

Desain dan Analisis Kinerja Synchronous Boost Converter pada Permanen Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Anang Wijaya^{1*}, Muhamad Rifa'i², Beauty Anggraheny Ikawanty³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: anangwijaya35@gmail.com

Received: 28/06/2024

Revised: 29/09/2024

Accepted: 30/09/2024

ABSTRAK

Sumber energi terbarukan, seperti turbin angin yang menggunakan generator PMSG (Permanent Magnet Synchronous Generator), semakin populer. Namun, output daya PMSG bergantung pada kecepatan angin yang fluktuatif, sehingga menurunkan efisiensi dan stabilitas sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan desain sistem kontrol daya. Synchronous Boost Converter dipilih karena efisiensi dan kemampuannya meningkatkan tegangan keluaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode IC dapat meningkatkan stabilitas tegangan output PMSG, dengan efisiensi rata-rata 84% pada percobaan yang dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan daya keluaran PMSG dan berkontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan yang optimal dan efisien.

Kata Kunci: Synchronous Boost Converter, PMSG, Incremental Conductance

ABSTRACT

Magnet Synchronous Generator) generators, are gaining popularity. However, PMSG's power output relies on fluctuating wind speeds, thus decreasing the efficiency and stability of the system. This study aims to analyze the design of the power control system. The Synchronous Boost Converter was chosen because of its efficiency and ability to increase the output voltage. The results show that the IC method can improve the stability of PMSG output voltage, with an average efficiency of 84% in the experiments conducted. This research is expected to optimize the output power of PMSG and contribute to the development of optimal and efficient renewable energy technology.

Keywords: Synchronous Boost Converter, PMSG, Incremental Conductance

1. PENDAHULUAN

Sumber energi listrik merupakan sumber energi yang telah menjadi kebutuhan primer pada masa sekarang, sampai sekarang energi yang digunakan pada pembangkit listrik masih menggunakan bahan bakar fosil yang jumlahnya semakin menipis [1][2]. Pemanfaatan energi terbarukan merupakan sumber energi yang diyakini dapat menangani masalah polusi dan sebagai pengganti bahan bakar fosil[3], Salah satu dari pembangkit sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan yaitu menggunakan energi angin yang dihubungkan dengan generator PMSG (*Permanent Magnet Synchronous Generator*). Sumber energi angin merupakan sumber energi yang tidak terbatas dimuka bumi[4][1].

PMSG sangat bergantung pada kecepatan angin. fluktuasi kecepatan angin menjadi tantangan dalam pemanfaatan energi angin. Fluktuasi kecepatan angin dapat menyebabkan daya yang dihasilkan oleh turbin angin tidak stabil, sehingga menurunkan efisiensi dan stabilitas sistem pembangkit listrik[5]. Untuk mengatasi fluktuasi daya diperlukan sistem kontrol daya yang optimal untuk memastikan PMSG beroperasi pada titik daya maksimumnya, untuk mencapai pengendalian daya yang optimal dapat menggunakan sistem maximum power plant tracking (MPPT). MPPT bertujuan untuk menemukan titik daya maksimum pada kurva

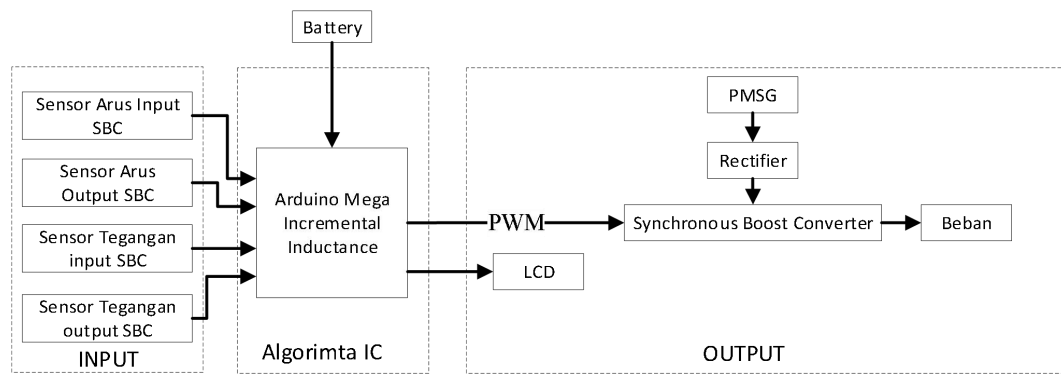
p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



karakteristik turbin angin, di mana dihasilkan daya terbanyak pada kecepatan angin tertentu[6]. Pada penelitian ini menganalisis kinerja dari synchronous boost converter terhadap Permanen Magnet Synchronous Generator. Untuk meningkatkan kinerja sistem kendali turbin angin adalah dengan menggunakan Synchronous Boost Converter. Synchronous Boost Converter merupakan jenis konverter DC-DC yang memiliki beberapa keunggulan, seperti efisiensi konversi daya yang tinggi dan kemampuan untuk meningkatkan tegangan keluaran[7].

2. METODE PENELITIAN

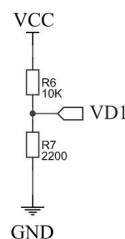
Pada penelitian ini akan membahas tentang merancang sistem kontrol optimasi daya menggunakan metode Incremental Conductance diterapkan pada synchrnous boost converter, untuk mengoptimasi daya keluaran dari PMSG. Pada pelaksanaan penelitian, dengan merancang konsep pada blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Blok Diagram

2.1 Voltage Divider

Pada Gambar 2 adalah rangkaian sensor tegangan yang menggunakan sistem pembagi tegangan dengan dua resistor dirangkai seri untuk mengkonversi tegangan maksimal 28 Volt menjadi tegangan 5Volt untuk dapat dibaca oleh mikrokontroler[8].



Gambar 2 Rangkaian Sensor Tegangan

Untuk mengetahui besaran R2 untuk rangkaian sensor tegangan dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_2 = \frac{R_1 \times V_{out}}{V_{in} - V_{out}}$$

$$R_2 = \frac{10.000 \times 5}{28 - 5}$$

$$R_2 = 2173 \Omega$$

Pada perhitungan didapat R2 dengan nilai 2173 Ω dibulatkan menjadi 2k2 Ω , karena dipasaran mudah dijumpai. Untuk daya dari resistor dapat ditentukan dengan persamaan berikut,.



$$R_{total} = R1 + R2$$

$$R_{total} = 10.000 + 2200$$

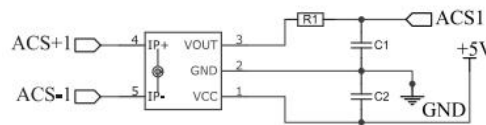
$$R_{total} = 12200\Omega$$

$$P = \frac{V_{in}^2}{R_{total}} = \frac{28^2}{12200} = 0,064Watt$$

Pada perancangan daya resistor diperoleh hasil 0,064Watt . maka pada penelitian ini digunakan resistor dengan daya 0,5 Watt.

2.2 Sensor Arus ACS758

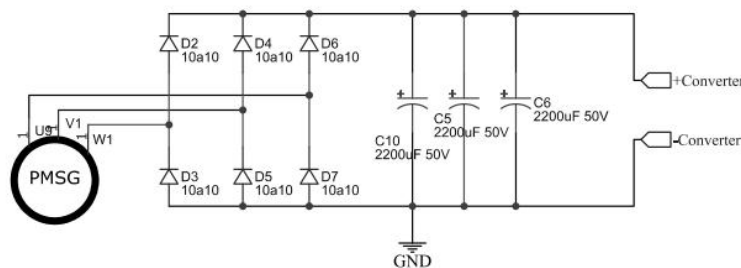
Pada gambar 3 merupakan sensor arus ACS758 yang dapat mendeteksi arus 0A sampai 50A dan sinyal out dari ACS758 berupa sinyal analog yang dibaca dengan ADC mikrokontroler[9]. Sensor arus ACS758 mendeteksi arus yang mengalir dari output penyearah gelombang ke input synchronous boost converter.



Gambar 3 Rangkaian Sensor Arus

2.3 Rectifier

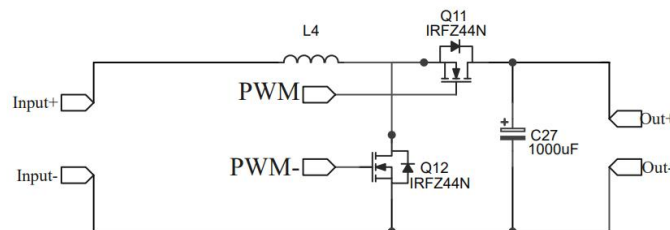
Pada gambar 4 merupakan rangkaian rectifier, rectifier digunakan sebagai penyearah gelombang keluaran dari generator PMSG 3 phase menjadi gelombang searah (DC) dan kapasitor pada penyearah digunakan untuk mengurangi ripple tegangan dari keluaran rectifier[10].



Gambar 4 Rangkaian Penyearah Gelombang

2.4 Synchronous Boost Converter

Pada gambar 5 merupakan rangkaian Synchronous Boost Converter pada perancangan dibutuhkan parameter untuk menghitung nilai induktor, kapasitor serta pemilihan mosfet. Mosfet IRFZ44N sebagai switching yang akan aktif jika diberi input pada gate dengan logika high dari driver mosfet 2104,



Gambar 5 Rangkaian Synchronous Boost Converter



TABEL I : Parameter synchronous boost converter

Parameter	Nilai
Range Voltage input	1-12 V
Range Voltage output	24V
Daya	200 Watt
Current Output	8,33
Frekuensi Switching	40KHZ
Ripple Tegangan Output	1%
Mosfet	IRFZ44N
Driver Mosfet	Ir 2104
PWM Duty Cycle	10% – 100%
Estinasi Efisiensi	95%

Berikut ini merupakan perhitungan parameter utama yang dibutuhkan dalam perancangan synchronous boost converter. Perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai duty cycle, ripple arus induktor, nilai minimum induktor, ripple tegangan keluaran, dan nilai minimum kapasitor. Parameter-parameter ini penting karena berpengaruh langsung terhadap kestabilan tegangan keluaran, kemampuan konverter dalam menaikkan tegangan, serta kualitas daya yang dihasilkan.

Pada perancangan ini, tegangan keluaran yang diinginkan adalah sebesar 24 V, sedangkan tegangan masukan bervariasi dari 5 V hingga 15 V. Efisiensi konverter diasumsikan sebesar 95%, arus keluaran sebesar 8,33 A, dan frekuensi switching sebesar 40 kHz. Variasi tegangan masukan menyebabkan nilai duty cycle juga berubah. Oleh karena itu, perhitungan duty cycle dilakukan pada tiga kondisi, yaitu saat tegangan masukan maksimum, tegangan masukan nominal, dan tegangan masukan minimum.

2.4.1. Duty Cycle

Duty cycle merupakan rasio waktu saklar dalam kondisi ON terhadap satu periode switching. Pada boost converter, semakin rendah tegangan masukan, maka duty cycle yang dibutuhkan akan semakin besar agar tegangan keluaran tetap dapat dipertahankan pada nilai referensinya. Perhitungan duty cycle dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi estimasi konverter.

$$D_{min} = \frac{V_{out} - V_{in_max}}{V_{out}} / \eta_{est}$$

$$D_{min} = \frac{24 - 15}{24} / 95\%$$

$$D_{min} = \frac{9}{24} / 95\%$$

$$D_{min} = 0,356$$

Nilai $D_{min} = 0,356$ menunjukkan duty cycle minimum yang diperlukan ketika tegangan input berada pada kondisi maksimum, yaitu 15 V. Pada kondisi ini, selisih antara tegangan input dan tegangan output tidak terlalu besar, sehingga duty cycle yang dibutuhkan relatif kecil.

$$D_{norm} = \frac{V_{out} - V_{in_norm}}{V_{out}} / \eta_{est}$$

$$D_{norm} = \frac{24 - 12}{24} / 95\%$$

$$D_{norm} = \frac{12}{24} / 95\%$$

$$D_{norm} = 0,52$$



Nilai $D_{norm} = 0,52$ merupakan duty cycle pada kondisi tegangan input nominal, yaitu 12 V. Kondisi ini dapat dianggap sebagai kondisi kerja normal dari konverter.

$$D_{max} = \frac{V_{out} - V_{in_min}}{100} / \eta_{est}$$

$$D_{max} = \frac{24 - 5}{24} / 95\%$$

$$D_{max} = \frac{19}{24} / 95\%$$

$$D_{max} = 0,83$$

Nilai $D_{max} = 0,83$ menunjukkan duty cycle maksimum yang diperlukan ketika tegangan input berada pada kondisi minimum, yaitu 5 V. Pada kondisi ini, konverter harus bekerja lebih berat karena selisih antara tegangan input dan tegangan output cukup besar. Oleh karena itu, duty cycle yang dibutuhkan menjadi lebih tinggi.

2.4.2. Ripple arus induktor

Ripple arus induktor merupakan perubahan arus pada induktor selama proses switching. Nilai ripple ini perlu dibatasi agar arus induktor tetap stabil dan tidak menimbulkan rugi-rugi berlebih pada komponen. Pada perancangan ini, ripple arus induktor ditentukan sebesar 30% dari arus masukan estimasi. Arus masukan diperkirakan berdasarkan hubungan daya input dan daya output pada boost converter.

$$\Delta iL = 30\% \times I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$\Delta iL = 30\% \times 8,33 \times \frac{24}{15}$$

$$\Delta iL = 0,3 \times 8,33 \times 1,6$$

$$\Delta iL = 3,9984$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh ripple arus induktor sebesar 3,9984 A. Nilai ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan nilai minimum induktor. Semakin kecil ripple arus yang diinginkan, maka nilai induktor yang dibutuhkan akan semakin besar.

2.4.3. Induktor

Induktor berfungsi untuk menyimpan energi selama saklar berada pada kondisi ON dan melepaskan energi ke beban saat saklar berada pada kondisi OFF. Nilai induktor minimum dihitung menggunakan kondisi terberat, yaitu saat tegangan input minimum dan duty cycle maksimum. Hal ini dilakukan agar konverter tetap dapat bekerja dengan baik pada seluruh rentang tegangan input.

$$L_{min} = D_{max} \times \frac{V_{in_min}}{\Delta iL \times F_{sw}}$$

$$L_{min} = 0,83 \times \frac{5}{3,9984 \times 40000}$$

$$L_{min} = 0,000025947879H$$

$$L_{min} = 25.947879\mu H$$



Dari hasil perhitungan diperoleh nilai minimum induktor sebesar 25,947879 μH . Dalam implementasi praktis, nilai induktor yang dipilih sebaiknya lebih besar dari nilai minimum tersebut untuk memberikan margin keamanan, mengurangi ripple arus, serta meningkatkan kestabilan operasi konverter.

2.4.4. Ripple Voltage Output

Ripple tegangan output merupakan variasi tegangan pada sisi keluaran akibat proses switching. Ripple ini perlu dibatasi agar tegangan keluaran tetap mendekati nilai referensi dan aman untuk digunakan pada beban. Pada perancangan ini, ripple tegangan output ditentukan sebesar 1% dari tegangan keluaran.

$$\Delta V_o = 1\% \times V_{out}$$

$$\Delta V_o = 1\% \times 24$$

$$\Delta V_o = 0,24,$$

Berdasarkan hasil perhitungan, ripple tegangan keluaran yang diizinkan adalah sebesar **0,24 V**. Nilai ini menjadi acuan dalam menentukan kapasitor minimum pada sisi keluaran.

2.4.5. Kapasitor

Kapasitor keluaran berfungsi untuk meredam ripple tegangan dan menjaga kestabilan tegangan output. Nilai kapasitor minimum dihitung berdasarkan arus keluaran, duty cycle, frekuensi switching, dan ripple tegangan yang diizinkan.

$$C_{min} = \frac{I_{out} \times D_{min}}{F_{sw} \times \Delta V_o}$$

$$C_{min} = \frac{8,33 \times 0,35}{40000 \times 0,24}$$

$$C_{min} = \frac{2,9155}{9600}$$

$$C_{min} = 0,00030369F$$

$$C_{min} = 303,6\mu F$$

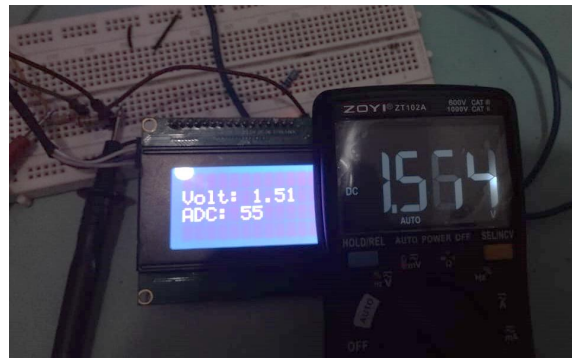
Dari hasil perhitungan diperoleh nilai minimum kapasitor sebesar 303,6 μF . Pada aplikasi nyata, kapasitor yang digunakan sebaiknya memiliki nilai lebih besar dari hasil perhitungan minimum untuk mengantisipasi toleransi komponen, perubahan beban, serta peningkatan ripple akibat kondisi kerja dinamis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan untuk mengetahui apakah sensor tegangan dapat berkerja dengan baik yaitu dapat mendeteksi besaran nilai tegangan sesuai dengan nilai pada alat kalibrasi.





Gambar 7 pengujian sensor arus

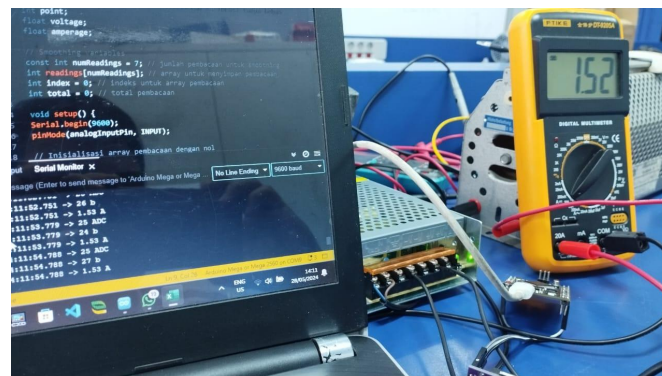
TABEL II : Pengujian sensor Tegangan

No	Pembacaan Sensor	Pembacaan Multimeter	Error
1	1,23	1,29	5%
2	2	2,04	2%
3	2,93	2,99	2%
4	4,93	5	1%
5	5,91	6	2%

Hasil pengujian dilakukan menggunakan Voltmeter yang disambungkan paralel dengan VCC dan GND sensor. Hasil dari pengujian pada tabel 1 menunjukkan bahwa bekerja dengan baik dan menunjukkan rata – rata *error* sebesar 2%.

3.2 Pengujian Sensor Arus

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan kerja dari sensor arus ACS 758 sebelum sensor digunakan sebagai alat ukur arus pada rangkaian *Synchronous Boost Converter*.



Gambar 8 Pengujian sensor arus

TABEL III : Pengujian Sensor ACS758

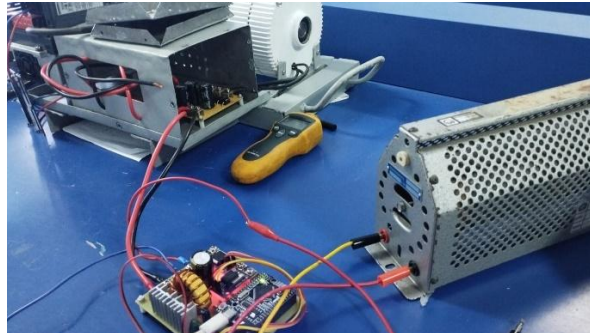
No	ADC	sensor ACS	multimeter	error
1	17	1,0	1	0%
2	32	1,95	2,03	4%
3	48	2,93	3,07	5%
4	62	3,8	4	5%
5	78	4,76	4,99	5%



Pengujian dilakukan menggunakan amperemeter dan disambungkan ke beban rheostat. Hasil dari pengujian pada tabel 2 menunjukkan bahwa bekerja dengan baik dan menunjukkan rata – rata *error* sebesar 4% dapat dikatakan sensor Arus tersebut cukup akurat, dan dapat bekerja secara linier.

3.3 Pengujian Rectifier

Pengujian ini dilakukan untuk melihat kemampuan kerja dari PMSG sebelum disambungkan ke sistem *Synchronous Boost Converter* pengujian ini dilakukan dengan cara menyambungkan PMSG dengan motor listrik yang diatur kecepatannya, pengujian ini menguji rangkaian penyearah 3 fasa.



Gambar 9 Pengujian rectifier

TABEL IV :Hasil pengujian PMSG dengan penyearah 3 fasa

No	RPM	m/s	Vout
1	185	1	-
2	369	2	11,89
3	460	2,5	12,65
4	555	3	15,1
5	646	3,5	17,64
6	738	4	20,29
7	830	4,5	22,9
8	922	5	25,49
9	1014	5,5	28,1
10	1107	6	30,76

TABEL V : Pengujian rectifier

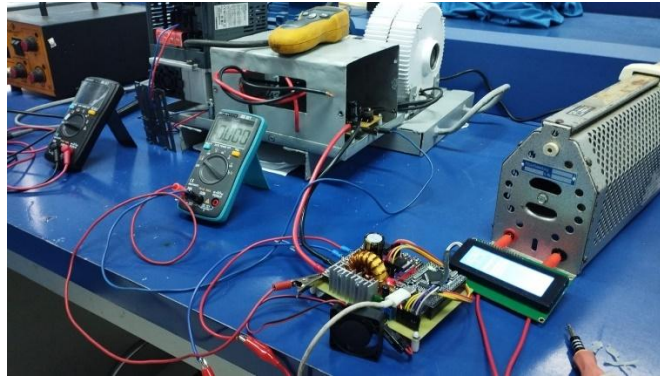
No	RPM	m/s	vout	Iout	beban
1	185	1	3,4	0,4	12
2	369	2	8,42	0,97	12
3	460	2,5	10,9	1,26	12
4	555	3	13,1	1,53	12
5	646	3,5	15,9	1,83	12

Hasil pengujian rectifier dengan beban terlihat bahwa ketika RPM meningkat, vout juga meningkat arus juga meningkat sesuai dengan meningkatnya kecepatan putaran PMSG, pada pengujian ini beban tetap konstan pada 12 Ω . Pada hasil pengujian tanpa beban didapatkan data semakin tinggi kecepatan semakin besar nilai Vout yang dikeluarkan.

3.4 Pengujian Synchronous Boost Converter

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari *synchronous boost converter*. Pengujian ini dilakukan pada *synchronous boost converter* dimana pengujian akan dilakukan dengan beban rheostat





Gambar 10 Pengujian synchronous boost converter

TABEL VI : Pengujian Synchronous Boost Converter

No	Input VOLT	Arus	Output Volt	Arus	P in	Pout	Rheostat Ohm	Duty Cycle %	efisiensi
1	11,48	10,44	24,44	3,82	119,8512	93,3608	78%	35	78%
2	11,51	9,56	22,8	3,63	110,0356	82,764	75%	40	75%
3	11,55	8,1	21,17	3,31	93,555	70,0727	75%	45	75%
4	11,56	6,3	19,66	3,13	72,828	61,5358	84%	50	84%
5	11,57	5,25	18,3	2,8	60,7425	51,24	84%	55	84%
6	11,57	4,25	16,85	2,63	49,1725	44,3155	90%	60	90%
7	11,58	3,9	15,8	2,44	45,162	38,552	85%	65	85%
8	11,58	3,19	14,67	2,2	36,9402	32,274	87%	70	87%
9	11,59	2,75	13,78	2,1	31,8725	28,938	91%	75	91%
10	11,59	2,5	13	2,02	28,975	26,26	91%	80	91%
Rata – rata efisiensi									84%

Hasil pengujian synchronous boost converter menunjukkan bahwa nilai efisiensi paling tinggi 91% dan didapat nilai rata – rata efisiensi 84% nilai efisiensi tertinggi didapat pada duty cycle 75% dan 80%. Dari hasil pengujian synchronous boost converter didapatkan data jika semakin kecil nilai dutycycle maka nilai arus juga akan meningkat dan efisiensi dari converter akan menurun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada desain synchronous boost converter yang dijelaskan pada artikel ini, generator PMSG menghasilkan tegangan yang kurang stabil. Rangkaian synchronous boost Converter digunakan untuk menstabilkan tegangan. Pada pengujian Synchrnous Boost Converter dengan beban didapatkan nilai rata rata efisiensi 84%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada bapak Muhamad Rifa'I dan ibu Beauty Anggraheny Ikawanty telah meluangkan waktu untuk membantu menyusun artikel ini hingga artikel dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Zainal arifin and R. Ika Putri, "Implementasi Kontroler PI Pada Buck Converter Sebagai Pengaturan Tegangan Konstan Di Sistem Turbin Angin Permanent Magnet Schronous Generator (PMSG) Dilengkapi Sistem Monitoring Berbasis IoT," *J. Appl. Smart Electr. Netw. Syst.*, vol. 2, no. 2, pp. 43–48, 2021, doi: 10.52158/jasens.v2i2.193.
- [2] E. S. Wirateruna, "Analisa Perbandingan Implementasi MPPT PV Berbasis Algoritma P&O dan IC dengan Arduino Uno," *JE-Unisla*, vol. 7, no. 1, p. 14, 2022, doi: 10.30736/je-unisla.v7i1.769.
- [3] H. Mubarok and B. A. Whiancaka, "Optimasi Sistem Turbin Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 19, no. 01, pp. 1–10, 2020, doi: 10.31358/techné.v19i01.226.



- [4] G. Sumber, S. Kerja, P. Di, I. Gawat, D. Rumah, and K. Jember, "Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember," 2020.
- [5] M. Otono and R. M. Bajuri, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 5, no. 2, p. 103, 2017, doi: 10.36055/setrum.v5i2.1563.
- [6] A. Assegaf, D. Aming, and F. Alvianto, "Perancangan maximum power point tracking dengan algoritma incremental conductance untuk PLTS 100 Wp," *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.35313/jitel.v1.i1.2021.1-8.
- [7] A. P. Anugrah and B. Anto, "Perancangan Dan Analisis Rangkaian Synchronous Boost Converter Untuk Penyalan Lampu LED 21W Dengan Sumber Baterai 12VDC," 2018.
- [8] S. Fuada *et al.*, "Analisis Rangkaian Pembagi Tegangan dan Perbandingan Hasil Simulasinya Menggunakan Simulator Offline," *Circuit J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, p. 28, 2022, doi: 10.22373/crc.v6i1.11200.
- [9] C. Directionality and T. Op, "Thermally Enhanced, Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 100 $\mu\Omega$ Current Conductor ACS758xCB 2 Selection Guide Part Number [1] Package Primary Sampled Current, I P (A) Sensitivity Sens (Typ.) (mV/A)," 2022, [Online]. Available: www.allegromicro.com
- [10] R. I. Putri, I. N. Syamsiana, and M. Rifa'i, "Power extraction optimization of pmsg wind turbine system based on simple modified perturb & observe," *ICIC Express Lett. Part B Appl.*, vol. 11, no. 1, pp. 17–24, 2020, doi: 10.24507/icicelb.11.01.17.

