

PERANCANGAN *BATTERY CONTROL UNIT (BCU)* DENGAN *PID CONTROLLER* PADA SISTEM TENAGA SURYA

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



BERNHARD PETRUS ARITONANG
NIM. 115060307111049

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN *BATTERY CONTROL UNIT* (BCU) DENGAN PID
CONTROLLER PADA SISTEM TENAGA SURYA**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



BERNHARD PETRUS ARITONANG

NIM. 115060307111049

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 8 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Ir. Purwanto, M.T.
NIP. 19540424 198601 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Dipl.-Ing Moch. Rusli
NIP. 19630104 198701 1 001

**Mengetahui
Ketua Jurusan**



Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
NIP. 19730520 200801 1 013

JUDUL SKRIPSI:

*PERANCANGAN BATTERY CONTROL UNIT (BCU) DENGAN PID
CONTROLLER PADA SISTEM TENAGA SURYA*

Nama Mahasiswa : Bernhard Petrus Aritonang

NIM : 115060307111049

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Kontrol

KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Ir. Purwanto, M.T.

Anggota : Ir. Dipl.-Ing Moch. Rusli

TIM DOSEN PENGUJI:

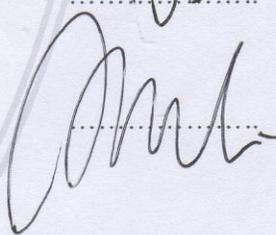
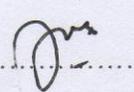
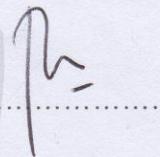
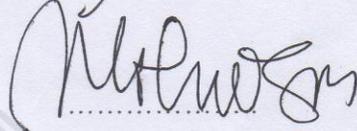
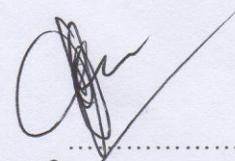
Dosen Penguji 1 : Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.

Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Bambang Siswojo, M.T.

Tanggal Ujian : 25 JULI 2018

SK Penguji : 1537 Tahun 2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

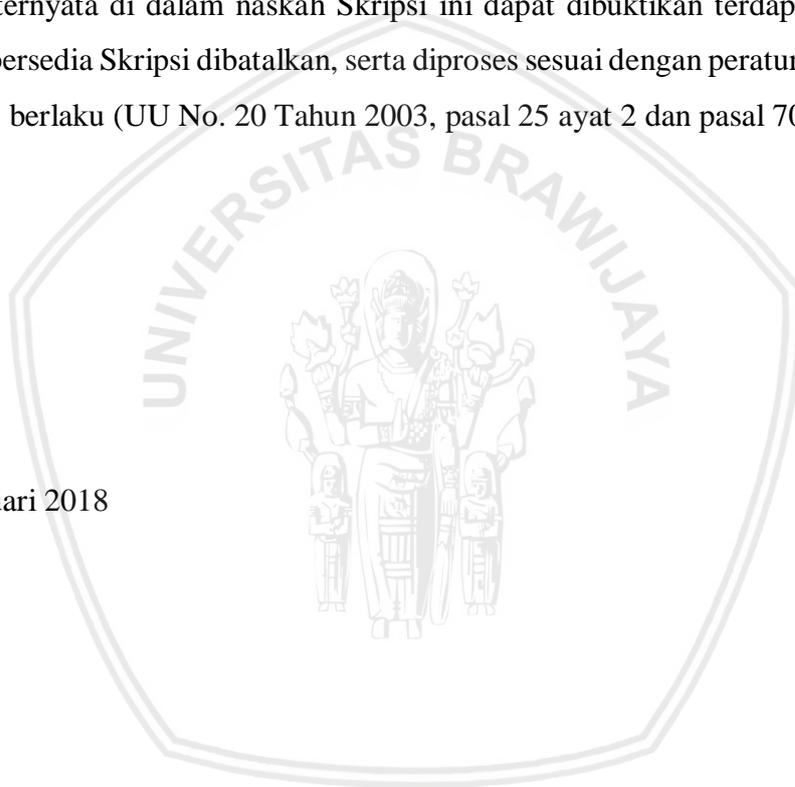
Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 8 Januari 2018

Mahasiswa,

BERNHARD PETRUS ARITONANG
NIM. 115060307111049



RINGKASAN

Bernhard Petrus Aritonang, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2016, Perancangan *Battery Control Unit* (BCU) dengan PID Controller Pada Sistem Tenaga Surya. Dosen Pembimbing: Purwanto dan Moch. Rusli.

Energi matahari merupakan salah satu energi terbarukan yang melimpah persediaannya di Indonesia, sehingga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dengan cara menerapkan sistem instalasi tenaga surya. Panel surya berperam mengubah energi matahari menjadi energi listrik dan baterai sebagai media penyimpan energi tersebut. Namun, intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah dapat menyebabkan baterai cepat rusak karena arus dan tegangan yang masuk ke baterai tidak konstan.

Penelitian ini mencoba untuk memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut dengan cara membuat alat bertopologi *buck-boost converter* dengan menerapkan metode kontrol *proportional integral derivative* (PID). *Buck boost converter* digunakan karena tegangan *output* dapat dinaikan atau diturunkan meski tegangan *input* berubah-ubah. PID controller dipilih karena metode ini dapat menjaga output sistem lebih stabil dengan mengolah error sistem. Sistem yang dibuat menggunakan Arduino uno sebagai controller, IC X16009 sebagai *Buck boost converter*, dan menggunakan sensor tegangan untuk mengukur sisi output sistem.

Metode root locus digunakan untuk menentukan parameter PID. Parameter didapatkan yaitu $K_p=3.24$, $K_i=0.5$ dan $K_d=4.76$. Pengujian keseluruhan sistem menunjukkan *output* sistem memiliki *delay time* (t_d) sebesar 0.09s, *rise time* (t_r) sebesar 0.23s, *peak time* (t_p) sebesar 0.4s, *settling time* (t_s) sebesar 0.5s, 5% *overshoot*, *error output* hanya 0.54% dan *recovery time* sebesar 0.3s.

Kata kunci: Energi, Baterai, *Buck-boost converter*, PID controller

SUMMARY

Bernhard Petrus Aritonang, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, April 2016, Design of Battery Control Unit (BCU) with PID Controller in Solar System. Supervisor: Purwanto and Moch. Rusli.

Solar energy is one of the most abundant renewable energy supplies in Indonesia, so it can be utilized to generate electricity by applying a solar power installation system. Solar panels are converting solar energy into electricity and batteries as energy storage devices. However, the varying intensity of sunlight can cause the battery to break down quickly because the currents and voltage entering the battery are not constant.

This research tries to give solution to the problem by making buck-boost converter tool by applying proportional integral derivative (PID) control method. Buck boost converter is used because the output voltage can be increased or decreased even though the input voltage is variable. PID controller is chosen because this method can keep the system output more stable by processing the system error. The system is created using Arduino uno as the controller, IC X16009 as Buck boost converter, and uses a voltage sensor to measure the output side of the system.

The root locus method is used to specify PID parameters. Parameter obtained ie $K_p = 3.24$, $K_i = 0.5$ and $K_d = 4.76$. The whole system test shows the output the system has a delay time (t_d) of 0.09s, rise time (t_r) of 0.23s, peak time (t_p) of 0.4s, settling time (t_s) of 0.5s, 5% overshoot, output error is only 0.54% and recovery time of 0.3s.

Keywords: Energy, Battery, Buck-boost converter, PID controller



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan kasih karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ” Perancangan *Battery Control Unit* (BCU) dengan PID Controller Pada Sistem Tenaga Surya” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kelancaran, berkat dan kasih karunia-Nya.
- Kedua orang tua yang selalu memberikan kasih sayang dan memberikan doa serta pengorbanan yang tiada henti.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
- Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
- Bapak Ir. Purwanto, M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan kesempatan, nasehat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan yang telah diberikan.
- Bapak Ir. Dipl.-Ing Moch. Rusli sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan kesempatan, nasehat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan yang telah diberikan..
- Deborah Ezra Pakpahan yang tiada henti memberikan support dan dukungan serta doa pada penulis
- Keluarga besar Teknik Kontrol angkatan 2011, teman-teman angkatan 2011 atas semangat dan dukungan yang diberikan pada penulis.
- Keluarga besar F220 yang selalu memberi semangat dan motivasi pada penulis

repository.ub.ac.id

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Januari 2018

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Panel Surya.....	5
2.2 <i>Charge Controller</i>	7
2.3 <i>Buck-Boost Converter</i>	9
2.4 <i>PID Controller</i>	10
2.5 Arduino Uno	14
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Blok Diagram Sistem.....	20
3.3 Perancangan Perangkat Keras	20
3.4 Perancangan Perangkat Lunak	21
3.5 Penentuan Parameter PID.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Pengujian Arduino	29
4.2 Pengujian sensor tegangan	31
4.3 Pengujian <i>buck-boost converter</i>	32
4.4 Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem	34
4.5 Pengujian Sistem dengan PID Kontroler	35
BAB V PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	41



LAMPIRAN	43
Listing Program Arduino	44
Foto Alat	48
Datasheet ATmega 328-P.....	50
Datasheet XL6009	76
Datasheet LM741	84
Datasheet LM2596	96





DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai Kp, Ki, Kd	26
Tabel 4.1 Hasil Pengujian ADC Pin Arduino Uno	30
Tabel 4.2 Hasil Pengujian PWM Pin Arduino	31
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sensor Tegangan	32
Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sistem dengan PID Controller	38





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Surya.....	5
Gambar 2.2 Kurva I-V	6
Gambar 2.3 Battery Control Unit (BCU).....	8
Gambar 2.4 Pengisian Baterai dengan Metode Tegangan Konstan.....	8
Gambar 2.5 Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan	9
Gambar 2.6 Skema Buck-boost Converter.....	10
Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Proporsional	11
Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Integral	12
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Diferensial	13
Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler PID	13
Gambar 2.11 Arduino UNO	15
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian	19
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem.....	20
Gambar 3.3 Skema Perangkat Keras	21
Gambar 3.4 Flowchart Program Arduino.....	22
Gambar 3.5 PID Controller Schematic	23
Gambar 3.6 response Open Loop System	24
Gambar 3.7 Grafik root locus	25
Gambar 3.8 Hasil simulasi system.....	27
Gambar 4.1 Prosedur Pengujian ADC pin dan PWM pin Arduino Uno	29
Gambar 4.2 Skema Pengujian Sensor Tegangan	32
Gambar 4.3 Skema Pengujian Buck-Boost Converter.....	33
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Vin dan Vout	33
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Dutycycle dengan Vout Buck-Boost Converter	34
Gambar 4.6 Skema Pengujian Open Loop Sistem.....	34
Gambar 4.7 Output Open Loop Sistem.....	35
Gambar 4.8 Skema Pengujian Sistem dengan PID Controller	35
Gambar 4.9 Output Sistem dengan PID Controller	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi matahari merupakan energi terbarukan yang cukup melimpah persediaannya di Indonesia, sehingga dapat dimanfaatkan khususnya pada daerah yang belum terjangkau listrik. Dalam memanfaatkan energi listrik dibutuhkan panel surya yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik dan baterai sebagai media penyimpanan energi tersebut. Namun, intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah dapat menyebabkan baterai cepat rusak karena arus dan tegangan yang masuk ke baterai tidak konstan (Annisa: 2013).

Permasalahan lain yang terdapat pada proses pengisian baterai oleh panel surya selain intensitas cahaya matahari adalah adanya *ripple* tegangan dan arus akibat menggunakan *power converter*. Hal ini membuat tegangan dan arus yang masuk ke baterai tidak benar-benar konstan. Pada proses pengisian baterai disaat tegangan baterai penuh diperlukan tegangan yang konstan dan disaat tegangan baterai dibawah tegangan penuh diperlukan arus yang konstan.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan adalah menggunakan *power converter* dengan topology *cuk converter*. Penelitian tersebut berhasil mengurangi *ripple* tegangan dan *ripple* arus saat proses *charging* baterai meskipun dengan kondisi intensitas sinar matahari yang berbeda-beda. Tetapi pada penelitian tersebut terdapat kekurangan yaitu *ripple* tegangan dan arus yang berhasil dikurangi tidak cukup signifikan dikarenakan tidak ada *feedback* pada *system*. Hal ini menyebabkan tegangan yang digunakan saat *charging* dapat bernilai lebih tinggi atau lebih rendah daripada tegangan yang direkomendasikan untuk proses *charging*. Usia pemakaian baterai dapat lebih awet jika baterai tidak mengalami *overcharging* ataupun *undercharging* pada saat proses *charging*.

Metode *control* diperlukan untuk menjaga nilai tegangan *charging* tidak dalam kondisi *overcharging* atau *undercharging*. PID kontroler dapat diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. PID kontroler sederhana dalam pemrogramannya dan mudah diimplementasikan pada *system* tersebut. Selain itu, PID kontroler juga ekonomis dalam implementasinya.

Power converter dengan topology *cuk converter* dapat digantikan dengan topology *buck boost converter*. Hal ini untuk mempermudah membangun *system* karena pada dasarnya kedua topology *power converter* tersebut memiliki fungsi yang mirip. Dipasaran juga sudah tersedia *power converter* dengan topology *buck boost converter* sehingga tidak akan rumit dibandingkan merakit sendiri sejak awal.

Penelitian ini mencoba untuk memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut dengan menerapkan metode kontrol PID untuk mengatur tegangan dan arus yang masuk pada saat pengisian baterai agar konstan. Perhitungan parameter PID ditentukan dengan metode *root locus*. Metode ini memerlukan fungsi alih *system* agar dapat menentukan nilai-nilai parameter PID. Fungsi alih *system* dapat dicari dengan bantuan *system identification toolbox Matlab* dengan memasukkan data *open loop* dari *system*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana merancang alat untuk mengontrol tegangan dan arus yang masuk ke baterai dengan menerapkan PID *controller*.
2. Bagaimana respon sistem yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk memfokuskan ke objek penelitian, berikut beberapa batasan masalah yang terdapat dalam penelitian ini:

1. Kontroler menggunakan Arduino Uno ATmega 328-P.
2. IC *power* yang digunakan adalah XL6009.
3. IC catu daya dengan tipe LM2596.
4. Metode yang digunakan adalah PID.
5. Konverter daya yaitu *buck boost converter*
6. Baterai yang digunakan adalah baterai kering 12V.
7. Hanya membahas tentang daya yang masuk ke dalam baterai dan tidak membahas daya yang keluar dari baterai.
8. Gangguan pada sistem adalah tegangan yang fluktuatif karena intensitas cahaya matahari.
9. Pengujian *prototype* dilakukan dalam skala laboratorium.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat alat yang mampu mengendalikan tegangan dan arus yang masuk ke dalam baterai saat terjadi pengisian energi dengan menerapkan metode kontrol PID untuk memperbaiki respon sistem agar output sistem konstan sehingga baterai bisa berumur panjang dalam penggunaannya.

1.5 Sistematika Penulisan

Agar penyusunan laporan penelitian ini dapat mencapai sasaran dan tidak menyimpang dari judul yang telah ditentukan, maka diperlukan sistematika pembahasan yang jelas. Pembahasan dalam penelitian ini secara garis besar adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Menjelaskan teori dasar yang berisi penjelasan tentang teori panel surya, charge controller, PID controller, Arduino uno, dan sensor yang digunakan.

BAB III Metodologi Penelitian

Menjelaskan tentang metodologi penelitian secara garis besar yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan, perancangan blok diagram, perancangan perangkat keras dan lunak.

BAB IV Pengujian dan Analisis

Menjelaskan tentang pengujian alat dan analisa yang meliputi pengujian bagian blok sistem secara keseluruhan dan menganalisis bagaimana respon sistem yang dikendalikan.

BAB V Penutup

Menjelaskan tentang pengambilan kesimpulan sesuai dengan hasil perealisasiian dan pengujian alat sesuai dengan tujuan dan rumusan masalah, serta pemberian saran untuk pengembangan selanjutnya.

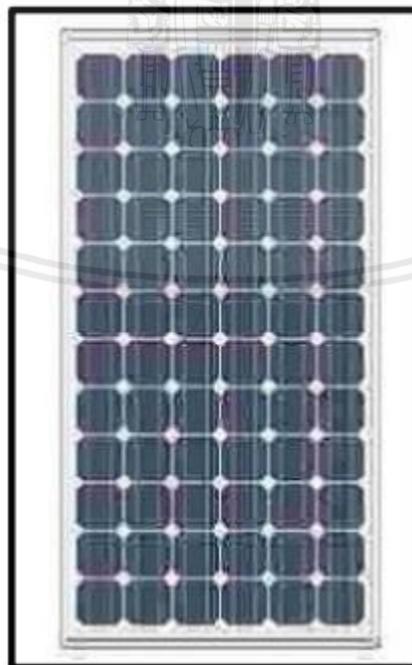
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panel Surya

Panel surya merupakan alat yang terdiri dari sel surya yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Tenaga matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel fotovoltaik. Sel surya atau sel PV bergantung pada efek fotovoltaik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Dalam cahaya matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Ketika foton ini mengenai permukaan sel surya, elektron-elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip fotoelektrik. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif, yaitu: lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p).

Sel surya terbuat dari bahan yang mudah pecah dan berkarat jika terkena air. Karena itu sel ini dibuat dalam bentuk panel-panel ukuran tertentu yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air. Contoh dari panel surya ditunjukkan pada Gambar 2.1.



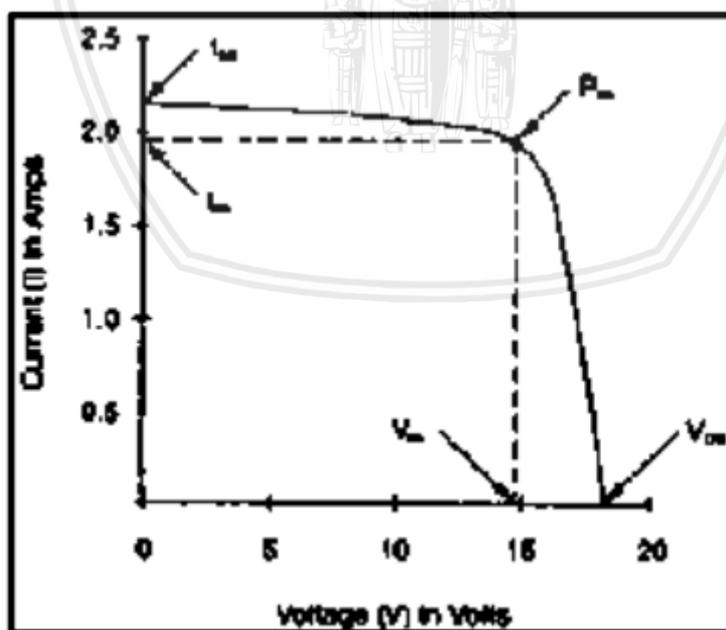
Gambar 2.1 Panel Surya

Sumber: Lampusurya.com

Ada beberapa jenis panel surya yang dijual di pasaran:

- Jenis pertama, yaitu jenis yang terbaik dan yang terbanyak digunakan masyarakat saat ini, adalah jenis monokristalin. Panel ini memiliki tingkat efisiensi antara 13 sampai 19%.
- Jenis kedua adalah jenis polikristalin atau multi kristalin, yang terbuat dari kristal silikon dengan tingkat efisiensi antara 11 sampai 15%.
- Jenis ketiga adalah silikon jenis amorphous, yang berbentuk film tipis. Efisiensinya sekitar 4 sampai 8%. Panel surya jenis ini banyak dipakai di mainan anak-anak, jam dan kalkulator.
- Jenis keempat adalah panel surya yang terbuat dari GaAs (*Gallium Arsenide*) yang lebih efisien pada temperatur tinggi. Panel ini memiliki tingkat efisiensi antara 20% - 25%.

Daya keluaran dari panel surya sebanding dengan tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi panel surya. Panel surya dapat menghasilkan arus dan tegangan yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan baterai, yang menghasilkan arus dan tegangan yang relatif konstan. Karakteristik keluaran dari panel surya dapat dilihat dari kurva performansi, disebut kurva I-V. Kurva I-V menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan.



Gambar 2.2 Kurva I-V

Sumber: <http://kontens-listrik.blogspot.com>

Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik kurva I-V, arus (I) terhadap tegangan (V).

Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam Standar Test Conditions (STC) 1000 watt/ m² saat matahari pada radiasi maksimum dan 25o C atau 77 F suhu panel surya. Kurva I-V terdiri dari tiga hal yang penting, yaitu Maximum Power Point (V_{mp} dan I_{mp}), Open Circuit Voltage (V_{oc}) dan Short Circuit Current (I_{sc}).

1. Maximum Power Point (V_{mp} dan I_{mp})

Maximum Power Point (V_{mp} dan I_{mp}) adalah titik operasi maksimum yang dihasilkan panel surya saat kondisi kerja. V_{mp} dan I_{mp} dapat diukur saat panel surya diberi beban pada suhu 250 C dan radiasi matahari sebesar 1000 watt/m². Arus dan daya keluaran panel surya menurun saat tegangan meningkat melebihi maximum power point.

2. Open Circuit Voltage (V_{oc})

Open Circuit Voltage (V_{oc}) merupakan tegangan maksimal yang dapat dicapai panel surya pada saat tidak ada arus. Daya pada saat V_{oc} adalah 0 watt.

3. Short Circuit Current (I_{sc})

Short Circuit Current (I_{sc}) adalah arus keluaran maksimal dari panel surya pada kondisi tidak ada resistansi. Daya pada I_{sc} adalah 0 watt. Short circuit current dapat diukur dengan menghubungkan singkat terminal positif dan negatif dari modul panel surya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi panel surya adalah:

1. Bahan pembuat panel surya
2. Resistansi beban
3. Intensitas cahaya matahari
4. Suhu panel surya
5. Bayangan/shading.

2.2 Charge Controller

Charge controller disebut juga *Battery Control Unit* (BCU) atau *Battery Control Regulator* (BCR). *Charge controller* adalah suatu alat yang berfungsi mengisi baterai dengan tegangan konstan hingga mencapai tegangan yang ditentukan. Bila tegangan yang ditentukan itu telah tercapai, maka arus pengisian akan menurun secara otomatis sehingga indikator LED merah menyala berkedip menandakan baterai telah terisi penuh. Panel surya umumnya memiliki tegangan 16 - 21 Volt. Jadi, tanpa *charge controller*, baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan. Di dalam rangkaian *charge controller* terdapat rangkaian regulator dan rangkaian komparator. Rangkaian regulator berfungsi mengatur tegangan keluaran agar tetap konstan rangkaian komparator berfungsi menurunkan arus pengisian secara otomatis saat tegangan pada baterai penuh dan menahan arus pengisian hingga menjadi lebih lambat

sehingga menyebabkan indikator aktif menandakan baterai telah terisi penuh. Gambar 2.3 menunjukkan contoh *Battery Control Unit* yang tersedia di pasaran.



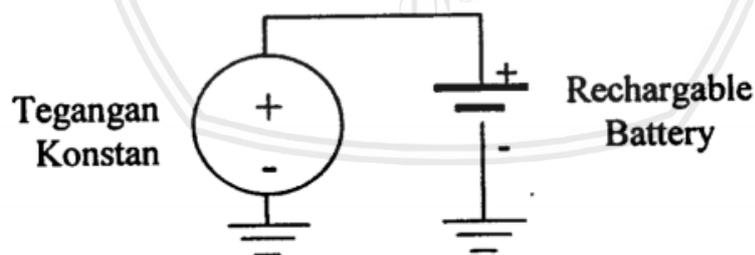
Gambar 2.3 Battery Control Unit (BCU)

Sumber: solarpanelindonesia.wordpress.com

Secara umum ada dua metode pengisian baterai sekunder, yaitu dengan tegangan konstan dan dengan arus konstan.

Metode Tegangan Konstan. Pada metode ini baterai dihubungkan dengan suatu sumber tegangan konstan dengan polaritas ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Besar arus pengisian pada metode ini tergantung dari perbedaan tegangan antara sumber tegangan dengan tegangan baterai. Pada permulaan pengisian, tegangan baterai masih rendah sehingga arus pengisian tinggi, dan setelah proses pengisian berjalan cukup lama, tegangan baterai akan naik sehingga arus pengisian juga berkurang. Kekurangan dari metode ini adalah kesulitan untuk menghitung perkiraan seberapa arus yang telah diserap oleh baterai.

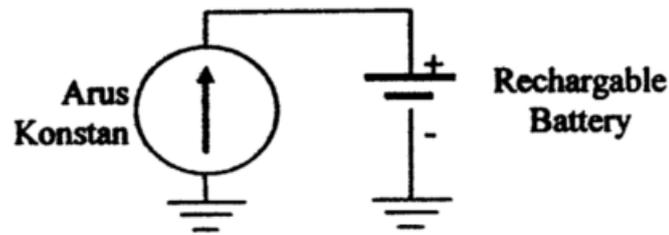


Gambar 2.4 Pengisian Baterai dengan Metode Tegangan Konstan

Sumber: Indar Sugiarto (2004:719)

Metode Arus Konstan

Pada metode ini sebuah sumber arus konstan dihubungkan dengan baterai seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



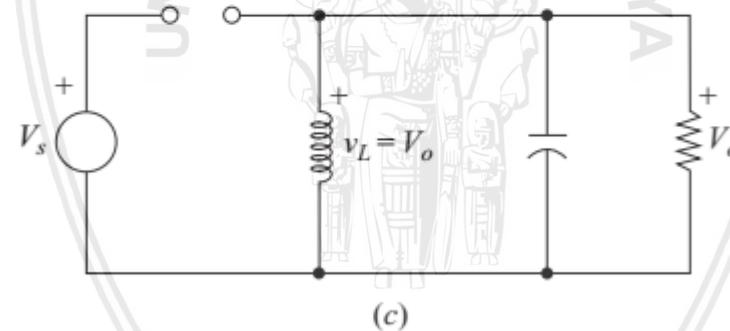
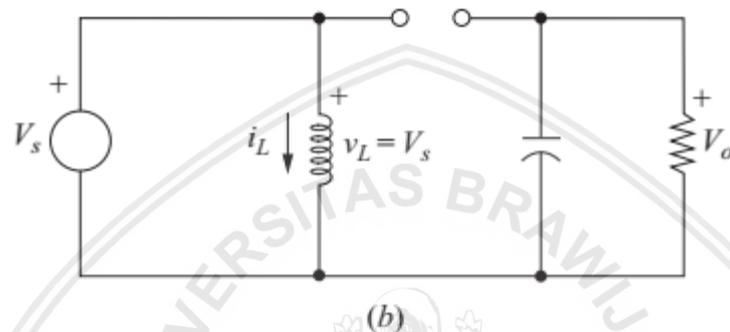
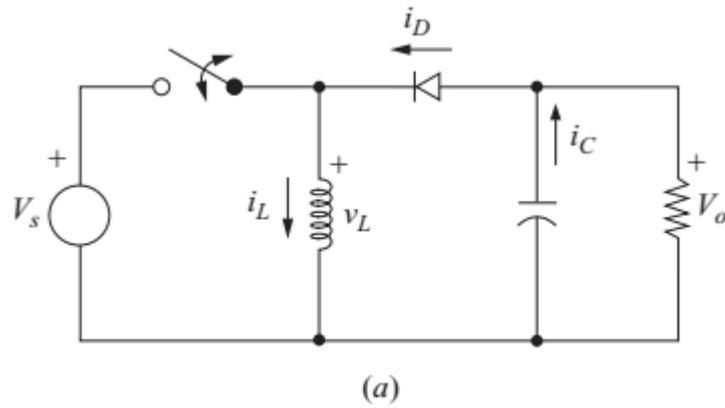
Gambar 2.5 Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan

Sumber: Indar Sugiarto (2004:720)

Sumber arus konstan harus didesain agar perubahan tegangan pada baterai saat proses pengisian tidak mempengaruhi besarnya arus yang mengalir pada baterai.

2.3 Buck-Boost Converter

Rangkaian Buck-Boost Converter merupakan rangkaian elektronika daya yang dapat digunakan untuk menurunkan atau menaikkan tegangan keluaran. Rangkaian tersebut diberikan oleh gambar 2.6a. rangkaian terdiri dari inductor, diode, capacitor, serta saklar elektronika daya. MOSFET atau IGBT dapat digunakan untuk saklar elektronika daya. Rangkaian ini memiliki 2 buah kondisi yaitu kondisi ON dan kondisi OFF. Pada saat kondisi ON maka rangkaian ekuivalen diberikan oleh gambar 2.6b. tegangan pada inductor akan sama dengan tegangan sumber dan diode dalam kondisi terbuka sehingga tidak ada arus yang mengalir dari sumber ke beban. Dalam kondisi ini beban hanya menerima tegangan dari kapasitor. Sedangkan pada saat kondisi OFF, diode dalam kondisi tertutup dan beban akan mendapatkan supply dari inductor.



Gambar 2.6 Skema Buck-boost Converter

Sumber: Muhammad Rashid (2013)

2.4 PID Controller

Keberadaan kontroler dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Pada prinsipnya hal itu disebabkan oleh tidak dapat diubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, sehingga perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan suatu sub sistem, yaitu kontroler.

Salah satu fungsi komponen kontroler adalah mengurangi sinyal kesalahan, yaitu perbedaan antara nilai referensi/nilai yang diinginkan dan nilai aktual. Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kontrol dimana mendapat nilai sinyal keluaran sama dengan nilai yang

diinginkan referensi. Semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baik kinerja sistem kontrol yang diterapkan.

Apabila perbedaan antara nilai referensi dengan nilai keluaran relatif besar, maka kontroler yang baik seharusnya mampu mengamati perbedaan ini untuk segera menghasilkan sinyal keluaran untuk mempengaruhi plant. Dengan demikian sistem secara cepat mengubah keluaran plant sampai diperoleh selisih dengan nilai referensi sekecil mungkin.

Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran plant dengan nilai referensi, kemudian menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata, 1996: 197-204).

2.1.1 Kontroler Proporsional

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

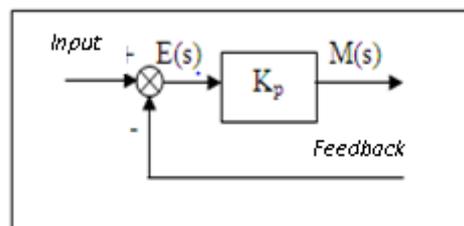
$$m(t) = K_p e(t) \dots\dots\dots (1-1)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \dots\dots\dots (1-2)$$

Di mana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K., 1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata K., 1997

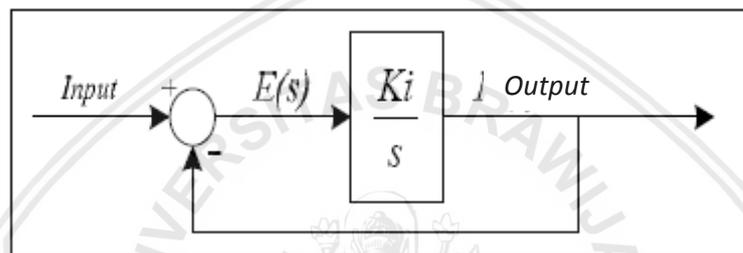
2.1.2 Kontroler Integral

Pada kontroler dengan aksi integral, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$.

Jadi,

$$\frac{dm(t)}{dt} = Kie(t) \dots\dots\dots(1-3)$$

Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi dua kali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner. Aksi kontrol integral seringkali disebut kontrol *reset* (Ogata K.,1997). Gambar 2.2 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Integral

Sumber: Ogata K., 1997

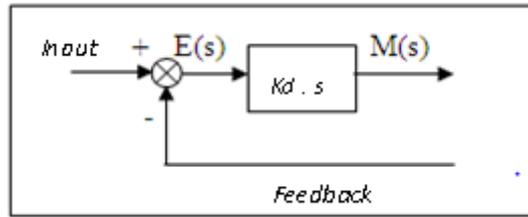
2.1.3 Kontroler Diferensial

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K.,1997). Kontroler diferensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kd \cdot s \dots\dots\dots(1-$$

4)

Gambar 2.3 menunjukkan diagram blok kontroler diferensial.



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Diferensial

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

2.1.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

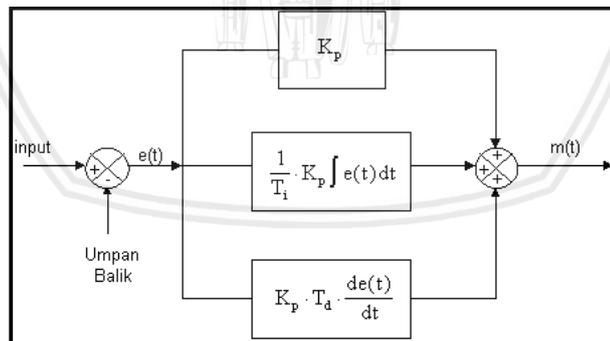
Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan diferensial mempunyai keunggulan dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Persamaan kontroler *PID* ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$m(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \cdot e(t)dt + Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots (1-5)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Ti \cdot s} + Td \cdot s \right) \dots\dots\dots (1-6)$$

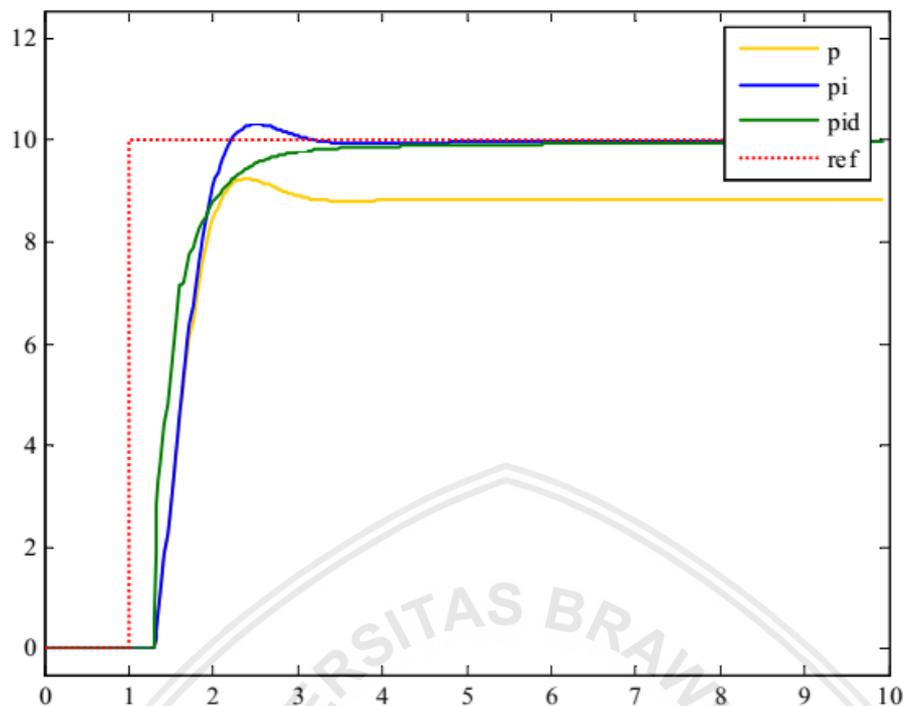
Gambar 2.4 menunjukkan diagram blok kontroler *PID*



Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler PID

Sumber: Ogata K., 1997

1.1.5 Analisa Grafik Keluaran Kontroler



Gambar 2. 11 Tipikal Response dari PID Regulator Terhadap Masukan Referensi

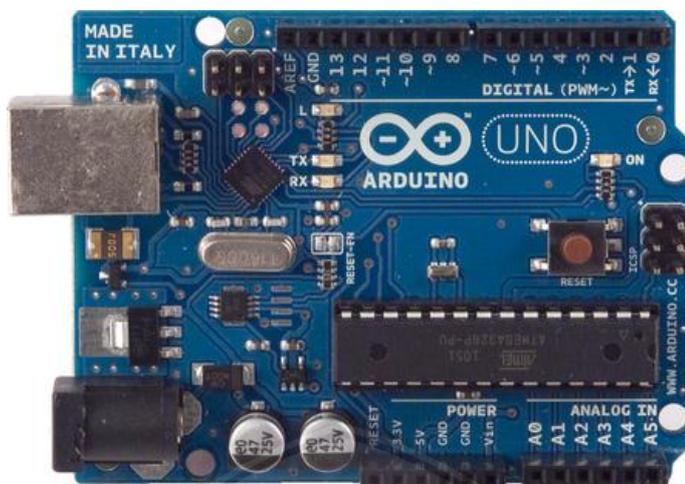
Pada Gambar 2.11 diperlihatkan perbandingan masing-masing kontroler. Ketika hanya menggunakan kontroler proporsional (P) akan dihasilkan nilai error yang stasioner dan akan menyebabkan system tidak stabil jika digunakan nilai P yang besar. Kemudian kondisi tersebut diperbaiki dengan penambahan nilai parameter intergral (I) menjadi kontroler PI. Terlihat output kontroler PI dapat menghilangkan error stasioner yang dihasilkan oleh kontroler P namun terdapat overshoot. Dengan menambahkan parameter derivative (D) sehingga menjadi kontroler PID akan mengurangi nilai overshoot yang dihasilkan kontroler PI dan response system menjadi cepat. Gabungan parameter-parameter tersebut dapat memberikan hasil terbaik.

2.5 Arduino Uno

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip yang di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori, (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output.

Arduino uno sendiri merupakan rangkaian elektronik yang bersifat *open source*, serta memiliki perangkat keras dan lunak yang mudah untuk digunakan yang berbasis ATmega32. Arduino memiliki 14 pin input/ouput yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PW, 6 analog input, crystal osilator MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol

rese. Arduino mampu men-*support* mikrokontroller. Sehingga dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB.



Gambar 2.12 Arduino UNO

2.2.1 Catu Daya

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber listrik dipilih secara otomatis. Eksternal (non-USB) daya dapat datang dari AC-DC adaptor atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan cara menghubungkannya *plug* pusat-positif 2.1mm ke dalam board colokan listrik. Lead dari baterai dapat dimasukkan ke dalam *header* pin Gnd dan Vin dari konektor *Power*.

Board dapat beroperasi pada pasokan daya dari 6 – 20 volt. Jika diberikan kurang dari 7V, bagaimanapun pin 5V dapat menyuplai kurang dari 5 volt dan *board* mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan merusak *board*. Rentang yang dianjurkan adalah 7-12 volt. Pin catu daya adalah sebagai berikut:

- VIN = Tegangan input ke *board* Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan 5v dari koneksi USB atau sumber daya lainnya diatur). Anda dapat menyediakan tegangan melalui pin ini. Atau jika memasok tegangan melalui colokan listrik, mengaksesnya melalui pin ini.
- 5V = Catu daya diatur untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya di *board*. Hal ini dapat terjadi baik dari VIN melalui regulator on-board atau diberikan oleh USB.
- 3.3V = Volt pasokan yang dihasilkan regulator on-board. Menarik arus maksimum adalah 50 mA.
- GND
-

2.2.2 Memory

Arduino Uno ini memiliki 32 KB dengan 0,5 KB digunakan untuk *loading file*. Ia juga memiliki 2 KB dari SRAM dan 1 KB dari EEPROM.

1.2.3 Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin digital pada Uno dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()` dan `digitalRead()`. Mereka beroperasi di 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor pull-up internal dari 20-50 K Ω . Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

- Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data TTL serial. Pin ini terhubung ke pin yang sesuai dari chip ATmega8U2 USB-to-Serial TTL.
- Eksternal Interupsi: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai yang rendah, tepi naik, tapi jatuh atau perubahan nilai.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10 dan 11. Menyediakan 8-bit output PWM dengan `analogWrite()` fungsi.
- SPI: 10 (SS), 11(mosi), 12(MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI.
- LED: Terdapat built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin adalah nilai TINGGI, LED menyala, ketika pin adalah RENDAH dan OFF.

Uno memiliki 6 input analog, diberi label A0 melalui A5, masing-masing menyediakan 10 bit resolusi yaitu 1024 nilai yang berbeda. Secara *default* sistem mengukur dari GND sampai 5 volt.

- TWI: A4 atau SDA pin dan A5 atau SCL pin. Mendukung komunikasi TWI.
- Aref: Referensi tegangan atau input analog. Digunakan dengan *analogReference()*.
- Reset.

1.2.4 Komunikasi

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain atau mikrokontroler lain. ATmega328 ini menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial, yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah ATmega16U2 pada saluran *board* ini komunikasi serial melalui USB dan muncul sebagai com port virtual untuk perangkat lunak pada komputer. *Firmware* Arduino menggunakan USB *driver* standar COM, dan tidak ada *driver* eksternal yang dibutuhkan. Namun pada windows, file. Inf

diperlukan. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke *board* Arduino. RX dan TX LED di *board* akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dan koneksi USB ke komputer.

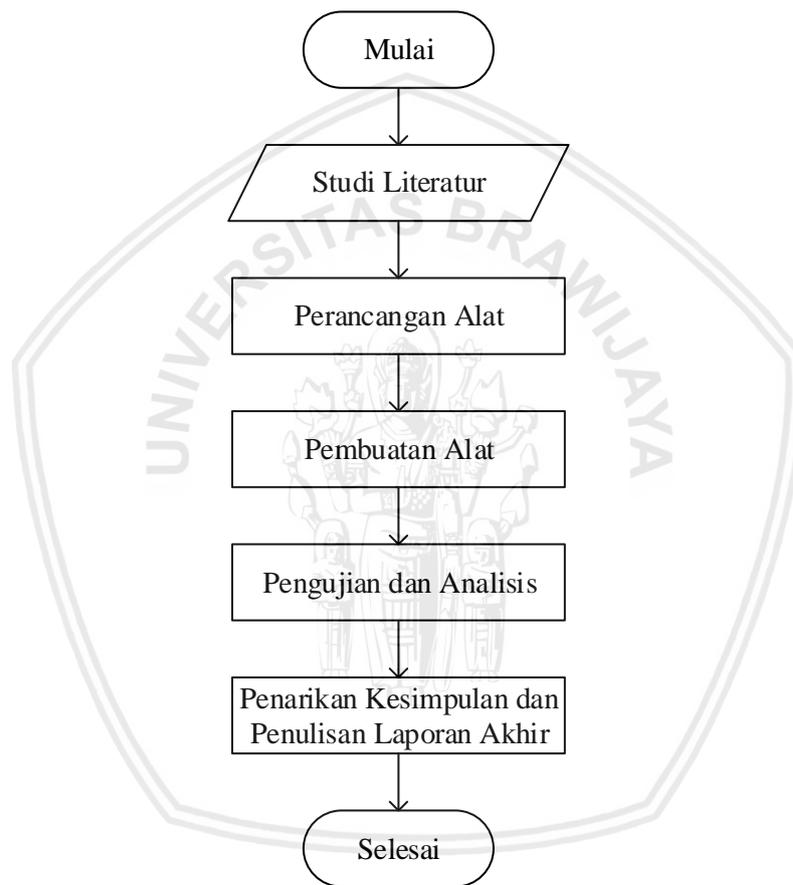


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan informasi dengan tujuan dan manfaat tertentu. Dalam menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode penelitian dalam penelitian ini secara garis besar ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

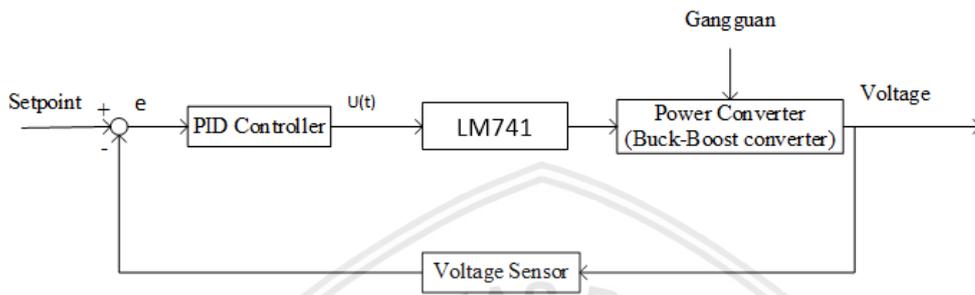
Pada gambar 3.1 Penelitian dimulai dengan studi literatur terkait untuk memecahkan permasalahan seperti *text book* dan jurnal penelitian yang pernah dilakukan. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan dan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak sistem. Pembuatan hardware dan software dimulai dengan perancangan blok diagram dan skema implementasinya baik *hardware* dan *software*. Untuk perangkat lunak sendiri difokuskan pada metode diskrit *PID controller*. Setelah alat selesai dibuat maka diperlukan pengujian dan analisis data hasil pengujian untuk melihat apakah sistem yang telah dibuat bisa bekerja sesuai perancangan serta apakah respon sistem bisa lebih baik setelah ditambahkan

repository.ub.ac.id

kontroller. Bagian akhir dari metode penelitian ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil pengujian sistem dan pemberian saran untuk pengembangan lebih lanjut.

3.2 Blok Diagram Sistem

Pada perancangan alat diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan rencana. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 3.2.



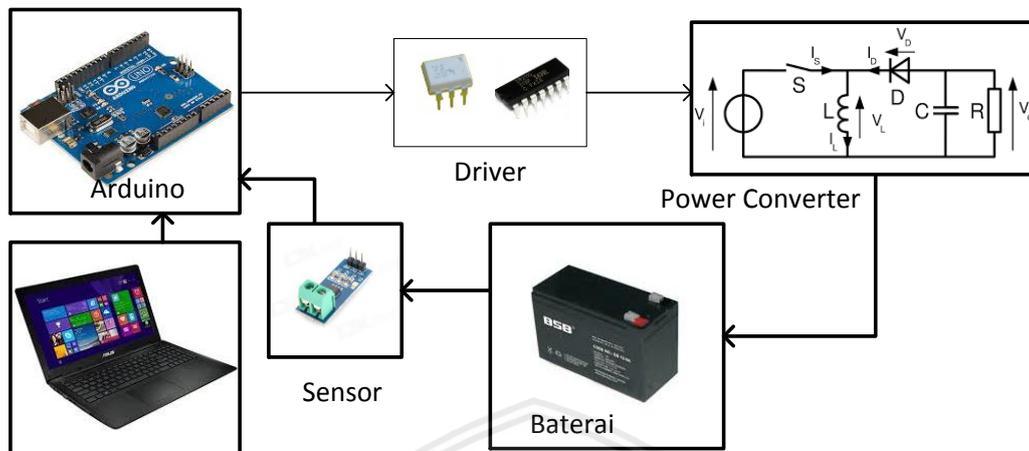
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem

Pada blok diagram yang ditunjukkan oleh gambar diatas, *setpoint* yang diberikan berupa tegangan yang besarnya adalah 15 volt atau menyesuaikan dengan baterai yang digunakan kemudian pada *sum point* dibandingkan dengan nilai sensor tegangan untuk mendapatkan nilai error (*e*). *PID controller* berfungsi untuk mengolah masukan berupa sinyal *error* (*e*) sehingga dihasilkan sinyal *control* keluaran *u(t)* dalam bentuk *pulse width modulation* (PWM) untuk driver LM741. Arduino uno difungsikan sebagai *controller*. Pada rangkaian *driver* digunakan komponen utama yaitu LM741 sebagai rangkaian pengaman antara rangkaian *control* dan rangkaian *power*. Hal ini perlu dilakukan karena rangkaian *control* bekerja pada level tegangan 5V sedangkan rangkaian *power* bekerja dengan level tegangan lebih dari 5V. Selain sebagai rangkaian *buffer* (pengaman) LM741 sebagai *driver* utama untuk rangkaian *power converter* sekaligus menjadi rangkaian penguat sinyal PWM yang berasal dari Arduino agar dapat men-*drive* rangkaian *power converter*. *Topologi buck-boost* digunakan untuk *power converter* karena tegangan *outputnya* dapat dinaikan dan diturunkan. System menerima gangguan berupa tegangan dan arus yang tidak stabil saat terjadi proses *charge* akibat dari fluktuasi intensitas cahaya matahari yang diterima oleh *solarcell*.

3.3 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dalam penelitian ini meliputi modul controller yang menggunakan Arduino uno, power converter yang digunakan adalah topologi buck-boost converter,

rangkaian driver utama berupa IC LM741. Skema rancangan dari perangkat keras diberikan oleh gambar dibawah ini.

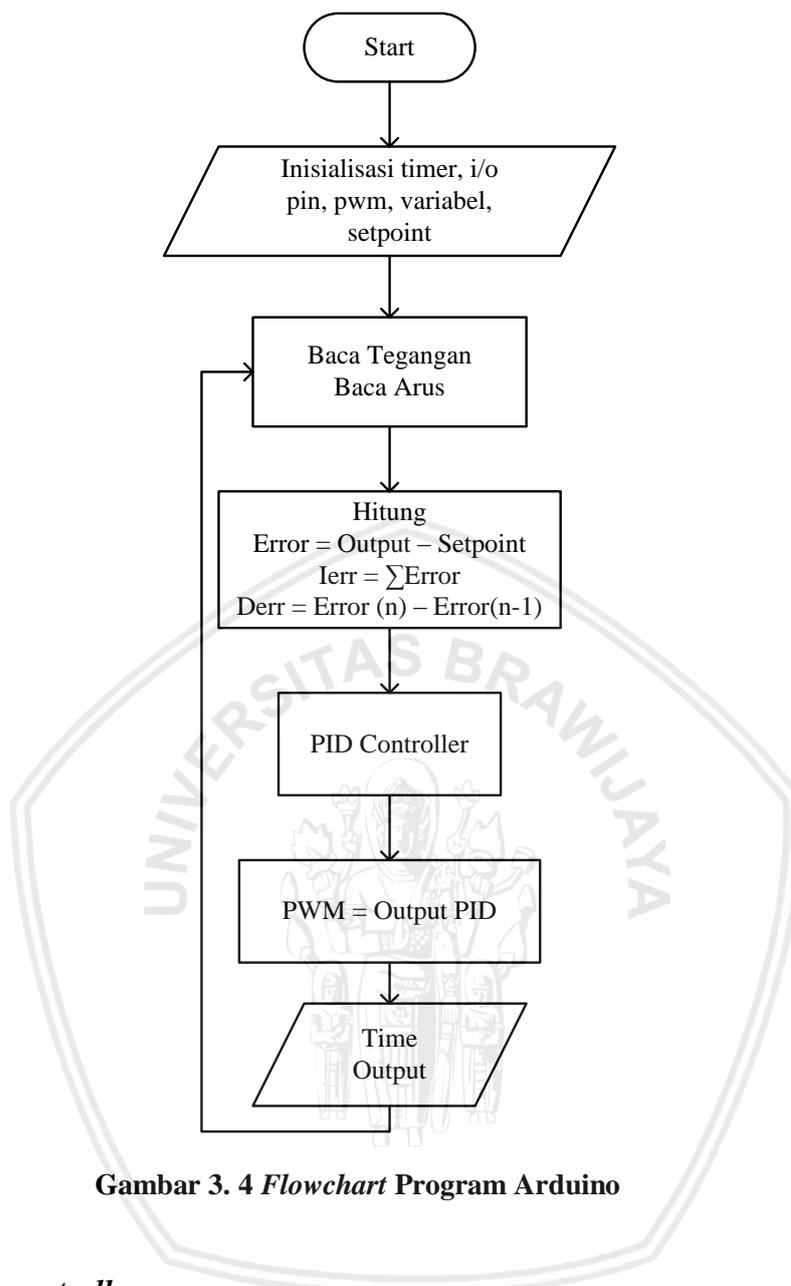


Gambar 3. 3 Skema Perangkat Keras

Personal Computer (PC) atau notebooks berfungsi untuk melakukan pemrograman pada Arduino dan untuk memonitoring proses yang terjadi pada Arduino. IC LM741 sebagai rangkaian buffer dan pengaman pada system antara Arduino dan rangkaian power switching. Beban yang digunakan adalah baterai 12V. Tegangan dan arus pada baterai di *sensing* untuk *feedback* pada Arduino.

3.4 Perancangan Perangkat Lunak

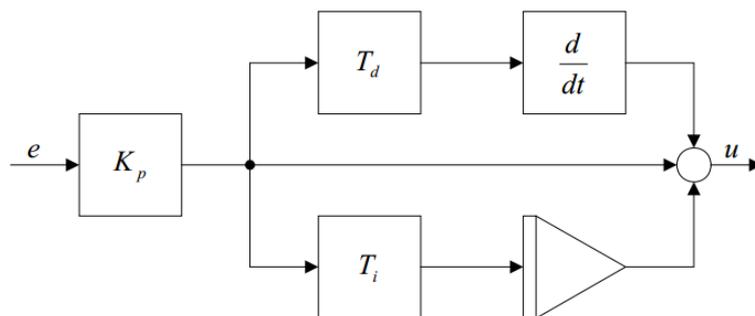
Diagram alir perangkat lunak untuk sistem yang telah dibuat diberikan oleh gambar 3.4. program akan memulai menginisialisasi timer, perangkat I/O pin, PWM, dan variabel yang diperlukan. Setelah proses menginisialisasi selesai dilanjutkan dengan pembacaan tegangan *output*. Masukan dari sensor akan diolah oleh *controller* untuk menentukan *error*. Ketika nilai *error* telah didapatkan selanjutnya dicari komponen *integral error* dan *derivative error*. Langkah selanjutnya adalah menentukan sinyal kontrol dari PID *controller*. Nilai yang dihasilkan oleh PID *controller* akan diubah menjadi sinyal PWM untuk menentukan besarnya *dutycycle* pada *power converter*. Data yang diamati berupa waktu dan output sistem yang ditampilkan pada *serial monitor* pada PC/Laptop.



Gambar 3. 4 *Flowchart* Program Arduino

3.4.1 Diskrit PID controller

Diskrit PID controller akan membaca *error*, menghitung dan mengeluarkan *input* kontrol pada interval waktu tertentu dengan periode sebesar T . Waktu sampling yang digunakan harus lebih kecil dari konstanta waktu dari sistem (Atmel AVR221:2016). PID controller mampu untuk memanipulasi masukan proses berdasarkan *history* dan perubahan sinyal. Hal ini memberikan keakurasian dan kestabilan kontrol lebih baik. Skematik PID Controller ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 PID Controller Schematic

Sumber: (Atmel AVR211, 2016)

Berdasarkan Gambar 3.5 menunjukkan PID *controller schematic* dimana T_p , T_i , T_d menunjukkan konstanta waktu dari *proportional*, *Integral*, dan *derivative* komponen secara berurutan. Fungsi alih dari sistem pada Gambar 3.5 adalah sebagai berikut:

$$\frac{u}{e} = H(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3.1)$$

Sehingga fungsi u terhadap e dalam time domain menjadi,

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\sigma) d\sigma + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.2)$$

Bentuk diskrit didapatkan dengan cara mengubah bagian integral dan turunan dengan pendekatan sebagai berikut:

$$\int_0^t e(\sigma) d\sigma \approx T \sum_{k=0}^n e(k) \quad (3.3)$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(n) - e(n-1)}{T} \quad (3.4)$$

$$t = nT \quad (3.5)$$

Dengan n adalah diskrit *step* pada waktu t

Sehingga persamaan controller akan menjadi sebagai berikut:

$$u(n) = K_p e(n) + K_i \sum_{k=0}^n e(k) + K_d (e(n) - e(n-1)) \quad (3.6)$$

Dengan

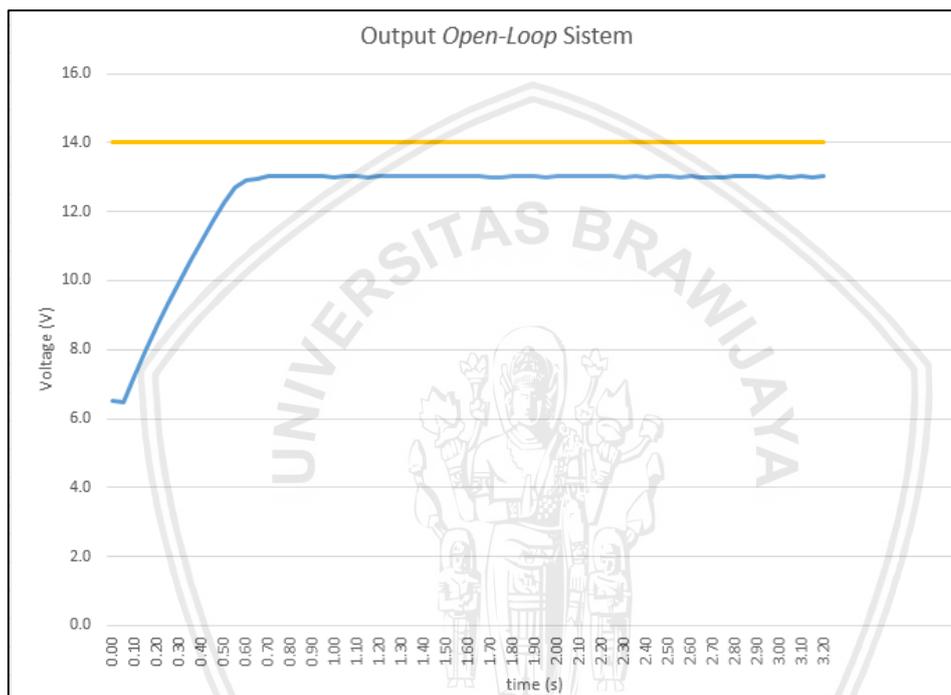
$$K_i = \frac{K_p T}{T_i} \quad (3.7)$$

$$K_d = \frac{K_p T_d}{T} \quad (3.8)$$

3.5 Penentuan Parameter PID

Parameter kontroler PID yaitu K_p , K_i , K_d akan dicari menggunakan metode root locus. Beberapa tahapan yang harus dilakukan adalah melakukan identifikasi plant, pemograman root locus pada matlab, dan simulasi pada matlab.

Identifikasi *system* bertujuan untuk mencari fungsi alih dari plant. Pada proses ini digunakan identification system toolbox pada matlab untuk mempermudah pencarian fungsi alih plant. Hal yang diperlukan adalah data open loop plant. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan response open loop system ditunjukkan oleh Gambar 2.5.

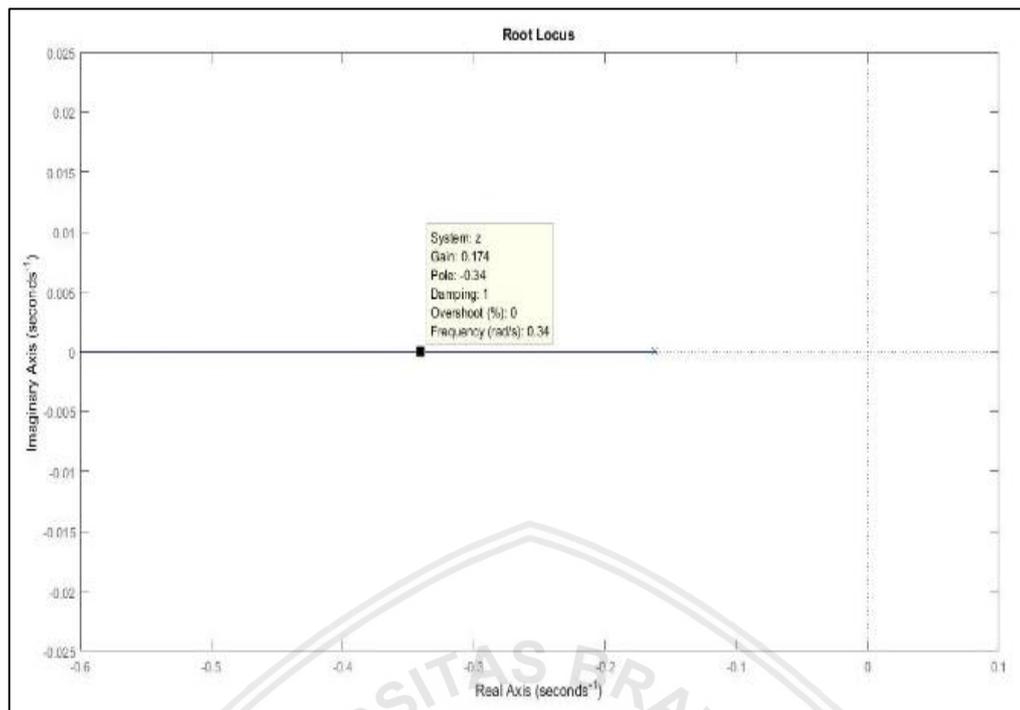


Gambar 3.6 response Open Loop System

Data open loop system selanjutnya di-import ke matlab dan dilakukan proses estimasi bentuk fungsi alih plant. Berdasarkan proses yang telah dilakukan diberikan bentuk fungsi alih sebagai berikut.

$$H(s) = \frac{2.442}{s^2 + 2.54s + 0.3849}$$

Fungsi alih system yang didapatkan terdiri dari dua pole dan tidak ada zero. Dari fungsi alih tersebut selanjutnya dilihat grafik root locusnya. Dengan menggunakan perintah rlocus(tf) pada matlab diberikan grafik root locus seperti pada gambar 2.6.



Gambar 3.7 Grafik root locus

Ditentukan pole system yang baru yaitu $s_1 = -0.34$ dan dengan menentukan nilai K_i terlebih dahulu, maka nilai K_p dan K_d dapat dicari. Berikut listing program pada Matlab yang digunakan.

```
%parameter PID
s1 = -0.34;
ki = [0.1 0.5 1.5 2.5 5];

plant_num = [0 0 2.442];
plant_den = [1 2.54 0.349];

slmag = abs(s1);
beta = angle(s1);
plant_al = polyval(plant_num,s1)/polyval(plant_den,s1);
plantslmag = abs(plant_al);
psi = angle(plant_al);
t=0:1:20:300;

for k=1:5
```

```

kp = -sin(beta+psi)/(plantslmag*sin(beta)) -
2*ki(k)*cos(beta)/slmag
nilai_ki=ki(k)
kd = sin(psi)/(slmag*plantslmag*sin(beta)) +ki(k)/slmag^2

Gcnum = [kd kp ki(k)]
Gcden = [0 1 0];

Tnum = conv(plant_num, Gcnum);
Tden = conv(plant_den, Gcden)+conv(plant_num,Gcnum);

r = roots(Tden)

step (Tnum,Tden,t)
hold on
end

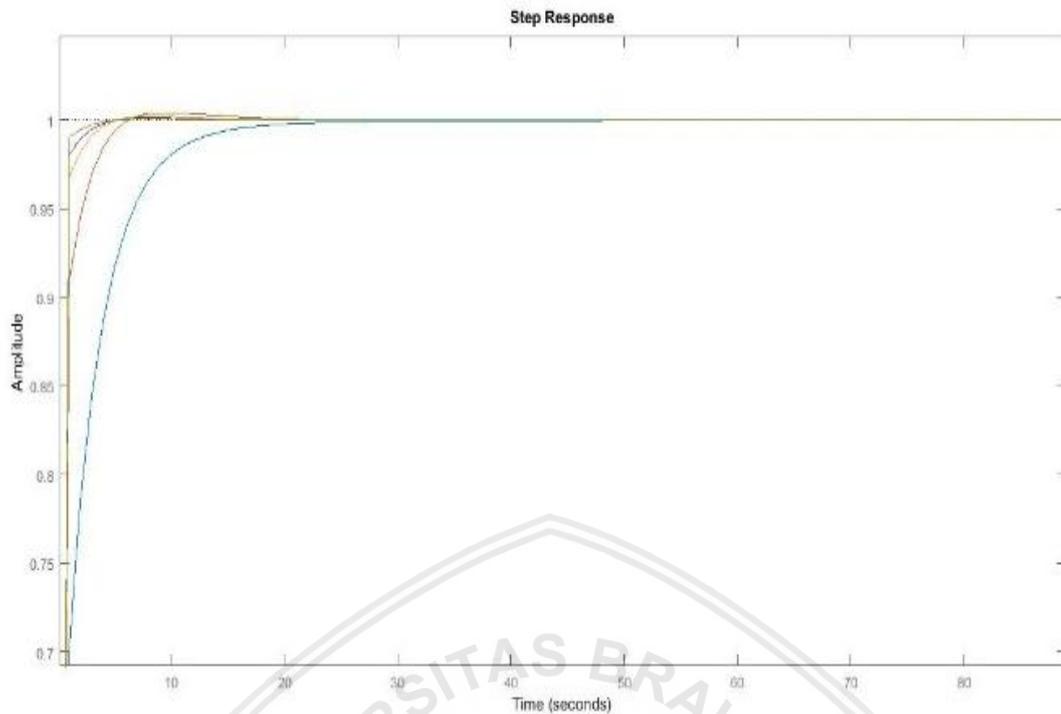
hold off
figure, rlocus(Tnum,Tden)
nilai Kp dan Kd secara lengkap diberikan oleh Table 2.1

```

Tabel 3.1 Nilai Kp, Ki, Kd

Ki	Kp	kd
0.1	0.8856	1.3024
0.5	3.2386	4.7626
1.5	9.1209	13.4131
2.5	15.0033	22.0636
5	29.7091	43.6899

Hal selanjutnya adalah mengamati bentuk *response* yang dihasilkan oleh masing-masing nilai yang telah didapatkan. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan maka didapatkan grafik response seperti pada gambar 2.7.



Gambar 3. 8 Hasil simulasi system

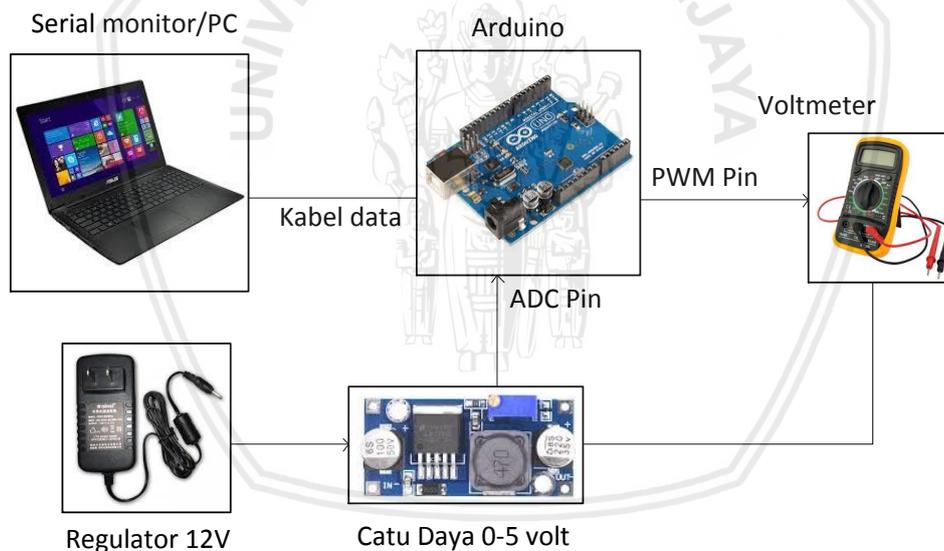
Berdasarkan simulasi yang dilakukan diketahui dengan metode *root locus* dapat ditentukan nilai nilai dari parameter PID dan dapat memperbaiki response *plant*. Selanjutnya adalah menerapkan nilai-nilai yang telah didapatkan untuk melakukan pengujian system secara keseluruhan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Arduino

Arduino Uno yang digunakan sebagai kontroler dalam penelitian ini perlu di uji untuk melihat kinerja pin *Pulse Width Modulation* (PWM) dan pin *Analog to Digital Converter* (ADC). Kedua pin ini memegang peranan penting, karena pin pwm digunakan sebagai sinyal *control* dan pin ADC sebagai *input feedback* sensor tegangan. Adapun prosedur pengujiannya di perlihatkan oleh gambar 4.1. Arduino menerima masukan *feedback* berupa tegangan dari sensor. Besar tegangan adalah maksimal sebesar 5 volt atau sesuai tegangan kerja Arduino. Pin pwm akan menghasilkan sinyal *control* berupa pwm yang tegangan rata-ratanya adalah variasi. Tegangan yang bervariasi ini nilainya dapat diatur melalui pemberian nilai tertentu dalam program sehingga memungkinkan untuk mengatur tegangan rata-rata PWM. Tegangan PWM maksimal yang bisa dihasilkan adalah sebesar 5 volt sesuai tegangan kerja Arduino.



Gambar 4.1 Prosedur Pengujian ADC pin dan PWM pin Arduino Uno

Pengukuran tegangan keluaran yang dihasilkan oleh PWM Pin diukur langsung dengan voltmeter sedangkan untuk nilai ADC yang dapat diamati langsung pada *serial monitor computer*. Hasil pengujian ADC pin diberikan oleh Tabel 4.1 sedangkan untuk hasil pengujian PWM pin diberikan oleh Tabel 4.2. Hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan perhitungan secara teori untuk melihat tingkat kesalahan yang dimiliki oleh masing-masing pin.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian ADC Pin Arduino Uno

Vin	ADC teori	ADC Praktek
0	0.00	0
0.5	102.30	102
1	204.60	205
1.5	306.90	307
2	409.20	409
2.5	511.50	511
3	613.80	614
3.5	716.10	716
4	818.40	818
4.5	920.70	921
5	1023.00	1023

Error rata-rata yang dihasilkan oleh ADC pin adalah sebesar 0.08%. Hal ini pada dasarnya karena pembulatan angka yang terjadi pada proses eksekusi program. Untuk program ADC nilai-nilai yang dieksekusi haruslah nilai interger atau dengan kata lain mikrokontroler tidak mengenal nilai pecahan untuk ADC.

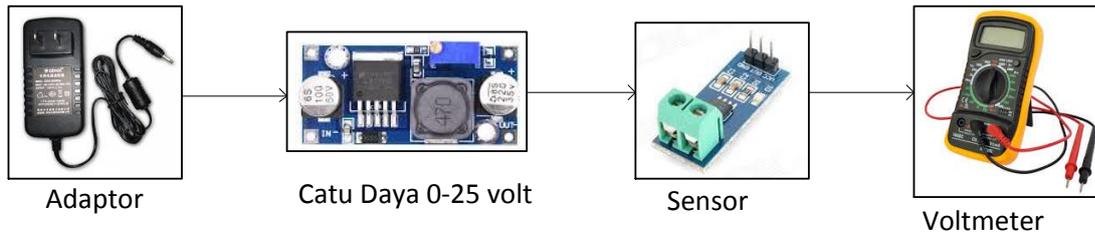
Pada PWM pin dihasilkan error sebesar 0.43 % terhadap perhitungan secara teori. Nilai yang dimasukan untuk menghasilkan tegangan keluaran tertentu dapat dihitung dengan mengubah nilai dutycycle yang diinginkan dalam range 0-255. Dikarenakan PWM pin yang digunakan memakai timer/counter 8 bit maka nilai-nilai yang bisa dimasukan memiliki range 0-255. Berdasarkan pengujian ADC pin dan PWM pin maka Arduino Uno dapat digunakan sebagai *controller* pada sistem yang dirancang. Error yang dihasilkan oleh masing-masing pin sangat kecil sehingga Arduino Uno dapat bekerja dengan baik sebagai *controller*.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian PWM Pin Arduino

dutycycle %	Nilai Input	Vout Teori	Vout Praktek
0	0.00	0.00	0.00
5	12.75	0.25	0.26
10	25.50	0.50	0.51
15	38.25	0.75	0.75
20	51.00	1.00	1.01
25	63.75	1.26	1.26
30	76.50	1.51	1.52
35	89.25	1.76	1.75
40	102.00	2.01	2.01
45	114.75	2.26	2.27
50	127.50	2.51	2.52
55	140.25	2.76	2.76
60	153.00	3.01	3.02
65	165.75	3.26	3.27
70	178.50	3.51	3.53
75	191.25	3.77	3.76
80	204.00	4.02	4.02
85	216.75	4.27	4.28
90	229.50	4.52	4.53
95	242.25	4.77	4.77
100	255.00	5.02	5.03

4.2 Pengujian sensor tegangan

Sensor tegangan yang digunakan sebagai feedback dari system yang dibuat memiliki karakteristik tertentu sehingga perlu di uji untuk melihat kinerjanya. Tegangan yang disensing dalam penelitian ini memiliki range 0-25 volt atau disesuaikan dengan tegangan baterai yang digunakan sebagai beban. Prototype alat yang dibuat menggunakan baterai 12 volt. Prosedur pengujian sensor tegangan diberikan oleh gambar 4.2. Sensor akan menerima tegangan masukan bervariasi dengan range 0-25 volt dan sisi keluaran sensor akan diukur tegangannya menggunakan voltmeter.



Gambar 4. 2 Skema Pengujian Sensor Tegangan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui kinerja sensor didapatkan data seperti pada Tabel 4.3. Error rata-rata tegangan keluaran sensor adalah sebesar 2.37 % terhadap tegangan keluaran secara teori.

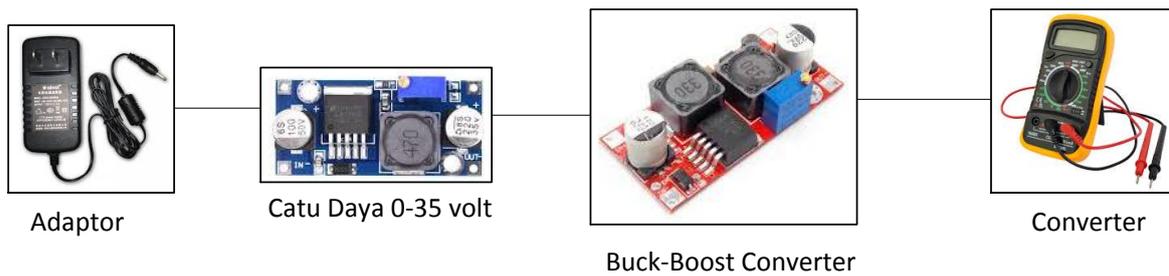
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Vin	Vout teori	Vout praktek
1	0.20	0.20
2	0.40	0.40
3	0.60	0.59
4	0.80	0.78
5	1.00	0.97
6	1.20	1.18
7	1.40	1.37
8	1.60	1.57
9	1.80	1.75
10	2.00	1.94
11	2.20	2.13
12	2.40	2.46
13	2.60	2.66
14	2.80	2.87
15	3.00	3.07

4.3 Pengujian buck-boost converter

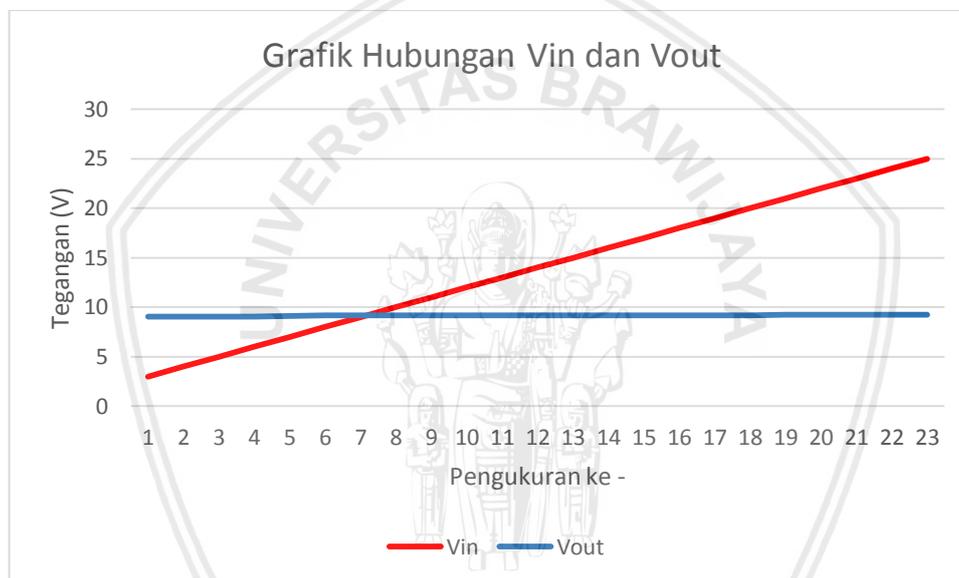
Buck-Boost converter digunakan untuk mendapatkan tegangan yang konstan pada sisi keluaran dengan tegangan masukan yang bervariasi. Kinerja dari converter ini perlu diuji untuk melihat bagaimana tegangan sisi keluaran ketika tegangan masukan lebih kecil atau lebih besar dari nilai yang ditentukan. Selain itu perlu dicari tahu juga hubungan antara dutycycle dengan tegangan keluaran dari buck boost converter. Skema pengujian buck-boost converter diberikan oleh Gambar 4.3. Rangkaian buck-boost converter akan menerima

masukannya berupa tegangan yang bervariasi dengan range 0-25 volt. Pada sisi keluarannya telah di-set untuk menghasilkan tegangan sebesar 9 volt.



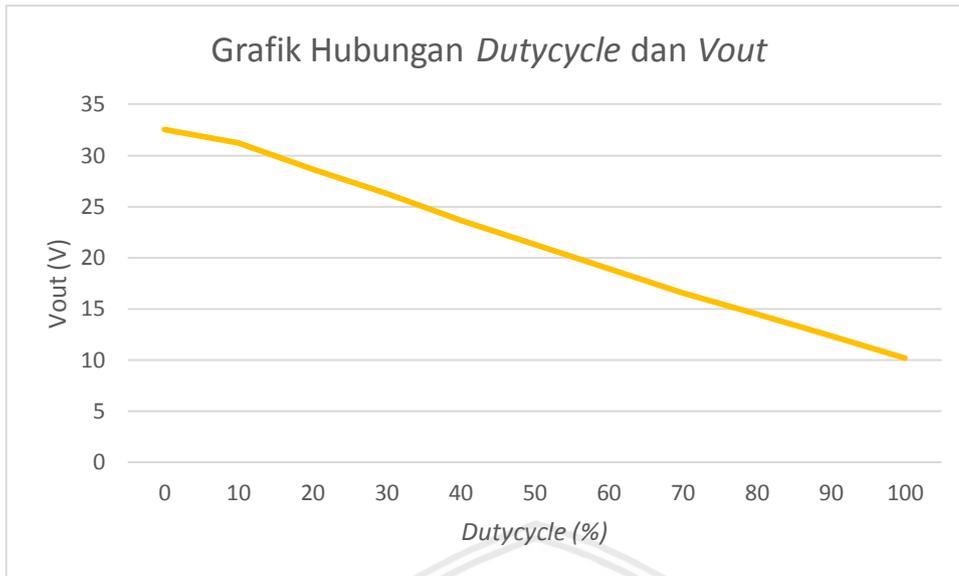
Gambar 4. 3 Skema Pengujian Buck-Boost Converter

Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.4. Dari grafik yang diberikan dapat diketahui bahwa tegangan keluaran tetap 9 volt meski tegangan masukan berubah-ubah.



Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Vin dan Vout

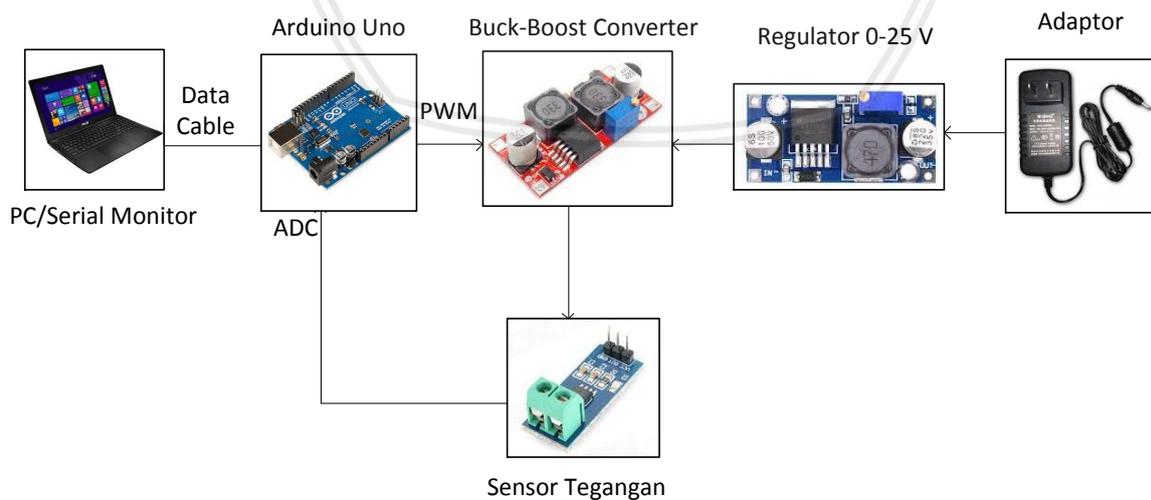
Pengujian *dutycycle* terhadap tegangan output dari *buck-boost converter* memberikan hasil seperti tampak pada Gambar 4.5. Dari grafik yang diberikan oleh Gambar 4.5 dapat dikatakan bahwa tegangan keluaran dari rangkaian *buck-boost converter* adalah berbanding terbalik dengan *dutycycle*. Semakin besar *dutycycle* yang diberikan maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan. Diketahui juga bahwa tegangan maksimal keluaran *buck-boost converter* adalah sebesar 32.5 volt dan tegangan minimal yang dihasilkan adalah 10 volt. Tegangan maksimal dari *buck-boost converter* dapat di set lebih kecil dengan memutar *trimmer* yang ada pada rangkaian.



Gambar 4. 5 Grafik Hubungan DutyCycle dengan Vout Buck-Boost Converter

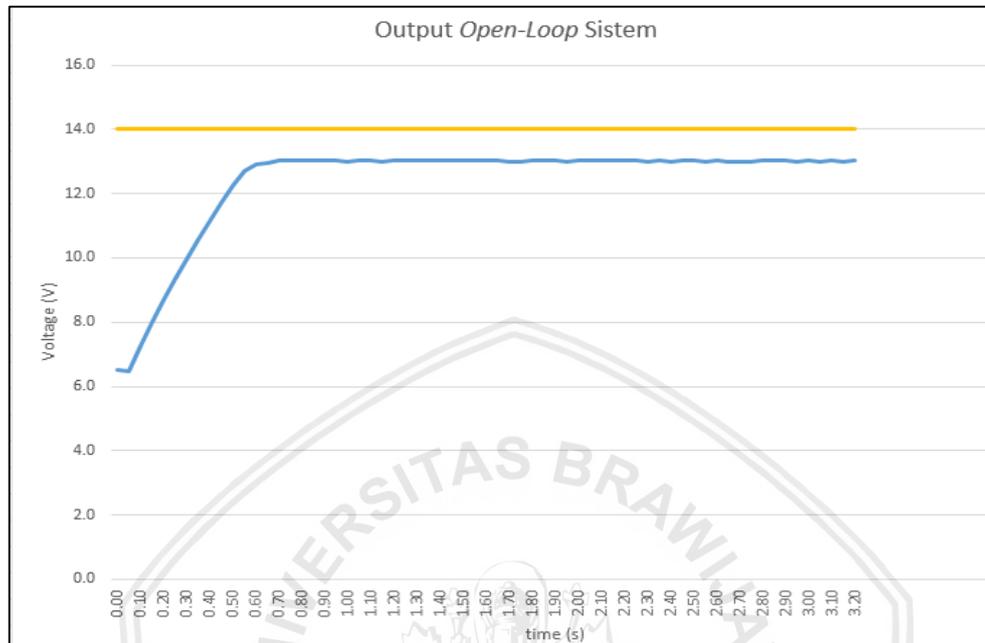
4.4 Pengujian Open Loop Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mencari parameter PID berdasarkan respon sistem secara open loop. Skema pengujian tampak pada Gambar 4.6. Arduino sebagai *controller* berfungsi menghasilkan sinyal pwm untuk *buck-boost converter* dan membaca tegangan yang terukur sensor melalui ADC. *Buck-boost converter* menerima masukan dari regulator sebesar 20 volt dan menerima masukan berupa sinyal PWM dari Arduino untuk menentukan besarnya tegangan keluaran dari *buck-boost converter*. Hasil pengujian akan diamati melalui serial monitor pada PC/Laptop.



Gambar 4. 6 Skema Pengujian Open Loop Sistem

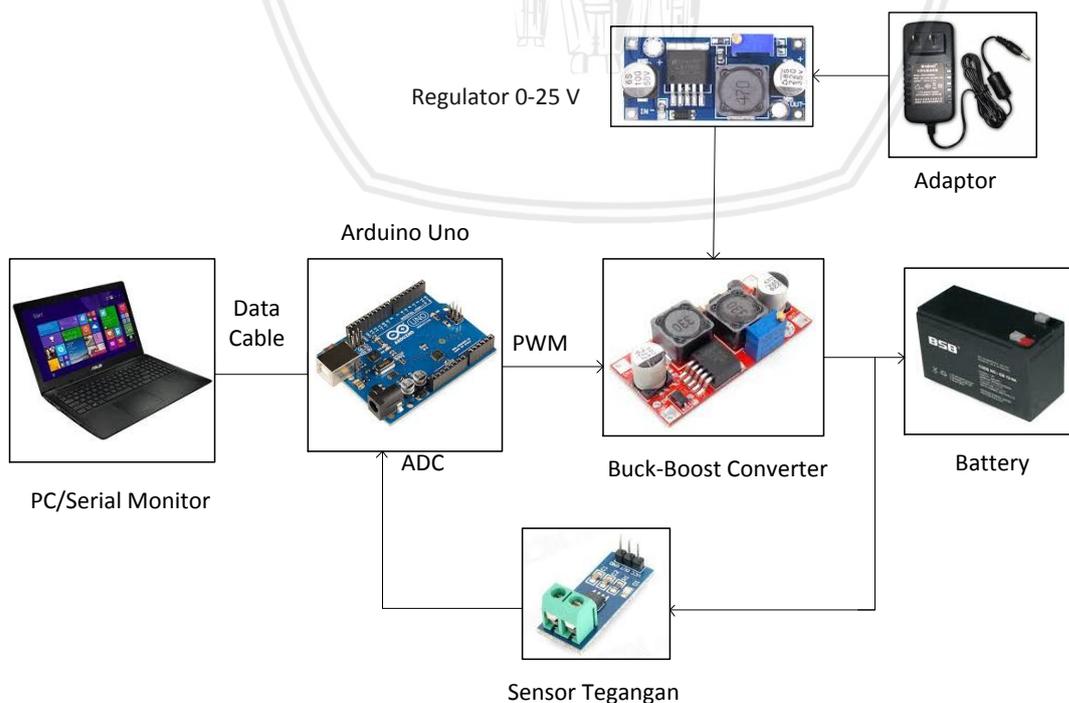
Hasil pengujian open loop sistem tampak pada Gambar 4.7. Terlihat pada Gambar 4.7 bahwa output system tidak bisa mencapai nilai yang diinginkan. Hasil ini selanjutnya akan digunakan untuk menentukan fungsi alih system dengan bantuan System Identification Toolbox Matlab.



Gambar 4. 7 Output Open Loop Sistem

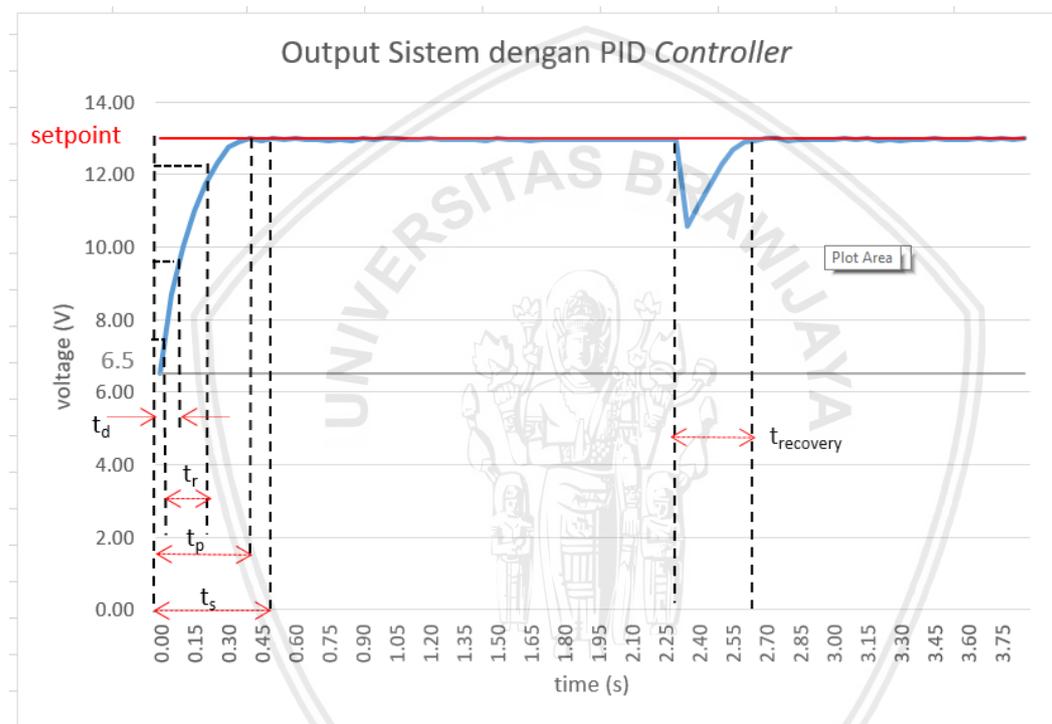
4.5 Pengujian Sistem dengan PID Kontroler

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui output sistem setelah menggunakan PID kontroler. Skema pengujian tampak pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Skema Pengujian Sistem dengan PID Controller

Pada skema pengujian yang terdapat pada Gambar 4.8 tidak berbeda jauh dengan skema pengujian pada Gambar 4.6. Hal yang membedakan adalah pada pengujian sistem dengan PID *controller* terdapat beban yaitu baterai dan *controller* telah diprogram dengan algoritma PID *controller*. Sistem juga diberikan gangguan untuk mengetahui *recovery time* ketika terjadi gangguan sehingga sistem dapat beroperasi normal kembali. Gangguan yang diberikan pada sistem berupa memutus sumber tegangan buck-boost converter untuk sementara waktu. Gangguan jenis ini digunakan untuk mewakili kondisi real yang mungkin terjadi yaitu panel surya tidak menerima cukup intensitas cahaya matahari sehingga tegangan yang masuk pada buck-boost converter tidaklah cukup untuk membuat rangkaian bekerja.



Gambar 4. 9 Output Sistem dengan PID Controller

Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.9. Beberapa parameter penting yang diamati adalah sebagai berikut:

a. *Overshoot*

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan hasil pengujian diberikan pada Gambar 4.9 diketahui bahwa sistem tidak mengalami *overshoot*. Sistem hanya lebih cepat dibandingkan dengan kondisi open loop pada Gambar 4.7.

b. *Voffset*

Output sistem tidak mulai dari nol, hal ini berarti sistem yang telah dibuat terdapat tegangan *offset* (V_{offset}). *Voffset* ini merupakan tegangan keluaran minimal dari *Buck*

Boost Converter karena pembatasan yang dilakukan pada tegangan keluaran maksimal dari *converter*.

c. *Delay time output* (t_d)

Delay time merupakan waktu yang diperlukan *output* sistem untuk mencapai 50% dari nilai *setpoint*. Karena pada sistem terdapat *Voffset* maka 50% *setpoint* sebesar 9.75 volt. Dengan mengambil nilai tersebut maka *delay time* adalah 90 ms.

d. *Rise time output* (t_r)

Rise time merupakan waktu yang dibutuhkan sistem dari 10% nilai *setpoint* hingga 90% nilai *setpoint*. Nilai tegangan saat *output* mencapai 10% *setpoint* adalah 7,15 volt dan saat *output* mencaai 90% adalah 12.35 volt. Dengan mengambi nilai-nilai tersebut maka *rise time output* pada Gambar 4.9 adalah 225 ms.

e. *Peak time output* (t_p)

Dikarenakan tidak ada *overshoot* pada *output* sistem maka nilai puncak *output* dapat ditentukan dengan cara mengamati saat *output* mencapai nilai dari *setpoint* untuk pertama kali. Berdasarkan data yang telah diambil maka diketahui nilai *peak time* adalah sebesar 400ms.

f. *Settling time* (t_s)

Settling time merupakan waktu yang diperlukan output untuk berada dikisaran harga *setpoint*. Pada Gambar 4.9 nilai *settling time* adalah sebesar 500 ms.

g. *Error*

Error merupakan kesalahan yang terjadi pada nilai output yang tidak sama persis dengan *setpoint* yang diberikan. Error sistem pada penelitian ini dapat hitung dengan cara sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{setpoint} = 13 \text{ volt}$$

$$\text{min}(\text{output}) = 12,93 \text{ volt}$$

$$\text{max}(\text{output}) = 13.01 \text{ volt}$$

perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{error} &= \frac{|\text{setpoint} - \text{min}(\text{output})|}{\text{setpoint}} \times 100\% \\ &= \frac{|13 - 12,93|}{13} \times 100\% \\ &= 0.54\% \end{aligned}$$

h. *Recovery time*

Recovery time merupakan waktu yang diperlukan sistem ketika terjadi gangguan untuk kembali pada kondisi *steady state* sesuai *setpoint* yang diberikan.

Hasil lengkap perhitungan dan analisis untuk output sistem menggunakan *PID controller* diberikan pada Tabel

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sistem dengan *PID Controller*

No	Parameter	Nilai dan Satuan
1.	V_{offset}	6.5 V
2.	<i>Delay time</i> (t_d)	0.09 s
3.	<i>Rise time</i> (t_r)	0.23 s
4.	<i>Peak time</i> (t_p)	0.4 s
5.	<i>Settling time</i> (t_s)	0.5 s
6.	Maksimal <i>overshoot</i>	-
7.	<i>Error</i>	0.54 %
8.	Waktu Pemulihan (t_{recovery})	0.3 s

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan semua pengujian yang telah dilaksanakan pada maka kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang dibuat menggunakan Arduino Uno sebagai kontroler, sensor tegangan sebagai *feedback* sistem dan *buck-boost converter* sebagai *power converter*. Sistem yang dibuat dapat bekerja dengan baik karena mampu menjaga nilai output sesuai setpoint.
2. Parameter PID yang didapatkan yaitu $K_p=3.2368$, $K_i=0.5$ dan $K_d=4.7626$. Output sistem memiliki *delay time* (t_d) sebesar 0.09s, *rise time* (t_r) sebesar 0.23s, *peak time* (t_p) sebesar 0.4s, *settling time* (t_s) sebesar 0.5s, tidak ada *overshoot*, *error output* hanya 0.54% dan *recovery time* sebesar 0.3s.

5.2 Saran

Demi penyempurnaan penelitian ini di masa depan maka beberapa hal yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Metode diskritisasi PID *controller* bisa menggunakan metode selain yang digunakan oleh peneliti.
2. Power converter yang digunakan bisa diganti dengan topology yang lain.
3. Metode untuk mencari parameter PID bisa menggunakan selain Ziegler Nichols.
4. Tegangan keluaran alat maksimal adalah 30 volt, sehingga perlu mengganti komponen pada *buck-boost converter* jika diinginkan tegangan keluran lebih dari 30 volt.
5. Alat sudah dapat bekerja dengan baik meski tidak dapat menggunakan semua nilai PWM yang tersedia.
6. Arus keluaran maksimal *buck-boost converter* adalah 3 ampere sehingga perlu

DAFTAR PUSTAKA

- Atmel AVR221: *Discrete PID Controller on tinyAVR and megaAVR devices*.
<http://www.atmel.com>, diakses tanggal 1 Februari 2017.
- Atmel. 2016. *8-Bit Microcontrollers ATmega328/P*. www.microchip.com Diakses pada tanggal 7 Juni 2017.
- Hart, Daniel W. 2011. *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill.
- Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering 5th Edition*. United States: Prentice hall.
- Rashid, Muhammad H. 2011. *Power Eletronics Handbook 3rd Edition*. United States: Elsevier.
- Texas Instruments. 2015. *LM741 Operational Amplifier*. www.ti.com. Diakses tanggal 20 september 2017.
- Texas Instruments. 2016. *LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator*. www.ti.com. Diakses pada tanggal 1 Agustus 2017.
- Triandini, Annisa. 2013. *Perancangan Battery Control Unit (BCU) dengan Menggunakan Topologi Cuk Converter pada Instalasi Listrik Tenaga Surya*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- XLSEMI. 2016. *180KHz 60V 5A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter*. www.xlsemi.com. Diakses pada tanggal 21 desember 2016.

