



TUGAS AKHIR - EE 184801

**SISTEM PENGATURAN PENGISIAN BATERAI PADA
PANEL SURYA BERBASIS *PID CONTROLLER* GUNA
MENINGKATKAN KEANDALAN *KEYPOINT* UP2D JAWA
TIMUR PT. PLN**

Muhammad Rifky Abdul Fattah
NRP. 07111540000144

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Mochammad Rameli
Eka Iskandar, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----



FINAL PROJECT - EE 184801

**BATTERY CHARGING CONTROL SYSTEM IN SOLAR
CELL BASED ON PID CONTROLLER TO INCREASE
RELIABILITY OF UP2D EAST JAVA PT. PLN**

Muhammad Rifky Abdul Fattah
NRP. 07111540000144

Supervisor
Dr. Ir. Mochammad Rameli
Eka Iskandar, S.T., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

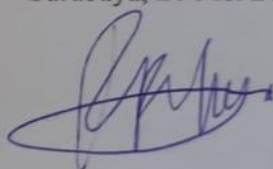
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Sistem Pengaturan Pengisian Baterai pada Panel Surya Berbasis *PID Controller* Guna Meningkatkan Keandalan *Keypoint* UP2D Jawa Timur PT. PLN**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Mei 2019



Muhammad Rifky Abdul Fattah
NRP 07111540000144

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

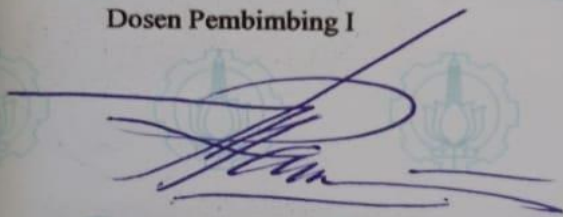
**SISTEM PENGATURAN PENGISIAN BATERAI pada PANEL
SURYA BERBASIS PID CONTROLLER guna MENINGKATKAN
KEANDALAN KEYPOINT UP2D JAWA TIMUR PT. PLN
TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Mochammad Rameli
NIP. 195412271981031002

Eka Iskandar, S.T., M.T.
NIP. 198005282008121001



-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

SISTEM PENGATURAN PENGISIAN BATERAI pada PANEL SURYA BERBASIS *PID CONTROLLER* guna MENINGKATKAN KEANDALAN *KEYPOINT* UP2D JAWA TIMUR PT. PLN

Nama : Muhammad Rifky Abdul Fattah
Pembimbing I : Dr. Ir. Mochammad Rameli
Pembimbing II : Eka Iskandar, S.T., M.T.

ABSTRAK

Energi listrik merupakan salah satu sektor yang vital untuk memenuhi kebutuhan suatu negara khususnya di Indonesia. Tingginya kebutuhan tersebut menimbulkan banyak masalah bagi negara, salah satunya yaitu kegagalan dalam distribusi oleh UP2D PT. PLN wilayah Jawa Timur. Hal itu terjadi karena kebutuhan *DC supply keypoint* belum andal secara maksimal. Tugas akhir ini meningkatkan keandalan *keypoint* dengan memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi listrik. Panel surya adalah pembangkitan listrik memanfaatkan iradiasi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan *Photovoltaic (PV)*. Kondisi alam sekitar yang tidak menentu mengakibatkan karakteristik dari panel surya memiliki keluaran tegangan yang tidak stabil. Solusi untuk mengatasi masalah ini adalah menggunakan *PID controller* dan sistem penyimpanan energi. Pada penelitian ini dikembangkan sebuah sistem kontrol tegangan *DC supply* berbasis *PID Controller* pada baterai untuk menjaga keandalan sistem distribusi dengan maksimal. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi modifikasi suatu sistem guna memaksimalkan keandalan tersebut. Tugas akhir ini menghasilkan sistem baru yang dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi di Indonesia, khususnya wilayah Jawa Timur.

Kata Kunci: Baterai, Panel Surya, *PID Controller*

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

**BATTERY CHARGING CONTROL SYSTEM in SOLAR CELL
BASED on PID CONTROLLER to INCREASE RELIABILITY of
UP2D EAST JAVA PT. PLN**

Student's name : Muhammad Rifky Abdul Fattah
Supervisor I : Dr. Ir. Mochammad Rameli
Supervisor II : Eka Iskandar, S.T., M.T.

ABSTRACT

Electrical energy is one of the vital sectors to meet the needs of a country, especially in Indonesia. The high demand raises many problems for the country, one of which is failure in distribution by UP2D PT. PLN in East Java region. This happens because the need for the DC supply point is not optimally reliable. This final project increases keypoint reliability by utilizing solar panels as a source of electrical energy. Solar panels are electricity generation utilizing solar irradiation into electrical energy using Photovoltaic (PV). Erratic surrounding conditions result in characteristics of solar panels having unstable voltage output. The solution to overcome this problem is to use PID controller and energy storage systems. In this study, a PID Controller-based DC supply voltage control system was developed on the battery to help UP2D East Java so that they can support distribution system reliability to the greatest. Therefore, need innovation in a modification system to maximize that reliability. This final project produces a new system that can improve distribution systems reliability in Indonesia, especially the East Java region.

Keywords: *Battery, PID Controller, Solar Cell*

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau. Tugas akhir ini disusun bertujuan untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang berjudul **“Sistem Pengaturan Pengisian Baterai pada Panel Surya Berbasis *PID Controller* guna Meningkatkan Keandalan Keypoint UP2D Jawa Timur PT. PLN”** atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Nuraida, Bapak Jarkasi (almarhum) penulis yang memberikan berbagai bentuk doa serta dukungan tulus tiada henti, dalam keadaan apapun. Semoga Allah selalu memberikan kesehatan.
2. Keluarga Pondok Pesantren Darussalam (PPDS) Keputih baik guru maupun para santri.
3. Bapak Dr. Ir. Mochammad Rameli dan Bapak Eka Iskandar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya tugas akhir,
4. Seluruh Staff/Karyawan/Dosen Departemen Teknik Elektro yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang mendukung.
5. Teman- teman yang selalu mendukung saya secara ilmu, moral dan spiritual khususnya Mas Aditya Setiadi Putra, S.T. untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, 21 Mei 2019

Penulis

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	1
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sistematika Penulisan	3
1.7. Relevansi	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Photovoltaic.....	5
2.1.1. Prinsip kerja	5
2.1.2 Karakteristik PV.....	6
2.2. Buck Converter.....	9
2.3. <i>Proportional Integral Derivative (PID) Controller</i>	11
2.4. Tuning PID dengan Metode <i>Ziegler-Nichols Closed-loop</i> ..	12
2.5. Baterai	14
BAB III PERANCANGAN SISTEM	17
3.1. Konsep Sistem <i>DC Supply</i> Teknologi <i>Keypoint</i>	17
3.2. Konfigurasi Pemodelan Sistem Kontrol Pengisian Baterai pada Panel Surya	18
3.3 Photovoltaic.....	19
3.3. Desain Buck Converter.....	20
3.4. Desain Kontroler PID Metode <i>Ziegler Nichols</i>	21
3.5. Desain Kontroler PID Metode Analitik	23
3.6. Spesifikasi Sistem.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Pengujian dan Analisa Perubahan Iradiasi terhadap Daya Keluaran PV	27
4.2 Tegangan <i>Output</i> yang Dihasilkan PV	28
4.3 Tegangan <i>Output Buck Converter</i> tanpa Kontroler PID.....	29
4.4 Tegangan <i>Output Buck Converter</i> dengan Kontroler PID Metode <i>Ziegler Nichols</i>	29
4.5. Tegangan <i>Output Buck Converter</i> dengan Kontroler PID Metode Analitik	30

4.6.	Perbandingan Tegangan Output Buck Converter Tanpa dan Dengan Kontroler PID	31
4.7.	Karakteristik SOC, Arus dan Tegangan Baterai	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		35
5.1.	Kesimpulan	35
5.2.	Saran	35
DAFTAR PUSTAKA		37
LAMPIRAN		39
BIODATA PENULIS		45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Ilustrasi PV [2].....	6
Gambar 2.2.	Rangkaian Ekivalen Sederhana PV [3].....	6
Gambar 2.3.	Rangkaian Ekivalen PV [4]	7
Gambar 2.4.	Karakteristik arus PV berdasarkan nilai iradiasi.....	8
Gambar 2.5.	Karakteristik daya PV berdasarkan nilai iradiasi	8
Gambar 2.6.	Karakteristik arus PV berdasarkan nilai temperatur	8
Gambar 2.7.	Karakteristik daya PV berdasarkan nilai temperature... ..	9
Gambar 2.8.	Saat switch menyala.....	9
Gambar 2.9.	Saat switch mati	10
Gambar 2.10.	Pengaruh Nilai K_p , K_i , K_d	12
Gambar 2.11.	Penentuan Nilai K_c dan P_c	13
Gambar 2.12.	Rangkaian Baterai <i>Lead Acid</i>	14
Gambar 3.1.	<i>DC Supply</i> Teknologi <i>Keypoint</i> Saat Ini	17
Gambar 3.2.	<i>DC Supply</i> Teknologi <i>Keypoint</i> Modifikasi	17
Gambar 3.3.	Desain <i>DC Supply</i> Teknologi <i>Keypoint</i> Modifikasi	18
Gambar 3.4.	Konfigurasi Sistem Penyimpanan Energi	18
Gambar 3.5.	Karakteristik PV yang Digunakan	20
Gambar 3.6.	Blok Diagram Kontroler PID pada <i>Buck Converter</i> ...	21
Gambar 3.7.	Osilasi Penentu Nilai P_c	22
Gambar 3.8.	PID <i>Controller Buck Converter</i> pada Matlab	23
Gambar 3.9.	Blok Diagram <i>Plant Orde Dua</i> dengan PID Modifikasi 24	
Gambar 4.1.	Grafik perubahan iradiasi cahaya matahari	27
Gambar 4.2.	Grafik keluaran daya PV	28
Gambar 4.3.	Tegangan <i>Output</i> PV	28
Gambar 4.4.	Tegangan <i>Output</i> Melalui <i>Buck Converter</i>	29
Gambar 4.5.	Tegangan <i>Output</i> Kontroler PID Metode <i>Ziegler Nichols</i> 30	
Gambar 4.6.	Tegangan <i>Output</i> Kontroler PID Metode <i>Analitik</i>	30
Gambar 4.7.	Perbandingan <i>Buck Converter</i>	31
Gambar 4.8.	Perbandingan Respon Mencapai Nilai <i>Steady State</i> ...	31
Gambar 4.9.	<i>Overshot</i> Tanpa Kontroler PID	32
Gambar 4.10.	Perbandingan <i>settling-time</i> Konverter <i>Buck</i>	32
Gambar 4.11.	Karakteristik Tegangan, Arus dan SOC pada Baterai.	34

----*Halaman ini sengaja dikosongkan*----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Rumus Nichols Ziegler Closed Loop	13
Tabel 3.1.	Spesifikasi PV	19
Tabel 3.2.	Spesifikasi Desain <i>Buck Converter</i>	20

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik di Indonesia semakin besar setiap tahunnya. Selain itu, energi listrik merupakan salah satu sektor yang vital untuk memenuhi kebutuhan negara ini. Tingginya kebutuhan tersebut menimbulkan banyak masalah bagi negara, salah satunya yaitu kegagalan dalam distribusi oleh Unit Pelaksana Pengatur Distribusi (UP2D) PT. PLN wilayah Jawa Timur. Kegagalan distribusi ini mempengaruhi kinerja UP2D dengan indikator *System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)* dan *System Average Interruption Duration Index (SAIDI)*. *SAIFI* merupakan rata-rata jumlah gangguan selama satu tahun. *SAIDI* adalah rata-rata durasi gangguan selama satu tahun. Nilai *SAIFI SAIDI* semakin mendekati nol maka kinerja UP2D semakin baik. Salah satu langkah dari UP2D untuk meningkatkan kinerja adalah meningkatkan keandalan *keypoint*. Kinerja *keypoint* sangat dipengaruhi oleh *DC supply*. Salah satu *DC supply* yang andal yaitu panel surya dengan memanfaatkan *photovoltaic (PV)*. Energi surya merupakan sumber energi yang paling menjanjikan mengingat sifatnya yang berkelanjutan (*sustainable*) serta jumlahnya yang sangat besar. Selain itu, energi surya dapat diterapkan pada *keypoint* yang berada di hutan atau jauh dari rumah penduduk. Hal itu karena saluran rumah (SR) dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk *keypoint*. Dalam implementasi, PV dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan temperatur pada permukaan PV. Posisi matahari yang berubah-ubah setiap saat mempengaruhi intensitas yang diterima oleh PV sehingga membuat daya keluaran fluktuatif.

Keluaran daya PV digunakan sebagai *DC supply* peralatan *keypoint*. Jika baterai mendapat *DC supply* yang tegangannya tidak stabil maka secara cepat dapat merusak baterai tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan penstabil tegangan. Sistem kontrol *DC Supply* berbasis *Proportional Integral Derivative (PID) Controller* pada baterai sangat dibutuhkan untuk menjaga keandalan sistem distribusi UP2D Jawa Timur secara maksimal.

1.2. Permasalahan

PV memiliki karakteristik keluaran tegangan yang tidak stabil. Keluaran itu bergantung pada keadaan cuaca dan suhu di sekitar panel surya. Berdasarkan kondisi tersebut, dibutuhkan kontroler penstabil

tegangan dan sistem penyimpanan energi. Pada umumnya, metode kontroler penstabil tegangan yang digunakan yaitu *PID Controller*. Selain itu, baterai sering dipilih sebagai alat penyimpanan energi pada panel surya karena baterai mampu menyimpan energi dengan jumlah yang banyak dan dalam waktu yang lama.

Penggunaan baterai pada panel surya masih memiliki masalah karena proses *charge* yang dibutuhkan belum maksimal. Oleh karena itu, dibutuhkan kontroler yang mampu mempertahankan tegangan yang masuk pada baterai dengan respon yang cepat. Sistem Kontrol tegangan *charge* pada baterai berbasis *PID Controller* ini sangat dibutuhkan untuk memaksimalkan penggunaan baterai serta meningkatkan keandalan *DC supply keypoint*.

1.3. Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Mengonsep sistem *DC supply* yang andal dengan menggunakan panel surya.
2. Mendesain dan membuat simulasi sistem kontrol pengisian baterai *lead acid*.
3. Menghasilkan tegangan keluaran panel surya yang lebih baik dengan menggunakan kontroler PID.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Membuat simulasi sistem *DC supply* pada *keypoint* menggunakan MATLAB/Simulink R2017a.
2. Blok-blok yang digunakan adalah blok *generic* pada MATLAB/Simulink R2017a.
3. Kontroler yang digunakan adalah kontroler tegangan pada *buck converter* yang berupa kontroler PID.
4. Tidak mempertimbangkan *sizing* baterai.
5. Tidak mempertimbangkan suhu disekitar PV.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Mengumpulkan referensi-referensi yang berhubungan dengan penyimpanan energi bersumber panel surya, *buck converter* seperti buku, *paper*, serta jurnal.

2. Simulasi
Tahap ini berisi proses pengolahan data-data yang diperoleh dari proses sebelumnya untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. *Software* yang digunakan dalam tahap ini adalah MATLAB/Simulink R2017a.
3. Analisis Data dan Hasil Simulasi
Memberikan kesimpulan mengenai studi sistem konversi energi matahari yang terhubung dengan sistem penyimpanan energi.
4. Penyelesaian Laporan Tugas Akhir
Tahap ini dilakukan sebagai tahap akhir dari serangkaian pengerjaan tugas akhir ini. Juga dilakukan guna memenuhi persyaratan kelulusan mata kuliah Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri dari lima BAB dengan uraian sebagai berikut :

1. BAB 1 merupakan pendahuluan yang berisikan latar belakang masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi
2. BAB 2 berisikan kajian pustaka dan dasar teori yang membahas mengenai teori-teori penunjang yang berkaitan dengan sistem konversi energi matahari yang terhubung dengan peralatan keypoint beserta sistem penyimpanan energi.
3. BAB 3 berisikan perancangan dan permodelan sistem konversi energi matahari yang membahas mengenai desain dan permodelan dari masing-masing blok.
4. BAB 4 berisikan simulasi dan analisis data, yang membahas tentang simulasi sistem sistem *DC supply* pada *keypoint* beserta sistem penyimpanan energi.
5. BAB 5 berisikan kesimpulan dan saran.

1.7 Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Menjadi referensi yang dapat menunjang UP2D Jawa Timur PT. PLN dalam membangun sistem *DC supply* menggunakan panel surya yang andal.
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan penelitian dengan topik sistem pengaturan pengisian baterai.

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa teori penunjang yang dipaparkan dalam buku tugas akhir ini adalah teori dasar mengenai antara lain modul *Photovoltaic*, *DC-DC Converter*, *PID Controller*, baterai dan lainnya.

2.1. Photovoltaic

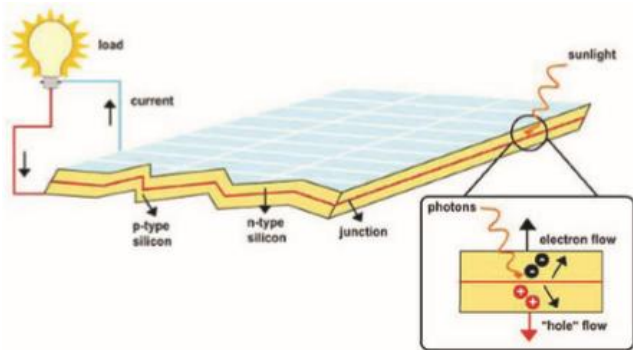
Photovoltaic (PV) adalah salah satu bentuk sumber energi yang paling berpotensi untuk masa depan. Hal ini karena karakteristiknya yang andal, bebas polusi serta ketersediaan energi primernya yang tidak terbatas. Namun, PV belum bisa mencapai tingkat efisiensi yang tinggi. PV masih perlu untuk diteliti dan dikembangkan agar menghasilkan konversi energi yang memiliki efisiensi lebih besar.

PV dibuat dari banyak bagian kecil yang disebut sel. Bagian tersebut terkoneksi seri dan paralel untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang dibutuhkan. Pada saat ini, penggunaan PV atau sel surya sebagai sumber energi baru terbarukan banyak digunakan oleh industri. Penggunaan PV sebagai salah satu solusi alternatif untuk meningkatkan keandalan distribusi listrik di Indonesia.

2.1.1. Prinsip kerja

Foton adalah cahaya matahari berupa paket-paket partikel mengenai sebuah material semikonduktor yang bersifat positif dan negatif. Foton tersebut akan mentransfer energi akibat benturan dengan material sehingga atom-atom material kehilangan elektronnya. Elektron-elektron bergerak menuju permukaan dan menyebabkan permukaan yang berseberangan menjadi bermuatan positif. Apabila sebuah penghantar diletakkan diantara kedua permukaan material, maka benturan partikel foton terhadap material berlanjut secara konstan dan kontinyu. Hal tersebut mengakibatkan arus elektron akan terus bergerak dengan stabil. Begitulah energi listrik diproduksi oleh PV [1].

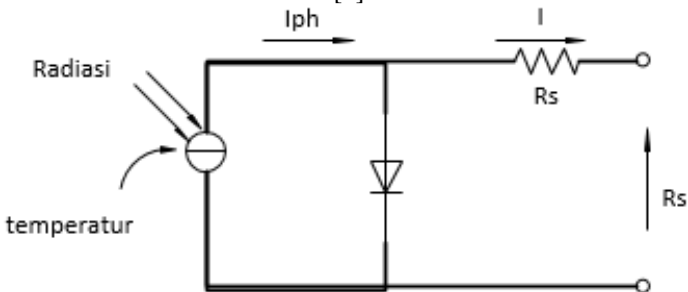
Prinsip kerja sebuah PV dapat diilustrasikan seperti gambar dibawah. Benturan foton dengan material semikonduktor pada sel *Photovoltaic* membuat *elektron* tereksitasi dan mengalir. Kondisi tersebut memungkinkan adanya aliran gaya gerak listrik jika diberi konduktor.



Gambar 2.1. Ilustrasi PV [2]

2.1.2 Karakteristik PV

Photovoltaic (PV) dapat dimodelkan secara sederhana sebagai suatu rangkaian yang terdiri dari sebuah sumber arus yang terpasang paralel dengan sebuah dioda seperti pada gambar dibawah. Besar arus luaran dari suatu PV berbanding lurus dengan besar radiasi sinar matahari yang diterima oleh sel tersebut, sedangkan kurva karakteristik I-V dari PV ditentukan oleh karakteristik dioda [1].

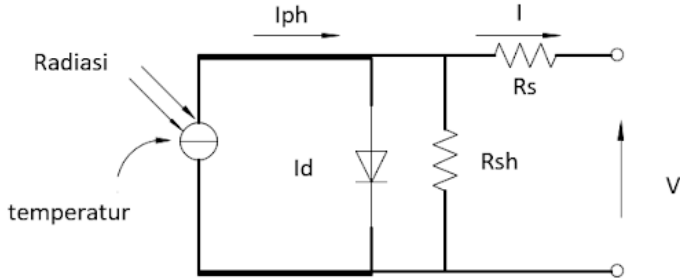


Gambar 2.2. Rangkaian Ekivalen Sederhana PV [3]

Namun dalam perkembangannya, model PV tidak sesederhana seperti yang diperlihatkan pada gambar diatas, tetapi dalam implementasinya ada beberapa parameter yang harus ditambahkan sehingga model PV menjadi semakin mendekati dengan kondisi sebenarnya seperti yang diperlihatkan pada gambar diatas [2]. Penambahan parameter tersebut antara lain:

- A. Arus saturasi dioda (I_D) yang tergantung pada suhu.

- B. Arus *photocurrent* (I_{PH}) yang juga tergantung pada suhu.
- C. Hambatan seri (R_s) memberikan bentuk yang jelas antara *maximum power point* dengan tegangan *open circuit*.
- D. Hambatan paralel (R_{sh}) paralel dengan *diode*.



Gambar 2.3. Rangkaian Ekivalen PV [4]

Dari Gambar 2.3 terlihat bahwa terdapat sedikit perubahan pada rangkaian ekivalen PV sehingga persamaan dasar dari suatu PV dapat dirumuskan sebagaimana persamaan 2.1 berikut [3]:

$$I = I_{PH} - I_D \left[\text{EXP}^q \left(\frac{V + I R_s}{n k T} \right) - 1 \right] - \left(\frac{V + I R_s}{R_{sh}} \right) \quad (2.1)$$

Di mana:

I: arus keluaran PV (*Ampere*).

I_{PH} : efek *photocurrent* yang terbangkit pada PV (*Ampere*).

I_{D0} : arus saturasi dioda.

K: konstanta Boltzman (*Joule/Kelvin*).

T: temperatur sel (*Kelvin*).

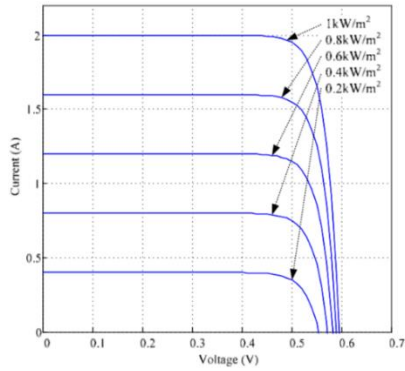
R_s : resistansi seri sel (*Ohm*).

R_{sh} : resistansi paralel (*Ohm*).

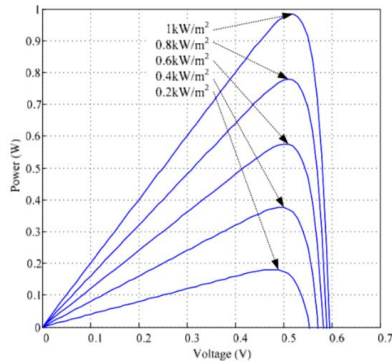
V: tegangan luaran PV (*Volt*).

n: faktor kualitas dioda yang bernilai antara 1 dan 2

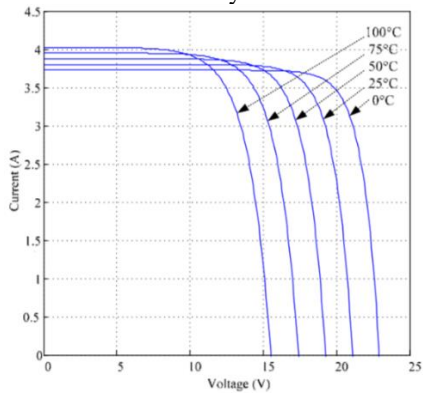
Karakteristik besar daya yang dikeluarkan oleh PV bergantung pada besarnya intensitas cahaya yang mengenai permukaan PV dan temperatur pada permukaan PV. Gambar-gambar dibawah menunjukkan pengaruh besar intensitas cahaya matahari dan temperature. Intensitas cahaya berpengaruh pada arus yang dihasilkan sedangkan temperature berpengaruh pada tegangan yang dihasilkan.



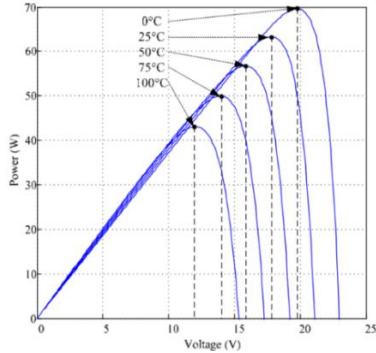
Gambar 2.4. Karakteristik arus PV berdasarkan nilai iradiasi



Gambar 2.5. Karakteristik daya PV berdasarkan nilai iradiasi



Gambar 2.6. Karakteristik arus PV berdasarkan nilai temperatur



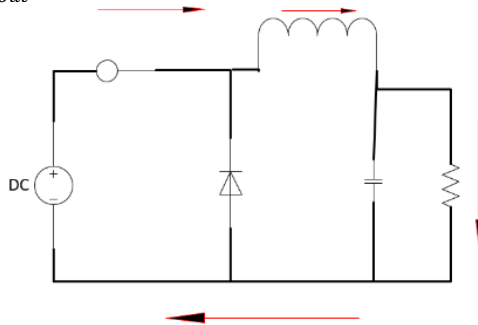
Gambar 2.7. Karakteristik daya PV berdasarkan nilai temperature

2.2. Buck Converter

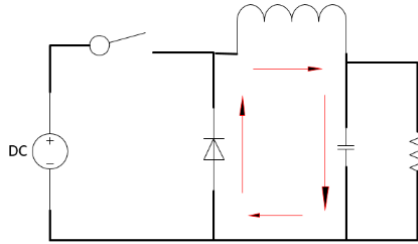
Buck Converter merupakan konverter DC-DC yang mengubah level tegangan keluaran lebih rendah daripada tegangan masukan. *Buck converter* menggunakan sistem pensaklaran untuk mencacah masukan sehingga tegangan keluaran menjadi lebih rendah. Pensaklaran dilakukan dengan memberikan sinyal PWM (*pulse width modulation*) terhadap komponen pensaklaran. Pada gambar dibawah ini, sinyal PWM berada di posisi ON, maka arus akan mengalir langsung dari sumber DC ke beban [5]. Dioda yang terpasang paralel menahan aliran arus yang mengalir ke ground. Pada Kondisi tersebut persamaan untuk tegangan keluaran V_{out} , yaitu:

$$V_{in} = VL + V_{out} \quad (2.3)$$

$$V_{in} = \frac{L\Delta I}{T_{on} + V_{out}} \quad (2.4)$$



Gambar 2.8. Saat switch menyala



Gambar 2.9. Saat switch mati

Kondisi berikutnya merupakan kondisi *off* atau kondisi saat saklar terbuka seperti gambar diatas. Pada kondisi ini induktor yang menyimpan arus dari kondisi ketika ON akan mengalirkan arus ke beban dan membentuk *closed loop* melalui dioda. Persamaan pada kondisi off yaitu;

$$L\Delta I / T_{off} = V_{out}$$

$$\frac{L\Delta I}{T_{OFF}} = V_{out} \quad (2.5)$$

Dengan menstsubstitusikan persamaan 2.6 dan 2.7 didapatkan

$$V_{in} = V_{out} \times \frac{T_{off}}{T_{on} + T_{off}} \quad (2.6)$$

$$V_{in} = V_{out} \times \frac{T_{off}}{T_{on} + 1} \quad (2.7)$$

$$V_{in} = T_{off} + \frac{T_{on}}{T_{on} \times V_{out}} \quad (2.8)$$

Karena

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (2.9)$$

Maka

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2.10)$$

Perbandingan besaran tegangan input dan output bergantung pada nilai *duty cycle* yang dioperasikan. *Duty cycle* merupakan perbandingan antara waktu *on* dan periode dari gelombang PWM yang dioperasikan. Pada sistem PID, komponen *buck converter* menjadi pengatur tegangan operasi PV. PID bekerja dengan algoritma tertentu yang mengatur *duty cycle* dari konverter agar tegangan PV selalu bekerja titik optimum.

2.3. *Proportional Integral Derivative (PID) Controller*

Banyak kontrol industri sistem pada tahun 1940 dan 1950 menggunakan kontroler PID untuk mengontrol tekanan, suhu, dan lain-lain. Berikut merupakan komponen penting pada kontroler PID.

1. Variabel kontrol adalah jumlah atau kondisi yang diukur dan dipengaturakan. Sinyal kontrol atau variabel yang dimanipulasi adalah jumlah atau kondisi variasi oleh kontroler untuk mempengaruhi nilai variabel yang dipengaturakan. Pada umumnya, variabel yang dipengaturakan adalah output dari sistem. Kontrol berarti mengukur nilai variabel terkontrol sistem dan menerapkan sinyal kontrol ke sistem untuk memperbaiki atau membatasi penyimpangan nilai yang diukur dari nilai yang diinginkan. Dalam mempelajari teknik kontrol, kita perlu mendefinisikan istilah tambahan yang diperlukan untuk menggambarkan sistem kontrol.
2. *Plant* merupakan objek yang dikontrol seperti peralatan atau seperangkat komponen mesin yang memiliki tujuan melakukan operasi tertentu. Benda fisik apapun dapat dipengaturakan (seperti perangkat mekanik, tungku pemanas, reaktor kimia, atau pesawat ruang angkasa).
3. Proses adalah suatu yang alami dan progresif operasi atau pengembangan yang berkelanjutan ditandai dengan serangkaian perubahan bertahap yang berhasil satu sama lain. Cara relatif tetap dan mengarah pada hasil tertentu yang terus berlanjut dan terdiri dari serangkaian tindakan yang terpengaturan secara sistematis diarahkan ke hasil tertentu. Contohnya adalah proses kimia, ekonomi, dan biologis.
4. Sistem adalah kombinasi komponen yang bekerja bersama dan melakukan tujuan tertentu. Suatu sistem tidak perlu fisik. Konsep sistemnya bisa diterapkan pada abstrak, fenomena dinamis seperti yang ditemui dalam ekonomi, sistem biologis dan lainnya.
5. Kontrol umpan balik mengacu pada operasi yang terdapat gangguan. Setelah itu, perbedaan antara output dari suatu sistem dan beberapa input referensi akan berkurang. Hanya gangguan tidak terduga yang ditentukan karena gangguan dapat diprediksi dan dapat dikompensasi dalam suatu sistem.

Terdapat dua jenis sistem kontrol yaitu *closed loop* dan *open loop*. Berikut merupakan penjelasan dari kedua jenis sistem kontrol pada tersebut.

Sistem kontrol loop tertutup juga disebut sistem kontrol umpan balik. Dalam praktiknya, istilah kontrol umpan balik dan loop tertutup kontrol

digunakan secara bergantian. Kesalahan merupakan perbedaan antara sinyal input dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran itu sendiri atau fungsi dari sinyal keluaran dan turunannya atau integral), diumpankan ke kontroller untuk mengurangi kesalahan dan membawa output sistem ke nilai yang diinginkan. Istilah kontrol loop tertutup selalu menyiratkan penggunaan aksi kontrol umpan balik untuk mengurangi kesalahan sistem.

Sistem kontrol loop terbuka merupakan sistem yang outputnya tidak berpengaruh pada tindakan kontrol. Dengan kata lain, di open loop sistem kontrol keluaran tidak diukur atau diumpankan kembali untuk dibandingkan dengan memasukkan. Salah satu contoh praktis adalah mesin cuci yaitu dengan proses merendam, mencuci, dan membilas beroperasi berdasarkan waktu. Mesin tidak mengukur sinyal output kebersihan pakaian. Dalam sistem kontrol loop terbuka, outputnya tidak dibandingkan dengan input referensi. Jadi, untuk setiap input referensi sesuai dengan kondisi operasi tetap. Hasil dari keakuratan sistem tergantung pada kalibrasi. Di hadapan gangguan sebuah sistem kontrol loop terbuka tidak akan melakukan tugas yang diinginkan. Kontrol loop terbuka dapat digunakan dalam praktiknya hanya jika hubungan antara input dan output diketahui dan jika tidak ada gangguan internal maupun eksternal. Perhatikan bahwa sistem kontrol yang beroperasi berdasarkan waktu merupakan *open loop*. Misalnya, kontrol lalu lintas dengan menggunakan sinyal yang dioperasikan berdasarkan waktu adalah hal lain contoh kontrol loop terbuka [5].

Adapun pengaruh nilai gain pada K_p , K_i , K_d pada kontroler PID dijelaskan pada gambar berikut.

Effects of increasing a parameter independently^[7]

Parameter	Rise time	Overshoot	Settling time	Steady-state error	Stability ^[8]
K_p	Decrease	Increase	Small change	Decrease	Degrade
K_i	Decrease	Increase	Increase	Eliminate	Degrade
K_d	Minor change	Decrease	Decrease	No effect in theory	Improve if K_d small

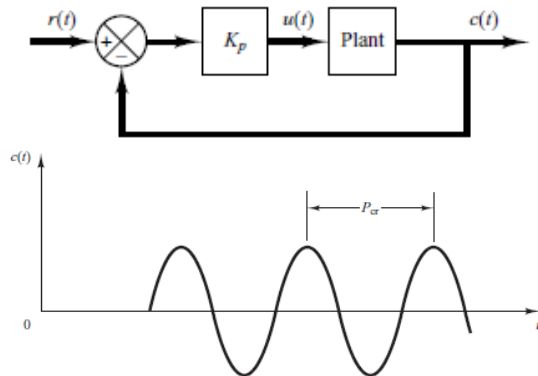
Gambar 2.10. Pengaruh Nilai K_p , K_i , K_d

2.4. Tuning PID dengan Metode *Ziegler-Nichols Closed-loop*

Dalam mewujudkan sistem yang dapat beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, maka perlu juga untuk menentukan parameter kontroler PID (proporsional, integral, dan derivatif) yang digunakan untuk mengendalikan sistem tersebut. Proses untuk mencari

parameter tersebut biasa disebut dengan proses *tuning* kontroler yang umumnya dapat dilakukan baik dengan metode analitik atau dengan berdasarkan pada eksperimen seperti halnya pada metode *tuning Ziegler-Nichols closed-loop*.

Metode *tuning Ziegler Nichols closed-loop* ini dilakukan mulanya dengan merancang suatu sistem *closed-loop* seperti pada gambar dibawah dengan gain yang akan menjadi penentu untuk parameter *tuning* PID dalam metode ini. Nilai gain terkecil agar sistem berosilasi secara permanen itulah yang harus dicari nilainya, yang merepresentasikan suatu gain yang menyebabkan sistem *closed-loop* tersebut memiliki pole yang terletak di sekitar puncak gunung yang berbeda [5].



Gambar 2.11. Penentuan Nilai Kcr dan Pcr

Setelah ditentukan nilai gain marginal yang merupakan gain terkecil hingga sistem berosilasi secara permanen dan tidak membesar, kemudian dicari periode osilasinya. Didapatkan nilai gain marginal (Kcr) dan periode osilasi (Pcr) dapat diestimasi parameter PID yang optimal berdasarkan tabel berikut [5].

Tabel 2.1. Rumus Ziegler Nichols Closed Loop

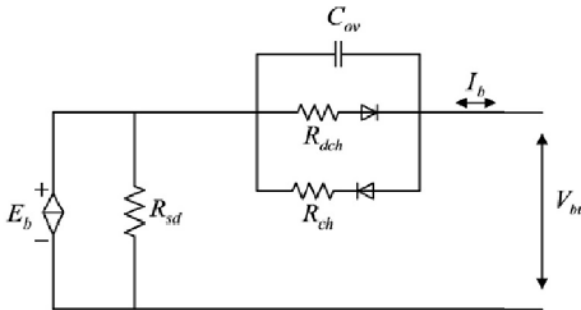
Tipe Kontroler	Kp	Ti	Td
P	0.5Kcr	Tak Hingga	0
PI	0.45Kcr	1/1.2Pcr	0
PID	0.6Kcr	0.5Pcr	0.125Pcr

2.5 Baterai

Selama beberapa dekade terakhir, penyimpanan baterai telah sangat meningkat ke arah penggunaan umum dan tumbuh secara eksponensial bersama teknologi terbarukan. Baterai penyimpanan digunakan PV sebagai elemen kunci dalam menyediakan suplai energi listrik terhadap beban. Hal tersebut cocok selama kerja baterai sesuai waktu yang diharapkan. Elektrokimia baterai yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia dan melepaskannya ketika dibutuhkan telah banyak digunakan oleh PV. Keandalan sistem PV sangat terkait dengan pilihan baterai penyimpanan yang tepat seperti kapasitas yang tersedia dan teknologi terkait parameter. Dalam kebanyakan kasus, pilihan ini didasarkan pada jumlah siklus pengisian atau pemakaian, beroperasi pada suhu, tegangan nominal, kapasitas yang tersedia berupa Ah, persyaratan perawatan, harga dan ketersediaan baterai di pasaran [6].

Baterai *lead acid* selalu menjadi pilihan untuk sistem penyimpanan energi cadangan. Kemajuan teknologi penyimpanan energi memelopori peningkatan yang signifikan pada kinerja baterai penyimpanan. Pembuatannya yang dinamis membuat hemat biaya dan lebih efisien. Baterai *lead acid* terus menjadi unit penyimpanan energi utama (ESU) untuk berbagai aplikasi seperti listrik hibrida sistem kendaraan (HEV) dan *photovoltaic* (PV). ESU memiliki kemampuan untuk menerima atau mengirimkan daya melalui inverter DC / AC. Saat ini, ada beberapa jenis baterai yang tergolong sesuai dengan biaya, ukuran, dan umur layanan.

Model dasar baterai terdiri dari sebuah resistor sederhana dihubungkan secara seri dengan sumber tegangan ideal. Namun model yang lebih kompleks diperlukan untuk kinerja dinamis dari baterai *lead acid*. Model dinamis yang lebih kompleks ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.12. Rangkaian Baterai *Lead Acid*

Arus listrik, dilambangkan oleh I_b mengalir melalui R_{ch} selama pengisian daya dan melalui R_{dcb} selama pemakaian. Kerugian *self-discharge* baterai dimodelkan oleh R_{sd} . Tegangan terminal pada baterai diturunkan sebagai berikut [7].

$$Vbt_{charging} = E_b + I_b R_{ch} (1 - e^{-\frac{t}{R_{ch} C_{ov}}})$$

$$Vbt_{discharging} = E_b - I_b R_{dch} (1 - e^{-\frac{t}{R_{dch} C_{ov}}})$$

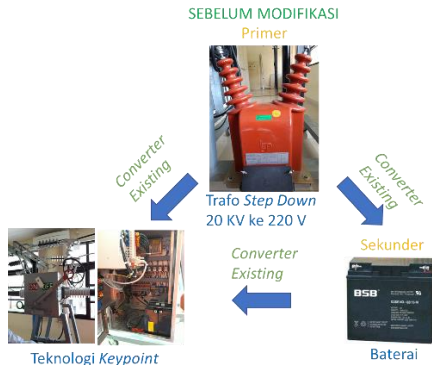
Keterangan: I_b = arus baterai (A)
 R_{ch} = hambatan yang dilalui saat *charging* (Ω)
 R_{dcb} = hambatan yang dilalui saat *disharging* (Ω)
 R_{sd} = hambatan yang dilalui saat *self-disharging* (Ω)
 V_{bt} = tegangan baterai (V)
 C_{ov} = kapasitor baterai (F)
 E_b = sumber tegangan (V)
 t = waktu (s)

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1. Konsep Sistem DC Supply Teknologi Keypoint

Bab ini akan menjelaskan tentang konsep sistem *DC supply* sebelum dan sesudah modifikasi. Berikut merupakan ilustrasi sistem yang selama ini diterapkan UP2D Jawa Timur PT. PLN.



Gambar 3.1. DC Supply Teknologi Keypoint Saat Ini

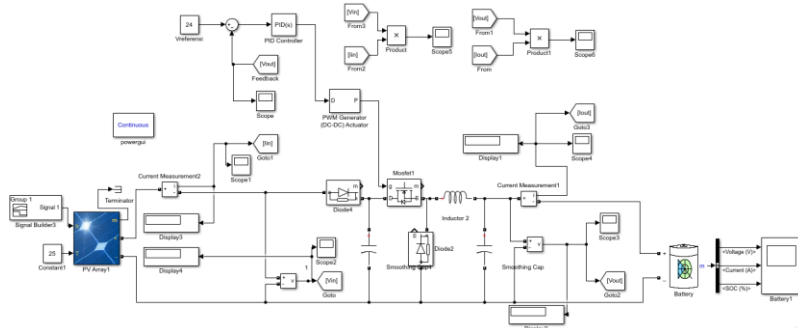
Pada sistem sesudah modifikasi, panel surya terhubung dengan baterai *lead acid* yang akan ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 3.2. DC Supply Teknologi Keypoint Modifikasi

Setelah selesai, konsep disimulasikan pada *software* MATLAB/*Simulink*. Simulasi tersebut untuk mendemonstrasikan kinerja modifikasi sistem teknologi *keypoint* di UP2D Jawa Timur PT. PLN. Pada

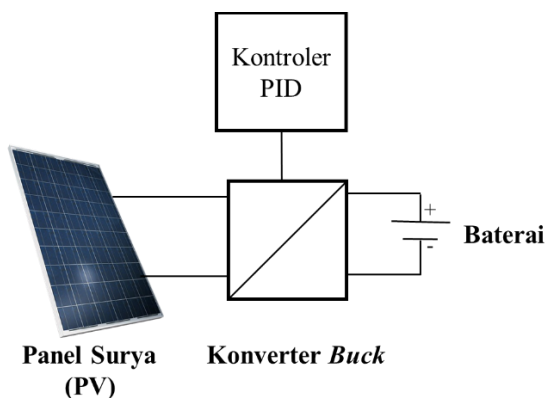
bab sebelumnya telah dijelaskan model penyimpanan dimodelkan dengan *blok generic* dari *software* MATLAB seperti gambar berikut.



Gambar 3.3. Desain *DC Supply* Teknologi *Keypoint* Modifikasi

3.2. Konfigurasi Pemodelan Sistem Kontrol Pengisian Baterai pada Panel Surya.

Pada tugas akhir ini keseluruhan sistem *DC supply* teknologi *keypoint* terdiri dari beberapa blok yaitu panel surya, konverter *buck* dengan controller PID, penyimpanan energi berupa baterai *lead acid*. Keseluruhan konfigurasi sistem *DC supply* teknologi diilustrasikan sebagai berikut.



Gambar 3.4. Konfigurasi Sistem Penyimpanan Energi

Sesuai gambar di atas, dapat diketahui bahwa daya yang mengalir ke baterai adalah total dari daya yang dihasilkan oleh panel surya. Dalam memenuhi kebutuhan daya yang diinginkan, *controller* PID pada konverter *buck* mengatur suplai tegangan dari panel surya.

3.3 Photovoltaic

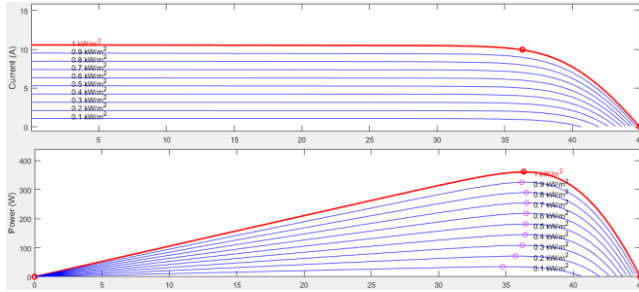
Photovoltaic (PV) merupakan sumber energi utama dalam tugas akhir ini, PV memiliki beberapa macam berdasarkan bahan untuk penyerapan cahaya matahari. Jenis *photovoltaic* terbagi menjadi dua, yaitu jenis *monocrystalline* dan *polycrystalline*.

Panel surya *monocrystalline* dibuat menggunakan *crystall silicon* murni yang sudah melalui proses *czochralski* yang hasilnya adalah *ingot*. *Ingot* kemudian diiris tipis – tipis layaknya kripik kentang yang berasal dari potongan tipis kentang gelondongan. Jenis panel surya *polycrystalline* dihasilkan dari proses metalurgi *grade silicon* dengan pemurnian kimia. Silikon baku dicairkan dan dituangkan ke dalam cetakan persegi, yang didinginkan dan dipotong menjadi wafer – wafer persegi yang sempurna. Proses produksi *polycrystalline silicon* lebih murah bila dibandingkan proses produksi *monocrystalline silicon*. PV yang digunakan merupakan PV ZEDfabric jenis *monocrystalin* 180Wp, memiliki spesifikasi pada berikut.

Tabel 3.1. Spesifikasi PV

Pmpp	180 Wp
Vmpp	36.31 V
Impp	4.98 A
Voc	44.97 V
Isc	5.23 A

Pada tugas akhir ini dibutuhkan satu PV untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan pada simulasi MATLAB/Simulink.



Gambar 3.5. Karakteristik PV yang Digunakan

3.3. Desain Buck Converter

Buck converter merupakan salah satu konverter DC yang mampu mengubah nilai tegangan menjadi lebih rendah dari tegangan inputnya. Tegangan output DC yang dihasilkan mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan inputnya. Konverter ini juga disebut dengan *step down converter*.

Dalam menghasilkan tegangan yang stabil, perlu dilakukan pengaturan kecepatan generator yang diatur berdasarkan pengaturan *duty cycle* berdasarkan persamaan 3.1 dibawah. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan nilai parameter-parameter konverter *buck* agar sesuai dengan hasil yang diinginkan. Berikut adalah parameter komponen yang digunakan pada konverter *buck* yang digunakan dalam tugas akhir ini:

Tabel 3.2. Spesifikasi Desain *Buck Converter*

Pout	180 W
Vinput	36.31 V
Voutput	24.7 V
ΔV_{out}	0.1 V
fs	50 kHz
Duty Cycle (Vout/Vin)	0.68

Berikutnya merupakan perhitungan nilai induktor yang digunakan. Nilai induktor ditentukan oleh frekuensi *switching* dan *ripple* arus yang di inginkan. Perhitungan dilakukan dengan persamaan berikut:

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{24.7}{36.31} = 0.68 \quad (3.1)$$

$$L = \frac{((V_{out}))^2 \times (1-D)}{2 \times f_s \times P_{out}} \quad (3.2)$$

$$L = \frac{24.7^2 \times (1-0.68)}{2 \times 50000 \times 180} \quad (3.3)$$

$$L = 10.84 \text{ mikro H}$$

$$C = \frac{(1-D)V_{out}}{8 \times \Delta V_{out} \times L \times f_s^2} \quad (3.4)$$

$$C = \frac{0.32 \times 24.7}{8 \times 0.1 \times 0.00001084 \times 50000} \quad (3.5)$$

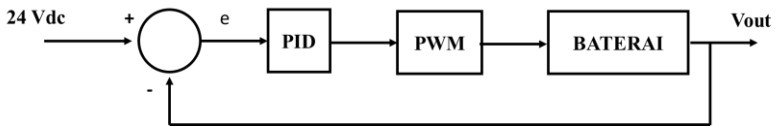
$$C = 36.5 \text{ mikro F}$$

Berdasarkan perhitungan dengan persamaan diatas, hasil yang diperoleh ialah L= 10.84 mikro H dan C = 36.5 mikro F [9].

3.4. Desain Kontroler PID Metode Ziegler Nichols

Dalam kinerjanya, konverter *buck* membutuhkan sebuah kontroler yang dapat menjaga tegangan *output* konverter agar proses penyimpanan energi dapat dilakukan untuk menjaga kecepatan pengisian dan *lifetime* baterai. Kontroler *Proportional Integrator Derivative* (PID) dipilih untuk mengatur proses tersebut. Nilai K_p , K_i dan K_d didapatkan dengan metode *Ziegler Nichols*.

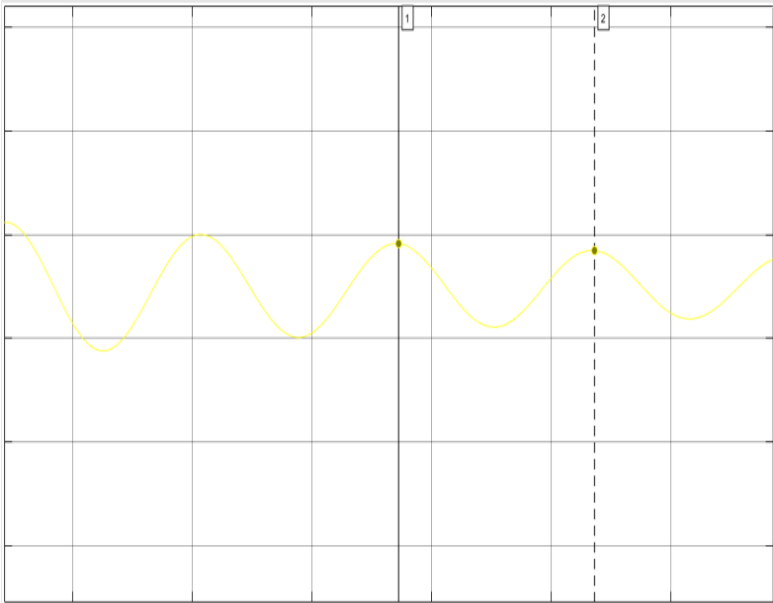
Metode *tuning ziegler-nichols closed-loop* ini dilakukan mulanya dengan merancang suatu sistem *closed-loop* seperti pada gambar dibawah.



Gambar 3.6. Blok Diagram Kontroler PID pada *Buck Converter*

Gain pada kontrol P yang akan menjadi penentu untuk parameter tuning PID dalam metode ini, sedangkan gain kontrol I dan kontrol D samadengan nol. Nilai gain terkecil pada kontrol P tersebut akan membuat sistem beresilasi secara permanen didapatkan nilainya adalah 1. Nilai tersebut disimbolkan dengan lambang K_{cr} . K_{cr} merepresentasikan suatu

gain yang menyebabkan sistem *closed-loop* tersebut memiliki pole yang terletak di sekitar puncak gunung yang berbeda seperti gambar berikut.



Gambar 3.7. Osilasi Penentu Nilai Pcr

Antar pole tersebut merupakan periode Pcr sehingga dihitung nilai Pcr melalui persamaan berikut.

$$Pcr = (6.364 - 4.727)e^{-5} = 1.537e^{-5} \quad (3.6)$$

Setelah didapatkan nilai Kcr dan Pcr, dapat diestimasi parameter PID yang optimal berdasarkan tabel 2.1 pada bab 2 bagian 2.4. Berdasarkan tabel tersebut didapatkan nilai Kp, Ki, Kd persamaan-persamaan berikut.

$$Kp = 0.6 \times 1 = 0.6 \quad (3.7)$$

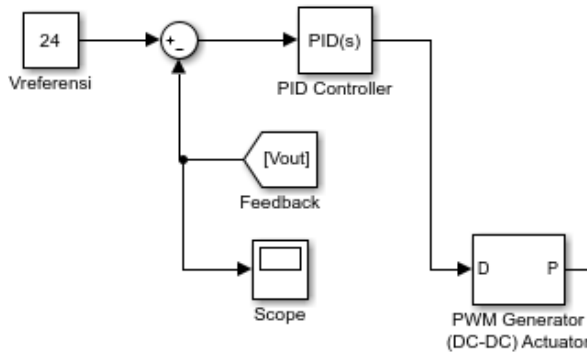
$$\tau i = 0.5 \times 1.537e^{-5} = 0.7685e^{-5}$$

$$Ki = \frac{Kp}{\tau i} = \frac{0.6}{0.7685e^{-5}} = 0.781e^{-5} \quad (3.8)$$

$$\tau d = 0.125 \times 1.537e^{-5} = 0.192e^{-5}$$

$$Kd = Kp \times \tau d = 0.6 \times 0.192e^{-5} = 0.115e^{-5} \quad (3.9)$$

Nilai Kp, Ki, Kd tersebut diimplementasikan pada PID *controller* pada simulasi yang diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 3.8. PID Controller Buck Converter pada Matlab

PID controller menghasilkan sinyal kontrol dari membaca error antara nilai tegangan referensi dan tegangan output buck converter yang diteruskan ke PWM generator sebagai aktuator dari sistem tersebut. Dalam hal ini tegangan referensi yang dipilih sebesar 24 V.

3.5. Desain Kontroler PID Metode Analitik

Konverter buck membutuhkan sebuah kontroler yang dapat menjaga tegangan output konverter agar proses penyimpanan energi dapat dilakukan untuk menjaga kecepatan pengisian dan lifetime baterai. Kontroler *Proportional Integrator Derivative* (PID) dipilih untuk mengatur proses tersebut. Selain menggunakan metode *Ziegler Nichols*, nilai K_p , K_i dan K_d juga dapat diperoleh dengan metode analitik.

Metode analitik membutuhkan *transfer function* dari sistem untuk mendapatkan nilai K_p , K_i dan K_d . Pada tugas akhir ini, *transfer function* sistem didapatkan melalui metode *least square* menggunakan respon output dan input pada sistem dengan program yang telah dicantumkan pada lampiran. *Transfer function* yang didapatkan dari metode ini merupakan diskrit yang ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$H(z) = \frac{0.2915z - 0.002455}{z^2 - 0.9987z + 0.004} \quad (3.9)$$

Setelah didapatkan *transfer function* dalam bentuk diskrit, maka langkah selanjutnya yaitu mentransfer kedalam bentuk kontinu. Proses tersebut dijelaskan pada lampiran. *Transfer function* dalam kontinu yang didapatkan ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$H(s) = \frac{399.3s + 1482000}{s^2 + 5521s + 29430} \quad (3.10)$$

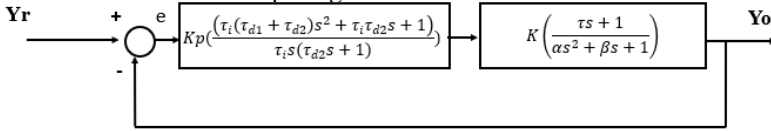
Berdasarkan *transfer function* yang didapatkan, maka jenis kontroler yang digunakan yaitu PID modifikasi. Adapun penurunan rumus dari PID modifikasi sebagai berikut.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \frac{\tau_{d1} s}{\tau_{d2} s + 1} \right) \quad (3.11)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp \left(\frac{\tau_i s (\tau_{d2} s + 1) + \tau_{d2} s + 1 + \tau_{d1} s \tau_i s}{\tau_i s (\tau_{d2} s + 1)} \right) \quad (3.12)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp \left(\frac{(\tau_i (\tau_{d1} + \tau_{d2}) s^2 + \tau_i \tau_{d2} s + 1)}{\tau_i s (\tau_{d2} s + 1)} \right) \quad (3.13)$$

Adapun blok diagram *plant* orde dua dengan kontroler PID modifikasi diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 3.9. Blok Diagram *Plant* Orde Dua dengan PID Modifikasi

Ditentukan bahwa $\alpha = \tau_i (\tau_{d1} + \tau_{d2})$; $\beta = \tau_i \tau_{d2}$; $\tau_{d2} = \tau$, maka

$$\frac{Y_o}{Y_r} = \frac{KpK}{1 + \frac{KpK}{\tau_i s}} = \frac{1}{\frac{1}{\tau_i s} + 1} = \frac{1}{\tau^* s + 1} \quad (3.14)$$

$$\tau_{d2} = \tau \text{ dan } \beta = \tau_i \tau_{d2}, \text{ maka } \tau_i = \frac{\beta}{\tau_{d2}} = \frac{\beta}{\tau} \quad (3.15)$$

$$\tau_i (\tau_{d1} + \tau_{d2}) = \alpha \rightarrow \tau_{d1} = \frac{\alpha}{\tau_i} - \tau_{d2}, \text{ maka } \tau_{d1} = \frac{\alpha \tau}{\beta} - \tau \quad (3.16)$$

$$\frac{\tau_i}{KpK = \tau^*} \rightarrow Kp = \frac{\tau_i}{\tau^* K}, \text{ maka } Kp = \beta / (\tau \tau^* K) \quad (3.17)$$

$$\frac{b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0} = b_0 a_0 \left(\frac{\left(\frac{b_1}{b_0}\right) s + 1}{\left(\frac{a_2}{a_0}\right) s^2 + \left(\frac{a_1}{a_0}\right) s + 1} \right) = K \left(\frac{\tau s + 1}{\alpha s^2 + \beta s + 1} \right) \quad (3.18)$$

sehingga parameter kontroler adalah $Kp = \beta / (\tau \tau^* K)$; $\tau_i = \beta / \tau$; $\tau_{d1} = \frac{\alpha \tau}{\beta} - \tau$; $\tau_{d2} = \tau$ dengan mengacu pada persamaan 3.10 dan 3.18. Nilai-nilai parameter kontroler sebagai berikut.

$$Kp = \frac{5521}{\left(\frac{29430}{399.3}\right)} \times 2.5 \times 10^{-3} (1482000 \times 29430)$$

$$Kp = \frac{0,187}{2.6 \times 10^{-4}} \times 1090.3815$$

$$Kp = 78423.5925 \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned}
 Ki &= \frac{Kp}{\tau_i} \\
 Ki &= \frac{78423.5925}{\frac{5521}{\frac{29430}{\frac{399.3}{(1482000)}}}}} \\
 Ki &= \frac{78423.5925}{\frac{0.187}{2.6 \times 10^{-4}}} \\
 Ki &= 10903815000 \tag{3.20}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Kd1 &= Kp \times \tau_{d1} \\
 Kd1 &= Kp \times \left(\frac{\alpha\tau}{\beta} - \tau \right) \\
 Kd1 &= 78423.5925 \times \left(\frac{\frac{1}{29430} \times 2.6 \times 10^{-4}}{0.187} - \frac{2.6 \times 10^{-4} \times 0.187}{0.187} \right) \\
 Kd1 &= 78423.5925 \times \frac{0.339 \times 10^{-4} - 0.187}{0.187} \\
 Kd1 &= 78423.5925 \times \frac{-0.18699661}{0.187} \\
 Kd1 &= 78423.5925 \times -0.99 \\
 Kd1 &= -77639.356575 \tag{3.21}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Kd2 &= Kp \times \tau_{d2} \\
 Kd2 &= Kp \times \tau \\
 Kd2 &= 7842.35925 \times 2.6 \times 10^{-4} \\
 Kd2 &= 20.3 \tag{3.22}
 \end{aligned}$$

Jadi, nilai-nilai parameter kontroler yang digunakan adalah $Kp = 78423.5925$; $Ki = 1090381500$; $Kd = 20.3$.

3.6. Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem menggambarkan target atau hasil yang diinginkan terhadap sistem tersebut. Perancangan kontroler yang dilakukan dimaksudkan agar sistem tersebut memenuhi kriteria respons yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pada sistem pengaturan tegangan pengisian baterai dengan panel surya yang diamati ditetapkan kriteria sistem terhadap perubahan iradiasi matahari (naik atau turun) tanpa kontroler dan dengan kontroler PID.

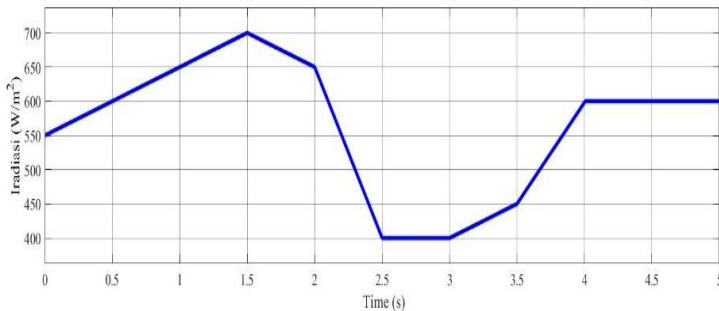
Ripple tegangan agar sistem sesuai standar internasional *error* SE.032 maksimal 2 persen dari tegangan nominal baterai (24 volt) adalah 0.48 volt dan standar SPLN S3.001-3 2012 maksimal 2.5 persen yaitu 0.6 volt. Selain itu, dari cepat tidaknya respons transient sistem, diharapkan respons sistem tidak lebih lambat dari nilai *settling-time* respons sistem ketika tanpa kontroler PID. Nilai respons transient sistem ditetapkan

kriteria dengan *settling-time* tidak lebih dari 3.626×10^{-4} detik berdasarkan pada karakteristik respons transient tanpa kontroler. Terakhir yaitu *overshot* pada converter *buck* konvensional dapat diiadakan dengan kontroler PID yang dirancang.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil simulasi dari sistem *DC supply* pada teknologi *keypoint* dengan menggunakan panel surya. Sistem penyimpanan energi memanfaatkan baterai jenis *lead acid* dengan kondisi iradiasi matahari berubah-ubah. Ada beberapa hal yang akan diamati dari hasil simulasi tersebut seperti daya yang dihasilkan oleh PV, tegangan input yang dihasilkan PV, tegangan *output buck converter* tanpa kontroler PID, tegangan *output buck converter* dengan kontroler PID, perbandingan tegangan *output buck converter* tanpa dan dengan kontroler PID serta karakteristik SOC, tegangan dan arus pada baterai *lead acid*. Dalam tugas akhir ini akan diamati sistem *DC supply* pada teknologi *keypoint* dengan menggunakan panel surya dengan iradiasi yang berubah-ubah selama lima detik dengan nilai iradiasi paling tinggi sebesar 700 kW/m² dan paling rendahnya adalah 400kW/m². Nilai iradiasi dipilih dengan pertimbangan dari data iradiasi di departemen teknik elektro ITS Surabaya dari pukul 10.00 WIB - 15.00 WIB. Dari data tersebut, iradiasi berkisar antara 400kW/m² sampai 700kW/m². Nilai iradiasi matahari yang dipilih adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.

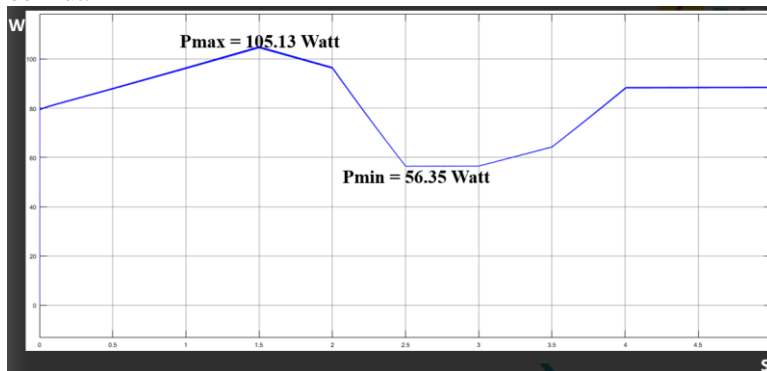


Gambar 4.1. Grafik perubahan iradiasi cahaya matahari

4.1 Pengujian dan Analisa Perubahan Iradiasi terhadap Daya Keluaran PV

Perubahan iradiasi berpengaruh pada daya yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai iradiasi maka semakin tinggi pula nilai daya yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin rendah nilai iradiasi maka semakin kecil pula nilai daya yang dihasilkan. Ketergantungan daya pada iradiasi

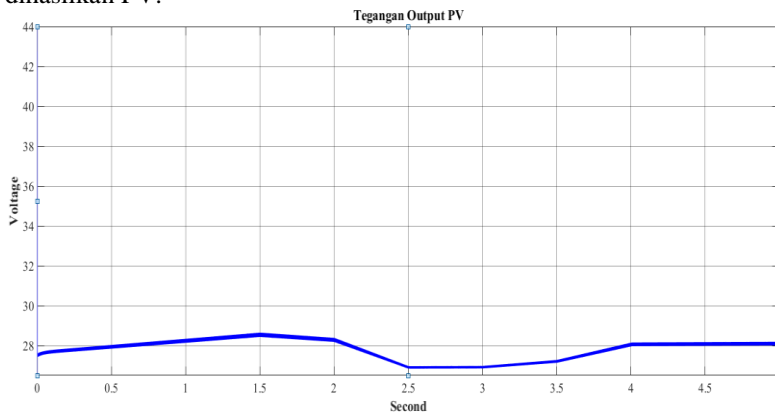
cahaya matahari menyebabkan daya yang dihasilkan oleh PV mengalami fluktuasi. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil simulasi pada gambar berikut.



Gambar 4.2. Grafik keluaran daya PV

4.2 Tegangan Output yang Dihasilkan PV

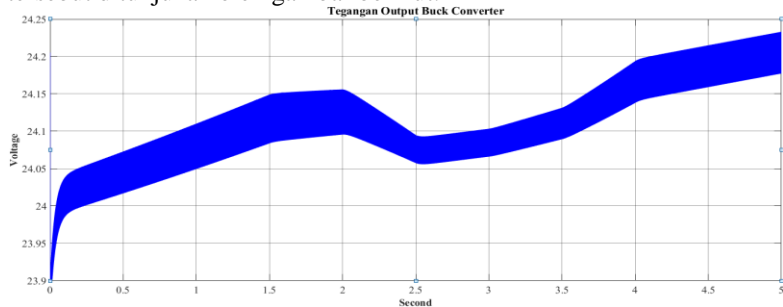
Berdasarkan simulasi pada tugas akhir ini, tegangan input yang dihasilkan PV memiliki V_{rms} sebesar 28.1 volt. Tegangan tersebut tidak dapat digunakan untuk mengisi baterai pada teknologi *keypoint* karena tegangan nominal baterai yang digunakan yaitu 24 volt. Oleh karena itu, tegangan tersebut harus diturunkan menuju 24 volt dengan *buck converter*. Berikut merupakan pembuktian dari tegangan input yang dihasilkan PV.



Gambar 4.3. Tegangan Output PV

4.3 Tegangan *Output Buck Converter* tanpa Kontroler PID

Buck converter berhasil menurunkan tegangan yang dihasilkan PV dari 28.1 volt menjadi 24.205 volt. Keberhasilan penurunan tegangan tersebut ditunjukkan oleh gambar berikut.

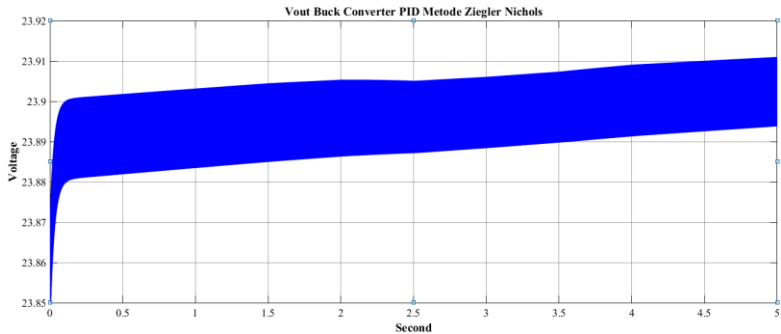


Gambar 4.4. Tegangan *Output* Melalui *Buck Converter*

Namun, *buck converter* ini masih memiliki kelemahan yaitu *ripple* tegangan masih besar senilai 0.5 volt sehingga tidak memenuhi standard internasional *error SE.032* senilai 0.48 volt jika tegangan nominal baterai yang digunakan 24 volt. Akibat *ripple* yang terbilang tinggi ini juga mempengaruhi kinerja baterai sehingga waktu pengisian lama dan *lifetime* baterai berkurang. Selain itu *error steady state* juga terbilang tinggi yaitu 0.250 volt.

4.4 Tegangan *Output Buck Converter* dengan Kontroler PID Metode *Ziegler Nichols*

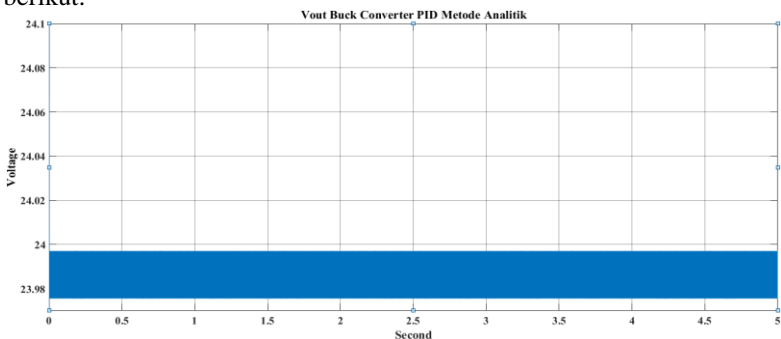
Ripple yang terbilang tinggi sangat merugikan sistem *DC supply* teknologi *keypoint* karena tidak memenuhi standard *error* internasional *SE.032* khususnya bagi komponen baterai *lead acid*. Oleh karena itu, kontroler PID didesain untuk mengurangi besarnya *ripple* dan mengatur tegangan *output* pada *buck converter* mendekati nominal baterai yang digunakan teknologi *keypoint*. Hasilnya yaitu *ripple* tegangan hanya 0.017 volt sehingga memenuhi standar *error* internasional *SE.032* dan *SPLN S3.001-3 2012* yang bernilai 0.6 volt jika tegangan nominal baterai 24 volt. Selain itu, tegangan *output* yang dihasilkan mendekati tegangan nominal dengan nilai 23.9015 volt dengan *error steady state* hanya 0.0985 volt. Keberhasilan fungsi kontroler PID metode *Ziegler Nichols* tersebut dapat ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 4.5. Tegangan *Output* Kontroler PID Metode *Ziegler Nichols*

4.5. Tegangan *Output Buck Converter* dengan Kontroler PID Metode Analitik

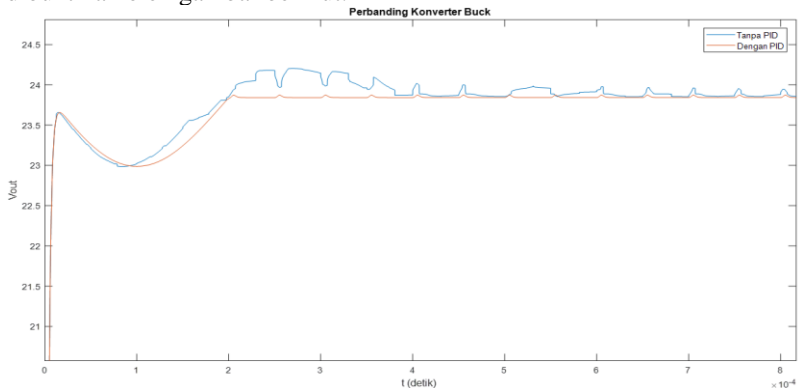
Ripple yang terbilang tinggi sangat merugikan sistem *DC supply* teknologi *keypoint* karena tidak memenuhi standar *error* internasional SE.032 khususnya bagi komponen baterai *lead acid*. Oleh karena itu, kontroler PID didesain untuk mengurangi besarnya *ripple* dan mengatur tegangan *output* pada *buck converter* mendekati nominal baterai yang digunakan teknologi *keypoint*. Hasilnya yaitu *ripple* tegangan hanya 0.02 volt sehingga memenuhi standar *error* internasional SE.032 dan SPLN S3.001-3 2012 yang bernilai 0.6 volt jika tegangan nominal baterai 24 volt. Selain itu, tegangan *output* yang dihasilkan mendekati tegangan nominal dengan nilai 23.986 volt dengan *error steady state* hanya 0.014 volt. Namun, masih memiliki *overshot* yaitu mencapai 24.1 volt. Keberhasilan fungsi kontroler PID tersebut dapat ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 4.6. Tegangan *Output* Kontroler PID Metode Analitik

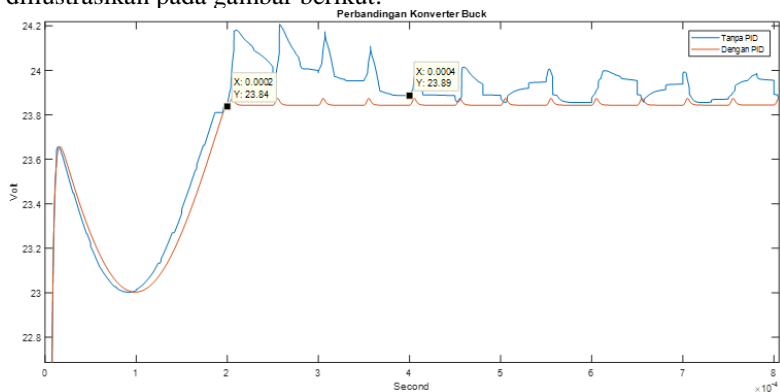
4.6. Perbandingan Tegangan Output Buck Converter Tanpa dan Dengan Kontroler PID

Hasil tegangan *output* berdasarkan simulasi yang didesain pada tugas akhir ini menunjukkan bahwa *buck converter* dengan kontroler PID lebih baik dibandingkan tanpa kontroler PID. Hal tersebut dapat dibuktikan oleh gambar berikut.



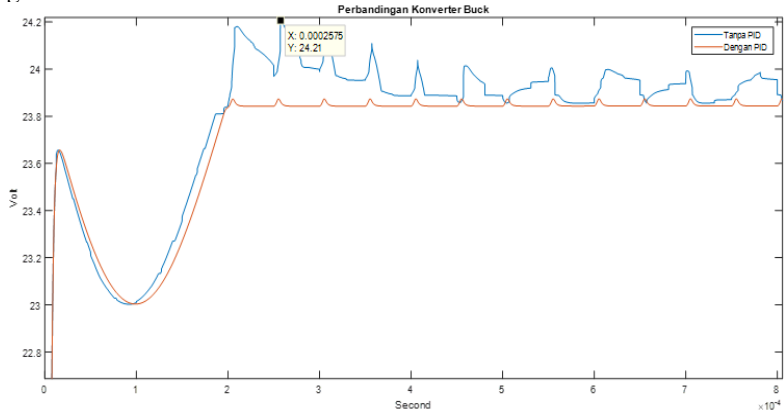
Gambar 4.7. Perbandingan *Buck Converter*

Buck converter dengan kontroler PID dapat mencapai nilai *steady state* hanya dalam waktu 2×10^{-4} detik, sedangkan *buck converter* tanpa kontroler PID dalam waktu 4×10^{-4} detik seperti yang diilustrasikan pada gambar berikut.



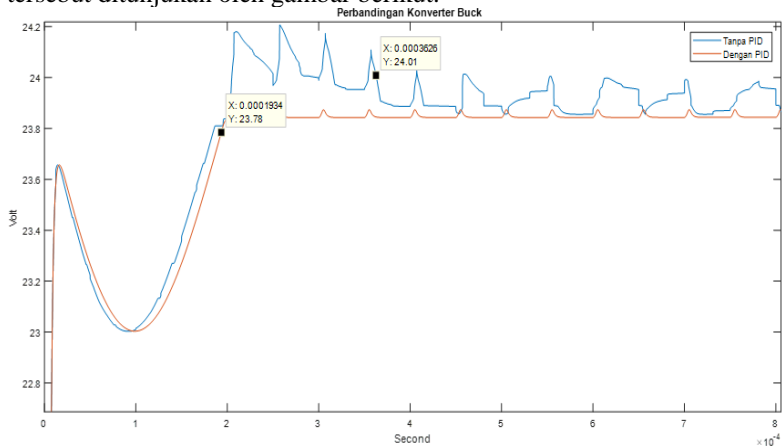
Gambar 4.8. Perbandingan Respon Mencapai Nilai *Steady State*

Hal tersebut menunjukkan *buck converter* dengan kontroler PID dua kali lebih cepat dibandingkan *buck converter* tanpa kontroler PID untuk menuju nilai *steady state*. Selain itu, menghilangkan *overshot* tegangan yang mencapai 24.21 volt seperti yang diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 4.9. *Overshot* Tanpa Kontroler PID

Selanjutnya yaitu nilai respons transient sistem dengan *settling-time* tidak lebih dari 3.626×10^{-4} detik yaitu 1.934×10^{-4} . Hal tersebut ditunjukkan oleh gambar berikut.

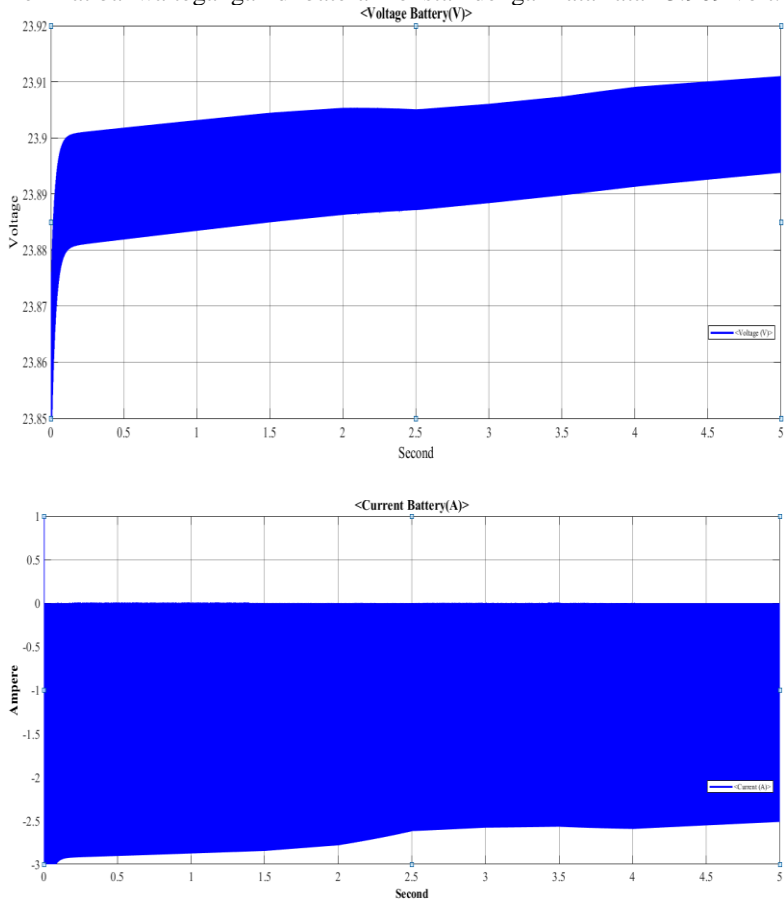


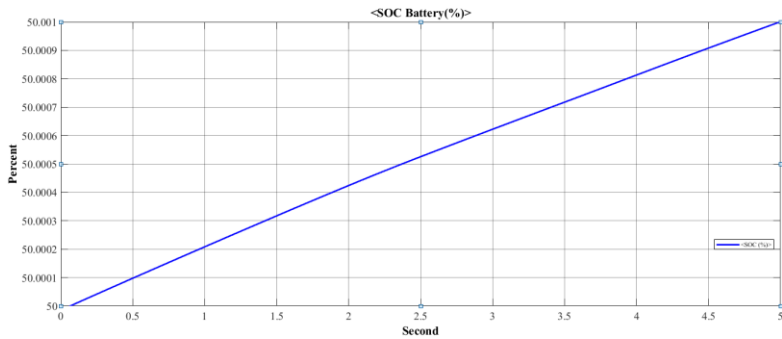
Gambar 4.10. Perbandingan *settling-time* Konverter Buck

Kelebihan-kelebihan tersebut sangat dibutuhkan untuk menciptakan *DC supply* yang andal dengan meningkatkan kinerja baterai, yaitu pengisian yang cepat dan *lifetime* yang lama.

4.7. Karakteristik SOC, Arus dan Tegangan Baterai

Baterai yang digunakan mempunyai tegangan nominal 24 V; 35 Ah; SOC 50%. Karakteristik *state of charge* (SOC), arus dan tegangan pada baterai ketika simulasi dijalankan ditunjukkan pada gambar berikut. Terlihat bahwa tegangan di baterai konstan dengan rata-rata 23.909 volt.





Gambar 4.11. Karakteristik Tegangan, Arus dan SOC pada Baterai

Hal ini menunjukkan kinerja dari kontroler PID baik. Dapat dilihat juga arus *charging* konstan pada 2.314 ampere dan SOC meningkat secara konstan. Karakteristik SOC, arus dan tegangan dari hasil simulasi tugas akhir ini sesuai dengan harapan untuk diterapkan pada teknologi *keypoint* UP2D Jawa Timur. Berdasarkan spesifikasi teknologi *keypoint*, arus yang dibutuhkan pada keadaan normal yaitu 1.5 ampere sehingga masih tersisa 0.81 ampere yang terus terisi pada baterai dengan tegangan 24 volt.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil simulasi sistem *DC supply* pada teknologi *keypoint* dengan menggunakan panel surya didapatkan beberapa kesimpulan, diantaranya.

1. Panel surya dapat menjadi sistem *DC supply* yang andal untuk teknologi *keypoint*.
2. Desain dan simulasi mempresentasikan sistem pengisian baterai tugas akhir ini memenuhi SPLN S3.001-3 2012 dan Standar *Error* Internasional SE.032 yaitu dengan *ripple* tegangan hanya 0.017 volt dengan metode *Ziegler Nichols*, sedangkan metode analitik yaitu 0.02 volt.
3. Kontroler PID pada *buck converter* menghasilkan tegangan *output* yang respon mencapai nilai *steady statenya* dua kali lebih cepat, tegangan yang dihasilkan lebih mendekati tegangan nominal baterai teknologi *keypoint* yaitu 24 volt dengan mengurangi *error steady state* dari 0.250 volt menjadi 0.0985 volt dengan metode *Ziegler Nichols*, sedangkan metode analitik menjadi 0.014 volt, dan menghilangkan *overshot* tegangan yang mencapai 24.21 volt dengan metode *Ziegler Nichols*, sedangkan metode analitik berkurang menjadi 24.1 volt.

5.2. Saran

Mempertimbangkan pengaruh perubahan suhu pada panel surya terhadap kinerja sistem *DC supply* pada teknologi *keypoint*. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menambahkan manajemen daya antara baterai, *DC supply existing* dan teknologi *keypoint*. Saran terpenting yaitu UP2D Jawa Timur PT. PLN secepatnya mengimplementasikan inovasi dari tugas akhir ini untuk meningkatkan keandalan proses distribusi Jawa Timur.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. and A. Leonid, Solar Cell – Silicon Wafer – Based Technologies, Rijeka Croatia: Intech, 2011.
- [2] W. P. Ciptian , "Desain Model MPPT Baru Pada Topologi PV Farm Berbasis Culster Yang Tertutup Bayangan Sebagian," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [3] Ochieng and M. Reccab, Solar Collectors and Panels, Theory and Application, Rijeka Croatia: Intech, 2010.
- [4] R. G. Benediktus , "Analisis Step-Up Chopper Sebagai Transformasi Interface Photovoltaic dan Beban," Univ.Katolik Soegijanprananta, Semarang, 2011.
- [5] M. H. R., "Desain dan implementasi MPPT berbasis algoritma modified incremental conductance untuk photovoltaic dengan perubahan iradiasi matahari yang cepat," Institute Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [6] K. Ogata, Modern Control Engineering, Tokyo: Prentice Hall, 2010.
- [7] A. DEGLA, M. CHIKH, A. CHOUDER, F. BOUCHAFAA and A. TAALLAH, "An update Battery Model for Photovoltaic Application based on comparative Analysis and Parameter Identification of Lead acid Battery Models Behavior," IET Renewable Power Generation, Algeria, 2017.
- [8] R. HADDAD, A. E. SHAHAT and Y. KALAANI, "Lead Acid Battery Modeling for PV Applications," Journal of Electrical Engineering, Statesboro, 2015.
- [9] M. H. Rashid, Power Electronics Handbook, Florida: Academic Press, 2001.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LAMPIRAN

Lampiran 1. Parameter pada PV Array

Block Parameters: PV Array1

PV array (mask) (link)

Implements a PV array built of strings of PV modules connected in parallel. Each string consists of modules connected in series.
Allows modeling of a variety of preset PV modules available from NREL System Advisor Model (Jan. 2014) as well as user-defined PV module.

Input 1 = Sun irradiance, in W/m², and Input 2 = Cell temperature, in deg.C.

Parameters **Advanced**

Array data

Parallel strings

Series-connected modules per string

Module data

Module: **User-defined**

Maximum Power (W) Cells per module (Ncell)

Open circuit voltage Voc (V) Short-circuit current Isc (A)

Voltage at maximum power point Vmp (V) Current at maximum power point Imp (A)

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C) Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)

Lampiran 2. Spesifikasi Panel Surya yang Digunakan

180W panel

Maximum power:	180Wp
180Wp Dimensions:	1581x809x50mm
Number of cells (Pcs):	72
Maximum power voltage (V):	36.31
Maximum power current (A):	4.98
Open circuit voltage (V):	44.97
Short circuit current (A):	5.23
Maximum system voltage (V)	1000
Temperature range:	-40°C to +80°C
Tolerance Wattage (e.g. +/-3°C):	+/-5°C
Surface Maximum Load Capacity:	60m/s(200kg/sqm)
Available Hail Load:	steel ball fall down from 1m height
Weight per piece (kg):	16.3
Junction Box Type:	PV-RH0301 (TUV)
Length of cables (mm):	900mm
Cell Efficiency:	>15.2%
Module Efficiency:	>15%
Output tolerance:	+/-5%
Frame (Materials, corners, etc):	Aluminium
Standard Test Conditions:	AM1.5 100mW/cm ² 25°C

Warranty:

2 years product warranty and 20 years 80% of power



PHOTOVOLTAIC (PV) solar panels
Electricity - CE & ISO 9000 certified

Photovoltaic solar panels convert sunlight into useful electricity.

ZEDfabric supplies high quality mono-crystalline silicon cell PV panels in two sizes: 83W and 180W.

The laminated cells are mounted in an anodised Aluminium frame. On the rear of the module is a waterproof junction box with connection cables.

We are also working with suppliers in China to develop our own building integrated glass laminate PV panes.

Lampiran 3. Spesifikasi Baterai yang Digunakan

RANGE SUMMARY

The GB series offers a 5 years full maintenance free design life. With a compact design and good reliability, this series is highly suited for security and alarm systems, UPS systems, emergency light systems and other small backup applications.

FEATURES AND BENEFITS

- 5 years design life in floating condition
- Wide operating temperature range from -15°C to 50°C
- Can be used in vertical or horizontal position
- Balanced design for both floating and cyclic operation
- Low self-discharge rate and long shelf life

CONSTRUCTION

- Positive plate : Standard Pb-Ca-Sn alloy
- Negative plate : Balanced Pb-Ca grid for improved recombination efficiency
- Separator : AGM separator
- Electrolyte : Dilute high purity sulphuric acid
- Battery container and cover : ABS
- Pillar seal : Double layers epoxy resin seal
- Relief valve : Self sealing rubber cap valve with proven reliability

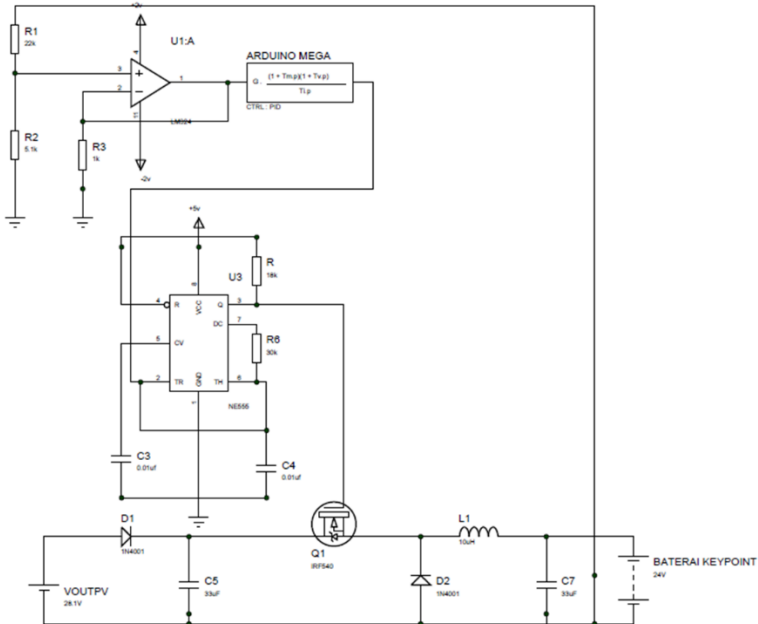
CHARGING VOLTAGE AND SETTINGS

- Constant voltage charging is recommended
- Recommended float charge voltage : 2.27Vpc @ 20-25°C
- Float voltage temperature compensation: -3mV/°C/cell
- Float voltage range: 2.27 to 2.30 Vpc @ 20-25°C
- Cyclic application charge voltage : 2.40 to 2.50 Vpc @ 20-25°C
- Max. charge current allowable : 0.3C20A

Code No.	Voltage (V)	Capacity (AH)	Dimension						Weight Kg	Terminal Type			
			Length mm	Length in	Width mm	Width in	Height mm	Height in			Total Height mm	Total Height in	
GB12-35	12	35	195	7.68	130	5.12	155	6.10	180	7.09	11	24.3	T7



Lampiran 4. Usulan Rangkaian Implementasi



Lampiran 5. Harga Komponen Implementasi

Baterai BSB GB12-18 4 buah = Rp. 1.940.000

Induktor 10 uH 1 buah = RP. 850

Kapasitor 33 uF 2 buah = Rp. 800

Dioda 1N4001 2 buah = Rp. 400

Hexfet IRF540 1 buah = Rp. 8.000

Panel Surya 180 1 buah = Rp. 2.610.000

Kapasitor 0.01 uF 2 buah = Rp. 15.000

Resistor 30k 1 buah = Rp. 200

Resistor 18k 1 buah = Rp. 300

IC NE555 1 buah = Rp. 1.500

Arduino Mega 1 buah = Rp. 169.900

Op Amp LM324 1 buah = Rp. 3000

Resistor 1k 1 buah = Rp. 100

Resistor 22k 1 buah = Rp.2000

Resistor 5.1k 1 buah = Rp. 200

Total = Rp. 4.752.750

Lampiran 6. Program *Least Square*

```
clear n k i yd si teta y_topi MSE
clc
```

```
n=input('nth_Orde: ');
y=Vout(:,2);
u=Vin(:,2);
for i=1:n
    for k=1:size(y)
        if k>i
            yd(k,i)=y(k-i);
            ud(k,i)=u(k-i);
        else
            yd(k,i)=0;
            ud(k,i)=0;
        end
    end
end
```

```

        end
    end
    si=[yd ud];
    teta=inv(si'*si)*si'*y;
    teta
    y_topi=si*teta;
    MSE=immse(y,y_topi)

plot(y)
hold;
plot(y_topi)
title('grafik estimasi parameter dengan metode
least square offline')
xlabel('times(s)')
ylabel('Amplitude')
legend('Y','Y_t_o_p_i')

```

Lampiran 6. Program *Least Square*

```

>> step(H)
>> H = tf([0.2915 -0.02455 ],[1 -0.9987 0.0040],0.001)

H =

    0.2915 z - 0.02455
    -----
    z^2 - 0.9987 z + 0.004

Sample time: 0.001 seconds
Discrete-time transfer function.

```

```
>> step(H)
>> sidik=d2c(H, 'zoh')

sidik =

      399.3 s + 1.482e06
      -----
      s^2 + 5521 s + 2.943e04

Continuous-time transfer function.

>> |
```

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

BIODATA PENULIS



Muhammad Rifky Abdul Fattah lahir di Samarinda, 23 Juli 1997 dan dibesarkan di kota Samarinda. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 028 Kota Samarinda dari tahun 2003 hingga 2009. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Al Azhar Syifa Budi Kota Samarinda dan Madrasah Bertaraf Internasional (MBI) Kota Mojokerto. Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Institut Sepuluh Nopember. Pada masa perkuliahan penulis banyak menghabiskan waktu di bidang Teknik Sistem Pengaturan. Penulis juga aktif dalam kegiatan keorganisasian mahasiswa dan santri seperti UKM Rebana ITS dan INSAN Darussalam Keputih. Prestasi yang pernah diraih yaitu MAWAPRES FTE 2018. Penulis bisa dihubungi melalui email: mrabdulf@gmail.com dan nomer *handphone*: 08115599144