

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi robot yang semakin berkembang pesat didukung oleh teknologi *microcontroller* yang juga semakin berkembang. *Microcontroller* merupakan suatu terobosan teknologi *microprocessor* yang dilengkapi dengan memori dan semua komponen yang terintegrasi dalam satu *chip*. *Microcontroller* banyak digunakan pada berbagai sistem kontrol (Gridling, 2006:2).

Robot merupakan sebuah alat mekanik yang dapat melakukan tugas fisik, baik menggunakan pengawasan dan kontrol manusia, ataupun menggunakan program yang telah didefinisikan terlebih dahulu (Shiroma, 2008:1). Terdapat suatu *standard* teknologi yang tinggi dalam beberapa bidang yang susah untuk dicapai tanpa bantuan robot. Contoh di dalam dunia industri, robot digunakan pada lingkungan yang berbahaya bagi manusia, seperti suhu yang sangat dingin ataupun sangat panas bagi manusia, pembersihan limbah beracun, pengangkutan benda-benda yang berat, dan penggunaan robot di dalam *clean room* pada industri perakitan elektronika (Jazar, 2010:2).

Salah satu jenis robot yang banyak digunakan saat ini adalah *mobile robot*. Robot ini berguna untuk mengurangi resiko yang dialami manusia yang diakibatkan oleh material kimia yang berbahaya, material radio aktif, dan digunakan sebagai penolong pada bencana gempa bumi. Tahun 2008, robot jenis ini digunakan sebagai pencari dan penolong pada tempat-tempat yang tidak dapat dicapai oleh manusia saat gempa bumi yang terjadi di Cina (Yan, 2009:1). Robot jenis ini sudah banyak dikembangkan sebagai robot penjelajah yang berguna untuk mengumpulkan *sample* yang akan diteliti, robot penjelajah luar angkasa, dan *parenting robot* (Bo, 2006:1). Dalam kehidupan sehari-hari *mobile robot* juga dapat diterapkan sebagai robot *management* sampah yang dapat menggantikan jasa pembersih sampah yang kurang dalam hal tenaga dan disiplin, sehingga dapat membersihkan sampah pada setiap sudut yang ada.

Robot *management* sampah untuk melaksanakan tugasnya memerlukan catu daya yang menggunakan baterai atau *accu*. Robot *management* sampah yang

kekurangan energi listrik tidak dapat melaksanakan tugasnya dengan baik, sehingga diperlukan solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik robot *management* sampah yaitu menggunakan *solar cell*. Jenis *charger* untuk memenuhi kebutuhan energi listrik robot masih menggunakan cara konvensional, seperti melepas baterai dari robot, lalu men-*chargenya* menggunakan energi listrik yang sudah terinstalasi di setiap rumah (iRobot Corporation, 2006:9). Oleh karena itu, dibuat suatu alat yang dapat memenuhi keperluan catu daya robot *management* sampah.

Penelitian ini akan membahas *Auto Charger System* Berbasis *Solar Cell* pada Robot *Management* Sampah. *Solar cell* berfungsi sebagai sumber energi yang energinya akan disimpan di *accu*. Jika catu daya pada robot *management* sampah telah berkurang sampai batas yang telah ditentukan, maka robot *management* sampah secara otomatis akan mencari tempat pengisian energi baterai atau *accu*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pengisian energi listrik *accu* dengan energi listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* menggunakan topologi *cuk converter*.
2. Bagaimana merancang sistem pengisian energi listrik dari *accu* ke *accu* dan dari *accu* ke baterai menggunakan *boost converter*.
3. Bagaimana merancang sistem *monitoring* pengisian energi listrik jika energi listrik pada baterai atau *accu* robot *management* sampah telah mencapai batas minimal yang telah ditentukan menggunakan sensor tegangan.

1.3 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan perancangan akan diberi batasan sebagai berikut:

1. Robot *management* sampah adalah jenis robot *line follower* yang hanya dapat membedakan warna hitam dan putih.
2. Tidak membahas mekanik, elektrik, dan *software* robot *management* sampah.

3. Parameter yang diatur menggunakan *cuk converter* adalah tegangan.
4. Parameter yang diatur menggunakan *boost converter* adalah tegangan.
5. *Microcontroller* yang digunakan adalah ATMEGA 32 yang diprogram dengan bahasa C/C++.
6. Tidak membahas tentang proses perubahan energi kimia menjadi energi listrik pada *accu* dan baterai serta sebaliknya.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat sistem pengisian energi listrik *accu* dengan energi listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* menggunakan topologi *cuk converter*.
2. Membuat sistem pengisian energi listrik dari *accu* ke *accu* dan dari *accu* ke baterai menggunakan *boost converter*.
3. Membuat sistem *monitoring* pengisian energi listrik jika energi listrik pada baterai atau *accu robot management* sampah telah mencapai batas minimal yang telah ditentukan menggunakan sensor tegangan.

1.5 Sistematika Pembahasan

Penelitian ini terdiri atas enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

BAB III Metode Penelitian

Berisi tentang metode-metode yang dipakai dalam melakukan perancangan, pengujian, dan analisis data.

BAB IV Perancangan

Perancangan dan perealisasiian alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan diagram blok, prinsip kerja dan realisasi alat.

BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat aspek pengujian meliputi penjelasan tentang cara pengujian dan hasil pengujian. Aspek analisis meliputi penilaian atau komentar terhadap hasil-hasil pengujian. Pengujian dan analisis ini terhadap alat yang telah direalisasikan berdasarkan masing-masing blok dan sistem secara keseluruhan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat intisari hasil pengujian dan menjawab rumusan masalah serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan kualitas penelitian di masa yang akan datang.



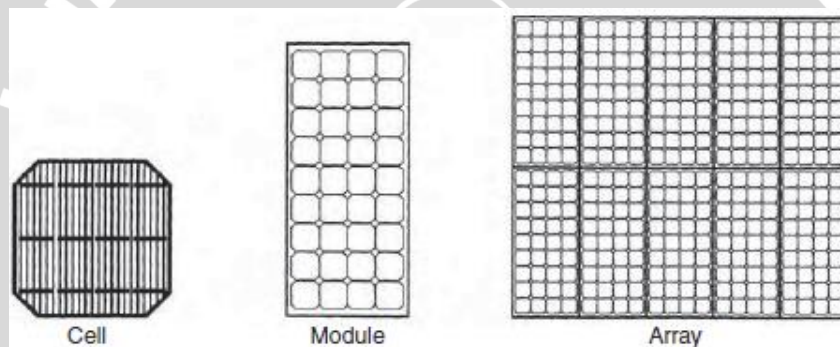
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Solar Cell*

Solar cell atau *photovoltaic cell* merupakan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe P dan tipe N yang mampu merubah energi matahari menjadi energi listrik. Pengertian *photovoltaic* merupakan proses merubah cahaya menjadi energi listrik (Mukund, 2006:163).

Modul *solar cell* terdiri dari beberapa sel yang setiap selnya menghasilkan tegangan antara 0,5 volt sampai 0,6 volt. Beberapa sel disusun secara seri dan paralel untuk mendapatkan daya yang lebih besar (Mukund, 2006:164).



Gambar 2.1. *Cell, module, dan array*
(Sumber: Mukund, 2006)

Solar cell memiliki keuntungan, yaitu:

1. Tidak membutuhkan bahan bakar minyak dan tidak ada gas emisi selama beroperasi, sehingga tidak menyebabkan polusi lingkungan. Energi yang dibutuhkan hanyalah energi matahari yang didapatkan secara gratis. *Solar cell* juga beroperasi tanpa adanya suara yang bising dan tidak ada bagian yang bergerak sehingga dapat mengurangi biaya operasional dan mengurangi pekerjaan *maintenance* untuk pembersihan.
2. Modul *solar cell* terpercaya, stabil, tahan lama, dan memiliki waktu operasi lebih dari 10 tahun karena modul *solar cell* tahan terhadap perubahan cuaca.

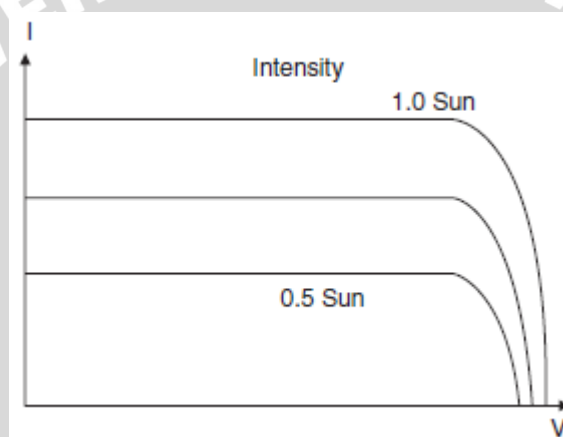
3. Sistem *solar cell* adalah unit modular sehingga dapat dibangun untuk memenuhi kebutuhan perbedaan tenaga yang siap untuk ditambahkan ke sistem yang ada untuk memenuhi kenaikan kebutuhan.

(Mukund, 2006:148)

Solar cell juga memiliki kelemahan, yaitu:

1. Output tenaga tergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterimanya.
2. Hanya menghasilkan tegangan DC.
3. Biaya awal lebih besar dibandingkan dengan sistem pengonversian energi yang lainnya.

(Mukund, 2006:171)



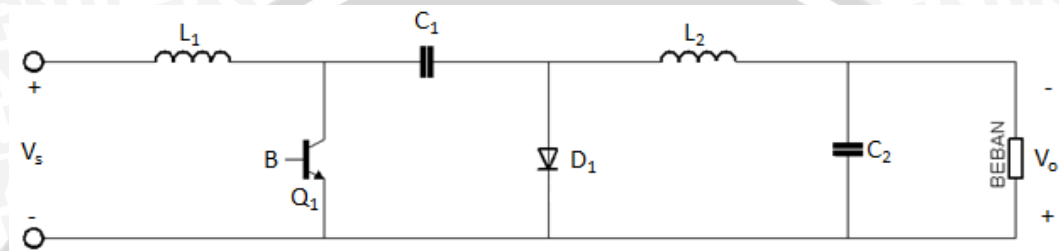
Gambar 2.2. Kurva I-V *Solar Cell*

(Sumber: Mukund, 2006)

Solar cell dapat beroperasi sesuai dengan kurva karakteristik Arus-Tegangan. Terdapat 2 titik penting yaitu tegangan *open circuit* (V_{oc}) dan arus *short circuit* (I_{sc}). *Open Circuit Voltage* (V_{oc}) merupakan tegangan maksimal yang dapat dicapai panel surya pada saat tidak ada arus. Daya pada saat V_{oc} dan I_{sc} adalah 0 watt. *Short Circuit Current* (I_{sc}) adalah arus keluaran maksimal panel surya pada kondisi tidak ada resistansi. *Short circuit current* dapat diukur dengan menghubungkan singkat terminal positif dan negatif dari modul panel surya (Mukund, 2006:167).

2.2 Cuk Converter

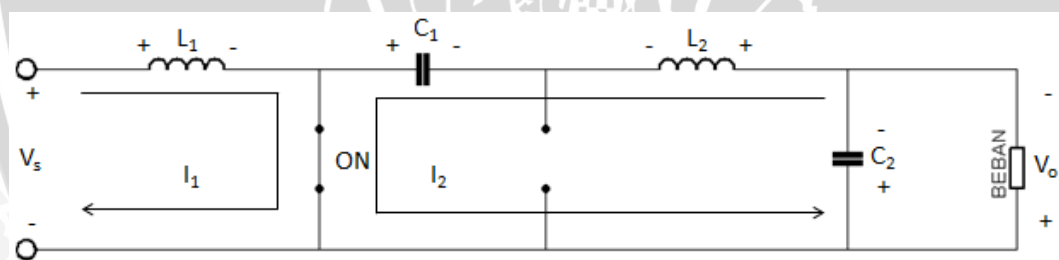
Cuk converter adalah sebuah *boost-buck converter* yang terdiri dari rangkaian *cascade boost converter* yang diikuti dengan rangkaian *buck converter* (Mohammed, 2012:1). Regulator *cuk* atau *cuk converter* merupakan konverter yang menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil ataupun lebih besar dari tegangan masukan, tetapi polaritas tegangan keluaran berlawanan terhadap tegangan masukan (Mohan, 2003:184).



Gambar 2.3. Rangkaian *cuk converter*

(Sumber: Mohan, 2003)

Operasi rangkaian *cuk converter* terbagi menjadi dua kondisi. Kondisi pertama terjadi saat transistor Q_1 bekerja pada mode *on* (saklar menutup) pada saat $t = t_1$.



Gambar 2.4. Rangkaian *cuk converter* saat transistor aktif

(Sumber: Diadaptasi dari Mohan, 2003)

Arus yang melalui induktor akan naik dan kapasitor melepaskan tegangan (*discharge*) sehingga kondisi dioda D_1 *off* karena dibias mundur (*reverse bias*).

Kapasitor C_1 yang melepaskan energinya (*discharge*) mengisi C_2 , beban, dan L_2 .

Analisis loop I_1 :

$$-V_s + V_{L1} = 0$$

$$V_s = V_{L1} = L_1 \frac{\Delta I_1}{t_1}$$

$$\Delta I_1 = \frac{t_1 \cdot V_s}{L_1} \quad (2-1)$$

Analisis loop I_2 :

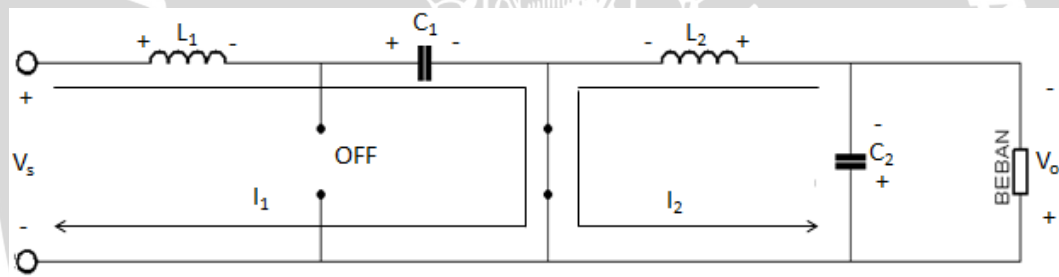
$$-V_{C1} + V_{C2} + V_{L2} = 0, \text{ dengan } V_{C2} = V_o$$

$$V_{L2} = V_{C1} - V_o$$

$$L_2 \frac{\Delta I_2}{t_1} = V_{C1} - V_o$$

$$\Delta I_2 = \frac{V_{C1} - V_o}{L_2} \cdot t_1 \quad (2-2)$$

Kondisi kedua terjadi saat mosfet Q_1 bekerja pada mode *off* (saklar terbuka) pada saat $t = t_2$. Kapasitor C_1 akan mengisi energi (*charge*) dari *supply* input, sedangkan energi yang tersimpan pada L_2 dialirkan menuju ke kapasitor C_2 dan ke beban.



Gambar 2.5. Rangkaian *cuk converter* saat saklar tidak aktif

(Sumber: Diadaptasi dari Mohan, 2003)

Analisis loop I_1 :

$$-V_s + V_{L1} + V_{C1} = 0$$

$$L_1 \frac{\Delta I_1}{t_2} = V_s - V_{C1}$$

$$\Delta I_1 = \frac{V_s - V_{C1}}{L_1} \cdot t_2 \quad (2-3)$$

Analisis loop I_2 :

$$V_{L2} + V_{C2} = 0, \text{ dengan } V_{C2} = V_o$$

$$V_o = -V_{L2} = -L_2 \frac{\Delta I_2}{t_2}$$

$$\Delta I_2 = -\frac{V_o \cdot t_2}{L_2} \quad (2-4)$$

Substitusi persamaan (2-1) dan (2-3) dengan asumsi $t_1 = DT$ dan $t_2 = (1-D)T$:

$$\begin{aligned}
 \Delta I_1 &= \Delta I_1 \\
 \frac{t_1 \cdot V_s}{L_1} &= \frac{V_s - V_{C1}}{L_1} \cdot t_2 \\
 V_s - V_{C1} &= \frac{t_1 \cdot V_s}{t_2} \\
 V_{C1} &= V_s - \frac{t_1 \cdot V_s}{t_2} \\
 V_{C1} &= V_s \left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) \\
 V_{C1} &= V_s \left(\frac{t_2 - t_1}{t_2}\right) \\
 V_{C1} &= V_s \left(\frac{T - DT - DT}{T - DT}\right) \\
 V_{C1} &= V_s \left(\frac{1 - 2D}{1 - D}\right) \quad (2-5)
 \end{aligned}$$

Substitusi persamaan (2-2) dan (2-4) dengan asumsi $t_1 = DT$ dan $t_2 = (1-D)T$:

$$\begin{aligned}
 \Delta I_2 &= \Delta I_2 \\
 \frac{V_{C1} - V_o}{L_2} \cdot t_1 &= -\frac{V_o \cdot t_2}{L_2} \\
 V_{C1} - V_o &= -\frac{V_o \cdot t_2}{t_1} \\
 V_{C1} &= -\frac{V_o \cdot t_2}{t_1} + V_o \\
 V_{C1} &= -V_o \left(\frac{t_2}{t_1} - 1\right) \\
 V_{C1} &= -V_o \left(\frac{t_2 - t_1}{t_1}\right) \\
 V_{C1} &= -V_o \left(\frac{T - DT - DT}{DT}\right) \\
 V_{C1} &= -V_o \left(\frac{1 - 2D}{D}\right) \quad (2-6)
 \end{aligned}$$

Dari persamaan (2-5) dan (2-6) maka didapatkan:

$$\begin{aligned}
 V_{C1} &= V_{C1} \\
 V_s \left(\frac{1 - 2D}{1 - D}\right) &= -V_o \left(\frac{1 - 2D}{D}\right)
 \end{aligned}$$

$$V_o = -\frac{D}{1-D} \cdot V_s \quad (2-7)$$

Berdasarkan persamaan (2-7) diketahui bahwa polaritas tegangan keluaran berbeda fasa terhadap tegangan masukan. Jika diasumsikan sistem ideal sehingga daya masukan sama dengan daya keluaran, maka didapatkan:

$$\begin{aligned} P_s &= P_o \rightarrow V_s \cdot I_s = V_o \cdot I_o \\ V_s \cdot I_s &= -\frac{D}{1-D} \cdot V_s \cdot I_o \\ I_s &= -\frac{D}{1-D} \cdot I_o \end{aligned} \quad (2-8)$$

Dengan $T = t_1 + t_2 = 1/f$, maka persamaan ΔI_1 dapat diperoleh melalui persamaan (2-1) dan (2-3):

$$\begin{aligned} \Delta I_1 &= \frac{t_1 \cdot V_s}{L_1} \rightarrow t_1 = \frac{L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s} \\ \Delta I_1 &= \frac{V_s - V_{C1}}{L_1} \cdot t_2 \rightarrow t_2 = \frac{L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s - V_{C1}} \\ \frac{1}{f} &= T = t_1 + t_2 \rightarrow \frac{L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s} + \frac{L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s - V_{C1}} \\ \frac{1}{f} &= \frac{V_s(L_1 \cdot \Delta I_1) + (V_s - V_{C1})L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s^2 - V_s \cdot V_{C1}} = \frac{2 \cdot V_s(L_1 \cdot \Delta I_1) - V_{C1} \cdot L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s^2 - V_s \cdot V_{C1}} \\ \frac{1}{f} &= \frac{L_1 \cdot \Delta I_1(2 \cdot V_s - V_{C1})}{V_s(V_s - V_{C1})} \\ V_s(V_s - V_{C1}) &= f \cdot L_1 \cdot \Delta I_1(2 \cdot V_s - V_{C1}) \\ \Delta I_1 &= \frac{V_s(V_s - V_{C1})}{L_1 \cdot f(2 \cdot V_s - V_{C1})} \\ \Delta I_1 &= \frac{V_s(V_s - V_s(\frac{1-2D}{1-D}))}{L_1 \cdot f(2 \cdot V_s - V_s(\frac{1-2D}{1-D}))} \\ \Delta I_1 &= \frac{V_s(V_s(\frac{1-D}{1-D}) - V_s(\frac{1-2D}{1-D}))}{L_1 \cdot f(2 \cdot V_s(\frac{1-D}{1-D}) - V_s(\frac{1-2D}{1-D}))} = \frac{\frac{V_s^2(1-D-1+2D)}{1-D}}{L_1 \cdot f \cdot V_s(\frac{(2-2D-1+2D)}{1-D})} \\ \Delta I_1 &= \frac{V_s \cdot D}{L_1 \cdot f \cdot 1} \\ \Delta I_1 &= \frac{V_s \cdot D}{L_1 \cdot f} \end{aligned} \quad (2-9)$$

Persamaan ΔI_2 diperoleh melalui persamaan (2-2) dan (2-4):

$$\begin{aligned}
 \Delta I_2 &= \frac{V_{C1} - V_o}{L_2} \cdot t_1 \rightarrow t_1 = \frac{\Delta I_2 \cdot L_2}{V_{C1} - V_o} \\
 \Delta I_2 &= -\frac{V_o \cdot t_2}{L_2} \rightarrow t_2 = \frac{\Delta I_2 \cdot L_2}{V_o} \\
 \frac{1}{f} &= T = t_1 + t_2 \rightarrow \frac{\Delta I_2 \cdot L_2}{V_{C1} - V_o} + \frac{\Delta I_2 \cdot L_2}{V_o} \\
 \frac{1}{f} &= \frac{V_o \cdot \Delta I_2 \cdot L_2 + (V_{C1} - V_o)(\Delta I_2 \cdot L_2)}{V_o(V_{C1} - V_o)} = \frac{V_{C1} \cdot \Delta I_2 \cdot L_2}{V_o(V_{C1} - V_o)} \\
 V_o(V_{C1} - V_o) &= V_{C1} \cdot \Delta I_2 \cdot L_2 \cdot f \\
 \Delta I_2 &= \frac{V_o(V_{C1} - V_o)}{V_{C1} \cdot L_2 \cdot f} = \frac{V_o \left(-V_o \left(\frac{1-2D}{D} \right) - V_o \right)}{-V_o \left(\frac{1-2D}{D} \right) \cdot L_2 \cdot f} \\
 \Delta I_2 &= \frac{V_o \left(-V_o \left(\frac{1-2D}{D} \right) - \left(\frac{V_o \cdot D}{D} \right) \right)}{-V_o \left(\frac{1-2D}{D} \right) \cdot L_2 \cdot f} = \frac{\left(-V_o \left(\frac{1-2D}{D} \right) - \left(\frac{V_o \cdot D}{D} \right) \right)}{\left(\frac{1-2D}{D} \right) \cdot L_2 \cdot f} \\
 \Delta I_2 &= \frac{-V_o + V_o \cdot 2D - V_o \cdot D}{(1-2D)L_2 \cdot f} = \frac{V_o(-1-D)}{(1-2D)L_2 \cdot f} \\
 \Delta I_2 &= -\frac{V_o(1-D)}{L_2 \cdot f} = \frac{V_s \cdot D}{L_2 \cdot f} \tag{2-10}
 \end{aligned}$$

Saklar *off* atau pada saat $t_2 = (1-D)T$, kapasitor C_1 mengisi muatan dengan rata-rata arus pengisian muatan pada C_1 adalah $I_{C1} = I_s$. Ripple tegangan C_1 adalah

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{C1} &= \frac{1}{C_1} \int_0^{t_2} I_{C1} \cdot dt = \frac{1}{C_1} \int_0^{t_2} I_s \cdot dt = \left[\frac{I_s \cdot t}{C_1} \right]_0^{t_2} = \frac{I_s \cdot t_2}{C_1} \\
 \Delta V_{C1} &= \frac{I_s \cdot (1-D)T}{C_1} = \frac{I_s \cdot (1-D)}{C_1 \cdot f} \\
 \Delta V_{C1} &= \frac{-\frac{D}{1-D} \cdot I_o \cdot (1-D)}{C_1 \cdot f} \\
 \Delta V_{C1} &= -\frac{I_o \cdot D}{C_1 \cdot f} \tag{2-11}
 \end{aligned}$$

Jika arus keluaran merupakan hasil tegangan keluaran dibagi dengan beban

$$I_o = -\frac{V_o}{R}, \text{ maka}$$

$$\Delta V_{C1} = \frac{V_o \cdot D}{C_1 \cdot f}$$

$$\Delta V_{C1} = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_1 \cdot f} \quad (2-12)$$

Ripple arus beban ΔI_o diabaikan, sehingga arus dapat diasumsikan $\Delta I_{L2} = \Delta I_{C2}$. Rata-rata arus pengisian C_2 pada saat $T/2$ adalah $I_{C2} = \Delta I_2/4$ dan rata-rata ripple tegangan pada C_2 , yaitu:

$$\Delta V_{C2} = \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} I_{C2} \cdot dt = \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} \frac{\Delta I_2}{4} \cdot dt = \left[\frac{\Delta I_2 \cdot t}{C_2 \cdot 4} \right]_0^{T/2} = \frac{\Delta I_2 \cdot T/2}{C_2 \cdot 4}$$

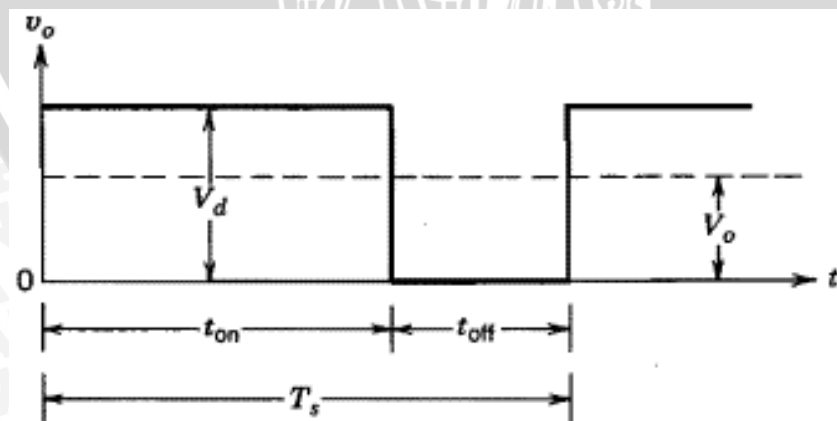
$$\Delta V_{C2} = \frac{\Delta I_2 \cdot T}{8 \cdot C_2} = \frac{\Delta I_2}{8 \cdot C_2 \cdot f} = \frac{V_s \cdot D}{8 \cdot L_2 \cdot f}$$

$$\Delta V_{C2} = \frac{V_s \cdot D}{8 \cdot f^2 \cdot C_2 \cdot L_2} \quad (2-13)$$

(Mohan, 2003:184)

2.3 PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM merupakan sebuah mekanisme untuk membangkitkan sinyal keluaran yang periodenya berulang antara *high* dan *low*. Logika *high* dan *low* dapat dikontrol sesuai penggunaan *duty cycle*. *Duty cycle* merupakan persentase periode sinyal *high* dan periode sinyal *low*, persentase *duty cycle* akan berbanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan (Mohan, 2003:162).



Gambar 2.6. Sinyal PWM
(Sumber: Mohan, 2003)

Duty cycle sebuah gelombang didefinisikan sebagai :

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (2-14)$$

Tegangan keluaran dapat diubah-ubah secara langsung dengan mengubah nilai T_{on} . Apabila T_{on} adalah 0, V_{out} juga akan 0. Apabila T_{on} adalah T_{total} maka V_{out} adalah V_{in} atau nilai tegangan maksimum (Mohan, 2003:163).

PWM bekerja sebagai *switching power supply* untuk mengontrol *on* dan *off* dengan mengatur *duty cycle*. Pengaturan *duty cycle* pada PWM menggunakan *microcontroller*.

2.4 IC Microcontroller ATMEGA 32

Salah satu IC *microcontroller* yang banyak digunakan adalah ATMEGA 32 dari keluarga AVR. AVR merupakan seri *microcontroller* CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register *general-purpose*, *timer/counter* fleksibel dengan *mode compare*, *interrupt internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan *mode power saving*, ADC dan PWM *internal*. AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang mengijinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI (Atmel Corporation, 2003:4).

ATMEGA 32 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat *designer* sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya *versus* kecepatan proses (Atmel Corporation, 2003:3). Beberapa keistimewaan dari AVR ATMEGA32 antara lain:

1. *Microcontroller* AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi, dengan daya rendah.
2. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 MHz.
3. Memiliki kapasitas *flash* memori 32 Kbyte, EEPROM 1024 Byte dan SRAM 2 Kbyte.
4. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *port A*, *port B*, *port C*, dan *port D*.
5. CPU yang terdiri dari 32 buah *register*
6. Unit interupsi *internal* dan *external*.

7. *Port USART* untuk komunikasi serial
8. *Fitur peripheral*
 - a. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan pembandingan.
 - a) 2 (dua) buah *Timer/Counter* 8 bit dengan *prescaler* terpisah dan *Mode Compare*
 - b) 1 (satu) buah *Timer/Counter* 16 bit dengan *prescaler* terpisah, *Mode Compare*, dan *Mode Capture*
 - b. *Real Time Counter* dengan *Oscillator* tersendiri
 - c. 4 *channel* PWM
 - d. 8 *channel*, 10-bit ADC
 - a) 8 *Single-ended Channel*
 - b) 7 *Differential Channel* hanya pada kemasan TQFP
 - c) 2 *Differential Channel* dengan *programmable Gain* 1x, 10x, atau 200x
 - e. *Byte-Oriented Two-wire Serial Interface*
 - f. *Programmable* serial USART
 - g. Antarmuka SPI
 - h. *Watchdog Timer* dengan *oscillator internal*
 - i. *On-chip Analog Comparator*

(Atmel Corporation, 2003:1)

ATMEGA 32 memerlukan sistem minimum agar dapat digunakan sebagai mana mestinya. Ada 3 bagian penting dalam sistem minimum ATMEGA 32, yaitu:

1. *Catu Daya*

Catu daya adalah sumber tegangan yang dibutuhkan sistem minimum. Catu daya yang dibutuhkan oleh sistem minimum ini sebesar 4,5 - 5V.

2. *Clock/Crystal*

Clock/Crystal merupakan hal yang sangat penting dalam rangkaian sistem minimum karena bagian ini yang berfungsi memberikan *clock* untuk berjalannya transfer data.

3. *Reset*

Rangkaian *reset* berfungsi sebagai *interrupt* untuk *set* ke program awal. Ketika pin ini diaktifkan maka program akan berjalan lagi dimulai dari awal.

(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5 (TDI)
(TXD) PD1	15	26	PC4 (TDO)
(INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS)
(INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK)
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP1) PD6	20	21	PD7 (OC2)

Gambar 2.7. Konfigurasi pin ATMEGA 32

(Sumber: Atmel Corporation, 2003)

4. Port A(PA0...PA7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin masukan ADC.
5. Port B (PB0...PB7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin fungsi khusus, seperti dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.1 Fungsi khusus Port B *microcontroller* ATMEGA 32

Pin	Fungsi Khusus
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
PB4	$\overline{SS}$ (SPI Slave Select Input)
PB3	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match Output)
PB2	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt 2 Input)
PB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)

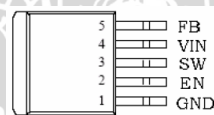
PB0 T0 T1 (Timer/Counter0 External Counter Input)

XCX (USART External Clock Input/Output)

6. AVCC merupakan pin masukan tegangan ADC.
 7. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.
- (Atmel Corporation, 2003:5)

2.5 Rangkaian Boost Converter

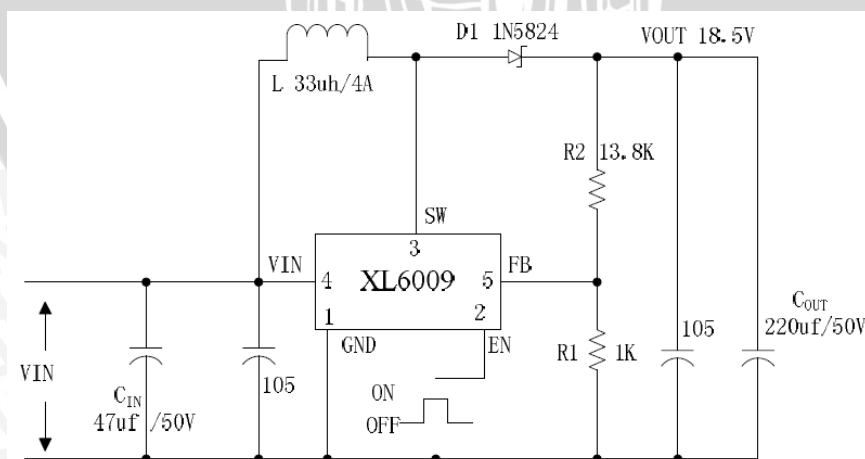
Rangkaian *boost converter* digunakan untuk menaikkan tegangan *accu* sehingga mencapai 15 volt agar dapat men-charge *accu* dan digunakan sebagai *power supply charger* baterai LiPo. Rangkaian *boost converter* didesain menggunakan IC XL6009.



Gambar 2.8. Konfigurasi pin IC XL6009

(Sumber: XLSEMI)

IC XL6009 mempunyai rentang *input* tegangan dari 5 volt sampai 32 volt. XL6009 merupakan DC/DC *converter* yang mampu menghasilkan tegangan *output* positif atau negatif. XL6009 dapat dirangkai membentuk rangkaian *boost*, *flyback*, SEPIC, atau *inverting converter* (XLSEMI, 1).



Gambar 2.9. Rangkaian XL6009

(Sumber: XLSEMI)

Tegangan keluaran dapat diatur melalui persamaan,

$$V_{out} = 1,25(1 + \frac{R_2}{R_1}) \quad (2-15)$$

(XLSEMI, 3)

2.6 *Charger Baterai Lithium Polymer*

Charger baterai LiPo yang digunakan mempunyai spesifikasi *input* tegangan DC sebesar 9 volt sampai 15 volt dan arus DC sebesar 1 A. *Charger* ini dapat digunakan untuk baterai LiPo 2 *cells* dan 3 *cells*.

Charger balancer ini digunakan untuk men-charge baterai LiPo yang tegangannya telah di bawah tegangan yang telah ditetapkan. *Supply* untuk *charger* ini berasal dari *accu* yang telah diisi oleh *solar cell*.

2.7 *Accu yang Digunakan pada Sistem*

Accu (akumulator atau aki) adalah sebuah tempat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Dalam penelitian ini *accu* yang digunakan berjumlah dua buah, yaitu *accu* 12 volt 7AH dan *accu* 12 volt 5,3 AH.



Gambar 2.10. *Accu*
(Sumber : Yuasa, 2014)

2.8 *Baterai Lithium Polymer*

Baterai *Lithium Polymer* (LiPo) tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik *film* tipis. Lapisan *film* ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini baterai LiPo dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan arsitektur baterai LiPo, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran

ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering. Hal ini menyebabkan penurunan pada *charging* dan *discharging rate*.

Tiga kelebihan yang ditawarkan oleh baterai berjenis LiPo dibanding baterai jenis NiCad atau NiMH, yaitu:

1. Baterai LiPo memiliki bobot ringan dan dalam berbagai macam bentuk dan ukuran.
2. Baterai LiPo memiliki kapasitas penyimpanan energi listrik yang besar.
3. Baterai LiPo memiliki tingkat *discharge rate* energi yang tinggi.

Selain keuntungan baterai jenis ini juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu:

1. Harga baterai LiPo tergolong mahal dibandingkan dengan baterai jenis NiCad dan NiMH.
2. Performa yang tinggi dari baterai LiPo harus dibayar dengan umur yang lebih pendek. Usia baterai LiPo sekitar 300-400 kali siklus pengisian ulang. Sesuai dengan perlakuan yang diberikan pada baterai.
3. Baterai LiPo menggunakan bahan elektrolit yang mudah terbakar.
4. Baterai LiPo membutuhkan penanganan khusus agar dapat bertahan lama. *Charging*, *discharging*, dan penyimpanan dapat mempengaruhi usia baterai LiPo.

(Stephan, 2006:1)



Gambar 2.11. Baterai LiPo
(Sumber: Hobbyking, 2014)

2.9 LCD Character 16x2

LCD adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Pada LCD berwarna semacam monitor terdapat banyak sekali titik cahaya (*pixel*) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai sebuah titik cahaya. Walau disebut sebagai titik cahaya, namun kristal cair ini tidak memancarkan cahaya sendiri. Sumber cahaya di dalam sebuah perangkat LCD adalah lampu neon berwarna putih di bagian belakang susunan kristal cair.

Titik cahaya yang jumlahnya puluhan ribu bahkan jutaan inilah yang membentuk tampilan citra. Kutub kristal cair yang dilewati arus listrik akan berubah karena pengaruh polarisasi medan magnetik yang timbul dan oleh karenanya akan hanya membiarkan beberapa warna diteruskan sedangkan warna lainnya tersaring.

LCD (*Liquid Crystal Display*) yang dipakai adalah LCD *Character* 16x2. Pengiriman data ke LCD ada dua macam, yaitu data sebagai instruksi dan data sebagai karakter yang kita tampilkan di *layer*. Keduanya dibedakan oleh sebuah kaki yang diberi nama RS (*Register Select*) dimana bila logika = '1' (*high*) maka data yang diterima LCD adalah data *character* sedangkan bila RS = '0' (*low*) maka data yang diterima LCD adalah data instruksi bagi LCD.

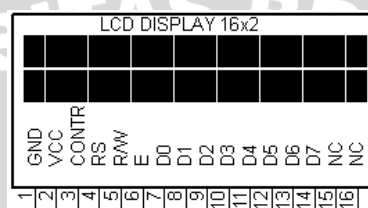
Tabel 2.2 Konfigurasi pin LCD

No. Kaki	Simbol	Level	Fungsi
1	V _{SS}	-	Ground
2	V _{DD}	-	Power supply for logic (+5 volt)
3	V _O	-	Contrast for LCD
4	RS	H/L	Register Selection H : Display data L : Instruksi code
5	R/W	H/L	Read/Write Selection H : Read operation L : Write operation
6	E	H/L	Enable Signal
7	DB0	H/L	In 8-bit mode, used as low order bidirectional data bus.
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	In 4-bit mode, open these terminals.
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	In 8-bit mode, used as high order bidirectional data bus.
12	DB5	H/L	
13	DB6	H/L	In 4-bit mode, used as both high and low order data bus.
14	DB7	H/L	
15	LED A	-	LED Power Supply (+5 volt)
16	LED K	-	LED Power Supply (0 volt)

LCD yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. Terdiri atas 32 karakter yang tersusun atas dua baris (masing-masing 16 karakter) dengan *display* dot matrik 5 x 8
2. Karakter generator ROM dengan 204 tipe karakter
3. Karakter generator RAM dengan 8 tipe karakter
4. Display data RAM ukuran 80 x 8 bit
5. Catu daya +5 volt
6. Reset pada saat *power on*

(Xiamen Amotec Display Co.,LTD, 2008:3)



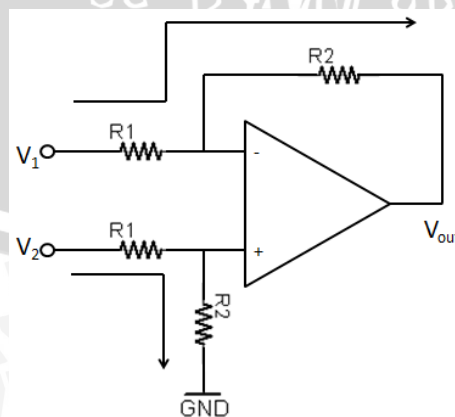
Gambar 2.12. Konfigurasi pin LCD *character* 16x2

(Sumber: Xiamen Amotec Display Co.,LTD, 2008)

2.10 Sensor Tegangan

Sensor tegangan terdiri dari rangkaian pengondisi sinyal yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Tegangan yang telah diturunkan akan diolah oleh *microcontroller*. Rangkaian pengondisi sinyal yang digunakan adalah penguat differensial dasar dan *buffer*.

Persamaan penguat differensial dasar adalah $V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$, yang didapat melalui:



Gambar 2.13. Rangkaian penguat differensial dasar

(Sumber: Diadaptasi dari Carter, 2001)

$$\frac{V_1 - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_{out}}{R_2}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} = \frac{V_-}{R_2} + \frac{V_-}{R_1}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} = \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) V_-$$

$$V_- = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2}}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}$$

$V_- = V_+$, karena *loop* tertutup sehingga:

$$\frac{V_2 - V_+}{R_1} = \frac{V_+ - 0}{R_2}$$

$$V_2 - \frac{\frac{V_1 + \frac{V_{out}}{R_2}}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}}{\frac{R_2 V_1}{R_1} + V_{out}} = \frac{\frac{V_1 + \frac{V_{out}}{R_2}}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}}{\frac{R_2 V_1}{R_1} + V_{out}}$$

$$V_2 R_2 - \frac{\frac{R_2 V_1}{R_1} + V_{out}}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)} = \frac{V_1 + \frac{R_1 V_{out}}{R_2}}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}$$

$$V_2 R_2 = \frac{V_1 + \frac{R_1 V_{out}}{R_2}}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)} + \frac{\frac{R_2 V_1}{R_1} + V_{out}}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}$$

$$V_2 R_2 = \frac{V_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + V_{out} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)}{\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}$$

$$V_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = V_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + V_{out} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$V_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = V_{out} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

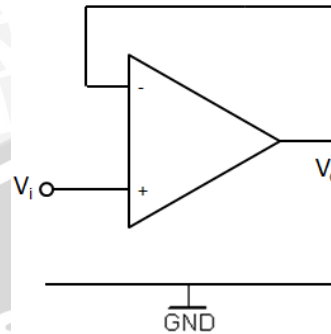
$$V_{out} = \frac{V_2 \left(\frac{R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} \right)}{\left(\frac{R_2}{R_2} + \frac{R_1}{R_2} \right)}$$

$$V_{out} = \frac{(V_2 - V_1) \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right)}{\frac{R_1 + R_2}{R_2}}$$

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \dots\dots\dots (2-16)$$

(Carter, 2001:24)

Persamaan *buffer* adalah $V_o = V_i$, yang didapat melalui:



Gambar 2.14. Rangkaian *buffer*

(Sumber: Carter, 2001)

$V_- = V_+$, karena *loop* tertutup sehingga:

$$V_o = V_i \dots\dots\dots (2-17)$$

(Carter, 2001:49)



BAB III

METODE PENELITIAN

Penyusunan penelitian ini berdasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiannya agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat diuraikan sebagai berikut.

3.1 Studi Literatur

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan studi literatur (*library research*), penelusuran informasi digital, dan wawancara narasumber dengan sasaran tinjauan antara lain:

1. Informasi internet.
2. Pustaka-pustaka referensi.
3. Pustaka penunjang.

Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk mengkaji hal-hal yang berhubungan dengan teori-teori yang mendukung perencanaan dan perealisasiannya alat. Teori-teori yang dikaji adalah sebagai berikut:

1. Teori mengenai rangkaian sensor yang berfungsi merubah besaran fisik menjadi elektrik.
2. Teori umum mengenai *solar cell*.
3. Teori umum mengenai *cuk converter*.
4. Teori umum mengenai *boost converter* yang dirancang menggunakan IC XL6009.
5. Teori umum mengenai sensor tegangan.
6. Teori umum mengenai rangkaian *charger balancer* baterai LiPo.
7. Teori umum mengenai *microcontroller*.
8. Teori umum mengenai transistor.
9. Teori tentang rangkaian keseluruhan sistem.

3.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Penentuan spesifikasi alat ini bertujuan agar dapat membuat sistem sesuai yang diinginkan dan dapat bekerja dengan efektif serta efisien. Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Alat mampu bekerja dengan energi yang diberikan oleh *solar cell* dan energi tersebut disimpan dalam *accu*.
2. Energi listrik yang dihasilkan *solar cell* dapat distabilkan sebesar 15 volt.
3. Alat mampu men-charge *accu* dari *accu* dan men-charge baterai dari *accu*.
4. Robot *management* sampah adalah jenis robot *line follower* yang hanya dapat membedakan garis hitam dan putih.
5. Terdapat sensor tegangan yang dirancang menggunakan penguat differensial dasar dan buffer.
6. LCD yang digunakan adalah LCD *character* 16x2 sebagai penampil.
7. *Solar cell* yang digunakan adalah 50 Wp tipe silikon *polycrystalline*.
8. Penyimpan energi menggunakan *accu* dengan kapasitas 12 volt.
9. Robot *management* sampah menggunakan dua buah *power supply*, yaitu satu buah *accu* 12 volt dan satu buah baterai LiPo 11,1 volt.

3.3 Perancangan dan Perealisasi Alat

Dalam perancangan dan perealisasi alat membahas tentang diagram blok, perencanaan perangkat keras, dan perencanaan perangkat lunak.

3.3.1 Diagram Blok

Pembuatan diagram blok merupakan dasar dari perancangan sistem agar perancangan dan perealisasi alat berjalan secara sistematis.

3.3.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perencanaan perangkat keras meliputi perencanaan rangkaian *cuk converter*, rangkaian *boost converter*, rangkaian sensor tegangan, rangkaian LCD, rangkaian *microcontroller* ATMEGA 32, dan rangkaian transistor.

3.3.2.1. Rangkaian *cuk converter*

Rangkaian *cuk converter* dirancang untuk menstabilkan tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell*. Tegangan yang dihasilkan *solar cell* akan distabilkan menjadi 15 volt.

3.3.2.2. Rangkaian *boost converter*

Rangkaian *boost converter* dirancang untuk menaikkan tegangan *accu 1* agar dapat men-charge *accu 2* dan sebagai *power supply charger* baterai LiPo yang digunakan untuk men-charge baterai LiPo.

3.3.2.3. Rangkaian sensor tegangan

Rangkaian sensor tegangan dirancang menggunakan penguat differensial dasar dan buffer yang berfungsi untuk mengukur nilai tegangan pada *solar cell*, *accu 1*, *accu 2*, dan baterai LiPo.

3.3.2.4. Rangkaian LCD

Rangkaian LCD dibuat agar LCD yang digunakan dapat menampilkan karakter yang diinginkan. Tampilan pada LCD merupakan tegangan pada *solar cell*, *accu 1*, *accu 2*, dan baterai LiPo.

3.3.2.5. Rangkaian ATMEGA 32

Rangkaian ATMEGA 32 merupakan rangkaian sistem minimum agar *microcontroller* dapat berfungsi sesuai yang diharapkan. ATMEGA 32 akan menerima masukan dari sensor tegangan dan akan mengeluarkan data sesuai yang diinginkan *user* yaitu ke arah *cuk converter* yang berupa *duty cycle* PWM, ke arah rangkaian *boost converter*, ke arah LCD, dan mengontrol transistor sebagai saklar elektronik.

3.3.2.6. Rangkaian Transistor

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.

3.3.3 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perencanaan dan pembuatan perangkat lunak digunakan untuk mengendalikan dan mengatur kerja alat. *Design* dan parameter yang telah dirancang kemudian diterapkan pada *microcontroller* ATMEGA 32 dengan menggunakan bahasa C dan *compiler Code Vision AVR*.

3.4 Pengujian Alat

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian sistem. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok pada perancangan *hardware* serta pengujian keseluruhan untuk mengetahui *software* dapat bekerja dengan baik atau tidak.

3.4.1 Pengujian Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada bagian ini pengujian dilakukan pada masing-masing blok. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah masing-masing blok dapat bekerja sesuai dengan fungsinya seperti yang telah direncanakan. Pengujian tersebut meliputi :

3.4.1.1 Pengujian *solar cell*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tegangan *open circuit* (V_{OC}) dan arus *short circuit* (I_{SC}) yang dapat dihasilkan oleh *solar cell*. Pengujian dilakukan pada 1 AM sampai 1.287 AM.

3.4.1.2 Pengujian rangkaian *cuk converter*

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai tegangan masukan yang sama dan nilai *duty cycle* PWM yang berbeda-beda. Jika tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan saat *duty cycle* PWM lebih dari 50% dan tegangan keluaran lebih kecil dari tegangan masukan saat *duty cycle* PWM kurang dari 50% maka rangkaian berfungsi dengan baik.

3.4.1.3 Pengujian *pulse width modulation cuk converter*

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai *duty cycle* PWM yang berbeda-beda pada program *microcontroller* ATMEGA 32. Jika frekuensi PWM yang dihasilkan oleh

microcontroller ATMEGA 32 tidak berubah walaupun nilai *duty cycle* PWM berbeda-beda maka program yang ditulis pada *microcontroller* ATMEGA 32 adalah benar.

3.4.1.4 Pengujian rangkaian *boost converter*

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai tegangan masukan yang sama, nilai R_1 yang sama, dan nilai R_2 yang berbeda-beda. Jika tegangan keluaran sesuai dengan perbandingan antara R_2 dan R_1 maka rangkaian berfungsi dengan baik.

3.4.1.5 Pengujian rangkaian sensor tegangan

Pengujian dilakukan dengan cara memberi nilai tegangan yang berbeda-beda kepada sensor, kemudian akan dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *voltmeter*.

3.4.1.6 Pengujian rangkaian LCD

Pengujian dilakukan dengan cara memberi karakter yang berbeda-beda melalui *software* yang dibuat. Jika LCD dapat menampilkan karakter sesuai dengan yang diberikan maka rangkaian berfungsi dengan baik.

3.4.1.7 Pengujian rangkaian ATMEGA 32

Pengujian bertujuan untuk mengetahui *port-port* dari IC ATMEGA 32 dapat berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan menyambungkan LED pada masing-masing port IC dan diberi logika *high* atau *low*.

3.4.1.8 Pengujian rangkaian transistor

Pengujian bertujuan untuk mengetahui respon transistor jika kaki basis diberi tegangan dan arus. Jika kaki kolektor dan kaki emitor tersambung saat kaki basis diberi tegangan dan arus serta kaki kolektor dan kaki emitor tidak tersambung saat kaki basis tidak diberi tegangan dan arus maka rangkaian berfungsi dengan baik.

3.4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem ini dengan menyambungkan semua *hardware* yang dibuat berdasarkan blok diagram dan memasukkan program berupa *software* yang bekerja untuk mengendalikan *hardware* yang telah dibuat. Sistem bekerja dengan baik jika dapat berjalan sesuai *flowchart* yang telah direncanakan.

3.5 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan didapat berdasarkan hasil perealisasiian sistem *Auto Charger System* Berbasis *Solar Cell* pada Robot *Management Sampah*. Beberapa hal hasil pengujian disampaikan dalam kesimpulan disertai realita yang disusun secara berurutan.



BAB IV

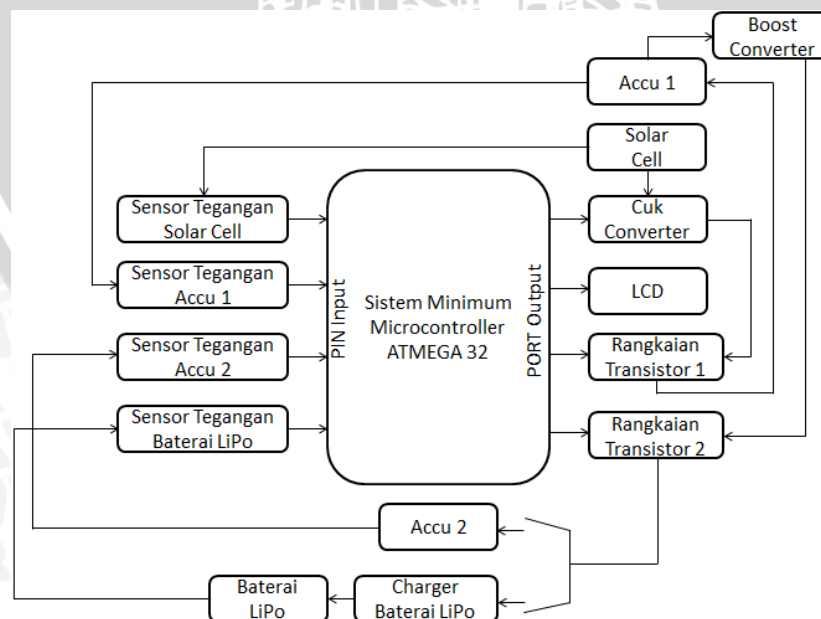
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan ‘Auto Charger System pada Robot Management Sampah Berbasis Solar Cell’ dilakukan secara bertahap sehingga memudahkan dalam analisis setiap bloknya maupun secara keseluruhan. Perancangan ini terdiri atas:

1. Perancangan sistem
2. Perancangan perangkat keras (parameter solar cell, rangkaian cuk converter, rangkaian boost converter, rangkaian sensor tegangan, rangkaian LCD, rangkaian sistem minimum microcontroller, dan rangkaian transistor sebagai saklar elektronik).
3. Perancangan perangkat lunak (software) yang terdiri atas program utama, sub program sensor tegangan solar cell, sub program sensor tegangan accu 1, sub program sensor tegangan accu 2, sub program sensor tegangan baterai LiPo, sub program kontrol duty cycle PWM, sub program sinyal kontrol accu 1, dan sub program sinyal kontrol accu 2 dan baterai LiPo.

4.1 Perancangan Sistem

Diagram blok perancangan ‘Auto Charger System pada Robot Management Sampah Berbasis Solar Cell’ ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. 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 15 volt agar dapat men-charge *accu 2* dan digunakan sebagai *power supply charger* baterai LiPo.
4. *Charger* 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 pemproses 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.

4.2 Perancangan Perangkat Keras

4.2.1 Parameter Solar Cell

Perancangan 'Auto Charger System pada Robot Management Sampah Berbasis Solar Cell' membutuhkan beberapa parameter. Parameter-parameter tersebut didapatkan dari spesifikasi *solar cell* yang digunakan. Parameter *solar cell* ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

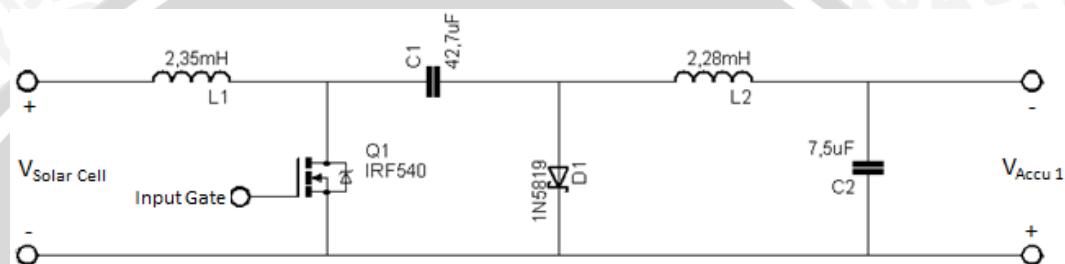
Tabel 4.1. Parameter *solar cell*

Parameter Solar Cell	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

Parameter-parameter yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1 digunakan untuk perancangan rangkaian *cuk converter*.

4.2.2 Perancangan Rangkaian *Cuk Converter*

Cuk converter merupakan rangkaian yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan masukan. Tegangan keluaran rangkaian *cuk converter* berbeda fasa terhadap tegangan masukan. Tegangan keluaran perancangan *cuk converter* diinginkan stabil, yaitu sebesar 15 volt. Rangkaian *cuk converter* terdiri dari 2 kapasitor (C_1 dan C_2) dan 2 buah induktor (L_1 dan L_2). Rangkaian *cuk converter* ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Skema rangkaian *cuk converter*

Polaritas positif *solar cell* dihubungkan dengan kaki induktor $L_1 = 2,35\text{mH}$, sedangkan kaki Induktor $L_1 = 2,35\text{mH}$ yang lain dihubungkan dengan kaki *drain* MOSFET IRF540 dan kaki polaritas positif kapasitor $C_1 = 42,7\mu\text{F}$. Kaki polaritas negatif kapasitor $C_1 = 42,7\mu\text{F}$ dihubungkan dengan kaki anoda dioda *schottky* 1N5819 dan kaki induktor $L_2 = 2,28\text{mH}$. Kaki induktor $L_2 = 2,28\text{mH}$ yang lain dihubungkan dengan kaki polaritas negatif kapasitor $C_2 = 7,5\mu\text{F}$ dan salah satu kaki beban berupa *accu* 1. Polaritas negatif *solar cell* dihubungkan dengan kaki *source* MOSFET IRF540, kaki katoda dioda *schottky* 1N5819, kaki polaritas positif kapasitor $C_2 = 7,5\mu\text{F}$, dan kaki beban yang lain. Kaki *gate* MOSFET IRF540 akan menerima masukan dari rangkaian *driver* MOSFET. Perancangan rangkaian *cuk converter* untuk mendapatkan nilai-nilai dan komponen-komponen yang telah disebutkan adalah sebagai berikut:

4.2.2.1 Perhitungan Induktor

Arus rata-rata yang melewati induktor L_1 sebesar 2,92 ampere yang didapat dari *maximum power current* (I_{mpp}) *solar cell* yang digunakan dan *ripple* arus perancangan sebesar 5%, maka

perubahan arus induktor L_1 (ΔI_1) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta I_1 = 0,05 \cdot I_{L1} = 0,05 \cdot 2,92 = 0,146A$$

Nilai induktor ditentukan melalui perubahan arus induktor yang tidak lebih dari 5% terhadap arus induktor rata-rata, nilai V_s didapatkan dari *nominal voltage* (V_{mpp}) *solar cell*, nilai *duty cycle* (D) sebesar 1 untuk mendapatkan nilai induktor L_1 maksimal, dan nilai frekuensi (f) perancangan sebesar 50kHz. Persamaan (2.9) digunakan untuk mendapatkan nilai induktor L_1 .

$$\Delta I_1 = \frac{V_s \cdot D}{L_1 \cdot f}$$

$$L_1 = \frac{V_s \cdot D}{\Delta I_1 \cdot f}$$

$$L_1 = \frac{17,13 \cdot 1}{0,146 \cdot 50000} = 2,35mH$$

Arus rata-rata yang melewati induktor L_2 yang diinginkan dalam perancangan sebesar 3 ampere dan ripple arus sebesar 5%, maka perubahan arus induktor L_2 (ΔI_2) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta I_2 = 0,05 \cdot I_{L2} = 0,05 \cdot 3 = 0,15A$$

Persamaan (2.10) digunakan untuk mendapatkan nilai induktor L_2 .

$$L_2 = \frac{17,13 \cdot 1}{0,15 \cdot 50000} = 2,28mH$$

4.2.2.2 Perhitungan Kapasitor

Tegangan rata-rata yang melewati kapasitor C_1 sebesar:

$$V_{C1} = V_s + V_o = 17,13 + 15 = 32,13V$$

V_s adalah *nominal voltage* (V_{mpp}) *solar cell* dan V_o adalah tegangan keluaran yang diinginkan dalam perancangan.

Diinginkan *ripple* tegangan pada kapasitor C_1 tidak lebih dari 5% sehingga nilai *ripple* tegangan maksimumnya sebesar:

$$\Delta V_{C1} = 0,05 \times 32,13 = 1,6V$$

Nilai P_o didapat dari *maximum power* (P_{max}) *solar cell*, maka nilai R pengganti beban sebesar:

$$R = \frac{V_o^2}{P_o} = \frac{15^2}{50} = 4,5\Omega$$

Nilai C_1 dapat dihitung menggunakan persamaan (2-12)

$$\Delta V_{C1} = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_1 \cdot f}$$

$$C_1 = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot \Delta V_{C1} \cdot f}$$

$$C_1 = \frac{15.1}{4.5.1,6.50000} = 42,7\mu F$$

Nilai C_2 didapatkan menggunakan persamaan (2-13)

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

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

$$C_2 = \frac{V_s \cdot D}{8 \cdot f^2 \cdot \frac{\Delta V_o}{V_o} \cdot L_2}$$

$$C_2 = \frac{17,13.1}{8.50000^2.0,05.(2.28.10^{-3})} = 7,5\mu F$$

Pengaruh frekuensi pada perancangan adalah semakin besar frekuensi yang digunakan maka semakin kecil *ripple* arus induktor L_1 dan L_2 serta semakin kecil *ripple* tegangan kapasitor C_1 dan C_2 .

4.2.2.3 Pemilihan Dioda

Dioda yang digunakan adalah dioda *Schottky* karena memiliki tegangan maju yang rendah dan memiliki *reverse recovery time* yang cepat. Saat kondisi dioda *off*, maka *maximum*

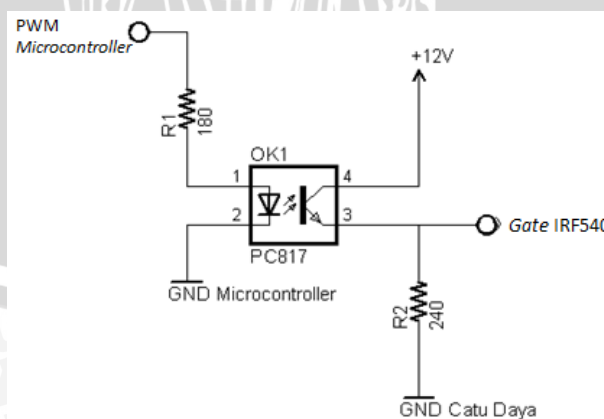
peak repetitive reverse voltage (V_{RRM}) dioda sama dengan tegangan rata-rata kapasitor (C_1), yaitu $V_{C1} = V_{RRM} = 32,13$ volt. Digunakan dioda tipe 1N5819 karena memiliki *maximum peak repetitive reverse voltage* (V_{RRM}) sebesar 40 volt.

4.2.2.4 Perancangan Rangkaian Driver MOSFET

Driver MOSFET digunakan untuk membangkitkan pulsa *gate* MOSFET pada rangkaian *cuk converter* serta memisahkan tegangan 5 volt *microcontroller* dengan tegangan 12 volt untuk *gate* MOSFET. *Optocoupler* yang digunakan tipe PC817 yang berfungsi sebagai pengaman *microcontroller* jika terjadi arus balik dari rangkaian *cuk converter*. *Optocoupler* PC817 memiliki *rise time* sebesar 4 μs dan *fall time* sebesar 3 μs sehingga dapat meneruskan sinyal dengan frekuensi tinggi. *Optocoupler* PC817 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. *Rise time* = 4 μs
2. *Fall time* = 3 μs
3. $I_F = 20$ mA
4. $V_{Fmax} = 1,4$ V
5. $I_{Cmax} = 50$ mA
6. $V_{CEmax} = 0,2$ V

Didapatkan perancangan *driver* MOSFET seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Skema rangkaian *driver* MOSFET

Pin OCR1A *microcontroller* merupakan pin yang menghasilkan PWM. Pin ini dihubungkan dengan kaki resistor $R_1 = 180\Omega$, sedangkan kaki resistor $R_1 = 180\Omega$ yang lain dihubungkan dengan pin 1 (anoda) PC817. Pin 2 (katoda) PC817 dihubungkan dengan *ground microcontroller*. Pin 4 (kolektor) PC817 dihubungkan dengan catu daya +12V. Pin 3 (emitor) PC817 dihubungkan dengan kaki resistor $R_2 = 240\Omega$ dan sebagai *output* yang akan dihubungkan dengan kaki *gate* MOSFET IRF540, sedangkan kaki resistor $R_2 = 240\Omega$ yang lain dihubungkan dengan *ground* catu daya. Perancangan rangkaian *driver* MOSFET untuk mendapatkan nilai-nilai dan komponen-komponen yang telah disebutkan adalah sebagai berikut:

Nilai resistor pada kaki anoda PC817 didapatkan menggunakan Persamaan (4-1):

$$-V_{PWM \text{ microcontroller}} + I_F \cdot R_1 + V_{Fmax} = 0 \quad (4-1)$$

$$-5 + (20 \cdot 10^{-3}) \cdot R_1 + 1,4 = 0$$

$$-3,6 = -(20 \cdot 10^{-3}) \cdot R_1$$

$$R_1 = \frac{-3,6}{-(20 \cdot 10^{-3})} = 180\Omega$$

Nilai resistor pada kaki emitor PC817 didapatkan menggunakan Persamaan (4-2):

$$-12 + V_{CE \text{ saturasi}} + I_{Cmax} \cdot R_2 = 0 \quad (4-2)$$

$$-12 + 0 + (50 \cdot 10^{-3}) \cdot R_2 = 0$$

$$R_2 = \frac{-12}{-(50 \cdot 10^{-3})} = 240\Omega$$

4.2.2.5 Pemilihan MOSFET

Tegangan *drain-source* (V_{DS}) MOSFET dapat mencapai 17,13 volt didapat dari *nominal voltage* (V_{mpp}) *solar cell*. Digunakan MOSFET tipe IRF540 dengan nilai maksimum $I_D = 28A$ dan $V_{DS} = 100V$.

4.2.2.6 PWM Cuk Converter

Gelombang PWM yang dihasilkan oleh *microcontroller* merupakan fitur 16-bit *Timer/Counter* 1 yang dioperasikan pada *Fast Correct PWM mode*. Frekuensi yang dibutuhkan 50kHz dengan komponen *crystal* yang terpasang pada mikrokontroler sebesar 11,0592MHz serta menggunakan *prescaler* (N) sebesar 1. Berdasarkan *datasheet* ATMEGA 32 nilai TOP pada *Fast Correct PWM mode* ditunjukkan dalam Persamaan (4-3):

$$(TOP + 1) = \frac{f_{clk/O}}{N \cdot f_{PWM}} \quad (4-3)$$

$$(TOP + 1) = \frac{11,0592 \cdot 10^6}{1 \cdot 50^3}$$

$$(TOP + 1) = 221,184$$

$$TOP = 220,184 \approx 220$$

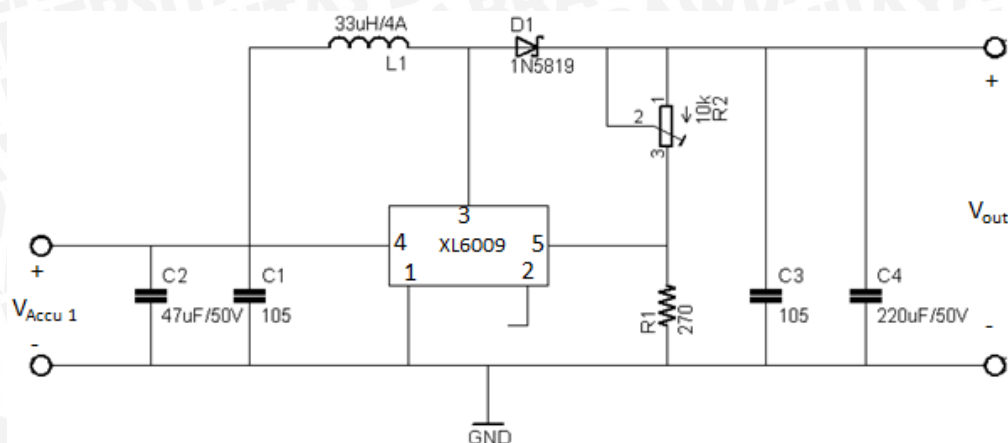
Nilai *duty cycle* dikeluarkan pada pin OCR1A, maka nilai TOP dimasukan pada *register* ICR1 dan perubahan *duty cycle* dimasukan pada *register* OCR1A. Nilai *duty cycle* dipengaruhi oleh nilai TOP. Semakin kecil nilai resolusi *duty cycle* tiap bit, maka semakin akurat nilai *duty cycle* dalam bentuk digital. Besar *range* OCR1A sama dengan nilai TOP sehingga resolusi dari perubahan *duty cycle* setiap bit sebesar:

$$Resolusi_{duty\ cycle} = \frac{100\ \%}{220} = 0.45\%/bit$$

Artinya setiap kenaikan 1 bit maka nilai *duty cycle* akan naik sebesar 0.45%.

4.2.3 Perancangan Rangkaian Boost Converter

Perancangan rangkaian *boost converter* menggunakan IC XL6009. Rangkaian *boost converter* digunakan untuk men-charge *accu* 2 dan sebagai *power supply charger* baterai LiPo. Perancangan *boost converter* sesuai dengan *datasheet* IC XL6009 ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Skema rangkaian *boost converter*

Polaritas positif *accu* 1 dihubungkan dengan kaki polaritas positif kapasitor $C_2 = 47\mu\text{F}$, kaki polaritas positif kapasitor $C_1 = 1\mu\text{F}$ (105), salah satu kaki induktor $L_1 = 33\mu\text{H}$, dan pin 4 (V_{in}) XL6009. Kaki induktor $L_1 = 33\mu\text{H}$ yang lain dihubungkan dengan pin 3 (SW) dan kaki anoda dioda *schottky* 1N5819. Kaki katoda dioda *schottky* 1N5819 dihubungkan dengan kaki 1 dan 2 *variable* resistor $10\text{k}\Omega$, kaki polaritas positif kapasitor $C_3 = 1\mu\text{F}$ (105), kaki polaritas positif kapasitor $C_4 = 220\mu\text{F}$, dan salah satu kaki beban. Kaki 3 *variable* resistor $10\text{k}\Omega$ dihubungkan dengan salah satu kaki resistor $R_1 = 270\Omega$ dan pin 5 (FB) XL6009. Pin 2 (EN) XL6009 dibiarkan ambang yang menyebabkan nilai *default* pin 2 (EN) XL6009 adalah *high*. Polaritas negatif *accu* 1 dihubungkan dengan kaki polaritas negatif kapasitor $C_2 = 47\mu\text{F}$, kaki polaritas negatif kapasitor $C_1 = 1\mu\text{F}$ (105), pin 1 (GND) XL6009, kaki yang lain resistor $R_1 = 270\Omega$, kaki polaritas negatif kapasitor $C_3 = 1\mu\text{F}$ (105), kaki polaritas negatif kapasitor $C_4 = 220\mu\text{F}$, dan kaki beban yang lain.

Tegangan Masukan berasal dari *accu* 1 dan tegangan keluaran (V_{out}) *boost converter* dibuat konstan, yaitu sebesar 15 volt. Berdasarkan *datasheet*, tegangan keluaran (V_{out}) *boost converter* ditunjukkan dalam Persamaan (4-4):

$$V_{out} = 1,25 \cdot (1 + \frac{R_2}{R_1}) \quad (4-4)$$

Nilai R_1 ditetapkan sebesar 270Ω , sehingga didapatkan nilai R_2 sebesar:

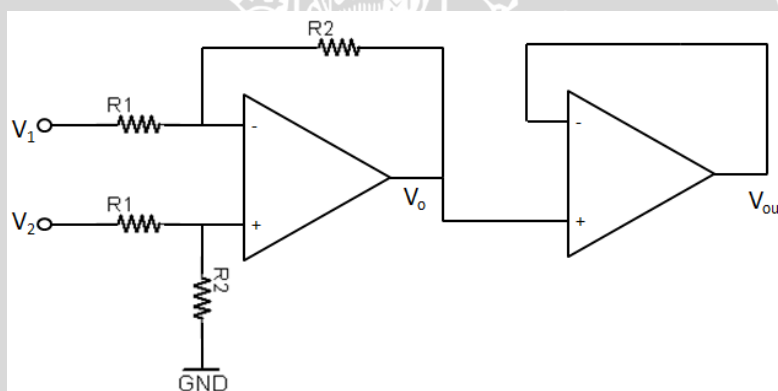
$$15 = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{270}\right)$$

$$11 = \frac{R_2}{270}$$

$$R_2 = 2970\Omega$$

4.2.4 Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan berjumlah 4 buah. Sensor tegangan berfungsi untuk mengetahui nilai tegangan pada *solar cell*, tegangan *accu* 1, tegangan *accu* 2, dan tegangan baterai LiPo serta berfungsi sebagai penurun tegangan agar nilai tegangan yang dihasilkan dapat diproses oleh *microcontroller*. Rangkaian sensor tegangan ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Skema rangkaian sensor tegangan

Sensor tegangan dirancang menggunakan rangkaian penguat differensial dasar dan *buffer* yang memiliki penguatan (*gain*) sebesar 1 kali. Nilai R_1 dan R_2 didapat menggunakan Persamaan (2-16):

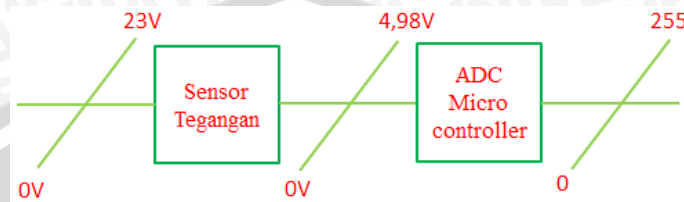
$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Nilai $V_1 = 0V$, maka didapatkan Persamaan (4-5):

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_2 \quad (4-5)$$

4.2.4.1 Sensor Tegangan Solar Cell dan Sensor Tegangan Accu 1

Sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1 dirancang agar *microcontroller* dapat memproses tegangan yang besarnya 0 volt sampai 23 volt. Bit ADC ATMEGA 32 dalam perancangan digunakan 8 bit ADC.



Gambar 4.6. Diagram pemrosesan sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1

Tegangan masukan *microcontroller* didapatkan menggunakan Persamaan (4-6):

$$V_{in \text{ ADC microcontroller}} = V_{ref \text{ ADC microcontroller}} \cdot \left(\frac{2^n - 1}{2^n}\right) \quad (4-6)$$

$$V_{in \text{ ADC microcontroller}} = 5 \cdot \left(\frac{2^8 - 1}{2^8}\right) = 4,98V$$

Persamaan (4-7) digunakan untuk mencari resolusi ADC (*analog to digital converter*) *microcontroller*.

$$Resolusi_{ADC \text{ microcontroller}} = \frac{V_{ref \text{ ADC microcontroller}}}{2^n} \quad (4-7)$$

$$Resolusi_{ADC \text{ microcontroller}} = \frac{5}{2^8} = 0,0195V/bit$$

Artinya setiap kenaikan 1 bit, maka tegangan *input microcontroller* akan naik sebesar 0,0195 volt.

Nilai R_1 dan R_2 didapatkan menggunakan Persamaan (4-5).

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_2$$

$$4,98 = \frac{R_2}{R_1} \cdot 23$$

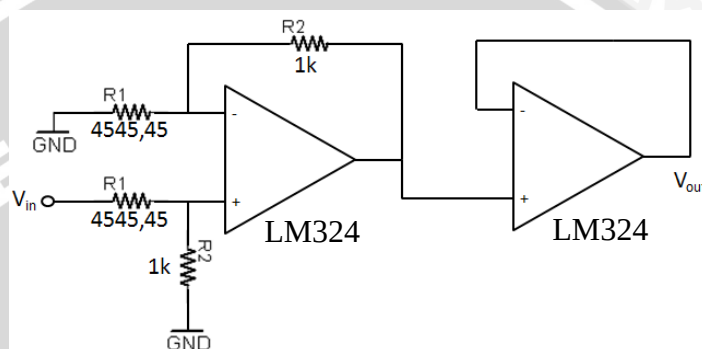
$$0,22 = \frac{R_2}{R_1}$$

Ditetapkan nilai $R_2 = 1k\Omega$, maka nilai R_1 sebesar:

$$0,22 = \frac{1000}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{1000}{0,22} = 4545,45\Omega$$

Perancangan sensor tegangan *solar cell* dan sensor tegangan *accu* 1 ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



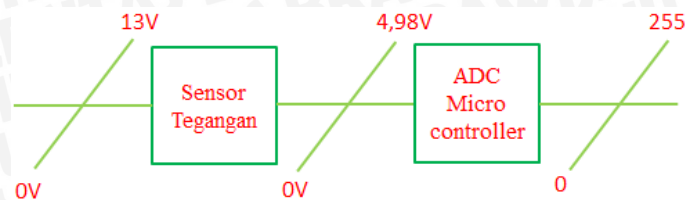
Gambar 4.7. Skema rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1

Pin *non inverting* penguat differensial dasar dihubungkan dengan salah satu kaki resistor $4545,45\Omega$ dan salah satu kaki resistor $1k\Omega$. Kaki resistor $4545,45\Omega$ yang lain dihubungkan dengan tegangan masukan, sedangkan kaki resistor $1k\Omega$ yang lain dihubungkan dengan *ground*. Pin *inverting* penguat differensial dasar dihubungkan dengan salah satu kaki resistor $4545,45\Omega$ dan salah satu kaki resistor $1k\Omega$. Kaki resistor $4545,45\Omega$ yang lain dihubungkan dengan *ground*, sedangkan kaki resistor $1k\Omega$ yang lain dihubungkan dengan pin *output* penguat differensial dasar dan Pin *non inverting* buffer. Pin *inverting* buffer dihubungkan dengan pin *output* buffer.

4.2.4.2 Sensor Tegangan Accu 2 dan Sensor Tegangan Baterai

LiPo

Sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo dirancang agar *microcontroller* dapat memproses tegangan yang besarnya 0 volt sampai 13 volt. Bit ADC ATMEGA 32 dalam perancangan digunakan 8 bit ADC.



Gambar 4.8. Diagram pemrosesan sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo

Nilai R_1 dan R_2 didapatkan menggunakan Persamaan (4-5).

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_2$$

$$4,98 = \frac{R_2}{R_1} \cdot 13$$

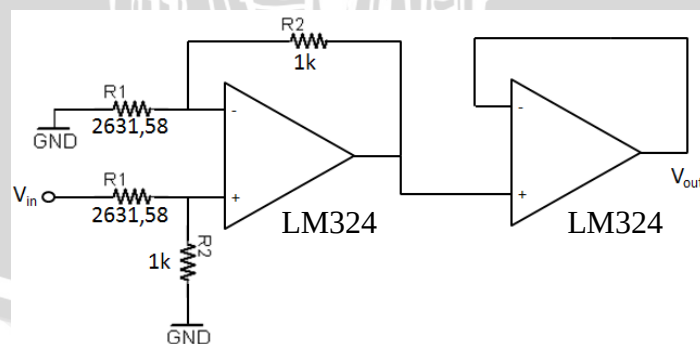
$$0,38 = \frac{R_2}{R_1}$$

Ditetapkan nilai $R_2 = 1k\Omega$, maka nilai R_2 sebesar:

$$0,38 = \frac{1000}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{1000}{0,38} = 2631,58\Omega$$

Perancangan sensor tegangan *accu* 2 dan sensor tegangan baterai LiPo ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Skema rangkaian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo

Pin *non inverting* penguat differensial dasar dihubungkan dengan salah satu kaki resistor $2631,58\Omega$ dan salah satu kaki

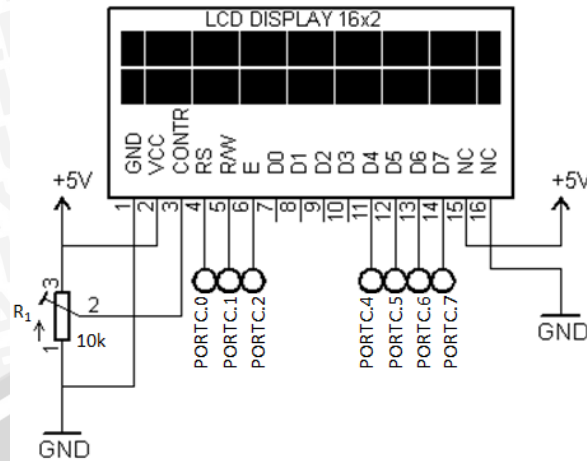
resistor $1k\Omega$. Kaki resistor $2631,58\Omega$ yang lain dihubungkan dengan tegangan masukan, sedangkan kaki resistor $1k\Omega$ yang lain dihubungkan dengan *ground*. Pin *inverting* penguat differensial dasar dihubungkan dengan salah satu kaki resistor $2631,58\Omega$ dan salah satu kaki resistor $1k\Omega$. Kaki resistor $2631,58\Omega$ yang lain dihubungkan dengan *ground*, sedangkan kaki resistor $1k\Omega$ yang lain dihubungkan dengan pin *output* penguat differensial dasar dan pin *non inverting buffer*. Pin *inverting buffer* dihubungkan dengan pin *output buffer*.

4.2.5 Perancangan Rangkaian LCD

Pada perancangan sistem ini menggunakan LCD *character* 16x2 modul ADM1602K yang merupakan sebuah LCD dot matriks yang membutuhkan daya kecil. LCD modul ADM1602K dilengkapi dengan tingkat kontras yang tinggi dan dapat diatur kecerahannya. Spesifikasi LCD modul ADM1602K sebagai berikut:

1. Memiliki 16 karakter dengan 2 baris tampilan yang terdiri atas 5x7 dot matriks ditambah dengan kursor.
2. Catu daya yang dibutuhkan sebesar 5V.
3. *Automatic reset* saat dinyalakan.
4. 80x8 *display* RAM (maksimal 80 karakter).
5. Menggunakan 4 bit data dan 3 bit kontrol.
6. *Adjustable contrast* dan *backlight*.

Skema rangkaian LCD modul ADM1602K dengan *microcontroller* ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Skema Rangkaian LCD

Perancangan LCD diinginkan agar kontras LCD dapat diatur, maka dipasang sebuah *variable* resistor pada pin kontras sebagai pengatur tegangan. Pin 1 LCD dihubungkan dengan pin 16 LCD, kaki 1 *variable* resistor dan *ground*. Pin 2 LCD dihubungkan dengan pin 15 LCD, kaki 3 *variable* resistor, dan catu daya +5V. Pin 3 LCD dihubungkan dengan kaki 2 *variable* resistor. Pin 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14 LCD masing-masing dihubungkan dengan PORTC.0, PORTC.1, PORTC.2, PORTC.4, PORTC.5, PORTC.6, dan PORTC.7 *microcontroller*. Pin 7, 8, 9, 10 LCD dibiarkan ambang.

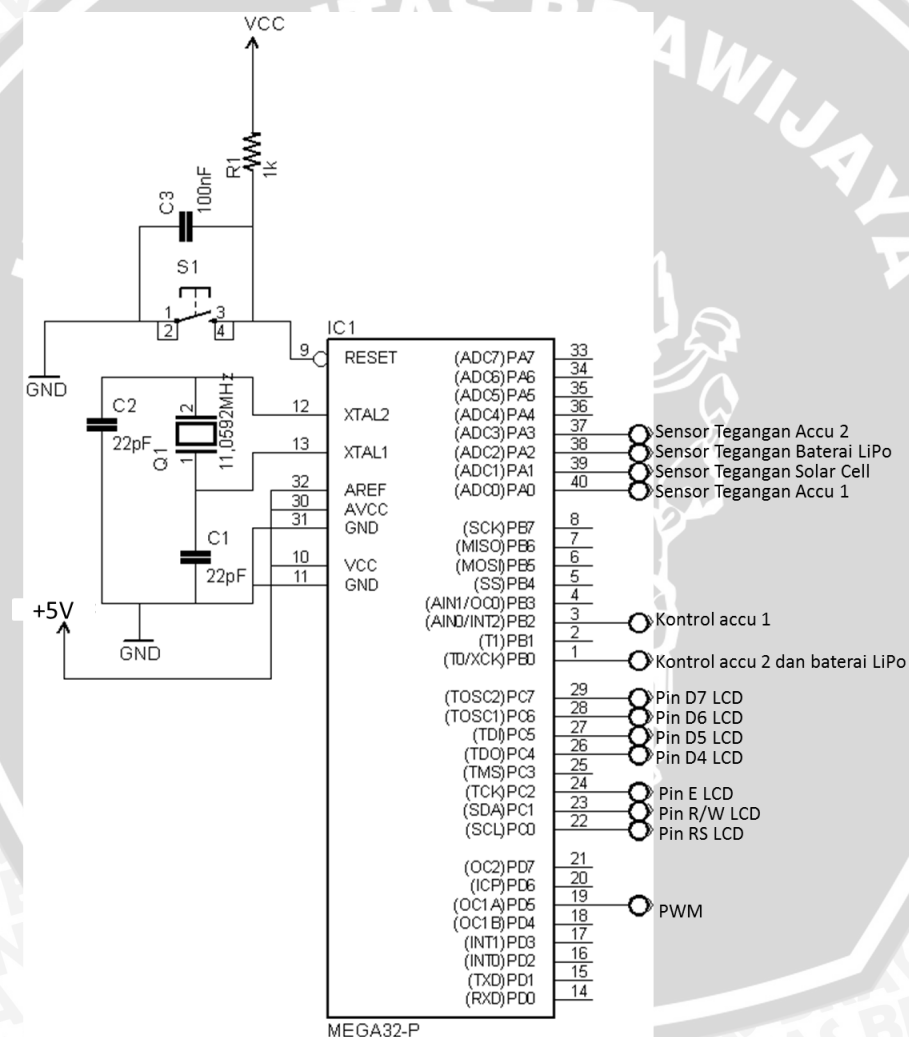
4.2.6 Perancangan Sistem Minimum *Microcontroller*

Microcontroller yang digunakan dalam perancangan 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*. Fungsi setiap pin sistem minimum *microcontroller* ATMEGA 32 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.

Microcontroller menggunakan kristal eksternal sebesar 11,0592MHz yang dihubungkan dengan kapasitor sebesar 22pF sesuai *datasheet* ATMEGA 32. Mode *reset* pada sistem minimum ATMEGA 32 disusun menggunakan resistor dan kapasitor yang dihubungkan dengan pin *Reset* pada *microcontroller*. Rangkaian sistem minimum *microcontroller* ATMEGA 32 ditunjukkan Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Konfigurasi pin sistem minimum ATMEGA 32

Pin AREF, AVCC, VCC *microcontroller*, salah satu kaki resistor $R_1 = 1k\Omega$ dihubungkan dengan catu daya +5V. Pin GND *microcontroller* dihubungkan dengan salah satu kaki kapasitor $C_1 = 22pF$, salah satu kaki

kapasitor $C_2 = 22\text{pF}$, salah satu kaki kapasitor $C_3 = 100\text{nF}$, dan salah satu kaki *tact switch*. Kaki kapasitor $C_3 = 100\text{nF}$ yang lain dihubungkan dengan kaki resistor $R_1 = 1\text{k}\Omega$ yang lain, kaki *tact switch* yang lain, dan pin *reset microcontroller*. Kaki kapasitor $C_1 = 22\text{pF}$ yang lain dihubungkan dengan kaki 1 *crystal* 11,0592MHz dan pin XTAL1 *microcontroller*. Kaki kapasitor $C_2 = 22\text{pF}$ yang lain dihubungkan dengan kaki 2 *crystal* 11,0592MHz dan pin XTAL2 *microcontroller*. PIN ADC.0, ADC.1, ADC.2, dan ADC.3 masing-masing dihubungkan ke rangkaian sensor tegangan *accu* 1, rangkaian sensor tegangan *solar cell*, rangkaian sensor tegangan baterai LiPo, dan rangkaian sensor tegangan *accu* 2. Pin 4 (RS), 5(R/W), 6 (E), 11 (D4), 12(D5), 13(D6), 14(D7) LCD masing-masing dihubungkan dengan PORTC.0, PORTC.1, PORTC.2, PORTC.4, PORTC.5, PORTC.6, dan PORTC.7 *microcontroller*. PORTD.5 (OCR1A) yang menghasilkan PWM dihubungkan ke rangkaian *driver* MOSFET. PORTB.0 dan PORTB.2 *microcontroller* masing-masing dihubungkan dengan rangkaian transistor *accu* 2 dan baterai LiPo dan rangkaian transistor *accu* 1.

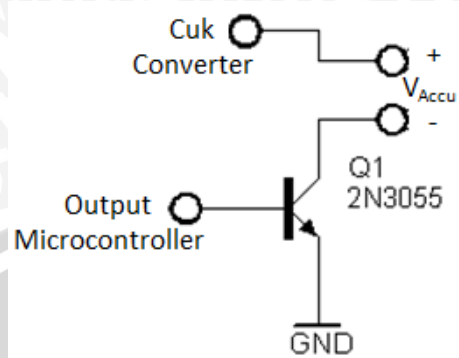
4.2.7 Perancangan Rangkaian Transistor

Rangkaian transistor berguna sebagai saklar elektronik yang akan menghubungkan antara keluaran *cuk converter* dengan *accu* 1, *boost converter* dengan *accu* 2, dan *boost converter* dengan *charger* baterai LiPo. Transistor akan aktif jika sensor tegangan mengukur tegangan *accu* 1, *accu* 2, atau baterai LiPo di bawah 10 volt. Transistor yang digunakan adalah tipe 2N3055. Transistor 2N3055 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. $I_{C\text{ Max}} = 15\text{A}$
2. $V_{CE\text{ Max}} = 60\text{V}$
3. $I_{B\text{ Max}} = 7\text{A}$
4. $h_{fe} = 70$

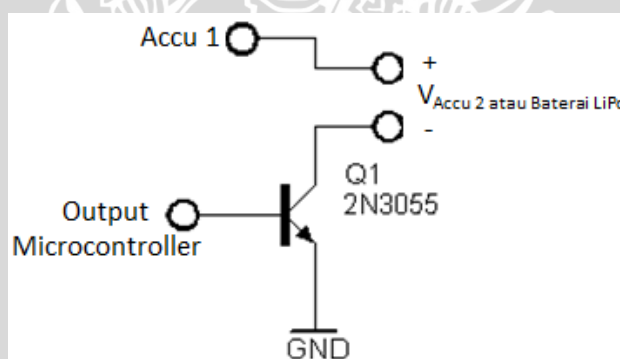
Rangkaian transistor yang menghubungkan antara keluaran *cuk converter* dan *accu* 1 ditunjukkan dalam Gambar 4.12. Rangkaian

transistor yang menghubungkan antara keluaran *accu* 1 dengan *accu* 2
accu 1 dengan *charger* baterai LiPo ditunjukkan dalam Gambar 4.13.



Gambar 4.12. Skema rangkaian transistor *cuk converter* ke *accu* 1

Output rangkaian *cuk converter* dihubungkan dengan polaritas positif *accu* 1, sedangkan polaritas negatif *accu* 1 dihubungkan dengan kaki kolektor transistor 2N3055. Kaki basis transistor 2N3055 dihubungkan dengan PORTB.2 *microcontroller*, sedangkan kaki emitor transistor 2N3055 dihubungkan dengan *ground*.



Gambar 4.13. Skema rangkaian transistor *accu* 1 ke *accu* 2 atau baterai LiPo

Polaritas positif *accu* 1 dihubungkan dengan polaritas positif *accu* 2 atau baterai LiPo, sedangkan polaritas negatif *accu* 2 atau baterai LiPo dihubungkan dengan kaki kolektor transistor 2N3055. Kaki basis transistor 2N3055 dihubungkan dengan PORTB.0 *microcontroller*, sedangkan kaki emitor transistor 2N3055 dihubungkan dengan *ground*.

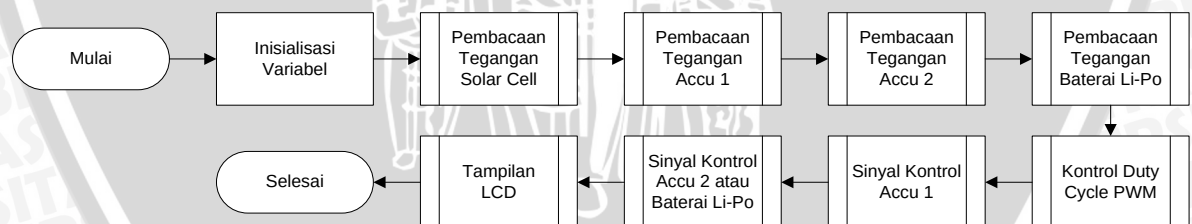
Arus keluaran *microcontroller* sebesar 40mA sehingga tidak diperlukan resistor pada kaki basis untuk membatasi arus. Transistor 2N3055 akan aktif jika ada sinyal kontrol yang dikeluarkan oleh

microcontroller. *Microcontroller* yang mengeluarkan sinyal *high* akan menghasilkan tegangan yang mendekati V_{cc} *microcontroller* sebesar 5 volt dan arus keluaran 40mA. Dalam Gambar 4.10, jika transistor aktif maka minus *cuk converter* akan terhubung dengan minus *accu* 1 yang menandakan bahwa dilakukannya proses *charging*. Dalam Gambar 4.11, jika transistor aktif maka minus *accu* 1 akan terhubung dengan minus *accu* 2 atau minus *charger* baterai LiPo yang menandakan bahwa dilakukannya proses *charging*.

4.3 Perancangan Perangkat Lunak

4.3.1 Program Utama

Tujuan program utama adalah mengatur urutan kerja sistem yang diwujudkan dengan melalui algoritma sehingga sistem mampu menjalankan fungsinya dengan baik. Tugas yang harus dikerjakan oleh program utama meliputi pengambilan data sensor tegangan *accu* 1, *accu* 2, dan baterai LiPo. Data hasil pembacaan menjadi acuan agar *microcontroller* memberikan sinyal *low* atau *high* kepada rangkaian transistor dan memberikan *duty cycle* PWM kepada rangkaian *cuk converter* agar tegangan keluaran *cuk converter* sebesar 15 volt. Algoritma program utama ditunjukkan dalam Gambar 4.14.

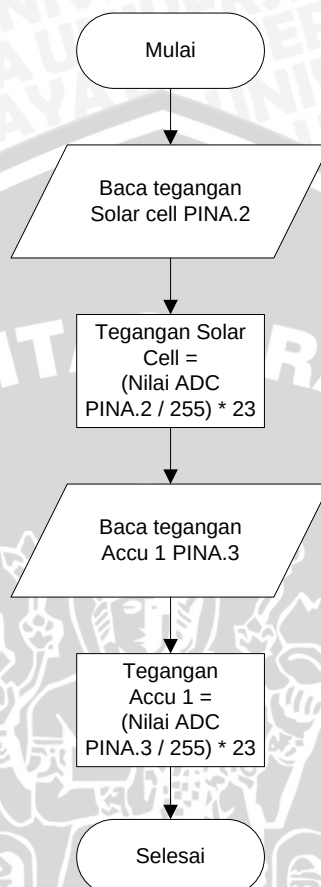


Gambar 4.14. Flow chart algoritma program utama

4.3.2 Sub Program Sensor Tegangan Solar Cell dan Accu 1

Pembacaan tegangan pada *solar cell* dan *accu* 1 melalui rangkaian penguat differensial dasar dan *buffer* memiliki rentang tegangan antara 0 volt sampai 5 volt yang mewakili tegangan *solar cell* dan *accu* 1 sebesar 0 volt sampai 23 volt. Data tersebut akan diubah menjadi bentuk digital menggunakan fitur ADC yang ada pada *microcontroller* ATMEGA 32.

Resolusi yang digunakan adalah 8 bit, sehingga data ADC *solar cell* dan *accu* 1 berada dalam range 0-255. Algoritma *sub* program sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1 ditunjukkan dalam Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Flow chart algoritma *sub* program sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1

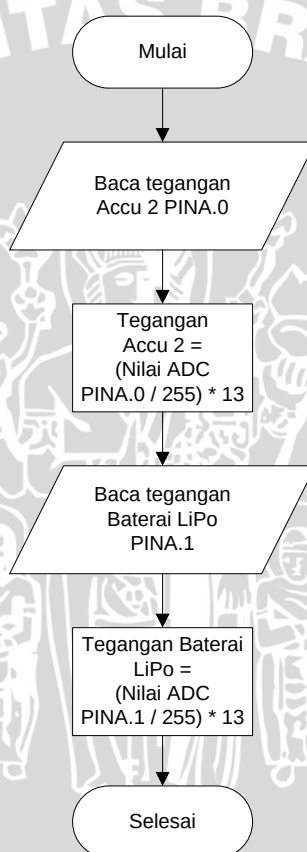
Rentang besaran hasil konversi ADC ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Rentang hasil konversi ADC sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1

$V_{solar\ cell\ atau\ accu\ 1}$	Keluaran Sensor Tegangan (volt)	Data Sensor Tegangan
Rentang Tegangan 0-23V	$V_o = 0,22 \cdot V_{in}$ Rentang Tegangan 0-5V	$V_o = \frac{Nilai\ ADC}{255} \cdot 23$ Rentang Tegangan 0-23V

4.3.3 Sub Program Sensor Tegangan Accu 2 dan Baterai LiPo

Pembacaan tegangan pada *accu 2* dan baterai LiPo melalui rangkaian penguat differensial dasar dan *buffer* memiliki rentang tegangan antara 0 volt sampai 5 volt yang mewakili tegangan *accu 2* dan baterai LiPo sebesar 0 volt sampai 13 volt. Data tersebut akan diubah menjadi bentuk digital menggunakan fitur ADC yang ada pada *microcontroller* ATMEGA 32. Resolusi yang digunakan adalah 8 bit, sehingga data ADC *accu 2* dan baterai LiPo berada dalam range 0-255. Algoritma *sub program* sensor tegangan *accu 2* dan baterai LiPo ditunjukkan dalam Gambar 4.16.



Gambar 4.16. Flow chart algoritma *sub program* sensor tegangan *accu 2* dan baterai LiPo

Rentang besaran hasil konversi ADC ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Rentang hasil konversi ADC sensor tegangan *accu 2* dan baterai LiPo

$V_{accu\ 2\ atau\ baterai}$	Keluaran Sensor	Data Sensor
LiPo	Tegangan (volt)	Tegangan
Rentang	$V_o = 0,38.V_{in}$	$V_o = \frac{Nilai\ ADC}{255} . 13$

Tegangan	Rentang Tegangan	Rentang Tegangan
0-13V	0-5V	0-13V

4.3.4 Sub Program Kontrol Duty Cycle PWM

Tegangan yang dihasilkan *solar cell* sangat bergantung pada intensitas cahaya yang diterima, oleh karena itu diperlukan tegangan yang konstan untuk men-charge *accu* 1 sebesar 15 volt yang didapatkan menggunakan rangkaian *cuk converter* dengan mengatur nilai *duty cycle*. Nilai *duty cycle* dapat ditentukan secara otomatis oleh *microcontroller* mengacu pada persamaan (2-7) dan memasukkan nilai parameter ADC *solar cell* yang dikeluarkan melalui pin ORC1A. Nilai ADC tegangan keluaran 15 volt didapatkan melalui:

$$ADC_{15V} = \frac{15}{23} \cdot 255 = 166,34 \approx 166$$

Nilai *duty cycle* ditentukan menggunakan persamaan (2-7):

$$V_o = -\frac{D}{1-D} \cdot V_s$$

$$ADC_{15V} = -\frac{D}{1-D} \cdot ADC_{out}$$

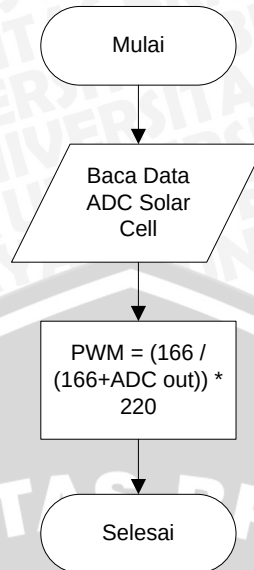
$$166 = -\frac{D}{1-D} \cdot ADC_{out}$$

$$D = \frac{166}{166 + ADC_{out}}$$

Range PWM yang digunakan sebesar 0-220. Nilai *duty cycle* mempengaruhi nilai PWM yang digunakan. Nilai PWM yang digunakan ditunjukkan dalam Persamaan (4-8).

$$PWM = \frac{166}{166 + ADC_{out}} \cdot 220 \quad (4-8)$$

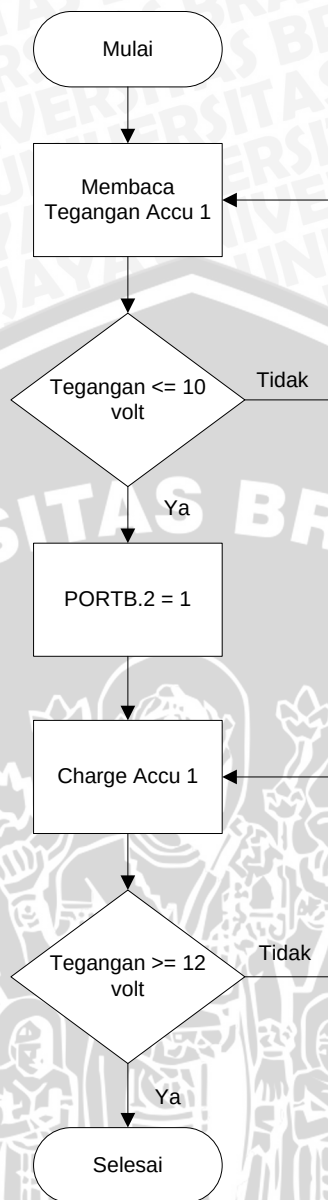
Persamaan (4-8) diolah oleh *microcontroller* sehingga diperoleh tegangan konstan pada keluaran *cuk converter*. *Flow chart* sub program kontrol *duty cycle* PWM ditunjukkan dalam Gambar 4.17.



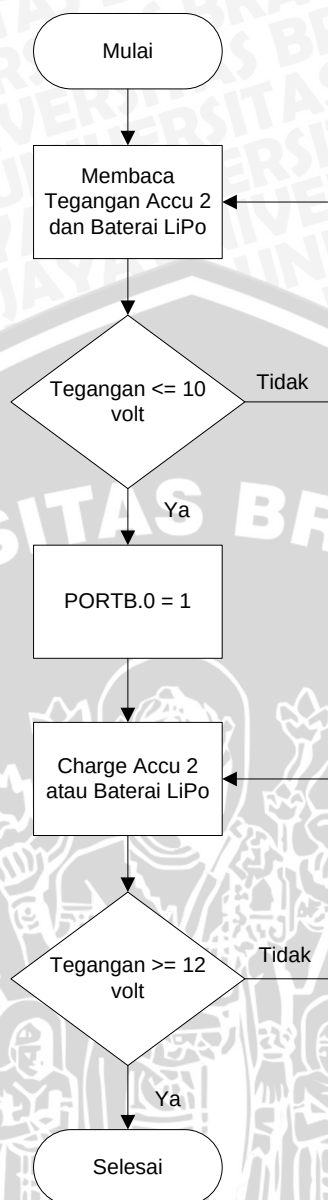
Gambar 4.17. Flow chart algoritma sub program kontrol duty cycle PWM

4.3.5 Sub Program Sinyal Kontrol Transistor

Pembacaan sensor tegangan mempengaruhi *microcontroller* yang akan mengeluarkan sinyal *low* atau *high* ke arah rangkaian transistor. Sinyal kontrol *accu* 1 akan berlogika *high* jika tegangan *accu* 1 dibawah 10 volt. Sinyal kontrol *accu* 2 dan baterai LiPo akan berlogika *high* jika tegangan *accu* 2 atau baterai LiPo dibawah 10 volt. Flow chart algoritma sinyal kontrol *accu* 1 ditunjukkan dalam Gambar 4.18. Flow chart algoritma sinyal kontrol *accu* 2 dan baterai LiPo ditunjukkan dalam Gambar 4.19.



Gambar 4.18. Flow chart algoritma sub program sinyal kontrol accu 1



Gambar 4.19. Flow chart algoritma sub program sinyal kontrol accu 2 dan baterai LiPo

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok kemudian secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian *solar cell*.
2. Pengujian rangkaian *cuk converter*.
3. Pengujian *pulse width modulation cuk converter*.
4. Pengujian rangkaian *boost converter*.
5. Pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu 1*.
6. Pengujian rangkaian sensor tegangan *accu 2* dan baterai LiPo.
7. Pengujian rangkaian transistor.
8. Pengujian keseluruhan sistem.

Pengujian masing-masing blok akan membandingkan antara teori dan praktek. Setiap pengujian akan dihasilkan error rata-rata yang didapat menggunakan Persamaan (5-2).

$$\text{Selisih (\%)} = \frac{|\text{Teori} - \text{Praktek}|}{\text{Teori}} \cdot 100\% \quad (5-1)$$

$$\text{Error rata - rata (\%)} = \frac{\sum_{n=1}^n \text{Selisih (\%)}}{n} \quad (5-2)$$

5.1 Pengujian Solar Cell

5.1.1 Tujuan

Tujuan pengujian *solar cell* untuk mengetahui arus *short circuit* (I_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) yang dihasilkan *solar cell*. Pengujian dilakukan hari Sabtu, 15 Maret 2014 pada kondisi suhu lingkungan 25°C , saat 1-1.287 AM. Lokasi pengujian berada di 7.949386 LS dan 112.611912 BT.

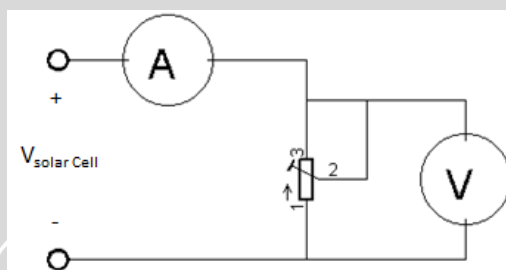
5.1.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian *solar cell* sebagai berikut:

1. *Solar cell* 50 Wp tipe *polycrystalline*.
2. Amperemeter.
3. *Variable Resistor*.
4. Voltmeter.

5.1.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur arus *short circuit* (I_{SC}) dan tegangan *open circuit* (V_{OC}) yang dihasilkan *solar cell*. Rangkaian pengujian *solar cell* ditunjukkan dalam Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Rangkaian pengujian *solar cell*

Prosedur pengujian *solar cell* sebagai berikut:

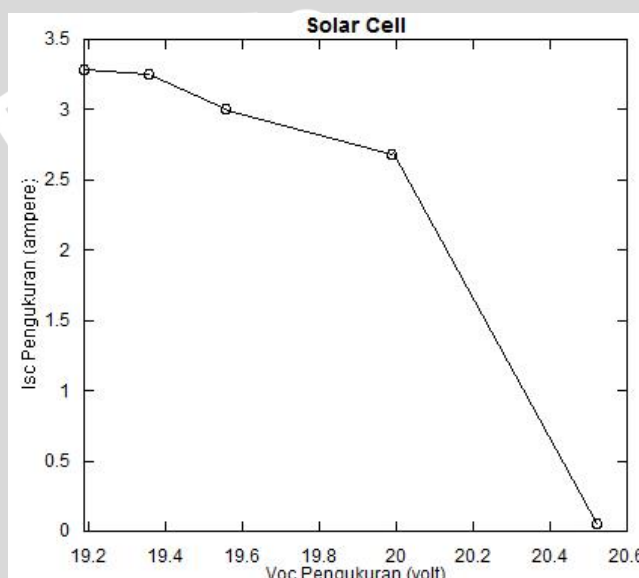
1. Rangkai rangkaian pengujian *solar cell* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.1.
2. Pengukuran arus *short circuit* (I_{SC}) dilakukan dengan cara mengatur nilai *variable resistor* hingga nilai resistansinya sebesar 0Ω .
3. Pengukuran tegangan *open circuit* (V_{OC}) dilakukan dengan cara mengatur nilai *variable resistor* hingga nilai resistansinya sangat besar.

5.1.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian *solar cell* menghasilkan arus *short circuit* (I_{SC}) dan tegangan *open circuit* (V_{OC}) seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.1 dan Gambar 5.2.

Tabel 5.1. Hasil pengujian *solar cell*

Intensitas Cahaya (LUX)	I _{SC} Pengukuran (ampere)	V _{OC} Pengukuran (volt)
45300	0,049	20,52
72200	2,68	19,99
83500	3,01	19,56
93500	3,25	19,36
87400	3,28	19,19



Gambar 5.2. Grafik pengujian *solar cell*

Tabel 5.2. Perbandingan nilai parameter *solar cell*

Parameter <i>Solar Cell</i>	Nilai Spesifikasi	Nilai Pengukuran
Short Circuit Current (I _{SC})	3,12A	3,28A
Open Circuit Voltage (V _{OC})	21,63V	20,52V

Arus *short circuit* (I_{SC}) *solar cell* yang digunakan sebesar 3,12 ampere, sedangkan arus *short circuit* (I_{SC}) maksimum pengukuran sebesar 3,28 ampere seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.2, sehingga dapat disimpulkan terdapat perbedaan sebesar 0,16 ampere dari hasil pengukuran. Tegangan *open circuit* (V_{OC}) *solar cell* yang digunakan sebesar 21,63 volt, sedangkan tegangan *open circuit* (V_{OC}) maksimum pengukuran sebesar 20,52 volt seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.2,

sehingga dapat disimpulkan terdapat perbedaan sebesar 1,11 volt dari hasil pengukuran.

5.2 Pengujian Rangkaian *Cuk Converter*

5.2.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian *cuk converter* untuk mengetahui apakah rangkaian *cuk converter* dapat mengeluarkan tegangan sesuai Persamaan (2-7).

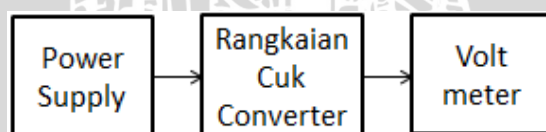
5.2.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian *cuk converter* sebagai berikut:

1. *Power supply*.
2. Rangkaian *cuk converter*.
3. Voltmeter.

5.2.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran rangkaian *cuk converter*. Diagram blok pengujian rangkaian *cuk converter* ditunjukkan dalam Gambar 5.3.



Gambar 5.3. Diagram blok pengujian rangkaian *cuk converter*

Prosedur pengujian rangkaian *cuk converter* sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian *cuk converter* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.3.
2. Tegangan *power supply* yang digunakan sebesar 10 volt. Tegangan *power supply* sebagai tegangan masukan rangkaian *cuk converter*.
3. Atur *duty cycle* yang digunakan rangkaian *cuk converter*.
4. Ukur tegangan keluaran rangkaian *cuk converter* menggunakan voltmeter.

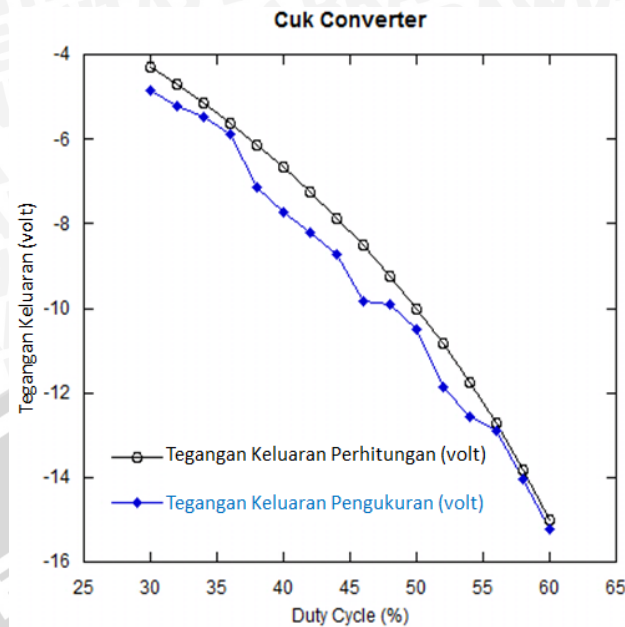
5. Ulangi langkah 3 dengan nilai *duty cycle* yang bervariasi.

5.2.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian rangkaian *cuk converter* menghasilkan tegangan keluaran yang berbeda fasa dengan tegangan masukan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.3 dan Gambar 5.4.

Tabel 5.3. Hasil pengujian rangkaian *cuk converter*

Duty Cycle (%)	V _o Perhitungan (volt)	V _o Pengukuran (volt)	Selisih (volt)	Error (%)
30	-4,29	-4,83	0,54	12,70
32	-4,71	-5,20	0,49	10,50
34	-5,15	-5,46	0,31	5,99
36	-5,63	-5,88	0,26	4,53
38	-6,13	-7,12	0,99	16,17
40	-6,67	-7,73	1,06	15,95
42	-7,24	-8,22	0,98	13,51
44	-7,86	-8,73	0,87	11,11
46	-8,52	-9,82	1,30	15,28
48	-9,23	-9,89	0,66	7,14
50	-10,00	-10,51	0,51	5,10
52	-10,83	-11,87	1,04	9,57
54	-11,74	-12,57	0,83	7,08
56	-12,73	-12,88	0,15	1,20
58	-13,81	-14,03	0,22	1,60
60	-15,00	-15,22	0,22	1,47
Error Rata-rata				8,68



Gambar 5.4. Grafik pengujian rangkaian *cuk converter*

Pengujian rangkaian *cuk converter* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 8,68% dan selisih tegangan antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 1,3 volt.

5.3 Pengujian *Pulse Width Modulation Cuk Converter*

5.3.1 Tujuan

Tujuan pengujian PWM *cuk converter* untuk mengetahui apakah PWM yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan yaitu sebesar 50 kHz dengan nilai *duty cycle* yang bervariasi.

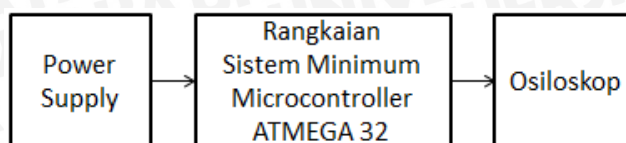
5.3.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian PWM *cuk converter* sebagai berikut:

1. *Power supply*
2. Rangkaian sistem minimum ATMEGA 32.
3. Osiloskop.

5.3.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan pin OCR1A *microcontroller* dengan osiloskop. Diagram blok pengujian PWM *cuk converter* ditunjukkan dalam Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Diagram blok pengujian PWM *cuk converter*

Prosedur pengujian PWM *cuk converter* sebagai berikut:

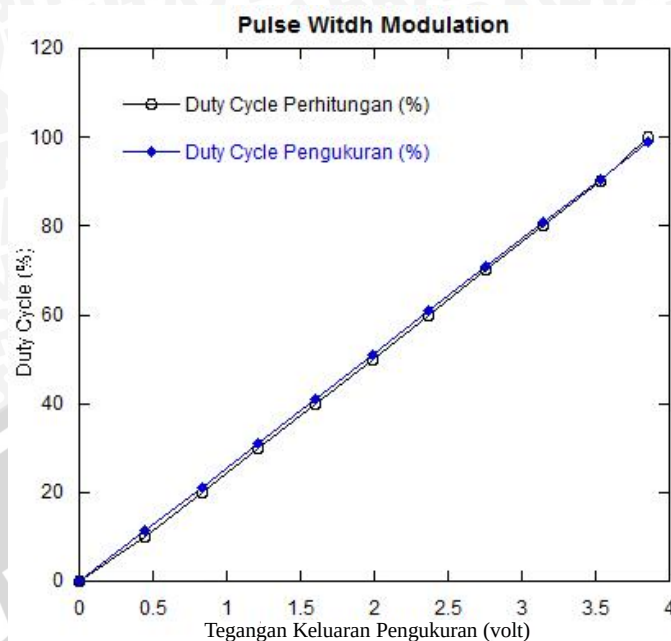
1. Rangkai rangkaian pengujian PWM *cuk converter* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.5.
2. Tulis *microcontroller* dengan *duty cycle* PWM yang bervariasi.
3. Hasil pengujian PWM *cuk converter* dapat dilihat pada osiloskop.

5.3.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian PWM *cuk converter* menghasilkan sinyal dengan frekuensi 50kHz. Hasil pengujian PWM *cuk converter* ditunjukkan dalam Tabel 5.4 dan Gambar 5.6.

Tabel 5.4. Hasil pengujian PWM *cuk converter*

V _o Pengukuran (volt)	Duty Cycle Pengukuran (%)	Duty Cycle Perhitungan (%)	Selisih (%)	Error (%)
0	0	0	0	0
0,44	11,28	10	1,28	12,82
0,83	21,21	20	1,21	6,03
1,21	31,03	30	1,03	3,42
1,60	41,03	40	1,03	2,56
1,99	51,03	50	1,03	2,05
2,37	60,77	60	0,77	1,28
2,76	70,77	70	0,77	1,10
3,15	80,77	80	0,77	0,96
3,53	90,51	90	0,51	0,57
3,86	98,97	100	1,03	1,03
Error Rata-rata				2,89

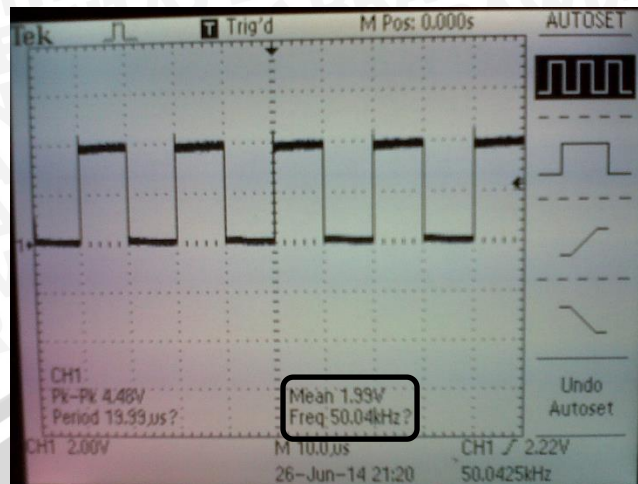


Gambar 5.6. Grafik pengujian PWM cuk converter

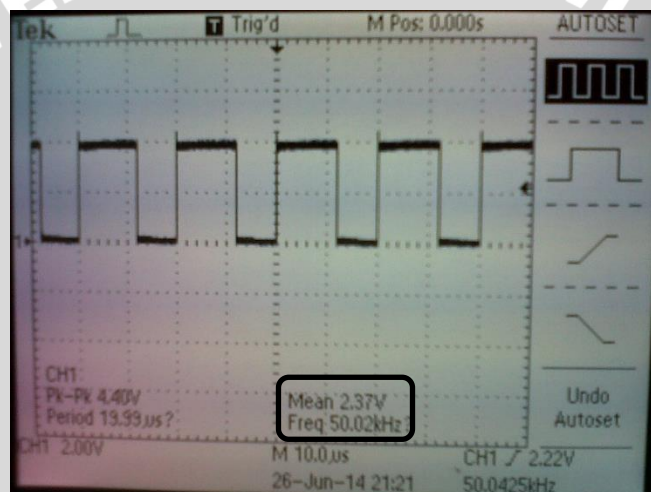
Bentuk gelombang PWM dengan *duty cycle* 40% ditunjukkan dalam Gambar 5.7. Bentuk gelombang PWM dengan *duty cycle* 50% ditunjukkan dalam Gambar 5.8. Bentuk gelombang PWM dengan *duty cycle* 60% ditunjukkan dalam Gambar 5.9.



Gambar 5.7. Hasil pengujian *duty cycle* PWM 40%



Gambar 5.8. Hasil pengujian *duty cycle* PWM 50%



Gambar 5.9. Hasil pengujian *duty cycle* PWM 60%

Pengujian PWM *cuk converter* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 2,89% dan selisih *duty cycle* antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 1,28%.

5.4 Pengujian Rangkaian *Boost Converter*

5.4.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian *boost converter* untuk mengetahui apakah rangkaian *boost converter* dapat mengeluarkan tegangan sesuai Persamaan (2-15).

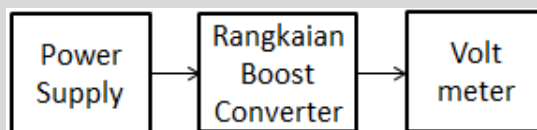
5.4.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian *boost converter* sebagai berikut:

1. *Power supply*.
2. Rangkaian *boost converter*.
3. Voltmeter.

5.4.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran rangkaian *boost converter*. Diagram blok pengujian *boost converter* ditunjukkan dalam Gambar 5.10.



Gambar 5.10. Diagram blok pengujian rangkaian *boost converter*

Prosedur pengujian rangkaian *boost converter* sebagai berikut:

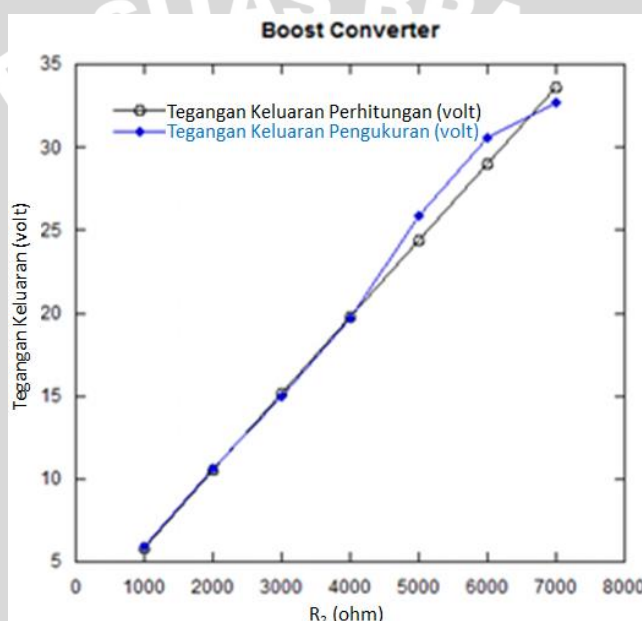
1. Rangkai rangkaian pengujian *boost converter* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.10.
2. Tegangan *power supply* yang digunakan sebesar 5 volt. Tegangan *power supply* sebagai tegangan masukan rangkaian *boost converter*.
3. Nilai R_1 ditetapkan sebesar 270Ω .
4. Nilai R_2 diatur bervariasi.
5. Tegangan keluaran *boost converter* diukur menggunakan voltmeter.

5.4.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian rangkaian *boost converter* menghasilkan tegangan keluaran sesuai Persamaan (2-15) seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.5 dan Gambar 5.11.

Tabel 5.5. Hasil pengujian rangkaian *boost converter*

R_2 (ohm)	V_o Perhitungan (volt)	V_o Pengukuran (volt)	Selisih (volt)	Error (%)
1000	5,88	5,90	0,02	0,35
2000	10,51	10,62	0,11	1,05
3000	15,14	14,95	0,19	1,26
4000	19,77	19,65	0,12	0,61
5000	24,40	25,91	1,51	6,20
6000	29,03	30,55	1,52	5,24
7000	33,66	32,67	0,99	2,93
Error Rata-rata				2,52



Gambar 5.11. Grafik pengujian rangkaian *boost converter*

Pengujian rangkaian *boost converter* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 2,52% dan selisih tegangan antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 1,52 volt.

5.5 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan *Solar Cell* dan *Accu 1*

5.5.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu 1* untuk mengetahui apakah rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu 1* dapat mengukur tegangan dengan *range* 0 volt sampai 23 volt.

5.5.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1:

1. *Power supply*.
2. Sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1.
3. Voltmeter.

5.5.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1. Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1 ditunjukkan dalam Gambar 5.12.



Gambar 5.12. Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1

Prosedur pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1 sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.12.
2. Tegangan *power supply* diatur bervariasi. Tegangan *power supply* sebagai tegangan masukan rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1.
3. Tegangan keluaran rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1 diukur menggunakan voltmeter.

5.5.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell* dan *accu* 1 yang digunakan untuk mengukur tegangan 0 volt sampai 23 volt diubah menjadi 0 volt sampai 5 volt agar dapat diproses oleh *microcontroller*. Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell* ditunjukkan dalam Tabel

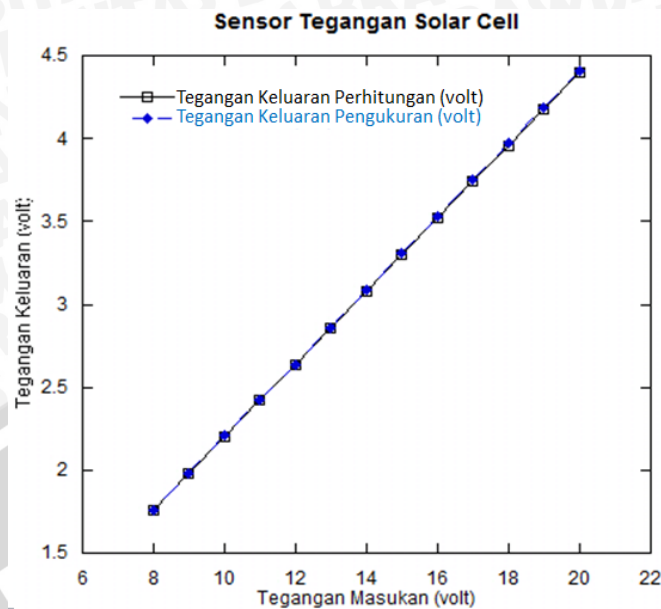
5.6 dan Gambar 5.13. Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan *accu* 1 ditunjukkan dalam Tabel 5.7 dan Gambar 5.14.

Tabel 5.6. Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell*

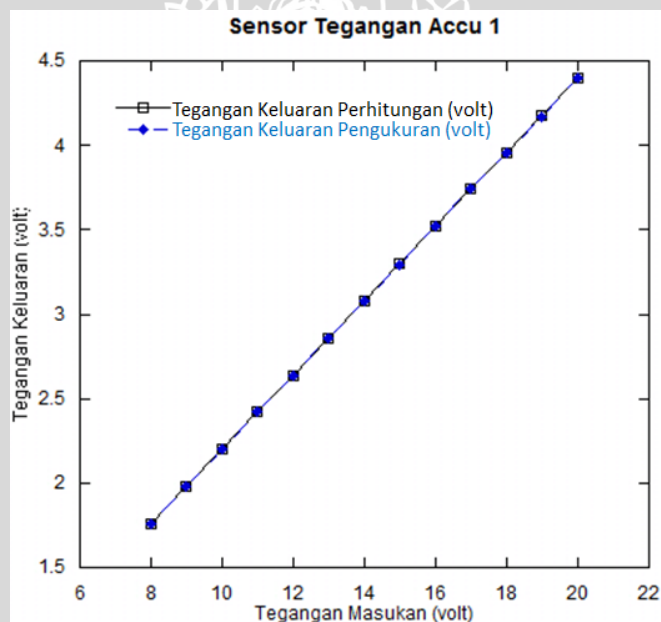
V_{in} (volt)	V_o Perhitungan (volt)	V_o Pengukuran (volt)	Selisih (volt)	Error (%)
8	1,76	1,76	0,00	0,00
9	1,98	1,98	0,00	0,00
10	2,20	2,21	0,01	0,45
11	2,42	2,42	0,00	0,00
12	2,64	2,65	0,01	0,00
13	2,86	2,87	0,01	0,00
14	3,08	3,09	0,01	0,32
15	3,30	3,31	0,01	0,30
16	3,52	3,53	0,01	0,28
17	3,74	3,75	0,01	0,27
18	3,96	3,97	0,01	0,25
19	4,18	4,19	0,01	0,24
20	4,40	4,41	0,01	0,23
Error Rata-rata				0,0062

Tabel 5.7. Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan *accu* 1

V_{in} (volt)	V_o Perhitungan (volt)	V_o Pengukuran (volt)	Selisih (volt)	Error (%)
8	1,76	1,76	0,00	0,00
9	1,98	1,98	0,00	0,00
10	2,20	2,20	0,00	0,00
11	2,42	2,42	0,00	0,00
12	2,64	2,64	0,00	0,00
13	2,86	2,86	0,00	0,00
14	3,08	3,08	0,00	0,00
15	3,30	3,29	0,01	0,30
16	3,52	3,52	0,00	0,00
17	3,74	3,74	0,00	0,00
18	3,96	3,96	0,00	0,00
19	4,18	4,17	0,01	0,24
20	4,40	4,40	0,00	0,00
Error Rata-rata				0,0015



Gambar 5.13. Grafik pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell*



Gambar 5.14. Grafik pengujian rangkaian sensor tegangan *accu 1*

Pengujian rangkaian sensor tegangan *solar cell* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 0,0062% dan selisih tegangan antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 0,01 volt. Pengujian rangkaian sensor tegangan *accu 1* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 0,0015% dan selisih tegangan antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 0,01 volt.

5.6 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan *Accu* 2 dan Baterai LiPo

5.6.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo untuk mengetahui apakah rangkaian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo dapat mengukur tegangan dengan *range* 0 volt sampai 13 volt.

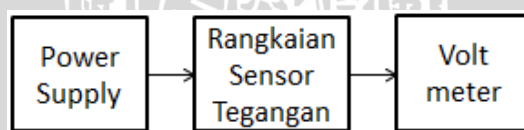
5.6.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo:

1. *Power supply*.
2. Sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo.
3. Voltmeter.

5.6.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran rangkaian sensor tegangan sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo. Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo ditunjukkan dalam Gambar 5.15.



Gambar 5.15. Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo

Prosedur pengujian rangkaian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.15.
2. Tegangan *power supply* diatur bervariasi. Tegangan *power supply* sebagai tegangan masukan rangkaian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo.
3. Tegangan keluaran rangkaian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo diukur menggunakan voltmeter.

5.6.4 Hasil Pengujian dan Analisis

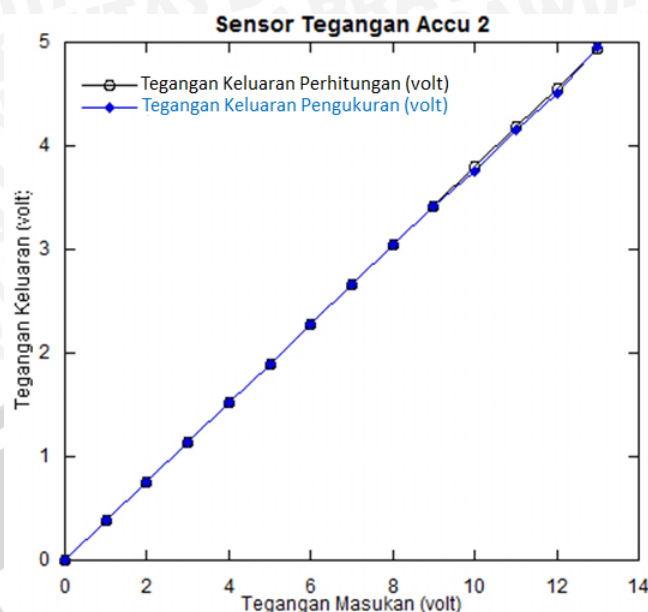
Pengujian rangkaian sensor tegangan *accu* 2 dan baterai LiPo yang digunakan untuk mengukur tegangan 0 volt sampai 13 volt diubah menjadi 0 volt sampai 5 volt agar dapat diproses oleh *microcontroller*. Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan *accu* 2 ditunjukkan dalam Tabel 5.8 dan Gambar 5.16. Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan baterai LiPo ditunjukkan dalam Tabel 5.9 dan Gambar 5.17.

Tabel 5.8. Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan *accu* 2

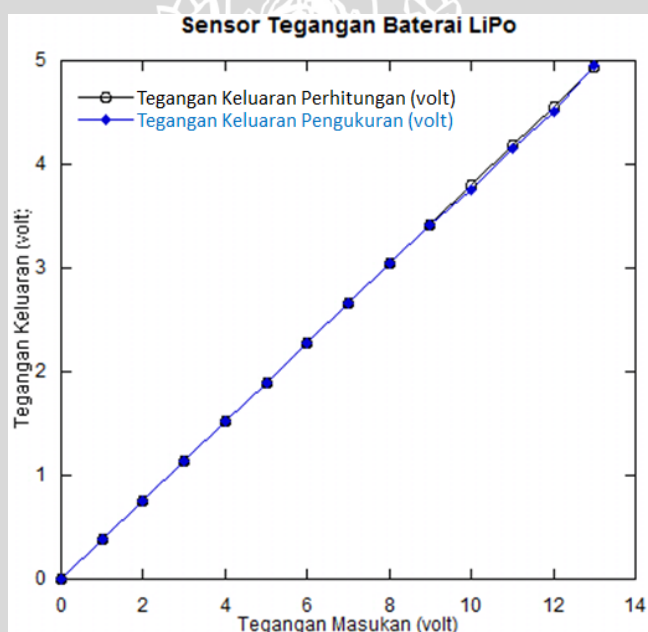
V_{in} (volt)	V_o Teori (volt)	V_o Praktek (volt)	Selisih (volt)	Error (%)
1	0,38	0,38	0,00	0,00
2	0,76	0,76	0,00	0,00
3	1,14	1,14	0,00	0,00
4	1,52	1,52	0,00	0,00
5	1,90	1,90	0,00	0,00
6	2,28	2,28	0,00	0,00
7	2,66	2,66	0,00	0,00
8	3,04	3,04	0,00	0,00
9	3,42	3,41	0,01	0,29
10	3,80	3,75	0,05	1,32
11	4,18	4,15	0,03	0,72
12	4,56	4,51	0,05	1,10
13	4,94	4,95	0,01	0,20
Error Rata-rata				0,26

Tabel 5.9. Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan baterai LiPo

V_{in} (volt)	V_o Perhitungan (volt)	V_o Pengukuran (volt)	Selisih (volt)	Error (%)
1	0,38	0,38	0,00	0,00
2	0,76	0,76	0,00	0,00
3	1,14	1,14	0,00	0,00
4	1,52	1,53	0,01	0,66
5	1,90	1,90	0,00	0,00
6	2,28	2,28	0,00	0,00
7	2,66	2,66	0,00	0,00
8	3,04	3,04	0,00	0,00
9	3,42	3,43	0,01	0,29
10	3,80	3,80	0,00	0,00
11	4,18	4,19	0,01	0,24
12	4,56	4,58	0,02	0,44
13	4,94	4,96	0,02	0,40
Error Rata-rata				0,15



Gambar 5.16. Grafik pengujian rangkaian sensor tegangan *accu 2*



Gambar 5.17. Grafik pengujian rangkaian sensor tegangan baterai LiPo

Pengujian rangkaian sensor tegangan *accu 2* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 0,26% dan selisih tegangan antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 0,05 volt. Pengujian rangkaian sensor tegangan baterai LiPo menghasilkan *error* rata-rata sebesar 0,15% dan selisih tegangan antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 0,02 volt.

5.7 Pengujian Rangkaian Transistor

5.7.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian transistor untuk mengetahui respon transistor jika kaki basis diberi tegangan dan arus.

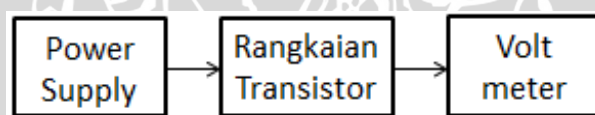
5.7.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian transistor:

1. *Power supply*.
2. Rangkaian transistor.
3. Voltmeter.

5.7.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan dan arus pada kaki basis dan mengukur tegangan kolektor sebagai tegangan keluaran rangkaian transistor. Diagram blok pengujian rangkaian transistor ditunjukkan dalam Gambar 5.18.



Gambar 5.18. Diagram blok pengujian rangkaian transistor

Prosedur pengujian rangkaian transistor sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian transistor seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.18.
2. Tegangan *power supply* dihubungkan pada kolektor rangkaian transistor.
3. Tegangan keluaran rangkaian transistor diukur menggunakan voltmeter.

5.7.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian rangkaian transistor yang digunakan sebagai saklar elektronik akan menghubungkan antara keluaran *cuk converter* dengan *accu 1*, *boost converter* dengan *accu 2*, dan *boost converter* dengan

charger baterai LiPo. 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 5.10.

Tabel 5.10. 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 5.10 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.

5.8 Pengujian Keseluruhan Sistem

5.8.1 Tujuan

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 4.1.

5.8.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan *accu* 1, *accu* 2, dan baterai LiPo serta waktu yang dibutuhkan untuk men-charge *accu* 1, *accu* 2, dan baterai LiPo. Prosedur pengujian keseluruhan sistem sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian keseluruhan sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.

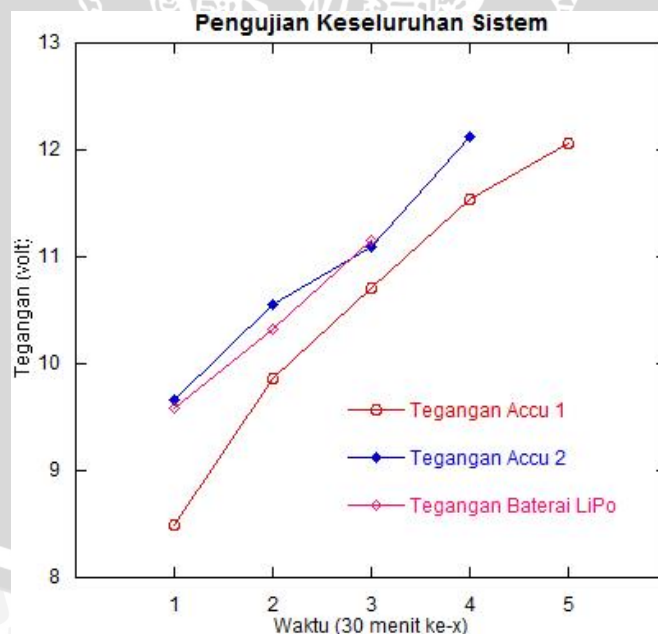
2. Ukur tegangan *accu* 1, *accu* 2, dan baterai LiPo menggunakan voltmeter setiap 30 menit.

5.8.3 Hasil Pengujian dan Analisis

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 Tabel 5.11 dan Gambar 5.19.

Tabel 5.11 Hasil pengujian keseluruhan sistem

Waktu	Tegangan <i>Accu</i> 1 (volt)	Tegangan <i>Accu</i> 2 (volt)	Tegangan Baterai LiPo (volt)
30 menit ke-1	8,50	9,66	9,59
30 menit ke-2	9,86	10,56	10,32
30 menit ke-3	10,71	11,09	11,16
30 menit ke-4	11,54	12,13	
30 menit ke-5	12,06		



Gambar 5.19. Grafik pengujian keseluruhan sistem

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. Baterai LiPo yang digunakan yaitu 11,1 volt sehingga pengisian baterai LiPo berhenti ketika tegangan baterai LiPo telah mencapai 11,1 volt.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian tiap bagian dan keseluruhan sistem yang telah dilaksanakan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. 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* arus induktor L_1 dan L_2 serta semakin kecil *ripple* tegangan kapasitor C_1 dan C_2 . 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.
2. 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.
3. 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%.

6.2 Saran

Saran-saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. 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

- Atmel Corporation. 2003. *Atmega32*.
- Bo Huang, Mantian Li, Lining Sun. 2006. *The Research of a Parent-Children Type Robot System*. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Kunming, China.
- Carter, Bruce, Thomas R. Brown. 2001. *Handbook of Operational Amplifier Applications*. Texas: Texas Instruments Incorporated.
- Gridling, Gunther, Bettina Weiss. 2006. *Introductions to Microcontrollers*. Austria: Embedded Computing Systems Group.
- Hobby King. *Turnigy 2200mAh 3S 30C Lipo Pack*. http://hobbyking.com/hobbyking/store/_9394_Turnigy_2200mAh_3S_30C_Lipo_Pack.html. Diakses tanggal 30 Juli 2014.
- iRobot Corporation. 2006. *iRobot Scooba Floor Washing Robot Owner's Manual*. Burlington.
- Jazar, Reza. 2010. *Theory of Applied Robotics*. Australia: Springer Science+Business Media.
- Mohammed, Latifah, Norshafinash Saudin, dkk. 2012. *Cuk Converter as a LED Lamp Driver*. 2012 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), Kota Kinabalu Sabah, Malaysia.
- Mohan, Ned, Tore M. Undeland, William P. Robbins. 2003. *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Mukund, R. Patel. 2006. *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation*. New York: Taylor & Francis Group.
- Shiroma, Naoji, Ryo Miyauchi, Fumitoshi Matsuno. 2008. *Mobile Robot Teleoperation through Virtual Robot*. Proceedings of the 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Technische Universität München, Munich, Germany.
- Stephan, A. Manuel, K.S. Nahm. 2006. *Review on Composite Polymer Electrolytes for Lithium Batteries*. Korea Selatan: Science Direct.
- XLSEMI. *XL6009 400KHz 60V 4A Switching Current Boost/Buck-Boost/Inverting DC/DC Converter*.
- Xiamen Amotec Display Co.,LTD. 2008. *Specifications of LCD Module*.
- Yan Guo, Jiatong Bao, Aiguo Song. 2009. *Designed and Implementation of a*

Semi-autonomous Search Robot. Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Changchun, China.

Yuasa Battery Indonesia. 2014. *Accu*. <http://www.yuasabattery.co.id>. Diakses tanggal 30 Juli 2014.

