

DESAIN KENDALI STR-PID UNTUK PENGENDALIAN TEGANGAN KELUARAN *BUCK CONVERTER* PADA PLTS

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

SWASTIKA PUSPARANI

1175200302

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU**

PEKANBARU

2021

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Uinraungi Ungaang-Ungaang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

**DESAIN KENDALI STR-PID UNTUK PENGENDALIAN TEGANGAN
KELUARAN BUCK CONVERTER PADA PLTS**


TUGAS AKHIR

Oleh:

SWASTIKA PUSPARANI
11755200302

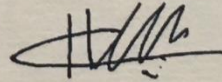
Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 15 Desember 2021

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**


Digitally
signed by
Zulfatri Aini
Tanggal:
2021.12.31
11:01:08 WIB

DR. Zulfatri Aini, ST., MT.
NIP. 197210212006042001

Pembimbing



Halim Mudia, ST., MT
NIK. 130 517 053



Hak Cipta Diinangungi Ungaang-Ungaang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN KENDALI STR-PID UNTUK PENGENDALIAN TEGANGAN
KELUARAN BUCK CONVERTER PADA PLTS**

TUGAS AKHIR

Oleh:

SWASTIKA PUSPARANI

11755200302

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 18 November 2021

Pekanbaru, 15 Desember 2021

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dr. Hartono, M.Pd
NIP. 6403011992031003

Digitally signed
by Zulfatri Aini
Tanggal:
2021.12.31
11:00:26 WIB

DR. Zulfatri Aini, ST., MT.
NIP. 197210212006042001

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Rika Susanti, ST.,M.Eng

Sekretaris : Halim Mudia, ST.,MT

Anggota I : Ahmad Faizal, ST.,MT

Anggota II : Jufrizel, ST.,MT

Ahmad Faizal
2021.12.16
14:17:46 +07'00'

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Lampiran Surat :
 Nomor : Nomor 25/2021
 Tanggal : 10 September 2021

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : SWASTIKA PUSPARANI
 NIM : 11951200302
 Tempat/Tgl. Lahir : PERAWANG, 12 MEI 1999
 Fakultas/Pascasarjana : SAINS DAN TEKNOLOGI
 Prodi : TEKNIK ELEKTRO
 Judul Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya*:
 DESAIN KENDALI STR-PID UNTUK PENGENDALIAN TEGANGAN BUCK CONVERTER
 PADA PLTS

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya* dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya* saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apa bila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/(Karya Ilmiah lainnya)* saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikianlah Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 19 JANUARI 2022
 Yang membuat pernyataan



METER TEMPEL
 870A JX616250647
 SWASTIKA PUSPARANI
 NIM : 11951200302

*pilih salah satu sesuai jenis karya tulis

- Hak Cipta Diinangungi Unang-Unang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan di perkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

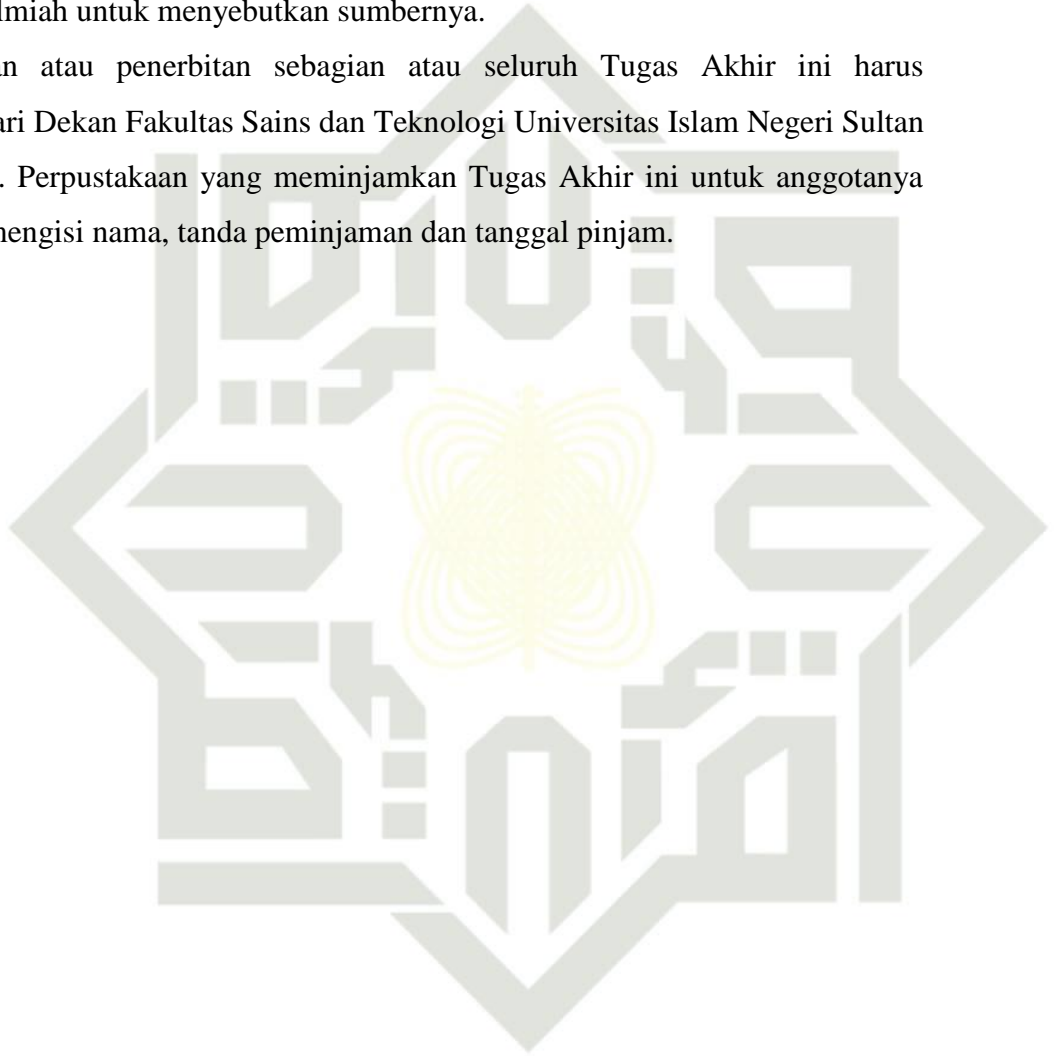
Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 18 November 2021

Yang membuat pernyataan,



SWASTIKA PUSPARANI

NIM. 11755200302

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang
Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barangsiapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.

(HR. Tirmidzi)

Terima Kasih Ya Allah...

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha Pengasih namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-Nya tak terbilang. Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan sholawat beriring salam penggugah hati dan jiwa, menjadi persembahan penuh kerinduan pada sosok panutan umat, pembangun peradaban manusia yang beradab Nabi Besar Muhammad SAW.

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.

(QS: Al-Mujadilah 11)

Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Adik-adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.

Dan katakanlah: "Ya Tuhan-ku, masukkan aku ketempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ketempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku."

(QS: Al-Isra 80)

/ SWASTIKA PUSPARANI |

| 18 November 2021 |

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DESAIN KENDALI STR-PID UNTUK PENGENDALIAN TEGANGAN KELUARAN BUCK CONVERTER PADA PLTS

SWASTIKA PUSPARANI

NIM. 11755200302

Tanggal Sidang : 18 November 2021

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. HR. Soebrantas, Km 15 No. 155 Panam, Pekanbaru

ABSTRAK

Pada PLTS, kontrol sangat penting untuk mengatur arus dan tegangan yang akan masuk ke baterai, pada *Battery Charging Control* Terdapat satu komponen penting yang berfungsi untuk menurunkan tegangan yang berasal dari PLTS sesuai dengan tegangan baterai yaitu *Buck Converter*. Permasalahan utama *buck Converter* pada PLTS yaitu nilai tegangan keluaran *Buck converter* berubah akibat perubahan nilai tegangan masukan yaitu tegangan yang berasal dari PLTS, sementara tegangan keluaran yang dihasilkan harus tetap berdasarkan tegangan baterai yaitu 12V. Oleh karena itu diperlukan suatu kendali untuk mengendalikan tegangan keluaran *Buck Converter* agar tegangan keluarannya sesuai dengan tegangan baterai apabila terjadi perubahan tegangan *input*, dalam hal ini kendali yang digunakan adalah *Adaptif Self-Tuning Regulator-Proportional Integral Derivative* (STR-PID). Dari hasil penelitian ini, terlihat STR-PID mampu mencapai *setpoint* yang diinginkan, dengan *error steady state*= 0 V, *Overshoot*= 0%, dan mampu mengatasi gangguan yang berupa perubahan tegangan *input*.

Kata Kunci : PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), *Buck Converter*, STR-PID

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

STR-PID CONTROL DESIGN FOR BUCK CONVERTER OUTPUT VOLTAGE CONTROL IN PLTS

SWASTIKA PUSPARANI

NIM. 11755200302

Session Date : November 18th, 2021

Electrical Engineering Study Program

Faculty of Science and Technology

Sultan Syarif Kasim State Islamic University Riau

Jl. HR. Soebrantas, Km 15 No. 155 Panam, Pekanbaru

ABSTRACT

In PLTS, control is very important to regulate the current and voltage that goes into the battery, in Battery Charging Control There is one important component that functions to reduce the voltage coming from PLTS according to the battery voltage, namely the Buck Converter. The main problem with the buck converter in solar power is that the output voltage value converter changes due to changes in the input voltage value, namely the voltage coming from the solar power plant, while the output voltage produced must remain based on the battery voltage, which is 12V. Therefore we need a control to control the output Buck Converter voltage of these that the output voltage matches the battery voltage if there is a change in the voltage input, in this case the control used is the Adaptive Self-Tuning Regulator-Proportional Integral Derivative (STR-PID). From the results of this study, it appears that STR-PID is able to reach the desired setpoint, with steady state error = 0 V, Overshoot = 0%, and is able to overcome disturbances in the form of change in voltage input.

Keywords: *PLTS (Solar Power Plant), Buck Converter, STR-PID*

UIN SUSKA RIAU

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Desain Kendali STR-PID Untuk Pengendalian Tegangan Keluaran *Buck Converter* Pada PLTS”.

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga doa orang-orang yang ada di sekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu, Bapak, dan Abang tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Prof. Dr. Khairunnas, M.Ag selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. DR. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. DR. Zulfatri Aini, ST., MT. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Sutoyo, S.T, M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Halim Mudia, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

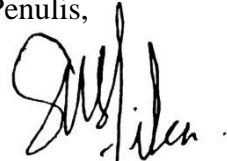
7. Aulia Ullah, S.T., M.Eng selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
8. DR. Teddy Purnamirza, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga semester 9 ini.
9. Rika Susanti, S.T., M.Eng selaku ketua sidang yang telah meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Ahmad Faizal, S.T., M.T selaku dosen penguji 1 yang telah meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Jufrizel, S.T., M.T selaku Dosen penguji 2 yang telah meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Teman-teman Go to Jannah selaku teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dan telah banyak membantu penulis dalam berbagai hal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Sahabat (Tiara Puja Haryadi, Talil Darmiayu Putri, Nadhira Benedicta, Juliesty Huswina Nasution) yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
15. Dan teman teman Teknik Elektro Angkatan 2017 yang telah meluangkan waktunya untuk banyak membantu penulis dalam berbagi hal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 18 November 2021

Penulis,



Swastika Pusparani
NIM.1175520030



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR RUMUS.....	xv
DAFTAR LAMBANG.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
xvii	
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-4
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-4
1.4 Batasan Penelitian	I-4
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Buck Converter.....	II-2
2.2.1 Model Matematis <i>Buck Converter</i>	II-3
2.3 Sistem Kendali	II-8
2.3.1 Sistem Orde 2.....	II-9
2.3.2 Kendali PID	II-11
2.3.3 STR (<i>Self Tuning Regulator</i>)	II-12
2.3.4 Kendali PID diskrit	II-16
2.4 MATLAB	II-19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.1	Proses Alur Penelitian	III-1
3.2	Tahapan Penelitian	III-2
3.3	Pemodelan Matematis <i>Buck Converter</i>	III-3
3.4	Verifikasi dan Simulasi Pemodelan Matematis <i>Buck Converter</i>	III-3
3.5	Skenario Penelitian.....	III-5
3.6	Perancangan Pengendali PID	III-5
3.7	Perancangan Pengendali STR-PID.....	III-7
3.8	Perancangan Blok Simulink PID.....	III-10
3.9	Perancangan Blok Simulink STR-PID	III-10
3.10	Data Penelitian Yang Akan Dianalisa	III-11

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1	Gambaran Umum Analisa Sistem	IV-1
4.2	Hasil Pengujian Sistem <i>Buck Converter</i> Secara <i>Close Loop</i>	IV-1
4.2.1	Analisa Pengujian Sistem <i>Buck Converter</i> Secara <i>Close Loop</i>	IV-3
4.3	Hasil pengendali PID dalam pencapaian <i>setpoint</i> pada <i>Buck Converter</i>	IV-4
4.3.1	Analisa Pengujian Sistem <i>Buck Converter</i> dengan Pengendali PID	IV-6
4.4	Hasil pengendali STR-PID dalam pencapaian <i>setpoint</i> pada <i>Buck Converter</i>	IV-6
4.4.1	Analisa pengendali STR-PID dalam pencapaian <i>setpoint</i> pada <i>Buck Converter</i>	IV-9
4.5	Hasil dan Pembahasan Pengendali STR-PID Dalam Mengatasi Gangguan Eksternal Pada <i>Buck Converter</i>	IV-9

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran.....	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian <i>Buck Converter</i> [14]	II-3
Gambar 2. 2 Rangkaian <i>Buck Converter</i> Pada Saat Saklar <i>ON</i> [15].....	II-3
Gambar 2. 3 Rangkaian <i>Buck Converter</i> Pada Saat Saklar <i>OFF</i> [15].....	II-5
Gambar 2. 4 Respon Transien Sistem Orde 2[19].....	II-10
Gambar 2. 5 Sistem Kendali PID	II-12
Gambar 2. 6 Skema Dasar STR[20]	II-13
Gambar 2. 7 Diagram Blok <i>Plant</i> dengan Kendali PID Diskrit	II-17
Gambar 2. 8 Diagram Blok Perhitungan Parameter	II-18
Gambar 2. 9 Tampilan Awal Matlab	II-19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	III-1
Gambar 3. 2 Respons <i>Close Loop Buck Converter</i> pada Rujukan[8]	III-4
Gambar 3. 3 Blok <i>Simulink</i> Diagram <i>Close Loop Buck Converter</i>	III-4
Gambar 3. 4 Respons <i>Close Loop</i> Tegangan <i>Buck Converter</i>	III-5
Gambar 3.5 Rangkaian Blok <i>Simulink</i> PID	III-10
Gambar 3.6 Rangkaian Blok <i>Simulink</i> STR-PID.....	III-10
Gambar 4. 1 Blok <i>Simulink</i> Sistem <i>Buck Converter</i> Secara <i>Close Loop</i>	IV-2
Gambar 4. 2 Hasil Respons <i>Buck Converter</i> Secara <i>Close Loop</i>	IV-2
Gambar 4. 3 Blok <i>Simulink</i> Sistem <i>Buck Converter</i> dengan Pengendali PID	IV-4
Gambar 4. 4 Hasil Respons <i>Buck Converter</i> Secara <i>Close Loop</i>	IV-4
Gambar 4. 5 Blok <i>Simulink</i> STR-PID pada <i>Buck Converter</i> dalam Pencapaian Setpoint.....	IV-7
Gambar 4. 6 Subsistem Blok <i>Buck Converter</i> Tanpa Gangguan	IV-7
Gambar 4. 7 Hasil Respons STR-PID pada <i>Buck Converter</i> dalam Pencapaian Setpoint.....	IV-7
Gambar 4. 8 Blok <i>Simulink</i> STR-PID pada <i>Buck Converter</i> dalam Mengatasi Gangguan Perubahan Nilai Tegangan <i>Input</i>	IV-9
Gambar 4. 9 Hasil Respons STR-PID pada <i>Buck Converter</i> dalam mengatasi gangguan Gangguan Perubahan Nilai Tegangan <i>Input</i>	IV-9

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

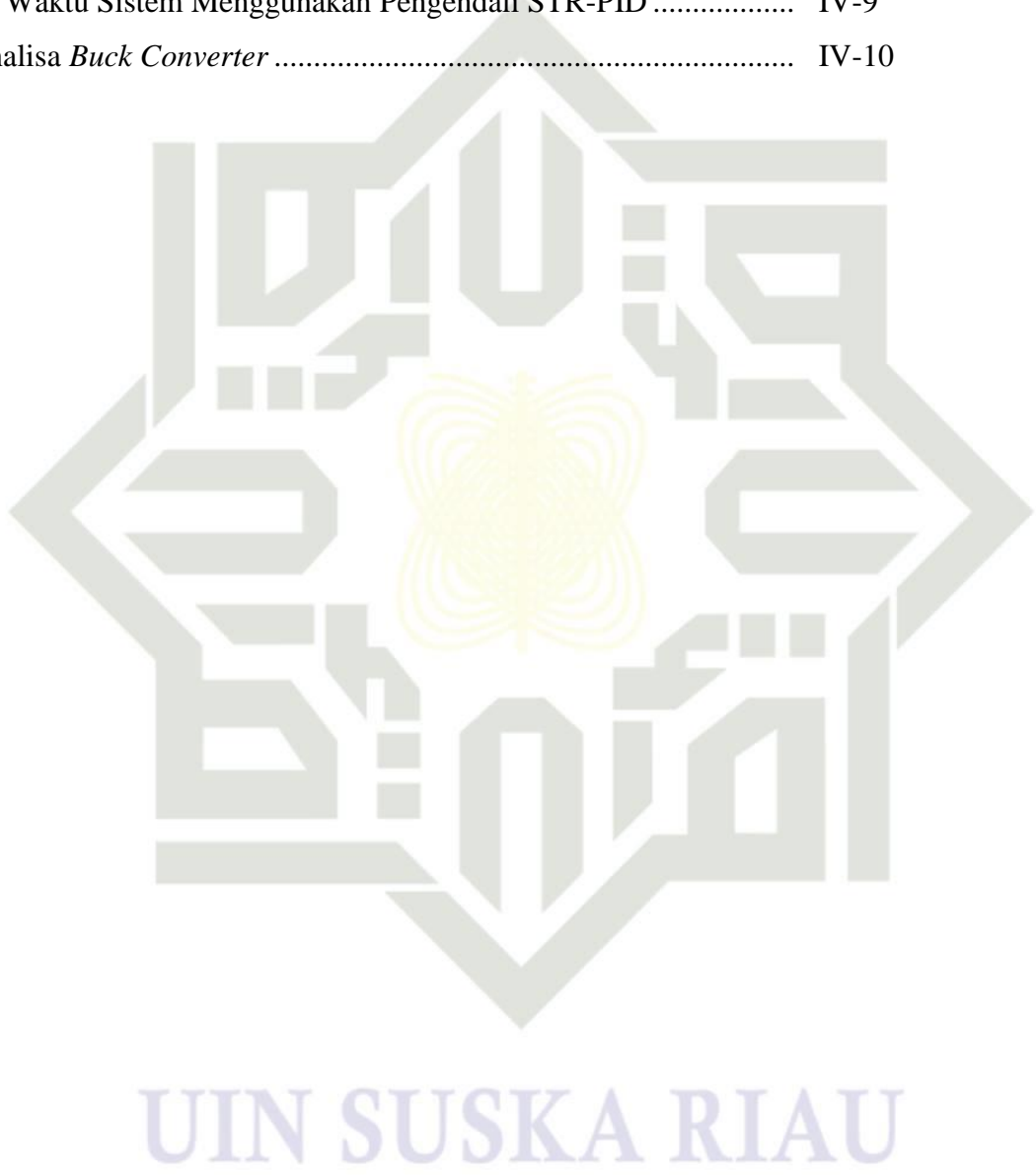
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pengaruh salah satu parameter PID	II-11
Tabel 3.1	Nilai-Nilai Parameter <i>Buck Converter</i>	III-3
Tabel 4.1	Respons Sistem secara <i>Close Loop</i>	IV-3
Tabel 4.2	Respons Sistem Tanpa Pengendali	IV-6
Tabel 4.3	Respons Waktu Sistem Menggunakan Pengendali STR-PID	IV-9
Tabel 4.4	Hasil Analisa <i>Buck Converter</i>	IV-10

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RUMUS

- 2.1 Turunan Tegangan Capacitor *Buck Converter*
- 2.2 Turunan Arus Induktor *Buck Converter*
- 2.3 Persamaan Ruang Keadaan *Buck Converter*
- 2.4 Persamaan Tegangan keluaran *Buck Converter*
- 2.5 Fungsi alih persamaan Masukan
- 2.6 Fungsi alih persamaan Keluaran
- 2.7 Fungsi alih dari persamaan ruang keadaan rata-rata
- 2.8 Invers persamaan *Buck Converter*
- 2.9 Invers persamaan *Buck Converter*
- 2.10 Persamaan penyebut *Buck Converter*
- 2.11 Persamaan BU *Buck Converter*
- 2.12 Fungsi Alih *Buck Converter*
- 2.13 Persamaan Sistem Orde 2
- 2.14 Rumus *Rise Time*
- 2.15 Rumus *Settling Time*
- 2.16 Rumus *Delay Time*
- 2.17 Rumus *Overshoot*
- 2.18 Rumus *Error steady state*
- 2.19 Persamaan ARMA Orde 2
- 2.20 Rumus Transformasi Z
- 2.21 Persamaan Transformasi Z
- 2.22 *Plant* Orde 2 Transformasi Z
- 2.23 *Plant* Orde 2 Transformasi Z
- 2.24 Transformasi Bilinier
- 2.25 Rumus t_r Theorema Shannon
- 2.26 Rumus Umum Model dari Sebuah Proses ELS
- 2.27 Rumus Pengestimasi Nilai Parameter
- 2.28 Rumus Vektor Regresi
- 2.29 Rumus Metode RLS
- 2.30 Rumus Metode ELS
- 2.31 Rumus Kendali PID
- 2.32 Rumus Kendali PID Diskrit
- 2.33 Rumus Kendali PID Diskrit dalam Bentuk Transformasi Z
- 2.34 Rumus Sinyal Kendali yang Akan Diumpankan ke *Plant*

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR LAMBANG

V_{in}	=	Tegangan <i>Input</i>
V_o	=	Tegangan <i>Output</i>
C	=	<i>Capacitor</i>
L	=	<i>Inductor</i>
R	=	Resistansi Beban
R_C	=	Resistansi Kapasitor
R_L	=	Resistansi Induktor
ξ	=	Rasio peredaman
θ	=	Vektor Parameter
ω_n	=	Frekuensi alami tak teredam
τ	=	Konstanta Waktu
K	=	<i>Gain Overall</i>

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR SINGKATAN

ARMA	=	<i>Auto Regressive Moving Average</i>
BCR	=	<i>Battery charging control</i>
CLTF	=	<i>Close Loop Transfer Function</i>
ELS	=	<i>Extended Least Square</i>
KCL	=	<i>Kirchoff Current Law</i>
KVL	=	<i>Kirchoff Voltage Law</i>
MTOE	=	<i>Million Tonnes of Oil Equivalent</i>
PID	=	<i>Propotional Integral Derivative</i>
PLTS	=	<i>Pembangkit Listrik Tenaga Surya</i>
RLS	=	<i>Recursive Least Square</i>
STR	=	<i>Self Tuning Regulator</i>
Td	=	<i>Time Delay</i>
Tr	=	<i>Rise Time</i>
Ts	=	<i>Time Settling</i>

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Energi Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat Indonesia pada saat ini, hal ini disebabkan oleh perkembangan teknologi yang sangat pesat. Telah banyak macam bentuk teknologi yang telah dikembangkan, misalnya media komunikasi, media transportasi dan teknologi modern lainnya. Berbagai media dan teknologi saat ini hampir seluruhnya memerlukan energi listrik, sehingga pertumbuhan dan perkembangan teknologi sebanding dengan jumlah kebutuhan energi listrik[1]. Jumlah konsumsi energi listrik di Indonesia tumbuh sebesar 5,5% per tahun dalam jangka waktu 2015-2019, pada tahun 2019 total konsumsi energi senilai 137 MTOE[2]. Pada tahun 2019, sebagian besar kebutuhan energi listrik di Indonesia dipenuhi oleh energi fosil yang terdiri dari minyak bumi, batu bara, dan gas. Minyak bumi memenuhi 33,58% kebutuhan energi listrik di Indonesia, batu bara memenuhi 37,15% kebutuhan energi listrik, gas memenuhi 20,13% kebutuhan energi listrik di Indonesia[2]. Sementara jika menggunakan fosil secara terus-menerus, maka fosil tersebut akan habis karena laju pengurasan lebih cepat dari penemuan kilang minyak baru. Untuk mengantisipasi hal demikian, diperlukan suatu alternatif baru yang dapat digunakan sebagai sumber energi yang mampu membangkitkan energi listrik secara terus dan emisi dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

Berdasarkan peningkatan kebutuhan energi listrik maka sangat dibutuhkan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, Energi terbarukan bisa berasal dari energi angin, energi air, energi surya, biomassa, dan energi panas bumi[2]. Menurut Indonesia *Energy Out Look 2019* energi surya memiliki potensi untuk dijadikan pembangkit energi listrik tertinggi di Indonesia yaitu sebesar 207,8 GW[3], sehingga pembangunan PLTS dapat membantu memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia.

Di Indonesia terdapat satu pusat penelitian tentang pembangkit listrik skala kecil, yaitu PT. Lentera Bumi Nusantara disana terdapat PLTS. Sel surya merupakan dioda semikonduktor yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik dan merupakan komponen utama dalam Sistem Tenaga Surya (PLTS). Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS berupa arus searah sedangkan beban yang digunakan konsumen dapat berupa arus bolak-balik dan searah. Untuk mengubah energi listrik dari arus searah menjadi arus bolak-balik digunakan inverter, sedangkan untuk mengubah tegangan ke nilai yang lebih rendah

digunakan *Buck Converter*[4], tegangan keluaran dari *Buck Converter* akan masuk ke baterai. Tegangan yang masuk ke baterai harus stabil dan sesuai dengan spesifikasi media penyimpanan (baterai) Sehingga baterai dapat menyimpan energi listrik dengan baik[5], pada penelitian ini penulis menggunakan *input Buck converter* sebesar 20V dan *output Buck converter* sebesar 12V.

Rangkaian *Buck Converter* terdiri dari saklar aktif (MOSFET), dioda, serta kapasitor dan induktor sebagai filternya. Permasalahan utama *buck Converter* pada PLTS yaitu nilai tegangan keluaran *Buck converter* berubah akibat perubahan nilai tegangan masukan yaitu tegangan yang berasal dari PLTS yang menyebabkan perubahan tegangan keluaran *buck converter*, sementara tegangan keluaran yang dihasilkan harus tetap berdasarkan tegangan baterai yaitu 12V, dan masalah transient tegangan yang muncul pada saat sistem disimulasikan secara *openloop*[6]. Permasalahan ini menyebabkan *overcharge* dan *overdischarge* pada baterai yang dapat menyebabkan singkatnya umur baterai[7]. Sehingga dibutuhkan suatu pengendali yang mampu menyesuaikan tegangan keluaran *buck converter* sesuai tegangan baterai.

Untuk mengatasi permasalahan transient pada *Buck Converter*, sebelumnya telah dilakukan penelitian dengan menambahkan pengendali pada *Buck Converter* untuk mengurangi *Overshoot* dan osilasi pada *Buck Converter* sehingga memaksimalkan proses penyimpanan energi listrik. Salah satu pengendali yang telah ditambahkan pada *Buck Converter* adalah pengendali PID dan PI, pada penelitian terkait telah dilakukan perbandingan performa antara pengendali PID dan PI untuk menentukan parameter-parameter pengendali yang tepat pada sistem *Buck Converter*. Di penelitian tersebut telah didapatkan hasil bahwa pengendali PI dapat meminimalkan *Overshoot* tetapi respons menjadi lambat serta timbulnya osilasi pada awal respons sistem, serta pengendali PID lebih mampu meminimalkan *Overshoot* daripada pengendali PI yaitu sebesar 26%[8]. Namun setiap terjadi perubahan atau gangguan pada waktu penjadwalan, nilai parameter PID juga ikut berubah pada jadwal berikutnya. Penentuan parameter control PID harus dicari lagi secara manual agar sistem tetap berjalan stabil[9], Sementara *Buck converter* memiliki sifat Non-linear karena terdapat komponen switching sehingga dibutuhkan pengendali yang mampu mengendalikan sistem yang nonlinear.

Pada penelitian lain telah dilakukan pengendalian frekuensi switching *Buck Converter* menggunakan pengendali *Fuzzy* dengan metode *Fuzzy mamdani* pengendali

Fuzzy tepat digunakan untuk memodelkan fungsi-fungsi non-linear yang kompleks dan memiliki toleransi untuk data-data yang tidak tepat. Pengendali *Fuzzy* dirancang untuk mendapatkan tegangan keluaran *Buck Converter* sesuai dengan nilai yang diinginkan. Pada penelitian ini, Pengendalian *Buck Converter* menggunakan logika *Fuzzy* mampu mengurangi error pada tegangan *Output* sebanyak 3% dan berkurangnya ripple tegangan *Output* sebesar 1,5% sampai 3% dari *Buck Converter* yang tidak menggunakan pengendali[8]. Namun kendali *Fuzzy* memiliki sifat sangat sensitif terhadap gangguan sehingga dapat mempengaruhi stabilitas pada pengendalian[10], Sementara pada *Buck Converter* terdapat gangguan berupa perubahan tegangan input dibutuhkan suatu pengendali adaptif yang mampu beradaptasi terhadap gangguan yang berupa perubahan tegangan *input Buck Converter* yaitu tegangan yang berasal dari PLTS.

Pada penelitian lain yang berjudul “Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Posisi Pada Magnetic Levitation Ball”, membahas mengenai Permasalahan Magnetic Levitation Ball yang terletak pada sistemnya yang nonlinier, dimana perubahan *setpoint* tidak sebanding dengan perubahan output. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan pengendali STR-PID untuk mengendalikan posisi Magnetic Levitation Ball agar benda itu melayang sesuai dengan *setpoint* dan karakteristik sistem yang diinginkan. STR menggunakan algoritma estimasi yang digunakan adalah *Extended Least Square* (ELS), ELS merupakan modifikasi dari *Recrusrive Least Square* (RLS). RLS merupakan algoritma yang mempunyai laju konvergensi yang lebih cepat dengan tingkat kesalahan yang lebih sedikit, namun algoritma RLS ini mempunyai waktu yang terbatas dalam memproses *tuningnya*, agar proses *tuning* bisa dilakukan dalam waktu yang tak terbatas selama *power supply* masih aktif, maka di modifikasilah algoritma estimasi *Extended Least Square* (ELS), Dari hasil penelitian ini, terlihat STR-PID mampu mencapai *setpoint* yang diinginkan, dengan *error steady state= 0V, maksimum Overshoot= 0%*[11].

Berdasarkan studi literatur yang telah dibaca, pengendali STR-PID cukup baik dalam memperbaiki respons transien, mampu mengendalikan sistem Nonlinear, dan mampu *men-tuning* secara otomatis nilai parameter PID ketika terjadi gangguan pada sistem. Oleh karena itu penulis memilih pengendali STR-PID untuk mengendalikan tegangan keluaran pada *Buck Converter* dalam memperkecil *osilasi* dan mengurangi *error steady state* yang dihasilkan pada sistem sebelum digunakan pengendali.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana merancang kendali STR-PID untuk pengendalian tegangan keluaran pada *Buck Converter* yang terdapat *error steady state*?
2. Bagaimana merancang kendali STR-PID untuk pengendalian tegangan keluaran pada *Buck Converter* yang terdapat *Overshoot* dan osilasi?
3. Bagaimana merancang kendali STR-PID untuk pengendalian tegangan keluaran pada *Buck Converter* yang berubah akibat perubahan tegangan input yang menyebabkan *overcharge* pada baterai?

3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang STR-PID untuk mengendalikan tegangan *Output* pada *Buck Converter* sehingga dapat menyelesaikan permasalahan adanya *error stady state*, *Overshoot* dan osilasi yang cukup besar serta sistem mampu mempertahankan *setpoint* ketika sistem diberikan gangguan dengan pengendalian yang stabil.

4. Batasan Penelitian

Agar Pembahasan pada penelitian ini tidak terlalu luas, penulis membatasi penelitian ini menjadi sebagai berikut:

1. Pemodelan *plant* pengendalian *Buck Converter* berdasarkan model matematis dari jurnal Irma Husnaini dan Krismadinata.
2. Pengendali yang digunakan adalah STR dengan pendekatan struktur model ARMA orde 2
3. Algoritma estimasi pada STR yang digunakan adalah ELS
4. Simulasi dilakukan menggunakan aplikasi Matlab.
5. Penelitian ini hanya sebatas simulasi dan tidak membahas hardware.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu :

1. Sebagai referensi tambahan bagi peneliti-peneliti berikutnya
2. Dapat menjadi referensi untuk penerapan pengendali dalam proses industri
3. Memberikan gambaran dan pengetahuan tentang bentuk desain pengendali STR-PID

Hak cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

4. Penelitian Terkait

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis melakukan kajian literatur mulai dari teori hingga referensi yang relevan dengan permasalahan yang penulis angkat baik dari segi *plant* maupun kendali yang digunakan, diantaranya yaitu pengendali yang telah ditambahkan pada *Buck Converter* adalah pengendali PID dan PI, pada penelitian terkait telah dilakukan perbandingan performa antara pengendali PID dan PI untuk menentukan parameter-parameter pengendali yang tepat pada sistem *Buck Converter*. Di penelitian tersebut telah didapatkan hasil bahwa pengendali PI dapat meminimalkan *Overshoot* tetapi respons menjadi lambat serta timbulnya osilasi pada awal respons sistem, serta pengendali PID lebih mampu meminimalkan *Overshoot* daripada pengendali PI yaitu sebesar 26%[8]. Namun setiap terjadi perubahan atau gangguan pada waktu penjadwalan, nilai parameter PID juga ikut berubah pada jadwal berikutnya. Penentuan parameter control PID harus dicari lagi secara manual agar sistem tetap berjalan stabil[9], Sementara *Buck converter* memiliki sifat Non-linear karena terdapat komponen *switching* sehingga dibutuhkan pengendali yang mampu mengendalikan sistem yang nonlinear.

Selain pengendali PI dan PID, penelitian pengendalian *Buck Converter* menggunakan pengendali *Fuzzy* dengan metode *Fuzzy* mamdani pengendali *Fuzzy* tepat digunakan untuk memodelkan fungsi-fungsi non-linear yang kompleks dan memiliki toleransi untuk data-data yang tidak tepat. Pengendali *Fuzzy* dirancang untuk mendapatkan tegangan keluaran *Buck Converter* sesuai dengan nilai yang diinginkan. Pada penelitian ini, pengendalian *Buck Converter* menggunakan logika *Fuzzy* mampu mengurangi error pada tegangan *Output* sebanyak 3% dan berkurangnya ripple tegangan *Output* sebesar 1,5% sampai 3% dari *Buck Converter* yang tidak menggunakan pengendali[8]. Namun kendali *Fuzzy* memiliki sifat sangat sensitif terhadap gangguan sehingga dapat mempengaruhi stabilitas pada pengendalian[10], Sementara pada *Buck Converter* terdapat gangguan berupa perubahan tegangan input dibutuhkan suatu pengendali adaptif yang mampu beradaptasi terhadap gangguan yang berupa perubahan tegangan *input Buck Converter* yaitu tegangan yang berasal dari PLTS.

Selain penelitian terkait *Buck Converter* dengan pengendali yang berbeda, terdapat penelitian lain yang berkaitan dengan pengendali yang akan peneliti angkat, seperti

penelitian tentang perancangan pengendali STR-PID untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa dengan metode RLS (*Recursive Least Square*) ketika beban divariasikan. Self Tuning Regulator mampu mengadakan adaptasi terhadap perubahan beban dengan kemampuan recovery time diberi beban 18.2 detik dan kemampuan recovery time beban dilepas 20.4 detik[12].

Pada penelitian lain yang berjudul “Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Posisi Pada Magnetic Levitation Ball”, membahas mengenai Permasalahan Magnetic Levitation Ball yang terletak pada sistemnya yang nonlinier, dimana perubahan *setpoint* tidak sebanding dengan perubahan output. Pada penelitian ini, menggunakan pengendali STR-PID untuk mengendalikan posisi Magnetic Levitation Ball agar benda itu melayang sesuai dengan *setpoint* dan karakteristik sistem yang diinginkan. Dari hasil penelitian ini, terlihat STR-PID mampu mencapai *setpoint* yang diinginkan, dengan *error steady state*= 0 m, maksimum *Overshoot*= 0% [11].

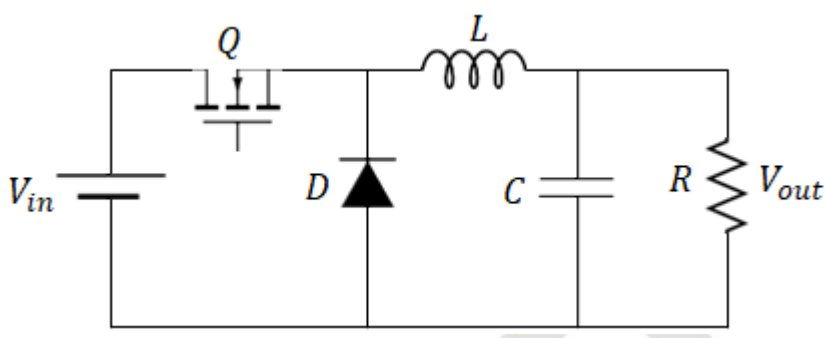
Seperti pada penelitian[11] digunakan juga pengendali STR-PID untuk pengendalian temperatur pada *Annealing Lehr* yang merupakan bagian untuk memproses pemanasan kaca. Pada penelitian ini STR (Self-Tuning Regulator) mampu memberikan nilai parameter yang tepat pada PID dan mampu melakukan adaptasi nilai parameter PID jika terjadi perubahan *setpoint* yang sesuai dengan tahap-tahap proses produksi kaca. Dari hasil penelitian ini, terlihat STR-PID mampu mengurangi *error steady state*= 0°C, maksimum *Overshoot*= 0%, dan mampu mengikuti perubahan nilai *setpoint* saat menaikkan dan menurunkan temperatur[13].

Dari beberapa penelitian di atas dapat disimpulkan pengendali STR-PID mampu beradaptasi dengan perubahan yang ada seperti perubahan suhu, perubahan beban dan perubahan posisi. Dan penelitian mengenai desain kendali STR-PID pada Buck converter belum pernah dilakukan sebelumnya. Dengan demikian, penulis ingin melakukan penelitian dengan menggunakan pengendali STR-PID untuk *Buck converter* karena pengendali STR-PID sudah terbukti mampu memperbaiki *error steady state*, *Overshoot*, *osilasi*, serta mampu beradaptasi ketika diberikan gangguan.

2.2 Buck Converter

Rangkaian *Buck Converter* merupakan salah satu jenis *Switching Converter* yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan DC keluaran yang lebih rendah dari tegangan DC masukkannya[14]. Rangkaian *Buck Converter* terdiri dari sumber tegangan *input*, MOSFET (Saklar Kontrol), dioda, filter induktor, filter kapasitor, dan beban. Agar dapat disimpan ke

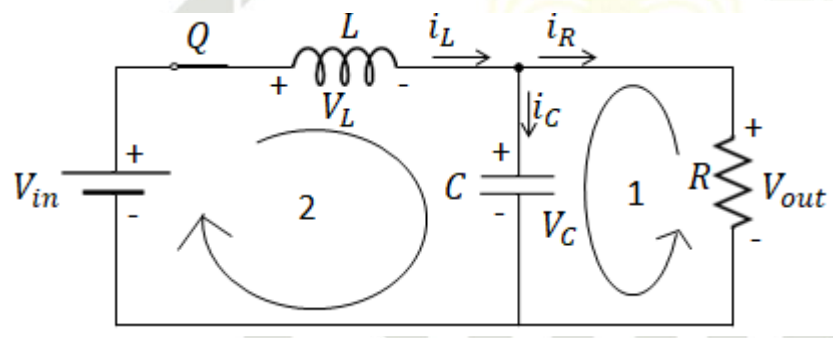
baterei maka tegangan keluaran PLTS harus distabilkan sesuai dengan tegangan beterei yaitu berkisar 12 Volt.



Gambar 2.1 Rangkaian *Buck Converter*[14]

Cara kerja dari *Buck Converter* yaitu apabila sakelar dalam kondisi terhubung maka dioda akan *reverse bias*, dan ketika saklar dalam kondisi terputus maka arus yang disimpan di induktor dikeluarkan menuju ke beban lalu ke dioda[14].

2.2.1 Model Matematis *Buck Converter*



Gambar 2. 2 Rangkaian *Buck Converter* Pada Saat Saklar ON[15]

Buck Converter beroperasi dalam 2 mode, yaitu ketika berada di dalam kondisi ON, dioda terbuka karena berada dalam kondisi *reverse bias* arus mengalir dari sumber menuju induktor (Pengisian Induktor) dan dalam waktu yang sama tegangan ditapis oleh kapasitor, lalu menuju ke beban[16]. Pada *Buck Converter* berlaku *Kirchoff's Voltage Law* yang berbunyi, "Dalam setiap loop tertutup dalam rangkaian, jumlah aljabar dari penurunan tegangan (yaitu produk arus dan resistansi) yang diambil di sekitar loop sama dengan resultan ggl. yang bertindak dalam lingkaran itu", sehingga persamaanya sebagai berikut:

$$i_R R - i_C R_C - V_c = 0$$

Dan berlaku juga hukum *Kirchoff's Current Law* (KCL) yang berbunyi, "Jumlah kuat arus yang masuk dalam titik percabangan sama dengan jumlah kuat arus yang keluar dari titik

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

percabangan.” Dalam *Buck converter* KCL berlaku pada arus beban, persamaannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 i_R &= i_L - i_C \\
 R(i_L - i_C) - i_C R_C - V_c &= 0 \\
 R i_L - R i_C - i_C R_C - V_c &= 0 \\
 R i_L - i_C(R + R_C) - V_c &= 0 \\
 i_C(R + R_C) &= R i_L - V_c \\
 i_C &= C \frac{dV_c}{dt} = \frac{R i_L - V_c}{R + R_C} \\
 \frac{dV_c}{dt} &= \frac{R i_L - V_c}{C(R + R_C)} \\
 \frac{dV_c}{dt} &= \frac{R}{C(R + R_C)} i_L - \frac{1}{C(R + R_C)} V_c
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Dan

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= i_L R_L + L \frac{di_L}{dt} + i_C R_C + V_c \\
 L \frac{di_L}{dt} &= V_{in} - i_L R_L - i_C R_C - V_c \\
 L \frac{di_L}{dt} &= V_{in} - i_L R_L - i_C R_C - V_c \\
 L \frac{di_L}{dt} &= V_{in} - i_L R_L - \left(\frac{R i_L - V_c}{R + R_C} \right) R_C - V_c \\
 L \frac{di_L}{dt} &= V_{in} - i_L R_L - \frac{R R_C}{(R + R_C)} i_L + \frac{R_C}{(R + R_C)} V_c - V_c \\
 \frac{di_L}{dt} &= \frac{V_{in}}{L} - i_L \frac{1}{L} \left(R_L + \frac{R R_C}{(R + R_C)} \right) - V_c \frac{1}{L} \left(\frac{R}{(R + R_C)} \right)
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.2) persamaan ruang keadaannya, sebagai berikut.

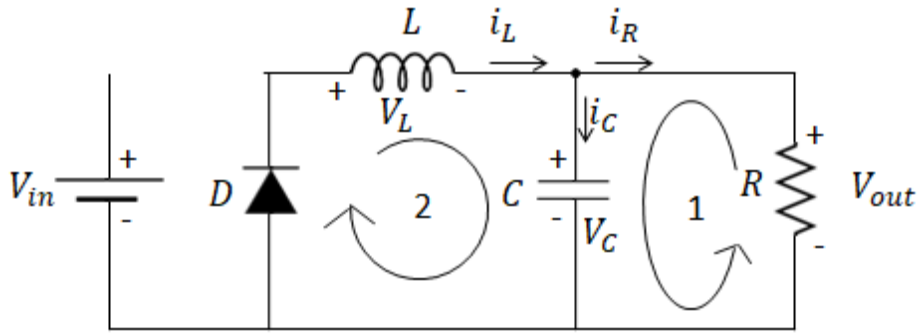
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(R_L + \frac{R R_C}{(R + R_C)} \right) & -\frac{1}{L} \left(\frac{R}{(R + R_C)} \right) \\ \frac{1}{C} \left(\frac{R}{(R + R_C)} \right) & -\frac{1}{C} \left(\frac{1}{(R + R_C)} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_D \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

Ketika berada di dalam kondisi *OFF*, *switch* berada dalam keadaan terbuka, arus yang disimpan pada induktor dikeluarkan menuju ke beban lalu ke dioda *freewheeling* sehingga dioda terhubung karena berada dalam kondisi *froward bias*[16].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Gambar 2. 3 Rangkaian *Buck Converter* Pada Saat Saklar *OFF*[15]

Pada kondisi sakelar *Off* kondisinya dioda dalam keadaan terhubung maka persamaannya hampir sama dengan kondisi *ON* bedanya V_{in} diganti dengan $-V_D$, dan nilai R_L sama dengan Nol.

Persamaan tegangan keluaran V didapat dari.

$$\begin{aligned}
 V &= i_R R \\
 V &= (i_L - i_C) R \\
 V &= \left(i_L - \frac{R i_L - V_C}{R + R_C} \right) R \\
 V &= \left(i_L \frac{R + R_C}{R + R_C} - \frac{R i_L - V_C}{R + R_C} \right) R \\
 V &= \frac{R R_C}{R + R_C} i_L + \frac{R}{R + R_C} V_C
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Sehingga persamaan ruang keadaannya sebagai berikut.

$$V = \begin{bmatrix} \frac{R R_C}{R + R_C} & \frac{R}{R + R_C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_C \end{bmatrix}$$

Persamaan tegangan keluaran berlaku untuk kedua kondisi baik sakelar *ON* maupun sakelar *OFF*.

Persamaan matriks ruang keadaan rata-rata (*state space averaged equation*) *Buck converter* dari Dua kondisi yaitu kondisi *ON* dan *OFF* dapat ditulis dengan.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= Ax + Bu \\
 y &= C^T x
 \end{aligned}$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 A &= D A_1 + (1 - D) A_2 \\
 A &= D \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(R_L + \frac{R R_C}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{L} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) \\ \frac{1}{C} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{C} \left(\frac{1}{R + R_C} \right) \end{bmatrix} + (1 - D) \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(\frac{R R_C}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{L} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) \\ \frac{1}{C} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{C} \left(\frac{1}{R + R_C} \right) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(DR_L + \frac{RR_C}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{L} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) \\ \frac{1}{C} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{C} \left(\frac{1}{R + R_C} \right) \end{bmatrix}$$

$$B = DB_1 + (1 - D)B_2$$

$$B = D \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} + (1 - D) \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} D & (1 - D) \\ \frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix}$$

$$C = C_1^T = C_2^T = \begin{bmatrix} \frac{RR_C}{R + R_C} & \frac{R}{R + R_C} \end{bmatrix}$$

Persamaan matriks ruang keadaan rata-rata (*state space averaged equation*) *Buck converter* sebagai berikut.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(DR_L + \frac{RR_C}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{L} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) \\ \frac{1}{C} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{C} \left(\frac{1}{R + R_C} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & (1 - D) \\ \frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_D \end{bmatrix}$$

Persamaan tegangan keluaran *Buck converter* ditulis sebagai berikut.

$$V = \begin{bmatrix} \frac{RR_C}{R + R_C} & \frac{R}{R + R_C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_C \end{bmatrix}$$

Keterangan :

- V_{in} = Tegangan *Input*
- V_o = Tegangan *Output*
- C = *Capacitor*
- L = *Inductor*
- R = Resistansi Beban
- R_C = Resistansi Kapasitor
- R_L = Resistansi Induktor

Jika persamaan ruang keadaan rata-rata *Buck Converter* ini diubah dalam bentuk *laplace* akan menjadi.

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$sX(s) = AX(s) + BU(s)$$

$$[sI - A]X(s) = BU(s)$$

$$X(s) = [sI - A]^{-1}BU(s) \tag{2.5}$$

Fungsi alih Persamaan keluarannya ditulis.

$$y = C^T x$$

$$Y(s) = C^T X(s) \quad (2.6)$$

Dengan $Y(s)$ pada *Buck converter* dilambangkan dengan $V_o(s)$ mensubstitusikan persamaan (2.5) dan (2.6) didapatkan.

$$V_o(s) = C^T [sI - A]^{-1} B U(s) \quad (2.7)$$

Pada sistem *Buck Converter* persamaannya .

$$C^T = \begin{bmatrix} \frac{RR_C}{R + R_C} & \frac{R}{R + R_C} \end{bmatrix}$$

$$[sI - A]^{-1} = \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(DR_L + \frac{RR_C}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{L} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) \\ \frac{1}{C} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) & -\frac{1}{C} \left(\frac{1}{R + R_C} \right) \end{bmatrix}^{-1}$$

$$[sI - A]^{-1} = \begin{bmatrix} s + \frac{1}{L} \left(DR_L + \frac{RR_C}{R + R_C} \right) & \frac{1}{L} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) \\ -\frac{1}{C} \left(\frac{R}{R + R_C} \right) & s + \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R + R_C} \right) \end{bmatrix}^{-1}$$

$$[sI - A]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{sL(R + R_C) + DR_L(R + R_C) + RR_C}{L(R + R_C)} & \frac{R}{L(R + R_C)} \\ -\frac{R}{C(R + R_C)} & \frac{sC(R + R_C) + 1}{C(R + R_C)} \end{bmatrix}^{-1} \quad (2.8)$$

$$[sI - A]^{-1} = \frac{1}{\left(\frac{sL(R + R_C) + DR_L(R + R_C) + RR_C}{L(R + R_C)} \right) \left(\frac{sC(R + R_C) + 1}{C(R + R_C)} \right) + \frac{R^2}{LC(R + R_C)^2}} \begin{bmatrix} \frac{sC(R + R_C) + 1}{C(R + R_C)} & -\frac{R}{L(R + R_C)} \\ \frac{R}{C(R + R_C)} & \frac{sL(R + R_C) + DR_L(R + R_C) + RR_C}{L(R + R_C)} \end{bmatrix}$$

$$[sI - A]^{-1} = \frac{LC(R + R_C)^2}{s^2 LC(R + R_C)^2 + s(R + R_C)(L + DCR_L(R + R_C) + CRR_C) + DR_L(R + R_C) + RR_C + R^2} \begin{bmatrix} \frac{sC(R + R_C) + 1}{C(R + R_C)} & -\frac{R}{L(R + R_C)} \\ \frac{R}{C(R + R_C)} & \frac{sL(R + R_C) + DR_L(R + R_C) + RR_C}{L(R + R_C)} \end{bmatrix}$$

$$[sI - A]^{-1} = \frac{(R + R_C)}{P(s)} \begin{bmatrix} sLC(R + R_C) + L & -RC \\ RL & sLC(R + R_C) + DR_L C(R + R_C) + RR_C C \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Dimana

$$P(s) = s^2 LC(R + R_C)^2 + s(R + R_C)(L + DCR_L(R + R_C) + CRR_C) + DR_L(R + R_C) + RR_C + R^2$$

$$P(s) = LC(R + R_C)^2 \left[s^2 + s \left(\frac{1}{C(R + R_C)} + \frac{DR_L}{L} + \frac{RR_C}{L(R + R_C)} \right) + \frac{DR_L + R}{LC(R + R_C)} \right] \quad (2.10)$$

Untuk menyederhanakan bentuk dari fungsi alih nilai V_D diabaikan sehingga didapatkan persamaan dari

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$BU(s) = \begin{bmatrix} D \\ L \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} \quad (2.11)$$

Dengan mensubsitusikan persamaan 2.17, 2.18, dan 2.20 ke persamaan 2.16 didapatkan

Dengan mensubsitusikan persamaan (2.) maka didapatkan persamaan.

$$V_o(s) = \left[\frac{RR_c}{(R+R_c)} \quad \frac{R}{(R+R_c)} \right] \frac{(R+R_c)}{P(s)} \begin{bmatrix} sLC(R+R_c) + L & -RC \\ RL & sLC(R+R_c) + DR_L C(R+R_c) + RR_c C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ L \\ 0 \end{bmatrix} V_{in}$$

$$V_o(s) = \frac{1}{P(s)} [RR_c \quad R] \begin{bmatrix} sLC(R+R_c) + L & -RC \\ RL & sLC(R+R_c) + DR_L C(R+R_c) + RR_c C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ L \\ 0 \end{bmatrix} V_{in}$$

$$V_o(s) = \frac{V_{in}}{P(s)} [RR_c \quad R] \begin{bmatrix} sDC(R+RC) + D \\ DR \end{bmatrix}$$

$$V_o(s) = \frac{V_{in}}{P(s)} [sDC(R+RC)RR_c + DRR_c + DR^2]$$

$$V_o(s) = \frac{V_{in}DR(R+RC)}{P(s)} [sCRR_c + 1]$$

$$V_o(s) = \frac{V_{in}RD}{LC(R+R_c)} \frac{sCR_c + 1}{\left(s^2 + s \left(\frac{1}{C(R+R_c)} + \frac{DR_L}{L} + \frac{RR_c}{L(R+R_c)} \right) + \frac{DR_L + R}{LC(R+R_c)} \right)}$$

Fungsi alih $\frac{Y(s)}{D(s)}$ bisa didapatkan dengan mengabaikan nilai R_L karena pada kenyataannya biasanya bernilai kecil, sehingga didapatkan.

$$\frac{V_o(s)}{D(s)} = \frac{V_{in}R}{LC(R+R_c)} \frac{sCR_c + 1}{\left(s^2 + s \left(\frac{1}{C(R+R_c)} + \frac{RR_c}{L(R+R_c)} \right) + \frac{DR_L + R}{LC(R+R_c)} \right)}$$

$$\frac{V_o(s)}{D(s)} = \frac{V_{in}(sCRR_c + R)}{LCs^2(R+R_c) + s(L+RCR_c) + R} \quad (2.12)$$

2.3 Sistem Kendali

Sistem kendali merupakan sekumpulan/serangkaian komponen yang bekerjasama dalam mengendalikan/mengontrol satu atau lebih variabel untuk mendapatkan harga/nilai yang diinginkan. Selain itu sistem kendali juga dapat berfungsi sebagai pengontrol urutan kejadian agar setiap proses dapat terjadi secara berurutan sesuai urutan yang dikehendaki dan juga sebagai pengambil keputusan apakah suatu aksi harus dilakukan atau tidak [17].

Dalam pengendaliannya, sistem kendali memiliki tujuan khusus dalam mengendalikan variabel proses. Secara ringkas, alur kerja sistem kendali dimulai dari pemberian *set point* sebagai sinyal *input* pada sistem yang berasal dari hasil pembacaan

sensor atau perintah langsung dari operator. Lalu sinyal *input* diolah oleh *controller* untuk mendapatkan sinyal kontrol. Sinyal kontrol kemudian diteruskan ke *actuator* untuk kemudian memanipulasi variabel proses agar sesuai dengan yang diinginkan.

Istilah Dasar Dalam Sitem Kendali

1. Variabel terkendali (*controlled variable*) dan variabel termanipulasi (*manipulated variable*). variabel terkendali merupakan kuantitas ataupun kondisi yang diukur dan dikendalikan. Adapun variabel termanipulasi merupakan kuantitas atau kondisi yang diubah oleh kendali sehingga dapat mempengaruhi nilai variabel terkendali, yang biasanya merupakan keluaran sistem.
2. *Plant*. Sebuah *plant* dapat berupa peralatan dan instrumen yang difungsikan sebagai bagian dari sistem yang dikendalikan. Contoh *plant* misalkan peralatan mekanik, tungku bakar, reaktor kimia, pesawat luar angkasa dan sebagainya.
3. Proses. Berbeda dengan *plant*, sebuah proses merupakan prosedur dan mekanisme yang dikendalikan sama seperti pada *plant*. Kendali sistem pemisahan cairan kimia, distilasi merupakan sistem kendali yang bekerja pada sebuah proses.
4. Sistem. Semua komponen yang berhubungan dan memiliki tujuan tertentu, termasuk efisiensi, otomasi dan optimasi membentuk sebuah sistem
5. Gangguan (*disturbance*). Pada sistem riil, gangguan hampir selalu dijumpai dan seringkali berpengaruh pada stabilitas dan kinerja sistem. Gangguan ini dapat disebabkan oleh sistem itu sendiri (*internal disturbance*) maupun gangguan luar sistem (*eksternal disturbance*)
6. Kendali Umpan Balik (*feedback control*). Adanya gangguan, perbedaan antara keluaran dengan masukan acuan sulit diprediksi mengakibatkan tujuan pengoperasian sebuah sistem tidak tercapai. Untuk itu, diperlukan umpan balik keluaran untuk dibandingkan dengan masukan acuan sehingga selisih perbedaan dapat dikendalikan, diminimalkan secara otomatis [18].

2.3.1 Sistem Orde 2

Sistem *buck converter* merupakan sistem orde 2 dengan *delay* digambarkan dalam bentuk persamaan berikut.

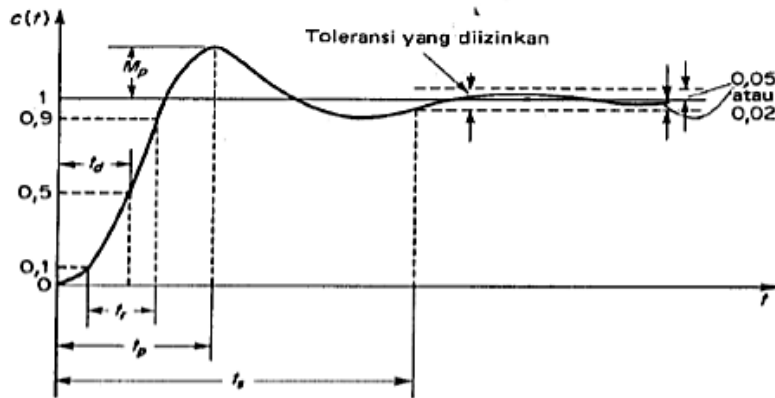
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K(\tau s + 1)}{\frac{1}{\omega_n^2} s^2 + \frac{2\zeta\omega_n}{\omega_n} s + 1} \quad (2.13)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Parameter dari persamaan (2.13), yaitu:

- K = Gain overall
- τ = Time Delay
- ω_n = frekuensi natural tak teredam
- ζ = Rasio redaman



Gambar 2. 4 Respon Transien Sistem Orde 2[19].

Tolak ukur dari dan tanggapan orde 2 antara lain[19].

1. Rise time (t_r):

Waktu yang diperlukan sistem dari 5-95% keadaan *steady state*.

$$y_{t_r} = (5\% - 95\%) \times \text{steadystate} \quad (2.14)$$

2. Settling Time (t_s):

Waktu yang diperlukan sistem untuk naik dan menetap di sekitar keadaan *steady state*. Biasanya ditentukan harga 5% atau 2% dari respon *steady state*.

$$y_{t_s}(\pm 2\%) \text{mendekati set point untuk mencapai konstan.} \quad (2.15)$$

3. Delay Time (t_d):

Waktu yang diperlukan sistem dari keadaan awal hingga 50% dari keadaan *steady state*.

$$y_{t_d} = 50\% \times \text{steadystate} \quad (2.16)$$

4. Overshoot (M_p):

Nilai relatif yang menyatakan perbandingan harga maksimum respon yang melampaui harga *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*.

$$\%M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.17)$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. Error steady state

Selisih nilai akhir dengan *set point*.

$$e_{ss} = R_{ss} - C_{ss} \quad (2.18)$$

2.3.2 Kendali PID

Pengendali PID terdiri dari perpaduan dasar beberapa aksi pengendalian yaitu *proportional*, *integral* dan *derivative*. PID merupakan pengendali yang sering digunakan dalam sistem kendali industri. Pengendali ini dapat digunakan sendiri-sendiri ataupun dipadukan sekaligus ketiganya.

Kendali *proportional* (P) dapat digunakan untuk mempercepat respon sistem, kendali *integral* (I) digunakan untuk mengurangi *error steady state* keluaran sistem, dan kendali *derivative* (D) dapat difungsikan untuk meredam *osilasi*. Sehingga jika ketiga kendali tersebut dikombinasikan akan menghasilkan respon yang bagus. *Tuning* atau penalaan parameter P, I dan D merupakan hal yang penting dalam desain pengendali PID. Untuk itu perlu dilakukan penalaan atau *tuning* terhadap parameter tersebut.

Pengaruh *tuning* salah satu parameter PID terhadap unjuk kerja proses ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. 1 Pengaruh salah satu parameter PID

Respon loop tertutup	Waktu naik	Overshoot	Waktu Turun	Kestabilan
Pembesaran k_p	Berkurang	Bertambah	Sedikit bertambah	Menurun
Pembesaran k_i	Sedikit berkurang	Bertambah	Bertambah	Menurun
Pembesaran k_d	Sedikit berkurang	Berkurang	Berkurang	Meningkat

Kendali PID dengan *delay* ditulis sebagai berikut:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = H_{PID}(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{\tau_i s} + \frac{\tau_{d1} s}{\tau_{d2} s + 1} \right] \quad (2.19)$$

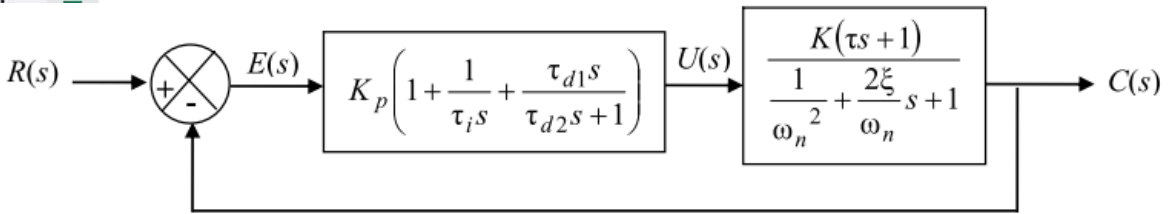
Dimana:

K = Propotional Gain

= Aksi Integral

τ_{d1} = Aksi Derivative

Jika kontroler proporsional ditambah integral ditambah differensial modifikasi diterapkan pada plant orde kedua dengan delay dalam suatu sistem pengaturan maka diagram bloknya adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 5 Sistem Kendali PID

Langkah-langkah dalam mendesain pengendali PID sistem Orde 2 dengan *delay* sebagai berikut:

1. Menentukan fungsi alih dari plant orde kedua Bisa didapatkan melalui identifikasi dengan pendekatan respon atau penurunan model matematik dengan pengukuran parameter
2. Menentukan K_p , τ_i , τ_{d1} dan τ_{d2}

$$\tau_{d2} = \tau$$

$$\tau_i = \frac{2\zeta}{\omega_n} - \tau$$

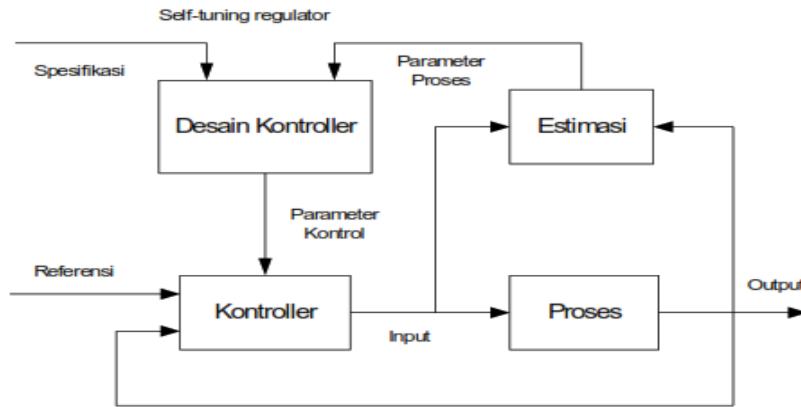
$$\tau_{d1} = \frac{1}{2\zeta\omega_n - \omega_n^2\tau} - \tau$$

$$K_p = \frac{\tau_i}{\tau^*K}$$

2.3.3 STR (Self Tuning Regulator)

STR merupakan bagian dari sistem kendali adaptif. Adaptif adalah pengaturan yang memiliki algoritma untuk merevisi nilai parameter atau struktur kendali yang mengikuti perubahan parameter struktur *plant* sehingga sistem yang dikendalikan selalu memenuhi spesifikasi desain yang ditentukan[20].

Berikut merupakan urutan penggunaan dari STR yang dimulai dari pendekatan struktur pemodelan *plant* lalu estimasi parameter sehingga bisa mendesain kendali.



Gambar 2. 6 Skema Dasar STR[20]

Pada blok Estimasi merupakan identifikasi parameter dari *plant* yang menggunakan algoritma identifikasi dalam bentuk diskrit agar *plant* memiliki sifat adaptif. Skema STR di estimasi dari parameter-parameter proses secara terus-menerus di-*update* dan parameter pengendali didapatkan dari solusi dengan menggunakan parameter yang diestimasi. Parameter pengendali diatur oleh kalang yang terdapat di bagian luar, yang terdiri dari blok estimasi parameter dan blok perhitungan desain pengendali. Pada skema STR parameter pengendali atau parameter proses diestimasi secara *real-time*[20].

Parameter-parameter *plant* dari model diestimasi secara *on-line*, dan blok “Estimasi” pada gambar 2.4 melaksanakan estimasi dari parameter-parameter proses. Blok “Desain Kontroler” merepresentasikan penyelesaian desain dari parameter yang telah diidentifikasi. Blok “Pengendali” adalah implementasi pengendalian yang diberikan kepada objek dengan parameter-parameter yang didapatkan dari blok “Desain Pengendali” sehingga sistem ini bisa disebut otomatisasi proses estimasi dan desain karena model dari proses dan desain kendali diperbarui setiap saat[21].

Blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 2.4 mempunyai banyak pilihan yang dapat digunakan untuk model dan struktur dari sistem kendali adaptif. Pada Tugas Akhir ini, struktur model *plant* akan menggunakan ARMA orde 2 dengan proses diestimasi menggunakan algoritma ELS.

2.3.3.1 ARMA (Auto Regressive Moving Average)

Dalam proses perancangan kendali STR sistem *plant* harus dalam bentuk sistem diskrit salah satu metode yang digunakan adalah pendekatan struktur ARMA orde 2 yang mampu mengubah sistem *continue* (s) menjadi diskrit atau digital (z) [12]. Dimana

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pemodelan diskrit harus memenuhi Persamaan yang berlaku pada ARMA orde 2 adalah sebagai berikut:

$$y(k) = -a_1y(k-1) - a_2y(k-2) \dots - a_nay(k-n_a) + b_0x(k-d) + \dots + b_nbx(k-d - n_b) \quad (2.20)$$

dengan transformasi Z diperoleh:

$$(a_0 + a_1z^{-1} + a_naz^{-n_a})y(z) = (b_0z^{-d} + \dots + b_nbz^{-d-n_b}) \quad (2.21)$$

Maka Persamaan transform Z:

$$\frac{y(z)}{X(z)} = \frac{z^{-d}(b_0 + \dots + b_nbz^{-n_b})}{a_0 + a_1z^{-1} + a_naz^{-n_a}} \quad (2.22)$$

Sedangkan untuk *plant* orde 2 menjadi:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{z^{-1}(b_0 + b_1z^{-1})}{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (2.23)$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0z^{-1} + b_1z^{-2}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (2.24)$$

Untuk pengubahan nilai *Transfer Function plant* ke persamaan transformasi Z menggunakan transformasi bilinear berikut:

$$S = \frac{2}{T_s} \times \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (2.25)$$

Dengan penentuan nilai T_s (*time sampling*) pada transformasi bilinear harus mengikuti Teorema shannon, berikut : $\frac{t_r}{10} \leq T_s \leq \frac{t_r}{2}$ dan $T_s < t_d$.

Dimana persamaan yang dipakai untuk penentuan nilai T_r adalah sebagai berikut:

$$t_r = \frac{1}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.26)$$

2.3.3.1 Identifikasi Sistem STR

Identifikasi sistem adalah suatu cara menentukan model matematis dari sebuah sistem. Dimana identifikasi sistem pada STR Extended Least Square (ELS), ELS merupakan modifikasi dari bentuk algoritma RLS.

a) *Extended Least Square (ELS)*

Pada kendali STR di perlukan sebuah proses identifikasi sistem, dimana identifikasi sistem ini merupakan proses identifikasi untuk menentukan pemodelan matematis dari

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

sebuah sistem. Identifikasi pada kendali STR menggunakan algoritma *Recursive Least Square* (RLS). RLS merupakan suatu metode estimator dari identifikasi parameter agar sistem memiliki sifat adaptif. Estimasi akan diproses secara *real time*, *input* dan *output* pada *plant* digunakan untuk algoritma estimasi. Algoritma RLS memiliki laju konvergensi yang lebih cepat dan kesalahan yang lebih sedikit. Pada prinsipnya metode ini menghitung parameter-parameter yang tidak diketahui dari suatu model matematis, parameter tersebut dipilih dengan meminimalkan kuadrat antara pengamatan aktual dan *output* yang diperkirakan dengan nilai dari pembobot yang menentukan tingkat akurasi dari parameter yang akan diestimasi. Kriteria dari RLS berbentuk kuadratik, sehingga solusi analitik dari masalah RLS akan ada sepanjang parameter yang diukur adalah linear. Pada sistem kendali adaptif pengamatan data diproses secara *real time*, oleh sebab itu sangat tepat untuk estimasi parameter secara *real time*.

Secara umum model dari sebuah proses dapat ditulis sebagai berikut:

$$Gp(z^{-1}) = \frac{z^{-d} N(z^{-1})}{D(z^{-1})} \quad (2.27)$$

Dimana d adalah *time delay* $n \geq m + d$

$$Gp(z^{-1}) = \frac{z^{-d} N(z^{-1})}{D(z^{-1})}$$

$$N(z^{-1}) = \beta_0 + \beta_1 z^{-1} + \dots + \beta_m z^{-m} a$$

$$D(z^{-1}) = \alpha_0 + \alpha_1 z^{-1} + \dots + \alpha_m z^{-m}$$

Dalam persamaan 2.18 dalam bentuk vector $y(k) = \varphi^T(k), \theta$ dimana:

$$\theta = [a_1 a_2 b_0 b_1] \quad (2.28)$$

$$\varphi^T(k) = [-y(k-1), -y(k-2), \dots, -y(k-nA), u(k-d), u(k-d-nB)]^T \quad (2.29)$$

Maka metode RLS estimator dapat diberikan sebagai berikut:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}[(k-1) + F(k)[y(k) - \varphi^T(k), \varphi^T(k-1)]$$

$$F(k) = F(k-1) - \frac{F(k-1)\varphi^T(k-1)F(k-1)}{1 + \varphi^T(k-1)F(k-1)\varphi(k-1)} \quad (2.30)$$

Dalam memperoleh pengestimasi nilai parameter $\hat{\theta}(k)$ dengan menambahkan bobot *error* prediksi nilai $y(k) - \varphi^T(k)\hat{\theta}(k-1)$ untuk nilai estimasi $\hat{\theta}(k-1)$ sebelumnya.

Nilai $F(k)$ adalah matrik gain estimasi (*weighting factors*) yang memperlihatkan bagaimana nilai koreksi dan nilai estimasi parameter sebelumnya harus digabungkan. Metode ini disebut dengan *Standart Least Square*, dimana metode ini cukup baik untuk mengestimasi nilai parameter secara *offline* atau dengan jumlah iterasi data yang terbatas. Namun untuk estimasi secara *online* untuk jumlah iterasi yang tak terhingga, maka dari persamaan (2.32) matrik gain estimasi dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah literasi, maka nilai matrik gain estimasi $F(k)$ akan semakin mengecil dan akhirnya menuju nol atau dapat juga disebut *decreasing gain*. Apabila hal tersebut terjadi maka metode *Standart Least Square* akan kehilangan kemampuan untuk mengestimasi parameter. Untuk mengatasinya dikembangkan sebuah metode untuk memodifikasi nilai matrik *gain* estimasi agar tetap konstan dan tidak mengecil. Modifikasi nilai matrik *gain* estimasi dilakukan dengan cara memilih *gain* adaptasinya[20].

Untuk itu formulasi dari $F(k)$ dimodifikasi menjadi:

$$F(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} F(k-1) - \frac{F(k-1)\varphi^T(k-1)F(k-1)}{\lambda_1(k) / \lambda_2(k) + \varphi^T(k-1)F(k-1)\varphi(k-1)} \quad (2.31)$$

Hasil modifikasi diatas disebut *Extended Least Square* (ELS) dengan menggunakan *constant forgetting factor* agar estimasi yang dilakukan secara terus menerus tanpa batasan waktu, dengan nilai λ_1, λ_2 sebagai berikut:

- 1) Dipilih nilai $0 < \lambda_1 < 1$ dan $\lambda_2 = 1$
- 2) Atau dipilih $\lambda_1 = 1$ dan $\lambda_2 > 1$

2.3.4 Kendali PID diskrit

Beberapa metode untuk mendiskritkan persamaan kontinyu, Tetapi secara umum bentuk diskrit akan sama. Untuk kasus ini menggunakan metode *Backward Difference Approximation* di mana *factors (derivative)* akan didekati dengan pendekatan $\frac{1-q^{-1}}{T_s}$, dan $1/s$ (integral) akan didekati dengan $\frac{T_s}{1-q^{-1}}$. Dari persamaan (2.23), akan didapatkan *transfer function*:

$$TF_K \left[1 + \frac{T_s}{T_i} \frac{1}{1-q^{-1}} + \frac{NT_d}{T_d + NT_s} \frac{(1-q^{-1})}{1 - \frac{T_d}{T_d + NT_s} q^{-1}} \right]$$

Dengan menyelesaikan Persamaan (2.20), akan didapatkan bentuk perbandingan *polynomial* $R(q^{-1})$ dan $S(q^{-1})$ menjadi Persamaan (2.21), dan Persamaan (2.22):

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$R(q^{-1}) = k_1 + k_2q^{-1} + k_3q^{-2}$$

$$S(q^{-1}) = (1 - q^{-1})(1 + k_0q^{-1})$$

Sehingga:

$$H_{PID}(q^{-1}) = \frac{R(q^{-1})}{S(q^{-1})}$$

Dimana:

$$k_0 = \frac{T_d}{T_d + NT_s}$$

$$k_1 = K \left[1 + \frac{T_s}{T_i} - Nk_0 \right]$$

$$k_2 = K \left[k_0 \left(1 + \frac{T_s}{T_i} + 2N \right) - 1 \right]$$

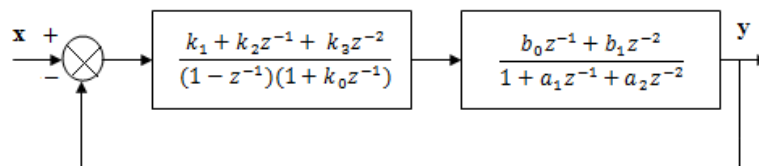
$$k_3 = -K k_0 (1+N)$$

Seperti kendali PID kontinyu, PID diskrit juga memiliki 4 parameter (k_0, k_1, k_2, k_3). Karena dalam desain kendali PID pada Tugas Akhir ini parameter dari PID diskrit akan dipilih sebagai fungsi dari parameter *plant* yakni k_0, k_1, k_2 dan k_3 yang akan menggantikan seluruh parameter konstanta dari PID diskrit. Maka bentuk *transfer function* dari PID diskrit yang akan digunakan akan menjadi:

$$\frac{u(q^{-1})}{e(q^{-1})} = \frac{k_1 + k_2q^{-1} + k_3q^{-2}}{(1 - q^{-1})(1 + k_0q^{-1})} \quad (2.32)$$

Atau dalam bentuk transformasi z:

$$\frac{u(z)}{e(z)} = \frac{k_1 + k_2z^{-1} + k_3z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0z^{-1})} \quad (2.33)$$



Gambar 2. 7 Diagram Blok *Plant* dengan Kendali PID Diskrit

CLTF dari gambar 2.7 diatas adalah:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\left(\frac{k_1 + k_2z^{-1} + k_3z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0z^{-1})} \right) \left(\frac{b_0z^{-1} + b_1z^{-2}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \right)}{1 + \left[\left(\frac{k_1 + k_2z^{-1} + k_3z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0z^{-1})} \right) \left(\frac{b_0z^{-1} + b_1z^{-2}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \right) \right]}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Jika dipilih $a_1 = \frac{k_2}{k_1}$, $a_2 = \frac{k_3}{k_1}$ dan $k_0 = \frac{b_1}{b_0}$ akan didapatkan persamaan:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\frac{k_1 b_0 z^{-1}}{(1-z^{-1})}}{1 + \frac{k_1 b_0 z^{-1}}{(1-z^{-1})}}$$

Dan bentuk fungsi alih CLTF akhir adalah seperti di bawah:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{k_1 b_0 z^{-1}}{1 + (k_1 b_0 - 1)z^{-1}}$$

Terlihat persamaan CLTF *plant* dengan *time constan* nilai parameter $k_1 \times b_0$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{K \frac{T_s}{2\tau + T_s} z^{-1}}{1 + \frac{T_s - 2\tau}{T_s + 2\tau} z^{-1}}$$

Dengan:

$$k_1 = \frac{1}{b_0} \frac{k T_s}{T_s + 2\tau}$$

Maka akan didapatkan nilai *Gain overall* (K) *plant* dan parameter-parameter k_0 , k_1 , k_2 dan k_3 sebagai berikut:

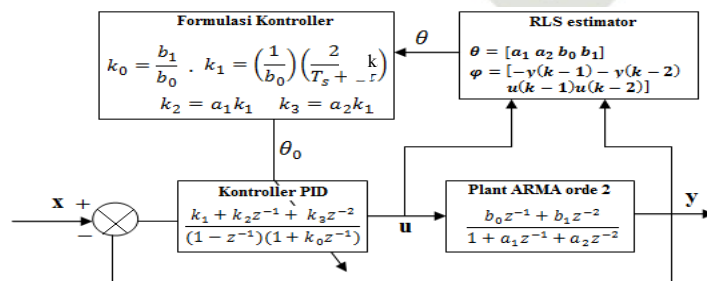
$$k_0 = \frac{b_1}{b_0}$$

$$k_1 = \left(\frac{1}{b_0}\right) \left(\frac{k T_s}{T_s + 2\tau}\right)$$

$$k_2 = a_1 k_1$$

$$k_3 = a_2 k_1$$

Maka semua parameter kontroler PID telah ditemukan dalam bentuk parameter *plant*, bentuk lengkap diagram blok STR dengan PID adaptif pada Gambar 2.8



Gambar 2. 8 Diagram Blok Perhitungan Parameter

Sinyal kendali yang akan diumpankan ke *plant* dalam bentuk persamaan yaitu sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

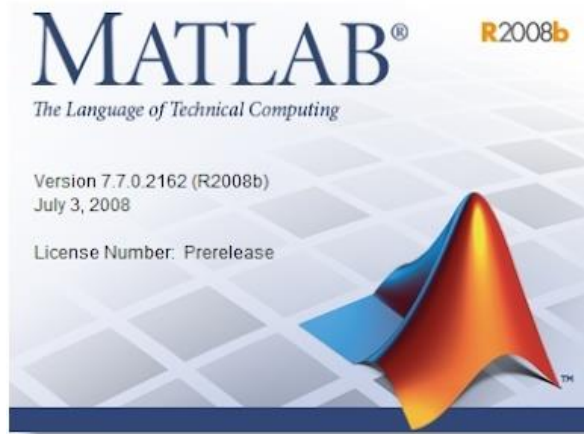
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{k_1+k_2z^{-1}+k_3z^{-2}}{(1-z^{-1})(1+k_0z^{-1})} \\
 u(1-z^{-1})(1+k_0z^{-1}) &= e(k_1+k_2z^{-1}+k_3z^{-2}) \\
 u(1+k_0z^{-1}-z^{-1}-k_0z^{-2}) &= e(k_1+k_2z^{-1}+k_3z^{-2}) \\
 u(1+(k_0-1)z^{-1}-k_0z^{-2}) &= k_1e+k_2ez^{-1}+k_3ez^{-2} \\
 u(1+(k_0-1)uz^{-1}-k_0uz^{-2}) &= k_1e+k_2ez^{-1}+k_3ez^{-2} \\
 u(k+1)+(k_0-1)u(k-1)-k_0u(k-2) &= k_1e+k_2e(k-1)+k_3e(k-2) \\
 u(k) &= -(k_0-1)u(k-1)+k_0u(k-2)+k_1e(k)+k_2e(k-1)+k_3e(k-2) \quad (2.34)
 \end{aligned}$$

4.4 MATLAB

Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan sebuah program yang digunakan untuk analisa dan komputasi numerik. Matlab juga merupakan bahasa pemrograman tingkat lanjut yang dikembangkan oleh The Mathwork Inc, dibentuk dengan dasar pemikiran dan sifat matriks. Matlab pertama kali digunakan untuk analisis numerik, aljabar *linear* dan teori tentang matriks. Pada masa ini Matlab sudah berkembang menjadi sebuah sistem yang lebih interaktif sekaligus menjadi bahasa pemrograman lanjutan untuk tujuan penelitian ilmiah, komputasi teknis dan visualisasi. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep *array/matrix* sebagai variabel elemennya tanpa membutuhkan pendeklarasian *array*[21].



Gambar 2. 9 Tampilan Awal Matlab

Pada penelitian kali ini matlab digunakan untuk menjadi media perhitungan dan analisa *plant* serta merancang program, dikarenakan Matlab dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk *plot* grafik. Pada *software* Matlab ada beberapa bagian penting yang digunakan untuk menjalanjan program, diantaranya:

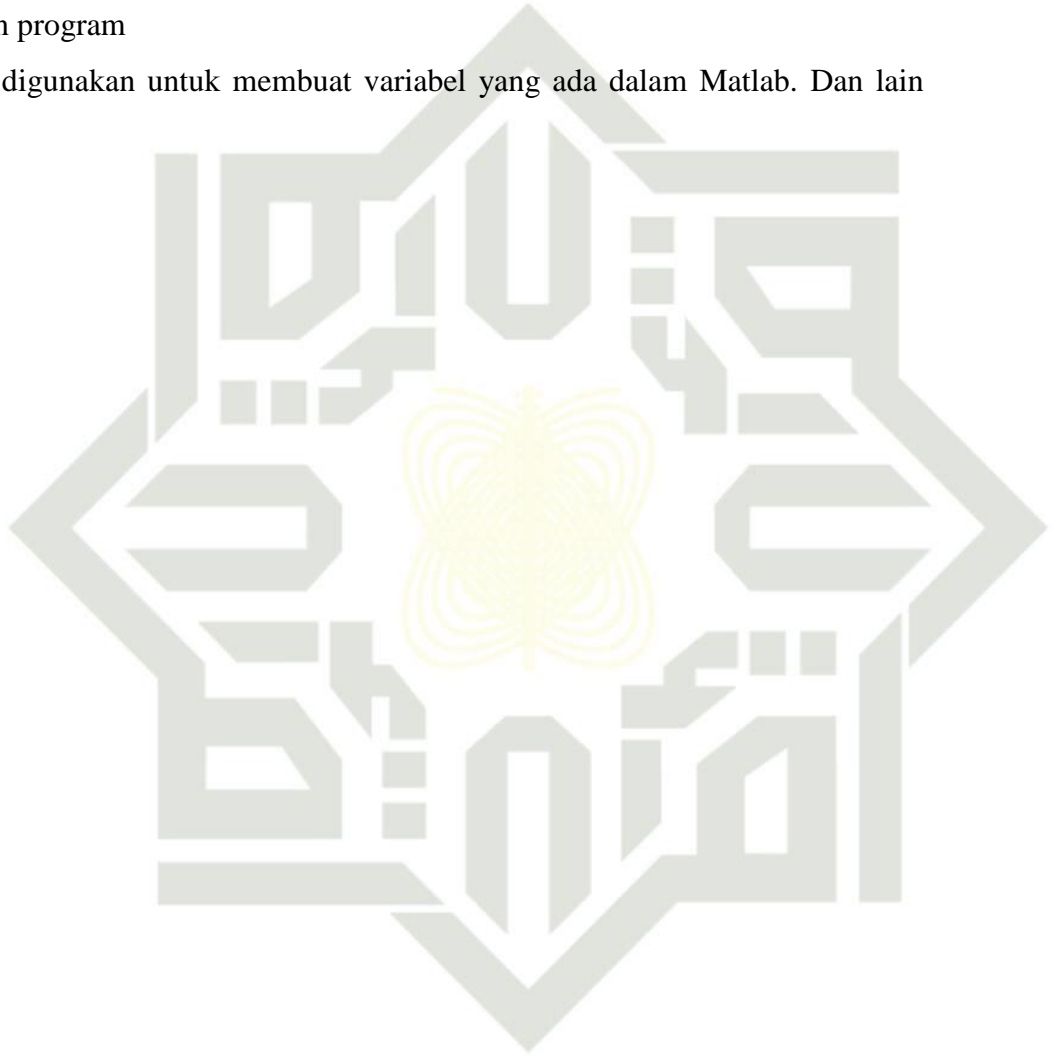
1. *Command window* berfungsi untuk mengetik program yang diinginkan
2. *Command history* berfungsi agar dapat menggunakan fungsi terakhir saat perancangan program
3. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab. Dan lain sebagainya.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

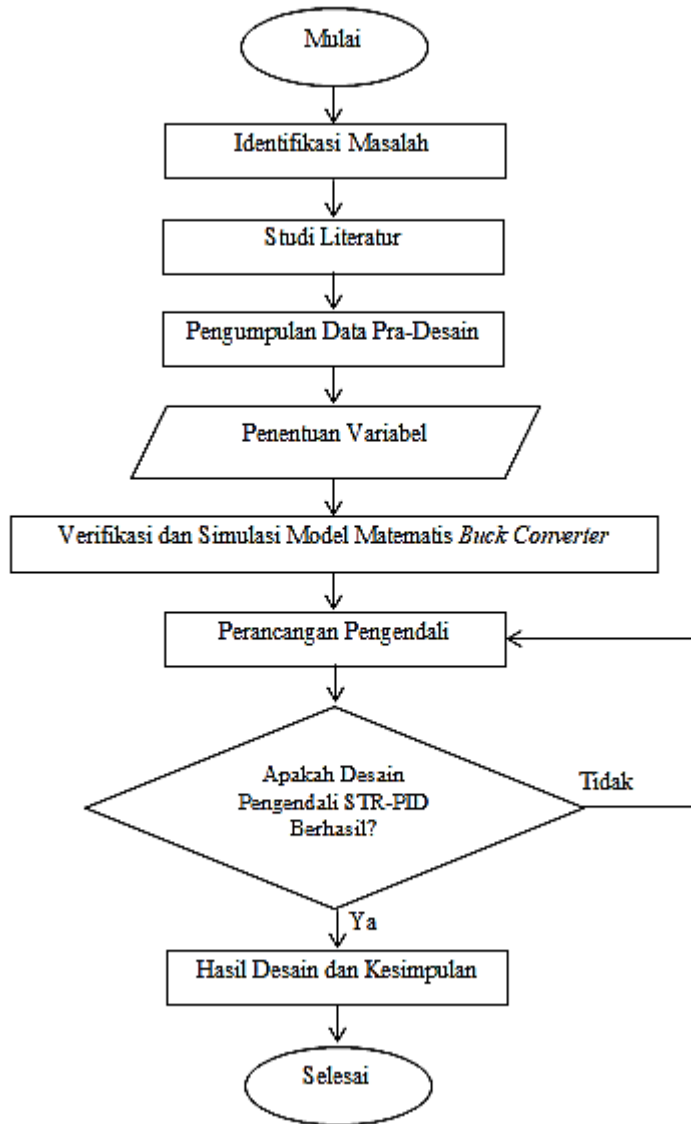


UIN SUSKA RIAU

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Proses Alur Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini tahapan-tahapan akan peneliti lakukan yaitu mulai dari penentuan judul, perumusan masalah, tujuan yang diharapkan dari suatu penelitian yang dilakukan, proses pemodelan matematis sistem, perancangan pengendali hingga mendapatkan hasil akhir dalam penelitian Tugas Akhir ini. Ada pun alur penelitian yang dilakukan dapat digambarkan melalui *flowchart* sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Tahapan Penelitian

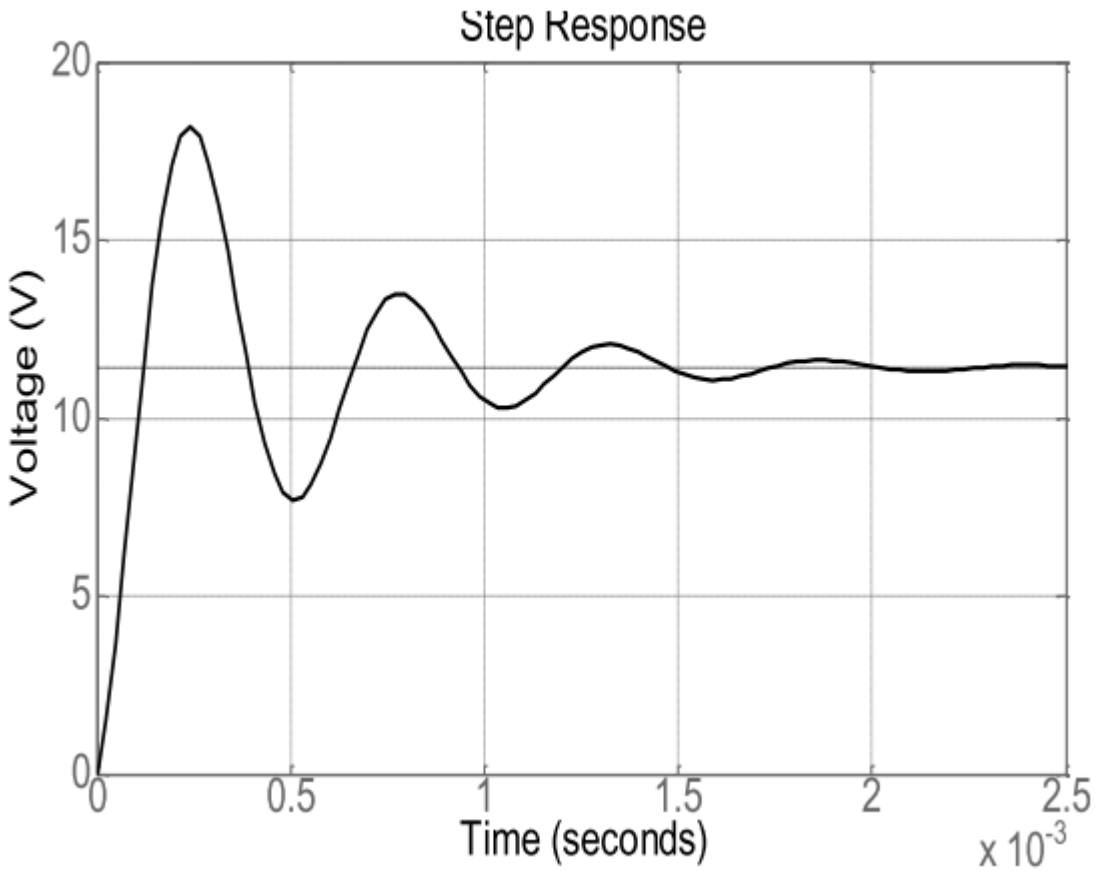
Berdasarkan *flowchart* penelitian tersebut, agar tujuan penelitian dapat tercapai, beberapa tahapan penelitian yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah
Adapun masalah yang diangkat pada penelitian Tugas Akhir ini adalah pengendalian tegangan keluaran *Buck Converter* menggunakan rancangan kendali STR-PID untuk menyelesaikan permasalahan adanya error stady state yang besar dan osilasi serta sistem tidak mampu mempertahankan *setpoint* ketika sistem diberikan gangguan.
2. Studi literatur
Tahap yang pertama adalah studi literatur yaitu mempelajari penelitian terkait dari beberapa referensi seperti buku, *paper*, jurnal dan sumber lainnya mengenai *Buck Converter*, pengendali PID dan pengendali STR
3. Pengumpulan data pra-desain
Pengumpulan data pre-desain dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dari *plant* yang akan diteliti dan mengetahui permodelan matematis *Buck Converter*.
4. Penentuan variabel
Data pra-desain yang telah dikumpulkan dibuat dalam persamaan *transfer function*

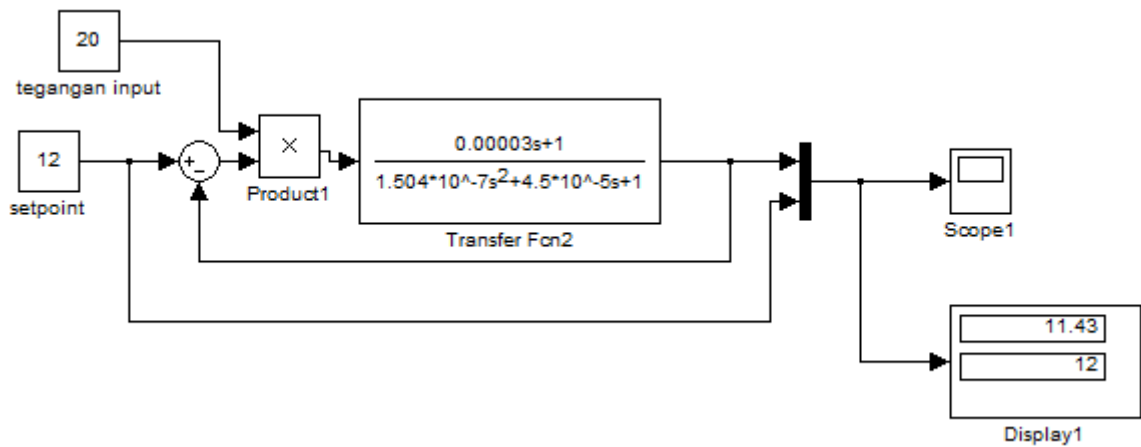
$$\frac{V_o(s)}{D(s)} = \frac{V_{in}(sRRC_c + R)}{LCs^2(R + R_c) + s(L + RCR_c) + R}$$
5. Verifikasi dan Simulasi model matematis sistem *Buck Converter*
Verifikasi model matematis sistem adalah tahap pengujian model matematis dalam bentuk *state space* dari sistem yang sudah diubah ke dalam bentuk bahasa pemrograman Matlab Simulink guna verifikasi tersebut adalah bentuk keluaran sistem sudah sesuai dengan hasil keluaran rujukan.
6. Perancangan pengendali STR-PID
Di tahap ini peneliti merancang pengendali STR-PID supaya respons *Output* sistem mengikuti nilai *set point* yang diberikan yang terdapat di jurnal rujukan sistem mampu mempertahankan *setpoint* ketika sistem diberikan gangguan.
7. Analisa hasil pengujian

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Journal[8] untuk pengaturan pada tegangan keluaran *Buck Converter* yang ditunjukkan oleh gambar 3.2 dibawah ini :



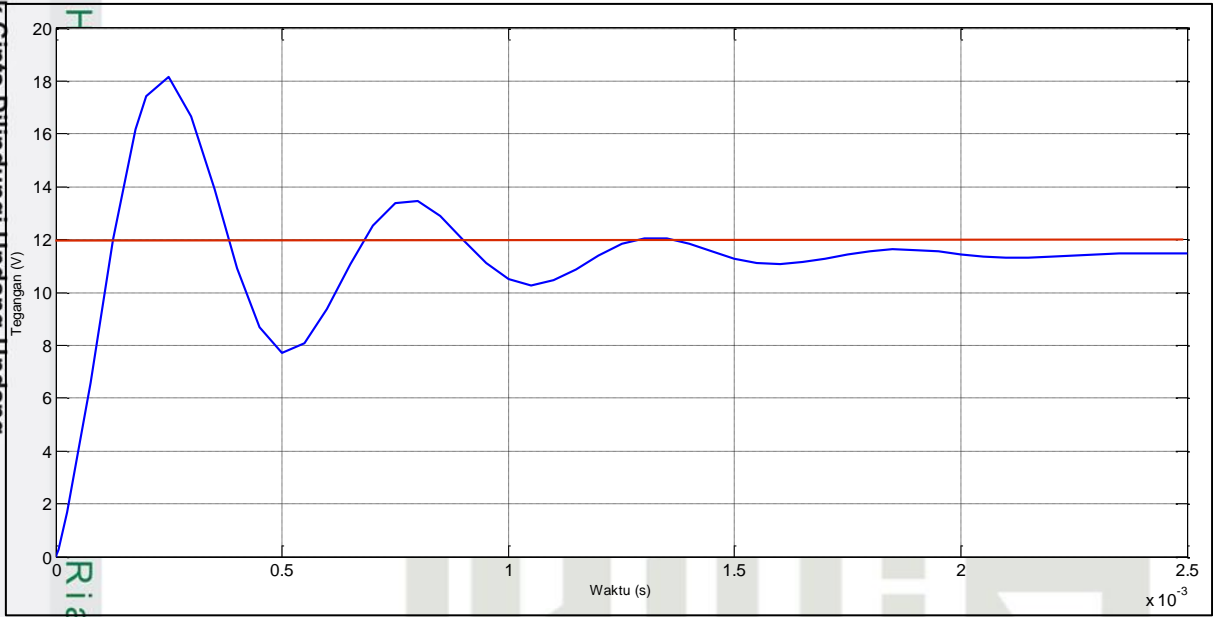
Gambar 3. 2 Respons *Close Loop Buck Converter* pada Rujukan[8]



Gambar 3. 3 Blok *Simulink Diagram Close Loop Buck Converter*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 4 Respons *Close Loop* Tegangan *Buck Converter*

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa respon sistem mempunyai kesamaan sebesar 97% dengan *plant* rujukan[8]. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan sistem ini berhasil dan dapat digunakan sebagai model sistem untuk merancang pengendali.

3.5 Skenario Penelitian

Penelitian ini menggunakan pengendali STR-PID dengan memasukkan data-data yang telah didapat pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam program Matlab, berdasarkan parameter penelitian terkait dengan nilai *set point* 12V. Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian dengan melihat hasil grafik pada simulasi, data yang diambil yaitu respon *transien* dari pengujian tersebut. Adapun pengujian yang akan dilakukan yaitu:

1. Simulasi sistem secara *Close Loop*.
2. Pengujian pengendali PID pada *Buck Converter*
3. Pengujian pengendali STR-PID pada *Buck converter*
4. Pengujian STR-PID *Buck converter* menggunakan gangguan pada tegangan input.

3.6 Perancangan Pengendali PID

Perancangan desain pengendali PID berfungsi untuk mengendalikan tegangan keluaran *Buck Converter* agar sesuai dengan tegangan yang diinginkan. Dalam *plant Buck Converter* ini dibutuhkan respon yang stabil di mana tegangan yang dihasilkan untuk sumber tegangan baterai sesuai dengan *set point* yang diinginkan, mengurangi osilasi, sehingga sistem menjadi stabil.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hal yang harus dilakukan pertama kali adalah menentukan model matematis dari *plant* lalu menentukan nilai Rasio Redaman (ω_n), faktor redaman (ζ), nilai *Gain Overall* (K), dan waktu *Delay* (τ) berdasarkan persamaan 2.13.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{1.504 \times 10^{-7}}} = 2578.553$$

$$\zeta = \frac{2578.553 \times (4.5 \times 10^{-5})}{2} = 0.058$$

$$K = 20$$

$$\tau = 0.00003$$

Setelah nilai Rasio Redaman (ω_n), faktor redaman (ζ), nilai *Gain Overall* (K), dan waktu *Delay* (τ) didapatkan maka dapat dicari nilai K_p , τ_i , τ_{d1} dan τ_{d2} dengan rumus sebagai berikut.

$$\tau_{d2} = \tau$$

$$\tau_{d2} = 0.00003 = 3 \times 10^{-5}$$

$$\tau_i = \frac{2\zeta}{\omega_n} - \tau$$

$$\tau_i = 4.5 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-5}$$

$$\tau_i = 1.5 \times 10^{-5}$$

$$\tau_{d1} = \frac{1}{2\zeta\omega_n - \omega_n^2\tau} - \tau$$

$$\tau_{d1} = \frac{1}{2(0.058)(2578.553) - (2578.553^2)(3 \times 10^{-5})} - 3 \times 10^{-5}$$

$$\tau_{d1} = \frac{1}{229.11 - 199.47} - 3 \times 10^{-5}$$

$$\tau_{d1} = 0.033997$$

$$K_p = \frac{\tau_i}{\tau * K}$$

$$K_p = \frac{1.5 \times 10^{-5}}{\frac{2}{3}(20)} = 1.125 \times 10^{-6}$$

Maka apabila dimasukkan dalam persamaan pengendali PID akan menjadi persamaan sebagai berikut.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = H_{PID}(s) = 1.125 \times 10^{-6} \left[1 + \frac{1}{1.5 \times 10^{-5}s} + \frac{0.033997s}{3 \times 10^{-5}s + 1} \right]$$

Perancangan Pengendali STR-PID

Perancangan desain pengendali STR-PID berfungsi untuk mengendalikan tegangan keluaran *Buck Converter* agar sesuai dengan tegangan yang diinginkan. Dalam *plant Buck Converter* ini dibutuhkan respon yang stabil di mana tegangan yang dihasilkan untuk sumber tegangan baterai sesuai dengan *set point* yang diinginkan, mengurangi osilasi, sehingga sistem menjadi stabil.

Hal yang harus dilakukan pertama kali adalah menentukan model matematis dari *plant* lalu mengubah *Transfer function Buck Converter* menjadi persamaan diskrit. Dalam penelitian ini menggunakan model ARMA untuk mengubah bentuk transformasi Laplace menjadi transformasi Z. Untuk menurunkan ARMA orde 2 kita harus mencari nilai T_s dan T_r yang menggunakan persamaan (2.13) yaitu persamaan Sistem orde 2, dapat kita ketahui nilai Rasio Redaman (ω_n) dan faktor redaman (ζ).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{1.504 \times 10^{-7}}} = 2578.553$$

$$\zeta = \frac{2578.553 \times (4.5 \times 10^{-5})}{2} = 0.058$$

Setelah didapatkan nilai rasio redaman (ω_n) dan faktor redaman (ζ) maka dapat kita cari nilai t_r menggunakan persamaan (2.24).

$$t_r = \frac{1}{2578.553 \sqrt{1 - 0.058^2}} = 0.00038859$$

Setelah diketahui nilai t_r selanjutnya kita mencari nilai t_d berdasarkan persamaan 2.16 maka waktu tunda pada saat *open loop* sebesar 0.0003842 detik, setelah mendapatkan nilai t_d dan t_r menurut theorema Shannon yaitu,

$$\frac{t_r}{10} \leq T_s \leq \frac{t_r}{2} \text{ dan } T_s < t_d$$

$$\frac{0.00038859}{10} \leq T_s \leq \frac{0.00038859}{2} \text{ dan } T_s < 0.0003842$$

$0.000038859 \leq T_s \leq 0.000194$ dan $T_s < 0.00038778$, maka penulis mengambil nilai $T_s = 0.000194$

Setelah mendapatkan nilai T_s , menggunakan transformasi bilinear menggunakan persamaan (2.24) untuk mengubah persamaan fungsi alih ke bentuk persamaan ARMA orde 2.

$$S = \frac{2}{0.000194} \times \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

Hak cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sunan Syarif Kasim Riau

$$\frac{0.0006 \left(\frac{2}{0.000194} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 20}{(1.04 \times 10^{-7}) \left(\frac{2}{0.000194} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right)^2 + (4.5 \times 10^{-5}) \left(\frac{2}{0.000194} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 1} \frac{Y(z)}{X(z)}$$

$$= \frac{0.0006 \left(10293.57 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 20}{(1.04 \times 10^{-7}) \left(10293.57 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right)^2 + (4.5 \times 10^{-5}) \left(10293.57 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 1} \frac{Y(z)}{X(z)}$$

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{6.176 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} + 20}{15.936 \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right)^2 + 0.4692 \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 1} \times \frac{(1+z^{-1})^2}{(1+z^{-1})^2}$$

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{6.176(1-z^{-1})(1+z^{-1}) + 20(1+z^{-1})^2}{15.936(1-z^{-1})^2 + 0.4692(1-z^{-1})(1+z^{-1}) + (1+z^{-1})^2}$$

Dengan mengubah persama berikut :

$$(1+z^{-1})^2 = 1 + 2z^{-1} + z^{-2}$$

$$(1-z^{-1})^2 = 1 - 2z^{-1} + z^{-2}$$

$$(1-z^{-1})(1+z^{-1}) = 1 - z^{-2}$$

Menjadi :

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{6.176(1-z^{-2}) + 20(1+2z^{-1}+z^{-2})^2}{15.936(1-2z^{-1}+z^{-2}) + 0.4692(1-z^{-2}) + (1+2z^{-1}+z^{-2})}$$

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{(6.176 + 20) + 40z^{-1} + ((-6.176) + 20)z^{-2}}{(15.936 + 0.4692 + 1) + ((-31.872) + 2)z^{-1} + (15.936 - 0.4692 + 1)z^{-2}}$$

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{26.176 + 40z^{-1} + 13.824z^{-2}}{17.4 - 29.872z^{-1} + 16.4668z^{-2}}$$

$$17.4Y(z) - 29.872Y(z^{-1}) + 16.4668Y(z^{-2}) = 26.176X(z) + 40X(z^{-1}) + 13.824X(z^{-2})$$

$$Y(z) - 1.72Y(z^{-1}) + 0.9464Y(z^{-2}) = 1.5X(z) + 2.299X(z^{-1}) + 0.794X(z^{-2})$$

Maka jika di substitusikan persamaan (2.19) menjadi,

$$Y(k) - 1.72Y(k-1) + 0.9464Y(k-2) = 1.5X(k) + 2.299X(k-1) + 0.794X(k-2)$$

Maka didapat nilai,

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\begin{aligned}
 a_1 &= -1.72 \\
 a_2 &= 0.9464 \\
 b_0 &= 2.299 \\
 b_1 &= 0.794 \\
 t_d &= 0.00038426
 \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas terlihat ada parameter yang harus dicari nilainya (diestimasi) agar persamaan tersebut memberikan respons yang sama dengan respon *plant*. Dari model pendekatan ARMA akan dipilih Algoritma ELS dengan nilai Vektor parameter (θ) sebagai parameter estimasi, menurut persamaan (2.30) nilai θ menjadi:

$$\theta = [-1.72 \ 0.9464 \ 2.299 \ 0.794]$$

Sebelum desain kendali PID diskrit maka ditentukan dulu nilai $K=1$ dan $\tau=1$ detik agar respon output pengendali sesuai yang diinginkan maka ditentukan terlebih dahulu spesifikasi desain agar respon sistem atau *plant* sesuai dengan yang diinginkan.

Dalam mendesain blok kontroler untuk kendali PID diskrit parameter-parameter yang digunakan adalah k_0, k_1, k_2 dan k_3 dengan penentuan nilai tiap parameter sebagai berikut:

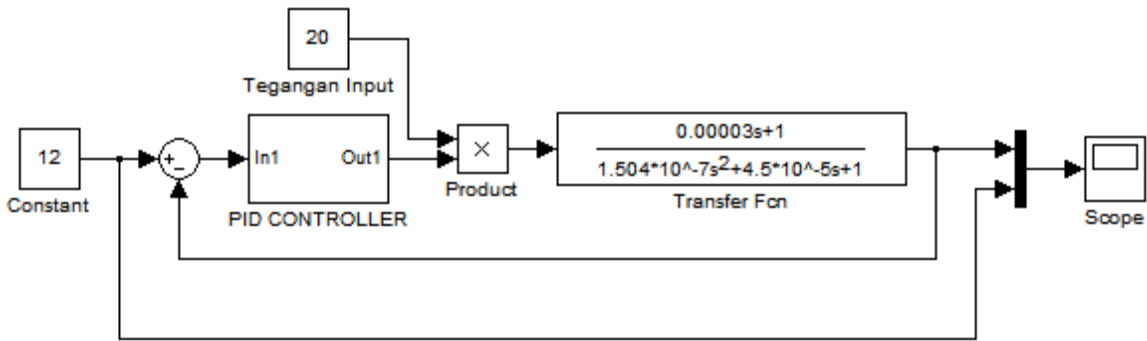
$$\begin{aligned}
 k_0 &= \frac{b_1}{b_0} \\
 k_1 &= \left(\frac{1}{b_0}\right) \left(\frac{kT_s}{T_s + 2\tau}\right) \\
 k_2 &= a_1 k_1 \\
 k_3 &= a_2 k_1
 \end{aligned}$$

Maka parameter kontroler PID telah ditemukan dalam bentuk parameter *plant* dan dalam sinyal kendali yang akan diumpangkan ke *plant* dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{u}{e} &= \frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} \\
 u(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1}) &= e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}) \\
 u(1 - k_0 z^{-1} - z^{-1} - k_0 z^{-2}) &= e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}) \\
 u(1 + (k_0 - 1)z^{-1} - k_0 z^{-2}) &= k_1 e + k_2 e z^{-1} + k_3 e z^{-2} \\
 u + (k_0 - 1)u z^{-1} - k_0 u z^{-2} &= k_1 e + k_2 e z^{-1} + k_3 e z^{-2} \\
 u(k) + (k_0 - 1)u(k - 1) - k_0 u(k - 2) &= k_1 e + k_2 e(k - 1) + k_3 e(k - 2) \\
 u(k) &= -(k_0 - 1)u(k - 1) + k_0 u(k - 2) + k_1 e(k) + k_2 e(k - 1) + k_3 e(k - 2)
 \end{aligned}$$

3.8 Perancangan Blok Simulink PID

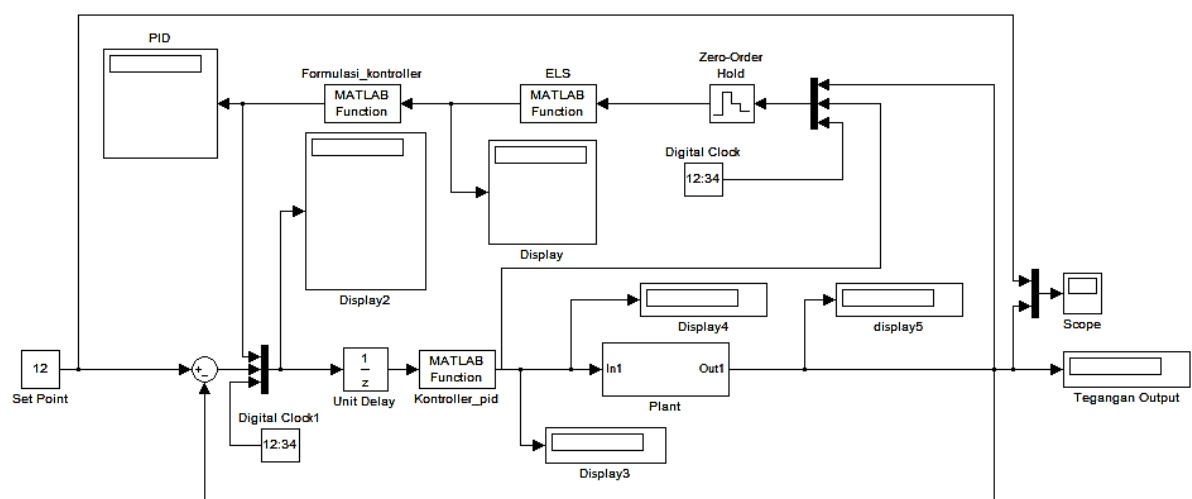
Setelah Perancangan PID kemudian nilai nilai yang telah didapat akan disimulasikan menggunakan simulink matlab untuk mengendalikan tegangan keluaran *Buck Converter*, gambar 3.5 berikut menunjukkan blok Simulink PID pada *Buck Converter*.



Gambar 3.5 Rangkaian Blok Simulink PID

3.9 Perancangan Blok Simulink STR-PID

Setelah Perancangan STR- PID kemudian nilai nilai yang telah didapat akan disimulasikan menggunakan simulink matlab untuk mengendalikan tegangan keluaran *Buck Converter*, gambar 3.6 berikut menunjukkan blok Simulink STR-PID pada *Buck Converter*.



Gambar 3.6 Rangkaian Blok Simulink STR-PID

1. Diararng mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Data Penelitian Yang Akan Dianalisa

Pengujian sistem ada 4 yaitu *Closetloop*, *Buck converter* menggunakan pengendali PID, menggunakan pengendali STR-PID, menggunakan pengendali STR-PID dengan gangguan. Data respon *transient* yang akan diambil yaitu:

1. Waktu tunda (*delay time* (t_d)) yaitu waktu yang diperlukan respon untuk mencapai 50% dari harga akhir puncak lewatan lebih yang pertama.
2. Waktu naik (*rise time* (t_r)) yaitu waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10% hingga 90% hingga akhir sistem redaman lebihnya atau dari 0 hingga 100% dari harga akhir sistem redaman kurangnya.
3. Lewatan puncak (*peak Overshoot* (M_p)) yaitu harga lewatan puncak atau lewatan maksimum dari kurva respon yang diukur dari harga satu (100%).
4. Kesalahan tunak (*error steady state* (e_{ss})) yaitu kesalahan yang merupakan selisih antara keluaran yang sebenarnya dengan keluaran yang diharapkan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa dapat disimpulkan bahwa pengendali STR-PID mampu menghasilkan respons transient lebih baik dari pengendali PID. Untuk pengendalian tegangan Keluaran pada sistem *Buck Converter* pengendali STR-PID berhasil memperoleh keluaran yang mencapai *setpoint* sebesar 12 V, dengan respon keluaran *plant* yang sebelumnya berosilasi berhasil diredam dengan waktu tunda selama 0.0122 detik, waktu naik selama 0.05115 detik, dapat meminimalisir *Error steady state* dan *maximum overshoot*. Sedangkan pengendali PID membutuhkan waktu naik selama 0.196 detik dan waktu tunda selama 0.0462 detik. STR-PID juga memperlihatkan respon yang baik karena tegangan yang dihasilkan sudah sesuai dengan tegangan baterai dan saat diberi gangguan eksternal perubahan nilai tegangan input sebesar 1.2 V dan 0.7 V dari *setpoint* pada detik ke 0.25 dan detik ke 0.4. Pengendali STR-PID berhasil kembali mencapai *setpoint* yang diberikan dalam waktu 0.9 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini masih sebatas simulasi, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat merancang hardware dari buck converter menggunakan pengendali STR-PID sehingga dapat di aplikasikan dalam kehidupan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- © Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
- [1] M. R. Gaffari and Nurhalim, “Analisis Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik di Kota Pekanbaru Tahun 2015-2024 dengan Menggunakan Perangkat Lunak LEAP,” *Jom FTEKNIK Vol.*, vol. 4, 2017, doi: 10.1177/0309133309346882.
 - [2] E. Usman, *Bauran energi nasional 2020*. Jakarta: Dewan Energi Nasional - Sekretariat Jenderal, 2020.
 - [3] Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, and N. I. Pratiwi, *Indonesia Energy Outlook 2019*. Jakarta: Dewan Energi Nasional - Sekretariat Jenderal, 2019.
 - [4] M. H. Rashid, *Alternatif Energy in Power Electronics*. USA: Elsevier, 2015.
 - [5] M. R. Robiansyah, “Perancangan Kontroler Untuk Turbin Angin Skala Kecil,” in *Seminar Nasional Teknoka*, 2017, vol. 2, no. 2502, pp. 6–15.
 - [6] J. Ejury, “Buck Converter Design,” *Buck Converter Design*, vol. 1. pp. 1–17, 2013, [Online]. Available: <https://www.mouser.de/pdfdocs/BuckConverterDesignNote.pdf>.
 - [7] S. Yarlagadda, T. T. Hartley, and I. Husain, “A battery management system using an active charge equalization technique based on a dc/dc converter topology,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 49, no. 6, pp. 2720–2729, 2013, doi: 10.1109/TIA.2013.2264794.
 - [8] K. Krismadinata and I. Husnaini, “Komparasi Pengendali PI Dan PID untuk Tegangan Keluaran Konverter Buck,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 3, 2017, doi: 10.25077/jnte.v6n3.387.2017.
 - [9] F. j. Seborg, Dale E.; Edgar, Thomas F.; Mellichamp, Duncan A.; Doyle III, *Process Dynamics and Control fourth edition*, vol. 53, no. 9. 2019.
 - [10] S.Bakhri and R. Maerani, “Perbandingan Sistem Pengontrolan Pid Konvensional Dengan Pengontrolan Cmac , Fuzzy Logic Dan Ann Pada Water Level,” *Sigma Epsil*, vol. 17, pp. 129–141, 2013.
 - [11] H. Mudia, “Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Posisi Pada Magnetic Levitation Ball,” no. April, pp. 19–28, 2020.
 - [12] H. Mudia, “Adaptif Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa,” vol. 7, pp. 132–136, 2015.
 - [13] H. Mudia, R. Ramadani, M. N. Faizi, and H. Amri, “Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Temperatur Pada Annealing Lehr,” *INOVTEK - Seri Elektro*, vol. 2,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

- [14] no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.35314/ise.v2i1.1248.
- [14] M. H. Rashid, *Power Eletronics Handbook 4th Edition*, 4th ed. United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2018.
- [15] M. Patil and P. Rodey, *Control Systems for Power Electronics A Practical Guide*. India: Springer, 2015.
- [16] B. L. Dokic and B. Blanusa, *Power Electronics Converter and Regulator 3rd Edition*. Switss: Springer, 2015.
- [17] B. Wulandari, "Pengantar Sistem Kendali," 2014. .
- [18] A. Triwiyatno, "Konsep Umum Sistem Kontrol," *Aris Triwiyatno*, p. 2, 2017.
- [19] K. Ogata, *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [20] K. . Astrom and B. Wittenmark, "Adaptive control," New York: Dover Publications INC., 2008.
- [21] R. H. Bishop, "Modern control systems analysis and design using MATLAB and SIMULINK." pp. xii, 251 p., 1997.
- [22] U. Muhammad and Mukhlisin, "Rancang Bangun Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *J. Electr. Engginering*, vol. 1, no. 2, pp. 50–53, 2020.

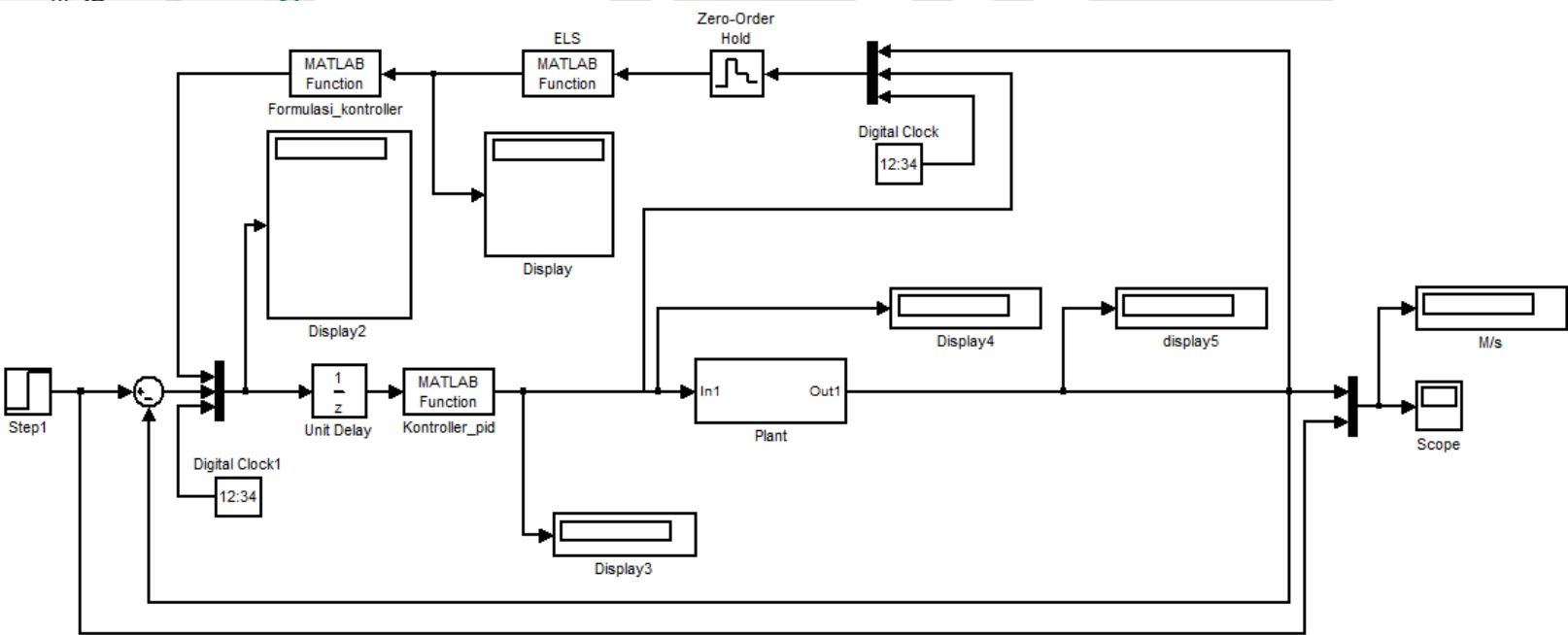
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN LAMPIRAN A-1

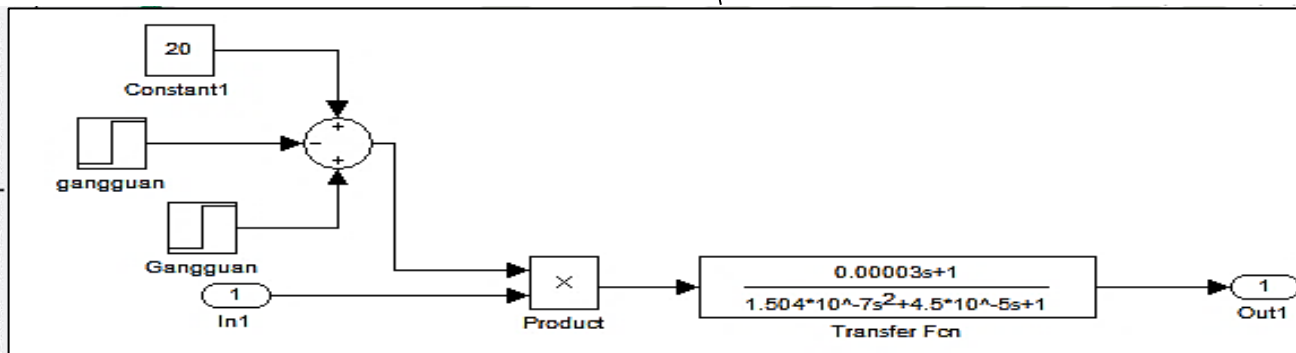
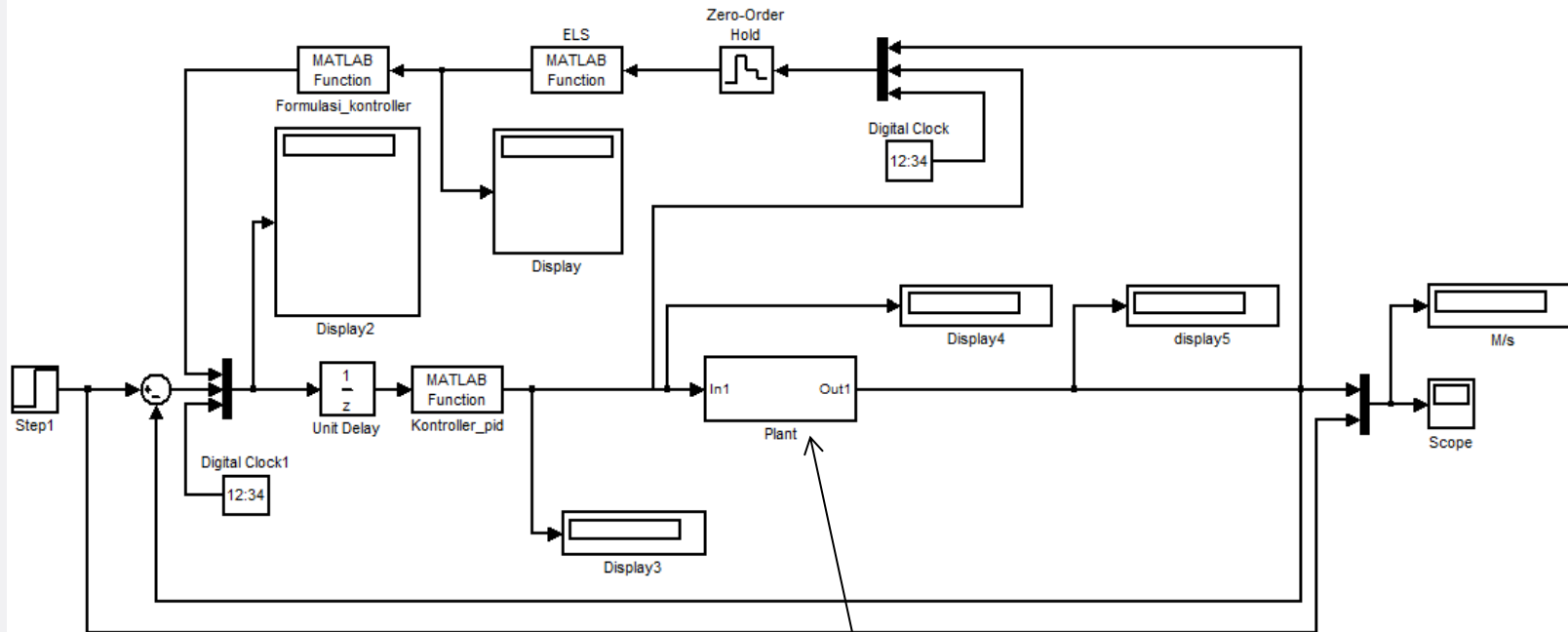
Blok Simulink STR-PID ketika mencapai *setpoint* 12V pada *Buck Converter*



UIN SUSKA RIAU

LAMPIRAN A-2

Blok Simulasi PID ketika diberi gangguan perubahan tegangan input berupa penurunan sebesar 1.2V dan kenaikan tegangan sebesar 0.7V



am bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau

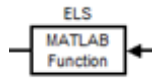
cipta milik UINS
 melindungi Undang-Undang
 mengutip sebagian atau s
 utipan hanya untuk kepenti
 utipan tidak merugikan hak
 mengumumkan dan men

ity of Sultan

UIN SUSKA RIAU

LAMPIRAN B-1

Program M-Filr pada blok ELS



```
function Doutput=DBismillah1(Ddata)
global tep xk yk tetha_p vip lamda_p alfa1 alfa2
tep=Ddata(3);
if tep==0
    alfa1=1;
    alfa2=2;
    tetha_p=[-1.72; 0.9464; 2.299 ; 0.794];
    vip=[0;0;0;0];
    lamda_p=0.0002*eye(4,4);
    xk=[0;0;0];
    yk=[0;0;0];
end
xk(1)=Ddata(1);
yk(1)=Ddata(2);
for i=1:2
    yk(i)=-yk(i+1);
end
for j=3:4
    yk(j)=xk(j+1);
end
tetha_p=tetha_p+lamda_p*(yk(1)-vip'*tetha_p)*vip;

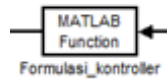
Doutput(1)=tetha_p(1);
Doutput(2)=tetha_p(2);
Doutput(3)=tetha_p(3);
Doutput(4)=tetha_p(4);
```

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN B-2

Program M-File pada Blok Formulasi Kontroller

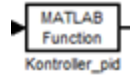


```
function Bk_all=Bformulasi_kontroller(Bdata)
global Ba1 Ba2 Bb0 Bb1 BTs Btau Bk0 Bk1 Bk2 Bk3
Ba1=Bdata(1);
Ba2=Bdata(2);
Bb0=Bdata(3);
Bb1=Bdata(4);
BTs=0.000194;
Btau=1;
if Bb0==0
    Bb0=0.01;
end
if Bb1==0
    Bb1=0.01;
end
if Ba1==0
    Ba1=0.01;
end
if Ba2==0
    Ba2=0.01;
end
Bk0=Bb1/Bb0;
Bk1=(1/Bb0)*(1*BTs/(2*Btau+BTs));
Bk2=Ba1*Bk1;
Bk3=Ba2*Bk1;
Bk_all(1)=Bk0;
Bk_all(2)=Bk1;
Bk_all(3)=Bk2;
Bk_all(4)=Bk3;
```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN B-3

Program M-File pada Blok Kontroller PID



```
function Cukk=Ckontroller_pid(Cdata)
global te Cekm2 Cek Cekm1 Cuk Cukm1 Cukm2 Ck0 Ck1 Ck2 Ck3
te=Cdata(6);
if te==0
    Cek=0;
    Cekm1=0;
    Cekm2=0;
    Cuk=0;
    Cukm1=0;
    Cukm2=0;
else
    Ck0=Cdata(1);
    Ck1=Cdata(2);
    Ck2=Cdata(3);
    Ck3=Cdata(4);
    Cek=Cdata(5);

    Cekm2=Cekm1;
    Cekm1=Cek;
    Cukm2=Cukm1;
    Cukm1=Cuk;

    Cuk=(Ck0-1)*Cukm1+Ck0*Cukm2+Ck1*Cek+Ck2*Cekm1+Ck3*Cekm2;
end
Cukk=Cuk;
```

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Swastika Pusparani, lahir di Perawang 12 Mei 1999 merupakan anak kedua dari enam bersaudara dari pasangan Yusuf Bambang dan Alinatul yang beralamat di Jalan Gajah Mada KM. 2 Sebangka Duri Kabupaten Bengkalis.

Email : 11755300302@students.uin-suska.ac.id

swastikapusparani@gmail.com

HP : 082391345078

Pengalaman pendidikan yang dilalui dari SD Negeri 4 Talang Mandi pada tahun 2006-2012, kemudian melanjutkan di SMP Negeri 2 Mandau pada tahun 2012-2015, Setelah itu dilanjutkan dengan pendidikan SMA Negeri 2 Mandau pada tahun 2015-2017. Setelah lulus SMA penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas SAINS dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dengan mengambil bidang kajian Elektronika dan Instrumentasi pada tahun 2017. Penulis menyelesaikan masa studi selama 4 setengah tahun dan lulus pada tahun 2021 dengan penelitian Tugas Akhir berjudul “**Desain Kendali STR-PID Untuk Pengendalian Tegangan Keluaran Buck Converter Pada PLTS**”

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.