

## ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DENGAN MENGGUNAKAN GENERATOR MAGNET PERMANEN

Andre Christie<sup>1)</sup>, Donny Widjacksono<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Elektro / Universitas 17 Agustus 1945, Jakarta, 14350

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Elektro / Universitas 17 Agustus 1945, Jakarta, 14350

Email: Andrechrietie70@gmail.com<sup>1)</sup>

### ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat, seiring dengan meningkatnya hal tersebut, persediaan energi fosil seiring berkurang. Angin merupakan salah satu energi yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti energi fosil, di mana khususnya di Indonesia banyak daerah dengan potensi kecepatan angin yang baik. Pembangkit Listrik Tenaga Angin merupakan salah satu metode energi terbarukan, dengan menggunakan generator magnet permanen, tegangan maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 16,61 V, arus maksimal sebesar 1,86 A serta daya maksimal sebesar 26,91 watt. Dengan hasil yang didapatkan, maka Pembangkit Listrik Tenaga Angin dapat dimanfaatkan.

**Katakunci:** Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Generator Magnet Permanen, Tegangan, Arus, Daya

### ABSTRACT

*Electricity needs in Indonesia continue to increase, according to the agreement, the preparation of fossil energy is decreasing. Wind is one of the energy that can be used as fossil energy, anywhere in Indonesia there are many regions with good wind speed potential. The Wind Power Plant is one of the renewable energy methods, using a permanent magnet generator, the maximum voltage that can be generated is 16.61 V, the maximum current is 1.86 A and the power is 26.91 watts. With the results obtained, the Wind Power Plant can be utilized.*

**Keywords:** Wind Power Plant, Permanent Magnet Generator, Voltage, Flow, Power

Naskah Diterima :1 Oktober 2021

Naskah Direvisi :3 Oktober 2021

Naskah Diterbitkan :4 Oktober 2021

## 1. PENDAHULUAN

Manusia merupakan makhluk dengan kebutuhan yang sangat kompleks, mulai dari sandang, pangan maupun papan. Kebutuhan tersebut harus dipenuhi demi lancarnya kehidupan manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Beragamnya kebutuhan yang diminta untuk dipenuhi menuntut ilmu pengetahuan dan teknologi maju untuk melahirkan inovasi-inovasi baru. Salah satu dari keberagaman kebutuhan tersebut ialah kebutuhan akan sarana dan prasarana aktivitas hidup seperti listrik. Semakin pesat kemajuan zaman menjadikan manusia bergantung pada keberadaan energi listrik ini, mulai dari kebutuhan listrik untuk kebutuhan sehari-hari maupun kebutuhan produksi suatu perusahaan.

Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat karena pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Sedangkan energi fosil yang selama ini merupakan sumber energi utama ketersediaannya sangat terbatas dan terus menipis.

Berbagai upaya yang telah dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan sumber energi tak terbarukan yaitu dengan cara memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti energi matahari, air dan angin untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Pembangkit listrik yang berasal dari sumber air memiliki prinsip kerja yaitu menggunakan turbin yang dialiri dengan air untuk mengaktifkan sebuah generator untuk menghasilkan energi listrik sedangkan pembangkit listrik yang berasal dari sumber angin digunakan untuk menggerakkan kapal layar dan menggerakkan mesin yang menghasilkan listrik sering disebut kincir angin dan pembangkit listrik yang berasal dari sinar matahari dengan menggunakan sel surya yang berfungsi mengubah energi sel surya menjadi energi listrik.

Energi listrik dapat dihasilkan dari energi mekanik dalam suatu sistem pembangkit listrik dimana pengubahan energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan alternator. Ada beberapa jenis alternator yang terdiri atas letak kutub, yaitu kutub dalam berputar pada rotor dan kutub luar diam dipaseng pada stator, putaran medan terhadap rotor (generator sinkron dan generator asinkron), jenis arus yang dibangkitkan generator DC dan generator AC, phase yang digunakan (generator AC 1 phase dan generator AC 3 phase), bentuk rotor kutub menonjol digunakan untuk pembangkit RPM rendah dengan contoh PLTA, PLTD, bentuk rotor kutub tidak menonjol digunakan untuk pembangkit RPM tinggi dengan contoh PLTG, PLTU, dan jenis magnet yang digunakan magnet induksi dan magnet permanen

Magnet permanen adalah magnet yang sifat kemagnetannya sukar hilang dibandingkan magnet yang lain. Magnet ini bisa menghasilkan arus listrik dengan memiliki prinsip kerja yang cukup sederhana menggunakan prinsip elektromagnetik. Dan didalam generator yang digunakan terdapat kumparan atau magnet dimana kumparan atau magnet yang dapat berputar menyebabkan terjadinya perubahan jumlah garis – garis gaya magnet lalu energi mekanik yang dihasilkan oleh generator dapat diubah kedalam bentuk energi gerak rotasi. Ini yang menyebabkan GGL induksi dihasilkan secara terus menerus dengan pola yang berulang secara periodik.

Pada penelitian ini hanya melakukan analisa pembangkit listrik tenaga angin menggunakan generator magnet permanen dengan cara memanfaatkan alternator mobil, cara memanfaatkannya dengan melakukan modifikasi ulang pada bagian rotor dengan menambahkan 12 buah magnet permanen jenis neodymium dan pada stator terdapat 36 koil yang pada tiap koilnya terdapat 35 lilitan dengan menggunakan diameter ukuran kawat 0,5 mm dan akan menganalisa hasil keluaran pada generator.

Dengan parameter kecepatan angin sebagai input masukan maka akan menghasilkan output keluaran pada generator berupa arus (A), tegangan (V) dan daya (P). Analisis ini akan mengambil data dan mencatat keluaran dari generator.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Energi Angin**

Pembangkit listrik tenaga angin, yaitu memanfaatkan energi angin sebagai sumber energinya. Pemanfaatan energi angin ini yaitu menggunakan turbin angin lalu dihubungkan menggunakan generator. Setelah itu, proses yang dilakukan akan

menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan di kehidupan sehari-hari. Lalu, apa sebenarnya definisi atau pengertian energi angin sendiri? Energi angin merupakan suatu bentuk yang jauh berkelanjutan bebas dengan polusi energi. Pemanfaatan angin ini adalah suatu energi baru terbarukan yang tidak akan habis karena ketersedian yang melimpah di alam.

Pemanfaatan energi angin ini sangat menarik karena tidak perlu menggunakan bahan bakar sebagai sumber energi, Tidak hanya itu pemanfaatan energi angin ini juga tidak menghasilkan gas rumah kaca dan juga limbah ataupun racun yang menggangu keberlangsungan hidup manusia.

Energi ini berasal dari energi kinetik yang dikonversikan dan hadir dalam bentuk angin. Kemudian angin diproses menjadi suatu bentuk yang sangat bermanfaat atau berguna. Itulah yang dapat dijelaskan dalam mengenai definisi atau pengertian energi angin yang disampaikan secara sederhana. Setelah membacanya, tentu anda sudah dapat membayangkan apa yang dimaksud dengan energi angin.

**Tabel 1.** Potensi Angin Berdasarkan Kecepatannya

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter diatas permukaan Tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin [m/s]	Kondisi Alam di Daratan
1	0 ~ 0,02	.....
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 plumpang berombak kecil
8	13,9 ~ 17,1	Ujung pohon melengkung hembusan angin terasa di telinga
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	24,5 ~ 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 ~ 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 ~ 36,9	Tornado

## B. Generator

Generator merupakan salah satu alat yang mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Generator yang menghasilkan listrik bolak – balik (generator AC) disebut juga

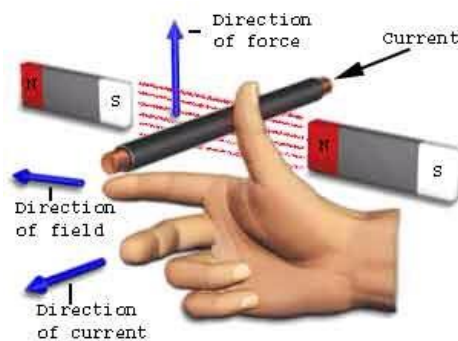
dengan alternator. Prinsip dasar alternator menggunakan hukum Faraday yang berbunyi “Apabila suatu batang penghantar digerakkan didalam suatu medan magnet yang mempunyai garis gaya magnet dari arah kutub utara ke arah kutub selatan, maka pada batang penghantar akan memotong garis – garis gaya magnet yang akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) atau EMF (*Electro Motive Force*)

Alternator terdiri dari 2 bagian besar yaitu stator dan rotor. Dimana pada stator terdapat kumparan – kumparan yang menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) sedangkan pada rotor terdapat sebuah sumber medan magnetik. Untuk sumber medan magnetik dari magnet permanen, jenis magnet yang terbaik adalah jenis Besi Boron Neodymium (NdFeB)

### C. Perinsip Kerja Generator Dc

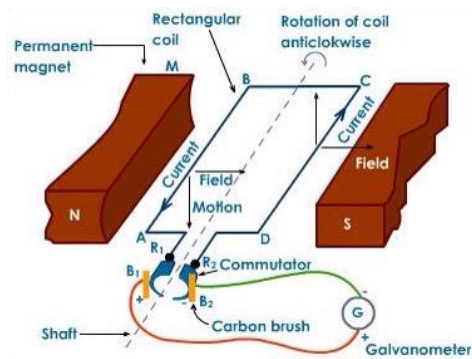
Generator adalah sebuah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berupa AC ataupun DC, bergantung dari tipe generator. Kali ini kita akan terlebih dahulu membahas generator DC.

Sama halnya dengan motor listrik, generator listrik juga menggunakan fenomena hukum Faraday mengenai induksi elektromagnetik. Hukum Faraday menyebutkan jika terjadi perubahan garis gaya magnet pada sebuah kumparan kawat, maka akan timbul gaya gerak listrik (ggl) pada kawat tersebut. Jika kumparan kawat dihubungkan dengan rangkaian listrik tertutup, maka akan timbul pula arus listrik yang mengalir pada rangkaian.



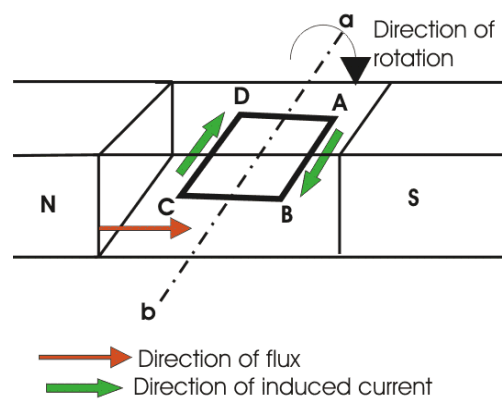
**Gambar 1.** Kaidah Tangan Kanan Fleming

Sebelum lebih lanjut memahami prinsip kerja generator, terlebih dahulu Anda harus mengenal kaidah tangan kanan Fleming. Kaidah tangan kanan Fleming adalah sebuah metode mnemonic untuk memudahkan kita menentukan arah vektor dari ketiga komponen hukum Faraday, yakni arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik. Jika Anda menirukan posisi jari tangan kanan Anda seperti pada gambar di atas, maka ibu jari akan menunjukkan arah gaya (torsi), jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet, dan jari tengah menunjukkan arah arus listrik.

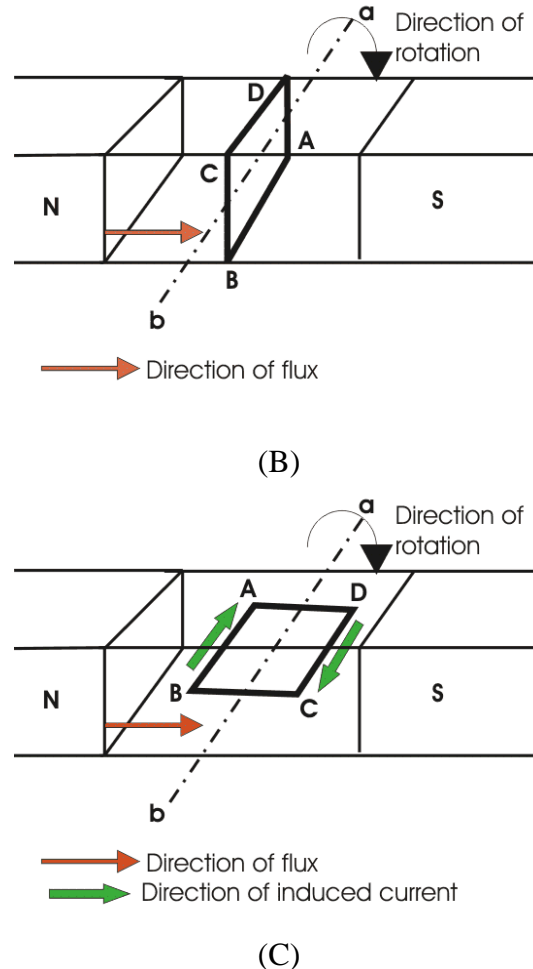


**Gambar 2.** Skema Bagian-Bagian Generator DC

Generator DC memiliki komponen yang sama persis dengan motor listrik DC. Pada skema di atas, rotor generator diskemakan dengan sebuah kawat angker penghantar listrik (*armature*) yang membentuk persegi panjang. Pada kedua ujung kawat angker terpasang komutator berbentuk lingkaran yang terbelah menjadi dua, komponen ini sering kita dengar dengan sebutan cincin belah. Cincin belah termasuk bagian dari rotor, sehingga ia ikut berputar dengan rotor. Sedangkan stator generator tersusun atas dua magnet dengan kutub berbeda yang saling berhadapan. Pada bagian yang kontak langsung dengan cincin belah, stator dilengkapi dengan sikat karbon yang berfungsi untuk menghubungkan arus listrik yang dibangkitkan pada kawat angker ke rangkaian di luar generator.



(A)



**Gambar 3.** Prinsip Kerja Generator DC

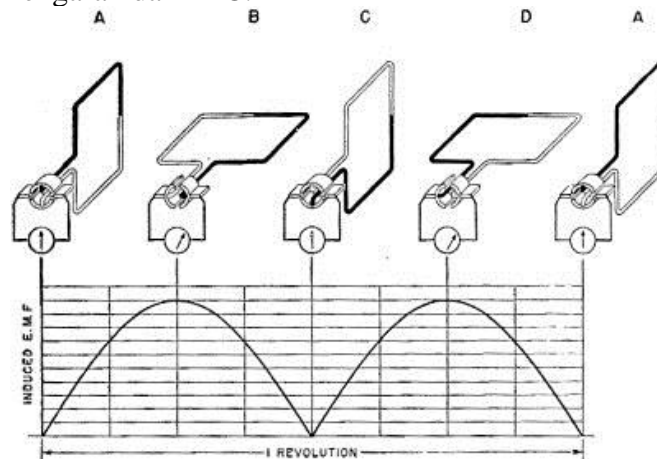
Gambar di atas adalah skema sederhana proses kerja generator DC. Kawat angker ABCD dapat berputar dengan sumbu a-b, dan berada di tengah-tengah medan magnet N-S. Kawat angker sedang dalam kondisi diputar oleh sumber dari luar, dengan arah yang searah putaran jarum jam sesuai pada gambar. Putaran ini memberikan gaya torsi dengan arah yang selalu tegak lurus dengan kawat angker.

Kawat angker berada dalam posisi horisontal pada gambar (a). Kawat A-B mengalami gaya torsi yang mengarah ke bawah (sesuai arah putaran angker). Dengan menggunakan kaidah tangan kanan Fleming, kita akan dengan mudah menentukan arah arus listrik yang terbangkitkan adalah dari titik A ke B. Demikian pula dengan kawat C-D, melalui cara yang sama akan dengan mudah kita tentukan arah arus listrik yang terbangkitkan adalah dari C ke D.

Pada gambar (b) arah torsi yang terjadi pada kawat A-B adalah mendatar ke arah kiri, sedangkan untuk kawat C-D arah torsi adalah mendatar ke kanan. Karena vektor torsi ini sejajar dengan garis gaya magnet dan tidak terjadi pemotongan garis gaya magnet, maka pada posisi ini tidak akan timbul gaya gerak listrik.

Pada gambar (c) kawat angker kembali berposisi horisontal. Pada kondisi ini kembali dengan mudah kita dapat menentukan arah arus listrik yang terbangkitkan.

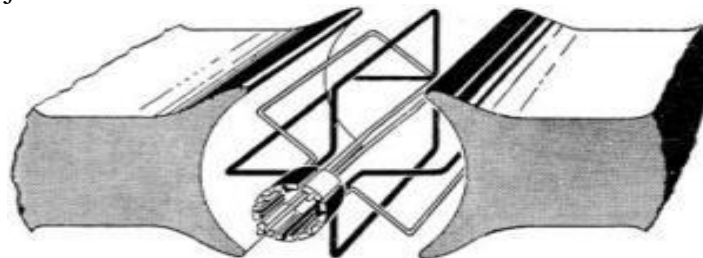
Untuk kawat A-B arus listrik akan mengarah dari B ke A, sedangkan pada kawat C-D arus listrik akan mengarah dari D-C.



**Gambar 2.** Grafik Voltase yang Dibangkitkan Generator DC

Grafik di atas menunjukkan besar voltase gaya gerak listrik yang dibangkitkan oleh sebuah generator dengan satu lilitan kawat angker pada beberapa posisi lilitan. Terlihat bahwa grafik berbentuk setengah gelombang yang selalu berulang secara periodik. Nilai voltase pada setiap waktu adalah positif, hal ini dikarenakan arus yang dibangkitkan oleh generator DC yang selalu searah.

Pada aplikasinya, generator DC selalu menggunakan lebih dari satu lilitan kawat angker. Penggunaan banyak lilitan ini akan menghasilkan voltase yang semakin stabil di setiap waktu. Celah yang ada di tiap tengah-tengah gelombang voltase akan semakin tertutup. Semakin banyak jumlah lilitan, akan semakin tertutupi celah-celah tersebut. Gambar berikut adalah generator dengan empat lilitan, tampak grafik voltasenya menjadi semakin rata dan stabil.



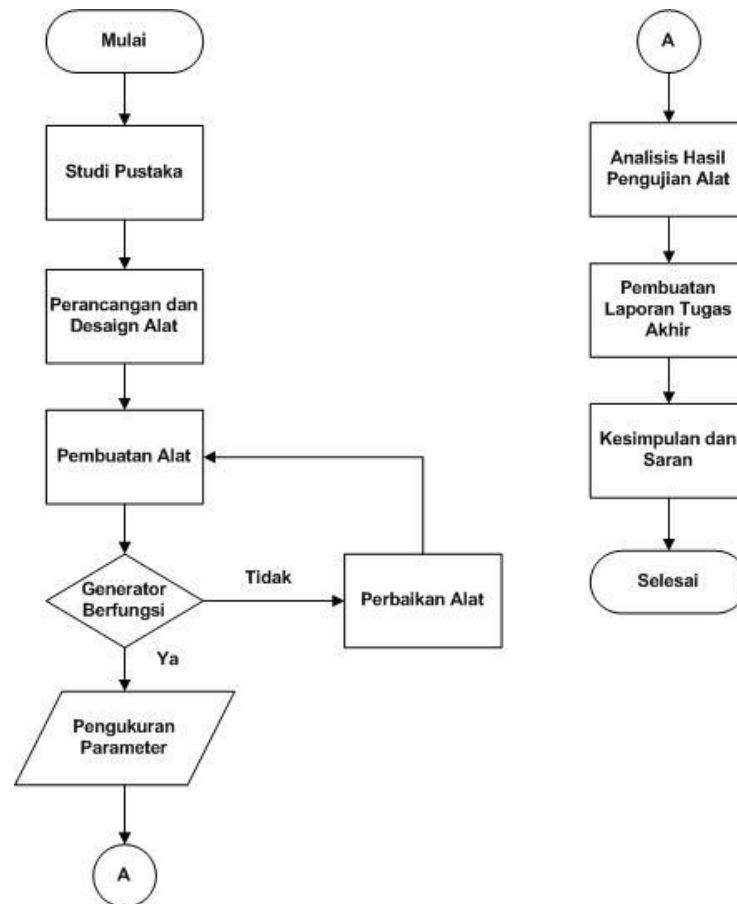
**Gambar 3.** Skema Generator dengan Empat Lilitan Armature

### 3. METODE PENELITIAN

#### A. Perosedur Kerja

Metode penelitian yang dilakukan seperti ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 6 sebagai berikut :





**Gambar 6.** Diagram Alir Prosedur Kerja

Terlihat pada gambar 6 metode pelaksanaan kegiatan mengikuti diagram alir prosedur kerja.

- a. Studi Pustaka  
Dalam studi pustaka ini dilakukan untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat dalam melaksanakan penelitian sehingga mempermudah penulis untuk melaksanakan kegiatan penelitian di lapangan. Sumber – sumber pustaka yang digunakan penulis dalam penelitian ini merupakan jurnal nasional
- b. Perancangan Dan Desain Alat  
Untuk membuat sebuah alat kita perlu membuat desain dalam bentuk gambar terlebih dahulu sebelum kita aplikasikan ke bentuk yang sebenarnya. Desain instalasi mencakup pemilihan alat dan tata letak komponen alat yang akan kita gunakan.
- c. Pengujian alat  
Dalam pengujian alat dilaksanakan pada jam 10.00 sampai jam 17.00 dan dilakukan evaluasi untuk menilai apakah ada alat yang bekerja tidak sesuai yang diharapkan. Setelah pengambilan data dinilai baik maka akan dilanjutkan tahapan selanjutnya..
- d. Pengukuran parameter



Dalam pengukuran parameter data yang di ambil adalah kecepatan angin (m/s), tegangan (V) dan arus (A). Setelah pengambilan data dinilai baik maka akan dilanjutkan tahapan selanjutnya..

- e. Analisa  
analisa data yaitu menghitung nilai rata-rata dari parameter yang digunakan dan menghitung nilai efisiensi dari generator.
- f. Pembuatan laporan  
Pada tahap ini penulis menyajikan hasil dari seluruh kegiatan penelitian dalam bentuk laporan akhir dan akan didokumentasikan dalam bentuk laporan kegiatan. Laporan akhir kegiatan akan dilakukan pada akhir kegiatan, yaitu bulan ke-5. Hasil laporan ini adalah menganalisis data penelitian dari panel surya menggunakan lensa fresnel dan sistem tracking. Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggungjawab penulis terhadap tugas akhir yang telah dilakukan dan digunakan sebagai syarat lulus sebagai sarjana.
- g. Kesimpulan dan saran  
Berisi kesimpulan dari kegiatan penelitian dan saran dari dosen pembimbing untuk mengembangkan alat ketingkat lanjut.

#### **B. Proses Metode Penelitian**

Berdasarkan pengambilan data yang dilakukan menggunakan metode pengukuran secara langsung mulai dari pengambilan data kecepatan angin (m/s) real dan ada pula pengambilan data tegangan (V), arus (A) dan daya (W) yang dapat di ukur dari keluaran generator.

#### **C. Metode Analisa Data**

Penelitian ini dilakukan dengan metode pengujian seperti dijelaskan diatas. Adapun langkah-langkah dalam pengambilan data pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- a. Siapkan alat yang akan di uji pada lokasi pengujian
- b. Lalu siapkan alat ukur mulai dari multimeter digital dan anemometer untuk mengukur parameter
- c. Melakukan pencatan data kecepatan angin yang telah diukur oleh anemometer
- d. Melakukan perosen pembacaan tegangan (V) dan arus (A) dangan multimeter digital
- e. Waktu pencatatan dilakukan 30 menit sekali yang mulai dari jam 10:00 WIB sampai jam 17:00 WIB
- f. Pengambilan daya listrik yang diambil dari perhitungan tegangan (V) dan arus (A) yang tealah didapat
- g. Melakukan hal yang sama dalam hari pengujian selanjutnya
- h. Melakukan perbandingan hasil daya yang telah didapat dari tiap tiap harinya, sehingga dapat menghasilkan daya listrik yang mana lebih besar.

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengambilan Data Hasil Penelitian Hari Pertama

Data

Tanggal pengujian : 18 Mei 2019

Waktu pengujian : 10.00 – 17.00 WIB

Tempat : Ancol Beach, Jakarta Utara

**Tabel 2.** Hasil Penelitian Hari Pertama

Hari Pertama					
No	Waktu	Kec. Angin (m/s)	Arus (A)	Teg. (V)	Watt
1	10:00	2.1	0.3	6.87	2.061
2	10:30	2.5	0.5	7.15	3.575
3	11:00	2.8	0.63	5.94	3.7422
4	11:30	2.5	0.38	6.28	2.3864
5	12:00	1.7	0.23	3.21	0.7383
6	12:30	2.3	0.39	8.36	3.2604
7	13:00	2.3	0.17	4.26	0.7242
8	13:30	3.2	0.87	9.62	8.3694
9	14:00	3.6	0.96	10.69	10.2624
10	14:30	4.5	1.32	12.3	16.236
11	15:00	4.5	1.45	11	15.95
12	15:30	5.2	2.07	19.45	40.2615
13	16:00	4.4	1.89	17.19	32.4891
14	16:30	1.8	0.51	8.63	4.4013
15	17:00	2.7	0.57	8.84	5.0388

Hasil daya yang di peroleh sangat tergantung pada kecepatan angin yang diterima oleh turbin angin dan akan berpengaruh pada arus dan tegangan. Pada penelitian ini kecepatan angin tidak stabil sehingga menghasilkan keluaran generator yang berbeda-beda tiap jam nya, seperti yang tertera pada tabel 4.1 dan Daya yang bisa dibangkitkan adalah sebesar 9,97 Watt dengan efisiensi sebesar 43,92 %.

## 5. KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan generator magnet permanen dapat menghasilkan energi listrik dengan daya rata-rata yang dihasilkan sebesar 9,301 Watt, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengisian baterai yang digunakan untuk kebutuhan listrik sehari-hari.
2. Pembangkit Listrik Tenaga Angin menghasilkan tegangan maksimal sebesar 17,19 Volt, arus sebesar 2,07 Ampere serta daya maksimal sebesar 40,2615 Watt pada pengujian disaat siang hari.

## REFERENSI

- [1] Kajian Potensi Energi Angin, *puslitbang.bmkg.go.id/jmg/index.php/jmg/article/*. diakses tanggal 27 juni 2019
- [2] Amsor, R. M., & Iskandar, R. (2017). Performansi Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius 2 Tingkat Untuk Pengisian Baterai Sebagai Penerangan Lampu Perahu Nelayan Kota Padang. METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal, 1(1), 9-19.

- [3] Sudibyo, U. B., & Setiawan, E. A. (2013). ANALISA KINERJA SIMULATOR PLTB PADA MODEL JARINGAN LISTRIK MIKRO ARUS SEARAH. *Jurnal Poli-Teknologi*, 9(2).
- [4] Insiyanda, D. R., Rustana, C., Kurniati, F., Murtiningsih, I., Wulandari, P., & Dewi, R. T. (2015, October). PROTOTIPE TURBIN ANGIN SUMBU TEGAK SEBAGAI PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK RAMAH LINGKUNGAN. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)* (Vol. 4, pp. SNF2015-VII).
- [5] Sitorus, C. A. (2017). Pembuatan Alternator Axial Flux Coreless Dengan Menggunakan Magnet Permanen (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [6] Prayoga, D. S., Suraatmadja, M. S., & Hidayat, I. (2016). Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vertical-axis Wind Turbine. *eProceedings of Engineering*, 3(1).
- [7] Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2017). PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SUMBU VERTIKAL UNTUK PENERANGAN RUMAH TANGGA DI DAERAH PESISIR PANTAI. *INDUSTRI INOVATIF JURNAL TEKNIK INDUSTRI*, 7(1), 20-28.
- [8] Nakhoda, Y. I., & Shaleh, C. (2016). Rancang Bangun Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu Vertikal Savonius Portabel Menggunakan Generator Magnet Permanen. *INDUSTRI INOVATIF JURNAL TEKNIK INDUSTRI*, 5(2).
- [9] Asy'ari, H., Jatmiko, J., & Ardiyatmoko, A. (2012). Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (Pltb). *Jurnal Fakultas Hukum UII*.
- [10] Nawawi, I., & Fatkhurrozi, B. (2017). SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SKALA KECIL PADA BANGUNAN BERTINGKAT. *THETA OMEGA: JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, COMPUTER AND INFORMATION TECHNOLOGY*, 1(1), 5-10.
- [11] Nugroho, S. (2016). Desain Generator Magnet Permanen RPM Rendah Dengan Memanfaatkan Motor Kipas (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).