

PERANCANGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING PADA WINDBELT GENERATOR DENGAN ALGORITMA *PERTURB & OBSERVE*

Aulia Rakhman¹, Sujono², Eka Purwa Laksana³

Program Studi Teknik Elektro: Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia

¹1752500106@student.budiluhur.ac.id

²sujono@budiluhur.ac.id

³eka.purwalaksana@budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Energi terbarukan merupakan energi yang bersumber dari elemen alam dan ketersediannya tidak akan habis karena terbentuk dari proses alam yang berkelanjutan. Energi terbarukan menjadi energi alternatif pengganti energi fosil karena ramah lingkungan dan tidak menghasilkan emisi karbon. Sumber energi terbarukan berasal dari sinar matahari, angin, aliran air, panas bumi, dll. Salah satu potensi energi terbarukan yang ada di Indonesia adalah energi angin dengan total potensi sebesar 60,6 GW. Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dengan menggunakan turbin angin dan windbelt untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Windbelt merupakan sebuah alat yang terdiri dari magnet permanen, kumparan dan pita untuk dapat menghasilkan energi listrik. Ketika pita berosilasi terhembus angin maka magnet menghasilkan perubahan fluks magnet, kemudian fluks magnet yang ditangkap oleh kumparan menghasilkan GGL induksi di kedua ujung kumparan. Agar daya yang dihasilkan windbelt tetap berada pada titik maksimum meskipun dengan kecepatan angin yang berubah-ubah (fluktuatif) maka diperlukan sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT). Oleh karena itu pada penelitian ini dirancang sebuah sistem MPPT menggunakan algoritma Perturb & Observe (P&O) dengan cara mengendalikan panjang dan ketegangan pita berdasarkan tegangan keluaran windbelt. Tegangan optimal yang dihasilkan oleh windbelt sebesar 8,93 Volt tanpa menggunakan sistem MPPT, sedangkan saat menggunakan sistem MPPT tegangan optimalnya sebesar 5,05 Volt. Pada pengujian sistem MPPT menggunakan beban (kondisi 2), tegangan keluaran mengalami penurunan yang drastis karena arus yang dihasilkan windbelt sangat kecil sehingga tidak mampu melewati beban.

Kata kunci: Energi Terbarukan; MPPT; P&O; Windbelt, GGL Induksi

ABSTRACT

Renewable energy is energy that comes from natural elements and its availability will not run out because it is formed from sustainable natural processes. Renewable energy is an alternative energy to replace fossil energy because it is environmentally friendly and does not produce carbon emissions. Renewable energy sources come from sunlight, wind, water flow, geothermal, etc. One of the renewable energy potentials in Indonesia is wind energy with a total potential of 60.6 GW. Utilization of wind energy can be done by using wind turbines and windbelts to convert wind energy into electrical energy. Windbelt is a device consisting of a permanent magnet, coil and tape to produce electrical energy. When the oscillating band is blown by the wind, the magnet produces a change in magnetic flux, then the magnetic flux captured by the coil produces induced emf at both ends of the coil. In order for the power generated by the windbelt to remain at its maximum point even though the wind speed fluctuates, a Maximum Power Point Tracking (MPPT) system is needed. Therefore, in this study, an MPPT system was designed using the Perturb & Observe (P&O) algorithm by controlling the length and tension of the band based on the windbelt output voltage. The optimal voltage generated by the windbelt is 8.93 Volts without using the MPPT system, while when using the MPPT system the optimal voltage is 5.05 Volts. In testing the MPPT system using a load (condition 2), the output voltage has decreased drastically because the current generated by the windbelt is so small that it cannot pass through the load.

Keywords: Renewable Energy; MPPT; P&O; Windbelt; Emf Induced.

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang berasal dari elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, aliran air, panas bumi dan sebagainya [1]. Penggunaan energi terbarukan sebagai energi alternatif pengganti energi fosil sangat diperlukan karena termasuk energi bersih yang tidak menghasilkan emisi karbon. Berdasarkan data dari Kementerian ESDM, salah satu potensi energi terbarukan yang ada di Indonesia adalah energi angin dengan total potensi sebesar 60,6 Gigawatt [2]. Energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui sebuah kincir angin yang di dalamnya terdapat generator. Untuk membangun sebuah kincir angin diperlukan biaya yang tidak sedikit dan wilayah dengan kecepatan angin yang memadai yaitu lebih dari 5 m/s [3]. Pada tahun 2004, Shawn Frayen menciptakan *windbelt* generator dengan menggunakan sebuah pita yang ditempelkan magnet pada salah satu ujung pita. Pita bermagnet akan berosilasi diantara kumparan apabila tertiup angin dan menghasilkan tegangan listrik dari proses induksi elektromagnetik. Pita pada *windbelt* bekerja menggunakan prinsip *Aeroelastic Flutter* yang biasa dipakai dalam menentukan struktur konstruksi pesawat terbang dan jembatan gantung agar tidak terjadi kibraran atau getaran yang mengakibatkan kerugian [4].

Pada jurnal yang membahas tentang Perancangan *Solar Charge Controller* (SCC) dengan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis Mikrokontroler Arduino Nano [5]. Algoritma MPPT yang digunakan adalah *Perturb & Observe* (P&O) dan DC/DC *converter* yang digunakan berjenis *Synchronous Buck Converter*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan SCC MPPT dengan SCC PWM untuk mengetahui kinerja SCC MPPT yang sudah dibuat. Dari hasil pengujian menggunakan sistem MPPT didapatkan rerata daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 22,87 Watt sedangkan SCC PWM didapatkan rerata daya sebesar 14,4 Watt. Algoritma P&O sering digunakan pada sistem MPPT karena mudah dalam penerapannya, algoritma ini bekerja dengan cara memberi gangguan terhadap V_{REF} dan mengamati dampak dari gangguan tersebut terhadap daya yang dihasilkan [6] [7]. Selain algoritma P&O terdapat beberapa algoritma pada sistem MPPT diantaranya: *Incremental Conductance* (IC), *Dynamic Approach*, *Temperature Methods* dan *Fuzzy Logic Methods* [8].

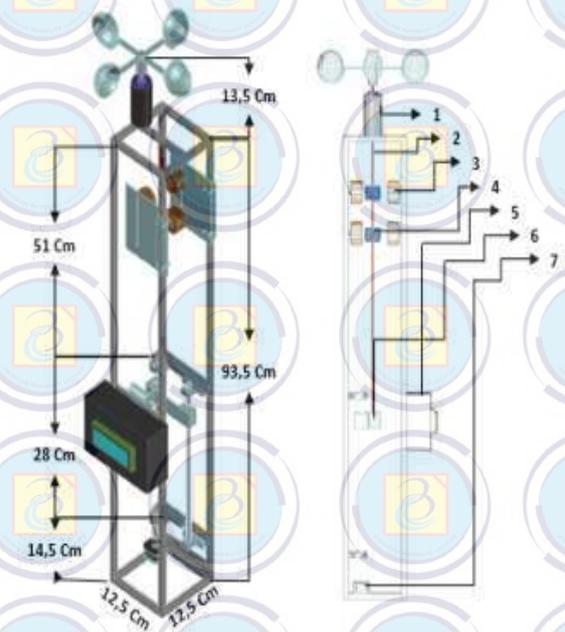
Pada jurnal mengenai Pembuatan Generator Mikro *Windbelt* Dengan Optimasi Parameter Pita Dawai dan Magnet [9] yang membahas tentang perancangan *windbelt* agar daya yang dihasilkan optimal maka perlu diperhatikan beberapa parameter, yaitu panjang pita, lebar pita, kecepatan angin, jumlah lilitan kumparan dan ukuran magnet. Menurut Vinayan [10], ketegangan pita juga sangat berpengaruh terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *windbelt*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang membahas mengenai sistem MPPT dan *windbelt* maka dalam Penelitian ini dirancang sebuah sistem MPPT pada *windbelt* generator dengan menggunakan metode *Perturb and Observe* (P&O) untuk mengendalikan daya yang dihasilkan *windbelt* generator dengan cara mengatur panjang dan ketegangan pita berdasarkan kondisi angin yang berhembus agar daya keluaran yang dihasilkan oleh *windbelt* tetap optimal.

II. RANCANGAN SISTEM

A. Kontruksi Windbelt Generator

Konstruksi *windbelt* memiliki dimensi 93,5 Cm x 12,5 Cm x 12,5 Cm, dengan panjang pita normal 51 Cm dan mampu diekspansi menjadi 79 Cm. *Hollow aluminium* digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan rangka alat. Pada bagian ujung atas rangka terdapat sensor kecepatan angin (1) sebagai pengukur kecepatan angin, dibawah sensor kecepatan angin terdapat pita (2) yang diberi dua pasang magnet (4), pita ini terbentang diantara dua pasang kumparan (3). Pada bagian tengah rangka terdapat *control box* (5) yang di dalamnya terdiri dari sensor arus ACS712, sensor tegangan, *rectifier*, *driver* motor *stepper* A4988, *driver* motor L298N, modul *SD Card* dan LCD 20x4. Pada bagian ini juga terdapat motor DC (6) yang berfungsi untuk menggulung pita. Dibagian bawah rangka terdapat motor *stepper* (7) dengan jenis NEMA 17 yang bagian as nya langsung terhubung dengan *lead screw* untuk mengatur ekspansi panjang pita menjadi lebih panjang atau lebih pendek seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kontruksi Windbelt Generator

B. Diagram Blok Sistem

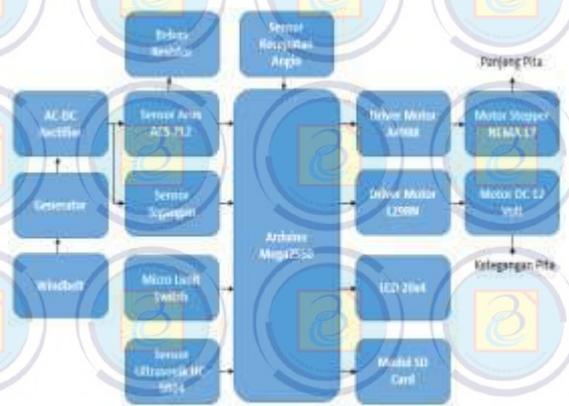
Berdasarkan Gambar 2, Prinsip kerja dari sistem MPPT pada *windbelt* generator dengan algoritma P&O, yaitu ketika pita kibar beresilasi maka generator akan menghasilkan energi listrik dengan arus AC. Kemudian arus AC diubah menjadi arus DC oleh *rectifier*, sensor arus dan sensor tegangan berfungsi untuk mengukur daya yang dihasilkan oleh *windbelt* generator. Arduino Mega 2560 digunakan sebagai pusat pengendalian keseluruhan sistem dan tempat algoritma *Perturb & Observe* diprogram didalamnya. Algoritma P&O ini bekerja dengan membandingkan daya yang dihasilkan oleh *windbelt* generator saat ini dengan daya sebelumnya dan menentukan tindakan yang harus dilakukan agar bisa mencapai titik daya maksimum (MPP) yang mampu dihasilkan oleh *windbelt* generator.

Untuk mencapai MPP, sistem ini melakukan proses ekspansi panjang pita dan pengaturan *tension* pita menggunakan dua buah aktuator berupa motor *stepper* yang dikendalikan oleh *driver* motor A4988 dan motor DC 12 Volt yang dikendalikan oleh *driver* motor L298N. *Micro limit switch* digunakan sebagai pembatas maksimum pada proses ekspansi panjang pita, untuk mengukur panjang pita selama proses ekspansi menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor kecepatan angin berfungsi untuk mengukur kecepatan angin yang sedang berhembus. LCD digunakan sebagai perangkat *output* untuk menampilkan data parameter yang dideteksi oleh sensor dan modul *micro* SD digunakan untuk menyimpan/merekam data untuk keperluan analisa data.

C. Perhitungan Gaya Gerak Listrik Induksi Pada Windbelt Generator

Dalam merancang sebuah *windbelt* harus memperhatikan beberapa faktor diantaranya: kuat medan magnet, jumlah lilitan kumparan serta penempatan magnet terhadap kumparan. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk menghitung GGL induksi pada *windbelt* jika diketahui:

- Jumlah lilitan (N) = 3000 lilit
- Frekuensi getaran pita (f) = 50 Hz
- Luas penampang kumparan (A) = $7,08 \times 10^{-4} \text{ m}^2$



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

- Kuat medan magnet (B) = 0,041 Tesla

Besar GGL induksi menggunakan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \epsilon &= 4,44 \times N \times f \times A \times B \quad (1) \\ &= 4,44 \times 3000 \times 50 \times 7,08 \times 10^{-4} \times 0,041 \\ &= 19,33 \text{ Volt} \end{aligned}$$

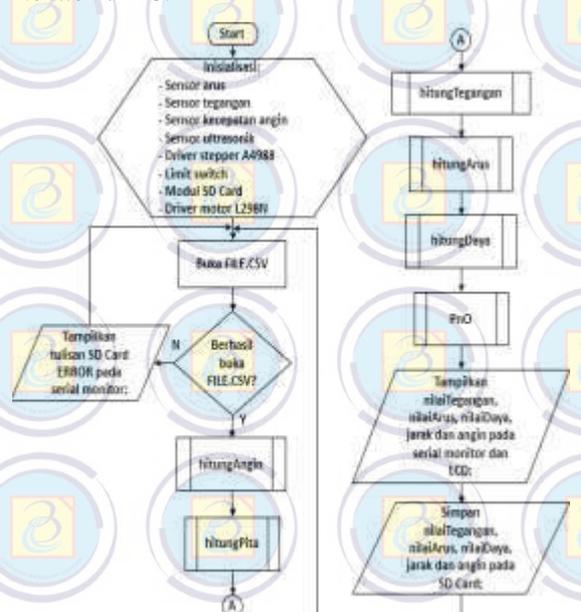
Karena konstruksi *windbelt* yang menempatkan magnet diantara kumparan saat pita beresilasi, persentase fluks magnet yang diserap oleh kumparan tidaklah maksimal karena posisi magnet berada pada salah satu bagian sisi kumparan saja. Jika persentase fluks magnet yang diserap oleh kumparan sebesar 10% maka besar GGL induksi pada kumparan menjadi:

$$\epsilon = 19,33 \times 0,1 = 1,933 \text{ volt}$$

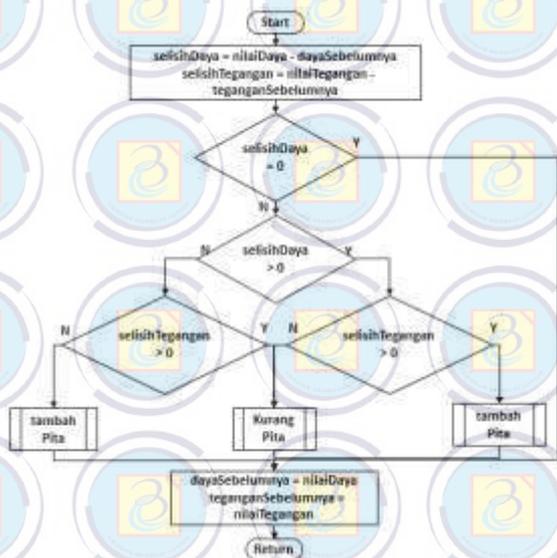
Jadi *windbelt* yang dirancang mampu menghasilkan GGL induksi sebesar 1,933 Volt per kumparannya.

D. Rancangan Diagram Alir Sistem

Berdasarkan Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa alur kerja sistem MPPT diawali dengan melakukan inialisasi terhadap semua perangkat yang terhubung langsung ke Arduino Mega2560. Kemudian menulis atau membuka *file* dengan format .CSV, jika *file* .CSV berhasil ditulis atau dibuka maka sistem akan menghitung kecepatan angin, menghitung panjang pita, menghitung tegangan dan arus, menghitung daya serta algoritma *perturb & observe* untuk mencari titik daya maksimum yang dihasilkan *windbelt*. Lalu menampilkan semua parameter yang terukur oleh sensor pada LCD dan menyimpannya ke dalam *SD Card*. Kemudian kembali untuk melakukan proses membuka *file* .CSV. Namun, jika sistem gagal menulis atau membuka *file* .CSV maka akan tampil tulisan "SD Card Error" pada LCD dan *serial monitor* di PC.



Gambar 3. Diagram Alir Keseluruhan Sistem



Gambar 4. Diagram Alir Sub Sub Program MPPT P&O

E. MPPT Pada Windbelt Generator

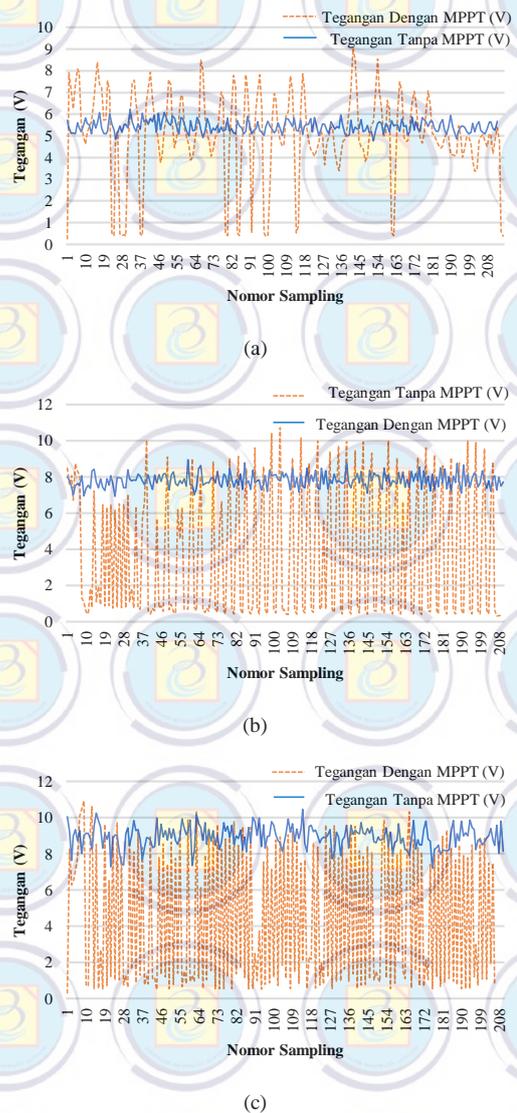
Berdasarkan Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa MPPT P&O pada *windbelt* diawali dengan mencari selisih daya dan selisih tegangan, apabila selisih daya sama dengan nol maka tidak perlu melakukan pengendalian. Apabila selisih daya yang terukur tidak sama dengan nol, maka sistem akan mengukur selisih tegangan. Hasil selisih tegangan menjadi penentu apakah panjang pita *windbelt* akan ditambah atau dikurang agar mencapai titik daya maksimal. Kemudian menyimpan parameter selisih daya dan selisih tegangan yang digunakan sebagai acuan proses pengendalian berikutnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, Pengujian sistem MPPT dibagi menjadi dua kondisi, kondisi pertama adalah kondisi pengujian sistem MPPT tanpa beban resistor dan kondisi kedua adalah kondisi pengujian sistem MPPT menggunakan beban resistor dengan nilai hambatan 560 Ohm. Masing-masing kondisi pengujian menggunakan sumber angin yang berasal dari kipas angin dengan 3 mode kecepatan.

A. Pengujian Keseluruhan Sistem Tanpa Beban (Kondisi 1)

Pengujian ini dilakukan menggunakan sumber angin yang memiliki tiga mode kecepatan yaitu *Low*, *Medium* dan *High*. Selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan keluaran setelah melewati *rectifier*/penyearah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) agar tegangan dapat terukur menggunakan sensor tegangan. Selanjutnya menyimpan data tegangan keluaran pada modul SD *Card*. Grafik hasil pengujian sistem dari setiap mode kecepatan angin ditunjukkan pada Gambar 5a, 5b dan 5c.



Gambar 5. Grafik Pengujian MPPT Kondisi 1 Dengan Mode Kecepatan (a) Low; (b) Medium; (c) High

Berdasarkan grafik hasil pengujian MPPT kondisi 1 dapat diketahui nilai rerata tegangan yang dihasilkan oleh *windbelt* dari setiap mode kecepatan angin ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian MPPT Kondisi 1

No.	Tanpa MPPT		
	v (m/s)	s (Cm)	V (Volt)
1	4,7	72	5,45
2	5,5	68	7,8
3	6,4	67	8,93
No.	Menggunakan MPPT		
	v (m/s)	s (Cm)	V (Volt)
1	4,7	73	5,05
2	5,5	68	3,77
3	6,4	63	4,46

Keterangan:

v = Kecepatan angin

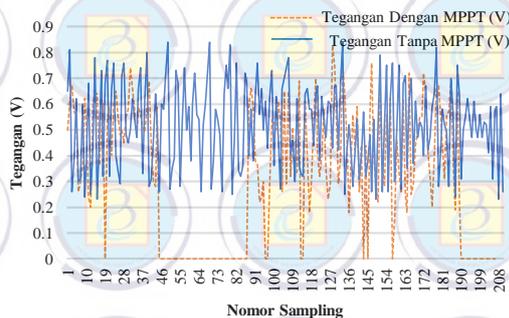
s = Panjang pita

V = Tegangan *windbelt*

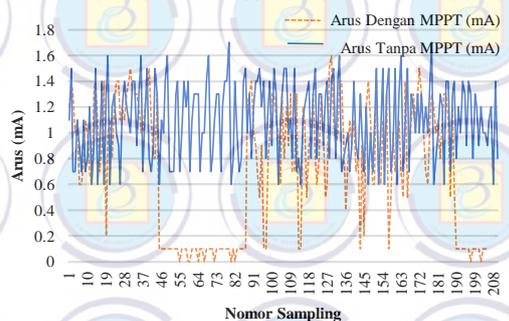
Berdasarkan Tabel 1 hasil pengujian sistem tanpa menggunakan MPPT mendapatkan rerata tegangan keluaran tertinggi sebesar 8,93 Volt pada panjang pita 67 Cm ketika sumber angin berkecepatan *high*, sedangkan hasil pengujian sistem menggunakan MPPT mendapatkan rerata tegangan tertinggi sebesar 5,05 Volt pada panjang pita 73 Cm ketika sumber angin berkecepatan *low*. Nilai tegangan keluaran yang rendah pada pengujian dengan menggunakan sistem MPPT terjadi karena pada proses ekspansi pita menyebabkan pita yang sedang beresilasi berhenti seketika dan menunggu waktu kembali untuk pita dapat beresilasi. Sehingga tegangan keluaran *windbelt* menjadi nol ketika setiap kali proses ekspansi pita berjalan.

B. Pengujian Keseluruhan Sistem Menggunakan Beban (Kondisi 2)

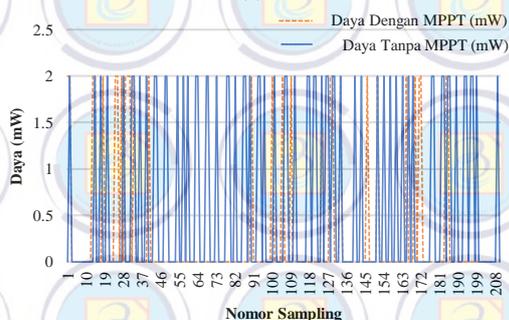
Pengujian dilakukan menggunakan sumber angin yang memiliki tiga mode kecepatan yaitu *Low*, *Medium* dan *High*. Beban yang digunakan pada



(a)



(b)



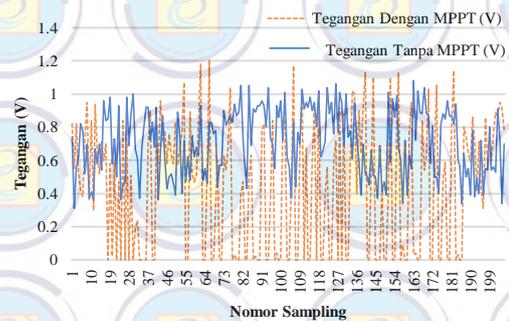
(c)

Gambar 6. Grafik (a) Tegangan; (b) Arus; (c) Daya Pada Pengujian Sistem MPPT Kondisi 2 Dengan Mode Kecepatan Low

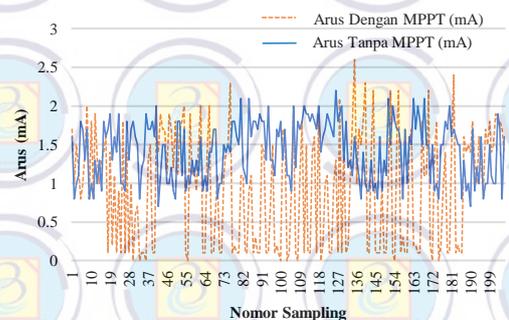
pengujian yaitu resistor dengan hambatan sebesar 560 Ohm. Grafik hasil pengujian sistem dari setiap mode kecepatan angin ditunjukkan pada Gambar 6 sampai Gambar 8.

1) *Pengujian keseluruhan sistem menggunakan beban (kondisi 2) dengan mode kecepatan Low*
Grafik hasil pengujian sistem menggunakan sumber angin dengan mode kecepatan *Low* ditunjukkan pada Gambar 6a, 6b dan 6c.

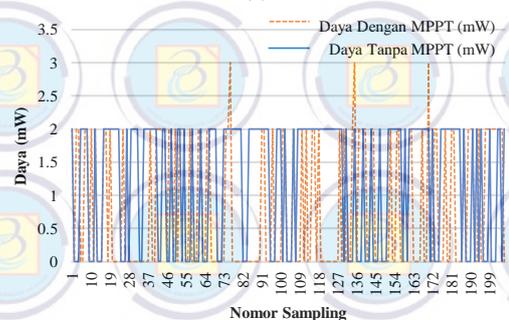
2) *Pengujian keseluruhan sistem menggunakan beban (kondisi 2) dengan mode kecepatan Medium*
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian keseluruhan sistem dalam kondisi 2 menggunakan sumber angin dengan mode kecepatan *Medium* ditunjukkan pada Gambar 7a, 7b dan 7c.



(a)



(b)

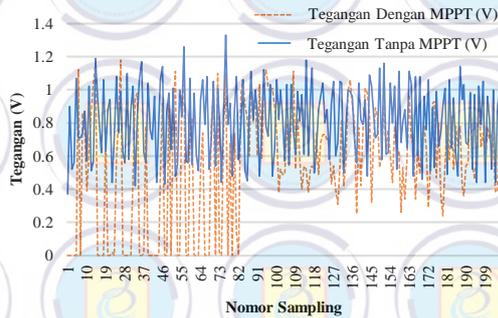


(c)

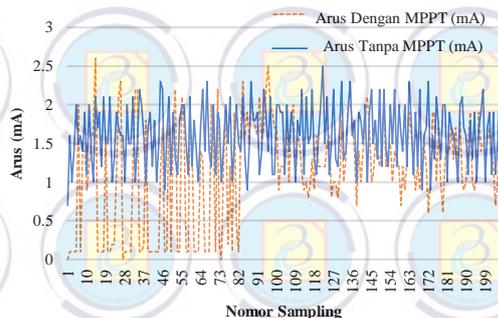
Gambar 7. Grafik (a) Tegangan; (b) Arus; (c) Daya Pada Pengujian Sistem MPPT Kondisi 2 Dengan Mode Kecepatan Medium

3) Pengujian keseluruhan sistem menggunakan beban (kondisi 2) dengan mode kecepatan High

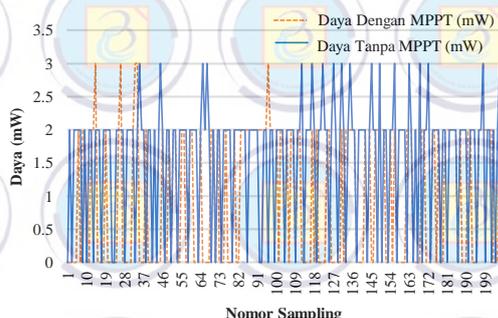
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian sistem menggunakan sumber angin dengan mode kecepatan High ditunjukkan pada Gambar 8a, 8b dan 8c.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. Grafik (a) Tegangan; (b) Arus; (c) Daya Pada Pengujian Sistem MPPT Kondisi 2 Dengan Mode Kecepatan High

Tabel 2. Data Hasil Pengujian MPPT Kondisi 2

No	Tanpa MPPT				
	v (m/s)	s (Cm)	V (Volt)	I (mA)	P (mW)
1	4,7	72	0,52	1,09	0,63
2	5,5	68	1,06	1,32	1,22
3	6,4	67	0,81	1,62	1,57
No	Menggunakan MPPT				
	v (m/s)	s (Cm)	V (Volt)	I (mA)	P (mW)
1	4,7	77	0,32	0,72	0,28
2	5,5	70	0,44	0,93	0,77
3	6,4	71	0,54	1,14	0,97

Keterangan:

v = Kecepatan angin

s = Panjang pita

V = Tegangan windbelt

I = Arus windbelt

P = Daya windbelt

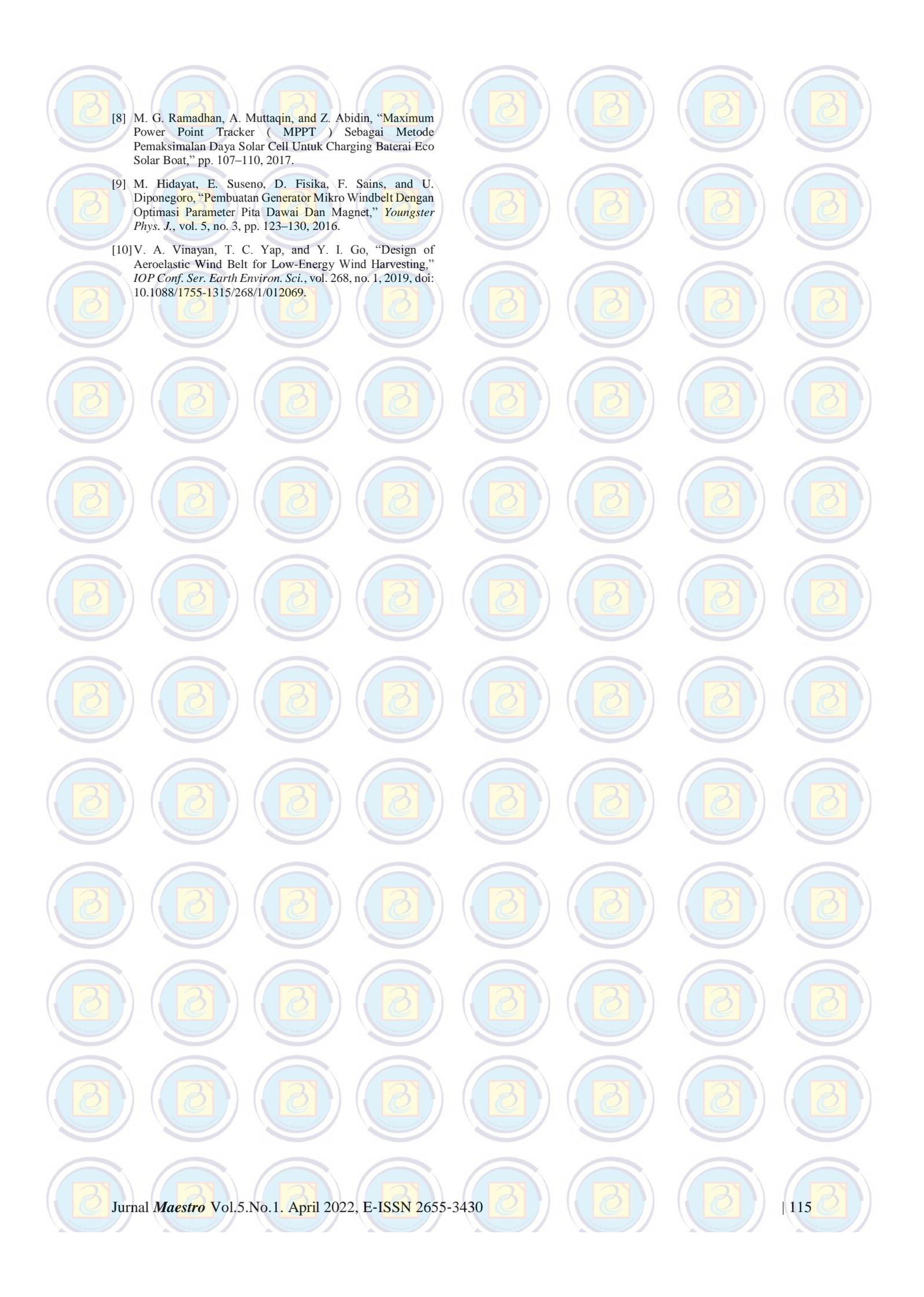
Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat telah terjadi penurunan tegangan keluaran secara drastis pada windbelt, penurunan tegangan ini terjadi karena arus yang dihasilkan kumparan windbelt sangat kecil sehingga tidak mampu melewati beban. Rerata daya tertinggi yang mampu dihasilkan oleh windbelt hanya 1,57 mW pada pengujian tanpa sistem MPPT dengan kecepatan angin high sedangkan pengujian dengan sistem MPPT hanya menghasilkan daya tertinggi sebesar 0,97 mW dengan kecepatan angin high. Kapasitas daya yang lemah terjadi karena perubahan fluks magnet yang kecil dan kumparan windbelt yang menghasilkan arus yang sangat kecil.

IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian sistem MPPT tanpa menggunakan beban (kondisi 1) dapat disimpulkan bahwa semakin besar angin yang menerpa pita maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan oleh windbelt. Sedangkan pengujian menggunakan beban resistor 560 Ohm (kondisi 2) dapat disimpulkan bahwa arus yang dihasilkan oleh windbelt tidak cukup untuk melewati beban yang membuat tegangan keluaran menjadi drop sehingga rentang daya yang dihasilkan pada pengujian tanpa MPPT sebesar 0,63-1,57 mW sedangkan pada pengujian menggunakan MPPT sebesar 0,28-0,97 mW. Sehingga sistem MPPT yang sudah dirancang belum bisa bekerja dengan efektif pada kedua kondisi pengujian sistem karena daya yang dihasilkan menggunakan MPPT lebih kecil dari pengujian tanpa menggunakan MPPT.

REFERENSI

- [1] A. S. Silitonga and H. Ibrahim, *Buku Ajar Energi Baru Dan Terbarukan*. Deepublish, 2020.
- [2] Kementerian ESDM, "Indonesia Energy Outlook 2019," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [3] H. Kurniadi, A. D. Yuliani, I. A. Khairunnisa, S. S. Putri, E. Wardoyo, and I. R. Nugraheni, "Survei Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Tanah Laut Berdasarkan Citra Radar Banjarmasin," *Pros. SNFA (Seminar Nas. Fis. dan Apl.*, vol. 4, p. 129, 2019, doi: 10.20961/prosidingsnfa.v4i0.35920.
- [4] E. H. Dowell *et al.*, *A modern course in aeroelasticity*, vol. 116. 2005.
- [5] I. B. P. E. P. Yuda, A. Natsir, and I. M. A. Nrratha, "Rancang Bangun Solar Charge Controller Dengan Metode MPPT Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano," 2018.
- [6] B. Lahfaoui, S. Zouggar, B. Mohammed, and M. L. Elhafyani, "Real Time Study of P&O MPPT Control for Small Wind PMSG Turbine Systems Using Arduino Microcontroller," *Energy Procedia*, vol. 111, no. September 2016, pp. 1000–1009, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.263.
- [7] M. F. Arief and A. Musafa, "Turbin Angin Kapasitas 300 Watt Pada Kondisi Kecepatan Angin Rendah Menggunakan Metode Perturb & Observe (P & O)," *J. Maest.*, vol. 2, no. 2, pp. 447–454, 2019.

- 
- [8] M. G. Ramadhan, A. Muttaqin, and Z. Abidin, "Maximum Power Point Tracker (MPPT) Sebagai Metode Pemaksimalan Daya Solar Cell Untuk Charging Baterai Eco Solar Boat," pp. 107–110, 2017.
- [9] M. Hidayat, E. Suseno, D. Fisika, F. Sains, and U. Diponegoro, "Pembuatan Generator Mikro Windbelt Dengan Optimasi Parameter Pita Dawai Dan Magnet," *Youngster Phys. J.*, vol. 5, no. 3, pp. 123–130, 2016.
- [10] V. A. Vinayan, T. C. Yap, and Y. I. Go, "Design of Aeroelastic Wind Belt for Low-Energy Wind Harvesting," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 268, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/268/1/012069.

