

# Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan Putar Generator Sinkron Menggunakan Sensor Frekuensi Berbasis Photo-Coupling *Design And Bulid A Synchronous Generator Rotary Speed Measuring Instrument Using Photo-Coupling Based Frequency Sensors*

1<sup>st</sup> Ahmad Arief Rivaldi  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
aarivaldianunyanu@student.  
telkomuniversity.ac.i

2<sup>nd</sup> Ahmad Qurthobi  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
qurthobi@telkomuniversity.a  
c.id

3<sup>rd</sup> Muhammad Al Roshady  
Said Cale  
Lentera Bumi  
Tasikmalaya, Indonesia  
alroshady.said@lenterabumi.  
com

## Abstrak

PT Lentera Bumi Nusantara (LBN) menjadi pusat pengembangan energi baru terbarukan khususnya pada turbin angin skala mikro. Salah satu kegiatannya adalah perancangan dan pembuatan bilah atau kincir turbin angin. Dalam pembuatan bilah diperlukan beberapa parameter untuk menganalisis efisiensi, salah satunya kecepatan putar generator. Pembacaan kecepatan putar generator pada umumnya menggunakan *Tachometer* atau *hall sensor*. Metode tersebut memerlukan pembacaan langsung pada *shaft* generator. Generator yang terdapat di LBN sudah terpasang dan berjalan sehingga memerlukan alat ukur kecepatan putar generator yang tidak membaca langsung kecepatan putar pada *shaft*. *The Sky Dancer – 500* merupakan turbin angin yang digunakan di LBN berjenis *permanent magnet synchronous generator*. Generator jenis ini memiliki keluaran frekuensi yang berbanding lurus dengan kecepatan putarnya. Pada penelitian ini telah dibuat alat ukur kecepatan generator sinkron yang menggunakan sensor frekuensi berbasis *photo coupling*. Dengan membaca frekuensi yang diolah oleh microcontroller bisa didapat kecepatan putar generatormya. Sensor frekuensi

berbasis *photo coupling* yang digunakan pada alat ini memiliki nilai rata-rata eror 2,17% dengan persamaan linear  $y = 0,9939x + 0,0553$ . Alat ini juga akan diimplementasikan langsung di PT Lentera Bumi Nusantara sehingga dapat membuka peluang penelitian dan pengembangan energi baru terbarukan pada turbin angin skala mikro yang memerlukan parameter kecepatan putar generator.

Kata kunci : Kecepatan Putar Generator, *Permanent magnet synchronous generator*, *Photo Coupling*, *The Sky Dancer – 500*.

## Abstract

PT Lentera Bumi Nusantara (LBN) is the center for the development of new and renewable energy, especially in micro-scale wind turbines. One of its activities is the design and manufacture of blades or wind turbines. In making blades, several parameters are needed to analyse efficiency, one of which is the rotational speed of the generator. Generator rotational speed readings generally use a tachometer or hall sensor. This method requires a direct reading of the generator shaft. The generator in the LBN is already installed and running, so it requires a generator

*rotational speed measuring instrument that does not read the rotational speed directly on the shaft. The Sky Dancer – 500 is a wind turbine used in LBN with the type of permanent magnet synchronous generator. This type of generator has an output frequency that is directly proportional to the rotational speed. In this research, a synchronous generator speed measuring instrument has been made using a photo-coupling-based frequency sensor. By reading the frequency processed by the microcontroller, the generator rotational speed can be obtained. The photo-coupling-based frequency sensor used in this tool has an average error value of 2.17% with a linear equation  $y = 0.9939x + 0.0553$ . This tool will also be implemented directly at PT Lentera Bumi Nusantara so that it can open research and development opportunities for new renewable energy in micro-scale wind turbines that require generator rotation speed parameters. In this research, a synchronous generator speed measuring instrument has been made using a photo-coupling-based frequency sensor. By reading the frequency processed by the microcontroller, the generator rotational speed can be obtained. The photo-coupling-based frequency sensor used in this tool has an average error value of 2.17% with a linear equation  $y = 0.9939x + 0.0553$ . This tool will also be implemented directly at PT Lentera Bumi Nusantara so that it can open research and development opportunities for new renewable energy in micro-scale wind turbines that require generator rotation speed parameters.*

**Keywords:** *Rotating Speed Generator, Permanent magnet synchronous generator, Photo Coupling, The Sky Dancer – 500.*

## I. PENDAHULUAN

PT Lentera Bumi Nusantara adalah salah satu pusat pengembangan dan penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala mikro di Indonesia. Bagian PLTB yang dikembangkan dan diteliti oleh mahasiswa di PT Lentera Bumi Nusantara adalah bilah *horizontal axis wind turbine*, perancangan generator, *charging controller*, dan *data loggernya*[1]. Dalam penelitian bilah diperlukan pengambilan beberapa data yang menjadi parameter untuk

menganalisis efisiensi bilah. Beberapa data yang diperlukan yaitu kecepatan angin, arah angin, kecepatan putar generator, keluaran tegangan, dan arus dari generator[2]. Parameter kecepatan putar generator juga diperlukan untuk penelitian dan pengembangan yang berkaitan dengan generator. Generator yang menjadi fokus pengembangan di PT Lentera Bumi Nusantara adalah *permanent magnet synchronous generator* (PMSG). Keluaran frekuensi PMSG berbanding lurus dengan kecepatan putarnya[3].

Pembacaan kecepatan putar terbagi menjadi beberapa metode, salah satu yang paling umum adalah berbasis optik. *Tachometer* adalah salah satu alat ukur kecepatan putar berbasis optik. Dalam penggunaan di lapangan alat ukur ini akan mudah terganggu oleh lingkungan, salah satunya cahaya matahari[4][5]. Metode pengukuran lain adalah dengan efek *hall*. Metode ini juga memiliki kekurangan untuk pembacaan kecepatan putar turbin angin skala mikro. Metode ini juga memerlukan penambahan atau perubahan bagian pada generator[6]. Ada pula metode pengukuran menggunakan *rotary encoder*. Metode pengukuran kecepatan putar menggunakan *rotary encoder* juga memerlukan komponen tambahan secara mekanis pada *shaft* generator berupa piringan yang memiliki lubang-lubang pada bagian ujungnya. Metode *rotary encoder* mengukur dengan menembakkan cahaya yang melewati lubang pada piringan lalu ditangkap oleh sensor. Nilai kecepatan putar didapat dari frekuensi cahaya yang tertangkap oleh sensor. Metode *rotary encoder* juga akan sulit diaplikasikan pada generator turbin angin skala mikro yang sudah terpasang di lapangan karena memerlukan tambahan komponen mekanis yang dipasang pada *shaft* generator[7]. Dari kekurangan ketiga metode tersebut diperlukan metode pengukuran lain yang lebih mudah diaplikasikan pada turbin angin yang sudah terpasang di PT Lentera Bumi Nusantara dan tetap memiliki karakter pengukuran yang baik.

Metode lain untuk melakukan pembacaan kecepatan putar generator adalah dengan cara membaca frekuensi salah satu fasanya[3]. Frekuensi generator sinkron yang berbanding lurus

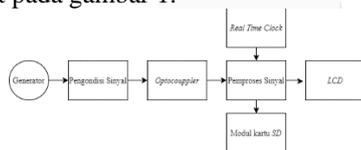
dengan kecepatan putarnya dapat diukur menggunakan rangkaian sederhana dan *microcontroller*. Setelah didapatkan nilai frekuensi dari generator dapat diproses untuk mendapatkan nilai kecepatan putar generator sinkron. Turbin angin di PT Lentera Bumi Nusantara yang menggunakan generator sinkron sangat cocok jika menggunakan metode ini untuk mendapatkan nilai kecepatan putar rotornya.

Dengan menggunakan metode pembacaan keluaran frekuensi generator, peneliti akan membuat alat ukur kecepatan putar generator sinkron. Pembacaan frekuensi generator akan dilakukan menggunakan sensor frekuensi berbasis *photo coupling*. Pembacaan keluaran frekuensi salah satu fasa generator dapat mengurangi pengaruh lingkungan pada proses pembacaan. Selain itu, alat ukur kecepatan putar ini juga lebih mudah diaplikasikan karena tidak perlu mengubah konstruksi generator. Alat ukur kecepatan putar yang peneliti buat nantinya akan digunakan di PT Lentera Bumi Nusantara.

II. KAJIAN TEORI

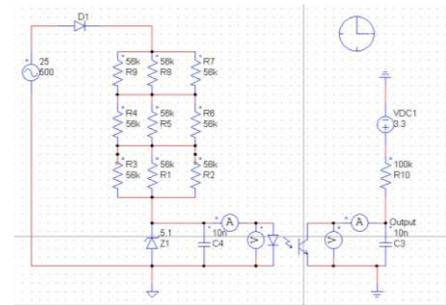
a. Perancangan Perangkat Keras

Berikut blok diagram alat ukur kecepatan putar generator sinkron dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem alat ukur

Berdasarkan diagram blok sebelumnya, bagian pertama yang peneliti rancang adalah pengondisi sinyal dan sensor frekuensi. Rancangan pengondisi sinyal dan sensor frekuensi dapat dilihat pada gambar 2.



Sensor Frekuensi Pengondisi Sinyal

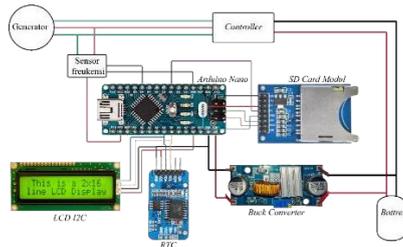
Gambar 2. Rangkaian alat ukur

Resistor yang digunakan pada sistem alat ukur memiliki ketahanan daya untuk tiap resistornya sebesar  $\frac{1}{4}$  Watt sehingga pada bagian rangkaian resistor ini dapat menahan hingga  $\frac{3}{4}$  Watt daya yang masuk. Dari hasil perhitungan ketahanan daya resistor didapat nilai tegangan maksimum keluaran generator langsung yang dapat diterima oleh sistem sebesar 204,93 Volt, jika dihitung juga arus maksimumnya maka didapat 0,0036 Ampere atau 3,6 miliAmpere sebagai arus maksimum sistem.

Dioda *zener* dengan tegangan *zener* 5,1 Volt yang dipasang dengan prinsip bias balik digunakan untuk membatasi tegangan yang masuk ke *optocoupler*. *Optocoupler* yang bekerja dengan prinsip *photo-coupling* digunakan untuk mendeteksi frekuensi dari generator dan sebagai pemisah antara bagian rangkaian yang bekerja pada tegang yang tinggi dan bagian *microcontroller* yang bekerja pada tegangan 5 Volt.

Rangkaian resistor dan kapasitor yang dirangkai seri juga dapat menjadi rangkaian *low pass filter* atau filter yang hanya melewatkan frekuensi rendah. Nilai frekuensi maksimum yang dapat masuk ke sistem dapat dihitung dengan persamaan frekuensi *cut off* pada *low pass filter* berikut. Nilai frekuensi maksimum berdasarkan perhitungan frekuensi *cut off* pada *low pass filter* sebesar 159,23 Hz atau 1194,225 rpm untuk kecepatan putar generator pada turbin angin TSD-500. Nilai kecepatan putar maksimum yang dapat diterima pada rancangan ini lebih tinggi dari nilai kecepatan putar generator TSD-500.

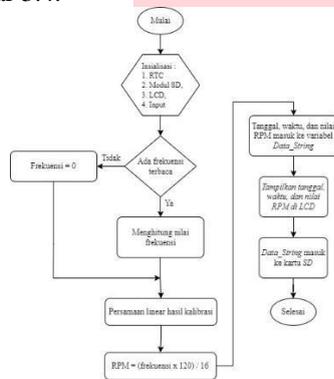
Sistem alat ukur kecepatan putar generator sinkron direalisasikan sesuai dengan *wiring diagram* pada gambar 3.



Gambar Error! No text of specified style in document.. Wiring Diagram Sistem Alat Ukur Kecepatan Putar Generator Sinkron

b. Perancangan Perangkat Lunak

Frekuensi yang masuk ke *microcontroller* akan diolah dalam program berdasarkan diagram alir pada gambar 3.4.



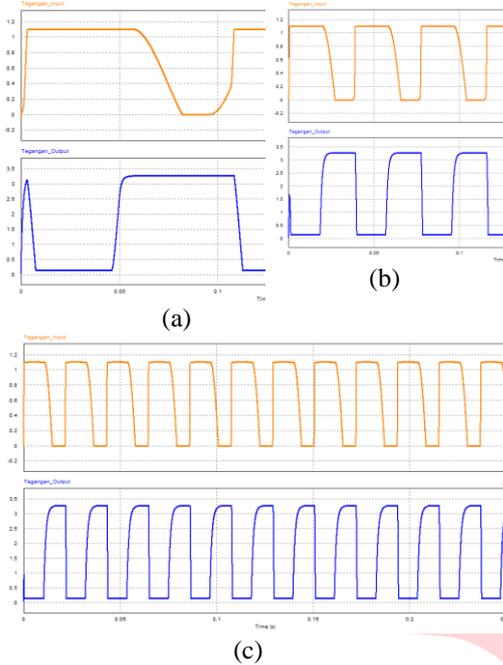
Gambar 4. Diagram alir program sistem alat ukur kecepatan putar generator sinkron

Perancangan perangkat lunak dimulai dari inisialisasi *RTC*, *LCD*, modul *SD* dan pembacaan frekuensi. Nilai frekuensi dibaca sebanyak 30 kali dan dijumlahkan untuk diambil rata-ratanya dalam satu detik sehingga nilai yang terbaca lebih stabil. Nilai frekuensi diubah ke dalam nilai kecepatan putar menggunakan persamaan:

$$n_m = \frac{120 f_{se}}{16}$$

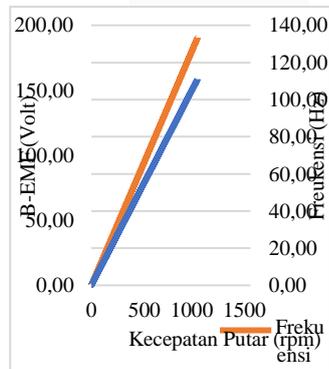
Nilai kecepatan putar yang didapat akan ditampilkan pada *LCD* dan disimpan secara *real time* setiap satu detik pada kartu *SD*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN



a. Hasil Data Karakter Keluaran Generator Sinkron Oleh PT Lentera Bumi Nusantara

Pada saat sebelum melakukan perancangan dilakukan pengambilan data keluaran generator dengan simulasi oleh PT Lentera Bumi Nusantara sebagai data awal perancangan.



Gambar 5. Hasil simulasi generator oleh PT Lentera Bumi Nusantara

Hasil simulasi dan perhitungan nilai frekuensi terhadap kecepatan putar menunjukkan kecepatan putar generator pada rentang 0 – 1000 rpm linear dengan frekuensi pada rentang 0 – 133,33 Hz dan tegangan maksimum 158,5 Volt tetapi pada saat bekerja generator TSD-500 baru diambil dayanya pada kecepatan putar 190 rpm

(frekuensi 25,3 Hz) atau tegangan 30 Volt. Data ini menjadi landasan untuk melakukan perancangan dan pengujian alat ukur kecepatan putar generator sinkron.

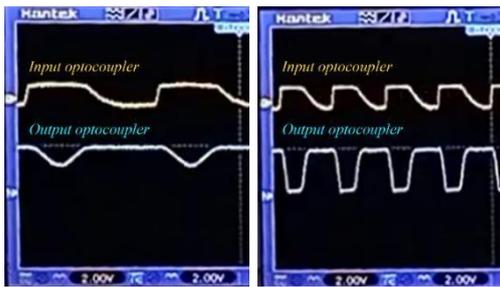
b. Hasil Simulasi Alat Ukur Kecepatan Putar Generator Sinkron

Bagian sistem yang disimulasikan adalah bagian pengondisi sinyal dan sensor frekuensi dengan sampel input disesuaikan dari hasil data awal perancangan. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan input sinusoidal atau arus AC dari generator sinkron yang masuk ke sistem. Sampel data yang disimulasikan adalah input dengan nilai frekuensi dan tegangan secara berurutan dimulai dari 9,5 Hz 11,3 Volt, 26 Hz 30,9 Volt, dan 46,5 Hz 55,3 Volt.

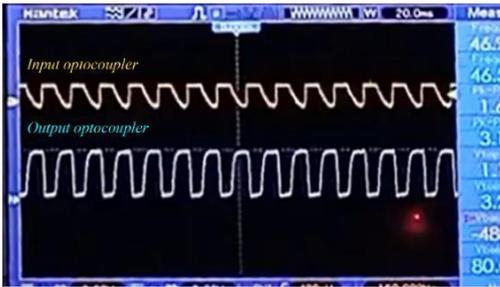
Tabel 1. Hasil simulasi pengondisi sinyal dan sensor frekuensi

No	Frekuensi (Hz)	Input optocoupler			Output optocoupler		
		Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt
1	9,5	1,15	1,1	-0,05	3,25	3,28	0,03
2	26	1,15	1,1	-0,05	3,12	3,28	0,16
3	46,5	1,15	1,1	-0,05	3,13	3,28	0,15

Berdasarkan hasil simulasi di atas didapat rancangan pengondisi sinyal dan sensor frekuensi dapat menghasilkan keluaran yang dapat diolah oleh microcontroller yaitu sinyal pulsa. Data simulasi pada bagian input dan output optocoupler menunjukkan nilai tegangan atas (Vtop) yang tidak berubah pada nilai 1,1 Volt

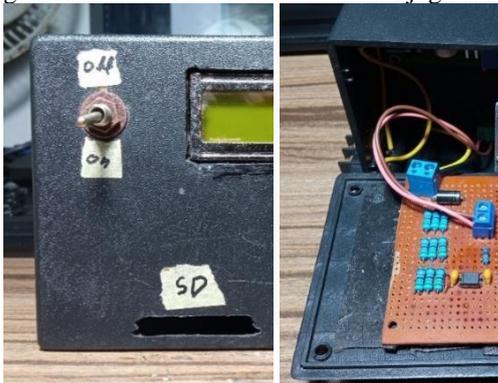


(a) (b)



(c)

pada *input* dan 3,28 Volt pada *output* walaupun keluaran tegangan dari generator berubah. Hasil simulasi ini juga



(a) (b)

menunjukkan jika rancangan pengondisi sinyal dan sensor frekuensi dapat dilanjutkan ke tahap perangkaian.

c. Realisasi Alat Ukur Kecepatan Putar Generator Sinkron

Realisasi alat ukur kecepatan putar generator sinkron dimulai dari perangkaian sistem sensor frekuensi dan pemasangan sistem *microcontroller* dan *data logger* yang berupa modul *RTC* dan modul pembaca kartu *SD* pada papan *pcb* dan *enclosure* alat ukur. Setelah seluruh sistem alat ukur terpasang dilanjutkan dengan kalibrasi sensor frekuensi menggunakan osiloskop sebagai kalibrator. Tahap terakhir dari realisasi

alat ukur kecepatan generator sinkron adalah membandingkan nilai yang terukur dengan *tachometer* untuk memvalidasi hasil pengukuran.

d. Hasil Kalibrasi Sensor Frekuensi

Pengujian kalibrasi sensor frekuensi dilakukan dengan membandingkan nilai frekuensi yang terbaca oleh osiloskop dan alat ukur kecepatan putar generator sinkron. Rentang data yang diambil dimulai dari saat nilai pertama yang terbaca oleh alat ukur yaitu 9,88 *Hz* hingga 46,72 *Hz* dengan jumlah 100 data. Pada pengujian ini juga memperhatikan bentuk gelombang pada *input* dan *output optocoupler* dengan sampel data sebagai berikut.

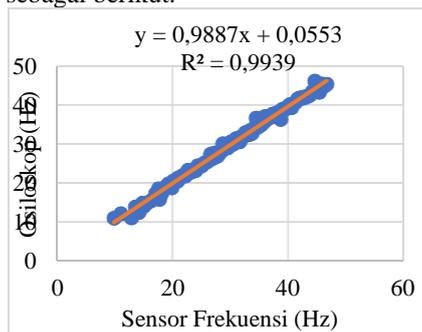
Gambar 8. Hasil pengukuran frekuensi pada osiloskop (a) 9,5 *Hz*, (b) 26 *Hz*, (c) 46,5 *Hz*

Tabel 2. Hasil pengukuran dengan osiloskop

No	Frekuensi (Hz)	Input optocoupler			Output optocoupler		
		Vpp (V)	Vto (V)	Vbase (V)	Vpp (V)	Vto (V)	Vbase (V)
1	9,5	1,68	1,04	-0,64	1,28	3,2	2,48
2	26	1,68	1,04	-0,56	3,04	3,2	0,16
3	46,5	1,6	1,12	-0,48	3,12	3,2	0,08

Berdasarkan sampel data pengukuran sensor frekuensi pada osiloskop di atas menunjukkan perbedaan dengan hasil simulasi pada *input* frekuensi 9,5 *Hz*. Nilai tegangan bawah (*Vbase*) yang masih di atas nilai

maksimum yang terbaca sebagai *low* pada Arduino menyebabkan nilai frekuensi pada sistem alat ukur tidak dapat terbaca dengan seharusnya. Nilai maksimum yang terbaca sebagai *low* pada sistem alat ukur ini sebesar 2,1 Volt berdasarkan *datasheet ATmega328p*. Data hasil pengujian kalibrasi lainnya dianalisis dengan cara membandingkan kelinearan antara nilai frekuensi yang terukur pada sistem alat ukur dan osiloskop dengan hasil sebagai berikut.



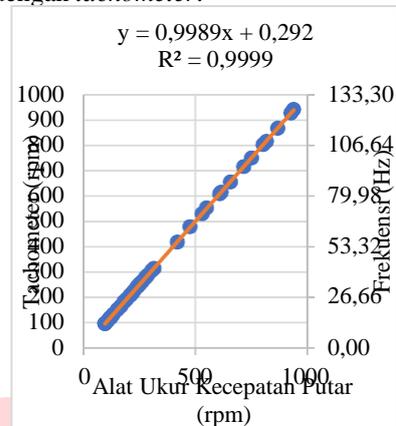
Gambar 9. Grafik kalibrasi sensor frekuensi

Berdasarkan gambar 9 diperoleh tingkat kelinieran pembacaan sensor frekuensi terhadap osiloskop adalah  $y = 0,9887x + 0,055$ . Dengan  $R^2 = 0,9939$  artinya didapat akurasi sensor mencapai 99,39%. Dengan membandingkan tiap nilai *error* didapat rata-rata *error* 2,17%, maksimum *error* 13,05% dan minimum *error* 0,02%. Dari hasil pengujian kalibrasi, persamaan linear dimasukkan ke dalam pemrograman pada *microcontroller* sehingga nilai yang dihasilkan sensor frekuensi terkalibrasi. Karena nilai frekuensi terendah yang terbaca oleh sensor frekuensi tidak dapat dimulai dari 0 maka ditetapkan *threshold* sensor frekuensi dari 10 Hz.

#### d. Hasil Validasi Alat Ukur Kecepatan Putar Generator Sinkron

Pengujian validasi alat ukur kecepatan putar generator sinkron dilakukan dengan membandingkan nilai kecepatan putar yang terbaca oleh alat ukur dengan *tachometer*. Rentang data yang diambil dimulai dari saat kecepatan putar cukup stabil pada 96,9 rpm hingga nilai tertinggi yang dapat dihasilkan oleh sistem pemutar generator yaitu 939,4 rpm dengan

jumlah 35 data. Berikut adalah grafik perbandingan hasil pengukuran alat ukur kecepatan putar generator sinkron dengan *tachometer*.



Gambar 10. Grafik nilai kecepatan putar alat ukur terhadap tachometer

Berdasarkan gambar 10 diperoleh tingkat kelinearan pembacaan alat ukur terhadap *tachometer* adalah  $y = 0,9989x + 0,292$ . Dengan  $R^2 = 0,9999$  artinya didapat akurasi alat ukur mencapai 99,99%. Dengan membandingkan tiap nilai *error* didapat rata-rata *error* 0,21%, maksimum *error* 1,3%, dan minimum *error* 0,008%. Dari perbandingan nilai kecepatan putar alat ukur dan *tachometer* didapat bahwa walaupun nilai kecepatan putar yang terbaca adalah hasil konversi nilai frekuensi generator dapat menghasilkan pengukuran yang akurat. Pengujian yang menggunakan langsung generator TSD-500 juga membuktikan bahwa alat ukur kecepatan putar generator dapat digunakan oleh PT Lentera Bumi Nusantara.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh pengujian yang telah dilakukan, alat ukur kecepatan putar generator sinkron dapat bekerja dengan baik pada rentang kecepatan putar generator TSD-500 bekerja. Akurasi hasil kalibrasi sensor frekuensi yang dibandingkan dengan osiloskop sebesar 99,39% dengan rata-rata *error* 2,17%. Dari hasil pengujian didapat juga sensor frekuensi tidak dapat mengukur kurang dari 10 Hz atau 75 rpm tetapi masih di bawah nilai frekuensi yang dihasilkan generator saat daya optimum terendahnya sehingga masih dapat

digunakan oleh PT Lentera Bumi Nusantara.

no. 1.

Alat ukur kecepatan putar generator sinkron mengukur nilai kecepatan putar dengan mengonversi nilai frekuensi yang terbaca ke nilai kecepatan putar generatornya. Dari hasil pengujian validasi alat ukur yang dibandingkan dengan *tachometer* didapat akurasi sebesar 99,99% dengan rata-rata *error* 0,21%. Dengan hasil validasi tersebut dapat disimpulkan metode pengukuran kecepatan generator sinkron dengan mengonversi nilai frekuensi keluarannya dapat digunakan.

#### REFERENSI

- [1] M. R. Robiansyah, "PERANCANGAN KONTROLER UNTUK TURBIN ANGIN SKALA KECIL," *Semin. Nas. TEKNOKA*, vol. 2, no. 2502, 2017.
- [2] Godfrey Boyle, "Harvesting the Wind: The Physics of Wind Turbines," *Renew. Energy Power a Sustain. Futur.*, pp. 1–44, 1996, [Online]. Available: <http://digitalcommons.carleton.edu/pacp/7>.
- [3] T. Wildi, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems Fifth Edition.*
- [4] H. Ali, N. Effendy, and R. Budiarto, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Putaran Sudu Turbin Dan Perekam Data Berbasis Mikrokontroler Avr Atmega16 Pada Turbin Angin Di Pantai Baru, Ngantak, Bantul," vol. 2012, 2012.
- [5] R. I. S. and H. Hartono, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Kecepatan Putar Generator Pada Turbin Angin Menggunakan Optocoupler Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535," *J. Penelit.*, vol. 3, no. 3, pp. 29–35, 2018, doi: 10.46491/jp.v3e3.53.29-35.
- [6] E. T. K. Dewi, "Rancang bangun alat ukur kecepatan putar motor dengan mikrokontroler at89s51 dan antarmuka serial komputer," pp. 1–5, 2007.
- [7] S. Alam, "Rancang Bangun Pendeteksi Kecepatan Motor Induksi Dengan Menggunakan Rotary Encoder Dan Mikrokontroler," *Univ. Muhammadiyah Makassar*, vol. 1,