

STABILISASI TEGANGAN *PHOTOVOLTAIC* BERBASIS ATMEGA16

Halidariza Fatlana Bakri¹, Ibrahim Nawawi², Bagus Fatkhurrozi³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, Jawa Tengah 56116

e-mail: riza30@gmail.com, ibrahim_nw@untidar.ac.id, bagusf@untidar.ac.id

ABSTRAK

Stabilisasi pada *photovoltaic* digunakan untuk mengoptimalkan kinerja dari panel surya, sehingga saat sel surya tertutup bayangan maka tegangan keluaran akan tetap stabil. Tujuan penelitian ini adalah untuk menstabilkan tegangan keluaran agar tetap stabil pada 12 volt saat *photovoltaic* tertutup setengah bayangan maupun bayangan penuh. Metode yang digunakan adalah *maximum power point tracking* sehingga *duty cycle* yang telah ditentukan akan dibandingkan kembali dengan nilai keluaran agar didapatkan nilai yang lebih maksimal. Rangkaian yang digunakan adalah *buck-boost converter*. *Incremental conductance* adalah metode yang menggunakan tegangan optimal berdasarkan pengukuran, sedangkan *perturb and observe* adalah metode yang mengubah tegangan referensi agar nilai keluaran dapat tercapai sesuai dengan yang telah direncanakan. Pada saat nilai input kurang dari 12 volt maka rangkaian *boost converter* akan aktif dan *buck converter* akan tidak aktif, sehingga nilai input akan dinaikkan sampai didapatkan nilai keluaran sebesar 12 volt. Sebaliknya, jika nilai input yang didapatkan lebih dari 12 volt, maka *buck converter* akan aktif dan *boost converter* akan tidak aktif. Pada kondisi ini nilai input akan dikurangi sampai hasil keluaran sesuai dengan yang telah direncanakan. Hasil pada penelitian ini adalah kestabilan nilai keluaran pada 12 volt dalam beberapa kondisi, yaitu tertutup setengah bayangan atau matahari redup dan tertutup bayangan penuh atau berawan mendung..

Kata kunci - *Photovoltaic*, *buck converter*, *boost converter*, PWM, induktor, *duty cycle*

ABSTRACT

Stabilization in photovoltaics is used to streamline the performance of solar panels so that when the solar cells are covered in shadows, the output voltage will remain stable. This study aims to stabilize the output voltage so that it remains stable at 12 volts when the photovoltaic is closed in half shadow or full shadow. The methods used are maximum power point tracking so that the specified duty cycle will be compared again with the output value to obtain a maximum value. The circuit used is a buck-boost converter. Incremental conductance is a method that uses the optimal voltage based on measurements. At the same time, perturb and observation is a method that changes the reference voltage to achieve the output value as planned. When the input value is less than 12 volts, the boost converter circuit will be active and the buck converter will not be active, so the input value will be increased until an output value of 12 volts is obtained. On the other hand, if the input value is more than 12 volts, the buck converter will be active and the boost converter will be inactive. In this condition, the input value will be reduced until the output is as planned. The results of this study are the stability of the output value at 12 volts in several conditions, namely half-shadowed or dim sun and full-shadowed or cloudy.

Keywords - *Photovoltaic*, *buck converter*, *boost converter*, PWM, inductor, *duty cycle*.

PENDAHULUAN

Photovoltaic atau sel surya adalah sebuah alat elektronik yang digunakan untuk mengubah energi dari panas matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* dapat dimanfaatkan sebagai sumber kelistrikan pada suatu alat seperti lampu, pengisian daya pada aki, dan lain sebagainya. Namun, nilai

keluaran yang dihasilkan oleh sel surya dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi pada waktu tertentu. Daya yang berubah-ubah tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada penggunaan alat yang memakai sel surya sebagai sumber energinya. MPPT atau *Maximum Power Point Tracking* adalah sebuah alat elektronik yang memiliki

fungsi untuk menjaga daya keluaran pada titik maksimal pada sumber energi yang berubah-ubah terhadap waktu karena pengaruh beban dan intensitas dari cahaya matahari.

Prinsip kerja dari MPPT sendiri adalah dengan mengubah titik operasi dari nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya dengan cara menaikkan dan menurunkan tegangan agar bekerja pada titik maksimum, sistem MPPT memungkinkan kondisi yang dihasilkan dapat dilacak pada daya maksimumnya pada waktu tertentu, maka dari itu sistem dari *buck-boost converter* digunakan sebagai pengatur untuk daya yang dihasilkan pada sel surya. *Buck-boost converter* berfungsi sebagai pengatur daya agar sel surya dapat bekerja pada titik daya maksimum yang nantinya akan didapatkan keluaran sesuai yang diinginkan. Pada penelitian kali ini, keluaran yang akan dirancang adalah sebesar 12 volt dc.

Pada penelitian yang akan dilakukan kali ini membahas tentang *buck-boost converter* untuk pencapaian MPPT pada photovoltaic. Penelitian kali ini menggunakan metode *peturb and observe* dan *incremental conductance* dimana metode tersebut bekerja berdasarkan gangguan pada tegangan PV dengan memvariasikan nilai *duty cycle*. Penelitian ini juga menggunakan rangkaian digital dengan mikrokontroler berupa ATmega16 sebagai pengatur nilai *duty cycle* sehingga pada sistem tersebut dapat terkontrol dengan baik serta dapat meminimalkan kemungkinan kerugian yang muncul.

ANALISIS PEMECAHAN MASALAH

Pulse Width Modulation (PWM)

PWM adalah suatu cara yang digunakan untuk memanipulasi lebar pulsa dalam suatu periode. Perbedaan antara nilai tegangan rata-rata yang dihasilkan dapat kita atur dengan cara mengubah lebar pulsa tersebut. Jika suatu lebar pulsa *high* lebih tinggi, maka nilai tegangan rata-rata yang didapatkan juga akan lebih tinggi begitupun sebaliknya. Lebar pulsa dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1.

$$T = t_{on} + t_{off} \dots\dots\dots(2.1)$$

Sedangkan untuk mengatur nilai dari *duty cycle* dapat kita gunakan persamaan 2.2.

$$Duty\ Cycle = \frac{t_{on}}{T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

t_{on} = lamanya lebar pulsa *high* (detik)

t_{off} = lamanya lebar pulsa *low* (detik)

T = periode pulsa (detik)

TIMER

Pada ATmega 16 terdapat banyak fitur, salah satunya adalah TIMER yang berfungsi terhadap waktu. TIMER juga dapat digunakan untuk mengatur PWM. Prinsip kerja TIMER adalah dengan membagi frekuensi pada *clock* mikrokontroler sehingga dapat bekerja sesuai frekuensi yang digunakan. Pada mikrokontroler ATmega16 terdapat 3 buah TIMER, yaitu TIMER 0, TIMER 1, dan TIMER 2.

Pada TIMER mikrokontroler ATmega 16 terdapat beberapa mode yang dapat digunakan, yaitu normal PWM, *fast PWM*, dan *phase correct PWM*. Dalam mode normal, TIMER akan disetel dalam siklus *clock* yang sama dengan TCNT. Sedangkan unit pembanding keluaran dapat digunakan untuk menghasilkan interupsi pada waktu tertentu.

Dalam mode *fast* PWM dapat mengatur pembangkitan gelombang PWM yang bekerja pada frekuensi tinggi. Pada *fast* PWM, *counter* menghitung dari *BOTTOM* ke maksimal kemudian kembali lagi pada kondisi *BOTTOM*. Frekuensi pada mode *fast* PWM dapat dua kali lebih dari mode *phase correct* PWM. Sehingga dalam mode tersebut cocok untuk diaplikasikan sebagai pengaturan daya, rektifikasi, dan DAC.

Phase correct PWM dapat beroperasi sebagai pembangkitan gelombang dengan resolusi tinggi. *Counter* pada mode ini menghitung secara berulang dari posisi *BOTTOM* ke maksimal dan kemudian menghitung dari posisi maksimal ke *BOTTOM*. Nilai dari TCNT akan sama dengan nilai maksimal untuk satu siklus.

Pada TIMER juga terdapat beberapa pengaturan, yaitu TCNT, TCCR, TIMSK, TIFR, dan OC. TCNT merupakan register pencacah yang mencacah nilai dari 0 sampai nilai maksimum yang kita tentukan. Nilai maksimum dapat berbeda sesuai dengan pengaturan bit TIMER dan nilai *prescaler* yang kita gunakan. TCCR digunakan sebagai pengatur mode operasi pada TIMER. TIMSK digunakan untuk memilih TIMER yang akan diaktifkan. TIFR digunakan untuk mengetahui adanya *interrupt* akibat dari operasi TIMER. Sedangkan OC adalah *output compare* yang digunakan untuk menyimpan nilai pembanding dengan nilai register TCNT.

Untuk nilai frekuensi keluaran dapat berbeda sesuai dengan pengaturan pada TIMER yang digunakan. Untuk TIMER 8 bit, nilai frekuensi keluaran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F = \frac{F_{clk}}{N.256} \dots \dots \dots (2.3)$$

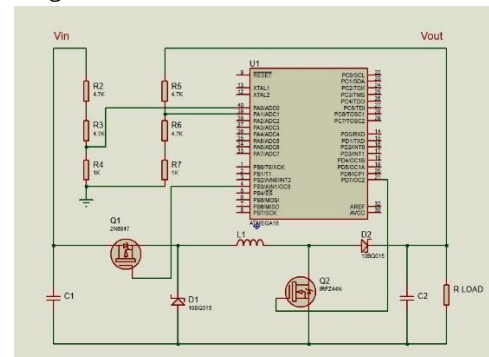
Sedangkan untuk TIMER 16 bit dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$F = \frac{F_{clk}}{N.65536} \dots \dots \dots (2.4)$$

F adalah frekuensi keluaran, *Fclk* adalah frekuensi *clock* yang digunakan, sedangkan N adalah nilai dari *prescaler*. Pengaturan untuk setiap TIMER dapat berbeda sesuai dengan *datasheet* dari IC yang digunakan.

DC-DC Converter

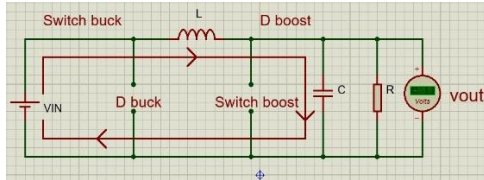
Rangkaian *buck-boost converter* yang berfungsi untuk mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran DC yang lebih tinggi ataupun tegangan dc yang lebih rendah sesuai dengan kebutuhan yang digunakan. Gambar 2.1 menunjukkan rangkaian dari *buck-boost converter*.



Gambar 2. 1 Rangkaian Buck-boost Converter

Komponen utama yang berperan penting dalam sistem kerja *buck-boost converter* adalah MOSFET. Pada rangkaian *buck-boost converter*, MOSFET berfungsi sebagai sakelar yang dapat membuka dan menutup rangkaian sehingga arus dapat dikendalikan dengan mengatur *duty cycle* sesuai yang diinginkan. Pada mode *buck-boost*, masing-masing *switch* akan mendapatkan sinyal *switching* dari PWM1 dan PWM2. Mengacu pada Gambar 2.1 rangkaian memiliki 3 mode pengoperasian, antara lain mode *buck*, *boost*, dan *buck-boost*.

Terdapat dua analisis rangkaian pada mode *buck* yaitu sakelar tertutup dan terbuka. Pada saat sakelar tertutup *switch buck* pada kondisi tertutup, diode pada *buck* akan bekerja *reverse* bias dan diode *boost* akan *forward* bias sehingga arus akan mengisi induktor. Gambar 2.2 menunjukkan analisa ketika sakelar tertutup.

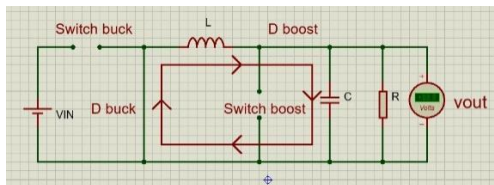


Gambar 2. 2 Analisa sakelar tertutup mode
buck

Pada kondisi sakelar terbuka yaitu *switch buck* pada kondisi *open* sedangkan diode *boost* bekerja sebagai *forward* bias. Arus pada induktor akan menyuplai ke beban. Pada kondisi ini maka didapatkan persamaan 2.5

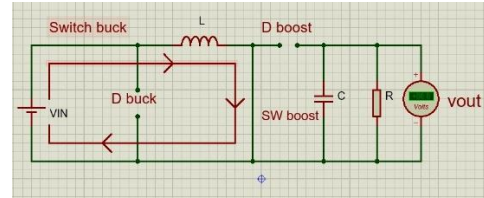
$$V_{out} = V_{in} \cdot D \dots \dots \dots (2.5)$$

Gambar 2.3 menunjukkan analisis pada saat sakelar terbuka



Gambar 2. 3 Analisa sakelar terbuka mode
buck

Sedangkan pada mode *boost* terdapat dua analisis rangkaian yaitu kondisi sakelar tertutup dan terbuka. Pada kondisi sakelar tertutup, *switch boost* pada kondisi tertutup, sedangkan diode *buck* dan diode *boost* bekerja pada kondisi *reverse* bias sehingga induktor akan terisi. Gambar 2.4 menunjukkan analisis pada saat sakelar tertutup.



Gambar 2. 4 Analisa sakelar tertutup mode
boost

Pada kondisi sakelar terbuka *switch* pada *boost* akan *open* sehingga diode *buck* akan bekerja pada kondisi *reverse* bias dan diode *boost* pada kondisi *forward* bias. Pada kondisi ini arus induktor dan V_{in} akan menyuplai ke beban sehingga didapatkan persamaan 2.6.

$$V_{out} = \left(\frac{1}{1-D} \right) \cdot V_{in} \dots \dots \dots (2.6)$$

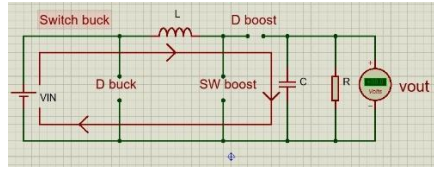
Mode *buck-boost* memiliki kondisi dimana kedua *switch* mendapatkan sinyal PWM. Analisis pada mode *buck-boost* memiliki dua kondisi yaitu sakelar terbuka dan sakelar tertutup. Saat kondisi sakelar tertutup *switch buck* dan *boost* dalam kondisi tertutup. Pada kondisi tersebut diode *buck* bekerja sebagai *reverse* bias sehingga induktor akan terisi hingga maksimum. Persamaan 2.7 menunjukkan analisa saat kondisi sakelar tertutup.

$$V_{in} = V_L$$

$$V_{in} = L \frac{di}{dt}$$

$$V_{in} = L \cdot \frac{di}{T_{on}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Analisis mode *buck-boost* saat sakelar terbuka kedua *switch* dalam keadaan terbuka sehingga kedua diode bekerja *forward* bias dan arus pada induktor akan menyuplai ke beban. Gambar 2.5 menunjukkan analisis rangkaian pada saat sakelar terbuka.



Gambar 2. 5 Analisa sakelar terbuka mode
boost

Persamaan 2.8 menunjukkan penurunan persamaan pada kondisi sakelar terbuka.

$$V_{out} = VL$$

$$V_{out} = L \frac{di}{dt}$$

$$V_{out} = L \cdot \frac{di}{T_{off}}$$

$$L di = V_{out} \cdot T_{off} \dots \dots \dots (2.8)$$

Sehingga didapatkan persamaan tegangan keluaran sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{(V_{in} \cdot D)}{(1-D)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Induktor

Untuk menghitung jumlah lilitan pada induktor pertama-tama kita harus mengetahui bahwa akumulasi medan listrik (B) pada luas area tertentu (A) dapat dikenal sebagai *flux*. Besarnya nilai *flux* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Phi = B \cdot A \dots \dots \dots (2.11)$$

Untuk mencari nilai B dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot ni \dots \dots \dots (2.12)$$

μ adalah permeabilitas suatu bahan dan μ_0 adalah permeabilitas udara yaitu $2\pi \cdot 10^{-7}$. Sedangkan n adalah jumlah lilitan (N) relatif terhadap panjang induktor. Persamaan 2.13 menunjukkan persamaan matematis n.

$$n = \frac{N}{\ell} \dots \dots \dots (2.13)$$

Secara matematis, nilai induktansi dalam suatu induktor dengan jumlah lilitan sebanyak N merupakan perbandingan antara

flux magnet dengan arus yang melewati suatu induktor. Dalam hal tersebut maka didapatkan persamaan matematis sebagai berikut:

$$L = \frac{N\Phi}{i} \dots \dots \dots (2.14)$$

Jika rumus-rumus pada induktor diatas disubsitusikan, maka akan didapatkan persamaan 2.15.

$$L = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot N^2 \cdot A}{\ell} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

- L = nilai induktansi
- μ = permeabilitas suatu bahan
- μ_0 = permeabilitas udara
- N = jumlah lilitan
- A = luas penampang
- ℓ = panjang induktor

MPPT

MPPT merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mendapatkan titik puncak maksimal yang didapatkan dari daya *output* pada sel surya. MPPT dapat mendeteksi arus dan tegangan *output* pada sel surya dan membandingkannya dengan waktu sebelumnya agar dapat meningkatkan efisiensi dari sel surya. MPPT dapat mengubah nilai arus dan tegangan agar dapat bekerja pada titik maksimal dari sebuah sel surya. MPPT dapat melacak daya maksimum yang didapatkan pada waktu dan saat tertentu.

Sistem MPP dapat dicari menggunakan metode *Incremental conductance* yang bekerja berdasarkan *gradient* kurva P-V dari sel surya. Pelacakan dari MPP dapat dicari dengan melakukan perbandingan pada perubahan tegangan pada waktu sebelumnya.

$$\frac{dp}{dv} = \frac{d(V \cdot I)}{dv} = I \frac{dv}{dv} + V \frac{dI}{dv}$$

$$= I + V \frac{dI}{dV}$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \dots\dots\dots(2.16)$$

Nilai dari MPP dapat dicapai jika :

$$\frac{dP}{dV} = 0 \dots\dots\dots(2.17)$$

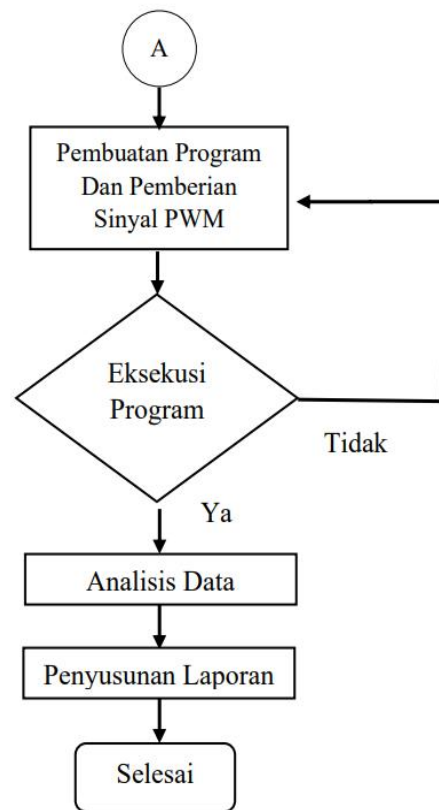
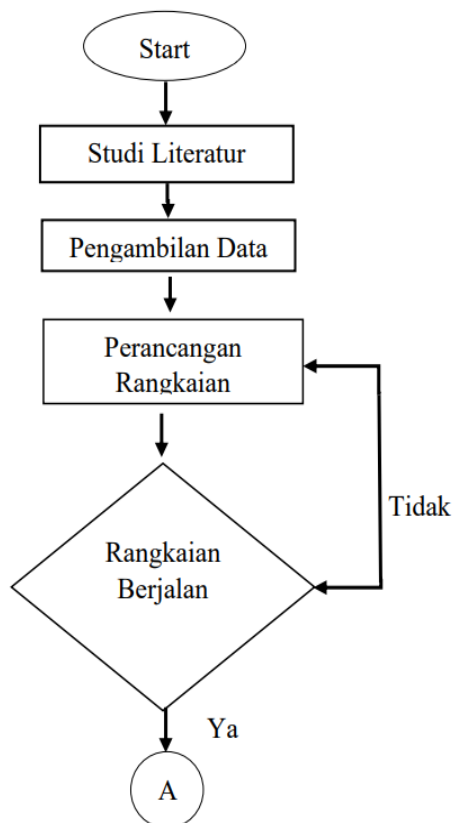
METODE

Penelitian ini berfokus pada nilai keluaran dari *buck-boost converter* serta metode *maximum power point tracking* untuk membandingkan tegangan keluaran pada *photovoltaic*.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Universitas Tidar, Magelang, Jawa Tengah.

Diagram Alur Kerja Sistem

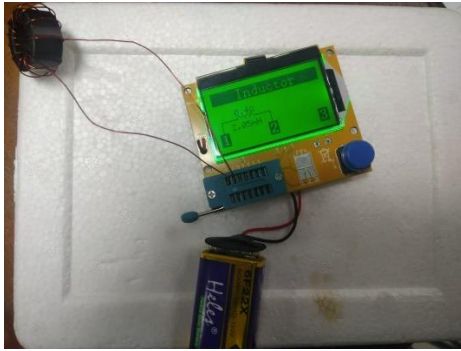


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

• Pengujian Nilai Induktor

Pengujian nilai induktor bertujuan untuk mengetahui apakah nilai induktor yang dibuat telah sama dengan nilai induktor yang direncanakan. Pada pengujian ini nilai induktor diukur menggunakan LCR ESR meter. Kedua ujung induktor dimasukkan kedalam *probe* ESR METER, kemudian tekan tuas kebawah untuk menjepit ujung kawat tersebut. Untuk induktor yang telah diperhitungkan sebesar 2 uH, sedangkan untuk hasil pengukuran didapatkan nilai induktor sebesar 2,05 uH. Sehingga untuk hasil didapatkan nilai *error* sebesar 2,5%. Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengukuran nilai induktor.



Gambar 4. 1 Menunjukkan Hasil
Pengukuran Nilai Induktor

- Pengaturan PWM dan Pengujian
Pengaturan PWM menggunakan
TIMER 0 dengan OCR0 sebagai pengatur
duty cycle pada MOSFET *buck converter* dan
TIMER 2 dengan OCR2 sebagai pengatur
duty cycle pada MOSFET *boost converter*,
seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1 dan
4.2.

Tabel 4. 1 Pengaturan TIMER pada TCCR0

FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00
-	1	1	1	1	-	-	1

Tabel 4. 2 Pengaturan TIMER pada TCCR2

FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20
-	1	1	1	1	-	-	1

COM dan COM digunakan untuk mengatur OCR sebagai *compare match* pada mode *fast PWM*. *Compare match* adalah perbandingan antara nilai TIMER dengan nilai tertentu yang telah didefinisikan pada register, sedangkan register yang berfungsi untuk mencacah nilai 0 sampai 255 adalah register TCNT. WGM digunakan untuk mengatur mode *fast PWM* pada posisi *bottom*. TIMER mencacah dari nilai 255 (0xFF) sampai ke 0 (0x00) lalu kembali lagi ke 255. Sedangkan pada TCCR0 dan TCCR2 kita *setting* menggunakan *prescaler* 1 sehingga pada CS00 dan CS20 diberikan

nilai 1 pada pengaturannya. Mengacu pada persamaan 2.7, maka dapat dihitung frekuensi PWM yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

$$F = \frac{16000000}{1 \times 256} = 62,745 \text{ kHz}$$

- Pengujian Sinyal PWM

PWM diatur menggunakan *timer* pada mikrokontroler. *Timer* diatur dengan mengatur *register* pada mode *fast PWM*. *Prescaler* yang digunakan adalah *no prescaling* dengan mengatur CS00 dan CS20 sesuai dengan *datasheet* pada ATmega16. OCR digunakan sebagai keluaran pada *timer*, keluaran tersebut akan digunakan sebagai pengatur lebar pulsa pada MOSFET.

Pada pengujian sinyal PWM dilakukan dengan menggunakan osiloskop Regols seri DS 1054 untuk mengetahui nilai frekuensi yang digunakan apakah telah sesuai dengan apa yang direncanakan, serta untuk mengetahui bentuk gelombang dari sinyal PWM tersebut. Frekuensi yang digunakan adalah 62 kHz, sehingga didapatkan hasil seperti yang terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Bentuk Gelombang Sinyal
PWM

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa frekuensi *switching* telah sesuai dengan perencanaan, yaitu sebesar 62 kHz dengan *duty cycle* pada *boost converter* sebesar 100%. CH2 menunjukkan bentuk gelombang

pada *boost converter* dan CH1 menunjukkan bentuk gelombang pada *buck converter*.

- Pengujian Rangkaian *Buck Converter*
Pengujian rangkaian *buck converter* bertujuan untuk mengamati hasil keluaran serta bentuk gelombang pada *buck converter*. Dengan mengatur OCR pada *timer*, maka lebar pulsa dapat diatur agar tegangan keluaran sesuai dengan yang direncanakan. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan input melebihi dari yang ditentukan yaitu sebesar 15 volt atau lebih dari 7 volt. Osiloskop seri DS 1054 digunakan untuk melihat hasil gelombang dari MOSFET *buck converter*. Hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Respon Gelombang Keluaran
Buck Converter

Pada Gambar 4.3 didapatkan bahwa saat tegangan keluaran melebihi 12 volt dan *duty cycle* melebihi 0,64 maka rangkaian *buck converter* akan *on* dan *boost converter* akan *off*. Sedangkan OCR0 akan mengurangi nilai *duty cycle*, sehingga frekuensi *switching* akan dikurangi dan tegangan akan menurun. CH1 menunjukkan respon gelombang pada *buck converter* sedangkan CH2 menunjukkan respon gelombang pada *boost converter*. Tabel 4.3 menunjukkan respon keluaran dari *buck converter*.

Tabel 4. 3 Respon Keluaran *Buck Converter*

INPUT	OUTPUT
12,00 volt	11,56 volt
12,51 volt	11,11 volt
13,8 volt	11,94 volt
16,41 volt	11,93 volt

- Pengujian *Boost Converter*
Pengujian *boost converter* bertujuan untuk mengetahui hasil keluaran pada saat rangkaian *boost converter* aktif. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan input kurang dari tegangan maksimal. Tabel 4.4 menunjukkan respon tegangan keluaran *boost converter*.

Tabel 4. 4 Respon Keluaran *Boost Converter*

INPUT	OUTPUT
6,49 volt	11,59 volt
7,21 volt	12,27 volt
7,56 volt	12,34 volt
7,89 volt	12,41 volt
8,38 volt	12,68 volt

Pada saat nilai input kurang dari 12 volt, maka *boost converter* akan aktif, nilai PWM akan bertambah secara teratur sampai maksimal *duty cycle* sehingga nilai keluaran akan bertambah hingga mencapai tegangan yang telah ditentukan yaitu sebesar 12 volt.

- Pengujian *Buck-Boost Converter*
Pada tahap ini pengujian dilakukan dengan memberikan input secara acak yaitu kurang dari 12 volt maupun lebih dari 12 volt. Saat tegangan input melebihi 12 volt, maka rangkaian *buck converter* akan aktif. Nilai PWM pada *buck converter* akan berkurang, sehingga keluaran yang tadinya melebihi 12 volt akan diturunkan menjadi 12 volt sesuai dengan yang direncanakan. Sedangkan pada *boost converter* akan tetap aktif, namun nilai

PWM pada MOSFET *boost* akan tetap diturunkan.

Sebaliknya, pada saat diberikan tegangan kurang dari 12 volt maka *boost converter* akan aktif sehingga tegangan keluaran akan naik mencapai 12 volt. Sedangkan pada *buck converter* akan tetap aktif, namun PWM pada MOSFET *buck* bernilai 0 sehingga *buck converter* akan tetap mengalirkan tegangan menuju MOSFET *boost*. Sehingga pada percobaan *buck-boost converter* tegangan yang akan dihasilkan tetap pada 12 volt sesuai dengan yang direncanakan. Tabel 4.3 menunjukkan respon keluaran dari *buck-boost converter*.

- Pengujian Keluaran *Photovoltaic*

Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa faktor yang memengaruhi penurunan maupun kenaikan tegangan pada *photovoltaic*. Beberapa faktor tersebut antara lain yaitu *photovoltaic* tersinari secara penuh, kondisi matahari terik atau redup, suhu pada *photovoltaic*, serta kondisi pada permukaan *photovoltaic*. Pengujian dilakukan di area terbuka dengan melihat tegangan keluaran pada *photovoltaic*. Tabel 4.5 menunjukkan tegangan keluaran pada *photovoltaic*.

Tabel 4. 5 Tegangan Keluaran Pada *Photovoltaic*.

Kondisi bayangan	Permukaan <i>photovoltaic</i>	Suhu °C	Output
Matahari cerah	Bersih	30	20,98 volt
Matahari cerah	Bersih	33	20,53 volt
Matahari cerah	Kotor	29	18,50 volt
Matahari redup	Bersih	35	18,24 volt

Matahari redup	Bersih	22	5,5 volt
Tertutup bayangan	Bersih	33	19,42 volt

- Pengujian saat Tertutup Setengah Bayangan dan Bayangan Penuh

Pengujian dilakukan pada saat kondisi matahari tertutup setengah bayangan dan matahari redup, hasil yang didapatkan adalah nilai input sebesar 17,09 volt. Pada kondisi ini rangkaian pada *buck converter* akan aktif, sehingga nilai keluaran akan diturunkan. Lebar pulsa dari *duty cycle* akan dikurangi sehingga tegangan pada VGS akan turun. Ketika nilai VGS turun, maka arus dan tegangan berkurang. Nilai keluaran yang didapatkan pada pengujian ini adalah sebesar 11,94 volt. Tegangan keluaran yang didapatkan pada kondisi tersebut dinyatakan telah sesuai dengan yang telah direncanakan.

Pengujian selanjutnya dilakukan pada saat kondisi matahari tidak tertutup bayangan dan matahari terik, pada kondisi ini nilai input yang didapatkan adalah 21,40 volt. Saat tegangan keluaran melebihi dari yang direncanakan maka *buck converter* akan aktif. Lebar pulsa pada rangkaian *buck converter* akan diturunkan, sehingga nilai VGS akan berkurang dan tegangan keluaran akan turun sebanding dengan turunnya nilai VGS. Nilai keluaran yang didapatkan pada kondisi cerah atau tidak tertutup bayangan adalah sebesar 11,94 volt. Tegangan keluaran yang didapatkan pada kondisi tersebut sudah memenuhi dengan yang telah direncanakan.

Pengujian ketiga dilakukan pada saat tertutup bayangan penuh atau saat matahari tertutup oleh awan mendung, nilai input yang

dihasilkan adalah sebesar 6,49 volt. Dari nilai input tersebut, maka rangkaian *boost converter* akan aktif dan tegangan akan dinaikkan. Lebar pulsa akan bertambah sehingga tegangan VGS akan naik. Pada saat nilai VGS naik, maka tegangan keluaran juga akan bertambah hingga mencapai nilai yang telah direncanakan. Pada kondisi tersebut nilai keluaran yang didapatkan adalah sebesar 12,34 volt. Berdasarkan nilai keluaran yang telah didapatkan, maka dinyatakan pada kondisi tersebut telah sesuai dengan yang telah direncanakan. Tabel 4.6 menunjukkan kondisi pada saat tersinari secara penuh dan tertutup bayangan.

Tabel 4. 6 Kondisi Pada Saat Tersinari Secara Penuh dan Tertutup Bayangan

Matahari	Bayangan	Permukaan	Input	Output	Tanggal	Waktu
Terik	Tersinari penuh	Bersih	17,39 volt	11,94 volt	21 Juni 2022	16.49
Redup	Tersinari penuh	Kotor	17,61 volt	11,93 volt	22 Juni 2022	06.20
Terik	Tersinari penuh	Bersih	21,40 volt	11,94 volt	22 Juni 2022	14.24
Terik	Tertutup setengah bayangan	Bersih	20,90 volt	11,94 volt	22 Juni 2022	15.28
Redup	Tertutup penuh	Bersih	18,39 volt	11,94 volt	22 Juni 2022	16.37
Redup	Tertutup setengah bayangan	Bersih	17,09 volt	11,94 volt	22 Juni 2022	16.40
Redup	Tersinari penuh	Bersih	14,42 volt	11,94 volt	23 Juni 2022	06.14
Terik	Tersinari penuh	Bersih	18,49 volt	12,31 volt	23 Juni 2022	06.56
Terik	Tersinari penuh	Bersih	20,73 volt	12,45 volt	23 Juni 2022	08.41
Terik	Tertutup setengah bayangan	Bersih	19,34 volt	12,30 volt	23 Juni 2022	08.42
Terik	Tersinari penuh	Bersih	19,92 volt	12,21 volt	23 Juni 2022	15.30
Terik	Tersinari penuh	Bersih	19,56 volt	12,22 volt	23 Juni 2022	15.57
Redup	Tersinari penuh	Bersih	17,83 volt	12,08 volt	23 Juni 2022	16.31
Terik	Tersinari penuh	Bersih	21,05 volt	12,40 volt	16 Juni 2022	15.29
Terik	Tertutup setengah bayangan	Bersih	17,80 volt	12,08 volt	16 Juni 2022	16.08



Gambar 4. 4 Kondisi Tertutup Setengah Bayangan Atau Matahari Redup

- Perbandingan Pengujian di Laboratorium dan di Lapangan

Pada saat matahari terik tegangan keluaran akan berubah secara acak. Mengacu pada Tabel 4.3 keluaran *photovoltaic* pada saat matahari terik dapat lebih rendah dari pada saat matahari redup. Keluaran *photovoltaic* tersebut dipengaruhi oleh bahan pembuatan *photovoltaic* yang menggunakan tipe *polycrystalline* dimana pada suhu tinggi kinerja akan menurun. Keluaran tersebut akan distabilkan oleh *buck-boost converter* dimana keluaran *photovoltaic* mencapai 17,39 volt dan akan distabilkan menjadi 11,94 volt. Perbandingan antara pengujian alat saat berada di laboratorium dengan pengujian dilapangan telah sesuai, saat nilai keluaran melebihi 12 volt maka akan diturunkan menjadi 12 volt menggunakan rangkaian *buck converter*, sedangkan saat nilai keluaran kurang dari 12 volt maka akan dinaikkan menjadi 12 volt oleh rangkaian *boost converter*. Mengacu pada perbandingan pengujian saat di laboratorium dan di lapangan, maka disimpulkan bahwa rangkaian *buck-boost converter* dapat berjalan dengan baik.

SIMPULAN

Pada pengujian *buck-boost converter* didapatkan tegangan minimum yang digunakan adalah sebesar 7 volt, sedangkan tegangan maksimumnya adalah sebesar 24 volt. Pada penelitian ini tegangan keluaran diatur menggunakan PWM dengan *duty cycle* sebagai pengatur nilai PWM tersebut. Untuk

pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan input kurang atau lebih dari tegangan yang diinginkan, yaitu sebesar 12 volt. Sehingga pada saat digunakan dan ketika kondisi dari matahari berubah yaitu tertutup setengah bayangan ataupun tertutup penuh, maka tegangan input kurang dari 12 volt, maka MPPT akan menstabilkan tegangan tersebut menjadi 12 volt.

Pada saat kondisi matahari terik, masukan dari MPPT dapat mencapai 17 volt, saat masukan lebih dari yang digunakan maka MPPT akan menstabilkan lagi menjadi 12 volt. Sehingga keluaran yang dihasilkan akan tetap stabil pada 12 volt. Tingkat akurasi alat pada penelitian ini didapatkan dari hasil tabel pengukuran dapat dinyatakan bahwa tingkat akurasi pada MPPT tersebut sudah memenuhi seperti yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agil Yani, Y., I. (2017). Rancang Bangun Buck-Boost Converter Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Surabaya. Program Studi Teknik Elektronika Industri Institut Teknologi Surabaya
- Fanani, A. Z., M. Ashari, T. Yuwono. (2014). Desain dan Simulasi Konverter Boost Multilevel sebagai Catu Daya Kendaraan Listrik. *JURNAL TEKNIK POMITS*. Vol. 3, No. 1
- Fathurrochman, A., A. Najmurokhman, Kusnandar. (2015). Perancangan Boost Converter Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.
- Hsieh, G.-C., Hsieh, H.-I., Tsai, C.-Y. & Wang, C.-H., 2013. Photovoltaic Power-Increment-Aided Incremental-Conductance MPPT With Two-Phased Tracking. *IEEE Transactions On Power Electronics*, 28(6), pp. 2895-2911.
- Juniyanto, D., T. Andrasto, Suryono. (2018). Optimalisasi Stand-Alone Photovoltaic System dengan Implementasi Algoritma P&O-Fuzzy MPPT. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 10, No. 1
- Sias, A. (2017). Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (MPPT) Menggunakan Algoritma Free Search Krill Herd (FSKH) Pada Sistem Pompa Air Tenaga Matahari. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Sutedjo, Z. Efendi, D. Mursyida. (2010). Rancang Bangun Modul DC-DC Converter Dengan Pengendali PI.
- Suwitno, Y. Rahayu, R. Amri, E. Hamdani. (2017). Perancangan Konverter DC ke DC untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell Menggunakan Teknologi Boost Converter. *Journal of Electical Technology*. Vol. 2, No. 3
- Widyantoro, P. (2018). Perancangan Sistem MPPT Dengan Metode Incremental Conductance Untuk Sel Surya Pada Kondisi Normal dan Tertutup Bayangan. *Tugas Akhir*. Proram Studi Teknik Elektro Universitas Budi Luhur, Jakarta.
- Winarno, I. dan L. Natasari. (2017). Maximum Power Point Tracking (MPPT) Berdasarkan Metode Perturb And Observe Dengan Sistem Tracking Panel Surya Single Axis