

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SUMBU HORIZONTAL SEBAGAI ENERGI LISTRIK ALTERNATIF DI AREA TAMBAK DESA JAMBO TIMU

Dani AUFAR¹, Fauzan², Yaman³

^{1,2,3} Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: daniaufar8@gmail.com, ozan.pnl@gmail.com, yaman_gayo@gmail.com

ABSTRAK

Saat ini genset dan PLN menjadi sumber energi listrik bagi para petani tambak di Desa Jamboe Timu dalam memenuhi kebutuhan beban listrik di area tersebut. Namun, kondisi alam di area tambak cenderung memiliki potensi angin yang besar karena terletak di daerah terbuka yang terkena pengaruh langsung dari angin laut. Hal ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik alternatif yang ramah lingkungan serta sebagai penerapan manajemen energi agar angin tidak terbuang sia-sia. Dalam penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah pembangkit listrik tenaga angin menggunakan turbin angin sumbu horizontal sebagai energi listrik alternatif di kawasan tambak. Metode yang digunakan yaitu dengan mengukur potensi angin di kawasan tambak, selanjutnya menguji putaran dan tegangan generator, setelah itu melakukan tahapan perancangan dimulai dari blade, as turbin, menentukan gear transmisi hingga tiang penyangga. Hasil dari desain didapati jari-jari blade 0,8 meter dan gear transmisi dengan rasio 1 : 5, dengan hasil rancangan tersebut maka didapati hasil perhitungan kecepatan turbin sebesar 967,5 rpm, daya turbin pada kecepatan angin tertinggi sebesar 60,28 watt dan torsi turbin sebesar 2,13 Nm.

Kata-kata kunci: Turbin, Angin, Gear, Daya, Torsi

I. PENDAHULUAN

Desa Jambo Timu yang terletak di Kecamatan Blang Mangat, Kota Lhokseumawe merupakan sebuah desa yang berada di kawasan pesisir, sebagian besar penduduk di kawasan tersebut bermata pencaharian sebagai nelayan dan juga mengelola tambak. Tambak di daerah ini umumnya membudidayakan ikan serta udang.

Sistem budidaya saat ini dilakukan secara konvensional dan intensif, intensif yang digunakan dapat berupa penggunaan kincir air sebagai produksi oksigen terlarut pada tambak, serta penerangan untuk memudahkan pekerjaan pemilik tambak saat malam hari. Penerangan juga sangat erat kaitannya terhadap penglihatan ikan, berkurangnya cahaya penerangan akan menyebabkan berkurangnya jarak penglihatan ikan sehingga mempersulit ikan dalam mencari makan untuk kebutuhan hidupnya. Adanya cahaya secara positif dapat mempengaruhi laju konsumsi makan ikan sehingga dapat merangsang pertumbuhannya[1]. Oleh sebab itu, upaya dalam mengelola tambak secara intensif mampu meningkatkan produktivitas hasil tambak, akan tetapi upaya ini sangat membutuhkan energi listrik yang besar[2].

Saat ini genset dan PLN menjadi sumber energi listrik bagi para petani tambak di Desa Jamboe Timu dalam memenuhi kebutuhan beban listrik di area tersebut. Namun, kondisi alam di area tambak cenderung memiliki potensi angin yang besar karena terletak di daerah terbuka yang terkena pengaruh langsung dari angin laut. Hal ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik alternatif yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan serta sebagai

penerapan manajemen energi agar angin tidak terbuang sia-sia.

Penelitian ini dilakukan guna mengetahui rancangan dari turbin angin, daya yang dihasilkan turbin angin serta besar torsi yang mampu dihasilkan turbin.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan angin sebagai sumber energi. Energi angin merupakan salah satu bentuk dari energi kinetik yang mampu menggerakkan sudu dari turbin angin untuk menghasilkan energi mekanik terhadap generator. Generator yang telah berputar mampu mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik berdasarkan putaran yang di dapat serta kapasitas dari generator itu sendiri.

B. Energi Angin

Angin merupakan salah satu unsur yang dapat mempengaruhi kondisi cuaca serta iklim disekitarnya. Angin ialah pergerakan udara yang disebabkan adanya perbedaan tekanan udara yang mengakibatkan adanya hembusan atau tiupan disuatu tempat atau daratan[3].

Pemanfaatan energi angin dalam menghasilkan energi listrik memiliki dua tahapan konversi yaitu :

- Tekanan yang dihasilkan angin menggerakkan kincir yang menyebabkan rotor berputar sesuai dengan kecepatan angin.
- Putaran yang dihasilkan rotor dihubungkan dengan generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Dengan demikian energi angin merupakan energi kinetik atau energi yang disebabkan oleh kecepatan angin yang dimanfaatkan untuk memutar sudu-sudu kincir angin[4].

C. Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal mempunyai sumbu putar yang terletak sejajar dengan permukaan tanah dan sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin. Komponen utama turbin angin sumbu horizontal meliputi: sudu (*blade*), ekor (*tail*), tiang penyangga (*tower*), dan alternator. Berdasarkan letak rotornya terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu turbin angin sumbu horizontal tipe *Upwind* dan *Downwind*. Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin, sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang membelakangi arah datang angin[5].

Sudu yang ideal berjumlah tiga buah sudu-sudu karena menghasilkan pembagian gaya dan keseimbangan yang lebih baik[6]. Untuk mencari luasan blade dapat menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Luas blade} = \frac{1}{2} (s_1 + s_2) \times t \quad (1)$$

Keterangan :

S1 = lebar pangkal blade

S2 = lebar ujung blade

t = Tinggi blade

Sedangkan ekor turbin angin berfungsi mengarahkan turbin angin menghadap arah angin, ukuran ekor perlu disesuaikan dengan luas dari turbin angin yang digunakan sehingga mampu mendorong badan turbin ke arah angin. Untuk mencari luas ekor digunakan Persamaan 2.

$$\text{Luas ekor} = \text{Luas blade} \times \text{Jumlah blade} \quad (2)$$

Putaran dari turbin angin sendiri, dipengaruhi oleh kecepatan angin serta diameter dari ukuran perancangan turbin. Untuk mencari nilai kecepatan dari turbin kita dapat melihat dan menghitung dari persamaan yang terdapat pada Persamaan 3.

$$n = 60 \frac{\lambda \cdot v}{\pi \cdot d} \quad (3)$$

Keterangan :

λ = tip speed ratio

d = diameter rotor (m)

n = putaran rotor (rpm)

v = kecepatan angin (m/s)

Untuk mendapatkan daya efektif dari angin yang mungkin dihasilkan dari suatu turbin dapat menggunakan Persamaan 4 [4].

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A \cdot C_p \quad (4)$$

Keterangan :

P= daya (watt)

Cp = Koefisien turbin

A= luas penampang (m^2) = $\pi \cdot r^2$

v= kecepatan angin (m/s)

ρ = kerapatan udara (kg/m^3)

r = jari- jari turbin

D. Rantai dan Sprocket

Rantai merupakan suatu elemen mesin yang berfungsi memindahkan daya dan putaran dari poros penggerak ke poros yang akan digerakan. Bila jarak antara dua poros relatif dekat maka dapat digunakan roda gigi tetapi apabila jarak antara kedua poros relatif jauh, maka pemindahan daya dapat dilakukan dengan menggunakan rantai.

Untuk memindahkan daya dan putaran yang besar antara dua poros yang cukup terlalu jauh, maka rantai adalah elemen mesin yang tepat untuk digunakan.

Untuk Menghitung nilai RPM output dari transmisi diatas maka dapat menggunakan Persamaan 5.

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (5)$$

Keterangan :

Z1 = Roda Penggerak

Z2 = Roda yang digerakkan

n = Putaran

T = Torsi

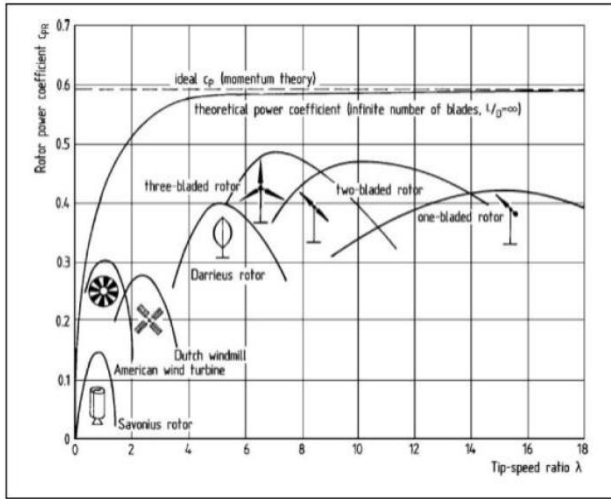
E. Tip speed ratio

Tip speed ratio adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas, untuk kecepatan angin nominal tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor, turbin angin tipe lift akan memiliki tip speed ratio yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe drag. Elemen dasar pada kurva daya rotor adalah *power coefficient* (C_p) yang merupakan fungsi dari *tip speed ratio* untuk semua spesifikasi turbin atau mesin angin. Pada beberapa sumber buku *power coefficient* didefinisikan sebagai rotor *power coefficient* (C_{PR}), sehingga besarnya nilai CP dan CPR adalah sama. Pada penampang *blade* terdapat sudut serang (*angle of attack*) dan sudut *pitch blade*. Sudut serang adalah parameter aerodinamik dan sudut *pitch blade* adalah untuk parameter desain.

Menurut teori momentum pada *blade* (teori Betz's), terkait distribusi gaya aerodinamik sepanjang *blade*. Terdapat dua komponen, yaitu: satu pada bidang putaran rotor yang dinamakan dengan distribusi gaya tangensial, dan satu lagi adalah distribusi gaya dorong.

Pada dasarnya besar tekanan yang terjadi antara pangkal (*top*) dengan ujung (*tip*) blade adalah berbeda. Dengan mengetahui sudut *pitch blade*, dapat ditentukan besarnya lebar *blade*. Besarnya lebar *blade* merupakan

fungsi dari sudut *pitch* dan *tip speed ratio*. Pada prosesnya, setiap *blade* memiliki lapisan angin tertentu. Untuk jari-jari yang kecil, jumlah angin yang melapisi *blade* tentu akan lebih kecil[7].



Gbr. 1 Kurva hubungan *tip speed ratio* terhadap *power coefficient* pada berbagai jenis turbin.

Torsi pada turbin angin akan meningkat pada kecepatan angin yang sama apabila sudu daripada turbin semakin dibesarkan. Apabila torsi semakin besar, maka daya yang diserap oleh turbin angin pun semakin besar. Untuk menghitung torsi turbin angin dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 6[8].

$$T = \frac{v^2 \cdot r^3}{\lambda} \tag{6}$$

Keterangan :

- T = Torsi
- v = Kecepatan angin
- r = jari-jari turbin
- λ = Tip speed ratio

F. Generator DC

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC / arus searah. Generator DC dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan dari rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (anker), jenis generator DC yaitu :

- Generator penguat terpisah
- Generator shunt
- Generator kompon.

Generator DC terdiri dua bagian, yaitu stator, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.

Bagian yang harus menjadi perhatian untuk perawatan secara rutin adalah sikat arang yang akan memendek dan harus diganti secara periodic / berkala. [9].

III. METODOLOGI

A. Data Kecepatan Angin

Pengujian kecepatan angin dilakukan di kawasan tambak Desa Jambo Timu dengan menggunakan alat anemometer tipe Benetech GM816. Data kecepatan angin dapat dilihat pada Tabel 1.

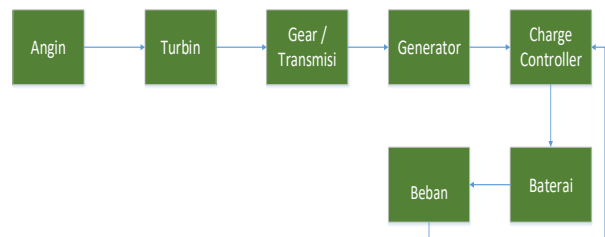
Tabel I
Data Kecepatan Angin

No	Waktu	Data Kecepatan Angin (m/s)		
		Hari Ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3
1	08.00	0	1,2	1,2
2	09.00	1,3	1,2	1,3
3	10.00	2,0	1,8	2,6
4	11.00	3,2	3,5	3,2
5	12.00	3,5	3,3	3,2
6	13.00	3	3,5	3,5
7	14.00	4,5	4,0	4,1
8	15.00	5,0	3,0	2,9
9	16.00	4,8	5,0	3,5
10	17.00	3,0	4,5	4,8
11	18.00	5,0	3	5
12	19.00	1,4	1,2	2,0
13	20.00	1,3	1,2	1,4
14	21.00	2,0	1,2	1,2
15	22.00	2,2	0	1,4
Rata-rata		2,7 m/s		

Setelah mengukur kecepatan angin, didapatkan data dari angin terendah yaitu 1,2 m/s, angin tertinggi 5,0 ms dan rata-rata sebesar 2,7 m/s.

B. Konsep Desain

Perencanaan Pembangkit listrik tenaga angin ini dilaksanakan berdasarkan potensi kecepatan angin yang didapat pada daerah tambak, keluaran daya yang mampu dihasilkan oleh turbin, gear yang digunakan, generator, *charge controller* sebagai pengatur tegangan untuk mengisi baterai, serta baterai (aki) sebagai media penyimpanan dari energi listrik yang dihasilkan oleh generator, Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

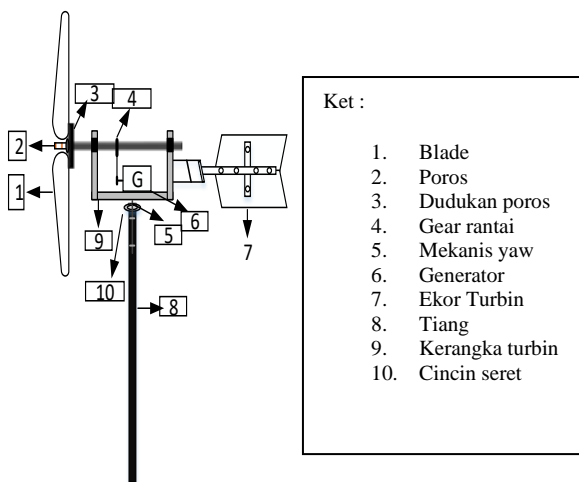


Gbr. 2 Blok Diagram

Dalam merencanakan sebuah pembangkit listrik tenaga angin sumbu horizontal, dibutuhkan beberapa tahapan perancangan, antara lain :

- Menentukan daya yang akan dibangkitkan
- Menghitung jari-jari turbin
- Perancangan *blade*
- Perancangan rotor Blade dan as turbin
- Perancangan kerangka turbin
- Perancangan ekor turbin
- Pemilihan gear
- Perancangan mekanis yaw
- Perancangan tiang penyangga

Bentuk desain dari pembangkit yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gbr. 3 Bentuk Desain Pembangkit

C. Fungsional Struktur Alat Dan Sistem

Untuk melakukan perencanaan terhadap sebuah pembangkit listrik tenaga angin, terlebih dahulu harus mengetahui fungsi dari alat-alat maupun bahan yang di implementasikan untuk membangun pembangkit tersebut. Berikut ini alat beserta fungsinya yang dibutuhkan dalam merencanakan sebuah pembangkit listrik tenaga angin :

1. Anemometer
Anemometer difungsikan untuk mengukur kecepatan angin guna mendapatkan nilai rata-rata angin di daerah tambak Jambo Timu.
2. Turbin Angin
Turbin angin adalah alat yang berfungsi menerima energi kinetik yang dihasilkan oleh angin untuk dirubah menjadi energi mekanik, sehingga mampu memberikan putaran terhadap generator.
3. Generator
Generator menerima putaran yang dihasilkan oleh turbin lalu mengubahnya menjadi energi listrik, semakin tinggi putaran yang dihasilkan oleh sebuah generator maka daya listrik yang dibangkitkan semakin besar hingga batas maksimal dari spesifikasi generator yang digunakan.

4. Charge Controller

difungsikan untuk mengatur arus searah sebagai pengisian baterai dan pengambilan daya listrik untuk beban.

5. Baterai

Baterai berfungsi sebagai perangkat penyimpanan energy listrik yang dihasilkan oleh generator. Baterai mampu menyimpan energi listrik DC dalam bentuk energi kimia..

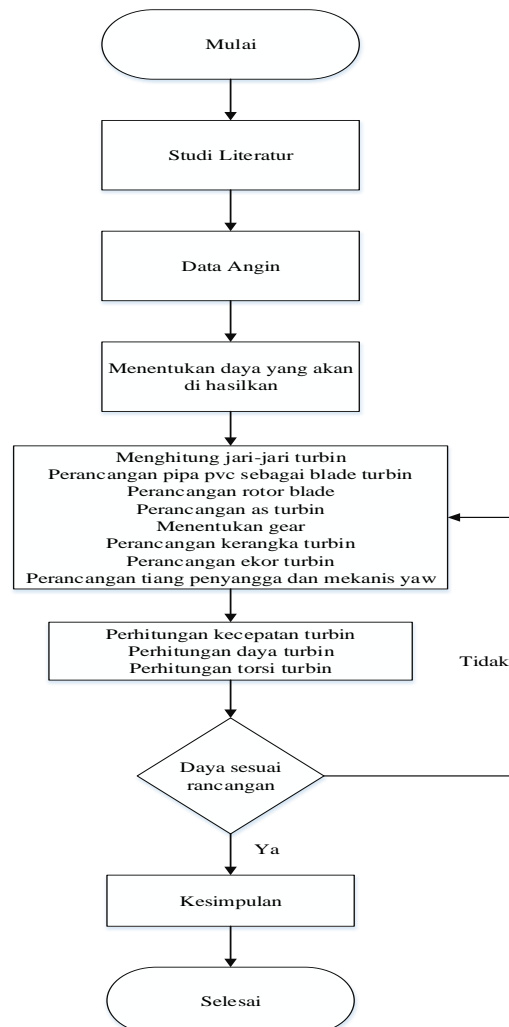
D. Perhitungan Perancangan

Perhitungan perancangan yang dilakukan pada penelitian ini ada beberapa tahapan.

1. Perhitungan luas blade
2. Perhitungan luas ekor
3. Perhitungan kecepatan turbin
4. Perhitungan daya turbin
5. Perhitungan putaran output transmisi
6. Perhitungan torsi

E. Metode Analisa

Flowchart dari tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gbr. 4 Flowchart Penelitian

Metode Analisa yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan mengukur kecepatan angin di area tambak untuk menentukan bentuk dari turbin yang akan digunakan oleh pembangkit, menentukan kapasitas gear, menghitung kecepatan turbin untuk menghasilkan tegangan pengisi baterai serta daya yang mampu dihasilkan pembangkit, dan torsi yang dihasilkan oleh pembangkit.

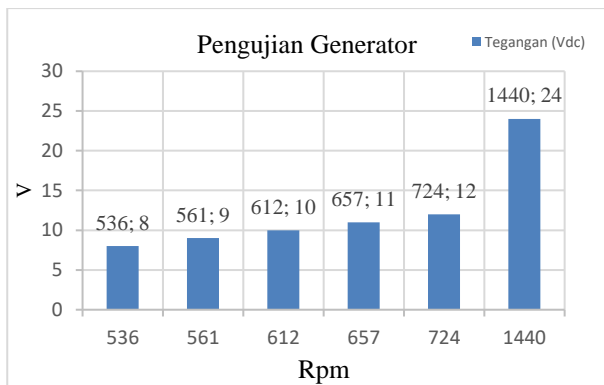
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Horizontal Sebagai Pengisi Baterai

Desain dari Pembangkit listrik Tenaga Angin Sebagai Pengisi Baterai terdiri dari 3 blade, rotor blade, as turbin, gear transmisi, kerangka turbin, mekanis yaw dan tiang penyangga. Sebelum mendesain pembangkit juga dibutuhkan pengujian generator sebagai referensi perancangan turbin.

1. Pengujian generator

Hasil dari pengujian generator dapat dilihat pada Gambar 5.



Gbr. 5 Pengujian Generator

Dari hasil pengujian generator, untuk mencapai tegangan sebagai pengisian putaran dari turbin harus lebih dari 12 v dimana putaran yang perlu dicapai harus lebih dari 724 rpm.

2. Perancangan Blade dan Ekor

Tahap awal merancang blade perlu ditentukan daya yang ingin dikeluarkan, data angin dan koefisien turbin yang akan dirancang. Pada perancangan ini daya yang ingin dikeluarkan sebesar 60 watt, dengan kecepatan angin tertinggi 5 m/s dan koefisien turbin berkisar 0,4. Untuk mencari jari-jari turbin dapat menggunakan Persamaan 4.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3 \cdot Cp$$

$$60 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 3,14 \cdot r^2 \cdot 5^3 \cdot 0,4$$

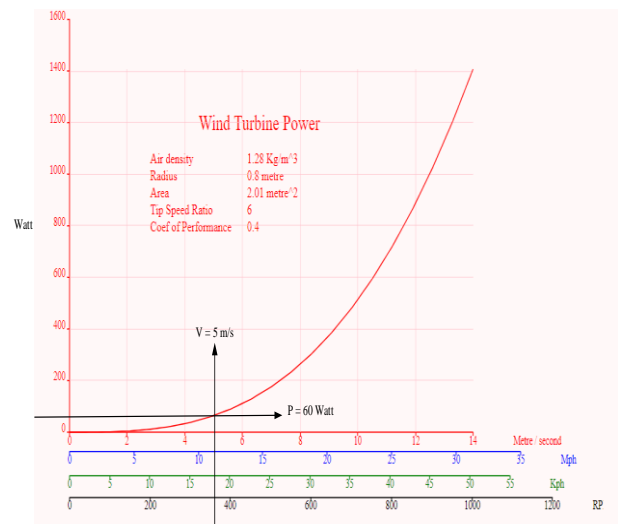
$$r = \sqrt{\frac{60}{\frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 3,14 \cdot 5^3 \cdot 0,4}}$$

$$r = 0,8 \text{ m}$$

Setelah didapati jari-jari turbin, dapat dilihat karakteristik daya turbin terhadap kecepatan angin menggunakan *wind turbine power* dengan memasukkan nilai yang diperlukan seperti pada Gambar 5.

Gbr. 6 Wind Turbine Power

Setelah menginput nilai yang diperlukan, tekan *calculate* untuk melihat karakteristik daya terhadap kecepatan angin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gbr. 7 Karakteristik Daya Turbin Terhadap Kecepatan Angin

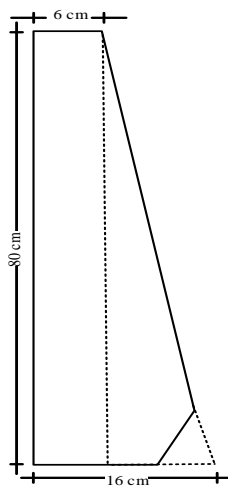
Dari grafik pada Gambar 7 dapat dilihat pengaruh kecepatan angin terhadap daya, semakin tinggi kecepatan angin, maka daya yang dihasilkan akan semakin besar.

Untuk mencari dimensi dari pipa pvc 6 inci sebagai blade, menggunakan website windandwet dengan memasukkan nilai yang telah didapat, seperti jari-jari dari turbin sepanjang 800 mm, jari-jari dari pipa 6 inci sebesar 83 mm, untuk nilai sudut serang menggunakan asumsi sebesar 4°, tip speed ratio dengan nilai 6 dan sudut offset sebesar 16°, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Blade radius (mm)	800	Blade radius in millimetres
Tube radius (mm)	83	Tube radius in millimetres
Tip speed ratio	6	Ratio of tip speed to wind speed
Angle of attack (degrees)	4	Angle of attack in degrees
Offset (degrees)	16	Offset angle in degrees
Number of blades	3	Used to calculate theoretical chord
Coefficient of lift	0.85	Used to calculate theoretical chord
Stations	20	Number of points in graph
Paper width (mm)	260	Used for printing plan. A4 landscape approx 260mm
Paper height (mm)	180	Used for printing plan. A4 landscape approx 180mm
Calculate		

Gbr. 8 Mencari Dimensi Blade

Setelah memasukkan nilai yang diperlukan, tekan tombol *calculate* untuk melihat hasil dari dimensi pipa sebagai blade, hasil dari ukuran blade dapat dilihat pada Gambar 9.



Gbr. 9 Desain Blade Turbin

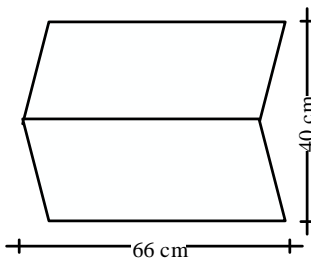
Luas dari blade turbin dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$$\begin{aligned} \text{Luas blade} &= \frac{1}{2} (s_1 + s_2) \times t \\ &= \frac{1}{2} (16 \text{ cm} + 6 \text{ cm}) \times 80 \text{ cm} \\ &= 880 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan luas dari satu buah blade, dapat dirancang ekor turbin dengan Persamaan 2

$$\begin{aligned} \text{Luas ekor} &= \text{luas blade} \times \text{Jumlah blade} \\ &= 880 \text{ cm}^2 \times 3 \text{ blade} \\ &= 2.640 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Desain dari ekor turbin dapat dilihat pada Gambar 10.

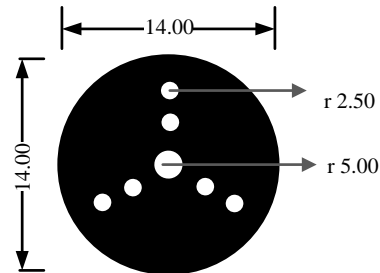


Gbr. 10 Desain Ekor Turbin

Hasil dari desain ekor berbentuk 2 buah jajar genjang yang telah disatukan, dengan alas 66 cm dan tinggi 40 cm, sehingga luas dari jajar genjang sama dengan luas ekor yang telah dihitung sebesar 2.640 cm².

3. Perancangan rotor blade

Rotor blade sebagaiudukan blade, rotor blade dihubungkan ke as turbin. Rancangan rotor blade dapat dilihat pada Gambar 11.

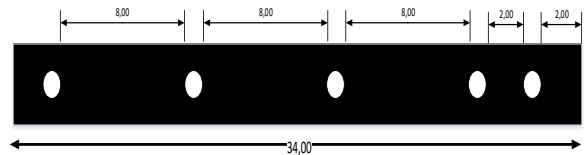


Gbr. 11 Desain Rotor Blade

Lubang tengah pada rotor blade sebagai penghubung as turbin, dan lubang lainnya sebagai lubang baut penghubung blade dengan rotor blade.

4. Perancangan tulang blade

Tulang blade dirancang untuk penguat blade agar tidak mudah bengkok, rancangan tulang blade dapat dilihat pada Gambar 12.

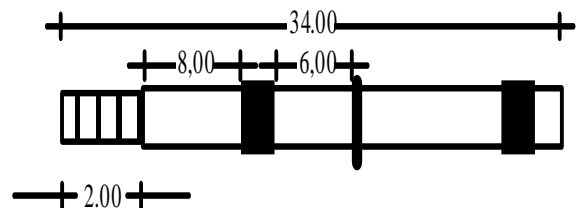


Gbr. 12 Desain Tulang Blade

Tulang blade dapat dilubangi dengan ukuran 5 mm.2 lubang sebagai penghubung ke rotor blade dan 3 lubang untuk pengikat blade agar blade tidak mudah patah.

5. Perancangan as turbin

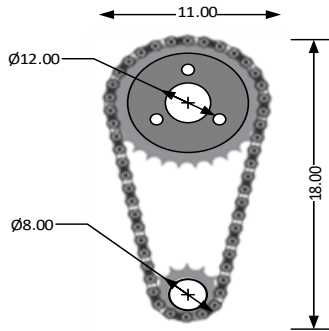
As turbin dihubungkan dengan rotor blade, pada as turbin di kopel gear besar sebagai media transmisi terhadap gear kecil yang ada pada generator. As yang direncanakan menggunakan besi as berukuran 12,7 mm, rancangan as turbin dapat dilihat pada Gambar 13.



Gbr. 13 Desain As Turbin

6. Pemilihan Gear Transmisi

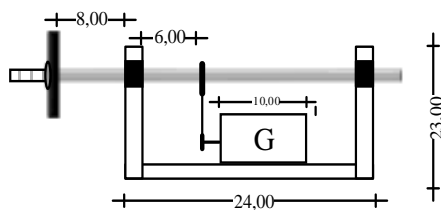
Gear yang direncanakan menggunakan rantai dan sprocket untuk transmisi, gear besar dipasang langsung pada as turbin, sedangkan yang kecil ke generator, gear besar memiliki 55 gigi dan yang kecil 11 gigi. Ukuran dari gear transmisi yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 14.



Gbr. 14 Rancangan Gear Transmisi

7. Perancangan kerangka turbin

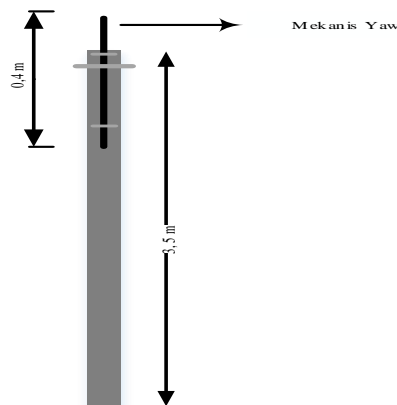
Kerangka turbin sebagai dukungan dari turbin, dan tempat dukungan generator, ukuran dari kerangka turbin dapat disesuaikan dengan ukuran dari generator dan letak gear transmisi. Desain kerangka turbin dapat dilihat pada Gambar 15.



Gbr. 15 Desain Kerangka Turbin

8. Perancangan tiang penyangga

Kerangka turbin dipasang pada tiang penyangga dengan seimbang, disesuaikan dengan berat dari seluruh komponen yang ada di atasnya, pada tiang penyangga. Rancangan dari tiang penyangga dapat dilihat pada Gambar 16.



Gbr. 16 Tiang Penyangga

Pada tiang penyangga di rancang besi untuk mekanis yaw, agar rangka dari turbin dapat berputar 360°. Pada tiang penyangga direncanakan memasang slip ring untuk menghubungkan kabel dari generator ke panel, agar kabel tidak terlilit.

B. Perhitungan Kecepatan Putar Turbin

Kecepatan turbin dihitung agar mengetahui berapa putaran yang diperlukan untuk memutar generator agar menghasilkan tegangan sebagai pengisian baterai seperti pada grafik Gambar 1. Untuk mempermudah perhitungan, nilai-nilai yang telah didapat dari hasil rancangan, penentuan dan pengukuran dituliskan pada Tabel 2.

Tabel II
Nilai Pendukung Perhitungan

Kerapatan Udara	1,293	kg/m ³
Jari- Jari Turbin	0,8	Meter
Jumlah Blade	3	Buah
Tip Speed Ratio	6	
Cp	0,4	
Diameter Turbin	1,6	Meter
Angin rata-rata	2,7	m/s
Angin terendah	1,2	m/s
Angin tercepat	5	m/s
Gear besar	55	Gigi
Gear kecil	11	Gigi

Perhitungan kecepatan turbin menggunakan kecepatan angin rata-rata yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 dengan menggunakan Persamaan 3.

$$n = 60 \frac{\lambda \cdot v}{\pi \cdot d}$$

$$n = \frac{60 \cdot 6,27}{3,14 \cdot 1,60} = \frac{972}{5,024}$$

$$n = 193,5 \text{ Rpm}$$

Untuk meningkatkan putaran turbin, dihubungkan dengan gear transmisi, peningkatan putaran dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5.

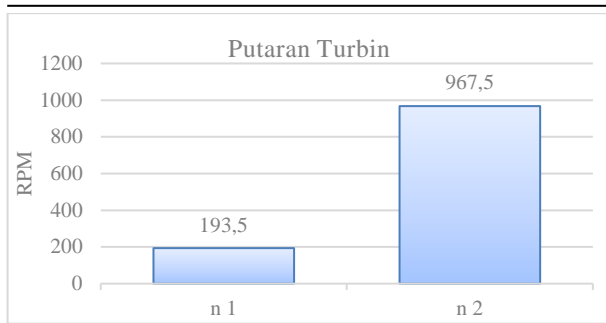
$$\frac{Z1}{Z2} = \frac{n1}{n2}$$

$$\frac{55 \text{ gigi}}{11 \text{ gigi}} = \frac{193,5 \text{ rpm}}{n2}$$

$$n2 = \frac{55 \text{ gigi}}{11 \text{ gigi}} \cdot 193,5 \text{ Rpm}$$

$$n2 = 967,5 \text{ Rpm}$$

Grafik dari perhitungan kecepatan turbin dapat dilihat pada Gambar 17.



Gbr. 17 Putaran Turbin

Jadi, dengan menambahkan gear, kecepatan turbin dapat meningkat 5 kali dari putaran awal turbin pada kecepatan angin rata-rata. Sehingga mampu menghasilkan tegangan lebih dari 12 V.

C. Perhitungan Daya Turbin Angin

Perhitungan daya turbin angin dilakukan berdasarkan kecepatan angin yang telah di ukur di lokasi penelitian, mulai dari kecepatan angin terendah, angin rata-rata, dan angin tertinggi. Hitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 4.

1. Daya turbin saat kecepatan angin rendah

$$\begin{aligned}
 P \text{ turbin} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (3,14 \cdot 0,8 \text{ m}^2) \cdot 1,2 \text{ m/s}^3 \cdot 0,4 \\
 &= 0,82 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

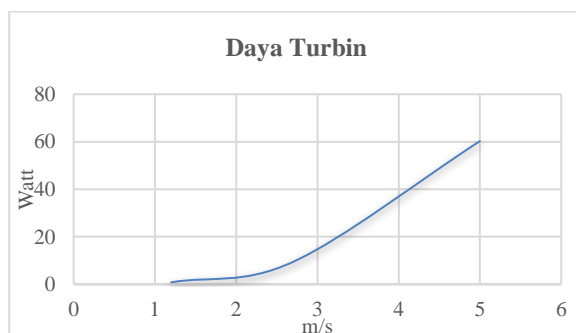
2. Daya turbin dengan kecepatan angin rata-rata

$$\begin{aligned}
 P \text{ turbin} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (3,14 \cdot 0,8 \text{ m}^2) \cdot 2,7 \text{ m/s}^3 \cdot 0,4 \\
 &= 9,44 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

3. Daya turbin dengan kecepatan angin tertinggi

$$\begin{aligned}
 P \text{ turbin} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (3,14 \cdot 0,8 \text{ m}^2) \cdot 5 \text{ m/s}^3 \cdot 0,4 \\
 &= 60,28 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Grafik dari hasil perhitungan daya dapat dilihat pada Gambar 18.



Gbr. 18 Daya Turbin

Pada gambar 18 dapat dilihat pengaruh dari angin sangat besar terhadap daya yang dihasilkan turbin. Pada kecepatan angin rendah daya yang dihasilkan hanya

sebesar 0,82 watt, pada kecepatan angin rata-rata daya yang dihasilkan sebesar 9,44 watt, sedangkan pada kecepatan angin tertinggi daya turbin meningkat hingga 60,28 watt.

D. Perhitungan Torsi Turbin

Torsi dari turbin angin dihitung dengan menggunakan Persamaan 6.

1. Perhitungan torsi menggunakan kecepatan angin tertinggi 5 m/s.

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{v^2 \cdot r^3}{\lambda} \\
 T &= \frac{5^2 \cdot 0,80^3}{6} \\
 T &= \frac{25 \cdot 0,512}{6} \\
 &= 2,13 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan torsi menggunakan kecepatan angin rata-rata 2,7 m/s.

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{v^2 \cdot r^3}{\lambda} \\
 T &= \frac{2,7^2 \cdot 0,80^3}{6} \\
 T &= \frac{7,29 \cdot 0,512}{6} \\
 &= 0,62 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, nilai torsi akan semakin meningkat jika kecepatan angin meningkat, jari-jari turbin juga berpengaruh terhadap torsi, semakin besar jari-jari turbin, torsi juga akan semakin besar begitu juga sebaliknya. Jika jari-jari kecil dan kecepatan angin menurun maka torsi akan semakin kecil. Jadi, torsi pada perancangan turbin ini lebih besar daripada torsi generator yaitu sebesar 2,13 Nm, Namun, pada saat kecepatan angin rata-rata nilai torsi hanya sebesar 0,62 Nm, dibutuhkan jari-jari turbin yang lebih besar agar mampu memutar generator dengan kecepatan angin 2,7 m/s.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain dan analisa pengaruh kecepatan turbin terhadap tegangan, daya turbin dan torsi yang mampu dihasilkan turbin dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Hasil dari desain turbin yaitu jari-jari blade yang dirancang 0,8 meter, dengan penambahan gear transmisi 1 : 5, perhitungan kecepatan turbin pada saat kecepatan angin rata-rata tanpa menggunakan gear hanya sebesar 193,5 rpm, setelah perhitungan dengan menambahkan penggunaan gear, putaran turbin meningkat sebesar 967,5 rpm, dengan nilai putaran tersebut generator mampu mengeluarkan tegangan lebih dari 12 volt.

2. Semakin besar kecepatan angin, semakin besar pula daya yang mampu dibangkitkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 pada kecepatan angin rendah daya dari turbin hanya sebesar 0,82 watt, sedangkan pada kecepatan angin tertinggi daya yang dihasilkan mencapai hingga 60,28 watt.
3. Nilai dari torsi turbin angin dipengaruhi oleh jari-jari dari turbin, kecepatan angin, dan nilai tip speed ratio. Semakin besar ketiga nilai tersebut, torsi turbin akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya. Pada rancangan ini turbin torsi yang dihasilkan yaitu sebesar 2,13 Nm, lebih besar dari torsi generator 0,9 Nm.

- [8] Muhammad Suprpto, (2016), **Analisis Turbin Angin Sumbu Vertikal Dengan 4, 6 Dan 8 Sudu**, *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 2(1).
- [9] Syarif, *et al.* (2015), **Perancangan pembangkit listrik tenaga bayu skala kecil**, *Skripsi*, pp. 1–64.

REFERENSI

- [1] Febri, S.P. *et al.* (2020), **Adaptasi waktu pencahayaan sebagai strategi peningkatan pertumbuhan ikan bawal air tawar (*Colossoma macropomum*)**, *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 7(2), p. 68.
- [2] Wafi, A. and Ariadi, H. (2022), **Estimasi Daya Listrik Untuk Produksi Oksigen Oleh Kincir Air Selama Periode “Blind Feeding” Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)**, *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 18(1), pp. 19–35.
- [3] Bachtiar, A. and Hayyatul, W. (2018), **Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras**, *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 7(1), pp. 34–45.
- [4] Sam, A. *et al.* (2005), **Studi Potensi Energi Angin Di Kota Palu Untuk Membangkitkan Energi Listrik**, *Jurnal SMARTek*, 3(1), pp. 21–26.
- [5] Sadli, I. (2019), **Rancang Bangun Turbin Angin Horizontal Axis Dengan Tegangan Konstan 12 Volt DC Pada Kecepatan Bervariasi**, *Repository.Unej.Ac.Id*
- [6] Arif Adlie, *et al.* (2015), **Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya Output 1 KW**, *Jurnal Ilmiah Jurutera*, pp. 71–75.
- [7] Ismail, and Taufik, (2017), **Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Dengan Kapasitas 3 Mw**, *Jurnal Teknik Mesin, Univpancasila*, 18(2). Pp 10-19.