

Studi Analisa Synchronous Rectifier Buck Converter Untuk Meningkatkan Efisiensi Daya Pada Sistem Photovoltaic

Ari Robiul Ichsan^{*1}, Machmud Effendy², Diding Suhardi³

^{1,2,3}Universitas Muhammadiyah Malang

arirobiulichsan@gmail.com^{*1}, machmudeffendy@yahoo.com², diding@umm.ac.id³

Abstrak

Abstrak-Sel surya atau sering disebut energi photovoltaic (PV) adalah energi yang saat ini popular karena PV yang sangat ramah terhadap lingkungan tetapi dalam pengaplikasiannya secara konvensional sistem PV juga banyak mengalami kekurangan terutama terhadap efisiensi daya keluaran yang terbilang rendah. salah satu faktor yang mempengaruhi terhadap efisiensi daya sistem PV yaitu pada bagian konverter DC-DC. Konverter DC-DC sebagai sumber daya sistem elektronika yang dapat ditingkatkan efisiensinya dengan cara mengganti dioda pada konverter DC dengan MOSFET. MOSFET dapat mengurangi rugi konduksi pada konverter DC sinkron karena rugi daya konduksi MOSFET lebih rendah dari rugi daya konduksi dioda. Pada perancangan ini sistem PV menggunakan konverter DC tipe penurun tegangan dengan menggunakan metode MOSFET sinkronisasi untuk menggantikan dioda pada rangkaian konverter DC tipe penurun tegangan atau juga disebut dengan synchronous buck converter. Kemudian akan dibandingkan efisiensi daya antara synchronous buck converter dengan non-synchronous buck converter. Pada sistem PV menggunakan synchronous buck converter efisiensi daya yang dihasilkan ialah mencapai 98.47%, sedangkan efisiensi daya yang dihasilkan pada non-synchronous buck converter disistem PV lebih rendah ialah 96.81%. Ini membuktikan bahwa rugi konduksi pada MOSFET lebih rendah dibandingkan dengan rugi konduksi pada dioda.

Kata Kunci: DC Konverter, Efisiensi daya, MOSFET sinkronisasi, Photovoltaic (PV)

Abstract

Abstract- Solar cells or photovoltaic (PV) energy is a popular energy due to PV technology is renewable but in conventional application PV system has low output power efficiency. One factor which influenced the power efficiency of PV Systems that are in the DC-DC converter. Power efficiency in converter DC-DC can increase with replace diode to MOSFET. MOSFET can decrease the conduction loss of synchronous DC converter because conduction loss in MOSFET lower than diode. In this paper PV system is designed use DC converter buck converter type and synchronous MOSFET method or usually called synchronous buck converter. Power efficiency of synchronous buck converter is compare with non-synchronous buck converter. The result of power efficiency synchronous buck converter is 98.47%, power efficiency of non-synchronous buck in PV system is 96.81%. This analysis has proven the conduction losses in MOSFET lower than the conduction MOSFET in diode.

Keywords: Converter DC, Photovoltaic (PV), Power efficiency, synchronous MOSFET

1. Pendahuluan

Menipisnya sumber daya bahan bakar fosil di seluruh dunia, membuat kita diharuskan mencari sumber energi yang alternatif. Di antara semua pilihan energi terbarukan energi surya ialah energi yang paling bersih dan tidak ada habis-habisnya. Energi surya telah menawarkan solusi hasil yang menjanjikan dalam upaya tersebut. Solusi yang ditawarkan oleh energi surya sangat berpengaruh terhadap lingkungan tetapi dalam aplikasinya secara konvensional sel surya juga banyak mengalami kekurangan terutama pada sisi efisiensi keluaran yang terbilang rendah, hal tersebut dikarenakan perbedaan karakteristik antara sel surya dengan beban. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya, seperti besarnya tingkat intensitas cahaya, suhu kerja dari panel surya dan kinerja dari konverter DC itu sendiri [1] [2] [3].

Pada sel surya terdapat baterai yang biasanya digunakan, yakni baterai lead-acid, karena dapat diisi ulang sehingga sangat efisien pada sistem kelistrikan. Untuk mencegah kerusakan pada baterai, dibutuhkan sebuah alat pengendali yang dikenal dengan *charge controller*. Fungsi utama dari *charge controller* adalah mempertahankan keadaan baterai dengan mencegah terjadinya distribusi arus dan tegangan yang berlebihan pada baterai. Terdapat setidaknya dua jenis *charge controller*, yaitu menggunakan teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [4] [5].

Menurut Dhananjay dan Anmol sebuah sistem *Photovoltaic* (PV) secara matematis yang terhubung dengan *buck converter* dengan algoritma *Incremental Conductance* (IC) untuk mengekstraksi daya maksimum pada kondisi PV yang berbeda. Mereka menyadari bahwa fungsi dasar dari DC-DC konverter di sistem PV adalah seperti daya proses yang mengubah tingkat antara arus dan tegangan sehingga daya maksimum dapat diekstraksi dari rangkaian PV [1].

Menurut Emmanuel dan Vasile perangkat semikonduktor memiliki kerugian konduksi karena terdapat tahanan yang aktif. Dioda yang terdapat pada *buck converter* memiliki *forward voltage* yang lebih tinggi dari sekitar 0,6 V sampai 0,7 V yang dapat mengalami kerugian daya dalam *converter*, dengan meningkatkan efisiensi dan kinerja yang lebih tinggi mereka melakukan desain terhadap *buck converter* dimana dioda diganti dengan *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) atau sering disebut *synchronous rectifier* (SR) *buck converter*, karena MOSFET digunakan untuk memenuhi efisiensi dan kinerja yang lebih tinggi. Mengganti dioda dengan MOSFET dapat meningkatkan efisiensi sampai 5% atau lebih [6] [7].

Pada peneliti sebelumnya menurut Sutedjo, dkk mereka melakukan rancang bangun DC-DC *converter* dengan pengendali PI yang mendapatkan efisiensi maksimum pada *buck converter* ialah 86,33% [8].

Ling-Feng Shi dan Wei-Gang Jia melakukan eksperimen terhadap *synchronous buck* DC-DC *converter* dengan menggunakan kontrol PWM dan *auto-switching* PWM/standby. Mereka mendapatkan hasil efisiensi maksimal ialah 94% [9] [10].

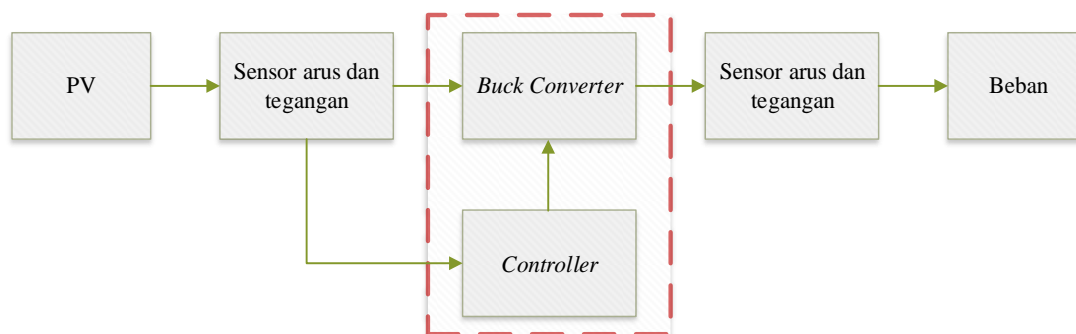
Peneliti yang bernama Trias, dkk membahas sistem yang berbeda ialah konverter arus searah ke arus searah tipe penaik tegangan dengan dan tanpa MOSFET sinkronisasi, mereka menyadari bahwa dalam praktiknya efisiensi daya pada *converter* DC-DC tipe penaik tegangan sinkronisasi MOSFET lebih tinggi dibandingkan dengan MOSFET tanpa sinkronisasi. Mereka menyimpulkan pada *duty cycle* 40% ke atas efisiensi daya yang dihasilkan akan terus meningkat dan meninggalkan nilai efisiensi daya pada konverter tipe penaik tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi, total efisiensi keseluruhan sistem yang dihasilkan ialah 95% [11].

Penelitian ini akan memaksimalkan efisiensi daya *synchronous buck converter* pada sistem PV lalu akan dibandingkan dengan kinerja dari *non-synchronous buck converter* yang akan disimulasikan ke *software* MATLAB-SIMULINK r2012b.

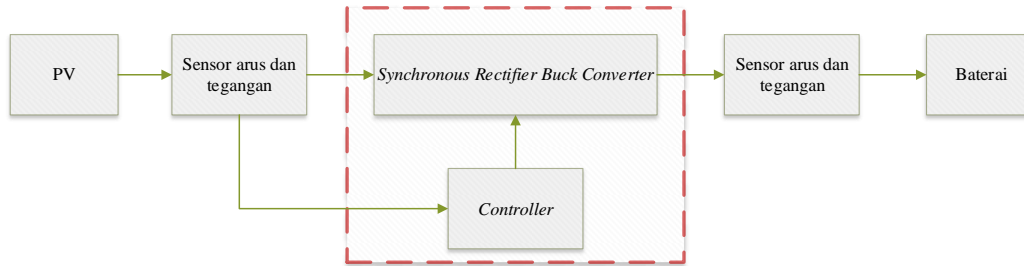
2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Blok

Sistem PV dengan penurun tegangan *non-synchronous buck converter* ditunjukkan Gambar 1 dan Gambar 2 ialah dengan menggunakan *synchronous buck converter*. Kedua sistem PV tersebut berfungsi menurunkan tegangan menjadi 12 V.



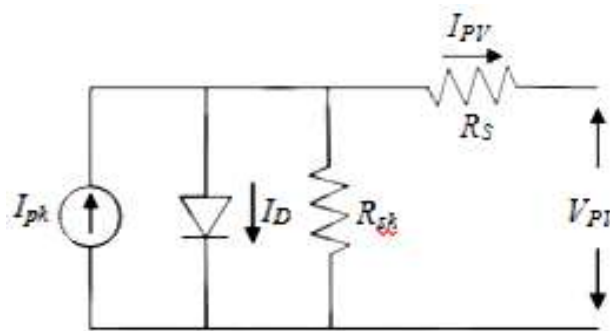
Gambar 1. Diagram Blok Secara Umum Sistem PV Menggunakan Non-Synchronous Buck Converter



Gambar 2. Diagram Blok Desain Sistem PV Menggunakan Synchronous Buck Converter

2.2 Perancangan PV

Nilai parameter PV yang dipakai pada simulasi ini ialah tipe KC200GT-200W. Secara garis besar pemodelan PV ini didapatkan dari persamaan yang telah disesuaikan dengan karakteristik PV itu sendiri pada umumnya. Gambar 3 menunjukkan rangkaian umum PV secara skematik.



Gambar 3. Rangkaian Umum PV Secara Skematik

Tabel 1 menunjukkan parameter PV yang akan digunakan dalam pemodelan PV secara matematis.

Tabel 1. Parameter PV

Characteristic	Unit	KC200GT-200W
Maximum power (Pmax)	W	200.143
Maximum Power Voltage (Vmp)	V	26.3
Maximum Power Current (Imp)	A	7.61
Short Circuit Current (Isc)	A	8.21
Open Circuit Voltage (Voc)	V	32.9

Persamaan 1, Persamaan 2, Persamaan 3, Persamaan 4 didapat dari pemodelan dibuat secara bertahap sesuai dengan Persamaan nilai yang sudah ditentukan.

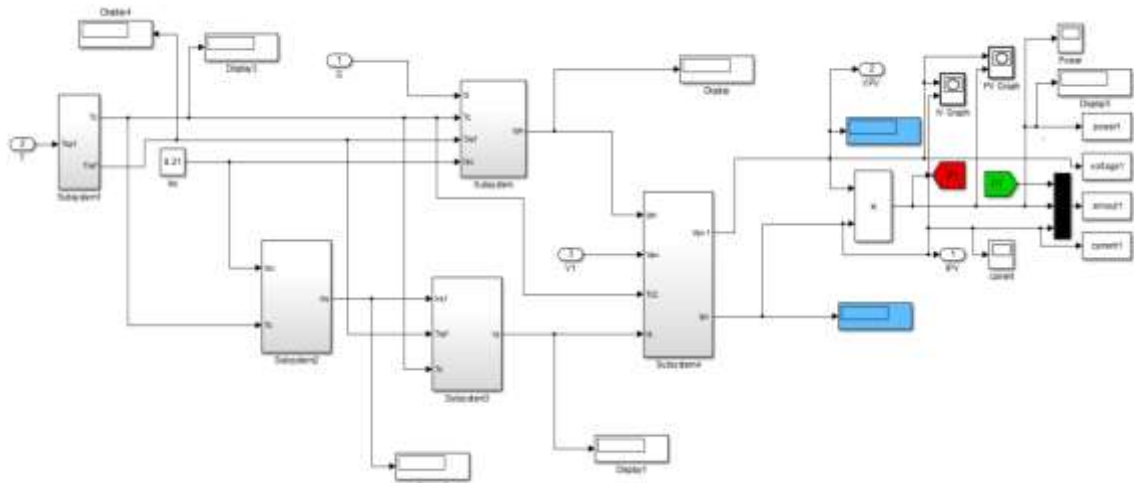
$$I_{ph} = (I_{sc} + K_I(T_k - T_{ref})) \frac{G}{G_{ref}} \tag{1}$$

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{N_s KAT}\right) - 1 \right]} \tag{2}$$

$$I_s = I_{rs} \left[\frac{T}{T_{ref}} \right] \exp \left[\frac{q E_g}{A k} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \tag{3}$$

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_o \left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{N_s KAT}\right) - 1 \right] \tag{4}$$

Gambar 4 menunjukkan rangkaian PV secara matematis dengan perancangan PV yang dirancang secara matematis dengan menghasilkan PV murni 200 Watt dan ditingkatkan daya sehingga mencapai 1200 watt.



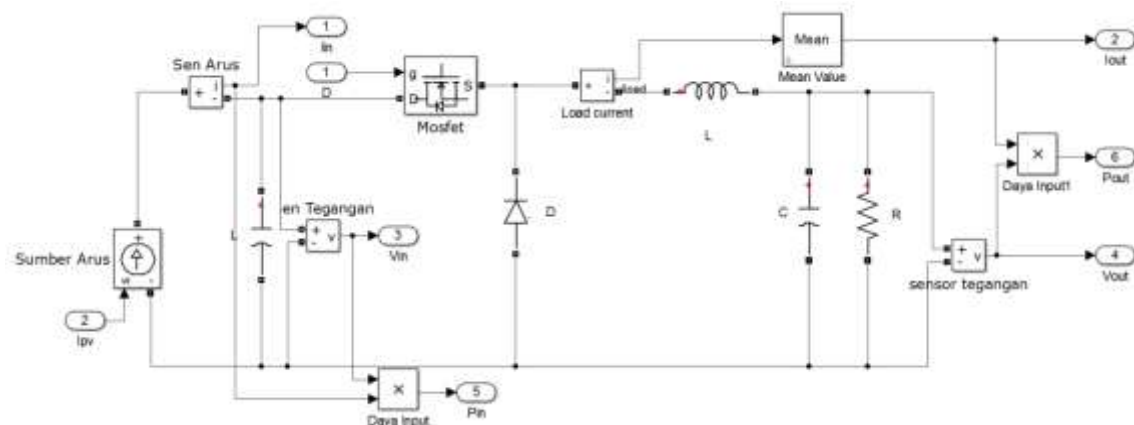
Gambar 4. Rangkaian PV Secara Matematis

2.3 Perancangan Converter DC Sebagai Penurun Tegangan PV

Converter DC yang digunakan ialah *buck converter* mengubah nilai tegangan masuk dari sumber PV sebesar 32.9 V ke nilai tegangan keluaran yang lebih rendah sebesar 12 V dengan frekuensi *switching* 10 kHz. Tabel 2 Parameter nilai untuk perancangan konverter DC dan Gambar 5 rangkaian simulasi *buck converter* dengan penyearah sisi bawah menggunakan dioda yang sudah dirancang.

Tabel 2. Nilai Parameter Perancangan Konverter DC

Parameter	Nilai	Satuan
Voltage Input	32.9	V
Voltage Output	12	V
Current Output	7	A
Frekuensi	10	kHZ
Forward Voltage	0.6	V
Resistor	0.5	Ohm



Gambar 5. Rangkaian Umum Buck Converter Dengan Sumber PV

Perhitungan untuk merancang konverter DC tipe penurun tegangan menggunakan Persamaan 5, Persamaan 6, Persamaan 7, Persamaan 8, Persamaan 9, Persamaan 10. Dari Persamaan tersebut, maka dapat dihasilkan nilai dari setiap komponen ditunjukkan Tabel 3.

$$D = \frac{V_{Out}}{V_{In}} \tag{5}$$

$$I_L = \frac{V_o}{R} = I_o \tag{6}$$

$$\Delta I_L = 0.3 \times I_L \tag{7}$$

$$L = \left(\frac{1}{f}\right) \cdot (V_{in} - V_{out}) \cdot \left(\frac{V_{out} + V_f}{V_{in} + V_f}\right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta I_L}\right) \tag{8}$$

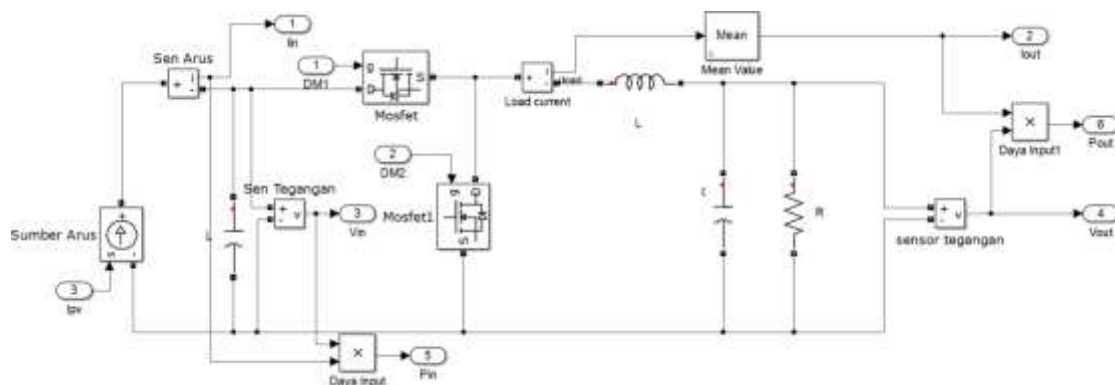
$$\Delta V_o = \pm 0.1\% + V_{out} \tag{9}$$

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f \cdot \Delta V_o} \tag{10}$$

Tabel 3. Hasil Persamaan 5 Sampai Dengan Persamaan 10

Komponen	Nilai	Satuan
Duty cycle	0.40	%
Induktor	0.00037	henry
Kapasitor	0.0022	farad

Sebagai pembandingnya Gambar 6 menunjukkan simulasi rangkaian *synchronous buck converter* menggunakan sumber PV sebagai perbandingan dengan hasil luaran efisiensi daya *non-synchronous buck converter*.



Gambar 6. Rangkaian Synchronous Buck Converter Dengan Sumber PV

Pada analisa ini akan membandingkan hasil efisiensi daya sistem PV menggunakan *non-synchronous buck converter* lalu dibandingkan dengan *synchronous buck converter*. Efisiensi daya secara umum dapat dihitung dengan Persamaan 11.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \tag{11}$$

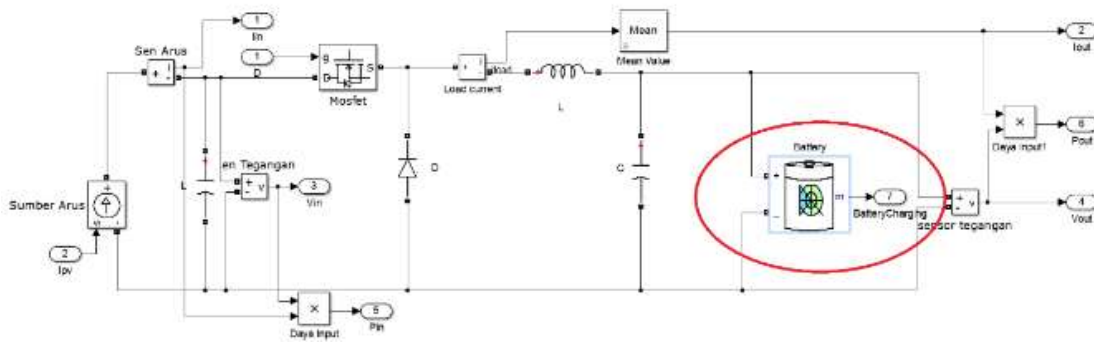
Frekuensi *switching* yang dipakai mulai 10 kHz, 20 kHz sampai 30 kHz. *Duty cycle* yang dipakai mulai dari 40%, 50%, 60%, 70%, 80% sampai 90%. Ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh hasil keluaran jika nilai frekuensi dan *duty cycle* dinaikkan.

2.4 Perancangan Converter DC Sebagai Penurun Tegangan PV Menggunakan Beban Baterai

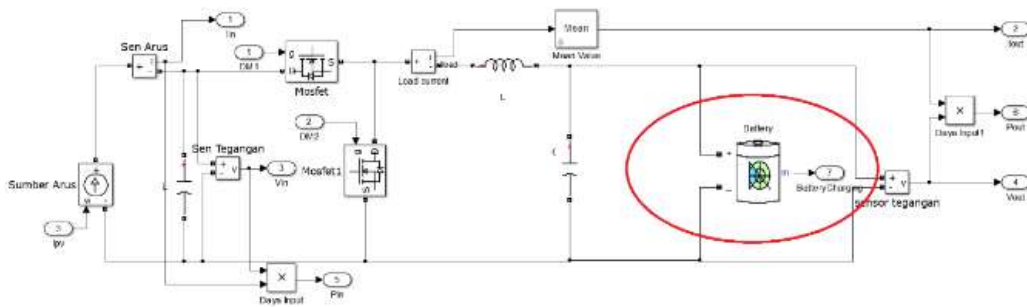
Pada perancangan ini, sistem PV yang awalnya menggunakan beban resistor bernilai 0.5 Ohm kini diganti dengan menggunakan baterai lead-acid 12 V dan 140 AH. Gambar 7 ialah rangkaian sistem PV dari sumber PV menggunakan *non-synchronous buck converter* dengan beban baterai. Sebagai pembanding Gambar 8 adalah rangkaian sistem PV dari sumber PV menggunakan *synchronous buck converter* dengan beban baterai.

Pada analisa ini akan membandingkan sistem PV menggunakan *non-synchronous buck converter* dengan *synchronous buck converter* yang akan dialirkan ke beban baterai lead-acid.

Tabel 2 konverter DC tipe penurun yang akan dipakai menggunakan nilai parameter yang sudah ditentukan dan dihitung sebelumnya ialah frekuensi 10 kHz dan *duty cycle* 40%.



Gambar 7. Rangkaian Non-Synchronous Buck Converter Dengan Beban Baterai Lead-acid



Gambar 8. Rangkaian Synchronous Buck Converter Dengan Beban Baterai Lead-acid

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

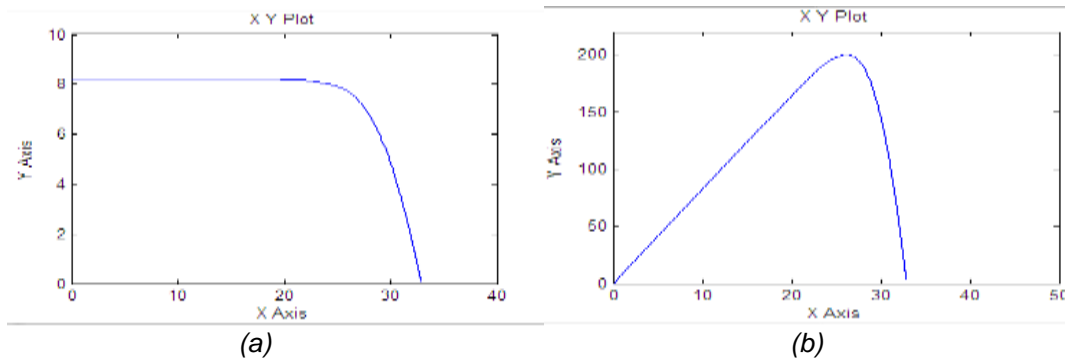
3.1 Hasil Simulasi PV

Gambar 9 menunjukkan hasil PV murni persamaan tegangan dan arus dengan daya 200 watt, sedangkan Gambar 10 menampilkan PV murni persamaan daya dan tegangan. Dalam Gambar 10 (a) adalah persamaan arus dan tegangan dengan daya yang sudah ditingkatkan sebesar 1200 watt, sedangkan Gambar 10 (b) merupakan persamaan daya dan tegangan yang sudah ditingkatkan sebesar 1200 watt.

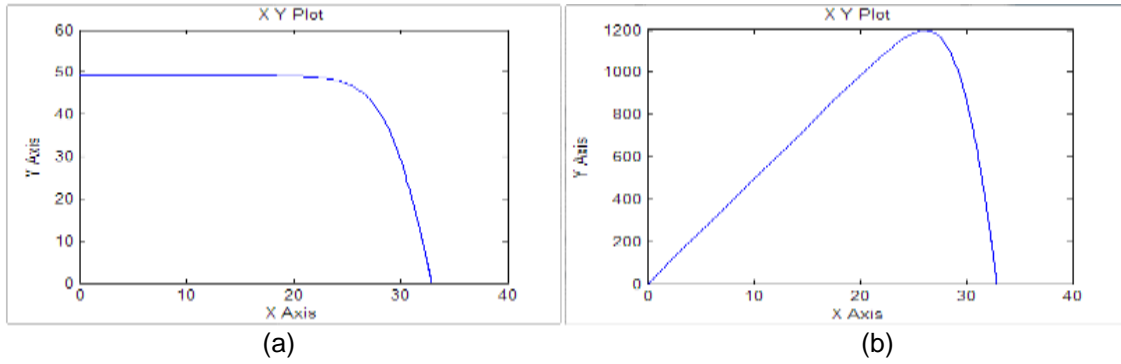
3.2 Hasil Simulasi Sistem PV

3.2.1 Hasil Simulasi Sistem PV dengan Non-Synchronous Buck Converter

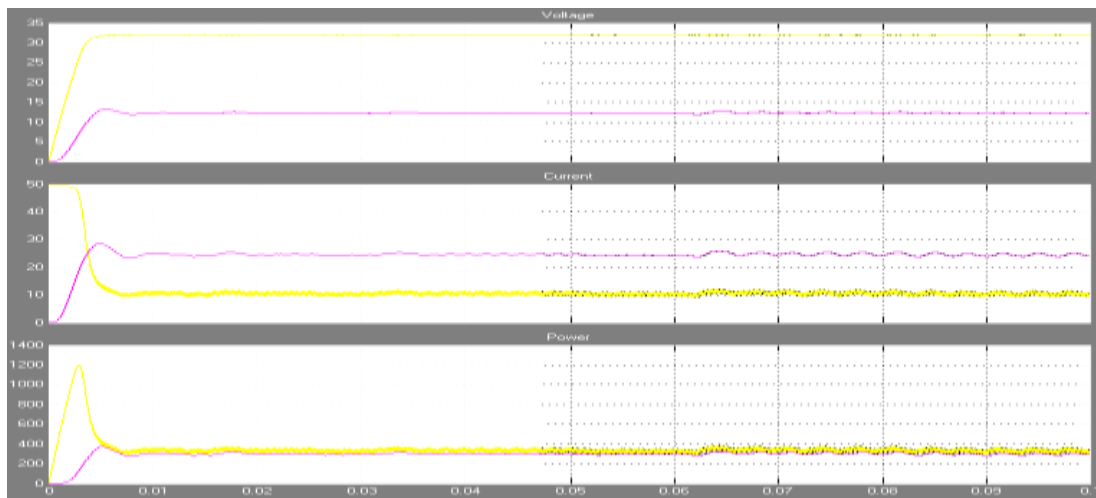
Dalam bab ini menggunakan *duty cycle* sesuai dengan persamaan (5) ialah 40%. Gambar 11 menunjukkan hasil simulasi sistem PV dengan *non-synchronous buck converter* pada frekuensi 10kHz sedangkan Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi sistem PV dengan *non-synchronous buck converter* pada frekuensi 20 kHz dan Gambar 13 menunjukkan hasil simulasi sistem PV dengan *non-synchronous buck converter* pada frekuensi 30 kHz.



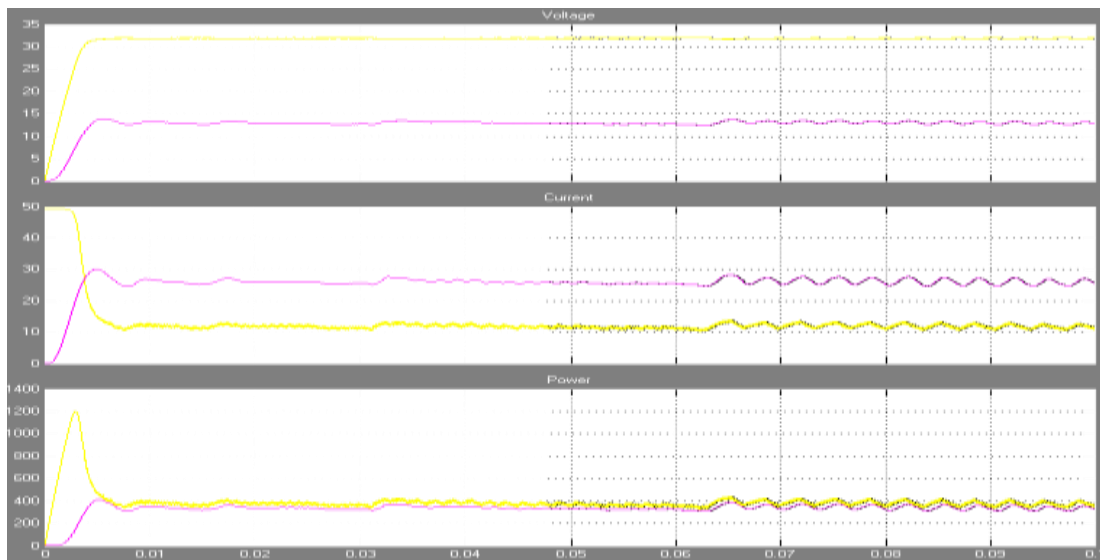
Gambar 9. (a) Persamaan Arus dan Tegangan (b) Persamaan Antara Daya dan Tegangan



Gambar 10. (a) Persamaan Arus dan Tegangan (b) Persamaan Daya dan Tegangan



Gambar 11. Hasil Grafik Frekuensi 10 kHz



Gambar 12. Hasil Grafik Frekuensi 20 KHz



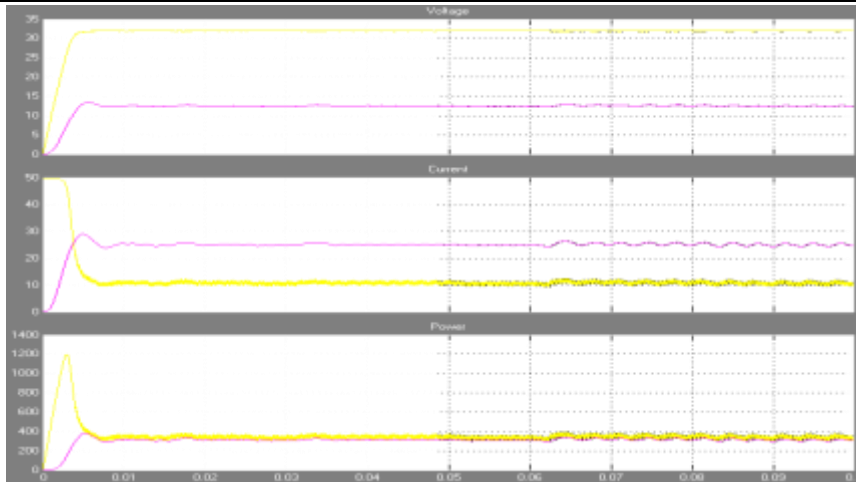
Gambar 13. Hasil Grafik Frekuensi 30 kHz

Tabel 4. Hasil Simulasi Sistem PV Dengan Non-Synchronous Buck

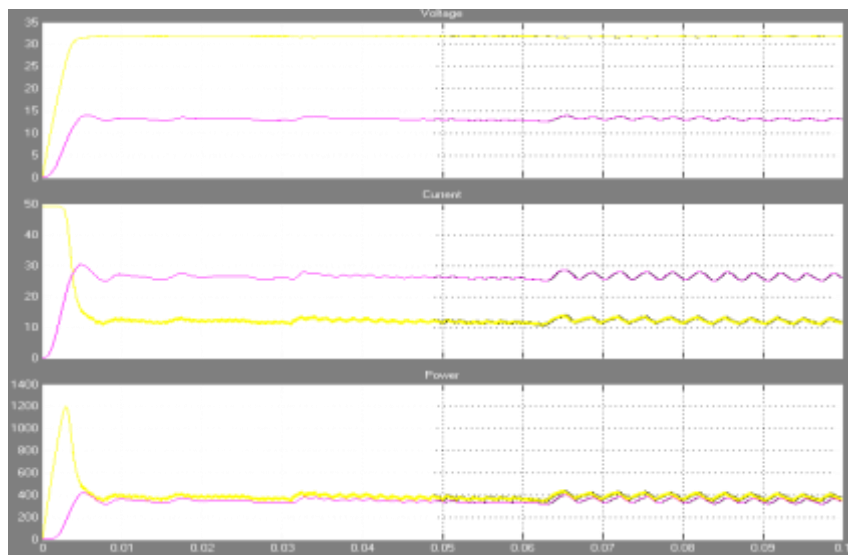
F (kHz)	D (%)	Source (V)		Current (A)		Power (Watt)		Power Efficiency (η)
		Input	Output	Input	Output	Input	Output	
10	40	32.1	12.13	9.382	24.03	301.1	291.5	96.81
	50	31.59	14.86	14.82	29.86	468.1	443.8	94.83
	60	30.97	16.91	20.94	33.65	648.5	568.9	87.71
	70	30.26	18.96	27.13	37.75	820.9	715.8	87.19
	80	29.25	20.76	34.32	41.73	1004	866.2	86.28
	90	28.13	21.76	40.16	43.32	1130	942.6	83.44
20	40	31.92	12.94	11.29	25.65	360.4	332	92.11
	50	31.12	16.43	19.53	32.87	607.8	540.2	88.87
	60	30.67	17.78	23.63	36.07	724.8	641.3	88.48
	70	29.54	20.26	34.42	40.43	957.9	821.3	85.74
	80	29.17	20.8	34.81	41.21	1015	857.4	84.44
	90	26.77	22.31	44.62	44.62	1195	995.6	83.33
30	40	32.13	11.55	9.033	23.09	290.2	266.6	91.88
	50	31.66	14.1	14.11	28.21	446.6	397.9	89.09
	60	31.09	16.43	19.78	32.87	615.1	540.1	87.81
	70	30.41	18.5	25.84	37.01	786	684.8	87.12
	80	29.55	20.26	32.37	40.53	956.5	821.2	85.85
	90	28.4	21.61	38.95	43.23	1106	934.3	84.47

3.2.2 Hasil Simulasi Sistem PV Dengan Synchronous Buck Converter

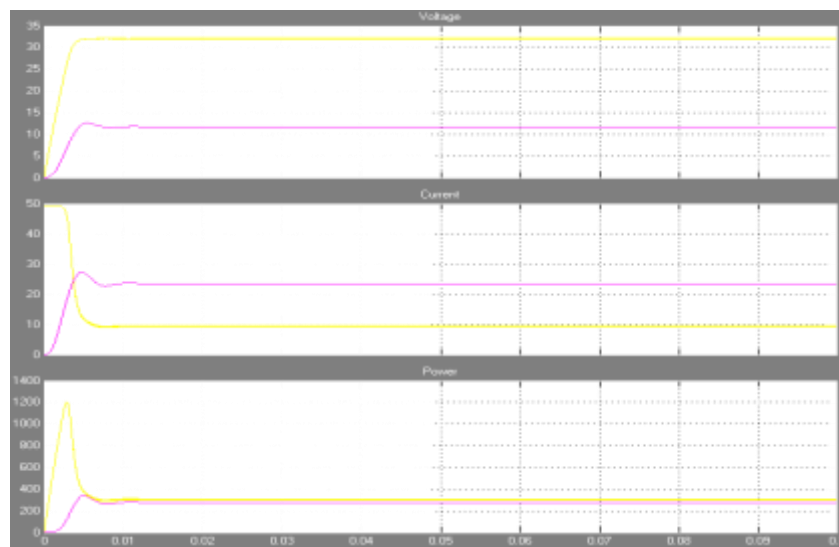
Dalam bab ini menggunakan nilai *duty cycle* sesuai dengan persamaan (5) ialah 40%. Gambar 14 menunjukkan hasil simulasi sistem PV dengan *synchronous buck converter* pada frekuensi 10kHz sedangkan Gambar 15 menunjukkan hasil simulasi sistem PV dengan *synchronous buck converter* pada frekuensi 20 kHz dan Gambar 16 menunjukkan hasil simulasi sistem PV dengan *synchronous buck converter* pada frekuensi 30 kHz.



Gambar 14. Hasil Grafik Dengan Frekuensi 10 kHz



Gambar 15. Hasil Grafik Dengan Frekuensi 20 kHz



Gambar 16. Hasil Grafik Dengan Frekuensi 30 kHz

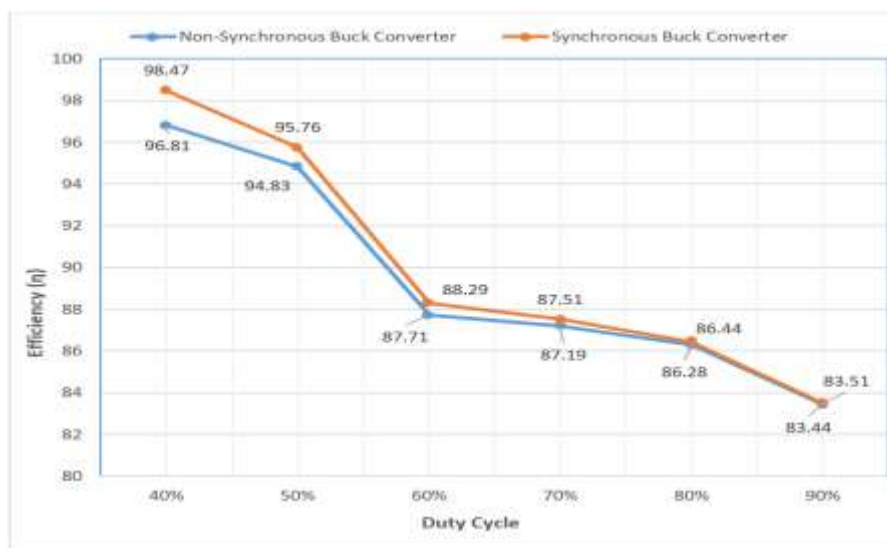
Tabel 5 menunjukkan hasil simulasi sistem PV dengan *synchronous buck converter* menggunakan *duty cycle* mulai dari 40%, 50%, 60%, 70%, 80% sampai 90% dengan frekuensi yang digunakan ialah 10, 20, dan 30 kHz.

Tabel 5. Hasil Simulasi Sistem PV Dengan Synchronous Buck Converter

F (kHz)	D (%)	Source (V)		Current (A)		Power (Watt)		Power Efficiency (η)
		Input	Output	Input	Output	Input	Output	
10	40	32.1	12.34	9.545	24.45	306.2	301.6	98.47
	50	31.6	15.01	14.96	30.15	472.4	452.4	95.76
	60	31	17.01	21.07	33.86	652.2	575.8	88.29
	70	30.3	19.02	27.22	37.88	823.4	720.5	87.51
	80	29.2	20.79	34.37	41.79	1005	868.9	86.44
	90	28.1	21.77	40.18	43.35	1130	943.8	83.51
20	40	31.9	13.13	11.46	26.02	365.5	341.6	93.44
	50	31.1	16.55	19.67	33.09	611.7	547.5	89.51
	60	30.7	17.87	23.74	36.24	727.9	647.4	88.95
	70	29.5	20.3	32.49	40.61	959.5	924.5	85.94
	80	29.16	20.83	34.86	41.28	1017	859.9	84.59
	90	26.8	22.31	44.62	44.62	1195	995.6	83.33
30	40	32.1	11.77	9.206	23.54	295.6	277	93.68
	50	31.6	14.26	14.27	28.53	451.5	407	90.14
	60	31.1	16.54	19.92	33.09	619	547.5	88.44
	70	30.4	18.57	25.94	37.18	788.8	690.1	87.49
	80	29.5	20.3	32.43	40.61	958.1	824.4	86.05
	90	28.4	21.63	38.98	43.26	1107	935.7	84.55

3.3 Hasil Perbandingan Efisiensi Daya Sistem PV

Pada bab ini menjelaskan hasil perbandingan efisiensi daya dari sistem PV dengan konverter DC tipe penurun tegangan memakai MOSFET sinkronisasi lalu dibandingkan dengan MOSFET tanpa sinkronisasi. Gambar 17 ialah grafik analisa perbandingan efisiensi daya memakai frekuensi yang sudah ditetapkan pada penentuan nilai parameter sebelumnya, yaitu Tabel 2 sebesar 10 kHz dengan *duty cycle* mulai dari 40%, 50%, 60%, 70%, 80% sampai 90%.

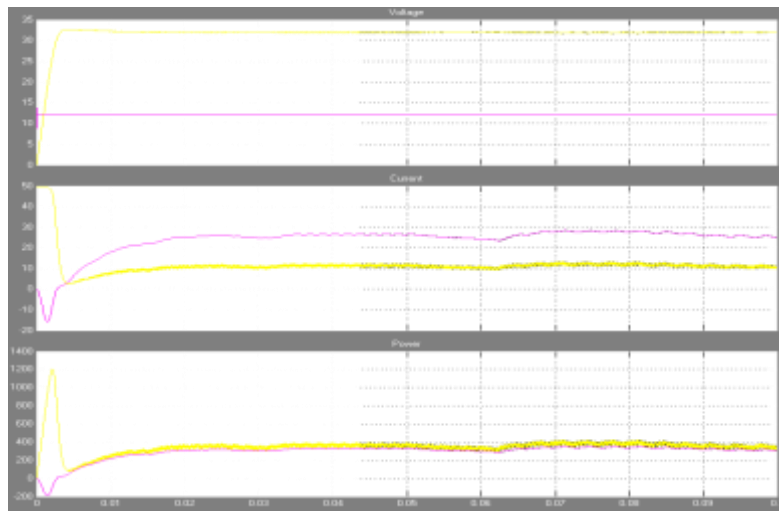


Gambar 17. Grafik Perbandingan Efisiensi Daya Pada Sistem PV

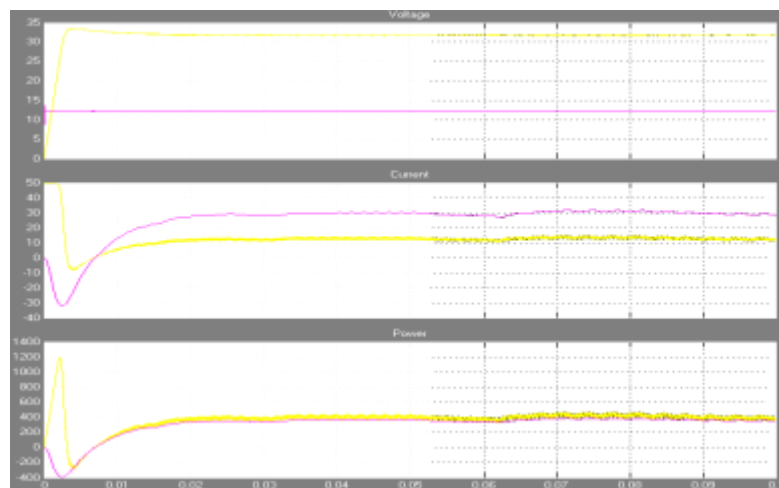
Jadi, peneliti bisa menyimpulkan bahwa pada sistem PV dengan menggunakan *converter* DC tipe penurun tegangan atau yang disebut *buck converter* efisiensi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan *synchronous buck converter*. Selisih efisiensi daya dari kedua *converter* DC tipe penurun tersebut pada *duty cycle* 40% ialah 1.66% tepat di frekuensi 10 kHz, perbedaan efisiensi daya tersebut ialah perbedaan yang paling jauh di frekuensi 10 kHz. Jadi semakin tinggi nilai *duty cycle* maka keluaran tegangan, arus dan daya akan semakin tinggi, tetapi pada efisiensi daya yang dihasilkan dari kedua *converter* DC tipe penurun tegangan tersebut akan semakin rendah, keduanya hampir menghasilkan nilai yang sama ketika nilai *duty cycle* semakin dinaikkan.

4. Hasil Simulasi Sistem PV dengan Beban Baterai

Pada hasil simulasi sistem PV ini, kedua *converter* DC tipe penurun tegangan tersebut akan menggunakan beban baterai lead-acid 12 V memakai frekuensi yang sudah ditetapkan dalam Tabel 2 ialah 10 kHz dan nilai *duty cycle* sesuai dengan hasil persamaan (5), yaitu 40%. Gambar 18 adalah hasil grafik keluaran tegangan, arus dan daya pada sistem PV menggunakan *non-synchronous buck converter* dan Gambar 19 adalah hasil grafik keluaran tegangan, arus dan daya pada sistem PV menggunakan *synchronous buck converter*.



Gambar 18. Hasil Grafik Keluaran Non-Synchronous Buck Converter Dengan Beban Baterai



Gambar 19. Hasil Grafik Keluaran Synchronous Buck Converter Dengan Beban Baterai

Tabel 6 menunjukkan hasil simulasi sistem PV dengan *non-synchronous buck converter* dan *synchronous buck converter* menggunakan beban baterai, *duty cycle* yang dipakai mulai dari

40%, 50%, 60%, 70%, 80%, sampai 90% dengan frekuensi yang sudah ditetapkan pada Tabel 2 ialah 10 kHz.

Tabel 6. Hasil Sistem PV Dengan Menggunakan Beban Baterai

Konverter DC	D (%)	Source (V)		Current (A)		Power (Watt)		Power Efficiency (η)
		Input	Output	Input	Output	Input	Output	
Non-synchronous Buck Converter	40	32.06	12.21	9.778	25.06	313.5	305.9	97.58
	50	29.88	12.24	30.04	59.34	897.7	726.3	80.91
	60	27.09	12.25	43.81	70.11	11.87	858.9	72.38
	70	23.87	12.25	48.33	66.6	1154	815.7	70.71
	80	20.9	12.24	49.09	59.63	1026	730	71.14
	90	18.65	12.23	49.22	53.02	917.7	648.6	70.68
Synchronous Buck Converter	40	31.94	12.21	11.13	28.48	355.5	347.7	97.82
	50	29.84	12.24	30.35	59.92	905.7	733.4	80.91
	60	27.09	12.25	43.85	70.16	1187	859.6	72.41
	70	23.85	12.25	48.34	66.61	1153	815.8	70.77
	80	20.88	12.24	49.1	59.63	1025	730	71.22
	90	18.63	12.23	49.22	53.02	917	648.6	70.73

5. Kesimpulan

Pengaplikasian sistem PV dengan kedua *converter* DC-DC tipe *buck* adalah semakin tinggi nilai *duty cycle* maka akan semakin tinggi nilai keluaran tegangan dan arus pada sistem PV, tetapi pada efisiensi daya yang dihasilkan akan menurun itu disebabkan perancangan nilai *duty cycle* yang sudah dihitung sebelumnya tidak sesuai dengan nilai parameter tegangan keluaran yang diinginkan yaitu sebesar 12 V sesuai dengan Persamaan (5).

Perancangan kontrol MOSFET *synchronous buck converter* agar bisa mengontrol *switching* pada MOSFET dengan menambahkan *logic* NOT pada sisi bawah MOSFET. Perancangan tersebut bertujuan agar sisi MOSFET atas dan sisi MOSFET bawah tidak aktif bersamaan waktu yang sama. Jika kedua MOSFET diaktifkan secara bersamaan maka akan terjadi hubungan singkat dari tegangan masukan langsung ke *ground* dan menyebabkan kegagalan pada sistem penurunan tegangan.

Pada efisiensi daya yang dihasilkan *synchronous buck converter* disistem PV lebih baik dibandingkan dengan efisiensi daya *non-synchronous buck converter*. Efisiensi daya yang dihasilkan pada *synchronous buck converter* disistem PV ialah mencapai 98.47%, sedangkan efisiensi daya yang dihasilkan pada *non-synchronous buck converter* disistem PV lebih rendah ialah 96.81%. Ini membuktikan bahwa MOSFET dapat mengurangi rugi konduksi pada konverter DC karena rugi daya konduksi MOSFET yang lebih rendah dari rugi daya konduksi dioda.

5. Daftar Notasi

I_{ph}	= Arus hubung singkat
I_s	= Arus <i>reverse saturation</i> dari dioda (A)
Q	= Muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ C), V adalah tegangan dioda (V)
K	= Konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K)
T	= Suhu <i>junction</i> dalam Kelvin (K)
N	= Idealitas dari dioda
R_s	= Tahanan seri dari dioda
R_{sh}	= Tahanan shunt dari dioda
V_{oc}	= <i>Voltage Open Current</i>
V_{in}	= Tegangan masukan
V_{out}	= Tegangan keluaran
F	= Frekuensi
D	= <i>Duty cycle</i>
L	= Induktor

C	= kapasitor
R	= Resistor
VF	= <i>Voltage Forward</i>
ΔI_L	= Riak arus
ΔV_o	= Riak tegangan keluaran
η	= Efisiensi daya
$R_{ds(on)}$	= <i>Resistance Drain Source</i>

Referensi

- [1] D. C. Ratna Saxena, Anmol, "DC-DC Buck-Converter for MPPT of PV System," International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2014.
- [2] S. Nema, R. Nema, G. Agnihotri, "Matlab/simulink based study of photovoltaic cells/modules/array and their experimental verification," International journal of Energy and Environment, Vol. 1, No. 3, 2010.
- [3] A. Babgei, "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) pada Panel Surya Dengan menggunakan metode Fuzzy," Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2012.
- [4] I. Astra, S. Sidopekso, "Studi rancang bangun Solar Charge Controller dengan indikator arus, tegangan dan suhu berbasis mikrokontroler ATMEGA 8535," Universitas Negeri Jakarta. Jakarta. Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya, Vol. 11, No. 21, 2011.
- [5] M. Hasan, Umar, Ir. Dedid Cahya H., "Sistem Charging Baterai Pada Perancangan Mobil Hybrid," Politeknik Negeri Surabaya.
- [6] E. Taddy, V. Lazarescu, "Modeling and simulation of a switch-mode synchronous buck converter," Politehnica University of Bucharest, Bucharest, Romania, 2014.
- [7] A. Darmawansyah, "Analisis Dan Perancangan Integrated Circuit AND OR Invert (AOI) Berteknologi HCMOS (High Speed Complementary Metal Oxide Semiconductor)."
- [8] D. M. Sutedjo, Zaenal Efendi, "Rancang Bangun Modul DC-DC Converter Dengan Pengendali PI," Politeknik Elektronika Negri Surabaya.
- [9] L. Shi, W. Jia, "Mode-Selectable High-Efficiency Low-Quiescent-Current Synchronous buck DC-DC Converter," Xidian Univesity, 2013.
- [10] N. Joseph, "Control and Analysis of Synchronous Rectifier Buck Converter for ZVS in Light Load Condition," Dayananda Sagar Academy of Technology and Management, 2013.
- [11] M. Romadhon, T. Andromeda, M. Facta, "Konverter Arus Searah Ke Arus Searah Tipe Penaik Tegangan Dengan Dan Tanpa Mosfet Sinkronisasi," Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang, 2016.

