

Desain Turbin Angin Sumbu Horisontal Sudu Airfoil NREL S823 dan NREL S823 Sebagai Energi *Alternative* Di Kabupaten Malang

Muhammad Helmi Kurniawan^{1*}, Khusnul Khotimah Ayuningtiyas², Ridho Dwi Syahrial³

¹Universitas Brawijaya, Malang

²Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

³Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

*Penulis Korespondensi, email: mr.helmi.kurniawan@gmail.com

Received:05/01/2023

Revised:21/01/2023

Accepted:24/01/2023

Abstract. Wind Power Plant (PLTA) is an alternative renewable energy source that is environmentally friendly. In this study, the design of an independent power generation system was carried out using a horizontal axis wind turbine. This study aims to make several comprehensive plans to increase the efficiency and efficiency of power plants in several areas, including the selection of wind turbines based on local conditions, material selection, and power optimization, generators for installation. The average wind speed obtained is around 10 m/s. The knife used is a thick airfoil family category for small knives with the NREL S822 and NREL S823 types. The turbine weight obtained from the calculation results is 12.759 kgm/s². This turbine has an alternating current generator, which can convert the potential energy of the wind into mechanical energy to produce direct current (DC) electrical energy, driven by the shaft and pulleys of the wind turbine, which are the successors to the flowing wind rotation. The density of the material used has a significant impact on how the wind turbine rotates. Because of their strength and weather resistance, resin windmill materials are more efficient than other materials.

Keywords: wind power, community service, horizontal, rotation, alternative.

Abstrak. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) merupakan salah satu sumber energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan rancangan sistem pembangkit listrik mandiri dengan menggunakan turbin angin sumbu horizontal. Penelitian ini bertujuan membuat beberapa perencanaan yang komprehensif untuk meningkatkan efikasi dan efisiensi pembangkit listrik di beberapa daerah, antara lain pemilihan turbin angin berdasarkan kondisi setempat, pemilihan material, dan optimalisasi daya, tanaman untuk instalasi. Kecepatan angin rata-rata yang diperoleh sekitar 10 m/s. Bilah sudu yang digunakan yaitu kategori thick-airfoil family for small blades dengan tipe NREL S822 dan NREL S823. Berat turbin yang didapatkan dari hasil perhitungan sebesar 12,759 kgm/s². Turbin ini terdapat generator arus bolak-balik, yang dapat mengubah energi potensial angin menjadi energi mekanik untuk menghasilkan energi listrik searah (DC), digerakkan oleh poros dan katrol turbin angin, yang merupakan penerus putaran angin yang mengalir. Kepadatan bahan yang digunakan memiliki dampak yang signifikan pada bagaimana turbin angin berputar. Karena kekuatan dan ketahanan cuacanya, bahan kincir angin resin lebih efisien daripada bahan lainnya.

Kata Kunci: tenaga angin, pengabdian kepada masyarakat, horisontal, putaran, alternatif.

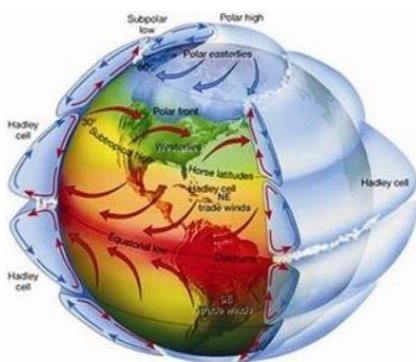
I. PENDAHULUAN

Sulit bagi kita untuk melakukan penelitian dan kajian untuk menemukan sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat karena luasnya wilayah Indonesia dan beragamnya sumber energi alternatif yang dapat digunakan. Pembangkit listrik tenaga

angin merupakan salah satu sumber energi alternatif potensial karena tidak menghasilkan karbon dioksida (CO₂), sulfur dioksida, atau nitrogen oksida, dua gas yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan hujan asam, sehingga relatif bersih dan ramah lingkungan. Menara setinggi seratus tujuh puluh satu kaki (55 m) ini memiliki

berat 16 ton dan tinggi 100 kaki (34 m). Tapi salah satu poros baling-baling pecah pada tahun 1945 [1]. Cadangan minyak Indonesia diperkirakan turun ke level terendah dalam 18 tahun pada tahun 2005 dan 2004, ketika sebanding dengan produksinya. Batubara dan gas, di sisi lain, diperkirakan akan habis masing-masing dalam 147 dan 61 tahun. Sebaliknya, karena terjadi kelangkaan minyak dan gas akibat tingginya permintaan yang tidak sebanding dengan pasokan yang tersedia, hampir setiap negara berlomba-lomba memproduksi listrik dengan menggunakan sumber alternatif [2].

Angin disebabkan oleh perbedaan suhu antara udara hangat dan dingin. Di khatulistiwa, udara hangat mengembang dan menjadi lebih ringan, naik dan berpindah ke lokasi yang lebih dingin. Di sisi lain, kutubnya dingin dan udaranya mendingin dan tenggelam. Jadi sirkulasi udara adalah jenis pergerakan udara di sepanjang permukaan bumi dari kutub utara ke ekuator dan sebaliknya. Pergerakan udara dari khatulistiwa ke kutub utara kembali melalui lapisan udara bagian atas. Angin dapat bergerak secara horizontal atau vertikal dengan kecepatan yang bervariasi secara dinamis. Gerakan angin horizontal disebut adveksi dan gerakan vertikal disebut konveksi. Rotasi bumi juga mempengaruhi angin yang dikenal dengan gaya Coriolis. Sirkulasi angin global dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.

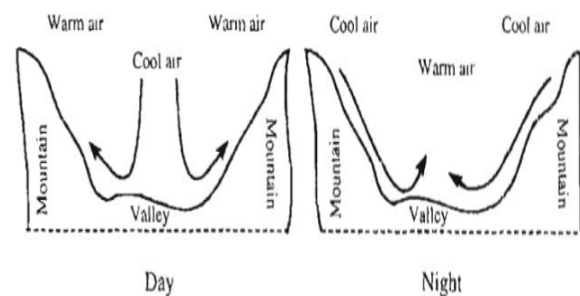


Gambar 1. Siklus Terjadinya Angin Dunia.

Pada gambar 1 di atas, angin pasat di utara khatulistiwa disebut angin pasat timur laut, sedangkan angin pasat di selatan disebut angin pasat. Daerah tempat angin pasat timur laut bertemu dengan angin pasat tenggara di garis lintang 10°N–

10°S adalah area tanpa angin. Daerah di sekitar garis khatulistiwa disebut juga sebagai zona deselerasi atau intra-tropical convergence zone (DKAT). Posisinya tidak tetap, artinya dapat bergerak ke utara atau selatan seiring dengan pergerakan matahari. Namun, terbatas pada daerah hingga 10° S dan 10° N. Angin pasat adalah nama lain untuk angin barat, yang merupakan kebalikan dari angin pasat. Perhatikan kembali gambar 1 di atas: Pergerakan angin ke barat berasal dari daerah subtropis (30°LU dan 30°LS) tekanan maksimum ke wilayah Lingkaran Arktik (sekitar 60°LU dan 60°LS) yang merupakan pusat dari tekanan rendah. Di wilayah sekitar 20°–30° lintang utara dan lintang selatan, angin antipasad kembali turun secara vertikal sebagai angin kering. Angin kering ini kemudian menangkap uap air dari udara dan dari permukaan bumi, sehingga terbentuklah gurun pasir di permukaan bumi. Misalnya gurun Arab Saudi, gurun Afrika dan gurun Australia.

Faktanya, angin memiliki pola aliran udara umum yang disebut angin yang berlaku. Angin di daerah tropis disebut angin perdagangan, di daerah beriklim sedang disebut angin barat, dan di daerah kutub disebut angin kutub. Selain pola umum ini, ada banyak jenis angin lainnya. Angin lokal disebabkan oleh perbedaan tekanan lokal dan juga dipengaruhi oleh gesekan permukaan karena medan, gunung dan lembah, dll. Perbedaan antara siang dan malam disebabkan oleh perbedaan suhu antara siang dan malam. Perbedaan suhu antara daratan dan lautan juga menyebabkan angin. Pusaran antara lembah dan gunung dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini..



Gambar 2. Siklus Angin Antara Lembah dan Pegunungan.

Pada gambar 2 di atas, angin yang bergerak dari gunung ke lembah dan sebaliknya, angin lembah bertiup dari lembah ke gunung. Proses munculnya angin gunung dan angin lembah tidak jauh berbeda dengan munculnya angin darat dan angin laut. Pada pagi hari hingga sekitar pukul 14.00, gunung atau pegunungan menerima panas matahari lebih cepat dibandingkan dengan lembah. Oleh karena itu, pada siang hari suhu udara di pegunungan atau pegunungan lebih tinggi dibandingkan di lembah. Akibatnya tekanan udara di pegunungan relatif lebih rendah (minimum), sedangkan di lembah tekanan udaranya lebih tinggi, sehingga angin bertiup dari lembah ke gunung. Ini disebut angin penarik. Jadi penarik terjadi dari pagi hingga sore hari. Hal sebaliknya terjadi pada sore dan malam hari. Di kawasan lembah, suhu udara masih tergolong tinggi dibandingkan pegunungan atau pegunungan. Akibatnya tekanan udara di lembah menjadi lebih rendah (minimum). Akibatnya, angin bertiup ke arah pegunungan menuju lembah. Ini disebut angin gunung. Suasana dua mata angin ini bisa dirasakan saat berada di kaki bukit atau di pegunungan. Dalam pidato 21 April 2011 di surat kabar online Jakarta Surya Online, Indonesia memiliki garis pantai terpanjang keempat di dunia dengan panjang 95.181 kilometer (km) dan karenanya berpotensi untuk mengembangkan ladang angin. Ada sebuah negara.). Seperti terlihat pada Gambar 2, arus angin muson di wilayah Indonesia memiliki potensi besar untuk dikonversi menjadi sumber energi.

Karena meningkatnya populasi, ekonomi, dan konsumsi energi global, terjadi peningkatan kebutuhan energi, khususnya di Indonesia dan global. Pembangkit Listrik Tenaga Air dan Uap (PLTU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan penyedia energi yang cukup signifikan untuk penyediaan tenaga listrik, khususnya di Jawa, Madura, dan Bali. Sejumlah sumber energi, termasuk energi angin, tersedia di Indonesia. Indonesia memiliki potensi energi angin yang tinggi karena merupakan negara kepulauan dan ekuator. Intinya, angin dihasilkan oleh perbedaan suhu antara udara hangat dan dingin. Udara hangat mengembang dan mencerahkan di

ekuator, naik, dan bergerak ke daerah yang lebih dingin. Sebaliknya, udara tenggelam dan mendingin di daerah kutub yang sangat dingin. Akibatnya, tidak ada pergerakan arus atmosfer dari kutub utara ke ekuator di sepanjang permukaan bumi atau sebaliknya tanpa arus udara yang melewati bagian atas dari ekuator kembali ke kutub utara. Dengan kecepatan angin rata-rata sekitar 3 titik 5-7 m/s, kapasitas tenaga angin Indonesia sudah lebih dari cukup. Kecepatan angin di atas 5 m/s di sejumlah lokasi, antara lain Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan pesisir selatan Jawa, menurut data survei Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dari 120 lokasi. Sumber daya yang sangat hemat biaya diperlukan untuk menghindari penambahan beban pengguna berdasarkan analisis situasi saat ini dan masalah yang ditemukan oleh penelitian. Solusi masalah ini adalah ladang angin.

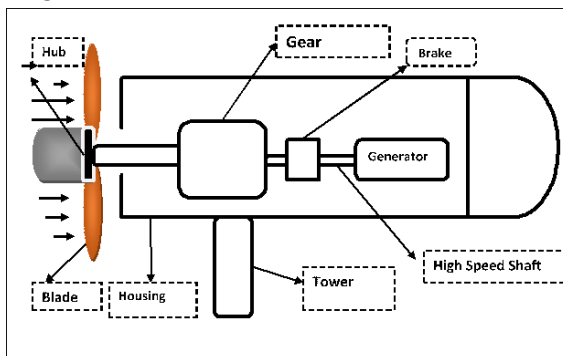
II. METODOLOGI

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif yaitu penelitian kualitatif dan ilmu pengetahuan alam kualitatif, yang menunjukkan bahwa penelitian berkembang secara alami atau apa adanya bukan merusak keadaan dan lebih menekankan pada narasi alam. Peneliti juga menggunakan *metode action research* sebagai tambahan dalam penelitiannya. Para ilmuwan melakukan yang terbaik untuk memecahkan masalah dalam suatu organisasi [3,4].

Wawancara, observasi, dan dokumentasi merupakan teknik pengumpulan data yang digunakan, tergantung dari tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini. Data kemudian diperiksa dengan menggunakan metodologi deskriptif kualitatif. Untuk mencapai tujuan penelitian, fakta-fakta yang ada dianalisis dan disajikan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Langkah-langkah analisis data adalah sebagai berikut: Proses pelaksanaan dan pembuatan kincir angin horizontal menghasilkan energi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga, terutama berdasarkan beberapa faktor yang mendukung efektifitas energi kincir angin yang dihasilkan. a. Dimensi turbin (panjang dan lebar

sudu) b. Kekuatan bahan sumbu, c. Bantalan poros peralatan d. Kecepatan angin merupakan faktor utama yang perlu diperhatikan dalam membangun kincir angin ini. Rumah berkebutuhan khusus dengan daya 400 watt dan mengkonsumsi 200-300 watt per hari atau per hari. Itu sebabnya kami merancang, membangun, dan menguji turbin angin yang menghasilkan daya 200-300 watt tergantung kebutuhan harian.

A. Konsep desain yang akan direncanakan seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3. Konsep Desain Yang Akan Direncanakan.

Komponen Utama.

1. Sudu merupakan bagian penting dari sistem turbin angin sebagai komponen yang berinteraksi langsung dengan angin. Secara umum terdapat dua jenis yaitu turbin angin sumbu horizontal (HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal (VAWT). Kedua tipe tersebut dapat disesuaikan dengan orang yang ingin mengimplementasikannya dan kemampuannya untuk mengimplementasikannya.
2. Generator adalah alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik dapat berupa turbin angin, turbin air, dan turbin uap. Dari turbin dapat memutar poros generator yang dapat menghasilkan energi listrik dari kumparan di dalam generator itu sendiri. Pada awalnya generator masih menggunakan prinsip listrik elektrostatis yaitu H. tegangan tinggi dan arus kecil yang dihasilkan selama putaran.
3. Bagian buritan kincir angina (ekor penagarah) digunakan untuk mengarahkan kincir angin searah dengan arah mata angin. Ukuran sirip

harus sesuai dengan turbin angin sehingga dapat mendorong badan turbin ke arah angin. Penari Langit memiliki sirip berserat dan lengan ekor besi.

B. Dimensi Turbin

Untuk memilih jenis turbin yang tepat untuk kecepatan angin tertentu dan faktor lingkungan, desain turbin perlu mengetahui ukuran dan jenis turbin.

1) Menentukan Dimensi Turbin Angin

Ukuran kincir angin ditentukan oleh rumus daya (P) pada kincir angin, yaitu sebagai berikut:

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad [5] \quad (1)$$

2) Menentukan Rotor Power Coefficient (Cpr)

Teori mesh digunakan untuk menentukan faktor daya rotor untuk rasio rotor tertentu. Ini memungkinkan faktor daya rotor beroperasi pada kecepatan konstan atau variabel pada kecepatan angin tertentu.

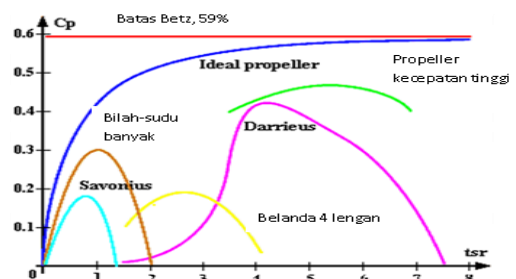
$$C_{pr} = \lambda * C_q \quad [5,6] \quad (2)$$

3) Menentukan Tip Speed Ratio (TSR)

TSR yang lebih tinggi biasanya menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi, tetapi juga menghasilkan lebih banyak kebisingan dan membutuhkan bilah yang lebih kuat dan lebih berat.

$$\Lambda = \frac{(\pi * Dn)}{(60 * v)} \quad [6] \quad (3)$$

Grafik di bawah ini mengilustrasikan bagaimana perbedaan nilai rasio kecepatan puncak dan faktor daya (C_p) dari berbagai jenis turbin angin. Pada grafik di bawah ini, hubungan antara C_{pr} dan TRS digambarkan.

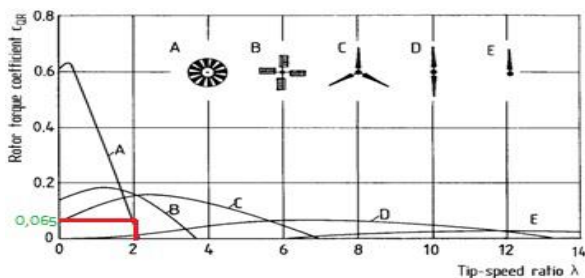


Gambar 4. Hubungan Antara C_{pr} dan TRS

Tenaga roda adalah tenaga yang dihasilkan oleh tenaga fluida poros roda yang melampaui bilah penggilingan. Fisikawan Jerman Albert Betz menyimpulkan bahwa tidak ada turbin yang mampu mengubah energi kinetik fluida dalam bentuk energi menggunakan rotor (kinetik) lebih dari 59,3%. dan Ini dikenal sebagai hukum Betz atau batas Betz. Batasan ini tidak ada hubungannya dengan ketidak efisienan generator, tapi lebih kepada turbin angin itu sendiri. Hubungan antara diagram Betz dan roda turbin angin adalah seberapa besar Power Factor (C_p) dan Typical Speed Ratio (TSR) yang dapat dihasilkan oleh turbin angin yang seharusnya. Diagram Betz ini adalah diagram yang dipelajari Menggunakan aliran fluida, yaitu angin sebagai medianya, dalam penelitian ini Aliran fluida adalah air sebagai mediumnya.

4) Menentukan Rotor Torque Coefficient (C_q)

Seperti terlihat pada gambar di bawah ini, torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin digunakan untuk menentukan faktor torsi rotor (C_q).



Gambar 5. Beberapa Efisiensi Rotor Turbin Angin.

Aspek terpenting dari kinerja turbin angin adalah torsi rotor dan faktor daya. Ini menunjukkan berapa banyak energi yang telah berhasil diekstraksi dari rakitan rotor turbin. Secara teoritis, faktor daya maksimum yang dapat dicapai dari sebuah turbin angin adalah 59,26%. Ini hasil dari teori momentum dasar Betz, yang menjelaskan bagaimana energi angin dapat diubah menjadi bentuk energi lain. Perbandingan nilai energi mekanik akibat putaran rotor dan energi mekanik angin yang melewati rotor. Umpan mekanis rotor adalah torsi daya variabel dan kecepatan putaran rotor.

C. Kekuatan Poros Turbin

Komponen utamanya adalah motor, yang juga meliputi lintasan yang berfungsi sebagai dudukan besi, dan roda yang merupakan penghubung utama dalam proses dimana motor listrik sebelumnya mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Untuk menopang beban tambahan pada turbin jenis ini, poros dipasang secara vertikal.

Perhitungan diameter poros:

$$Pd = fcP$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \left(\frac{Pd}{n}\right) \quad [6] \quad (4)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Daya Rencana.

Daya rencana diperhitungkan dengan asumsi sebagaimana di atas, serta lama operasi turbin angin adalah 12 jam dengan mempertimbangkan kecepatan angin yang fluktuatif.

B. Pemilihan jenis bilah sudu.

Perhitungan mencari diameter rotor turbin angin.

$$P_{\max} = \eta_g \eta_b \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A_r \cdot V_i^3 \quad [7] \quad (5)$$

Diketahui :

$$\eta_g = \text{Eff.g} = 0,8$$

$$\eta_b = \text{Eff.b} = 0,9$$

$$C_p = 0,35$$

Maka :

$$P_{\max} = \eta_g \eta_b \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A_r \cdot V_i^3$$

$$530 = (0,8) \cdot (0,9) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,35\right) \cdot (1,1782) \cdot (A_r) \cdot (10^3)$$

$$530 = (148453) \cdot (A_r)$$

$$A = 35,701$$

$$D = \sqrt{A/0,785} \quad (6)$$

$$= \sqrt{35,701/0,785}$$

$$= \sqrt{45,478}$$

$$= 6,7437$$

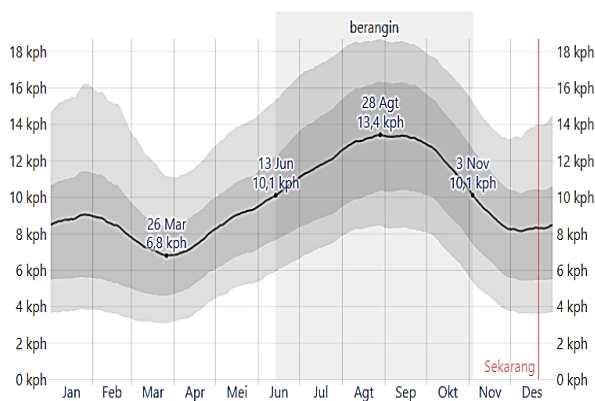
$$R = D/2 \quad (7)$$

$$= 6,7437/2$$

$$= 3,37185$$

Vektor angin (kecepatan dan arah) pada 10 meter di atas permukaan tanah untuk seluruh dunia dijelaskan pada bagian ini. Topografi lokal dan faktor lainnya memainkan peran penting dalam

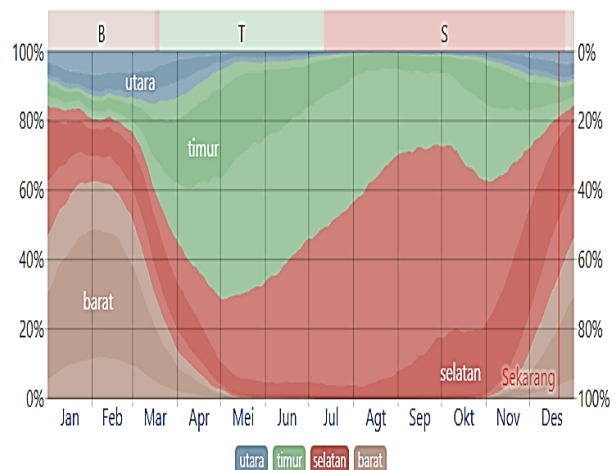
menentukan angin yang ada di lokasi tertentu, dan kecepatan serta arah angin waktu nyata dapat berbeda secara signifikan dari rata-rata per jam. Malang mengalami variasi musim yang signifikan dalam kecepatan angin sepanjang tahun. Dari tanggal 13 Juni hingga 3 November yang merupakan periode 4 koma 7 bulan, angin rata-rata lebih dari 10 koma 1 kilometer per jam. Dengan kecepatan angin rata-rata 13.2 km/jam, September adalah bulan paling segar di Malang. Musim panas berlangsung dari 3 November hingga 13 Juni dan berlangsung selama 7+3 bulan. Maret memiliki kecepatan angin rata-rata 7,1 kilometer per jam, menjadikannya bulan paling berangin di Malang. Kecepatan angin 10 m/s berdasarkan volume rata-rata yang digunakan dalam penelitian ini dan berdasarkan data kecepatan angin di Kota Malang [8]. Grafik di bawah ini menunjukkan kecepatan angin Malang secara bulanan.



Gambar 6. Kecepatan angin rata-rata per jam untuk persentil 25–75 dan 10–90% (garis abu-abu gelap).

Pada gambar 6 di atas, bagian ini mencakup vektor angin rata-rata per jam berdasarkan wilayah dalam jangkauan (kecepatan dan arah) 10 meter di atas tanah. Angina Pengalaman di lokasi tertentu sangat bergantung pada topografi setempat dan faktor lainnya, baik kecepatan maupun arah angin sangat seketika menyimpang dari rata-rata per jam. Arah angin yang berlaku adalah selatan selama 5,5 bulan, dari 16 Maret hingga 19 Maret, dan 3,0 hari; 11 Juli - 25 Desember, 27 September 73% maks. Selama 3,7 bulan, mayoritas keuntungan tak terduga datang dari timur pada 19 Maret dan 11 Juli, mencapai 67% pada 11 Mei. Dari 25 Desember

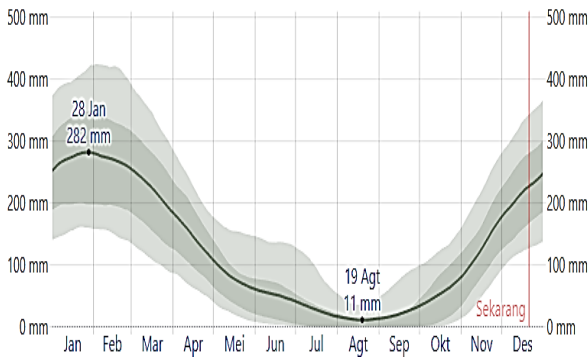
hingga 16 Maret, saat angin berada pada titik terkuatnya (hingga 48 persen), arah angin terbaik selama 2,7 bulan adalah ke arah barat. Grafik di bawah ini menggambarkan arah angin di Malang.



Gambar 7. Arah Angin di Malang

Secara topografi, Kabupaten Malang merupakan daerah dataran rendah berbukit, rawa, dataran atau Berbukit dan sedikit bergunung-gunung, tingginya sedang kira-kira 1000 meter di atas permukaan laut. Kondisi ini memberikan keuntungan untuk petani. Keadaan tanah relatif subur dan umumnya Struktur tanahnya arganosol, lengket, aluvial, hidromorfik abu-abu, podzol kuning-merah, lithosol dan regosol. jenis tanah Arganosol tersebar luas di rawa-rawa dan dataran rendah terkait dengan humus Semakin jauh dari tepi sungai, semakin tebal materialnya gambut dan dikenal sebagai gambut ombrogenik. Perbedaan waktu antara arah angina rata-rata di empat arah mata angin. Ketika kecepatan angin rata-rata kurang dari 1,6 km/jam, kemacetan lalu lintas tidak termasuk. Jumlah waktu yang dihemat di tengah (timur laut, tenggara, barat daya, barat laut) ditunjukkan oleh area lampu tepi. Periode aliran 31 hari yang ditentukan untuk hari itu berisi pita 25 hingga 75 dan 10 hingga 90, di mana presipitasi rata-rata (garis padat) terakumulasi. Curah salju rata-rata yang ditunjukkan dengan garis putus-putus tipis. Gambar di bawah menunjukkan jumlah curah hujan yang turundi Kota Malang setiap bulannya. Gambar 8 dibawah merupakan curah hujan rata-rata (garis tebal) terakumulasi selama periode bergeser selama 31 hari yang

berpusat pada periode bergeser nya kondisi curah hujan.



Gambar 8. Rata-rata Curah Hujan Bulanan di Malang

Sub-bagian ini menampilkan 31 hari curah hujan kumulatif untuk setiap hari dalam setahun untuk mengilustrasikan variabilitas bulanan dari total bulanan bisa dilihat pada gambar 8 diatas. Curah hujan bulanan di Malang sangat bervariasi tergantung musim. Di Malang, hujan turun setiap tahun. Dengan curah hujan rata-rata hanya 274 mm, Januari adalah bulan terkering di Malang. Dengan curah hujan rata-rata hanya 11mm, Agustus merupakan bulan terkering di Malang. tentukan jumlah sudu kincir angin tersebut. Gambar di bawah menunjukkan berapa lembar yang dibutuhkan, atau berapa lembar yang diperlukan untuk menambah jumlah lembar.



Gambar 9. Sudu Berdasarkan Jumlah Sudu Atau Blade.

Turbin angin dibagi menjadi dua jenis yang paling umum adalah sumbu horizontal dan vertikal. Pada turbin sumbu horizontal, bilah berputar di sekitar sumbu yang sama sejajar dengan tanah. Meskipun sumbu vertikal memiliki sudut berputar sejajar dengan bumi. Turbin angin sumbu horizontal turbin angin sumbu horizontal memiliki sumbu

putar yang sejajar dengan tanah dan sumbu putar rotornya melawan arah angin. Komponen utama turbin angin sumbu horizontal terdiri dari sudu, tailplane, tower dan generator. Berdasarkan posisi rotor melawan arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibagi menjadi dua jenis, yaitu: 1. Angin sakal 2. Angin. Turbin angin tipe updraft memiliki rotor yang mengarah ke bawah, sedangkan turbin angin tipe downdraft memiliki rotor yang mengarah ke bawah. Turbin angin sumbu vertikal turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin angin buatan manusia yang pertama. Awalnya, putaran rotor hanya memanfaatkan efek *magnus*, yang disebabkan oleh gaya tarik diferensial di kedua sisi rotor atau sudu, menghasilkan torsi terhadap sumbu rotasi rotor. Turbin angin vertikal atau yang lebih dikenal memiliki ciri utama yaitu adanya sumbu yang tegak lurus dengan arah aliran angin atau tegak lurus dengan permukaan bumi.

$$\Omega = \frac{\pi \cdot n}{60} \quad [9] \quad (8)$$

$n = 600 \text{ rpm}$, maka :

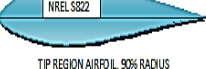
$$\Omega = \frac{3.14 \times 600}{60} = 31,4 \text{ rad/sec} \quad (9)$$

$$U_R = \Omega \cdot R = 31,4 \times 3,37185 = 9,31239$$

$$\lambda = \frac{U_R}{V_\infty} = \frac{9,31239}{10} = 0,9312 \quad (10)$$

C. Geometri Bilah Sudu.

Dengan mengacu pada tabel karakteristik *airfoil* NREL. Berdasarkan hasil perhitungan panjang bilah dan daya generator diperoleh *blade* kategori *thick-airfoil family for small blades* dengan tipe NREL S822 dan NREL S823 [10]. Spesifikasi desain sudu atau blade bisa dilihat pada gambar grafik dibawah ini.

No	Nama dan nomor	Spesifikasi Desain				
		r/R	Re	t/c	C _{lmax}	C _{dmin} C _{mo}
1	Thick-Airfoil Family for Small Blades (low tip C _{Lmax}).					
1a	 TIP REGION AIRFOIL, 90% RADIUS	0,9	0,6x10 ⁶	0,160	1,0	0,010 -0,07
1b	 ROOT REGION AIRFOIL, 90% RADIUS	0,40	0,4 x10 ⁶	0,210	1,2	0,018 -0,15

Gambar 10. Spesifikasi Desain Sudu Atau Blade.

D. Menghitung spesifikasi desain family NREL

Diperoleh c untuk NREL tipe:

Perhitungan dan spesifikasi desain sudu Atau blade bisa dilihat pada gambar tabel dibawah ini.

$$S822 = (0.04446 + 0.051009) / 2 \\ = 0.0477 \text{ m} = 47,7 \text{ mm}$$

$$S823 = (0.290707+0.0394883)/2 \text{ m} \\ = 0,1650\text{m}=165 \text{ mm}$$

Chord	π	Φ	$\sin \phi$	A	B	R (m)	R (%)
0.034618	3.1	9.357	0.162586	4	3	1.83084	100
0.039084	3.1	9.954	0.172857	3.8	3	1.708784	93.333
0.04446	3.1	10.63	0.184466	3.5	3	1.586728	86.667
0.051009	3.1	11.4	0.197692	3.3	3	1.464672	80
0.063962	3.1	13.32	0.230423	3	3	1.342616	73.333
0.075366	3.1	14.53	0.250954	2.8	3	1.22056	66.667
0.090009	3.1	15.98	0.275218	2.5	3	1.098504	60
0.109176	3.1	17.71	0.304199	2.3	3	0.976448	53.333
0.134827	3.1	19.83	0.339231	2	3	0.854392	46.667
0.169991	3.1	22.46	0.382038	1.8	3	0.732336	40
0.219447	3.1	25.77	0.434807	1.5	3	0.61028	33.333
0.290707	3.1	30	0.5	1.3	3	0.488224	26.667
0.394883	3.1	35.42	0.579566	1	3	0.366168	20
0.543366	3.1	42.29	0.672883	0.8	3	0.244112	13.333
0.702419	3.1	50.64	0.773199	0.5	3	0.122056	6.667

Gambar 11. Spesifikasi Desain Family NREL

Thick (t)

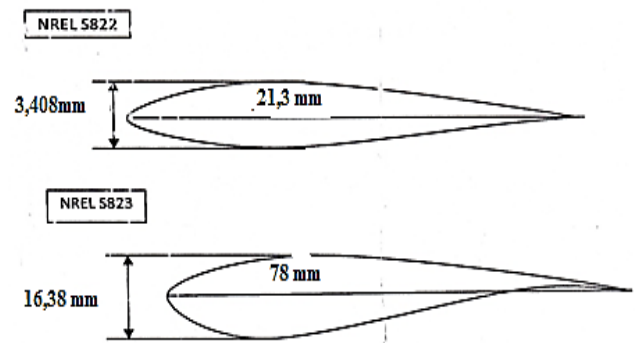
T untuk NREL tipe:

$$S822 = c \times (t/c) \quad (11) \\ = 47,7 \times 0.16 \\ = 7,632 \text{ mm}$$

$$S823 = c \times (t/c) \quad (12) \\ = 16,5 \times 0.21 \\ = 3,465 \text{ mm}$$

E. Gambar Model.

Model NREL bisa dilihat pada gambar 12 dan bentuk dan ukuran blade dilihat pada gambar 13 dibawah ini.



Gambar 12. Model NREL.

Sayap ini dirancang untuk memiliki nilai maksimal yang sebagian besar terhadap kekasaran. Hal ini terjadi sangat dekat dengan *leading edge* sebelum transisi lapisan batas laminar ke turbulen pada permukaan hisap *airfoil* mencapai nilai maksimum, kondisi bersih yang rendah karena aliran laminar yang diperpanjang. dicapai dengan memastikan bahwa pada mereka. *Blade* di daerah ujung biasanya memiliki aliran laminar hampir 50% di sisi hisap dan lebih dari 60% aliran laminar pada sisi tekanan. Sebaliknya, pilihan bilah yang disukai dari koleksi NREL yang dihasilkan tergantung pada apakah turbin dikendalikan oleh suatu lembaga tertentu, *pitch blade* variabel, atau kecepatan rotor variabel. Desain yang seragam tidak dapat digunakan karena persyaratan yang bervariasi dari hub hingga ujung sayap. Memvariasikan persyaratan aerodinamis sepanjang rentang sayap diperhitungkan dengan menentukan berbeda *lift and drag coefficients* (hence different wing sections along the length). Untuk turbin kontrol, maksimum terbatas dirancang khusus untuk turbin dengan rendah nilai ujung pisau maksimum. Ciri khas dari sayap ini adalah rasio ketebalan terhadap akor yang cukup besar dari bilah, terutama di daerah akar, yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan struktural kekakuan sayap dan tegangan lentur akar yang tinggi.

Diperoleh c untuk NREL tipe:

$$S822 = (0,0196 + 0,0231) / 2 \\ = 0,0213 \text{ m} \\ = 21,3 \text{ mm}$$

$$S823 = (0.0671+0.0889)/2 \\ = 0,078 \text{ m}$$

$$= 78 \text{ mm}$$

Thick (t)

T untuk NREL tipe:

$$S822 = c \times (t/c) \quad (13)$$

$$= 21,3 \times 0.16$$

$$= 3,408 \text{ mm}$$

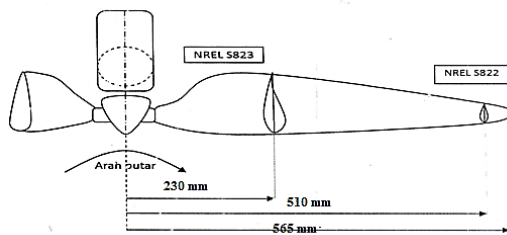
$$= 0,3408 \text{ cm}$$

$$S823 = c \times (t/c) \quad (14)$$

$$= 78 \times 0.21$$

$$= 16,38 \text{ mm}$$

$$= 1,638 \text{ cm}$$

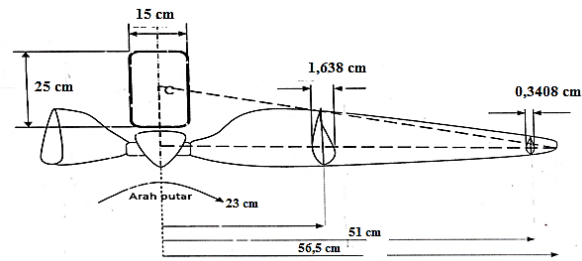


Gambar 13. Bentuk Dan Ukuran Blade.

Turbin angin kecil biasanya menggunakan *airfoil* dengan panjang bilah tunggal, yang berkontribusi pada efisiensinya yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin angin yang lebih besar. Oleh karena itu, *airfoil* campuran diusulkan untuk meningkatkan kinerja karena *airfoil* memiliki rasio koefisien gaya angkat dan tarik tertinggi untuk ketebalan tertentu. *Airfoil* yang lebih tebal diperlukan di sekitar akar untuk menahan momen yang lebih tinggi, sedangkan *airfoil* yang lebih tipis diperlukan di sekitar ujung bilah untuk meningkatkan daya angkat *aerodinamis*. Oleh karena itu lebih baik menggunakan *airfoil* yang berbeda pada posisi *radial* yang berbeda sesuai dengan variasi ketebalannya pada rotor. Oleh karena itu, seri S823 dan NREL S822 dirancang untuk turbin angin kecil (panjang 1-5m dan daya 2-20kW) dan bekerja dengan baik pada tepi depan yang kasar. Penampang persegi panjang dipilih sebagai pelat penyangga ketiga, yang digunakan di bagian akar untuk menyambungkan bilah dengan benar ke pelat hub.

F. Berat Turbin.

Berikut ini desain rancangan turbin beserta perhitungan berat turbin:



Gambar 14. Ukuran Turbin dan Generator

National Renewable Energy Laboratory di Golden, Colorado telah mengembangkan tujuh bagian bilah yang maju secara aerodinamis menggunakan kode desain dan analisis bilah Eppler yang cocok untuk banyak jenis HAWT. Fitur desain penting dari semua *airfoil* ini adalah untuk mempertahankan koefisien angkat maksimum terkontrol yang relatif tidak sensitif terhadap efek kelembaban dalam pitch variabel yang dikontrol dan operasi turbin angin kecepatan variabel. Hasilnya, *airfoil* seri NREL telah diadaptasi hampir sempurna untuk lingkungan operasi CPWPRC dan terbukti lebih efisien daripada *airfoil* sebelumnya, baik di laboratorium maupun di lapangan. 23% - 35% untuk turbin. Peningkatan tersebut diverifikasi dalam uji lapangan.

Diketahui:

$$\text{Alas (a)} = 56,5 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi (t)} = 51 \text{ cm}$$

$$\text{LebarA (IA)} = 1,638 \text{ cm}$$

$$\text{LebarB (IB)} = 0.3408 \text{ cm}$$

G. Volume turbin

Persamaan yang digunakan untuk mencari volume turbin adalah sebagai berikut:

$$L = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t \quad (10)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 56,5 \cdot 51$$

$$= 1440,75 \text{ cm}^2$$

$$IAB = IA + IB / 2$$

$$= 1.638 + 0.3408 / 2$$

$$= 0.9894 \text{ cm}$$

$$V = L \cdot IAB$$

$$= 1440,75 \times 0.9894$$

$$= 1425,47 \text{ cm}^3$$

Densitas sudu atau *blade* yang terdiri dari campuran *material fiberglass* dan *resin*.

Typical fiberglass = 2.6 g/cm^3

Typical resin = 1.3 g/cm^3

Diasumsikan dalam 100 g komposit, 45 g fiber dan 55 g resin.

Menentukan volume:

$$\begin{aligned}\text{Resin} &= \frac{55 \text{ g}}{1.3 \text{ g/cm}^3} \\ &= 42,307 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fiber} &= \frac{45 \text{ g}}{2.6 \text{ g/cm}^3} \\ &= 17,30 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Total material = $42,307 + 17,30 = 59,60 \text{ cm}^3$

Karena sudu yang digunakan berjumlah 3 buah, maka:

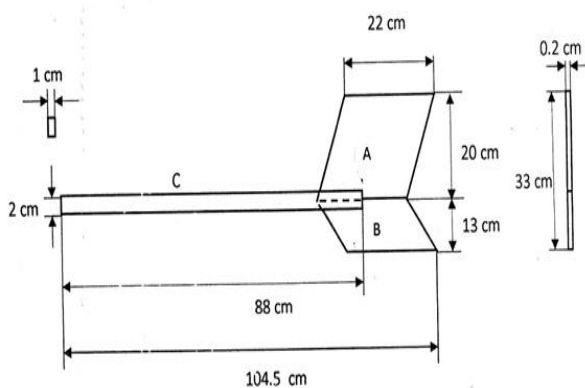
$$\begin{aligned}W_{\text{sudu total}} &= 2,2533 \text{ kgm/s}^2 \times 3 \\ &= 6.7599 \text{ kgm/s}^2\end{aligned}$$

Berat motor 99 VDC (generator) adalah 5.97 kg. Jadi, berat turbin bagian depan adalah:

$$\begin{aligned}W_{\text{turbin total}} &= W_{\text{sudu total}} + W_{\text{generator}} \\ &= 6.7599 \text{ kgm/s}^2 + 5.97 \text{ kg} \\ &= 12,759 \text{ kgm/s}^2\end{aligned}$$

H. Ekor Pengarah

Bahan tail (ekor) menggunakan material aluminium atau plat mika yang mempunyai kekuatan bahan material yang kuat dan ulet serta pencarian bahan materialnya mudah di dapatkan di pasaran dan serta harga terjangkau. Desain tail bisa dilihat pada gambar 15 dibawah ini. Kekuatan tarik (σ_t)



Gambar 15. Desain Tail (ekor) Tampilan Samping.

Ekor dan arah bertindak sebagai pengatur arah sumbu rotor. Pada umumnya tail unit didesain sedemikian rupa sehingga sumbu rotor selalu searah dengan arah angin. Ini memaksimalkan kekuatan angin yang dapat diserap oleh baling-baling. Sistem navigasi biasanya dirancang untuk perlindungan kecepatan yang terlalu tinggi (*overspeed*). Pada kondisi dimana kecepatan angin lebih besar dari kecepatan angin rencana (nominal), maka kecepatan putar atau kecepatan baling-baling dan generator akan melebihi kecepatan rencana, sehingga terjadi *overspeed*. Kondisi ini tidak diinginkan karena dapat merusak sudu dan generator. Oleh karena itu, sistem kontrol dirancang sedemikian rupa sehingga jika kecepatan angin melebihi nilai angin, buritan dan haluan akan mulai berputar. Pada kondisi tersebut, kecepatan angin efektif yang diterima sudu dikurangi untuk menghindari kecepatan berlebih.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Turbin angin mengikuti perputaran udara yang bergerak, sehingga turbin angin dapat berputar, mengubah energi angin menjadi energi mekanik untuk menggerakkan poros dan menggerakkan puli pada alternator yang menghasilkan arus searah (DC). Kecepatan angin rata-rata yang diperoleh sekitar 10 m/s. Putaran kincir angin tergantung pada kecepatan angin, semakin tinggi angin maka semakin cepat putaran angin. Hasil dari perancangan turbin angin horizontal adalah bagian pemasangan yang khusus menggunakan lembaran logam. Kepadatan material yang digunakan sangat mempengaruhi putaran turbin angin. Bahan kincir angin resin lebih efektif dibandingkan bahan lainnya karena lebih kuat dan tahan lama terhadap cuaca. Bilah sudu yang digunakan yaitu kategori *thick-airfoil family for small blades* dengan tipe NREL S822 dan NREL S823. Berat turbin yang didapatkan dari hasil perhitungan sebesar 12,759 kgm/s². Untuk sistem maju dan mundur sederhana, seperti sistem putar tanpa pegas atau peredam kejut, mereka dapat digunakan dalam turbin angin 50kW ketika jarak eksentrisitasnya 10 cm. Pengontrol sudut belakang dipilih untuk posisi penghubung antara generator dan transom.

REFERENSI

Eng., no. January, pp. 279–286, 2021, doi:
10.1007/978-981-15-8304-9_20.

- [1] A. Pudjanarsa and D. Nursuhud, *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: CV Andi Offset, 2006.
- [2] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*. Jakarta: Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2006. [Online]. Available: https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Blueprint_PEN_tgl_10_Nop_2007.pdf
- [3] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Energi Hijau)*. Indonesia, 2004. [Online]. Available: <https://jdih.esdm.go.id/peraturan/kepmen-0002-2004.pdf>
- [4] A. Sani, “Library Automation Management System Based On Open Source Senayan Library Management System (SLIMS) (Case Study of the Library of H. Bata Ilyas STIE Amkop Makassar),” *J. Manag. Bus.*, vol. 1, no. 1, pp. 46–65, 2017, [Online]. Available: <http://www.journal.stieamkop.ac.id/index.php/seiko/article/view/72%0Ahttp://www.journal.stieamkop.ac.id/index.php/seiko/article/download/72/72>
- [5] W. Frost and A. Carl, “Characteristics of the Wind,” in *Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts in Wind Turbine Engineering*, Second., ASME Press, 2009, p. 75. doi: <https://doi.org/10.1115/1.802601.ch8>.
- [6] Sularso and S. Kiyokatsu, *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1997.
- [7] M. H. Kurniawan, “Studi Eksperimental Kincir Air Breastshot Menggunakan Nozzle Dengan Sistem Bendungan (Overflow Dams),” Universitas Brawijaya, 2021.
- [8] Weather Spark, “Iklim dan Cuaca Rata-Rata Sepanjang Tahun di Malang,” *Weather Spark*. <https://id.weatherspark.com/y/124638/Cuaca-Rata-rata-pada-bulan-in-Malang-Indonesia-Sepanjang-Tahun> (accessed Jan. 05, 2023).
- [9] M. H. Kurniawan, R. Soenoko, W. Winarto, and A. Sunarso, “Studi Eksperimental Performance Kincir Air Breastshot dengan Menggunakan Nozzle,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 3, pp. 633–642, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.03.13.
- [10] K. U. Reddy, B. Deb, and B. Roy, “Analysis of the aerodynamic characteristics of nrel s823 and du 06-w-200 airfoils at various reynolds numbers using qblade,” *Lect. Notes Mech.*