

# ENERGI ALTERNATIF BERBASISIKAN LOWER ROTATION MOTOR DIDALAM PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU

Maharani Putri<sup>1)</sup>, Andri Ramadhan<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Fakultas Teknik Elektro Politeknik Negeri Medan

<sup>2)</sup>Fakultas Teknik Mesin Universitas Al-Azhar

Email : [maharaniputri.amin@gmail.com](mailto:maharaniputri.amin@gmail.com)

## Abstrak

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat diperlukan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada dan dapat diperbaharui sebagai solusi dari habisnya bahan bakar (energiterbarukan). Salah satunya pembuatan turbin angin, yang nantinya akan bias membantu menghasilkan tenaga listrik dan bias mencukupi kebutuhan listrik masyarakat .Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) merupakan suatu pembangkit energi terbarukan yang dapat mengurangi dampak lingkungan dan sosial yang ditimbulkan oleh pembangkit listrik tenaga fosil. PLTB membutuhkan system proteksi pentanahan yang merupakan suatu proteksi terhadap keselamatan personel dan perangkat yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaga dari lonjakan listrik. Tujuan studi ini untuk mengetahui besaran energi yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan system pentanahan PLTB menggunakan turbin angin horizontal dan vertikal.

**Kata-Kata Kunci :** Energi, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ,Turbin Angin, Sistem Pentanahan

## I. PENDAHULUAN

Krisis energi saat ini mengajarkan kepada kita bangsa Indonesia bahwa usaha serius dan sistematis untuk mengembangkan dan menerapkan sumber energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil perlu segera dilakukan. Penggunaan sumber energi yang ramah lingkungan, terutama yang dapat mengurangi berbagai dampak buruk yang ditimbulkan akibat penggunaan BBM (Lubis et al., 2015).

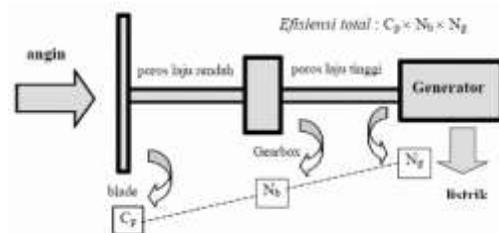
Desakan untuk meninggalkan minyak bumi sebagai sumber pengadaan energi nasional saat ini terus digulirkan oleh berbagai pihak, termasuk dari pemerintah sendiri. Langkah tersebut perlu dilakukan agar Indonesia keluar dari krisis energi yang berkelanjutan. Eksplotasi energi angin ini sangat baik mengingat angin tidak akan pernah habis dan berkurang (Khairunnisa et al., 2017), lain halnya dengan bahan bakar fosil yang akan habis bila dipakai terus menerus. Atas dasar pertimbangan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, maka

penulis mencoba melakukan analisis terhadap potensi angin yang dapat digunakan sebagai energi pembangkit listrik (Basuki, 2018) .

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1. Prinsip Kerja PLTB

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi gerak angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik (Putri et al., 2018)



Gambar 1. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Komponen yang menghasilkan listrik pada rangkaian turbin angin pembangkit listrik adalah generator (Sandr Putra, 2016).

### 2.1. Energi Angin

Prinsip utamanya energi yang dihasilkan angin adalah mengubah energi listrik yang dimiliki angin menjadi energi kinetic poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin (Lubis et al., 2015). Energi kinetic untuk suatu massa angin  $m$  yang bergerak dengan kecepatan  $v$  yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

Dimana  $m$  : massa udara yang bergerak (kg)  
 $v$  : kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Dengan mengangap suatu penampang melintang  $A$ , dimana udara dengan kecepatan  $v$  mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran volume  $V$  sebagai persamaan (Abrori, 2017):

$$V = vA$$

Dimana:  $V$  : laju volume (m<sup>3</sup>/s)  
 $v$  : kecepatan angin (m/s)  
 $A$  : luas area sapuan rotor (m<sup>2</sup>)

Rotor satu sumbu dengan poros dimana daya poros dihitung dengan persamaan :

$$P = T \cdot \omega$$

dimana :  $T$  = torsi poros (Nm)  
 $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

### 2.2. Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power adalah daya dari turbin yang diukur setelah mengalami pembebanan yang disebabkan oleh generator, gearbox, pompa ataupun perangkat tambahan lainnya. Brake yang dimaksud adalah suatu peralatan yang digunakan untuk memberikan beban pada turbin sehingga putarannya dapat terjaga secara konstan. Dalam percobaan nantinya BHP diukur dengan menggunakan generator listrik. Dengan

mengukur besarnya tegangan yang dihasilkan, dapat diketahui besarnya daya generator. Seperti pada rumus :

$$P_{\text{generator}} = V \cdot I$$

Dimana :  $P_{\text{gen}}$  = Daya generator listrik (Watt)

$V$  = Tegangan gen listrik (Volt)

$I$  = Arus listrik (Ampere)

Besarnya BHP dapat dihitung setelah didapatkan harga  $P_{\text{generator}}$  dengan rumus sebagaiberikut

$$BHP = \frac{P_{\text{generator listrik}}}{\eta_{\text{generator listrik}}}$$

dimana :

BHP = Brake Horse Power (Watt)

$P_{\text{generator}}$  = Daya generator listrik (Watt)

$\eta$  = Efisiensi generator (%)

### 2.3. TORSI (T)

Torsi biasa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran ke efektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut. Besar torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = \frac{P_{\text{generator}}}{2\pi \cdot \eta_{\text{generator}} / 60}$$

dimana:

$T$  = Torsi (Nm)

$P_{\text{generator}}$  = Daya generator (Watt)

$\eta_{\text{generator}}$  = Putaran generator (rpm)

Untuk sebuah generator jumlah lilitan sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan. Sesuai dengan Hukum Faraday sebagai berikut Tegangan induksi dalam satu rangkaian adalah berbanding lurus pada laju perubahan fluks magnetik yang melalui rangkaian. Jika rangkaian adalah kumparan terdiri dari  $N$  lilitan dan jika adalah fluks magnetic melalui satu lilitan, tegangan diinduksi dalam setiap lilitan. Lilitan adalah seri, sehingga tegangannya (V) merupakan penjumlahan; dengan begitu, tegangan induksi total dalam kumparan diberikan oleh :

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_m}{dt}$$

**III. METHOD OF RESEARCH.**

Tingkat kecepatan angin berdasarkan kondisi alam yang terjadi dijelaskan pada tabel 1.

**Tabel 1** tingkatan kecepatan angin berdasarkan kondisi alam

Kelas	Kecepatan (m/s)	Kondisi alam
1	0.00-0.2	
2	0.3-1.5	Angin tenang, asap lurus keatas
3	1.6-3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4-5.4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5-7.9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0-10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8-13.8	Ranting pohon besar bergoyang, air dikolam berombak kecil
8	13.9-17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa ditelinga
9	17.2-20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8-24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.4-28.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5-32.6	Menimbulkan kerusakan parah

**3.1. Mekanisme Turbin Angin**

Sebuah pembangkit listrik tenaga angin dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angin sehingga menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan di distribusikan kerumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. Berikut ini adalah jenis turbin angin:

a. Turbin Angin Sumbu Horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine) Turbin angin sumbu horizontal (TASH) seperti ditunjukkan pada gambar 5 memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara.

b. Turbin Angin Sumbu Vertikal (Vertical Axis Wind Turbine). Turbin angin sumbu vertikal/tegak (TASV) seperti gambar 3 memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus.



Turbin angina sumbu horizontal

**Gambar 2. Model Turbin Angin generator horizontal**



**Gambar 3. Turbin Poros**

Pada turbin angin disusun atas beberapa bagian komponen seperti tampak pada gambar 7 di atas Berikut ini merupakan komponendari turbin angin : 1. Sudu / blade Sudu adalah bagian rotor dari turbin angin. Rotor ini menerima energi kinetic dari angin dan dirubah kedalam energi gerak putar. Menggunakan prinsip-prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat. Blade memiliki 3 jenis berdasarkan desainnya, berikht adalah jenis-jenis dari blade:

- a. Taper Merupakan blade yang dari pangkalnya akan mengekil ke ujung
- b. Taper less Merupakan blade yang dari pangkal sampai ujung memiliki ukuran yang sama
- c. Inverse taper Merupakan blade yang ujungnya membesar

Minimum Panas yang diakibatkan oleh arus gangguan dan durasi gangguan seharusnya tidak boleh menghancurkan konduktor pentanahan tersebut. Oleh sebab itu besarnya ukuran konduktor

$$A = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}$$

A = adalah luas penampang konduktor (mm<sup>2</sup>),  
 I = adalah arus gangguan (kA),  
 TCAP = adalah kapasitas termal per unit volume (J/cm<sup>3</sup>°C),  
 Tc= adalah durasi gangguan (s),  
 α r = adalah koefisien panas resistivitas material pada temperature Tr (1/°C),  
 ρ r = adalah tahanan konduktor pentanahan pada temperatur Tr (μΩcm),  
 K= adalah koefisien yang nilainya 1/(α@) atau 1/(α7) - Tr (°C),  
 Tm adalah batas temperature maksimum yang dapat ditahan material (°C), Ta adalah temperature tanah disekitarlokasi (°C).

Berdasarkan Standar IEEE 80-2000, nilai maksimum tegangan sentuh dan tegangan langkah dapat dihitung dengan Persamaan (3-6) [5]. Untuk berat badan 50 kg

$$E_{langkah} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \tag{3}$$

$$E_{sentuh} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \tag{4}$$

Untuk berat badan 70 kg

$$E_{langkah} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \tag{5}$$

$$E_{sentuh} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \tag{6}$$

E<sub>langkah</sub> adalah tegangan langkah (V), E<sub>sentuh</sub> adalah tegangan sentuh (V), C<sub>s</sub> adalah faktor derating permukaan tanah,

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{\rho_s}{\rho})}{2h_s + 0.09} \tag{7}$$

Ps adalah tahanan permukaan material (Ωm), ts adalah durasi dari arus kejutan dalam (s). Jika lapisan pelindung tidak digunakan, maka nilai Cs = 1 dan ρ s = ρ.

### 3.2. Penentuan Tahanan Grid

Sistem pentanahan yang baik akan menghasilkan tahanan tanah yang rendah untuk meminimalisir nilai ground potential rise (GPR). Nilai tahanan tanah untuk substasiun dan stasiun

pembangkit biasanya bernilai 1 Ω atau kurang, sedangkan untuk substasiun jaringan distribusi rendah biasanya tahanan tanah bernilai 1 – 5 Ω tergantung pada keadaan sekitar [4]. Untuk menentukan nilai tahanan pentanahan digunakan Persamaan (8)

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

R g adalah tahanan pentanahan (Ω), ρ adalah tahanan jenis tanah (Ωm), LX adalah panjang total konduktor yang di tanah (m), A adalah luas area pentanahan grid (m<sup>2</sup>), h adalah kedalaman penanaman konduktor grid (m).

### 3.3. Penentuan Arus Grid Maksimum

Arus grid maksimum merupakan arus terbesar yang mengalir pada grid pentanahan pada saat terjadi gangguan. Nilai arus grid maksimum dapat ditentukan dengan Persamaan 9

$$I_G = D_f \cdot I_f \cdot S_f$$

DF adalah factor pengurangan (decrement factor), If adalah arus hubung singkat (A), Sf adalah factor pembagi (division factor)

### 3.4. Perhitungan Ground Potensial Rise (GPR).

Ground Potential Rise (GPR) adalah suatu tegangan maksimum yang dapat dicapai oleh suatu grid pentanahan yang dapat diperoleh dengan Persamaan (10) berikut.

$$GPR = RG \cdot I_G$$

RG adalah resistansi grid pentanahan (Ω), IG adalah arus grid maksimum (A).

## IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Studi Literatur yang telah dilakukan diperoleh beberapa hasil, yaitu pembangkit listrik tenaga angin merupakan pembangkit yang membutuhkan area yang luas dan wilayah geografis yang baik untuk mendapatkan daya maksimal. Tegangan yang di

hasilkan juga akan semakin tinggi sebanding dengan jumlah lilitan induksi.

Turbin pembangkit di Sidrap berkapasitas 2,5 MW dengan generator pembangkit 33 kV, model turbin yang digunakandari Gamesa Iolica Corporation yang merupakan menara baja (tower) setinggi 80 m dengan panjang baling-baling (kincir) 57 m. Material untuk tulang tower sendiri dari galvanised steel yang diberi lembaran baja, yang berdiri di area berbentuk lingkaran dengan diameter tiang 5 m sehingga memiliki luas tanah pondasi  $A = 19,625 \text{ m}^2$ . Konduktor system pentanahan memiliki diameter dan kedalaman penanaman yang berbeda-beda: 1) lingkaran terdalam (D1) memiliki diameter 4 m dengan kedalaman 0,1 m; 2) lingkaran kedua (D2) memiliki diameter 7 m dengan kedalaman 0,5 m; dan 3) lingkaran terluar (D3) memiliki diameter 24 m dengan kedalaman 1 m dari permukaan tanah. Jumlah batang pentanahan sebanyak 3 buah yang diletakkan di 3 titik seperti terlihat dalam Gambar 4.

#### IV. KESIMPULAN

1. Cara kerja alat ini memanfaatkan tiupan angin untuk memutar generator, kemudian dari putaran kinci rini yang akan memutar dinamo drill mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jumlah lilitan pada generator juga mempengaruhi voltage yang dihasilkan oleh pembangkit listrik. Makin besar diameter lilitan makin besar voltage yang dihasilkan.
2. Jumlah sudu mempengaruhi tegangan yang dihasilkan karena daya angkat sudu berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan oleh turbin angin

#### DAFTAR PUSTAKA.

1. Abrori, M., 2017, *Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Sumber Energi Alternatif dan Media Pembelajaran Praktikum Siswa Di Pondok Pesantren “ Nurul Iman ” Sorogonen Timbulharjo , Sewon , Bantul , Yogyakarta Menuju Pondok Mandiri Energi. 1*, 17–26.
2. Basuki, L., 2018, *Effect of Active Learning Through Integrating Soft Skills Student Alwashilah Wonorejo Simalungun*. In International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field (Vol. 4, Issue 5).
3. Khairunnisa, I., Suprayogi, & Tri Ayodha Ajiwiguna, 2017, *Pemanfaatan Modul Termoelektrik Sebagai Pemanas Untuk Alat Penetas Telur Sederhana. E-Proceeding of Engineering*, 4(1), 769–777.
4. Lubis, S. A., Hariyanto, E., Perangin-angin, M. I., Saputra, S., Niska, D. Y., Wahyuni, S., Nasution, D., & Iqbal, M. (2015). *APPLICATION HYBRID ECO CAMPUS VEHICLE BASED ON SOLAR POWER. 3*(2).
5. Putri, M., Wibowo, P., Aryza, S., Utama Siahaan, A. P., & Rusiadi. 2018. *An implementation of a filter design passive lc in reduce a current harmonisa*. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(7).
6. Sandr Putra, C. R., 2016, *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal. Seminar Nasional Cendekiawan*, 6(1), 1–7.