

## STUDI GENERATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

Oleh:

immanuel Munthe <sup>1)</sup>

Janter Napitupulu <sup>2)</sup>

Akademi Teknologi Industri Immanuel <sup>1)</sup>

Universitas Darma Agung, Medan <sup>2)</sup>

E-mail:

[Immanuelmunthe813@gmail.com](mailto:Immanuelmunthe813@gmail.com) <sup>1)</sup>

[jnapitupulu96@gmail.com](mailto:jnapitupulu96@gmail.com) <sup>2)</sup>

### ABSTRACT

*This study discusses wind power generators. It is a fact that the need for energy, especially electrical energy in Indonesia, is increasingly developing into an inseparable part of the needs of people's daily lives, along with the rapid increase in development in the fields of technology, industry and information. Coastal and mountainous areas are areas that are very suitable for utilizing wind power as a source of electrical energy. The difference in the generator voltage when it rises and when it falls is caused by core losses from copper. Changes in armature current result in changes in the magnitude of the input power, output power and torque. Changes in the generator armature current do not affect the generator voltage. At a constant generator voltage and generator rotation, load changes do not significantly affect the working efficiency of the generator. The greater the amplifier current given, the greater the voltage generated by the generator by 50%.*

**Keywords:** *Generator, Wind Power Generation.*

### ABSTRAK

Merupakan suatu kenyataan bahwa kebutuhan akan energi khususnya energi listrik di Indonesia, makin berkembang menjadi bagian tak terpisahkan dari kebutuhan hidup masyarakat sehari-hari, seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan dibidang teknologi, industri dan informasi. Namun pelaksanaan energi listrik yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero), selaku lembaga resmi yang ditunjuk oleh pemerintah untuk mengelola masalah kelistrikan sampai saat ini belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik secara keseluruhan. Energi angin merupakan salah satu bentuk energi yang berasal dari energi matahari. Angin terjadi karena udara di suatu tempat menjadi panas akibat pemanasan matahari. Oleh karena itu berat jenisnya berkurang dan naik ke atas. Proses ini menyebabkan pergeseran udara yang disebut angin. Jelas bahwa energi angin berasal dari matahari. Angin dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik karena pada angin yang bertiup terdapat energi kinetik yang dapat diubah menjadi energi mekanik dengan bantuan kincir. Selanjutnya energi mekanik yang berupa putaran kincir angin digunakan untuk memutar rotor generator, membangkitkan tenaga listrik. Energi angin yang dihasilkan oleh generator

tergantung besarnya energi kinetik yang terdapat pada angin dan kincir angin yang digunakan serta besar generator angin tersebut.

**Kata Kunci: Generator, Pembangkit Listrik Tenaga Angin.**

## 1. PENDAHULUAN

Merupakan suatu kenyataan bahwa kebutuhan akan energi, khususnya energi listrik di Indonesia, semakin berkembang menjadi bagian tak terpisahkan dari kebutuhan hidup masyarakat sehari-hari, seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan dibidang teknologi, industri dan informasi. Namun pelaksanaan penyediaan energi listrik yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero), selaku lembaga resmi yang ditunjuk pemerintah untuk mengelola masalah kelistrikan di Indonesia, sampai saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik secara keseluruhan.

Energi angin telah lama dikenal dan dimanfaatkan manusia. Perahu-perahu layarmenggunakan energi ini untuk melewati perairan di Indonesia. Kincir angin pertama ditemukan pada abad ke-7 di Persia, pada saat itu kincir angin digunakan untuk menggiling tepung. Kincir angin di negeri Belanda yang digunakan untuk menggerakkan pompa irigasi dan untuk menggiling tepung hingga kini masih tersohor, walaupun pada saat ini hanya berfungsi sebagai objek wisata. Akan tetapi dalam rangka mencari bentuk-bentuk sumber energi yang bersih dan tidak merusak lingkungan, kembali energi mendapat perhatian yang besar.

Selain itu, semakin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi, yang sampai saat ini masih merupakan tulang punggung dan komponen utama penghasil energi listrik di Indonesia, serta semakin meningkatnya kesadaran akan usaha untuk melestarikan lingkungan menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari alternatif penyediaan energi listrik yang memiliki karakter :

1. Dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian energi fosil, khususnya minyak bumi.
2. Dapat menyediakan energi listrik dalam skala lokal regional.
3. Mampu memanfaatkan potensi sumber daya energi setempat.
4. Cinta lingkungan dalam arti proses produksi dan pembuangan hasil produksinya tidak merusak lingkungan hidup sekitarnya.

Sistem penyediaan energi listrik yang dapat memenuhi kriteria diatas adalah sistem konversi energi yang memanfaatkan sumber daya energi terbaru, salah satunya adalah energi angin. Energi angin yang melimpah dialam ini ternyata belum dimanfaatkan sebagai alternatif penghasil listrik. Padahal, diberbagai negara lain, pemanfaatan energi angin sebagai sumber alternatif non konvensional sudah semakin mendapat perhatian.hal ini tentu saja didoorong oleh kesadaran terhadap energi terus meningkat sedemikian besarnya. Disamping itu, angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnyasehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Angin Sebagai Sumber Energi

Energi listrik dari sumber energi baru terbarukan [1] termasuk energi angin menjadi sangat diperlukan dalam menjaga kelestarian lingkungan hidup.

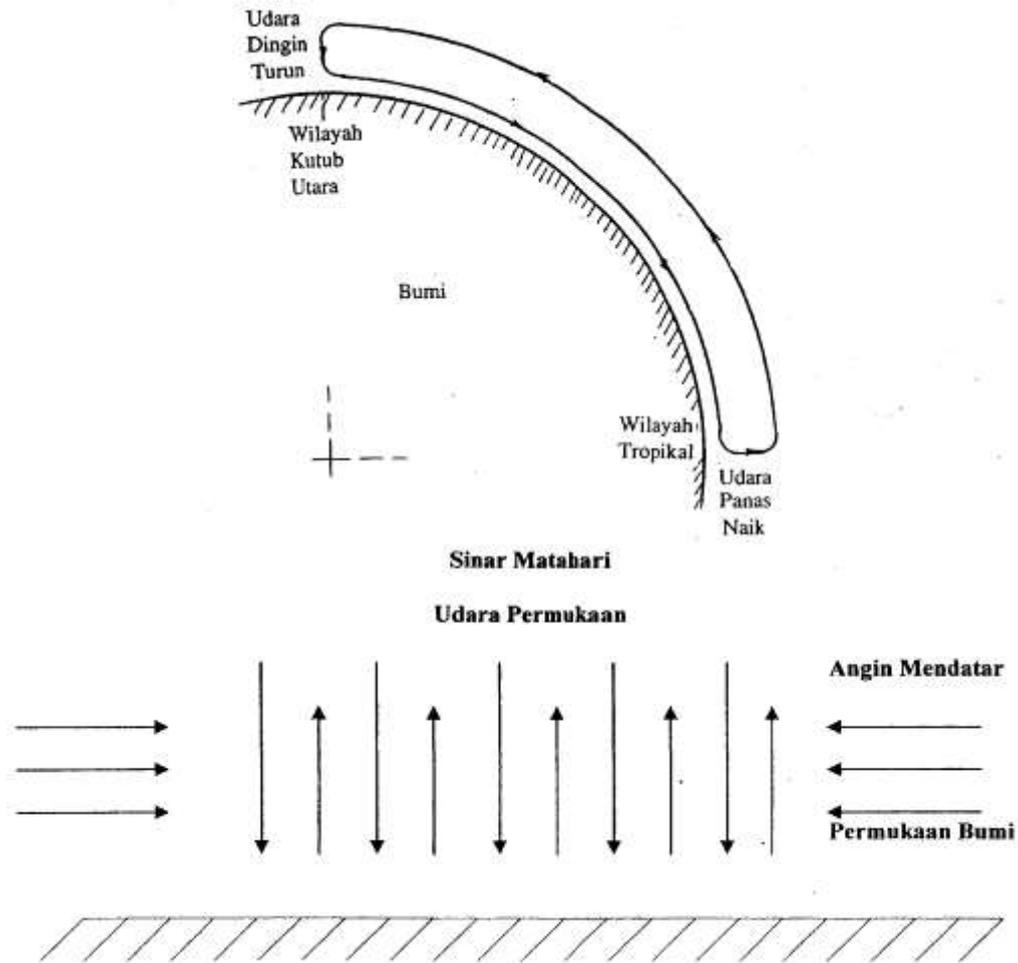
Angin adalah gerakan udara yang disebabkan oleh gaya-gaya akibat perputaran bumi, gaya-gaya pengapungan akibat gravitasi dan pemanasan matahari dari pada permukaan bumi dan tahanan angin yang ditimbulkan oleh permukaan bumi.

Timbulnya energi angin berasal dari perbedaan temperatur udara yang ditimbulkan oleh pengaruh pemanasan matahari yang tidak merata oleh permukaan bumi sehingga menghasilkan tekanan udara. Daerah khatulistiwa yang panas, udaranya menjadi panas, mengembang dan menjadi ringan, naik keatas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin misalnya daerah kutub. Sebaliknya di daerah kutub yang dingin udaranya menjadi dingin dan turun kebawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara, berupa perpindahan udara dari kutub utara ke garis khatulistiwa menyusuri permukaan bumi, dan sebaliknya, suatu perpindahan udara dari garis khatulistiwa kembali ke kutub utara, melalui lapisan udara yang lebih tinggi. Peristiwa ini disebut angin pasat. Selain angin pasat terdapat jenis angin lain seperti angin musim, angin pantai dan angin lokal. Prinsipnya bahwa angin terjadi karena adanya perbedaan suhu udara di beberapa tempat di permukaan bumi ini.

Pergerakan udara karena pengaruh suhu menimbulkan angin vertikal dan arahnya umumnya keatas. Gerakan udara keatas meninggalkan ruangan kosong dengan tekanan rendah, memungkinkan udara dengan tekanan lebih tinggi mengisi ruangan kosong tersebut, sehingga menimbulkan angin mendatar.

Gambar II.1 dibawah ini memperlihatkan terjadinya angin secara skematik. Selain angin vertikal dan angin mendatar seperti yang diperlihatkan yang diatas, masih terdapat beberapa jenis angin lainnya, seperti angin pasat, angin muson, angin pantai, angin pegunungan serta angin lokal lainnya. Namun disebabkan perbedaan suhu dan tekanan pada beberapa wilayah di permukaan

bumi.



Gambar II.1. Skema Terjadinya Angin

Jika udara dengan massa  $m$ , bergerak dengan kecepatan  $v$ , maka energi kinetik yang diperoleh :

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

Dimana :

$E$ = energi kinetik (joule)

$m$ = massa udara (kg)

$v$ = kecepatan (m/sec)

Rumus ini berlaku juga untuk angin yang merupakan udara yang bergerak. Bilamana suatu blok udara yang memiliki penampang  $A$  ( $m^2$ ) dan bergerak dengan kecepatan  $v$  (m/sec), maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah :

$$m = A.v.\rho.t$$

Dengan demikian maka energi yang dapat dihasilkan persatuan waktu adalah :

$$P = \frac{E}{t}$$

$$= \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

Dimana : P = daya (w)  
 E = energi (joule)  
 $\rho$  = kepadatan udara (kg/m<sup>3</sup>)  
 A = penampang (m<sup>2</sup>)  
 v = kecepatan (m/det)

Untuk keperluan praktis sering dipakai rumus pendekatan berikut :

$$P = k \cdot A \cdot v^3$$

Dengan P = daya (kw)  
 k = konstanta (1,37.10<sup>-5</sup>)  
 A = luas sudu kipas (m<sup>2</sup>)  
 V = kecepatan (km/jam)

Walaupun rumus-rumus diatas besaran-besaran k dan A digambarkan sebagai konstanta-konstanta, pada dasarnya dalam besaran k tercermin faktor-faktor seperti geseran dan efisiensi sistem yang mungkin juga tergantung pada bentuk sudu yang dapat berubah dengan besaran v. Oleh sebab itu untuk kondisi tertentu besaran-besaran k dan A dapat dianggap konstan hanya dalam satu jarak capai angin terbatas.

Untuk keperluan estimasi sementara yang sangat kasar, sering dipakai rumus sederhana sebagai berikut :

$$P = 0,1 v^3$$

Dengan : P = daya per satuan luas (W/m<sup>2</sup>)  
 v = kecepatan angin (m/detik)

Rumus yang dikembangkan oleh Golding berbentuk :

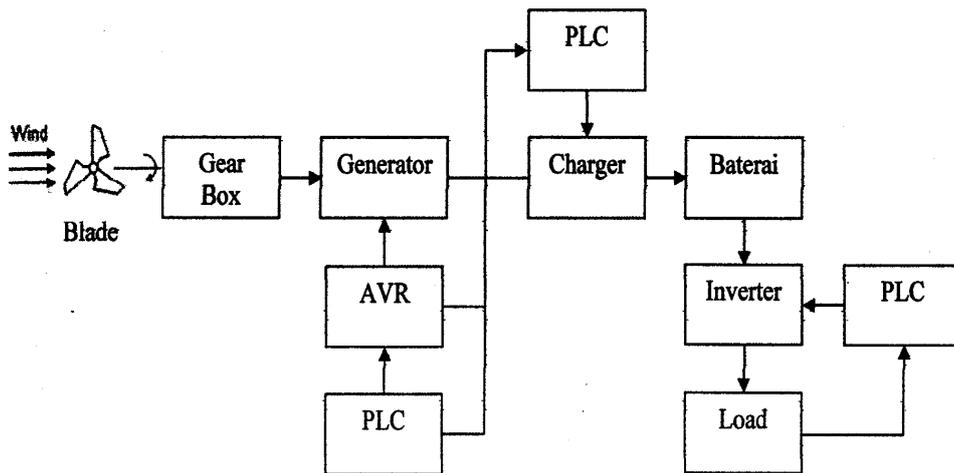
$$P = k \cdot f \cdot A \cdot E \cdot v^3$$

Dimana : P = daya  
 K = konstanta (1,37.10<sup>-5</sup>)  
 F = suatu faktor = 0,5926  
 A = penampang arus angin (m<sup>2</sup>)  
 E = efisiensi rotor dan peralatan lainnya  
 v = kecepatan angin (km/jam)

### 3. METODE PELAKSANAAN

#### Konfigurasi Sistem

Blok diagram secara keseluruhan dari sistem ditunjukkan pada gambar 3.1. Kincir angin dikopel dengan generator dan akan berputar karena aliran angin sehingga generator juga akan berputar dan menghasilkan tegangan. Sebelum tegangan keluaran dari generator digunakan untuk mencharge baterai terlebih dahulu dikontrol didalam charge/discharge controller.



Gambar 3.1 Kontruksi Perencanaan Alat Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Perancangan ini memanfaatkan putaran kincir angin untuk menggerakkan sebuah generator DC dengan output maksimal 24 V. Tegangan output dari generator dimasukkan kedalam sebuah rangkaian bridge rectifier untuk mencegah adanya perubahan polaritas tegangan, kemudian dimasukkan pada sebuah rangkaian kontroller yang khusus digunakan untuk mencharge accu/baterai. Lama pengisian accu tergantung dari besarnya arus output dari kontroller dan kondisi angin yang ada. Bila kecepatan angin semakin besar maka output dari kontroller akan semakin besar sampai batas nominalnya yaitu 12 VDC. Accu yang digunakan adalah accu 12 V. Tegangan output dari pembangkit listrik ini hanya digunakan untuk melakukan isi ulan terhadap accu baterai.

### Prinsip Kerja Turbin Angin

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan secara sederhana.

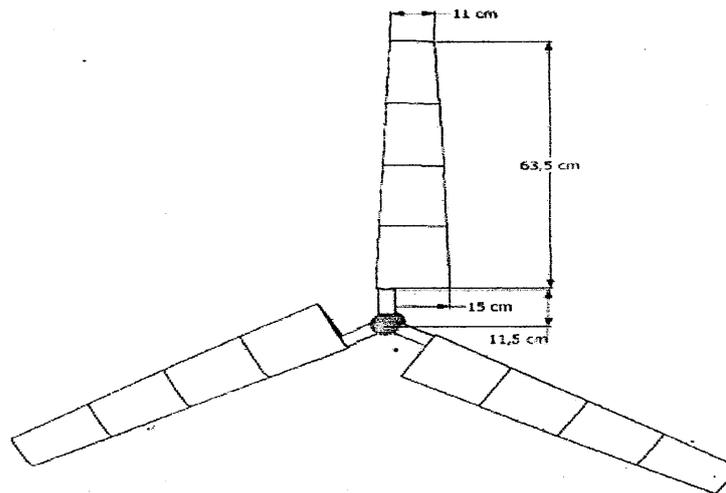
Indonesia, negara kepulauan yang 2/3 wilayahnya adalah lautan dan mempunyai garis pantai terpanjang di dunia yaitu ±80.791,42 Km merupakan wilayah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin, namun sayang potensi ini nampaknya belum dilirik oleh pemerintah. Sungguh ironis, disaat Indonesia menjadi tuan rumah konfrensi dunia mengenai pemanasan global di Nusa Dua, Bali pada akhir tahun 2007, pemerintah justru akan membangun pembangkit listrik berbahan bakar batu bara yang merupakan penyebab nomor 1 pemanasan global.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Perencanaan Kincir Angin

Kincir angin adalah alat bantu yang digunakan untuk menggerakkan generator dan membangkitkan tenaga listrik. Kincir angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain lain. Kincir angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Kincir angin dalam sistem ini berfungsi sebagai penggerak mula dari generator.

Dalam perencanaan ini saya menggunakan kincir angin dengan bentuk blade seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Perencanaan kincir angin.

Kincir angin dibuat dari bahan serat (fiber) kemudian dicetak kedalam cetakan sehingga terbentuk sesuai dengan perencanaan. Panjang blade juga harus sesuai, jika besar blade yang dipakai terlalu kecil dipasang pada generator besar tidak akan bisa berputar cepat untuk mendapatkan tenaga yang tepat. Perencanaan kincir angin harus disesuaikan untuk keperluan apa kincir tersebut digunakan.

##### Perencanaan Generator

Generator yang dipakai dalam proyek akhir ini memiliki spesifikasi yaitu generator DC dengan magnet permanen dengan tegangan keluaran maksimum 24 V. Generator merupakan sumber utama energi listrik yang dipakai sekarang ini dan merupakan converter terbesar di dunia. Pada prinsipnya tegangan yang dihasilkan generator bersifat bolak balik, sedangkan generator yang menghasilkan tegangan searah karena telah mengalami proses penyearahan.

Generator adalah suatu mesin yang menggunakan magnet untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip Generator secara sederhana dapat dikatakan bahwa tegangan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet. Hukum tangan kanan Fleming berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah

gerakan penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tengah menunjukkan arah aliran elektron terinduksi.

Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan. Jumlah tegangan yang diinduksikan pada penghantar saat penghantar bergerak pada medan magnet tergantung pada:

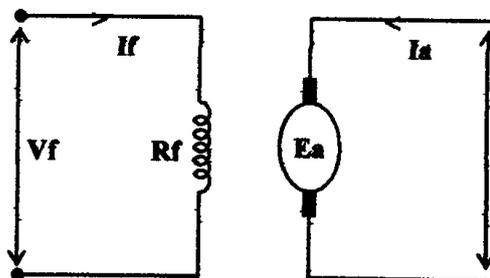
1. Kekuatan medan magnet, semakin kuat medan magnet makin besar tegangan yang diinduksikan.
2. Kecepatan penghantar dalam memotong fluks, makin cepat maka semakin besar tegangan yang diinduksikan.
3. Sudut perpotongan, pada sudut 90 derajat tegangan induksi maksimum dan tegangan kurang bila kurang dari 90 derajat.
4. Panjang penghantar pada medan magnet.

Terdapat dua jenis konstruksi dari generator (AC), jenis medan diam atau medan magnet dan medan magnet dibuat berputar. Pada medan magnet diam secara umum kapasitas ampere relatif kecil dan ukuran tegangan kerja rendah, jenis ini mirip dengan generator DC kecuali terdapat slips ring sebagai pengganti alat komutator. Sedangkan pada generator jenis medan magnet berputar dapat menyederhanakan masalah pengisolasian tegangan yang dibangkitkan secara umum sebesar 18.000 volt sampai 24.000 volt, generator medan berputar mempunyai jangkar diam yang disebut stator. Siklus tegangan yang dibangkitkan tergantung pada jumlah kutub yang digunakan pada magnet, pada generator yang menggunakan dua kutub dapat membangkitkan satu siklus tegangan sedangkan pada generator dengan empat kutub dapat menghasilkan dua siklus tegangan. Sehingga terdapat perbedaan antara derajat mekanis dan derajat listrik. Derajat mekanis adalah apabila kumparan atau penghantar jangkar berputar satu kali penuh atau 360 derajat mekanis sedangkan derajat listrik adalah jika GGL atau arus bolak balik melewati satu siklus berarti telah melewati 360 derajat waktu.

## Pengujian Dan Analisa

### Pada Saat Beban Nol

Rangkaian equivalen dari suatu generator DC dengan penguat terpisah dapat digambarkan sebagai berikut:



Dari gambar diatas diperoleh rumus :

$$I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

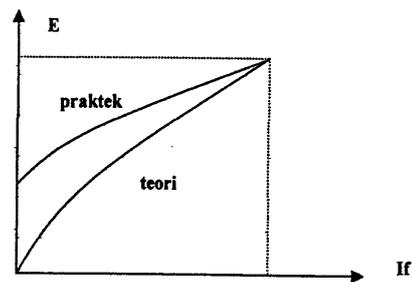
$$E_a = V_t + I_a \cdot R_a$$

Bila generator tidak dibebani maka  $I_a = 0$ , sehingga :

$$E_a = V_t$$

Besar tegangan yang dibangkitkan pada jangkar adalah :

$E = c.n.\phi$  dan  $\phi = I_f$   
Maka  $E = c.n.I_f$ , dimana  $c$  dan  $n$  konstan, sehingga  $E_a = k.I_f$



Data Generator  
TYPE : generator DC  
V.out : 13,8 Volt  
Rpm : 1500

1. Percobaan naik

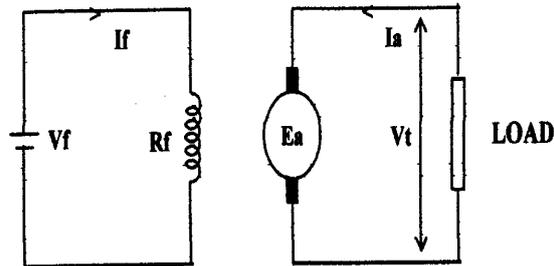
NO	$I_{fg}$ (amp)	$V_g$ (volt)	$V_{fg}$ (volt)
1	0.0	1.4	0
2	0.2	5.2	4.8
3	0.4	8.0	8.2
4	0.6	10.1	12.3
5	0.8	11.9	14.6
6	1.0	12.6	16.0
7	1.2	13.8	18.2

2. Percobaan turun

NO	$I_{fg}$ (amp)	$V_g$ (volt)	$V_{fg}$ (volt)
1	1.2	13.8	18.2
2	1.0	12.6	17.5
3	0.8	11.9	15.3
4	0.6	9.8	12.0
5	0.4	8.0	8.8
6	0.2	6.4	6.6
7	0.0	5.0	4.8

### Pada Saat Berbeban

Rangkaian ekivalen dari suatu generator DC dengan penguatan bebas dengan memberikan beban dapat digambarkan sebagai berikut :



Dari gambar diatas diperoleh :

$$I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

$$E_a = V_t + I_a \cdot R_a$$

$$E_a = c \cdot n \cdot \phi$$

$$N, I_a = \text{konstan}$$

$$\phi = I_f$$

maka :  $c \cdot n \cdot \phi = V_t + I_a \cdot R_a$

$$k_1 \cdot I_f = V_t + k_2 \cdot I_a$$

$$V_t = k_1 \cdot I_f + k_2 \cdot k_3$$

Pada Saat Berbeban

$$I_{fg} = 1,2 \text{ amp}$$

$$n = 1500 \text{ rpm}$$

No	Lampu	$V_g$ (V)	$I_{ag}$ (A)	$V_{fg}$ (V)
1	100	13,8	0,2	18,0
2	200	13,8	0,4	18,0
3	300	13,8	0,4	18,1
4	400	13,8	0,6	18,1
5	500	13,8	0,8	18,2
6	600	13,8	1,0	18,2
7	700	13,8	1,2	18,2

## Analisa

$$c = \frac{E_q}{n \cdot I_{fg}} = \frac{13,8}{1500 \cdot 1,2} = 0,0076$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } T &= c \cdot I_{ag} \cdot I_{fg} \\ T_1 &= 0,0076 \times 0,2 \times 1,2 = 0,0018 \text{ Nm} \\ T_2 &= 0,0076 \times 0,4 \times 1,2 = 0,0036 \text{ Nm} \\ T_3 &= 0,0076 \times 0,4 \times 1,2 = 0,0036 \text{ Nm} \\ T_4 &= 0,0076 \times 0,6 \times 1,2 = 0,0054 \text{ Nm} \\ T_5 &= 0,0076 \times 0,8 \times 1,2 = 0,0073 \text{ Nm} \\ T_6 &= 0,0076 \times 1,0 \times 1,2 = 0,0091 \text{ Nm} \\ T_7 &= 0,0076 \times 1,2 \times 1,2 = 0,0109 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } Pin &= T \cdot n \cdot \frac{1000}{975} \\ Pin_1 &= 0,0018 \times 1500 \times \frac{1000}{975} = 2.769 \text{ W} \\ Pin_2 &= 0,0036 \times 1500 \times \frac{1000}{975} = 5.538 \text{ W} \\ Pin_3 &= 0,0036 \times 1500 \times \frac{1000}{975} = 5.538 \text{ W} \\ Pin_4 &= 0,0054 \times 1500 \times \frac{1000}{975} = 8.307 \text{ W} \\ Pin_5 &= 0,0073 \times 1500 \times \frac{1000}{975} = 11.23 \text{ W} \\ Pin_6 &= 0,0091 \times 1500 \times \frac{1000}{975} = 13.99 \text{ W} \\ Pin_7 &= 0,0109 \times 1500 \times \frac{1000}{975} = 16.76 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } P_{out} &= V_g \cdot I_{ag} \\ P_{out1} &= 13,8 \times 0,2 = 2,76 \text{ W} \\ P_{out2} &= 13,8 \times 0,4 = 5,52 \text{ W} \\ P_{out3} &= 13,8 \times 0,4 = 5,52 \text{ W} \\ P_{out4} &= 13,8 \times 0,6 = 8,28 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{out5} = 13.8 \times 0.8 = 11.0 \text{ W}$$

$$P_{out6} = 13.8 \times 1.0 = 13.8 \text{ W}$$

$$P_{out7} = 13.8 \times 1.2 = 16.5 \text{ W}$$

## 5. SIMPULAN

1. Daerah pantai dan pegunungan merupakan daerah yang sangat cocok untuk memanfaatkan tenaga angin sebagai sumber energy listrik.
2. Perbedaan tegangan generator pada saat naik dan pada saat turun disebabkan adanya rugi-rugi inti dari tembaga.
3. Perubahan arus jangkar mengakibatkan perubahan pada besarnya daya masuk, daya keluar dan torsi.
4. Perubahan arus jangkar generator tidak mempengaruhi tegangan generator.
5. Pada tegangan generator dan putaran generator yang konstan, perubahan beban tidak terlalu mempengaruhi efisiensi kerja dari generator.
6. Semakin besar arus penguatnya yang dibrikan maka tegangan yang dihasilkan generator semakin besar sebesar 50%.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

J Napitupulu, H Mawengkang, U Ba'afai, 2018. Model of Sustainable Electrical Power Management: Lamp Efficacy of the National Street Lighting in North Sumatera Province, Proceedings of MICoMS 2017, 609-619.

Abdul Kadir, 1987. "Energi", Penerbit Universitas Indonesia.

Astu Pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2006. "Mesin Konversi Energi", Penerbit C.V. Andi Offset.

Drs. Soemanto, 2006, "Mesin Arus Searah". Penerbit Andi Offset, Yogyakarta. "[http://id.wikipedia.org/wiki/turbin\\_angin](http://id.wikipedia.org/wiki/turbin_angin)"

Ir.hamzah Berahim, "Pengantar Teknik Tenaga Listrik". Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 1991.

Harm Hofman, Harun, "Energi Angin", Penerbit Bina Cipta, 1987

Zuhal, "Teknik Tenaga Listrik".