

Implementasi bilah savonius *type u* dengan variasi kemiringan sudu bilah savonius pada modul ajar pembangkit listrik tenaga bayu

Herman Hariyadi¹, Leonardo Kamajaya², Fitri³, Mohammad Hafidh Fadli⁴

herman.hariyadi@polinema.ac.id¹, leonardo42@polinema.ac.id², fitri@polinema.ac.id³,

hafidmantasti@gmail.com⁴,

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 11 Agustus 2021

Direvisi 12 Oktober 2021

Diterima 29 Oktober 2021

Kata kunci:

Savonius
Data logger
Modul Ajar
PLTB

ABSTRAK

Pertumbuhan dan konsumsi listrik yang tidak berimbang serta tingkat polusi yang terus meningkat, mendorong banyak penelitian tentang pembangkit listrik energi baru dan terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang menghasilkan energi listrik adalah pembangkit listrik tenaga bayu. Turbin angin jenis savonius merupakan turbin yang sesuai dioperasikan dengan kecepatan angin yang relatif rendah dan cocok digunakan sebagai pembangkit listrik berskala kecil. Pada penelitian ini penulis juga mengkaji konfigurasi variasi kemiringan sudu bilah savonius tipe *u* overlap dan tipe *u* non-overlap. Agar mengetahui spesifikasi teknik pembangkit listrik tenaga bayu ini, penulis merancang prototype pembangkit listrik tenaga bayu turbin savonius dengan variasi kecepatan angin 0-8 m/s, variasi kemiringan sudu turbin sebesar 0⁰, 15⁰ dan 30⁰. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan turbin dengan kemiringan sudu 150 pada bilah savonius non overlap menghasilkan tegangan dan RPM paling tinggi. Rata-rata tegangan yang dihasilkan pada kemiringan sudu tersebut adalah 3,61V pada 1081 RPM, dan arus keluaran mencapai 950mA dengan beban resistor 10Ω. *Data logger* digunakan untuk menyimpan data berbagai sensor tersebut kemudian di *plot* dalam bentuk grafik dengan komunikasi serial ke PC untuk selanjutnya dianalisa.

ABSTRACT

*The growth and disproportionate consumption of electricity as well as the level of pollution continues to increase, prompting a lot of research on new and renewable energy power generation. One of the renewable energies that produces electrical energy is wind power generation. The savonius type wind turbine is a turbine that is suitable for operation with relatively low wind speeds and is suitable for use as small-scale power plants. In this study, the author also examines the configuration of the savonius blade slope variations, type *u* overlap and type *u* non-overlap. In order to know the technical specifications of this wind power plant, the author designed a prototype of the Savonius turbine wind power plant with wind speed variations of 0-8 m/s, turbine blade slope variations of 0⁰, 15⁰ and 30⁰. Based on experiments that have been carried out turbines with blade slopes 150 on non-overlap savonius blades produces the highest voltage and RPM. The average voltage produced on the slope of the blade is 3.61V at 1081 RPM, and the output current reaches 950mA with a load resistor of 10Ω. The data logger is used to store data on various sensors and then plotted in the form of a graph with serial communication to a PC for further analysis.*

Keywords:

Savonius
Data Logger
Teaching Aid

Penulis Korespondensi:

Leonardo Kamajaya,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Sukarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.
Email: leonardo42@polinema.ac.id

1. PENDAHULUAN

Turbin angin sumbu vertikal memiliki dua bilah semi-silinder yang diatur dalam bentuk "S", salah satunya cembung dan yang lainnya cekung untuk menangkap hembusan angin[1]. Menurut prinsip aerodinamis, rotor turbin menggunakan gaya hambat untuk mengekstrak energi angin dari aliran angin melalui sudu turbin. [2], [3]. Oleh karena itu, sisi cekung dari permukaan semi-silinder yang dilalui angin memberikan hambatan yang lebih besar daripada sisi lainnya, memungkinkan rotor yang berputar untuk menggerakkan generator dan generator menghasilkan tegangan dan arus.

Selain itu, dalam penelitian yang dilakukan oleh Mohamed Hasan A. M dalam desertasinya pada tahun 2011, mengungkapkan bahwa metoda twisted-blade (kemiringan sudu) dapat meningkatkan *Coefficient Power* (CP) yang dihasilkan hingga 27% [4], [5]. Oleh karena itu, dasar dari penelitian tersebut dikembangkan dalam modul ajar pembangkit listrik tenaga angin sehingga dapat diakses dengan mudah bagi mahasiswa maupun masyarakat.

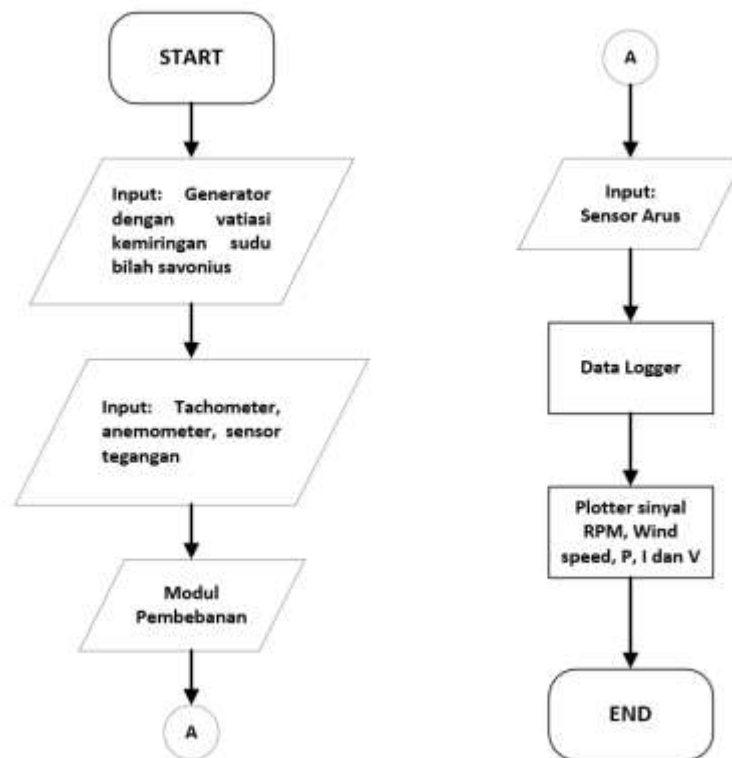
Alat peraga merupakan salah satu media pembelajaran pada perkuliahan. Dengan media tersebut mahasiswa dapat mengetahui prinsip dan cara kerja alat secara langsung. Oleh karena itu perlu dikembangkan alat uji pembangkit listrik tenaga bayu yang bekerja pada kecepatan angin yang rendah dan menghasilkan energi listrik skala kecil.

Pada penelitian ini digunakan turbin tipe savonius dengan variasi kecepatan angin 0-8 m/s, variasi kemiringan sudu turbin sebesar 0° , 15° dan 30° . Pengukuran dilakukan dengan membandingkan variasi kemiringan sudu bilah savonius tipe u overlap dan tipe u non-overlap. Pengkajian dilakukan untuk melihat pengaruh variasi kecepatan angin terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian

Pendekatan penelitian ini dilakukan secara rekayasa. Karena metode rekayasa adalah kegiatan desain yang luar biasa, mereka memberikan kontribusi baru baik dalam bentuk, proses, maupun produk yang digunakan.[6]. Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian.



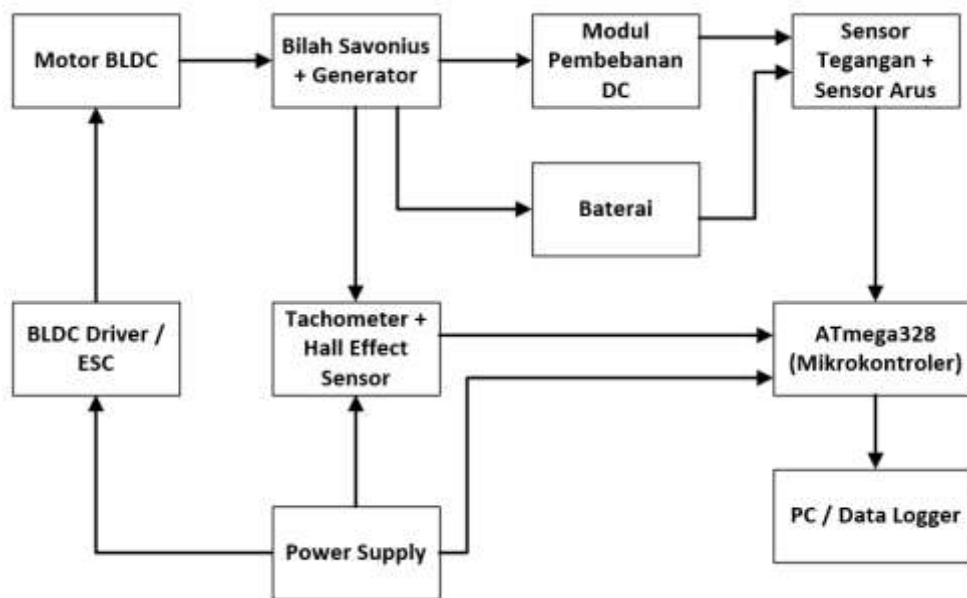
Gambar 1. Diagram alir sistem alat

Pada penelitian ini dibuat sebuah modul ajar pembangkit listrik tenaga bayu dengan *data logger*[7], komponen yang digunakan yaitu terdiri dari : motor BLDC dengan driver motor bldc sebagai sumber angin[8], [9], generator yang dicouple langsung dengan bilah savonius, modul pembebanan dc/potensiometer 100 Ω , sensor infrared halang rintang untuk mengukur kecepatan putaran dari bilah savonius yang dihembuskan oleh angin, sensor Hall Effect yang diintegrasikan dengan *Vane Anemometer* untuk mengukur kecepatan angin[10],

sensor tegangan yang terdiri dari dua buah resistor yang disusun secara paralel untuk mengukur tegangan keluaran dari generator, sensor arus ACS712 untuk mengukur arus yang mengalir pada modul pembebanan [11], [12]. Setelah itu, koneksi serial dari mikrokontroler ke PC dibutuhkan untuk mentransfer data dari berbagai sensor kemudian data pembacaan sensor disimpan ke dalam RAM (*Random Access Memory*) dan kemudian dapat di plot dalam bentuk grafik.

2.2 Cara kerja alat

Sistem kerja dari modul ajar pembangkit listrik tenaga bayu memiliki beberapa bagian atau elemen penyusun, yaitu : *power supply* atau catu daya, *generator* yang dicouple langsung dengan bilah savonius, modul pembebanan DC, *tachometer* atau pengukur kecepatan putaran bilah savonius, *anemometer* atau pengukur kecepatan angin, sensor tegangan, sensor arus, mikrokontroler, dan PC. Setiap bagian pada modul ajar tersebut memiliki fungsi masing-masing. Ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini, merupakan contoh sederhana untuk merangkai setiap bagian modul ajar PLTB. Dalam penelitian ini, pengguna merangkai untuk melakukan percobaan pengaruh pengaplikasian kemiringan sudu bilah savonius terhadap kecepatan putaran, tegangan, dan arus yang dihasilkan. Selain itu, pengguna dapat merangkai berbagai modul untuk setiap percobaan yang diinginkan hingga modul inverter DC-AC.



Gambar 2. Blok diagram sistem

Cara kerja pada modul ajar ini dapat dilihat pada Gambar 2. Cara kerja dari sistem ini yaitu BLDC driver membangkitkan sinyal PWM dan *duty cycle* dari sinyal PWM tersebut dapat diatur secara manual menggunakan potensiometer maupun secara otomatis menggunakan program data logger di PC. Sinyal tersebut digunakan untuk mengaktifkan tiga buah MOSFET sehingga dapat menggerakkan Motor BLDC. Motor BLDC bergerak dengan kecepatan tertentu menghasilkan sumber angin yang dapat digunakan untuk menggerakkan bilah savonius. Kemudian, bilah savonius yang terhembus angin menggerakkan generator DC, sehingga generator DC mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Kecepatan putaran yang terdapat pada bilah savonius karena hembusan angin dari motor BLDC diukur oleh sensor infrared halang rintang. Keluaran dari sensor *infrared obstacle avoidance* adalah berupa sinyal digital yang frekuensinya dapat diukur menggunakan mikrokontroler. Frekuensi hasil pengukuran diproses oleh mikrokontroler dengan membandingkan frekuensi terbaca kemudian dibagi dengan 60000 milis. Hasil dari pemrosesan ditampilkan ke program data logger dalam bentuk grafik RPM.

Tegangan keluaran dari generator dapat diukur secara langsung menggunakan voltmeter yang tertera pada panel elektrik maupun dapat dibaca oleh sensor tegangan. Sensor tegangan terdiri dari dua buah resistor yang disusun secara paralel berdasarkan prinsip pembagi tegangan. Tegangan yang diukur di sini kurang dari 24 volt di sisi input port input mikrokontroler dan 5 volt di sisi output. Hasil pengukuran sensor tegangan berupa sinyal analog yang harus dikonversi terlebih dahulu oleh mikrokontroler menjadi sinyal digital dan kemudian ditampilkan ke dalam data logger dalam bentuk grafik. Kemudian, hasil dari generator tersebut dapat dihubungkan dengan modul pembebanan DC, yaitu: potensiometer 100Ω secara paralel atau dihubungkan dengan baterai. Sensor Arus ACS712 dihubungkan secara seri dengan modul pembebanan untuk mengukur arus keluaran dari generator menuju modul pembebanan. Setelah itu, Sensor *Hall Effect* yang terintegrasi

Implementasi bilah savonius type u dengan variasi kemiringan sudu bilah savonius pada modul ajar pembangkit listrik tenaga bayu (Leonardo Kamajaya)

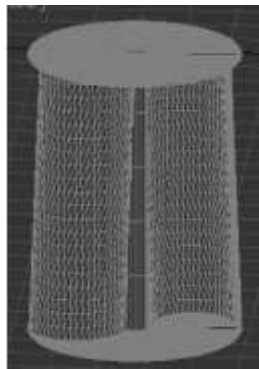
dengan *vane anemometer* membaca putaran baling-baling pada anemometer. Hasil pembacaan kecepatan putaran baling-baling tersebut diproses oleh mikrokontroller dan diubah dari satuan RPM menjadi satuan kecepatan angin yaitu m/s.

Pengaturan kecepatan angin dan hasil dari berbagai sensor yang telah diproses oleh mikrokontroller ditampilkan dalam grafik pada program data logger dan disimpan ke dalam *RAM*. Pada program terdapat fitur rekam dan simpan data ke dalam media penyimpanan *harddrive* yang memudahkan pengguna untuk melakukan analisa lebih lanjut berulang-kali.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian bilah savonius *non-overlap*

Bilah savonius yang mendapatkan hembusan angin dari sumber angin motor *bldc* yang dapat diatur kecepatan anginnya menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik digunakan untuk menggerakkan generator sehingga generator mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Pada percobaan ini digunakan bilah savonius *non-overlap* (Gambar 3) yaitu bilah savonius yang pada bagian depan dan belakang pada rotor tidak tembus atau tidak ada celah. Jarak bilah savonius terhadap sumber angin atau motor *BLDC* diatur pada jarak 5 cm.



Gambar 3. Perancangan bilah savonius *non-overlap* dengan kemiringan sudu 15°

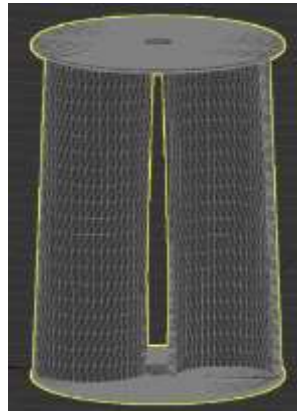
Tabel 1. Hasil pengujian performansi bilah savonius *non-overlap*

Kemiringan Sudu Bilah	Kecepatan Angin (m/s)	RPM Tanpa Pembebanan	Tegangan Tanpa Pembebanan (V)	RPM dengan Pembebanan	Tegangan dengan Pembebanan (V)	Arus Keluaran Beban Resistor 10Ω (mA)
0°	5	741	2.21	561	1.11	340
0°	6	932	2.34	832	1.81	520
0°	7	1044	2.51	984	2.14	710
0°	8	1087	3.04	1021	2.23	840
15°	5	783	2.71	598	1.88	380
15°	6	995	2.83	885	2.33	570
15°	7	1128	2.86	1007	2.59	810
15°	8	1174	3.61	1008.4	2.68	950
30°	5	756	2.35	589	1.3	350
30°	6	947	2.59	855	2.02	450
30°	7	1060	2.72	994	2.34	750
30°	8	1108	3.31	1031	2.42	820

Pada percobaan dilakukan dengan pengambilan data setiap pengujian performansi kemiringan sudu sebanyak tiga kali dan dalam rentang waktu hingga dua menit. Pengaturan kecepatan angin berkisar antara 5 m/s hingga 8 m/s atau menyesuaikan rata-rata hembusan angin pada wilayah Jawa Timur. Didapatkan hasil pengujian yaitu tegangan keluaran terbesar pada kemiringan sudu 15° bilah savonius sebesar 3,61 V tanpa mengoperasikan modul pembebanan resistor, sedangkan jika diberi pembebanan resistor sebesar 10Ω , tegangan turun menjadi 2,68 dengan arus keluaran sebesar 950mA. Hal ini disebut juga sebagai *undervoltage*, hal ini terjadi karena adanya pembebanan pada generator. Dengan adanya pembebanan maka pada penghantar jangkar akan timbul arus jangkar. Arus jangkar menyebabkan timbulnya fluks pada penghantar jangkar yang biasa disebut dengan Fluks Medan Jangkar. Medan jangkar akan memperlemah medan utama sehingga tegangan yang dihasilkan akan menurun.

3.2. Pengujian bilah savonius overlap

Pada pengujian ini digunakan bilah savonius overlap (Gambar 4) dengan kemiringan sudu 0° , 15° , dan 30° dan diberikan kecepatan angin pada rentang 6 hingga 8 m/s. Pengujian kestabilan RPM dilakukan pada dua kondisi, tanpa beban dan dengan beban.



Gambar 4. Perancangan bilah savonius *overlap* dengan kemiringan sudu 15°

Tabel 2. Hasil pengujian performansi bilah savonius *overlap*

Kemiringan Sudu Bilah	Kecepatan Angin (m/s)	RPM Tanpa Pembebanan	Tegangan Tanpa Pembebanan (V)	RPM dengan Pembebanan	Tegangan dengan Pembebanan (V)	Arus Keluaran Beban Resistor 10Ω (mA)
0°	5	702	1.88	598	1.02	290
0°	6	831	2.06	703	1.63	430
0°	7	875	2.19	771	1.91	580
0°	8	923	2.51	795	2.11	630
15°	5	727	2.09	623	1.06	310
15°	6	854	2.25	726	1.66	510
15°	7	889	2.5	785	2.1	560
15°	8	945	2.81	817	2.3	680
30°	5	756	2.15	652	1.45	340
30°	6	871	2.28	743	1.81	390
30°	7	912	2.41	808	2.25	510
30°	8	968	2.61	840	2.32	530

Pada percobaan pengujian bilah savonius overlap pada Tabel 2 di atas, digunakan bilah savonius non-overlap yaitu bilah savonius yang pada bagian depan dan belakang pada rotor tembus atau terdapat celah sebesar 5 mm. Jarak bilah savonius terhadap sumber angin atau motor BLDC diatur pada jarak 5 cm. Pada percobaan dilakukan dengan pengambilan data setiap pengujian performansi kemiringan sudu sebanyak tiga kali dan dalam rentang waktu hingga dua menit. Pengaturan kecepatan angin berkisar antara 5 m/s hingga 8 m/s atau menyesuaikan rata-rata hembusan angin pada wilayah Jawa Timur. Didapatkan hasil pengujian yaitu tegangan keluaran terbesar pada kemiringan sudu 15° bilah savonius sebesar 2.81 V tanpa mengoperasikan modul pembebanan resistor, sedangkan jika diberi pembebanan resistor sebesar 10Ω , tegangan turun menjadi 2,3V dengan arus keluaran sebesar 680mA.

Dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, bahwa kemiringan sudu dan konfigurasi bilah menghasilkan hasil yang berbeda. Didapatkan data perbandingan kedua konfigurasi bilah savonius, bahwa kemiringan sudu efektif terdapat pada kemiringan sudu 15° , sedangkan konfigurasi non-overlap menjadi konfigurasi bilah paling efektif terdapat pada kecepatan angin 8 m/s. Dibandingkan dengan konfigurasi overlap, konfigurasi overlap memperkecil torsi angin dan menunjukkan hasil kecepatan putaran bilah lebih lambat sekitar $\pm 20\%$ dibanding dengan konfigurasi non-overlap. Hal ini terjadi disebabkan angin dapat menembus antara sisi bilah yang berhadapan dengan sumber angin dengan sisi bilah yang tidak mendapatkan tekanan atau dorongan angin. Pengurangan kecepatan putaran bilah diimbangi dengan tegangan keluaran yang lebih kecil dan berbanding lurus dengan kecilnya arus keluaran. RPM tertinggi pada bilah konfigurasi non-overlap didapatkan karena bilah yang digunakan dapat mendefleksikan atau memantulkan angin lebih tinggi dibanding dengan bilah menggunakan konfigurasi overlap, sehingga nilai torsi yang diberikan angin untuk menggerakkan bilah seimbang dengan nilai sudu defleksi pada radian 15° .

3.3. Data logger

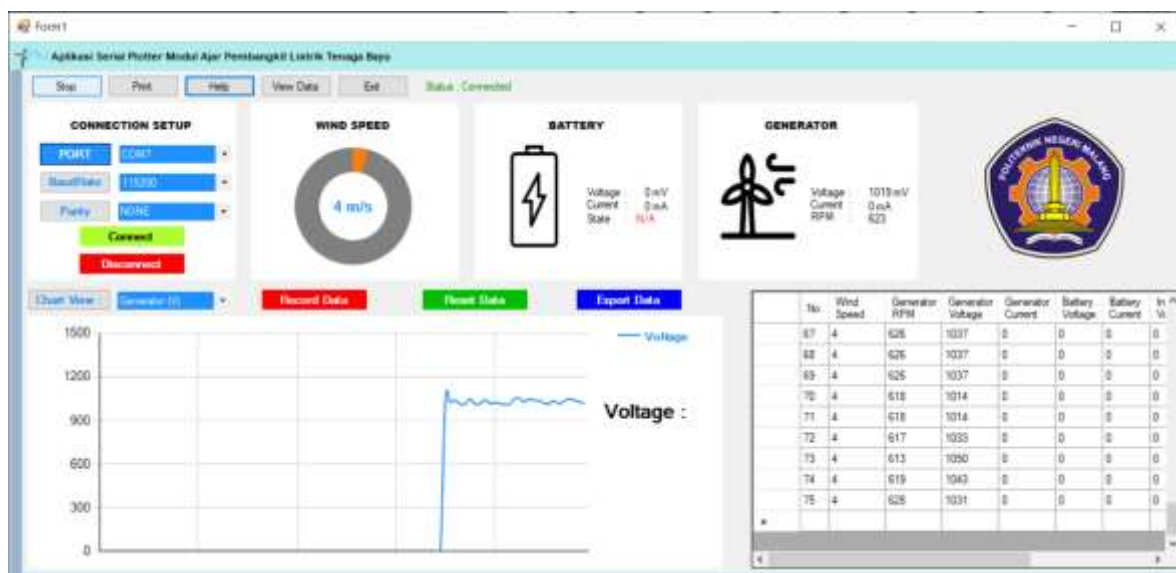
Hasil pemrosesan dari berbagai sensor oleh mikrokontroler dikoneksikan dengan PC atau aplikasi data logger kemudian data disimpan ke dalam RAM komputer. Pada percobaan yang dilakukan, data tersebut merupakan data pembacaan dari sensor hall effect berupa *Wind Speed*, pembacaan dari sensor *infrared obstacle* berupa *RPM*, dan pembacaan dari sensor tegangan. Data yang telah tersimpan sementara pada RAM dapat disimpan ke dalam media penyimpanan lainnya, seperti *Harddrive* dengan menekan tombol Export Data. Berikut ini adalah contoh perekaman data generator tanpa pembebanan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perekaman kecepatan angin, RPM, dan tegangan generator pada data logger

No	Wind Speed	Generator RPM	Generator Voltage	Generator Current	Battery Voltage	Battery Current
1	4	629	1014	0	0	0
2	4	630	1043	0	0	0
3	4	619	1019	0	0	0
4	4	626	1025	0	0	0
5	4	633	1017	0	0	0
6	4	629	1011	0	0	0
7	4	629	1011	0	0	0
8	4	622	1013	0	0	0
9	4	622	1013	0	0	0
10	4	622	1013	0	0	0
11	4	612	1051	0	0	0

3.4. Plotter

Data yang telah tersimpan dalam RAM atau *data logger* dapat dimonitoring secara langsung melalui aplikasi dalam bentuk grafik yang tampak pada Gambar 5. Pengkomunikasian dengan program pada pc dengan cara komunikasi serial melalui kabel *USB* dengan memanfaatkan komunikasi serial yang terdapat pada mikrokontroler ATmega328. Setiap satu kali pengiriman data serial, data berbagai sensor dikirimkan dengan 8 baris data dengan pemisah variable pembawa data tersebut, serta diberikan jeda waktu atau *timer serial tick* sebesar 200 ms untuk meminimalisir terjadinya kesalahan penampilan data. Tampilan grafik dapat diubah-ubah pada *Chart View*.



Gambar 5. Tampilan plotter tegangan keluaran generator pada program

4. KESIMPULAN

Pada Implementasi Kemiringan Sudu Terhadap Bilah Savonius tipe U, didapatkan hasil yang dengan tegangan dan RPM tertinggi atau mencapai puncaknya pada variasi kemiringan sudu 15° pada bilah savonius non overlap. RPM tertinggi didapatkan karena bilah yang digunakan dapat mendefleksikan atau memantulkan angin lebih tinggi dibanding dengan bilah menggunakan konfigurasi overlap, sehingga nilai torsi yang

diberikan angin untuk menggerakkan bilah seimbang dengan nilai sudut defleksi pada radian 15° . Nilai Rata-rata tegangan yang dihasilkan pada pengujian bilah savonius tipe U dengan kemiringan sudut 15° yaitu 3,61V pada 1081 RPM, dan arus keluaran dengan menggunakan beban resistor 100 Ω mencapai 950mA. Pada pengimplementasian bilah savonius tipe U dengan kemiringan sudut, didapatkan bahwa konfigurasi overlap semakin memperkecil torsi angin dikarenakan angin dapat menembus antara sisi bilah yang berhadapan dengan sumber angin dengan sisi bilah yang tidak mendapatkan tekanan atau dorongan angin.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Buyung, "Perancangan Sudu-Sudu Pembangkit Listrik Tenaga Angin tipe Savonius Mini." Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Diploma IV, Politeknik Katolik Saint ..., 2017.
- [2] B. Junaidin, "Perancangan Purwarupa Vertical Axis Wind Tubine (Vawt) Skala Kecil," *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 9, no. 2, p. 29, 2017.
- [3] M. L. Dewi, "Analisis kinerja turbin angin poros vertikal dengan modifikasi rotor savonius I untuk optimasi kinerja turbin," 2010.
- [4] M. H. A. Mohamed, "Design optimization of Savonius and Wells turbines," 2011.
- [5] Y. Fallo, B. B. Liu, and D. N. Ullly, "Pengaruh Pemasangan Sudu Pengarah Dan Variasi Jumlah Sudu Rotor Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius," *J. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 129–138, 2017.
- [6] M. Nazir, "Metode Penelitian," *Jakarta Ghalia Indones.*, 1988.
- [7] M. R. Robiansyah, "Perancangan Kontroler Untuk Turbin Angin Skala Kecil," in *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 2017, vol. 2, pp. E6–E15.
- [8] F. S. Said, "Rancang Bangun Kontrol Kecepatan Motor Bldc Menggunakan Pid Controller Pada Wind Tunnel Sebagai Prototipe Pengujian Turbin Angin," 2017.
- [9] A. Mukhlisin, "Perancangan Modular Controller 3 Phase Brushless Direct Current (BLDC) Motor Menggunakan ARM 32-Bit Cortex M-4 MCU." Institut Technology Sepuluh Nopember, 2015.
- [10] B. Priyambodo, "Rancang Bangun Alat Ukur Kelajuan Dan Arah (Kecepatan) Angin Berbasis Mikrokontroler Arduino uno." Tugas Akhir S1 Pendidikan Fisika UNY, 2018.
- [11] T. P. Satya, F. Puspasari, H. Prisyanti, and E. R. M. Saragih, "PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM ALAT UKUR ARUS LISTRIK MENGGUNAKAN SENSOR ACS712 BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN STANDARD CLAMPMETER," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 39–44, 2020.
- [12] F. Fitri, H. Hariyadi, L. Kamajaya, M. S. Madani, and S. A. Amartya, "Rancang bangun modul ajar pembangkit listrik tenaga surya jenis monocrystalline dengan data logger," *J. ELTEK*, vol. 18, no. 2, pp. 77–82, 2020.