

# Simulasi Sistem Pengisi Baterai Berbasis Lereng Daya dan Lereng Tegangan Pada Panel Surya Berbasis DC-DC Converter Tipe Buck-Boost Untuk Aplikasi PJU Energi Bersih dan Terbarukan

Dimas Arifiyan, Lidya Gita Ronaully, Leonardus Heru Pratomo

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang  
dimas\_arifiyan@yahoo.com

## Abstrak

Pada PJU (Penerangan Jalan Umum) panel surya digunakan untuk mengisi baterai. Keluaran daya pada panel surya tidak bisa maksimal secara terus menerus apabila tidak diberi DC-DC converter. Untuk mendapatkan daya maksimal secara terus menerus maka diperlukan suatu sistem DC-DC converter. DC-DC converter yang digunakan di PJU pada umumnya menggunakan manual PWM (Pulse Width Modulation) sebagai kontrolnya. Kontrol manual PWM menghasilkan daya yang kurang maksimal bila dibandingkan dengan kontrol automatic MPPT. Maka dari itu untuk aplikasi pada PJU sebaiknya digunakan kontrol automatic MPPT, namun saat ini pada PJU seringkali digunakan kontrol manual PWM. Untuk merancang simulasi kontrol automatic MPPT harus mengikuti kurva karakteristik panel surya itu sendiri. Pada paper ini dikaji suatu simulasi sistem teknik kendali yang memaksimalkan keluaran daya panel surya, dengan memanfaatkan pertemuan lereng daya dan lereng tegangan dari keluaran panel surya untuk mengisi baterai, dan pada akhirnya daya akan diteruskan ke inverter serta ke beban PJU. DC-DC converter yang digunakan dalam simulasi ini adalah tipe buck-boost converter. Daya yang dihasilkan oleh sistem ini selalu maksimal dan tegangan keluaran mengunci di tegangan baterai.

Kata Kunci: buck-boost converter, charge controller, photovoltaic.

## 1. Pendahuluan

Meningkatnya kebutuhan listrik dalam kehidupan manusia mendorong setiap orang mengembangkan energi terbarukan untuk menggantikan energi fosil, salah satunya adalah tenaga surya. Sekarang ini, mulai banyak negara yang sudah mengembangkan dan memanfaatkan tenaga surya untuk memenuhi kebutuhan listriknya, salah satunya adalah Indonesia. (Pltag, 2013)

Secara astronomis Indonesia terletak pada 6° LU - 11°LS dan 95° BT - 145° BT, ini menunjukkan bahwa Indonesia berada di kawasan tropis yang memiliki intensitas cahaya matahari yang tinggi. Oleh karena itu, Indonesia memiliki prospek yang tinggi untuk memanfaatkan tenaga surya. Tenaga surya dapat dimanfaatkan di berbagai sistem kelistrikan. Satu contoh dari banyak pengaplikasiannya yaitu pada sistem PJU (Penerangan Jalan Umum). (Elektro *et al.*, 1991)

PJU merupakan kebutuhan penting masyarakat di berbagai daerah. Karena dibutuhkan masyarakat luas maka PJU sebaiknya memiliki sumber energi mandiri, karena penyebaran listrik di Indonesia masih belum merata.

Sumber energi dari sistem PJU harus memiliki daya yang maksimal. Komponen utama pada sistem PJU adalah panel surya. Panel surya itu sendiri, memiliki kurva karakteristik daya yang

khusus yaitu semakin tinggi daya yang dihasilkan maka tegangan yang dihasilkan pun semakin meningkat dan akan mencapai titik puncaknya. Karakteristik ini juga memiliki kelemahan apabila tegangan yang dihasilkan sudah mencapai titik puncaknya, maka keluaran daya dan tegangan pada panel surya akan mengalami penurunan yang sangat signifikan. Hal ini akan sangat mengganggu dalam sistem PJU. Untuk memaksimalkan kinerja sistem PJU biasanya dipasaran masih menggunakan kontrol *manual PWM (Pulse Width Modulation)* sebagai alat untuk memaksimalkan keluaran daya dari panel surya. Namun pada *paper* ini akan digunakan sebuah kontrol *MPPT (Maximum Powerpoint Tracker) full automatic* untuk mendapatkan daya maksimal pada panel surya secara terus menerus. (Setiono and Pratomo, 2011)

*MPPT* adalah sebuah sistem *DC-DC converter* yang terkontrol. *MPPT* bisa mengendalikan keluaran daya panel surya. Keluaran dayanya dikendalikan dengan mendeteksi lereng daya dan lereng tegangan. Dari titik temu kedua lereng ini didapatkan nilai daya maksimal.

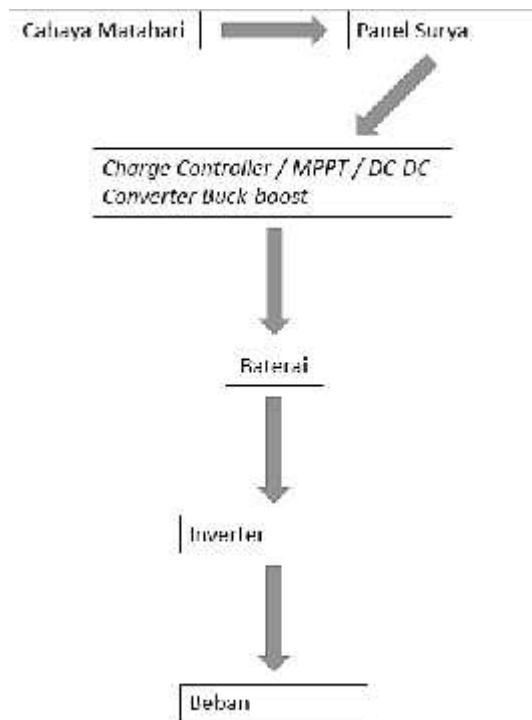
*MPPT* yang tersebar di pasaran memiliki banyak jenis. Jenis yang digunakan pada *paper* ini memiliki jenis *buck-boost converter*. Dengan

menggunakan kontrol *MPPT* tipe *buck-boost* ini diharapkan pengisian baterai pada PJU bisa berlangsung cepat, sehingga fungsi PJU bisa dimanfaatkan secara maksimal.

## 2. Metode Penelitian

Pengambilan data dari Sistem Pengisi Baterai Berbasis Lereng Daya dan Lereng Tegangan Pada Panel Surya Berbasis *DC-DC Converter Tipe Buck-Boost* akan didapatkan melalui hasil kuantitatif dari 2 simulasi rangkaian daya inverter menggunakan software PSIM.

Pada dasarnya, sistem cara kerja dari PJU (Penerangan Jalan Umum) ini dapat dilihat pada diagram blok di Gambar 1.



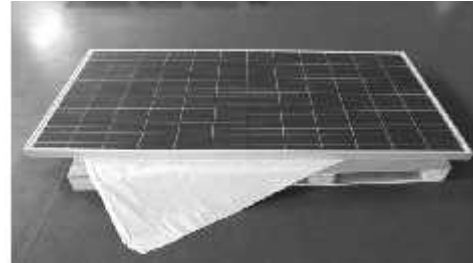
Gambar 1. Diagram Blok Keseluruhan sistem Penerangan Jalan Umum

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa keluaran daya dari panel surya tidak bisa langsung digunakan untuk memberi energi ke beban. Keluaran daya dari panel surya harus diproses melalui *MPPT* tipe *buck-boost* dan *inverter* sebelum masuk ke beban. Di dalam paper ini akan dijelaskan tentang bagaimana kontrol *MPPT* tipe *buck-boost* ini bisa menghasilkan daya yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol tipe *manual PWM*.

### 2.1 Panel Surya

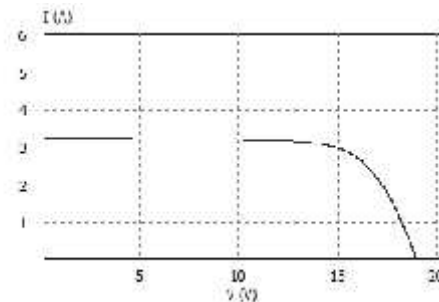
Panel surya merupakan suatu alat konversi energi yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Adapun jenis listrik yang dihasilkan adalah *DC (Direct Current)*. Panel Surya terdiri dari berbagai varian dibedakan

dari total daya yang dihasilkan yaitu 1000 Watt/m<sup>2</sup>, 800 Watt/m<sup>2</sup>, 600 Watt/m<sup>2</sup>, 400 Watt/m<sup>2</sup>, dan 200 Watt/m<sup>2</sup>. Walaupun memiliki tipe berbeda-beda, panel surya memiliki kurva karakteristik daya-tegangan yang sama.

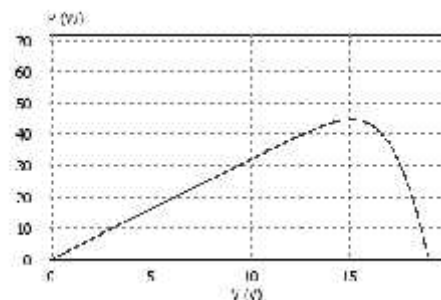


Gambar 2. Panel Surya 1000 watt (indonesian.alibaba.com)

Adapun kurva karakteristik panel surya adalah sebagai berikut



Gambar 3. Kurva Karakteristik panel surya I-V



Gambar 4. Kurva Karakteristik panel surya P-V

semakin tinggi daya yang dihasilkan maka tegangan yang dihasilkan pun semakin meningkat dan akan mencapai titik puncaknya. Apabila tegangan yang dihasilkan sudah mencapai titik puncaknya, maka keluaran daya dan tegangan pada panel surya akan mengalami penurunan yang sangat signifikan.

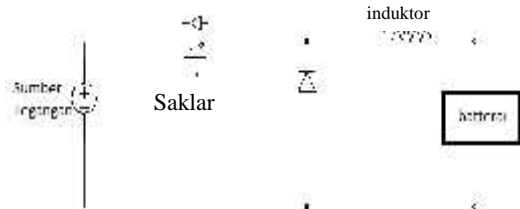
### 2.2 DC-DC Converter

*DC-DC converter* dibedakan menjadi 3 (tiga) jenis yaitu tipe *buck (step-down converter)*, *boost (step-up converter)*, dan *buck-boost (step down-up converter)*. (*POWER ELECTRONICS Academic Press Series in Engineering*, 2001).

Berikut ini adalah penjelasan rangkaian berikut siklus kerja dari ketiga *DC-DC converter* tersebut.

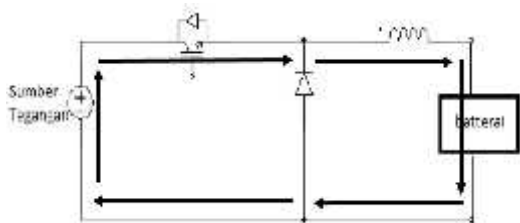
### 2.2.1 Buck Converter

*Buck* merupakan sebuah *DC-DC converter* yang mengubah tegangan *DC* ke tegangan *DC* yang lebih rendah. Adapun rangkaian dan siklus kerjanya adalah sebagai berikut.



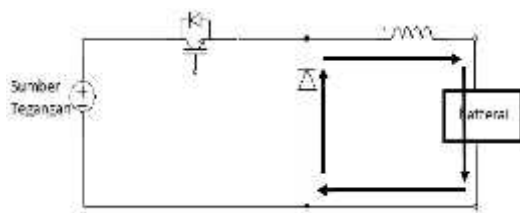
Gambar 5. Rangkaian buck converter

Siklus kerja saat saklar menutup (*ON*) menyebabkan komponen induktor dalam rangkaian *buck* ini mengalami pengisian arus (*charge*). Arah arus yang melewati rangkaian ini adalah seperti gambar 6.



Gambar 6. Arah arus yang mengalir dalam siklus saklar ON rangkaian buck converter

Sedangkan siklus kerja saat saklar membuka (*OFF*) menyebabkan komponen induktor pada rangkaian *buck* ini mengalami pengeluaran arus (*discharge*). Arah arus yang melewati rangkaian ini adalah seperti gambar 7.

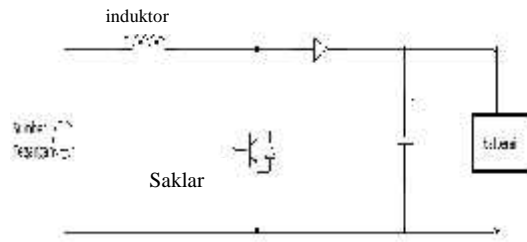


Gambar 7. Arah arus yang mengalir dalam siklus saklar OFF rangkaian buck converter

Tegangan *DC* yang dihasilkan oleh rangkaian ini adalah 0%-100% dari total tegangan sumber. Total tegangan yang dihasilkan sesuai dengan *duty cycle* yang diberikan pada saklar.

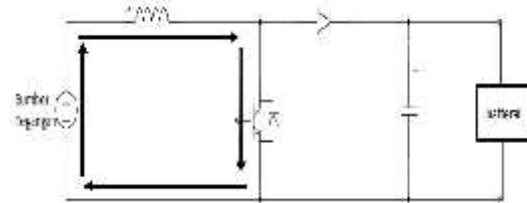
### 2.2.2 Boost Converter

*Boost* merupakan sebuah *DC-DC converter* yang mengubah tegangan *DC* ke tegangan *DC* yang lebih tinggi. Adapun rangkaian dan siklus kerjanya adalah sebagai berikut.



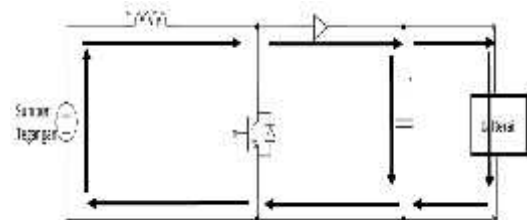
Gambar 8. Rangkaian boost converter

Siklus kerja saat saklar menutup (*ON*) menyebabkan komponen induktor dalam rangkaian *boost* ini mengalami pengisian arus (*charge*). Arah arus yang melewati rangkaian ini adalah seperti gambar 9.



Gambar 9. Arah arus yang mengalir dalam siklus saklar ON rangkaian boost converter

Sedangkan siklus saat saklar membuka (*OFF*) menyebabkan komponen induktor pada rangkaian *boost* ini mengalami pengeluaran arus (*discharge*). Arah arus yang melewati rangkaian ini adalah seperti gambar 10.

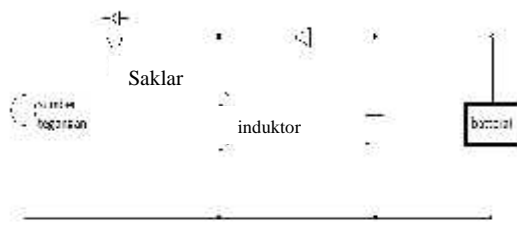


Gambar 10. Arah arus yang mengalir dalam siklus saklar OFF rangkaian boost converter

Tegangan *DC* yang dihasilkan oleh rangkaian ini adalah lebih tinggi dari total tegangan sumber. Total tegangan yang dihasilkan berubah-ubah sesuai dengan *duty cycle* yang diberikan pada saklar.

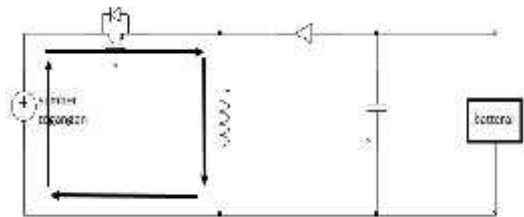
### 2.2.3 Buck-Boost Converter

*Buck-boost* merupakan sebuah *DC-DC converter* yang mengubah tegangan *DC* ke tegangan *DC* yang lebih rendah ataupun bisa juga lebih tinggi. Adapun rangkaian dan siklus kerjanya adalah seperti gambar 11.



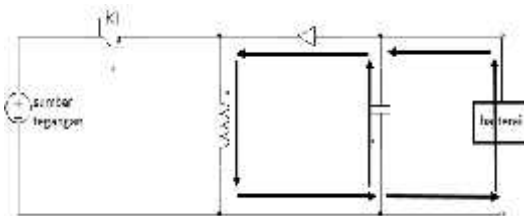
Gambar 11. Rangkaian buck-boost converter

Siklus kerja saat saklar menutup (*ON*) menyebabkan komponen induktor dalam rangkaian *buck-boost* ini mengalami pengisian arus (*charge*). Arah arus yang melewati rangkaian ini adalah seperti gambar 12.



Gambar 12. Arah arus yang mengalir dalam siklus saklar ON rangkaian buck-boost converter

Sedangkan siklus saat saklar membuka (*OFF*) komponen induktor pada rangkaian *buck-boost* ini mengalami pengeluaran arus (*discharge*). Arah arus yang melewati rangkaian ini adalah seperti gambar 13.



Gambar 13. Arah arus yang mengalir dalam siklus saklar OFF rangkaian buck-boost converter

Tegangan *DC* yang dihasilkan oleh rangkaian ini bisa lebih tinggi dari total tegangan sumber dan juga bisa lebih rendah dari total tegangan sumber. Total tegangan yang dihasilkan berubah-ubah sesuai dengan *duty cycle* yang diberikan pada saklar. Pada sistem *automatic MPPT* di *paper* ini menggunakan *DC-DC converter* tipe ini, dengan harapan pengisian baterai bisa lebih efektif dan efisien.

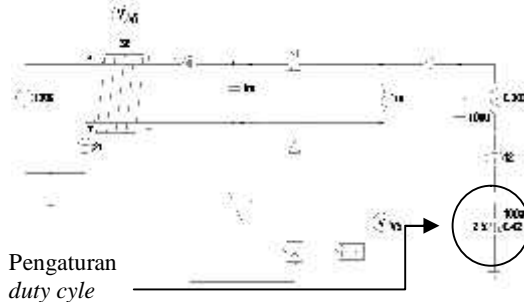
### 2.3 MPPT (*Maximum Powerpoint Tracker*)

*MPPT (Maximum Powerpoint Tracker)* memiliki banyak jenis. Jenis yang sering dipakai di pasaran untuk PJU yaitu kontrol *manual tracker PWM*. Sedangkan yang digunakan pada *paper* ini adalah *full automatic MPPT* tipe *buck-boost converter*. Berikut ini akan dibahas Rangkaian dan

*duty cycle* pada sistem *manual PWM* dan *full automatic MPPT* tipe *buck-boost converter*.

#### 2.3.1 Rangkaian Kontrol *Manual tracker PWM*

Kontrol jenis ini menggunakan pengaturan *manual duty cycle PWM (Pulse Width Modulation)* sebagai pengaturan daya keluarannya. Untuk pengaturan *PWM* tidak bisa dilakukan secara otomatis. Berikut rangkaian simulasi dan hasil simulasinya.



Gambar 14. Rangkaian Simulasi PSIM Buck-Boost Converter

Beban yang digunakan pada rangkaian *buck-boost* ini adalah beban baterai dengan tegangan 12 Volt, dan tahanan dalam baterai tersebut adalah 0,003 . Pada saat *duty cycle PWM* pada nilai 42% dan frekuensi 10Khz (Gambar 16) maka daya keluaran yang dihasilkan panel surya adalah maksimal. Hasil simulasi dari rangkaian diatas menunjukkan bahwa *Pi* (daya keluaran di panel surya) dan *Po* (daya keluaran setelah panel surya) berhimpit, hasilnya adalah gambar 18. Namun, apabila beban dalam sistem ini mengalami penurunan tegangan maka daya yang dikeluarkan pada sistem *manual PWM* akan tidak maksimal. Hasil simulasi *manual PWM* dengan beban baterai ber-tegangan 10.5 Volt adalah seperti gambar 20.

#### 2.3.1 Rangkaian Kontrol *MPPT full automatic tipe buck-boost*

Kontrol ini menggunakan sensor arus dan sensor tegangan sebagai kontrol untuk menghasilkan *PWM* secara otomatis. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan lereng daya dan lereng tegangan, agar mendapatkan daya maksimal adalah sebagai berikut.

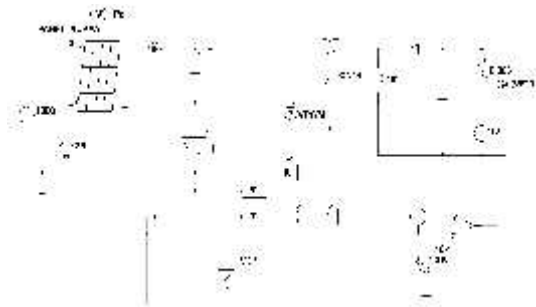
$$\left(\frac{dP}{dV}\right)_{mpp} = \frac{d(V_{pv} \cdot I_{pv})}{dV_{pv}}$$

$$I_{pv} \frac{dV_{pv}}{dV_{pv}} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = 0$$

$$I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = 0$$

$$\frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} = -G = -\frac{1}{R_{mpp}}$$

Berikut adalah rangkaian *MPPT full automatic tipe buck-boost* gambar 15.



Gambar 15. Rangkaian Kontrol MPPT full automatic tipe buck-boost

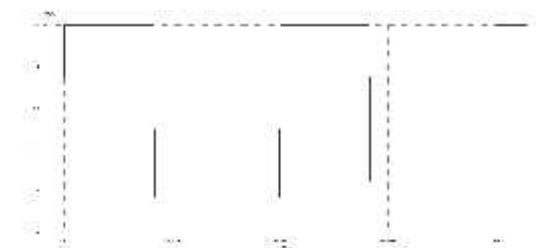
Panel surya pada simulasi ini memiliki tegangan keluaran maksimal 11,83 Volt dan arus 3,55 A. Dengan menggunakan *full automatic MPPT* tipe *buck-boost converter*, panel surya ini dapat digunakan untuk beban pengisi baterai dengan tegangan 10-24 Volt dan tahanan dalam baterai 0,003  $\Omega$ . Daya yang dihasilkan oleh panel surya tetap bisa mencapai titik maksimal terus menerus.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut merupakan hasil simulasi keluaran gelombang *PWM* (*Pulse Width Modulation*), grafik tegangan dengan beban baterai 12 Volt, 10,5 Volt, dan grafik tegangan 24 Volt dari simulasi PSIM rangkaian *Manual tracker PWM* dan simulasi PSIM *full automatic MPPT* tipe *buck-boost converter*. Panel surya yang digunakan memiliki keluaran maksimal 11,83 Volt.

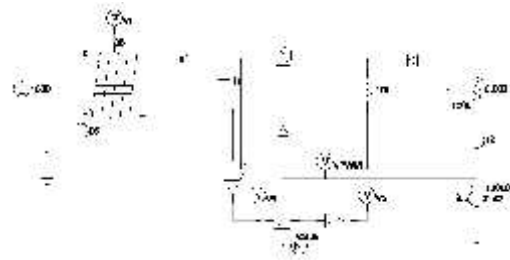
#### 3.1 Hasil Gelombang Keluaran Manual Tracker PWM

Berikut merupakan hasil simulasi keluaran dari *Manual Tracker PWM*. Nilai *duty cycle* yang digunakan pada saklar, agar daya keluaran dari panel surya maksimal adalah sebesar 42%. Apabila *duty cycle* berubah maka daya yang dihasilkan tidak lagi maksimal.



Gambar 16. *duty cycle* PWM pada nilai 42% dan frekuensi 10Khz

Daya keluaran maksimal saat *duty cycle* 42% dengan beban baterai 12 Volt 0,003  $\Omega$  dibuktikan dengan hasil simulasi dibawah ini.

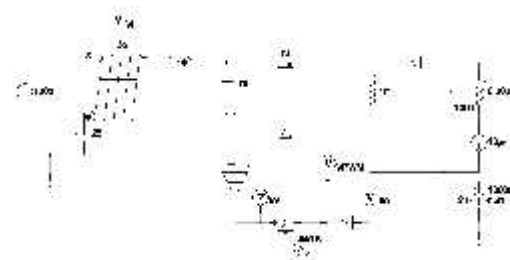


Gambar 17. Rangkaian Manual Tracker PWM dengan beban baterai 12 volt

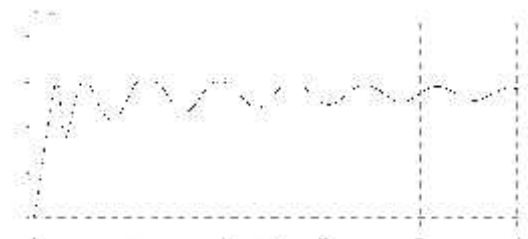


Gambar 18. Hasil simulasi menunjukkan bahwa  $P_i$  (daya keluaran di panel surya) dan  $P_o$  (daya keluaran setelah panel surya) berhimpit maksimal

Namun, apabila beban dalam sistem ini mengalami penurunan tegangan maka daya yang dikeluarkan pada sistem *manual PWM* akan tidak maksimal. Hasil simulasi *manual PWM* dengan beban baterai ber-tegangan 10.5 Volt (tegangan drop baterai) adalah seperti gambar 20.



Gambar 19. Rangkaian Manual Tracker PWM dengan beban baterai 10,5 volt



Gambar 20. Hasil simulasi menunjukkan bahwa  $P_i$  (daya keluaran di panel surya) dan  $P_o$  (daya keluaran setelah panel surya) tidak lagi berhimpit dan tidak stabil

Daya keluaran juga tidak bisa maksimal saat beban baterai berubah menjadi 24 Volt 0,003  $\Omega$  dibuktikan dengan hasil simulasi di bawah ini.



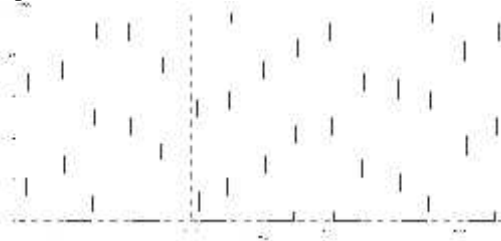
Gambar 21. Rangkaian Manual Tracker PWM dengan beban baterai 24 volt



Gambar 22. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Pi (daya keluaran di panel surya) dan Po (daya keluaran setelah panel surya) tidak berhimpit dan terjadi drop tegangan pada Po

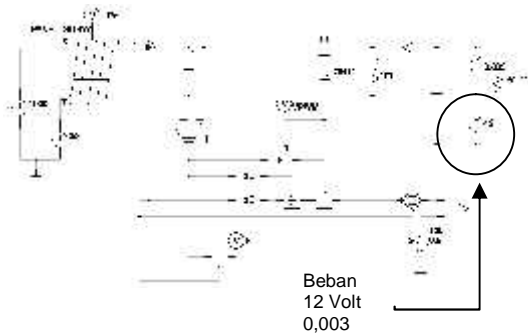
### 3.1 Hasil Gelombang Keluaran MPPT full automatic tipe buck-boost

Berikut merupakan hasil simulasi keluaran dari MPPT full automatic tipe buck-boost. Nilai duty cycle yang digunakan pada saklar menyetel otomatis sesuai dengan beban. Apabila beban berubah maka nilai keluaran dari MPPT tetap maksimal.

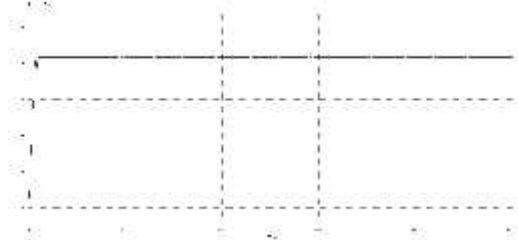


Gambar 23. PWM pada MPPT full automatic tipe buck-boost

Daya keluaran maksimal saat beban baterai 12 Volt 0,003 dibuktikan dengan hasil simulasi di bawah ini.

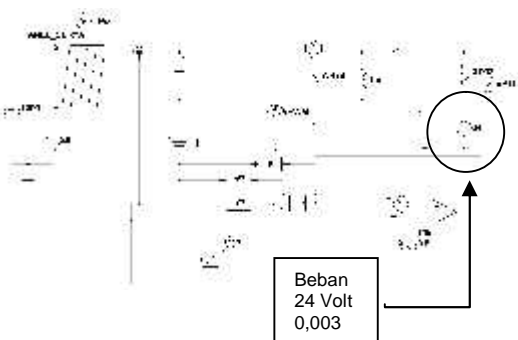


Gambar 24. Rangkaian MPPT full automatic tipe buck-boost dengan beban baterai 12 volt



Gambar 25. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Pi (daya keluaran di panel surya) dan Po (daya keluaran setelah panel surya) berhimpit maksimal saat beban baterai 12 Volt

Daya keluaran juga maksimal saat beban baterai 24 Volt 0,003 dibuktikan dengan hasil simulasi di bawah ini. Pada kondisi ini *DC-DC converter buck-boost* sedang bekerja pada kondisi *step-up/boost*, karena keluaran dari panel surya hanya 11,83 volt.

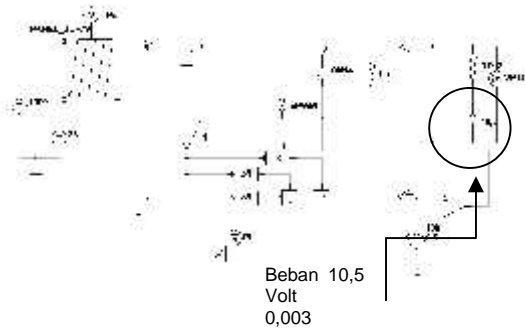


Gambar 26. Rangkaian MPPT full automatic tipe buck-boost dengan beban baterai 24 volt



Gambar 27. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Pi (daya keluaran di panel surya) dan Po (daya keluaran setelah panel surya) tetap berhimpit maksimal saat beban baterai menjadi 24 Volt

Daya keluaran juga akan maksimal saat beban baterai 10,5 Volt 0,003 (tegangan drop baterai) dibuktikan dengan hasil simulasi di bawah ini. Pada kondisi ini *DC-DC converter buck-boost* sedang bekerja pada kondisi *step-down/buck*, karena keluaran dari panel surya hanya 11,83 volt.

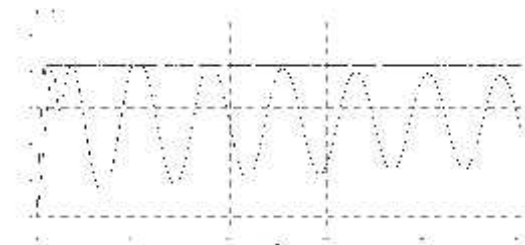


Gambar 28. Rangkaian MPPT full automatic tipe buck-boost dengan beban baterai 10,5 volt



Gambar 29. Hasil simulasi menunjukkan bahwa  $P_i$  (daya keluaran di panel surya) dan  $P_o$  (daya keluaran setelah panel surya) tetap berhimpit maksimal saat beban baterai menjadi 10,5 Volt

Perbandingan efisiensi nilai tegangan keluaran pada *MPPT full automatic tipe buck-boost* dan *manual PWM* bisa dihitung dengan membandingkan nilai rata-rata / *average value* kedua hasil gelombang pada *software* PSIM. Efisiensi Tiap rangkaian berbeda-beda setiap beban baterai berubah.



Gambar 30. Hasil simulasi perbandingan grafik nilai daya keluaran dari MPPT full automatic tipe buck-boost dan manual PWM dengan beban baterai 10,5 Volt

Average Value	
Time From	0.000000e+000
Time To	9.9999000e-002
Pi	4.15524 e+001
Po	2.8512054e+001

Gambar 31. Hasil simulasi komputasi nilai daya keluaran dari MPPT full automatic tipe buck-boost dan manual PWM dengan beban baterai 10,5 Volt

Dari gambar 31. dapat diamati nilai daya rata-rata dari *MPPT full automatic tipe buck-boost* adalah

41,65 W. Sedangkan nilai daya rata-rata dari *manual PWM* adalah 26,51W. Apabila keluaran daya maksimal panel surya adalah 42,04 W, maka efisiensi *MPPT full automatic tipe buck-boost* pada saat tegangan baterai drop menjadi 10,5 Volt adalah 99,07%. Sedangkan efisiensi dari *manual PWM* hanya 63,05%.



Gambar 32. Hasil simulasi perbandingan grafik nilai daya keluaran dari MPPT full automatic tipe buck-boost dan manual PWM dengan beban baterai 12 Volt

Average Value	
Time From	0.0000000e+000
Time To	9.9999000e-002
Pi	4.1514833e+001
Po	2.1840082e+001

Gambar 33. Hasil simulasi komputasi nilai daya keluaran dari MPPT full automatic tipe buck-boost dan manual PWM dengan beban baterai 12 Volt

Dari gambar 33. dapat diamati nilai daya rata-rata dari *MPPT full automatic tipe buck-boost* adalah 41,61 W. Sedangkan nilai daya rata-rata dari *manual PWM* adalah 29,51W. Apabila keluaran daya maksimal panel surya adalah 42,04 W, maka efisiensi *MPPT full automatic tipe buck-boost* pada saat tegangan baterai 12 Volt adalah 98,98%. Sedangkan efisiensi dari *manual PWM* hanya 70,19%.



Gambar 34. Hasil simulasi perbandingan grafik nilai daya keluaran dari MPPT full automatic tipe buck-boost dan manual PWM dengan beban baterai 24 Volt

Average Value	
Time From	6.6666000e-006
Time To	9.9999000e-002
Pi	4.544556e+001
Pi1	2.9931490e+000

Gambar 35. Hasil simulasi komputasi nilai daya keluaran dari MPPT full automatic tipe buck-boost dan manual PWM dengan beban baterai 24 Volt

Dari gambar 35. dapat diamati nilai daya rata-rata dari *MPPT full automatic tipe buck-boost* adalah 41,54 W. Sedangkan nilai daya rata-rata dari *manual PWM* adalah 29,93W. Apabila keluaran daya maksimal panel surya adalah 42,04 W, maka efisiensi *MPPT full automatic tipe buck-boost* pada saat tegangan baterai 24 Volt adalah 98,85%. Sedangkan efisiensi dari *manual PWM* hanya 71,22%.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil rancangan simulasi sistem pengisian baterai pada panel surya berbasis *dc-dc converter MPPT full automatic tipe buck-boost* ini didapatkan efisiensi pengisian terhadap beban baterai dengan tegangan 10,5 Volt, 12 Volt, dan 24 volt secara berurutan adalah 99,07%, 98,98%, dan 98,85%. Efisiensi ini lebih tinggi dibandingkan dengan pengisian baterai *manual PWM*. Harga alat *MPPT full automatic tipe buck-boost* ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan *manual PWM*, karena didalam sistem ini terdapat sensor arus dan sensor tegangan sebagai kendalinya.

#### Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terimakasih kepada berbagai pihak, tenaga pengajar yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan *paper* ilmiah ini sehingga dapat diselesaikan dalam jangka waktu yang telah ditentukan.

#### Daftar Pustaka

- Elektro, T. *et al.* (1991) 'Penerangan Jalan Umum Solar Cell', pp. 1–6.
- Pltag, A. (2013) 'Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (Mppt) Solar Sel Untuk Aplikasi Pada Sistem Grid Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA<sub>g</sub>)', (September), pp. 170–178.
- POWER ELECTRONICS Academic Press Series in Engineering* (2001).
- Setiono, F. Y. and Pratomo, L. H. (2011) 'Maximum Power Point Tracker as Regulated Voltage Supply using Ripple Correlation Control', (July).