

Auto Charger System Berbasis Solar Cell pada Robot Management Sampah

Mudeng, Vicky Vandy Hengki.¹, Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.², Ponco Siwindarto, Ir., MS.²

¹Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ²Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: mudengvicky@gmail.com

Abstrak—Auto charger system dalam penelitian ini untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada robot management sampah. Robot management sampah yang kekurangan energi listrik secara otomatis akan menuju tempat pengisian energi listrik yang dilengkapi dengan solar cell. Energi listrik yang dihasilkan oleh solar cell akan disimpan di dalam accu, kemudian energi listrik pada accu akan digunakan untuk men-charge accu dan baterai pada robot management sampah. Intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah dapat menyebabkan accu lebih cepat rusak karena tegangan yang masuk ke accu tidak konstan. Penelitian ini menggunakan topologi cuk converter yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan sumber dengan mengubah-ubah nilai duty cycle. Tegangan sumber akan turun jika nilai duty cycle cuk converter kurang dari 50% dan akan naik jika nilai duty cycle cuk converter lebih dari 50%. Charger dari accu ke accu dan dari accu ke baterai dirancang menggunakan boost converter yang didesain menggunakan IC XL6009. Pengujian cuk converter menghasilkan error rata-rata sebesar 8,68% dengan selisih antara teori dan praktek paling besar adalah 1,3V. Pengujian boost converter menghasilkan error rata-rata sebesar 2,52% dengan selisih antara teori dan praktek paling besar adalah 1,52V.

Kata Kunci—Robot Management Sampah, Cuk Converter, Boost Converter, Solar Cell.

I. PENDAHULUAN

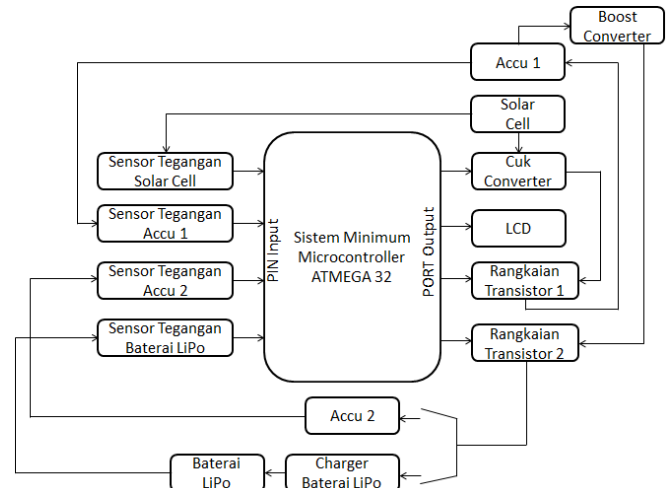
Dalam penelitian sebelumnya, robot management sampah mengikuti garis hitam untuk mengangkut dan membuang sampah dengan memberi tanda pada tempat-tempat yang telah ditentukan. Robot management sampah memiliki bak untuk menampung sementara isi tempat sampah yang telah diangkat. Robot ini menggunakan 1 accu 12V dan 1 baterai 12V sebagai catu daya [1]. Kekurangan energi listrik pada robot management sampah menyebabkan robot tidak dapat melaksanakan tugas dengan baik. Salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik robot management sampah yaitu menggunakan solar cell.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dalam penelitian ini dirancang suatu sistem yang dapat memenuhi kebutuhan energi listrik robot management sampah menggunakan solar cell. Solar cell digunakan karena ramah lingkungan dan tidak menyebabkan polusi [2].

Tujuan penelitian ini adalah membuat sistem yang dapat menstabilkan tegangan yang dihasilkan solar cell dengan menggunakan cuk converter untuk men-charge accu dan sistem yang dapat menaikkan tegangan dengan menggunakan boost converter untuk men-charge accu robot management sampah dari accu dan men-charge baterai robot management sampah dari accu.

II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan alat dapat dirangkum dalam sebuah diagram blok seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Penjelasan mengenai diagram blok sistem sebagai berikut:

1. Solar cell berfungsi sebagai pengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik.
2. Rangkaian cuk converter berfungsi sebagai penstabil tegangan.
3. Boost converter digunakan untuk menaikkan tegangan accu 1 sehingga mencapai 15V agar dapat men-charge accu 2 dan digunakan sebagai power supply balancer baterai LiPo.
4. Balancer baterai LiPo digunakan sebagai rangkaian charger baterai LiPo.
5. Terdapat 4 sensor tegangan yang digunakan untuk mengetahui besar tegangan yang dihasilkan solar cell, accu 1, accu 2, dan baterai LiPo.
6. Microcontroller yang digunakan adalah ATMEGA 32 yang berfungsi sebagai pengontrol dan pemroses data.
7. Saklar digunakan untuk memilih boost converter dihubungkan ke accu 2 atau ke balancer baterai LiPo.
8. Rangkaian transistor digunakan sebagai saklar elektronik yang menghubungkan keluaran cuk converter dengan accu 1, boost converter dengan accu 2, dan boost converter dengan charger baterai LiPo.

A. Pemodelan Solar Cell

Perancangan sistem ini membutuhkan beberapa parameter. Parameter *solar cell* ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter *Solar Cell*

Parameter <i>Solar Cell</i>	Nilai
Maximum Power (P_{max})	50 Watt-Peak
Short Circuit Current (I_{SC})	3,12A
Maximum Power Current (I_{mpp})	2,92A
Open Circuit Voltage (V_{OC})	21,63V
Nominal Voltage (V_{mpp})	17,13V

B. Perancangan Rangkaian *Cuk Converter* [3]

Cuk Converter merupakan rangkaian yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan masukan. Rangkaian *Cuk Converter* terdiri dari 2 kapasitor (C_1 dan C_2) dan 2 buah induktor (L_1 dan L_2).

1. Pemilihan Induktor

Ukuran induktor ditentukan dengan perubahan arus induktor tidak lebih dari 5% dari arus induktor rata-rata. Berikut Persamaan induktor L :

$$L_1 = \frac{V_s \cdot D}{\Delta I_1 \cdot f} \quad (1)$$

Dengan $V_s = V_{mpp}$, $D = 1$ saat kondisi V_{mpp} , ripple arus sebesar 0,146A dan frekuensi yang digunakan 50kHz, maka didapatkan nilai $L_1 = 2,35mH$ dan nilai $L_2 = 2,28mH$.

2. Pemilihan Kapasitor

Pemilihan kapasitor agar ripple tegangan tidak lebih dari 5% adalah dengan tegangan rata-rata yang melewati kapasitor (C_1) sebagai berikut:

$$V_{C1} = V_{in} + V_{out} \quad (2)$$

Untuk ripple tegangan maksimum:

$$\Delta V_{C1} = 5\% \times V_{C1} \quad (3)$$

Dengan nilai $V_o = 15V$, nilai tegangan maksimum yang diizinkan masuk *accu* 1 dan P_o daya maksimum dari *solar cell*. Persamaan R pengganti beban:

$$R = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (4)$$

Berikut Persamaan untuk mencari nilai kapasitor C_1 :

$$C_1 = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot f \cdot \Delta V_{C1}} \quad (5)$$

Melalui Persamaan (5) didapatkan nilai $C_1 = 42,7\mu F$. Nilai C_2 didapatkan dengan Persamaan berikut:

$$C_2 = \frac{V_s \cdot D}{8 \cdot f^2 \cdot L_2 \cdot \Delta V_{C2}} \quad (6)$$

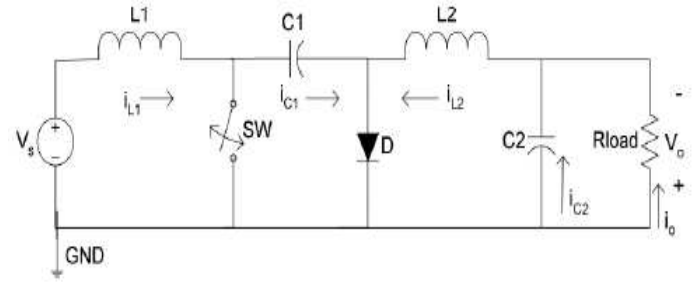
Maka didapatkan nilai $C_2 = 7,5\mu F$

3. Pemilihan Dioda

Dioda yang dipilih adalah dioda *schottky* karena dioda jenis ini memiliki tegangan maju yang rendah dan memiliki *reverse recovery time* yang cepat. Dalam perancangan ini dipilih dioda tipe 1N5819. Dioda ini mampu melewati tegangan maksimal 40V [4].

4. Pemilihan MOSFET

Tegangan drain-source (V_{DS}) MOSFET dapat mencapai 17,13V didapat dari *nominal voltage* (V_{mpp}) *solar cell*. Digunakan MOSFET tipe IRF540 dengan nilai maksimum $I_D = 28A$ dan $V_{DS} = 100V$ [5]. Rangkaian keseluruhan *cuk converter* ditunjukkan dalam Gambar 2 [6].



Gambar 2. Rangkaian *Cuk Converter*

C. Perancangan *Pulse Width Modulation (PWM)* [7]

Gelombang PWM dioperasikan dengan mode *Fast Correct PWM*. Frekuensi yang dibutuhkan 50.000Hz dengan komponen *crystal* yang terpasang pada *microcontroller* sebesar 11,0592MHz serta *prescaler* (N) sebesar 1, nilai TOP didapatkan dengan Persamaan (7):

$$(TOP + 1) = \frac{f_{clk1/o}}{N \times f_{PWM}} \quad (7)$$

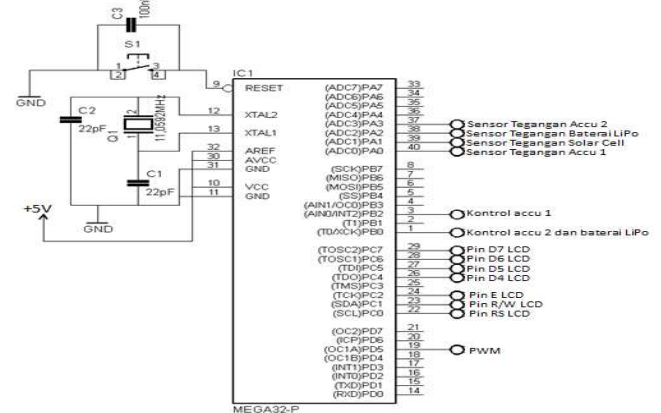
Maka didapatkan nilai $TOP = 220,184 \approx 220$.

D. Perancangan Sistem Minimum ATMEGA 32

Microcontroller yang digunakan dalam perancangan ini adalah ATMEGA 32 yang dirangkai pada sistem minimum *microcontroller*. *Microcontroller* berfungsi untuk mengolah data sensor tegangan dan menghasilkan PWM yang digunakan untuk rangkaian *cuk converter*. Sistem minimum ATMEGA 32 ditunjukkan dalam Gambar 3.

Fungsi setiap pin sistem minimum *microcontroller* ATMEGA 32 yang digunakan adalah sebagai berikut:

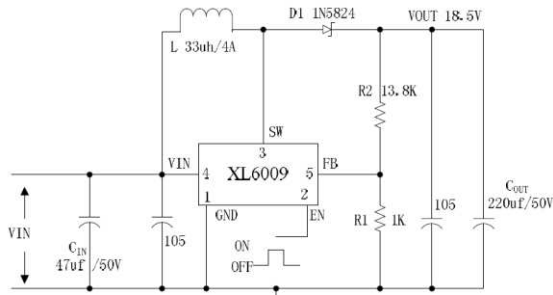
1. Pin A.0 digunakan untuk sensor tegangan *accu* 2.
2. Pin A.1 digunakan untuk sensor tegangan baterai LiPo.
3. Pin A.2 digunakan untuk sensor tegangan *solar cell*.
4. Pin A.3 digunakan untuk sensor tegangan *accu* 1.
5. Pin B.0 digunakan sebagai sinyal kontrol *accu* 2 dan baterai LiPo.
6. Pin B.2 digunakan sebagai sinyal kontrol *accu* 1.
7. Pin D.5 digunakan sebagai sinyal PWM kontrol *cuk converter*.
8. Pin C digunakan sebagai sinyal data LCD 16x2.



Gambar 3. Rangkaian Sistem Minimum ATMEGA 32

E. Perancangan Rangkaian *Boost Converter* [8]

Rangkaian *boost converter* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan IC XL6009. Rangkaian *boost converter* ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Boost Converter XL6009

Tegangan keluaran rangkaian ini didapat menggunakan Persamaan (8):

$$V_{out} = 1,25 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (8)$$

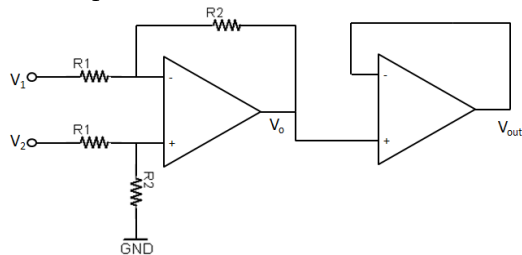
F. Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan berjumlah 4 buah. Sensor tegangan berfungsi untuk mengetahui nilai tegangan pada solar cell (sensor tegangan 1), tegangan accu 1 (sensor tegangan 2), tegangan accu 2 (sensor tegangan 3), dan tegangan baterai LiPo (sensor tegangan 4) serta berfungsi sebagai penurun tegangan agar nilai tegangan yang dihasilkan dapat diproses oleh microcontroller. Rangkaian sensor tegangan ditunjukkan dalam Gambar 5. Nilai R_1 dan R_2 didapat menggunakan Persamaan (9):

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (9)$$

Dengan nilai $V_1 = 0$, maka didapatkan:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_2 \quad (10)$$

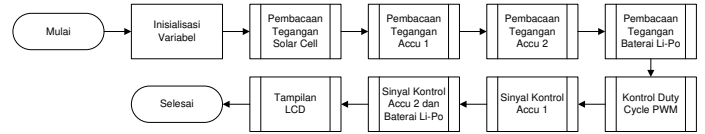


Gambar 5. Rangkaian Sensor Tegangan

1. Sensor Tegangan 1 dan Sensor Tegangan 2
Sensor tegangan 1 dan 2 dirancang agar microcontroller dapat memproses tegangan yang besarnya 0V sampai 23V. Jika $R_2 = 1k\Omega$, maka didapatkan $R_1 = 4,55k\Omega$ dengan penguatan (Gain) sebesar 0,22.
2. Sensor Tegangan 3 dan Sensor Tegangan 4
Sensor tegangan 3 dan 4 dirancang agar microcontroller dapat memproses tegangan yang besarnya 0V sampai 13V. Jika $R_2 = 1k\Omega$, maka didapatkan $R_1 = 2,63k\Omega$ dengan penguatan (Gain) sebesar 0,38.

G. Perancangan Algoritma Program

Algoritma program merupakan perencanaan program yang akan ditulis ke dalam microcontroller. Program yang dibuat meliputi beberapa sub-program yang ditunjukkan dalam Gambar 6.

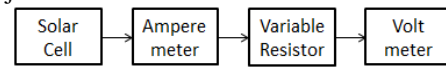


Gambar 6. Flow Chart Algoritma Program

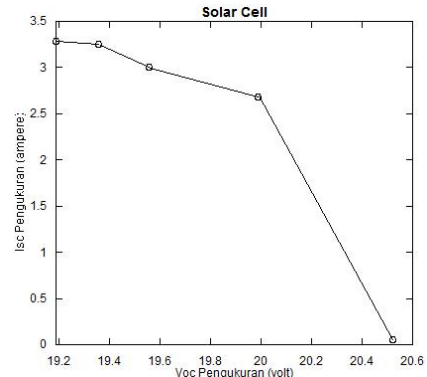
III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Solar Cell

Parameter yang diuji dalam pengujian solar cell 50 Wp tipe polycrystalline adalah tegangan dan arus. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tegangan open circuit (V_{OC}) dan arus short circuit (I_{SC}) yang dihasilkan oleh solar cell. Pengujian dilakukan pada kondisi suhu lingkungan 25°C , saat 1-1.287 AM. Lokasi pengujian berada di 7.949386 LS dan 112.611912 BT. Rangkaian pengujian ditunjukkan dalam Gambar 7. Grafik hasil pengujian solar cell ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 7. Rangkaian Pengujian Solar Cell

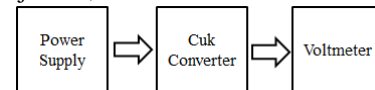


Gambar 8. Grafik Pengujian Solar Cell

Dari hasil pengujian solar cell dapat diketahui bahwa I_{SC} terbesar adalah 3,28A, sedangkan V_{OC} terbesar adalah 20.52V.

B. Pengujian Rangkaian Cuk Converter

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian dalam Gambar 9. Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian rangkaian cuk converter untuk menaikkan tegangan 10V menjadi -15,22V dan menurunkan tegangan dari 10V menjadi -7,12V.



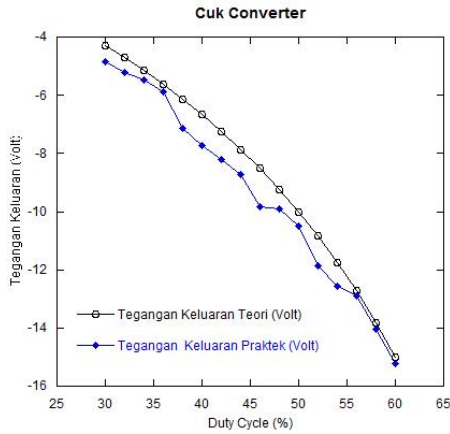
Gambar 9. Rangkaian Pengujian Cuk Converter



Gambar 10. Hasil Pengujian Menaikkan dan Menurunkan Tegangan

Dari hasil pengujian rangkaian cuk converter didapatkan bahwa tegangan keluaran rangkaian dapat berubah-ubah sesuai dengan duty cycle yang diberikan oleh

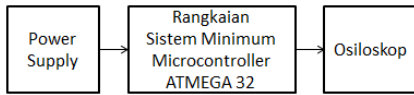
microcontroller. Grafik pengujian rangkaian *cuk converter* ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Pengujian Rangkaian *Cuk Converter*

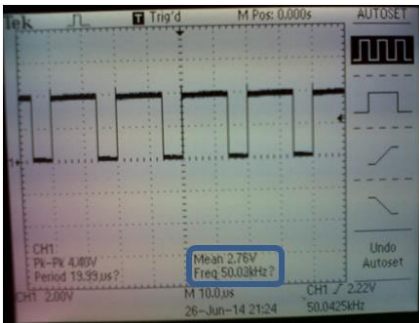
C. Pengujian *Pulse Width Modulation Cuk Converter*

Pengujian ini bertujuan untuk melihat bentuk gelombang PWM dan frekuensi yang dibutuhkan oleh rangkaian *cuk converter*. Gambar 12 menunjukkan rangkaian pengujian PWM.

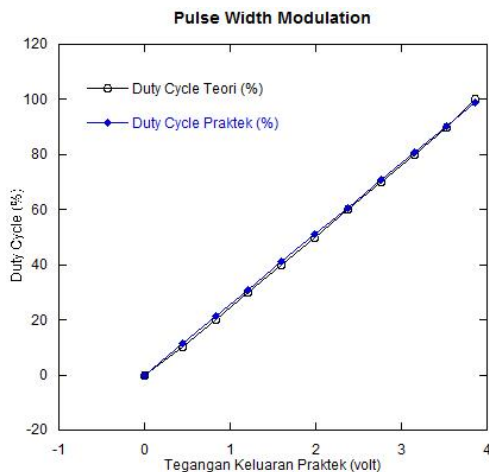


Gambar 12. Rangkaian Pengujian PWM

PWM dengan *duty cycle* 70% dan frekuensi 50kHz ditunjukkan dalam Gambar 13. Grafik pengujian PWM ditunjukkan dalam Gambar 14.



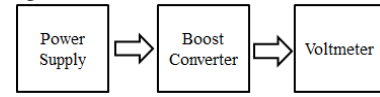
Gambar 13. PWM dengan *Duty Cycle* 70%



Gambar 14. Grafik Pengujian PWM

D. Pengujian Rangkaian *Boost Converter*

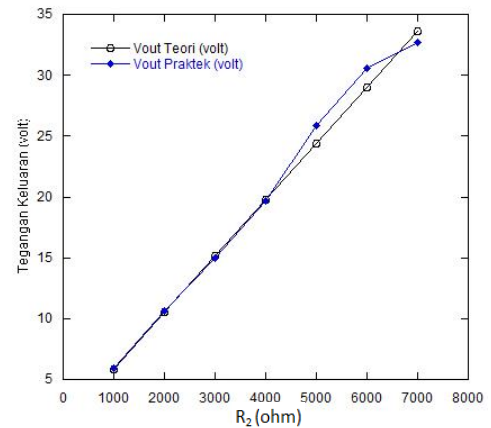
Pengujian *boost converter* dengan merangkai seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 17. Gambar 18 menunjukkan *boost converter* yang digunakan dapat menaikkan tegangan masukan. Grafik hasil pengujian *boost converter* ditunjukkan dalam Gambar 19. Pengujian dilakukan dengan menentukan nilai $R_1 = 270\Omega$.



Gambar 17. Rangkaian Pengujian *Boost Converter*



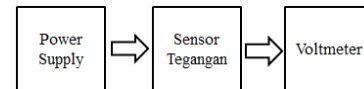
Gambar 18. Hasil Pengujian Menaikkan Tegangan *Boost Converter*



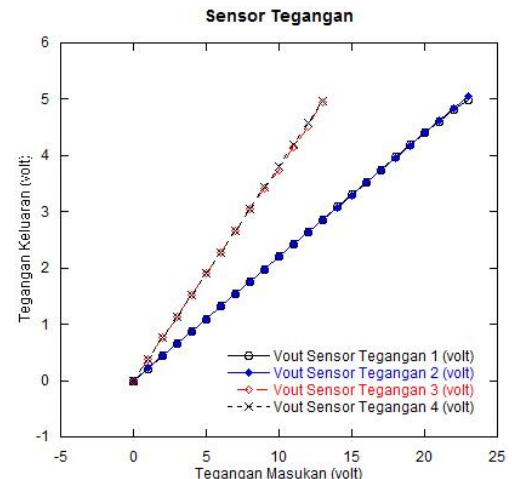
Gambar 19. Grafik Pengujian *Boost Converter*

E. Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan dengan merangkai rangkaian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 15. Grafik hasil pengujian masing-masing sensor tegangan ditunjukkan dalam Gambar 16.



Gambar 15. Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

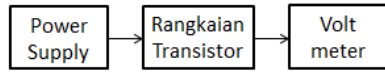


Gambar 16. Grafik Pengujian Sensor Tegangan

F. Pengujian Rangkaian Transistor

Tujuan pengujian rangkaian transistor untuk mengetahui respon transistor jika kaki basis diberi tegangan dan arus. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan dan arus pada kaki basis dan mengukur tegangan kolektor sebagai tegangan keluaran rangkaian transistor. Rangkaian pengujian rangkaian transistor ditunjukkan dalam Gambar 17.

Transistor akan aktif jika sensor tegangan mengukur tegangan *accu* 1, *accu* 2, atau baterai LiPo di bawah 10 volt. Hasil pengujian rangkaian transistor ditunjukkan dalam Tabel 2.



Gambar 17. Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

Tabel 2. Hasil Pengujian Rangkaian Transistor

V_{basis} (volt)	V_{in} (volt)	V_{out} (volt)
0	16	0
0	16	0
0	16	0
5	16	15,45
5	16	15,44
5	16	15,45

Tabel 2 menunjukkan bahwa jika kaki basis transistor diberi tegangan dan arus maka transistor akan aktif yang menyebabkan adanya tegangan keluaran. Tidak adanya tegangan keluaran disebabkan kaki basis yang tidak diberi tegangan dan arus.

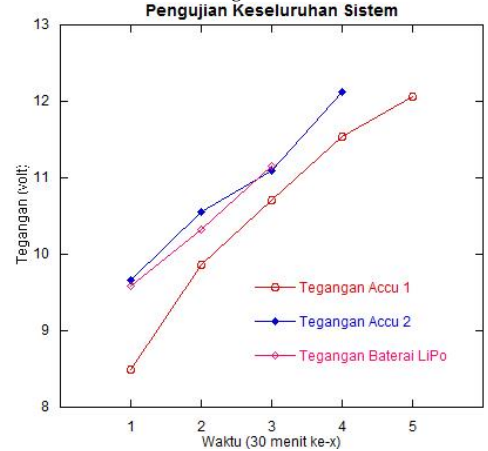
G. Pengujian Keseluruhan Sistem

Tujuan pengujian keseluruhan sistem untuk menganalisis apakah sistem telah bekerja sesuai dengan perancangan. Parameter yang diuji adalah nilai tegangan *accu* 1, *accu* 2, dan baterai LiPo serta waktu yang dibutuhkan untuk men-charge *accu* 1, *accu* 2, dan baterai LiPo. Pengujian keseluruhan sistem adalah dengan merangkai semua rangkaian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan hari Minggu, 27 Juli 2014 pada kondisi suhu lingkungan 23°C, dimulai pukul 08.00 WIB. Lokasi pengujian berada di 7.949386 LS dan 112.611912 BT. Hasil pengujian keseluruhan sistem ditunjukkan dalam Gambar 18.

Pengisian energi listrik pada *accu* 1 membutuhkan 2,5 jam, pengisian energi listrik pada *accu* 2 membutuhkan 2 jam, dan pengisian energi listrik pada baterai LiPo membutuhkan 1,5 jam. Dapat disimpulkan bahwa sistem dapat men-charge *accu* 1 dari tegangan *solar cell* yang telah distabilkan menjadi 15 volt menggunakan rangkaian *cuk converter*, sistem dapat men-charge *accu* dari *accu* dengan menggunakan rangkaian *boost converter* yang mampu menaikkan tegangan *accu* 1 menjadi 15 volt yang digunakan untuk men-charge *accu* 2, dan sistem dapat men-charge baterai dari *accu* dengan menggunakan rangkaian *boost converter* yang mampu menaikkan tegangan *accu* 1 menjadi

15 volt yang digunakan sebagai *power supply charger* baterai LiPo untuk men-charge baterai LiPo.



Gambar 18. Grafik Pengujian Keseluruhan Sistem

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- Rangkaian *cuk converter* mampu menaikkan dan menurunkan tegangan memiliki *error* rata-rata 8,68% dengan selisih tegangan antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 1,3 volt. Pengaruh frekuensi pada perancangan adalah semakin besar frekuensi yang digunakan maka semakin kecil *ripple* tegangan kapasitor C1 dan C2. Rangkaian *cuk converter* digunakan untuk menstabilkan tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell* menjadi 15 volt. Tegangan yang telah distabilkan digunakan untuk men-charge *accu* 1.
- Rangkaian *boost converter* yang dirancang menggunakan IC XL6009 mampu menaikkan tegangan dengan mengatur perbandingan nilai resistor memiliki *error* rata-rata 2,52% dengan selisih tegangan antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 1,52 volt. Rangkaian *boost converter* digunakan untuk menaikkan tegangan *accu* 1 menjadi 15 volt yang digunakan untuk men-charge *accu* 1 dan sebagai *power supply charger* baterai LiPo yang digunakan untuk men-charge baterai LiPo.
- Perancangan sistem *monitoring* pengisian energi listrik *accu* atau baterai robot management sampah dapat dideteksi menggunakan sensor tegangan. Jika sensor tegangan *accu* 1, *accu* 2, dan baterai LiPo mengukur tegangan kurang dari 10 volt, maka rangkaian transistor sebagai saklar otomatis akan aktif dan terjadi proses charging. Terdapat 4 rangkaian sensor tegangan. Sensor tegangan *solar cell* memiliki *error* rata-rata 0,0062%, sensor tegangan *accu* 1 memiliki *error* rata-rata 0,0015%, sensor tegangan *accu* 2 memiliki *error* rata-rata 0,26%, dan sensor tegangan baterai LiPo memiliki *error* rata-rata 0,15%.

B. Saran

- Pemilihan dan pembuatan induktor sebaiknya menggunakan alat ukur dengan akurasi dan kepresisian

- yang tinggi serta diperlukan tes frekuensi agar dapat memperkecil persentase kesalahan.
2. Memperbaiki metode yang digunakan sebagai *charger accu* menggunakan *solar cell* dengan topologi *cuk converter*, sehingga daya yang didapat dari energi matahari tidak banyak terbuang.
 3. Sistem ini dapat dikembangkan menjadi satu dengan robot dan bukan merupakan sistem yang terpisah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sulistiyono, Taufiq Yudi, Nurussa'adah, dan Eka Maulana. 2014. *Komparasi Sistem Komunikasi Serial Multipoint pada Robot Management Sampah Menggunakan I2C dan SPI*. Malang. Universitas Brawijaya.
- [2] S, Syam M dan T. Sreejith Kailas. 2013. *Grid Connected PV System using Cuk Converter*. IEEE, International Conference on Microelectronics, Communication and Renewable Energy.
- [3] Triandini, Annisa, Soeprapto, dan Mochammad Rif'an. 2013. *Perancangan Battery Control Unit (BCU) Dengan Menggunakan Topologi Cuk Converter Pada Instalasi Tenaga Surya*. Malang. Universitas Brawijaya.
- [4] Fairchild Semiconductor Cooperation. 2001. *IN5817-IN5819*.
- [5] Vishay. 2011. *Power MOSFET IRF540, SiHF540*.
- [6] Oi, Akihiro. 2005. *Design And Simulation Of Photovoltaic Water Pumping System*. Tesis tidak dipublikasikan. San Luis Obispo: California Politechnic State University.
- [7] Atmel Cooperation. 2003. *Atmega32*.
- [8] XLSEMI. *XL6009 400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter*.