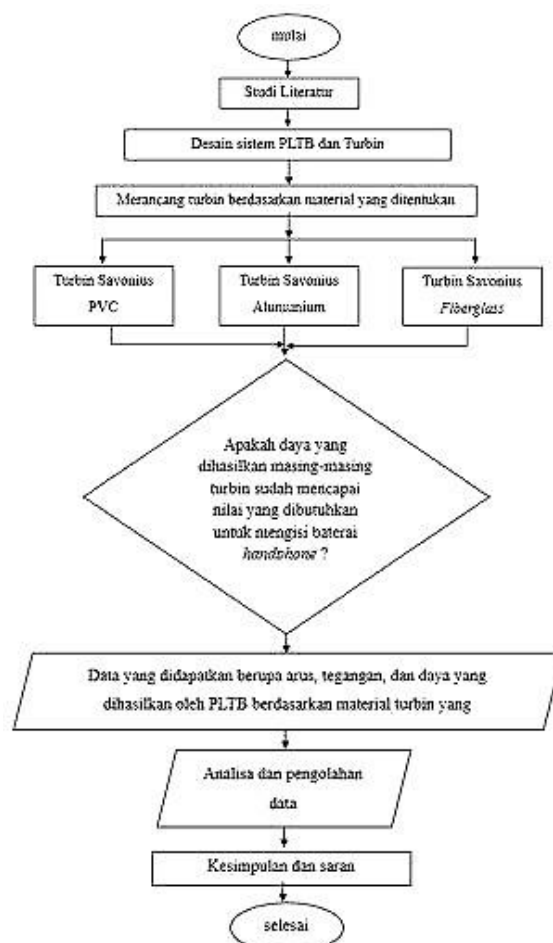
Fiberglass dapat digunakan sebagai material turbin savonius karena sifatnya yang ringan, tahan korosi, dan kuat. Kekuatan yang relatif tinggi dan ringan membuatnya ideal untuk aplikasi turbin angin, di mana keseimbangan antara bobot dan keandalan sangat penting. Selain itu, ketahanannya terhadap korosi memastikan bahwa turbin tersebut dapat bertahan dalam lingkungan yang terpapar angin dan cuaca ekstrem, menjadikannya pilihan yang andal dan tahan lama.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian akan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Sriwijaya Kampus Indralaya yang berlokasi di Jl. Raya Palembang - Prabumulih No.KM. 32, Indralaya Indah, Kec. Indralaya, Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan 30862.

Waktu penelitian dimulai dari bulan Oktober 2023 sampai dengan selesai yang mencakup review jurnal, menentukan judul penelitian, studi literatur dari materi yang bersangkutan, penulisan proposal penelitian, pengambilan data, pengolahan data, analisa, dan menarik kesimpulan penelitian.

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Desain Alat Penelitian

Turbin yang digunakan selama penelitian ialah turbin savonius konvensional tipe-L. Dengan menggunakan material PVC, Aluminium, dan *fiberglass* sebagai material pembentuk turbin. Turbin digunakan untuk menangkap energi angin dan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. Untuk ukuran dan desain dari turbin dapat dilihat pada gambar 2 Turbin tersebut rencananya memiliki diameter sebesar 25 cm dan tinggi sebesar 30 cm dengan sudut sudu sebesar 140° dengan jumlah sudu sebanyak 5 sudu.



Gambar 2. Desain Alat Penelitian

C. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan antara lain :

1) Studi Literatur

Melakukan studi literatur dengan membaca artikel, jurnal, dan buku yang relevan dengan penelitian, serta melakukan diskusi dengan dosen pembimbing.

2) Mendesain Alat

Membuat desain turbin savonius tipe-L yang digunakan sebagai turbin PLTB mikro.

3) Persiapan alat dan bahan

Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian berlangsung.

4) Pembuatan Turbin Angin Savonius

Pembuatan turbin savonius dilakukan secara mandiri oleh penguji dengan material yang digunakan antara lain adalah PVC, *fiberglass*, dan Aluminium sesuai dengan ketentuan ukuran yang telah direncanakan.

5) Pemasangan Turbin Angin Savonius

Turbin yang telah selesai di buat akan diujikan secara bergantian berdasarkan material pembentuknya yaitu PVC, *fiberglass*, dan Aluminium. Turbin tersebut akan digunakan untuk menangkap energi angin yang akan di konversikan menjadi energi gerak lalu di salurkan ke generator untuk menghasilkan energi listrik yang di gunakan untuk mengisi baterai *handphone*.

6) Pengujian Kinerja Material Turbin

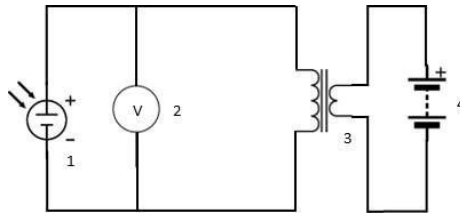
Setelah seluruh komponen telah siap digunakan maka pengujian dapat dilakukan. Pengujian dilakukan dengan tujuan mencapai daya minimum sebesar 25 watt untuk mengisi baterai pada *handphone*.

7) Pengambilan Data

Pengambilan data yang diambil meliputi nilai kecepatan angin, arus, dan tegangan. Kemudian dilakukan penghitungan nilai daya yang dihasilkan dan kinerja pada setiap variasi material turbin savonius.

D. Rangkaian Pengukuran

1) Rangkaian Pengukuran Tegangan

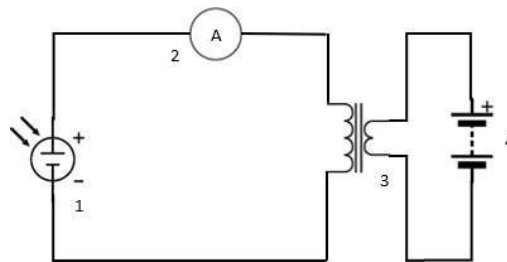


Gambar 3 rangkaian Pengukuran Tegangan

Keterangan:

- a. Prototipe PLTB skala mikro
- b. Voltmeter
- c. Modul *DC Step Down (Adjustable) with USB*
- d. Beban (Ponsel)

2) Rangkaian Pengukuran Arus



Gambar 4 Rangkaian Pengukuran Arus

Keterangan:

1. Prototipe PLTB skala mikro
2. Ampermeter
3. Modul *DC Step Down (Adjustable) with USB*
4. Beban (Ponsel)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Umum

Pada bab ini akan membahas mengenai hasil penelitian yang telah di dapatkan melalui penelitian yang telah di lakukan. Data yang diperoleh selama pengujian antara lain adalah Arus (A), tegangan (V), kecepatan angin (m/s), dan kecepatan putaran turbin (RPM). Peralatan yang digunakan selama penelitian antara lain turbin PVC 5 sudu, turbin Fiberglass 5 sudu, turbin Alumunium 5 sudu, dan beban berupa smartphone yang akan di isi baterainya.

Setelah dilakukan percobaan dengan menggunakan ketiga turbin tersebut maka akan di bandingkan berapa keluaran yang dihasilkan dari masing-masing turbin tersebut. Mulai dari daya masukan dan daya keluaran yang dihasilkan, daya angin, koefisien daya, dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Dari data tersebutlah akan terlihat perbandingan mana yang lebih baik digunakan sebagai turbin savonius.

B. Data Hasil Penelitian

Tabel I. Data Hasil Pengukuran

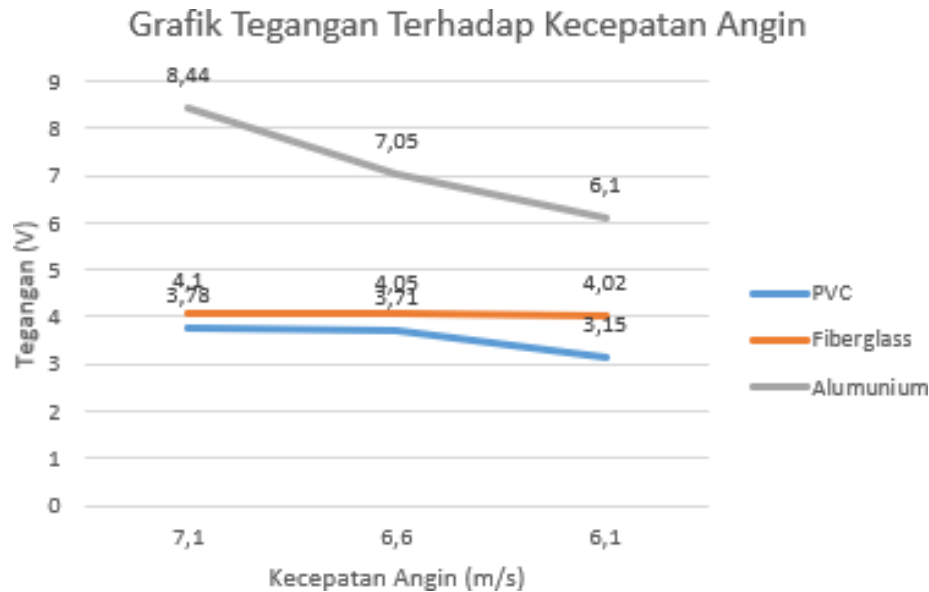
No	Material	Jumlah Sudu (buah)	Luas turbin (Cm ²)	Massa Turbin (Kg)	Percobaan	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan putaran turbin (RPM)	Tegangan (V)	Arus (mA)
1	PVC	5	450	0,965	1	7,1	202,3	3,78	0,01
					2	6,6	193,0	3,71	0,01
					3	6,1	177,1	3,15	0,01
2	Fiberglass			0,300	1	7,1	299,5	4,10	0,02
					2	6,6	276,4	4,05	0,02
					3	6,1	272,2	4,02	0,01
3	Alumunium			0,330	1	7,1	317,3	8,44	0,02
					2	6,6	313,9	7,05	0,02
					3	6,1	283,9	6,10	0,02

Berdasarkan tabel di atas setelah dilakukan pengukuran di dapatkan data berupa jumlah sudu, luas turbin, kecepatan angin, torsi, kecepatan putaran turbin, tegangan, dan arus. penelitian dilakukan dalam 3 percobaan dengan kondisi yang sama, yaitu perubahan nilai kecepatan angin yang di berikan kepada turbin sama besar tiap material nya hal ini dilakukan agar perbandingan tiap material akan terlihat secara jelas

Tabel II. Data Hasil Perhitungan

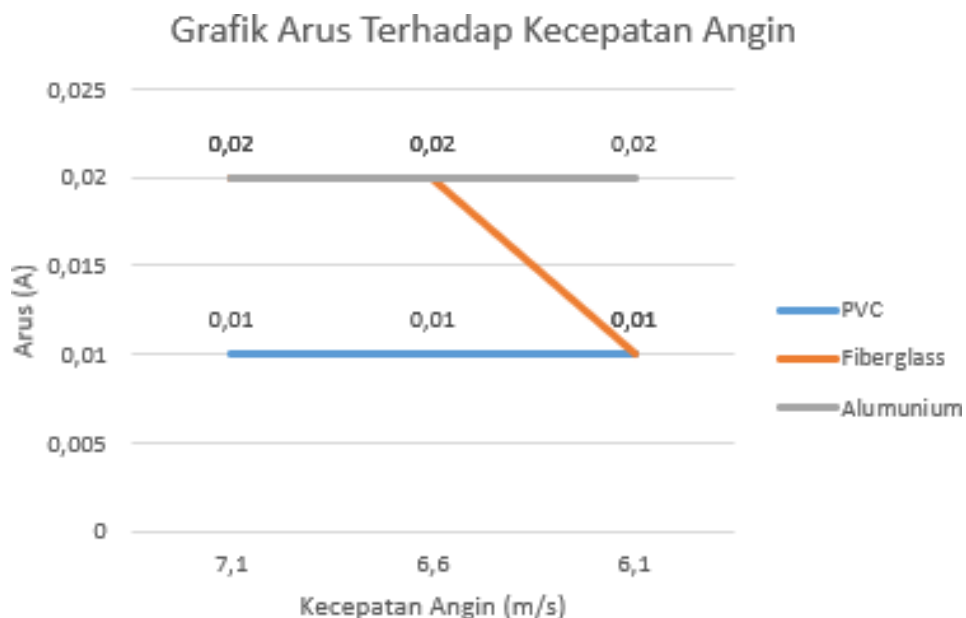
No	Material	Luas Turbin (Cm ²)	Percobaan	Torsi (Nm)	Daya input Generator (Watt)	Daya Ouput Generator (Watt)	Efisiensi Generator (%)
1	PVC	450	1	0,02873	0,6085	0,0378	6,21
			2	0,02740	0,5537	0,0371	6,70
			3	0,02511	0,4655	0,0318	6,83
2	Fiberglass		1	0,00324	0,1016	0,0820	80,70
			2	0,00280	0,0811	0,0810	99,78
			3	0,00275	0,0785	0,0402	51,21
3	Alumunium		1	0,01079	0,3584	0,1688	47,10
			2	0,01068	0,3510	0,1410	40,17
			3	0,00965	0,2867	0,1220	42,53

Tabel di atas merupakan hasil pengolahan data melalui perhitungan dengan rumus yang tertera pada tinjauan pustaka. Perbedaan daya angin hanya di pengaruhi oleh kecepatan angin yang diukur sehingga tiap material memiliki daya angin yang sama tiap percobaannya.



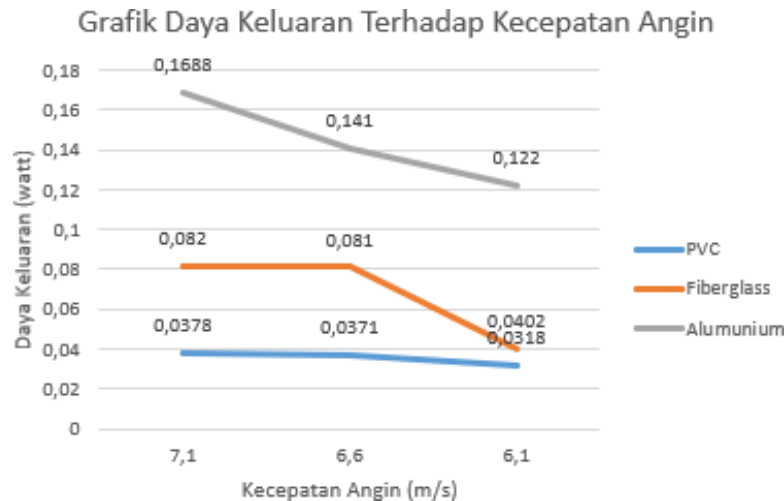
Gambar 7 Grafik Tegangan Terhadap Kecepatan Angin

Berdasarkan grafik pada gambar 4.3, material aluminium menghasilkan tegangan tertinggi dibandingkan material turbin lainnya, dengan puncak 8,44 V dan titik terendah 6,1 V, yang hasilnya masih lebih tinggi daripada fiberglass sekitar 4 V dan PVC sekitar 3 V. Saat dihubungkan ke ponsel untuk mengisi baterai, tegangan berkisar 4 V karena sistem pengamanan smartphone mengatur tegangan masuk untuk mencegah tegangan berlebih. Oleh karena itu, tegangan di bawah 4 V tidak dapat mengisi baterai. Hanya turbin aluminium dan fiberglass yang dapat mengisi baterai, sementara turbin PVC, dengan tegangan maksimum 3,78 V, tidak mampu melakukannya.



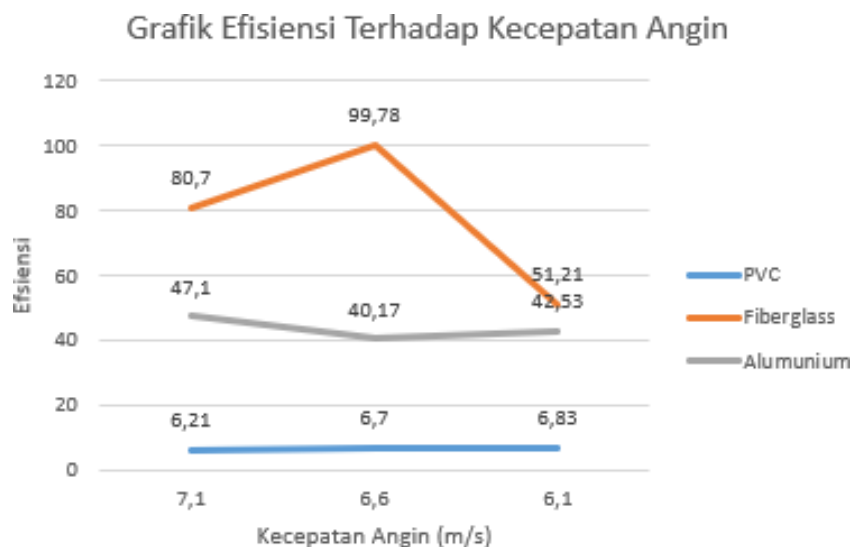
Gambar 8 Grafik Arus Terhadap Kecepatan Angin

Dalam grafik terlihat bahwa turbin dari material fiberglass dan aluminium menghasilkan arus tertinggi, masing-masing 0,02 A, dengan penurunan pada fiberglass hingga 0,01 A. Material lainnya menunjukkan arus lebih stabil meskipun kecepatan angin berbeda. Perubahan arus pada fiberglass dipengaruhi oleh variasi angin, di mana arus menurun seiring penurunan kecepatan angin, berbeda dengan turbin dari PVC dan aluminium yang menghasilkan arus stabil, masing-masing 0,01 A dan 0,02 A, tanpa banyak dipengaruhi oleh perubahan angin.



Gambar 9 Grafik Daya Terhadap Kecepatan Angin

Turbin aluminium menghasilkan daya keluaran tertinggi hingga 0,1688 Watt, namun menurun seiring penurunan angin. Terlihat pada grafik bahwa terjadi penurunan signifikan pada *fiberglass* saat angin berkurang, sementara PVC menghasilkan daya stabil, yang menunjukkan *fiberglass* kurang cocok di daerah minim angin, sedangkan PVC tetap optimal, dan aluminium bekerja lebih baik dari keduanya. Hanya PVC yang tidak cukup kuat untuk mengisi baterai ponsel. Aluminium dan fiberglass bisa mengisi baterai, tetapi tidak optimal, hanya memperpanjang waktu sebelum baterai habis tanpa menambah daya secara signifikan.



Gambar 10 Grafik Efisiensi Terhadap Kecepatan Angin

Grafik tersebut menunjukkan efisiensi generator dengan material sudu berbeda. Fiberglass memiliki efisiensi terbaik meskipun terjadi fluktuasi akibat perubahan angin serta menghasilkan tegangan yang lebih rendah dibandingkan aluminium. Aluminium dan PVC menunjukkan efisiensi stabil, yaitu sekitar 40% dan 6% ke atas, masing-masing. Meskipun efisiensi aluminium lebih rendah dibandingkan fiberglass, aluminium masih dapat menghasilkan daya yang tinggi dan material ini cocok digunakan untuk turbin savonius karena kinerja kerjanya baik meskipun terjadi rugi-rugi terjadi secara signifikan. Sebaliknya, PVC memiliki efisiensi terendah, karena massa material tersebut memerlukan lebih banyak energi untuk berputar saat terkena angin.

Setelah dilakukan percobaan didapatkan grafik yang dapat terlihat dari gambar 7 hingga gambar 10. Terdapat perbedaan yang cukup signifikan karena material aluminium memiliki massa yang lebih ringan dan permukaan yang halus untuk menangkap angin. Hal ini juga berkaitan dengan kemampuan peneliti dalam mempersiapkan material yang akan digunakan. Maka dari itu untuk penggunaan turbin harus memiliki massa dan kelenturan yang cukup serta permukaan yang halus agar arah angin searah untuk mendorong turbin agar dapat memutar rotor yang terhubung dengan generator untuk menghasilkan listrik. Selain itu dapat dilihat bahwa masing-masing memiliki kelebihan tersendiri yaitu aluminium yang tetap unggul di kondisi manapun, kestabilan PVC

baik dalam kondisi berangin dan tidak, serta PVC yang memiliki massa yang berat namun memiliki daya tahan yang baik apabila digunakan pada daerah berangin kencang

Berdasarkan percobaan di atas maka perubahan material dapat digunakan sebagai turbin untuk mengisi baterai ponsel namun saat pengisian baterai tidak dapat terhubung secara terus menerus sehingga pengisian baterai tidak optimal. Hal ini disebabkan oleh daya yang dihasilkan sangat kecil dan listrik yang kurang stabil karena perubahan angin.

V. KESIMPULAN

Dari pengujian, nilai arus, tegangan, serta daya masuk dan keluaran meningkat seiring peningkatan angin yang diterima oleh turbin. Turbin aluminium menunjukkan nilai terbesar dibandingkan PVC dan *fiberglass*, dengan arus yang stabil meskipun kecepatan angin bervariasi, menjadikannya material terbaik. Turbin *fiberglass* memiliki efisiensi tertinggi karena ringan dan aerodinamis, meskipun dayanya kecil dibandingkan aluminium. PVC memiliki efisiensi terendah karena beratnya, yang memerlukan lebih banyak tenaga untuk berputar. Aluminium memiliki efisiensi baik dan menghasilkan daya cukup untuk mengisi baterai ponsel.

Untuk penelitian selanjutnya agar dapat menghasilkan penelitian yang lebih baik sebaiknya melakukan eksplorasi material baru seperti melakukan beberapa kombinasi material yang memungkinkan untuk digunakan sebagai sudu turbin dan perlunya dilakukan dalam kondisi yang beragam untuk melihat daya tahan serta melihat pengaruh perubahan lingkungan terhadap kinerja dari material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Rifai, G. G. R. Gunadi, and E. Ridwan, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin) Mikro Turbin Savonius pada Jalan Tol Jatiasih," *J. Mek. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 82–88, 2021, doi: 10.32722/jmt.v2i2.4423.
- [2] A. Darussalam, A. Sunardi, and R. Ariyansah, "Perancangan Stabilizer Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Pengisian Baterai Mobil," *J. Tek. Mesin, Elektro, Inform. Kelaut. dan Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2023, doi: 10.30598/metiks.2023.3.1.1-9.
- [3] T. Hidayat, "Wind Power in Indonesia: Potential, Challenges, and Current Technology Overview," *Indones. Post-Pandemic Outlook Strateg. Towar. Net-Zero Emiss. by 2060 from Renewables Carbon-Neutral Energy Perspect.*, pp. 109–132, 2022, doi: 10.55981/brin.562.c7.
- [4] F. A. Khammas, K. Hussein Suffer, R. Usubamatov, and M. T. Mustafa, "Overview of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) is one of the Wind Energy Application," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 793, no. June 2019, pp. 388–392, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.793.388.
- [5] M. A. Mahmood, S. Hastuty, I. Goldasz, and W. Caesarendra, "A Prototype Design of a Vertical Axis Wind Turbine as One of the Renewable Energy Sources in Brunei," *INTENSIF J. Ilm. Penelit. dan Penerapan Teknol. Sist. Inf.*, vol. 8, no. 2, pp. 213–232, 2024, doi: 10.29407/intensif.v8i2.22334.
- [6] H. J. Wagner, "Introduction to wind energy systems," *EPJ Web Conf.*, vol. 189, 2018, doi: 10.1051/epjconf/201818900005.
- [7] A. Aziz, Ardian, Kiryanto, and A. Santosa, Budi, Wibawa, "Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk, Komposisi dan Cacat Pengecoran Paduan Aluminium Flat Bar dan Limbah Kampas Rem dengan Menggunakan Cetakan Pasir dan Cetakan Hidrolik sebagai Bahan Komponen Jendela Kapal," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 05, no. 1, pp. 97–103, 2017.
- [8] G. Jain, T. Sonkar, N. Kumar, N. Kumar, and R. Pant, "A Study of Fiberglass Material with Different Compositions," *SSRN Electron. J.*, no. January 2019, 2019, doi: 10.2139/ssrn.3385381.
- [9] Muhammad Jafari et al, "Material selection for Small Wind Turbine Blades," *Renewable Energy.*, Vol 145, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.06.123
- [10] R. Jeyapragash et al, "Mechanical properties of natural fiber/particulate reinforced epoxy composites – A review of the literature," *Materials Energy : Proceeding.*, Vol 22, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.12.146