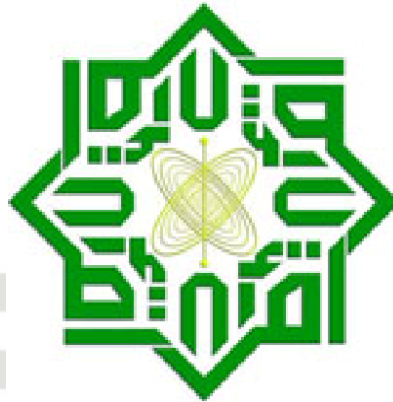




DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA PANEL SURYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY MODEL REFERENCE LEARNING CONTROL(FMRLC)

TUGAS AKHIR

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



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

SYAHRIZAL MA'RUF
11555102887

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2020

Hak cipta milik UIN Suska

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.



- 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 MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA PANEL
SURYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY MODEL
REFERENCE LEARNING CONTROL(FMRLC)**

TUGAS AKHIR

Oleh :

SYAHRIZAL MA'RUF
11555102887

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro, di
Pekanbaru, pada tanggal 2 Juli 2020

Ketua Program Studi

Ewi Ismaledah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing

Ahmad Faizal, ST., MT
NIP. 19880630 201503 1 006

- 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 MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA
PANEL SURYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY
MODEL REFERENCE LEARNING CONTROL (FMRLC)**

TUGAS AKHIR


Oleh:

SYAHRIZAL MA'RUF
11555102887

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 2 Juli 2020

Pekanbaru, 2 Juli 2020

Mengesahkan,

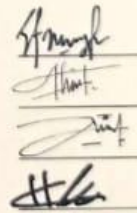

Dekan
Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag
NIP. 19660604 199203 1 004

Ketua Program Studi


Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
Sekretaris : Ahmad Faizal, ST., MT
Anggota I : Aulia Ullah, ST., M.Eng
Anggota II : Halim Mudia, ST., MT



LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa didalam 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, 2 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,

Syahrizal Ma'ruf
NIM. 11555102887

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Teknik UIN Suska Riau

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 PERSEMBAHAN

Alhamdulillah segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah *subhanahu wata'ala* yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya masih diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. *Shalawat* dan salam tak lupa saya sampaikan untuk Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah mengajarkan kita sebagai umatnya akan pentingnya menuntut ilmu dan beribadah dalam mencari *ridho* Allah SWT untuk keselamatan dunia dan akhirat.

Saya persembahkan karya ilmiah ini kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah menjadi pelita dan menopang semangat hidup saya atas semua pengorbanan, doa, dan jerih payahnya agar saya dapat mencapai cita-cita. Adapun cita-cita saya kelak dapat membahagiakan Ayahanda dan Ibunda tercinta. Kepada dosen pembimbing saya ucapkan terimakasih telah membimbing, membantu, menasehati, dan memberi saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga selesai tepat pada waktunya. Kepada dosen penguji terimakasih juga telah memberikan kritik dan saran yang sifatnya membangun sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur. Rasa terima kasih juga saya ucapkan kepada Rekan-rekan seperjuangan yang telah menemani saya ketika suka maupun duka, memotivasi dan menginspirasi hingga saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua dengan pahala yang berlipat ganda.

Aamiin.

DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA PANEL SURYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY MODEL REFERENCE LEARNING CONTROL (FMRLC)

Syahrizal Ma'ruf
11555102887

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Energi surya dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan panel surya. Masalah yang sering terjadi pada penggunaan panel surya diantaranya adalah tingginya biaya instalasi dan rendahnya efisiensi, rendahnya nilai efisiensi pada panel surya diakibatkan karakteristik keluaran dari panel surya bersifat non-linear, tergantung pada iradiasi matahari dan suhu dari panel surya. Hal ini membuat kita sulit untuk mendapatkan titik maksimum daya (*Maximum Power Point* atau disingkat MPP) dari panel surya tersebut. Dari permasalahan diatas maka peneliti mengusulkan untuk menggunakan algoritma FMRLC pada MPPT agar dapat meningkatkan nilai efisiensi pada PV. Penelitian ini bertujuan untuk menaikkan nilai dari daya keluaran agar menyerupai daya ideal yang seharusnya dikeluarkan oleh panel surya dengan menggunakan metode pengendali *Fuzzy Model Reference Learning Control* (FMRLC). FMRLC merupakan kombinasi kendali antara *fuzzy* dan *model reference* yang memiliki 3 komponen utama pada pengaplikasiannya, yaitu *fuzzy logic controller*, *model reference* dan *learning mechanism*. Sebagai pendukung sistem MPPT, digunakan *Boost DC-DC Converter* sebagai pengatur tegangan keluaran yang didasarkan pada nilai *duty cycle* untuk menjaga titik kerja panel surya tetap pada titik MPP. Hasil dari penelitian ini memperoleh nilai efisiensi rata-rata sebelum pemasangan sistem MPPT sebesar 67.4 % dan kemudian setelah pemasangan sistem MPPT nilai efisiensi rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar 93.59 %. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi peningkatan nilai efisiensi setelah pemasangan sistem MPPT pada panel surya.

Kata kunci : Panel Surya, MPPT, FMRLC, *Boost Converter*, Efisiensi.

HaCipta 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



**DESIGN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) ON SOLAR PANEL
USING THE FUZZY MODEL REFERENCE LEARNING CONTROL (FMRLC)**

METHOD

**Syahrizal Ma'ruf
11555102887**

*Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas 155 Panam, Pekanbaru*

ABSTRACT

Solar energy can be converted into electrical energy using solar panel. Problem that often occur with the use of solar panel include high instalation costs and low efficiency, low efficiency values on solar panels due to the non-linear output characteristics of solar panels, depending on solar irradiation and temperature of the solar panels. This makes it difficult for us to get the maximum power point (MPP) from the solar panel. From the above problems, the researcher proposes to use the FMRLC algorithm on MPPT in order to increase the efficiency value of PV. This research aims to design the MPPT system using the Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC) method to increase the output power so that it is proportional to the ideal power in the PV so that the efficiency value in the system increases. As a supporter of the MPPT system, a Boost DC-DC converter is used as a regulator of the output voltage based on the duty cycle value to keep the working point of the solar panel at the MPP point. The results of this study obtained an average efficiency value before the installation of the MPPT system of 67.4% and then after installation of the MPPT system the average efficiency value generated was 93.59%. So it can be concluded that an increase in the value of efficiency after the installation of the MPPT system on solar panels.

Keyword: Solar Panel, MPPT, FMRLC, Boost Converter, Efficiency.



KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji dan syukur selalu tercurah kehadirat Allah SWT atas limpahan Rahmat, Nikmat, Ilmu, dan Karunia-Nya kepada penulis.

Selamat beserta salam penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita diberi *safaat* di *Yaumul Akhir* nanti. Atas ridho Allah SWT penulis dapat menyelesaikan

Tugas Akhir ini dengan judul **“Desain Maximum Power Pint Tracking (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC)”**.

Banyak sekali yang telah penulis peroleh berupa ilmu pengetahuan dan pengalaman selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Elektro. Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat berguna bagi semua pihak yang memerlukannya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang setulusnya kepada pihak-pihak yang terkait berikut:

1. Teristimewa Kedua Orang tua penulis, ayahanda dan ibunda tercinta Kemad Ikhsanuddin dan Sarni Yati, dan juga ayunda Hafifah Isti Hapsari yang telah mendo'akan dan memberikan dukungan, serta motivasi agar penulis dapat tawakal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. H. Akhmad Mujahidin, S.Ag., M.Si, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Bapak Mulyono, ST., MT, selaku Sekretaris Ketua Program Studi Teknik Elektro sekaligus sebagai Penasehat Akademik di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal, ST., MT, selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi dan sekaligus Dosen Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam

memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Bapak Aulia Ullah, ST., M.Eng selaku Dosen Penguji I dan Bapak Halim Mudia, ST., MT selaku Dosen Penguji II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

8. Pimpinan, staff dan karyawan Program Studi Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi.

9. Kepada temen-temen pejuang tugas akhir yang selalu memberikan support (Meisha Desionasista, Muhammad Afdhol, Deswita Adliyani, Fadel Bayu, Riezkyia Adler, Alvia Riski, Gilang Pradipta, Arif Nugroho, Yoses Nael, Ade Akhir, Hamzah Al Pareshi, Kevin Mayeka, Reza Zulkarnaen) Serta Kakanda dan Adinda Mahasiswa Teknik Elektro UIN SUSKA RIAU yang selalu memberikan dukungan semangat dan motivasi selama penulis berkuliah di Teknik Elektro UIN SUSKA RIAU.

10. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberi motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini mulai dari awal hingga selesai yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik dimasa yang akan datang.

Harapan penulis, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca dimasa mendatang. Amin.

Wassalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh

UIN SUSKA RIAU

Pekanbaru, 2 Juli 2020

Penulis

Syahrizal Ma'ruf

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

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR RUMUS	xvii
DAFTAR LAMBANG	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-4
1.3 Batasan Masalah	I-5
1.4 Tujuan Penelitian	I-5
1.5 Manfaat Penelitian	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Panel Surya	II-3
2.2.1 Pengertian Panel Surya	II-3
2.2.2 Prinsip Kerja Panel Surya	II-3
2.2.3 Persamaan Karakteristik Panel Surya	II-4
2.2.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tegangan Keluaran Panel Surya	II-8
2.2.5 Modul Sel Surya	II-9
2.3 <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT)	II-10
2.4 <i>DC-DC Converter</i>	II-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.

2.4.1	<i>Boost Converter</i>	II-14
2.4.2	Penentuan Besarnya L dan C	II-17
2.5	Sinyal PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	II-17
2.6	<i>Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC)</i>	II-18
2.6.1	<i>Fuzzy Logic Controller</i>	II-21
2.6.1.1	Fungsi Keanggotaan	II-21
2.6.1.2	Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	II-23
2.6.1.3	<i>Rule Base</i>	II-25
2.6.1.4	<i>Defuzzifikasi</i>	II-26
2.6.2	<i>Model Reference</i>	II-26
2.6.3	<i>Learning Mechanism</i>	II-27
2.6.3.1	<i>Fuzzy Inverse Model</i>	II-28
2.6.3.2	<i>Knowledge-Base Modifier</i>	II-29
2.7	Matlab	II-30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Tahapan Penelitian	III-2
3.2	Pemodelan Panel Surya	III-4
3.3	Pemodelan <i>Boost Converter</i>	III-6
3.4	Pemodelan Rangkaian Kontrol <i>Duty Cycle Converter</i>	III-9
3.5	Pemodelan Kontrol Logika FMRLC	III-9
3.6	Pemodelan Modul Panel Surya menggunakan Sistem MPPT	III-18

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1	Hasil Simulasi Modul Panel Surya	IV-1
4.2	Hasil Pengujian Total Sistem	IV-2
4.2.1	Hasil Simulasi Panel Surya Tanpa menggunakan Sistem MPPT	IV-7
4.2.2	Hasil Simulasi Panel Surya dengan menggunakan Sistem MPPT	IV-12
4.2.3	Hasil Perbandingan Nilai Efisiensi Tanpa menggunakan Sistem MPPT Menggunakan Sistem MPPT	IV-18
4.3	Analisa Hasil dan Pengujian Sistem	IV-19

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

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.

© *Has Cipta* milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Skema Prinsip Kerja Sel Surya	II-4
2.2 Rangkaian Pengganti Sel Surya	II-5
2.3 Karakteristik Solar Sel Terhadap Perubahan Radiasi	II-6
2.4 Karakteristik Solar Sel Terhadap Perbedaan Suhu	II-7
2.5 Grafik <i>PV Module Power/Voltage Current</i>	II-12
2.6 DC/DC Konverter	II-14
2.7 Rangkaian <i>Boost Converter</i>	II-15
2.8 Rangkaian <i>Boost Converter</i> Pada Saat <i>Switch On</i>	II-15
2.9 Rangkaian <i>Boost Converter</i> Pada Saat <i>Switch Off</i>	II-15
2.10 Diagram Fungsional Pada FMRLC	II-20
2.11 Fungsi Keanggotaan Segitiga	II-22
2.12 Fungsi Keanggotaan Trapesium	II-23
2.13 Proses <i>Defuzzifikasi</i>	II-26
2.14 Ikon Matlab	II-30
2.15 Bagian Window Matlab	II-31
2.16 Tampilan Model <i>Simulink</i> Matlab	II-32
2.17 Kotak dialog <i>Simulink library</i>	II-32
3.1 Diagram Alir Penelitian	III-1
3.2 Blok PV pada Matlab R2016b	III-4
3.3 <i>Block parameters</i> Modul BP SX-1390 pada Matlab R2016b	III-5
3.4 Plot Kurva Karakteristik I-V dan P-V Modul BP SX 1390	III-6
3.5 Rangkaian simulasi <i>Boost Converter</i>	III-7
3.6 Blok Sinyal PWM	III-9
3.7 Struktur Kontrol <i>Fuzzy Model Reference Learning Control</i>	III-10
3.8 Diagram Alir Kontrol FMRLC	III-11
3.9 Fungsi Keanggotaan <i>input error e (KT)</i>	III-12
3.10 Fungsi Keanggotaan <i>input c(KT)</i>	III-13
3.11 Fungsi Keanggotaan <i>output FLC</i>	III-13
3.12 Fungsi Keanggotaan <i>input y_e(KT)</i>	III-14
3.13 Fungsi Keanggotaan <i>input y_c(KT)</i>	III-15

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
 Status: *ilmir* University of Sultan Saifudin 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 pendidikan 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	Halaman
1. Karakteristik Utama Metode-metode MPPT	II-11
2. Kondisi Keberatan <i>buck, boos, buck-boostt Converter</i> Beroperasi di CCM	II-16
2. Persamaan Kontrol PWM <i>Boost</i> dan <i>Boost converter</i> Beroperasi di CCM	II-17
3. Parameter Panel Surya BPSX-1390	III-4
3.3. Variabel Tetap Model <i>Boost Converter</i>	III-10
3.3. <i>Rule Base</i> FLC	III-16
3.3. <i>Rule Base</i> FIM	III-16
4.1. Spesifikasi Modul Sel Surya BP SX-3190	IV-1
4.2. Nilai Rata-rata Radiasi Matahari Orientasi Barat	IV-3
4.3. Perbandingan Nilai Efisiensi tanpa Menggunakan Sistem MPPT dan Menggunakan Sistem MPPT	IV-18

DAFTAR RUMUS

	Halaman
2.1 Persamaan Karakteristik Sel Surya	II-4
2.2 Persamaan Arus Foton (I_{ph})	II-5
2.3 Persamaan Arus Saturasi Dioda ($I_s(T)$)	II-7
2.4 Persamaan Arus <i>Reverse Saturation</i> (I_s)	II-7
2.5 Persamaan Karakteristik Modul Sel Surya	II-9
2.6 Persamaan Daya Ideal PV (P_{max})	II-9
2.7 Persamaan Tegangan (V)	II-10
2.8 Persamaan Daya Keluaran (P_{out})	II-10
2.9 Persamaan Efisiensi Panel Surya (Eff)	II-10
2.10 Tegangan Output <i>Boost Converter</i> Transistor <i>OFF</i> (V_o)	II-16
2.11 Persamaan <i>Duty Cycle</i> (D)	II-17
2.12 Perhitungan Nilai Induktor Minimal (L_{min})	II-17
2.13 Perhitungan nilai Induktor (L)	II-17
2.14 Persamaan Nilai Kapasitor (C)	II-18
2.15 Persamaan Fungsi Keanggotaan Segitiga	II-22
2.16 Persamaan Fungsi Keanggotaan Trapesium	II-22
2.17 Persamaan Nilai Keanggotaan Metode <i>Max</i> (<i>Maximum</i>)	II-24
2.18 Persamaan Nilai Keanggotaan Metode <i>Additive</i> (<i>Sum</i>)	II-24
2.19 Persamaan Metode Probabilistik <i>OR</i> (Probor)	II-24

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

- 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.
- I_p : arus hubung singkat
 I_s : arus *reverse saturation* dari dioda (A)
 q : muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ C)
 V_f : tegangan dioda (V)
 k : konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K)
 T_j : suhu junction dalam *Kelvin* (K)
 N : faktor idealitas dari dioda
 R_s : tahanan seri dari dioda
 R_{sh} : tahanan *shunt* dari dioda
 I_{sc} : arus hubung singkat pada suhu *Standard Test Conditions* (STC) 25°C (298 K)
 T : suhu sel
 T_{STC} : suhu pada STC (298 K)
 λ : radiasi matahari dalam W/m^2
 λ_{STC} : radiasi matahari pada STC (1000 W/m^2)
 V_{oc} : tegangan pada saat rangkaian terbuka
 T_{nom} : 273 K
 I_s : arus *reverse saturation*
 E_g : *band gap energy* dari semikonduktor
 V_t : tegangan thermal pada suhu ruangan
 P : Daya
 D : *Duty Cycle*
 C : Kapasitor
 V_{ripple} : toleransi *ripple* tegangan *output*
 f : frekuensi untuk *duty cycle*
 L : Induktor
 η : Efisiensi

DAFTAR SINGKATAN

FMR : *Fuzzy Model Reference Logic Control*

MPPT : *Maximum Power Point Tracking*

STC : *Standard Test Conditions*

PWM : *Pulse Width Modulation*

PV : *Photovoltaic*

Hak Cipta Sains dan Teknologi UIN Suska Riau

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 I

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dengan meningkatnya pertumbuhan populasi penduduk, maka akan berbanding lurus dengan kebutuhan dari segala aspek sumber daya termasuk dari sumber daya energi listrik. Sementara itu, sumber daya listrik yang tersedia dari pembangkit saat ini tidak dapat mencukupi kebutuhan listrik yang terus meningkat. Banyak terjadi pemadaman di daerah-daerah secara bergilir, hal ini dilakukan karena suplai energi listrik dari PLN sering mencapai beban penuh meskipun sudah melakukan kinerja secara parallel. Dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik tersebut, maka diperlukan sumber energi terbarukan sebagai alternatif energi listrik selain dari PLN [1]. Sumber energi baru terbarukan merupakan sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global, karena energi yang didapatkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan, seperti sinar matahari, angin, air, *biofuel*, dan *geothermal*.

Sinar matahari (energi surya) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang bersih dan tersedia dalam jangka waktu yang lama. Pembangkit listrik tenaga surya ini merupakan salah satu solusi kebutuhan listrik di daerah pedesaan terpencil, dimana intensitas sinar matahari banyak dan bahan bakar sulit didapat dan relatif mahal. Di Indonesia yang merupakan negara tropis memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena wilayahnya yang terbentang melintasi garis khatulistiwa, dengan besar radiasi penyinaran 4,80 kWh/m²/hari [1]. Sinar matahari (energi surya) dikonversi langsung dan bentuk aplikasinya dibagi menjadi dua jenis, yaitu *solar thermal* untuk aplikasi pemanasan dan *solar photovoltaic* untuk pembangkitan listrik. Pada penelitian ini, akan fokus membahas pemanfaatan sinar matahari berdasarkan kandungan fotonik yang dapat menghasilkan energi listrik melalui modul panel surya (*Photovoltaic*).

Sistem *solar photovoltaic* (PLTS) mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik melalui modul fotovoltaik atau panel surya. Modul fotovoltaik terdiri dari sejumlah sel fotovoltaik yang saling terhubung secara seri/paralel dan diproduksi menjadi sebuah unit. Kinerja kelistrikan pada modul fotovoltaik dicirikan dengan kurva arus-tegangan (I-V). Kurva tersebut menjelaskan operasi arus dan tegangan



modul fotovoltaik pada radiasi sinar matahari dan suhu tertentu. Karena tingkat radiasi dan suhu yang berubah-ubah setiap harinya, maka akan mempengaruhi kinerja dari daya keluaran panel surya menjadi bervariasi dan cenderung tidak bekerja dengan maksimal. Hal lain yang menyebabkan rendahnya efisiensi pada panel surya diarenakan perbedaan karakteristik antara panel surya dengan beban [2]. Oleh sebab itu, dibutuhkan pemodelan sistem yang menyerupai karakteristik sel surya yang sebenarnya, sehingga kita dapat melakukan salah satu percobaan sederhana dari beberapa data untuk mencari tahu bagaimana mendapatkan daya keluaran maksimal dari panel surya dan kemudian mempertahankannya.

Panel surya memiliki karakteristik yang *non-linear*, hal ini membuat kita sulit untuk mendapatkan titik maksimum dari panel surya tersebut, sehingga untuk menyelesaikan permasalahan tersebut diperlukan pemodelan dari panel surya untuk menerapkan algoritma dari sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk menjaga titik operasi panel surya tetap berada pada titik MPP [2]. Algoritma MPPT merupakan sebuah langkah-langkah yang disusun untuk mencapai daya maksimum berdasarkan kurva karakteristik I-V, dimana ada titik MPP pada kurva karakteristik tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem yang dapat mewujudkan algoritma MPPT dalam mencapai daya maksimum pada kondisi iradiasi dan suhu yang berubah-ubah.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari *Solar Cell* agar pengoperasiannya dapat mencapai nilai maksimum yaitu, suhu permukaan panel surya, radiasi matahari (iradiasi), kecepatan angin, keadaan atmosfer bumi, orientasi panel atau *array* PV, dan posisi letak sel surya (*array*) terhadap matahari [3]. Perubahan iradiasi dan suhu pada matahari akan sangat berpengaruh pada daya keluaran PV, hal ini dikarenakan dalam satu jam saja bisa terjadi beberapa kali fluktuasi pada iradiasi matahari yang menyebabkan kenaikan maupun penurunan daya keluaran pada PV. Oleh sebab itu, diperlukan pengendali yang mampu menerapkan algoritma MPPT untuk menjaga daya keluaran pada PV tetap berada pada daya ideal atau daya maksimum berdasarkan iradiasi dan suhu yang berubah-ubah.

Beberapa modul panel surya didesain memiliki sel yang dirangkai seri dan paralel, sedangkan pada penelitian ini digunakan modul panel BP SX-3190 karena pada sel-sel didalamnya dirangkai secara seri dan dapat menghasilkan daya maksimum 190 Watt, toleransi daya 9% dan dapat bertahan selama 25 tahun [4]. Modul BP SX-3190 merupakan panel yang sering digunakan pada pembangkit skala menengah ataupun pengaplikasian

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.



photovoltaic secara *on grid* karena daya keluaran yang cukup besar. Jenis modul panel ini dapat terdapat pada aplikasi MATLAB R2016b yang digunakan untuk mensimulasikan karakteristik daya keluaran pada PV, sehingga tidak diperlukan lagi pemodelan awal menggunakan blok-blok diagram pada *simulink* untuk mendeskripsikan dari PV tersebut. Hal ini dikarenakan seluruh parameter pada modul ini sudah tercantum pada blok *array* pada Simulink.

Banyak penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas tentang desain MPPT pada panel surya, beberapa diantaranya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Atar Fuady mengenai rendahnya efisiensi panel surya yang dikarenakan karakteristik V-I pada panel surya yang tidak *linear* terhadap pembebanan. Sehingga pada penelitian ini dihasilkan sistem MPPT yang dapat meningkatkan daya pada panel surya dengan penambahan efisiensi rata-rata sebesar 21.87% dibandingkan tanpa menggunakan sistem MPPT [2].

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Bagus Setyaji mengenai tingkat penyinaran energi surya yang berbeda-beda yang menyebabkan daya keluaran pada panel surya bervariasi dan tidak maksimal, sehingga pada penelitian ini dihasilkan sistem MPPT dengan metode *Sliding Mode Contoller* yang menghasilkan kenaikan tegangan keluaran rata-rata 51.22%, dari rata-rata tegangan keluaran 19.84 *Volt* sebelum pemasangan sistem MPPT menjadi 40.67 *Volt* setelah pemasangan sistem MPPT, ketika temperatur dan radiasi berubah-ubah sistem dapat mempertahankan tegangan pada panel surya disekitar nilai maksimum yang diinginkan sebesar 40 *Volt* [5].

Pada penelitian yang membandingkan MPPT dengan logika *fuzzy* dan MPPT dengan logika P&O Konvensional untuk menguji kinerja dua pengendali tersebut, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kedua pengendali ini dapat menghasilkan daya maksimum, namun MPPT dengan logika *fuzzy* lebih baik dibandingkan pengendali konvensional untuk sistem non-linier karena mampu mengurangi gangguan pada tegangan saat MPP telah diemukan. Tindakan ini secara langsung mempertahankan daya *output* yang lebih stabil dibandingkan dengan MPPT konvensional dimana daya keluaran akan berfluktuasi pada sekitaran titik MPP [6].

Pada penelitian ini, digunakan metode *Fuzzy Model Reference Learning Control* (FMRLC). FMRLC merupakan modifikasi metode *fuzzy logic control* (FLC) dan *model referense adaptive control* (MRAC) dengan konsep kendali menggunakan “Sistem Pembelajaran” untuk meningkatkan kinerja dari waktu ke waktu ketika berinteraksi dengan lingkungan. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Syukur dkk mengenai

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.



pengontrolan ketinggian air pada *Conical tank* dengan menggunakan metode *Fuzzy Model Reference Learning Control*, mendapatkan hasil bahwa sistem kontrol menggunakan FMRLC memiliki waktu konstan yang lebih cepat dibanding FLC (*Fuzzy Logic Control*), dan juga ketika mendapat gangguan eksternal, FMRLC dapat mempertahankan performa pada *set point* [6].

Kombinasi kontrol ini sudah banyak digunakan untuk mengendalikan sistem yang *non-linear*. Pada FMRLC ini membutuhkan empat bagian utama, yaitu : *Plant*, *Fuzzy Controller* untuk diatur, Model Referensi, dan mekanisme adaptasi. Algoritma FMRLC ini menggunakan model referensi (model *plant* yang berperilaku seperti yang diinginkan) untuk memberikan umpan balik kinerja *close loop* dalam melakukan pengaturan pada *knowledge-base controller fuzzy*. FMRLC ini juga digunakan untuk merancang dan menyesuaikan *rule-base* kontroler *Fuzzy* dalam sistem pengontrolan MPPT. Sistem FMRLC ini memiliki kelebihan yaitu, dapat mempertahankan nilai set point yang diinginkan terhadap gangguan yang terjadi. Sebagai pendukung sistem MPPT, digunakan komponen *DC-DC Boost Converter* untuk pengontrol tegangan keluaran pada panel surya dan dapat mempertahankan pada daya maksimum dalam kondisi radiasi dan suhu yang berubah-ubah.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas dan penelitian-penelitian sebelumnya, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tugas akhir yang berjudul “**Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada panel surya dengan menggunakan metode Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC)**”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perubahan tingkat iradiasi matahari dan suhu pada permukaan panel surya yang akan mempengaruhi daya keluaran pada panel surya yang cenderung bervariasi dan tidak menghasilkan daya maksimum.
2. Rendahnya nilai efisiensi pada daya keluaran panel surya yang diakibatkan karakteristik modul yang bersifat *non-linear*.
3. Daya yang dikeluarkan oleh panel surya tidak dapat mencapai daya ideal yang seharusnya dikeluarkan oleh pv.



1.3 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.

Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Spesifikasi modul panel surya yang dimodelkan adalah tipe BPSX-3190B dengan 2 *series module* dan 2 *paralel string*.
2. Komponen tambahan yang digunakan yaitu DC-DC *boost converter* dengan teknik pengontrolan lebar pulsa atau PWM dengan *duty cycle*.
3. Pemodelan sistem simulasi menggunakan perangkat lunak simulator di Matlab Simulink R2016b.
4. Karakteristik beban yang digunakan merupakan beban *resistif* dengan besaran nilai 10 Ohm.
5. Suhu permukaan panel yang digunakan pada percobaan bersifat konstan dengan nilai 25°C dengan kondisi STC.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Merancang sistem MPPT dengan menggunakan pengendali FMRLC.
2. Menguji sistem *photovoltaic* baik sebelum dan sesudah pemasangan sistem MPPT.
3. Menghasilkan daya keluaran maksimum pada pv berdasarkan perubahan iradiasi matahari pada panel surya.
4. Meningkatkan efisiensi pada daya keluaran panel surya terhadap daya ideal pada pv dengan menggunakan sistem MPPT.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat membantu memahami tentang konsep atau cara kerja panel surya, konsep MPPT dan materi tentang pengendali FMRLC untuk dapat menaikkan tegangan keluaran pada panel surya.
2. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi literatur yang diperlukan untuk mahasiswa dalam mengembangkan penelitian terkait di Teknik Elektro Uin Suska Riau.
3. Penelitian ini dapat memperoleh daya keluaran yang maksimum dengan menggunakan algoritma MPPT yang dapat bertahan terhadap gangguan pada lingkungan sekitar (*adaptive*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terkait

Dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian referensi teori yang relevan dengan penelitian sebelumnya yang berasal dari skripsi dan jurnal-jurnal terkait.

Kemudian penelitian yang membandingkan MPPT dengan logika *fuzzy* dan MPPT dengan logika P&O Konvensional untuk menguji kinerja dua pengendali tersebut, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kedua pengendali ini dapat menghasilkan daya maksimum, namun MPPT dengan logika *fuzzy* lebih baik dibandingkan pengendali konvensional untuk sistem non-linier karena mampu mengurangi gangguan pada tegangan saat MPP telah diemukan. Tindakan ini secara langsung mempertahankan daya *output* yang lebih stabil dibandingkan dengan MPPT konvensional dimana daya keluaran akan berfluktuasi pada sekitaran titik MPP [6].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Bagus Setyaji ini menggunakan metode *Sliding Mode Control*”, dengan latar belakang masalahnya yaitu tingkat penyinaran energi surya yang berbeda-beda yang menyebabkan daya keluaran pada panel surya bervariasi dan tidak maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain sistem MPPT menggunakan metode SMC agar memperoleh tegangan 40 *Volt* dan mempertahankannya terhadap perubahan radiasi dan suhu. Pada penelitian ini menghasilkan sistem MPPT dengan metode *Sliding Mode Controller* yang menghasilkan kenaikan tegangan keluaran rata-rata 51.22%, dari rata-rata tegangan keluaran 19.84 *Volt* sebelum pemasangan sistem MPPT menjadi 40.67 *Volt* setelah pemasangan sistem MPPT, ketika temperatur dan radiasi berubah-ubah sistem dapat mempertahankan tegangan pada panel surya disekitar nilai maksimum yang diinginkan sebesar 40 *Volt* [5].

Pada penelitian desain *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) pada panel surya dengan menggunakan metode *fuzzy* yang dilakukan oleh Atar Fuady, memiliki latar belakang masalahnya yaitu rendahnya efisiensi panel surya yang dikarenakan karakteristik V-I pada panel surya tidak *linear* terhadap pembebanan. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan implementasi suatu alat yang berbasis mikrokontroler untuk mengoptimalkan kinerja dari panel surya dengan cara mencari titik MPP menggunakan metode *Fuzzy*. Sehingga pada penelitian ini dihasilkan sistem MPPT yang dapat



meningkatkan daya pada panel surya dengan penambahan efisiensi rata-rata sebesar 87% dibandingkan tanpa menggunakan sistem MPPT [2].

Pada penelitian dilakukan oleh Abelio Abdillah merupakan penelitian yang didasari oleh rendahnya efisiensi pada panel surya. Rendahnya efisiensi pada panel surya ini dikarenakan perbedaan karakteristik pada panel surya dan karakteristik pada beban serta perubahan radiasi matahari dan suhu. Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu algoritma MPPT yang dikendalikan oleh kontrol *fuzzy* yang menghasilkan kenaikan rata-rata tegangan 17 % dari rata-rata sebesar 11,6 *Volt* sebelum pemasangan sistem MPPT menjadi 13,94 *Volt* setelah pemasangan sistem MPPT saat kondisi iradiasi matahari yang berubah-ubah. Terjadi peningkatan daya sebesar 28 % dari rata-rata daya sebesar 35.15 *Watt* sebelum dipasang sistem MPPT menjadi 48,9 *Watt* setelah pemasangan sistem MPPT saat kondisi iradiasi yang berubah-ubah. Pada kondisi suhu yang berubah, sistem MPPT dapat mempertahankan tegangan keluaran dari modul *photovoltaic* disekitar nilai maksimum yang diinginkan sebesar 12 *Volt* [8].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Syukur dkk, memiliki tujuan untuk meminimalkan eror yang terjadi ketika hanya menggunakan kontroler *fuzzy* sugeno, kemudian menguji sistem yang menggunakan algoritma FMRLC dengan gangguan agar mendapatkan hasil sesuai dengan *set point*. Ada beberapa kelemahan yang membatasi kontrol dengan menggunakan metode *fuzzy* yaitu, banyak waktu yang dibutuhkan untuk menemukan aturan karena sering dicari dengan metode *trial-error*, mengalami kesulitan untuk sistem yang kompleks, desain kontroler *fuzzy* biasanya dilakukan secara *ad hoc* oleh karena itu sering tidak jelas secara pasti bagaimana untuk membenarkan pilihan bagi banyak parameter dan kontroler *fuzzy* (misalnya, fungsi keanggotaan, strategi *defuzifikasi*, dan strategi inferensi *fuzzy*, kontroler *fuzzy* yang dibangun untuk *plant* tertentu tidak memadai jika terjadi variasi parameter *plant* yang signifikan berupa perubahan struktural dan terjadinya gangguan pada dari lingkungan sekitar. Hasil dari penelitian ini adalah sistem kontrol yang menggunakan algoritma FMRLC memiliki waktu konstan yang lebih cepat dibanding FLC (*Fuzzy Logic Control*), dan juga ketika mendapat gangguan eksternal, FMRLC dapat mempertahankan performa pada *set point* [6].

Berdasarkan dari beberapa penelitian diatas penelitian ini lebih dekat dengan penelitian dengan judul Desain *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Pada Panel Surya Menggunakan Metode *Fuzzy logic* dan juga penelitian dengan judul Desain sistem kontrol *Fuzzy Model Reference Learning Control* (FMRLC), studi kasus : pengontrolan ketinggian



air pada *Conical tank*. Pada penelitian yang berjudul *Desain Maximum Power Point (MPPT) Pada Panel Surya Menggunakan Metode Fuzzy logic* yang menggunakan kontroler jenis *fuzzy* ini, menghasilkan sistem yang hanya menaikkan nilai efisiensi dari panel surya dengan cara menaikkan tegangan keluaran yang dikontrol oleh sistem MPPT dan dikendalikan oleh *fuzzy*. Oleh sebab itu, dibutuhkan penelitian mengenai sistem MPPT pada panel surya yang dapat bertahan pada nilai *set point* ketika terjadi perubahan nilai irradiansi matahari dan suhu pada permukaan panel surya sehingga mampu beradaptasi pada lingkungan sekitar. Kemudian pada penelitian selanjutnya yang berjudul *Desain sistem kontrol Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC), studi kasus : pengontrolan ketinggian air pada Conical tank*, terbukti bisa mengatasi kelemahan kontroler FLC. Karena pada penelitian ini menguji antara sistem yang menggunakan kontroler FLC dan FMRLC pada *conical tank*, yang menghasilkan perubahan *setpoint* respon sistem dengan FMRLC memiliki waktu konstan yang lebih cepat dibanding FLC, dan ketika mendapat gangguan eksternal, FMRLC dapat mempertahankan performa sistem pada *setpoint*.

2.2 Panel Surya

2.2.1 Pengertian Panel Surya

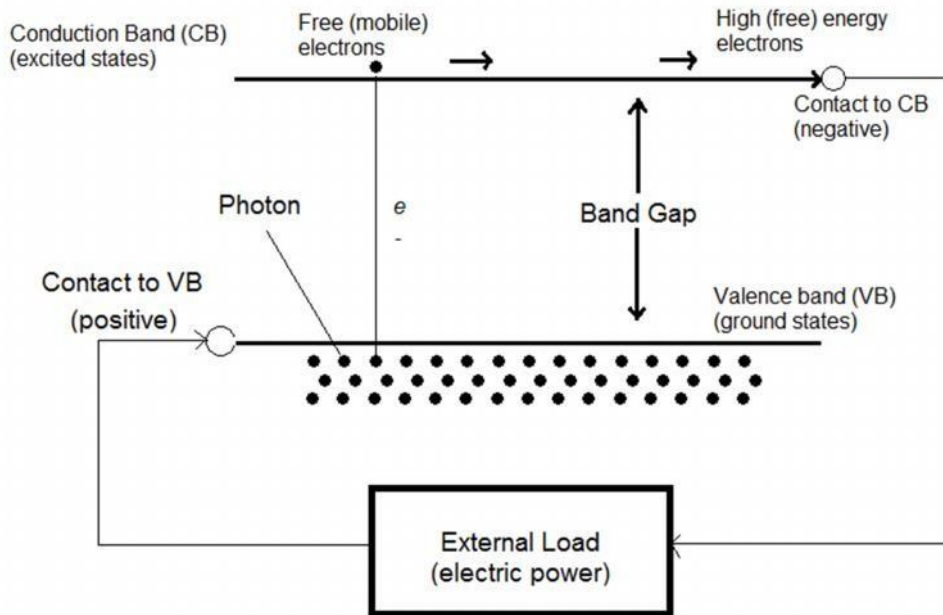
Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atau disebut juga sistem fotovoltaik merupakan sistem yang mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. Panel surya adalah rangkaian dari beberapa sel fotovoltaik yang terhubung secara seri yang kemudian mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses fotoelektrik.. Hal ini disebabkan sel fotovoltaik terbuat dari bahan semikonduktor yang dapat melepas elektron ketika radiasi matahari menyinari sel fotovoltaik tersebut, kemudian menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan [3]. Energi yang dibutuhkan untuk melepaskan elektron dari pita valensi merupakan energi fotonik yang berasal dari sinar matahari.

2.2.2 Prinsip Kerja Panel Surya

Panel surya adalah komponen yang terbuat dari material semikonduktor yang mempunyai ikatan elektron lemah pada satu pita energi yang disebut pita valensi. Ketika ada energi yang lebih besar dari batas *threshold (band gap energy)* diberikan kepada elektron di daerah pita valensi tersebut, maka ikatan elektron itu akan putus dan selanjutnya elektron tersebut bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut pita konduksi.

Kemudian elektron bebas yang terdapat pada pita konduksi ini dapat menghasilkan energi listrik. Energi yang diperlukan untuk membebaskan elektron ini berasal dari radiasi matahari yang mengandung foton (partikel cahaya) [9].

Teorinya dapat diilustrasikan pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Skema Prinsip Kerja Sel Surya [10]

Pada gambar 2.1 menunjukkan suatu proses yang terjadi pada sel surya ketika diberikan paparan sinar matahari. *Photon* merupakan partikel cahaya yang disaat energi foton tersebut cukup maka elektron akan didorong keluar dari pita valensi (VB) melewati *band gap* menuju pita konduksi (CB), sedangkan *hole* akan tetap berada pada pita valensi. Kemudian suatu *selective contact* mengumpulkan elektron-elektron yang terdapat pada pita konduksi lalu menggerakkannya. Elektron-elektron yang bergerak inilah yang disebut sebagai arus dari listrik. Energi dari arus listrik ini digunakan untuk melakukan berbagai hal sebelum kembali menuju pita valensi melalui *selective contact* yang kedua [10].

2.2.3 Persamaan Karakteristik Sel Surya

Persamaan eksponensial untuk memodelkan sel surya diturunkan dari hukum fisika untuk PN *junction* dan secara umum diterima sebagai representasi karakteristik sel surya yang ditunjukkan oleh persamaan (2.1) [7].

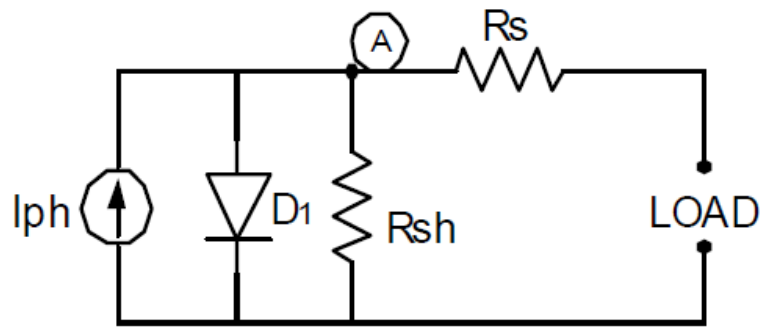
$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \frac{q.(V+IR_s)}{N.K.T} - 1 \right) - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

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 ini merupakan bagian dari buku yang diterbitkan oleh UIN Suska Riau. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya tanpa izin UIN Suska Riau. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya tanpa izin UIN Suska Riau. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dimana
 - I_{ph} = arus hubung singkat
 - I_s = arus *reverse saturation* dari diode (A)
 - q = muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19} C$)
 - V = tegangan diode (V)
 - K_1 = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} J/K$)
 - T = temperatur *junction*
 - N = faktor idealitas dari diode
 - R_s = tahanan seri dari diode
 - R_{sh} = tahanan shunt dari diode
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya tanpa izin UIN Suska Riau.

Dari persamaan pada (2.1), dapat digambarkan rangkaian pengganti dari sel surya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Rangkaian pengganti sel surya [7]

Output dari sel surya sangat dipengaruhi oleh lingkungan sekitarnya, yaitu dari perubahan radiasi, perubahan suhu, maupun gangguan seperti *shading* dan *hotspot*. Dari persamaan (2.1), arus yang dibangkitkan oleh energi foton (I_{ph}) berhubungan dengan radiasi matahari (λ), dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_1(T - T_{STC})] \frac{\lambda}{\lambda_{STC}} \quad (2.2)$$

Dimana

K_1 = koefisien suhu arus singkat

I_{sc} = arus hubung singkat pada suhu (STC) $25^\circ C$ $298K$

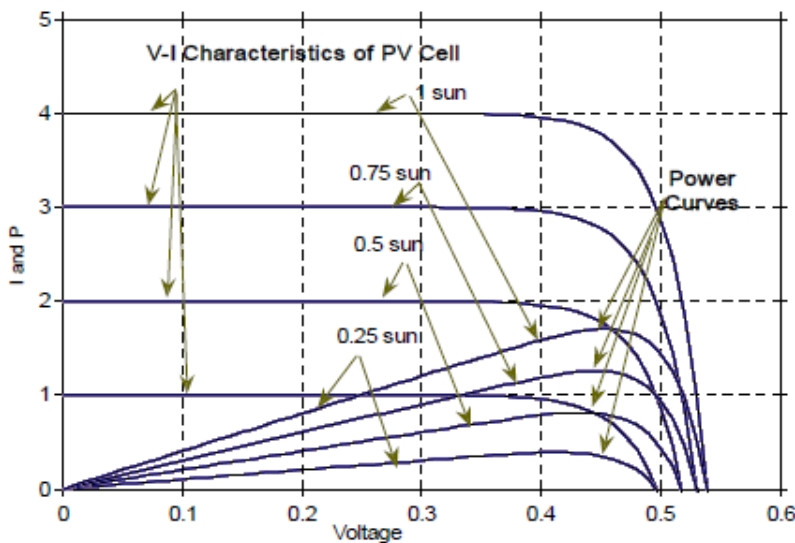
T = suhu sel

T_{sc} = suhu pada STC (298K)

λ = radiasi dalam W/m^2

λ_{sc} = radiasi matahari dalam STC ($1000 W/m^2$)

Berdasarkan persamaan pada (2.2) diatas dapat dilihat pada keadaan suhu konstan, arus yang akan dibangkitkan oleh foton secara langsung sesuai terhadap radiasi matahari. Pengaruh dari perubahan radiasi matahari pada kurva karakteristik V-I dapat dilihat pada Gambar 2.3. I_{sc} merupakan arus pada saat terjadi hubung singkat (*short Circuit*), dan biasanya mempunyai nilai tegangan 0. Pada (Gambar 2.3), yang dimaksud arus hubung singkat adalah saat nilai tegangan sama dengan 0, V_{oc} merupakan tegangan pada saat *open circuit*, sehingga tidak ada arus yang mengalir. Satu *sun* pada radiasi matahari bernilai sama dengan $1000 W/m^2$. Jika tingkat radiasi yang jatuh pada sel surya berkurang oleh sebab itu nilai I_{sc} dan V_{oc} akan berkurang juga, tetapi perubahan pada V_{oc} tidak terlalu signifikan pada I_{sc} [7]. Berikut adalah contoh karakteristik sel surya terhadap perbedaan suhu dan radiasi.

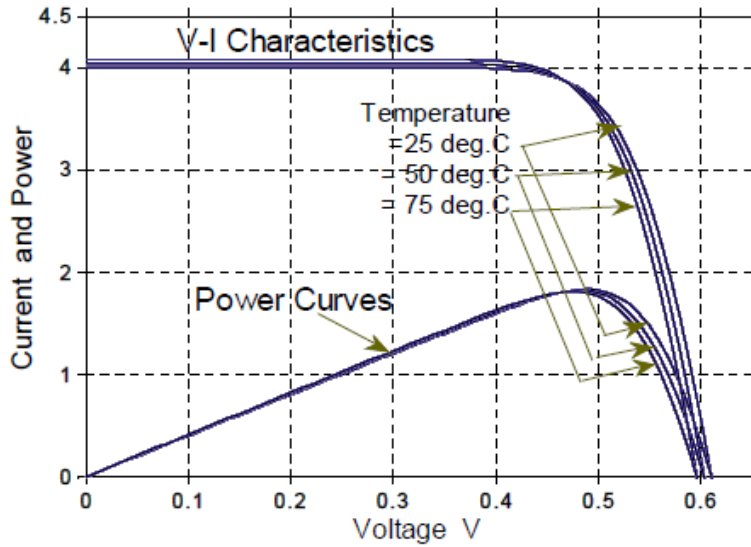


Gambar 2.3 Karakteristik Sel Surya Terhadap Perbedaan Radiasi [7]

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 pendidikan 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. 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.



Gambar 2.4 Karakteristik Sel Surya Terhadap Perbedaan Suhu [7]

Suhu yang terdapat pada sel surya sangat mempengaruhi arus *short circuit* (I_{sc}), seperti yang telah ditunjukkan pada persamaan (2.2) kemudian untuk mengubah arus saturasi dioda dalam sel surya akan ditunjukkan pada persamaan (2.3) berikut ini.

$$I_d = I_s \cdot N_p \left(\exp \frac{q(V+I_{RS})}{N.K.T} - 1 \right) \quad (2.3)$$

$$T_{nom} = 273K$$

I_s = arus reverse saturation

E_g = band gap energy dari semikonduktor

V_t = merupakan tegangan *thermal* pada temperatur ruangan.

Arus reverse saturation diperoleh melalui persamaan berikut:

$$I_s = \left[I_{RS} \left(\frac{T_{OPT}}{T_{REF}} \right)^3 \cdot q^2 \frac{E_g}{N.K} \cdot \exp(1/T_{OPT} - 1/T_{REF}) \right] \quad (2.4)$$

V_{OC} = tegangan rangkaian terbuka

Berdasarkan persaman (2.3), terlihat jelas bahwa arus saturasi dan dioda sel surya sangat bergantung pada temperatur, arus saturasi meningkat seiring peningkatan



temperatur sel surya. Gambar 2.4 menunjukkan pengaruh temperatur sel surya terhadap karakteristik $V-I$, peningkatan arus saturasi akan memperkecil tegangan rangkaian terbuka, V_{oc} .

2.4 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Tegangan Keluaran Pada Panel Surya

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai tegangan keluaran pada sel surya, diantaranya yaitu [3],

1. Orientasi dan kemiringan modul PV. Pemasangan modul PV dalam rangkaian seri maupun paralel harus dipasang pada orientasi, kemiringan dan pada ketinggian yang sama.
2. Radiasi sinar matahari atau intensitas radiasi elektromagnetik sinar matahari yang jatuh pada permukaan sel surya. Nilai radiasi bervariasi tergantung tempat atau daerahnya. Oleh sebab itu, pengukuran nilai radiasi langsung perlu dilakukan sebelum merancang sistem PLTS karena daya keluaran dari modul berbanding lurus secara proporsional dengan radiasi matahari.
3. Bayangan benda (*shading*) yang menghalangi sinar matahari menuju permukaan sel surya. *Shading* ini merupakan masalah yang penting pada PLTS karena dapat secara signifikan mengurangi kinerja dari sistem. Pengaruh bayangan sebagian yang mengenai sel surya akan berdampak pada pelepasan panas pada sel surya meningkat (dikenal dengan titik panas atau *hotspot*) yang dapat mempengaruhi umur dari sel surya.
4. Kenaikan temperatur pada modul yang dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi modul sesuai dengan koefisien temperatur dari modul ($\%/^{\circ}C$).
5. *Hotspot* (titik panas) merupakan suatu bagian yang diakibatkan oleh panas yang terlokalisasi pada sel surya yang terjadi ketika adanya perbedaan pencahayaan diantara sel-sel surya. Karena arus keluaran dari sel surya sebanding dengan jumlah radiasi matahari, jika terdapat perbedaan pencahayaan maka sel-sel dapat berperilaku berbeda dan dapat menimbulkan masalah disaat dihubungkan secara seri. Sel dengan arus *output* yang lebih rendah akan mengurangi dan membatasi arus seluruh rangkaian pada sel surya (*string*). Hal ini menjadi lebih parah jika sel-sel tersebut benar-benar tertutup dan menghilangkan daya total yang dihasilkan oleh sel-sel yang terpapar oleh sinar.

Hal ini Diindonesiakan

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.

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

Karena adanya keterbatasan di dalam sel untuk mengatasi disipasi daya, sel-sel tersebut dapat menjadi terlalu panas sehingga menghasilkan *hotspot*. Penyebabnya bisa jadi karena terkena bayangan sebagian (*partial shading*), kenaikan suhu yang diakibatkan oleh buruknya kualitas sel, penyolderan yang buruk, dan sel-sel yang memiliki nilai hambatan yang paralel yang rendah. Nilai hambatan paralel yang rendah dapat mengakibatkan hilangnya daya listrik di sel surya.

2.5 Modul Sel Surya

Sebuah *sel photovoltaic* merupakan unit dasar yang mampu menghasilkan tegangan antara 0,5 sampai 0,8 *Volt* bergantung pada teknologi yang digunakan. Tegangan yang kecil tersebut tentunya tidak cukup untuk digunakan secara komersial, oleh sebab itu, *sel photovoltaic* dihubungkan dalam suatu modul untuk menghasilkan tegangan yang paling tidak dapat digunakan untuk mengisi baterai sebesar 12 *Volt*. Modul panel surya itu sendiri yaitu susunan dari beberapa sel-sel surya yang dirangkai secara seri agar dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan kapasitas panel surya untuk mengisi baterai. Untuk mendapatkan persamaan modul sel surya, dapat diperoleh dengan mengubah persamaan (2.1), dengan cara mengabaikan R_S dan R_{sh} kemudian menjadi persamaan (2.5).[7]

$$I = I_p I_{ph} - n_p I_s \left(\exp \frac{qV}{NKT n_s} - 1 \right) \quad (2.5)$$

Dimana n_p dan n_s adalah jumlah sel surya yang disusun secara paralel dan seri.

Daya ideal pada PV dapat dicari dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$P_{max} = Voc \times Isc \times FF \quad (2.6)$$

Dimana:

P_{max} : Daya Maksimum (Watt)

Voc : Tegangan maksimum (Volt)

Isc : Arus Maksimum (Ampere)

FF : *Fill Factor*

Untuk mencari daya keluaran pada PV sama seperti mencari daya pada umumnya yaitu pertama cari tegangan terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan berikut:

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.

$$V = I \times R \tag{2.7}$$

Selanjutnya untuk mencari daya keluaran dari PV menggunakan persamaan di bawah ini:

$$P = V \times I \tag{2.8}$$

Dimana:
 P : Daya Keluaran (Watt)
 V : Tegangan Keluaran (Volt)
 I : Arus Keluaran (Ampere)

Sedangkan untuk mencari nilai efisiensi pada panel surya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{2.9}$$

Dimana:
 η : Efisiensi (%)
 P_{out} : Daya keluaran (Watt)
 P_{in} : Daya masuk (Watt)

2.3 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah sistem yang mengoperasikan modul *Photovoltaic* agar dapat menghasilkan daya keluaran maksimal dengan mengubah nilai tegangan dan arus masukan yang dihasilkan oleh panel surya. Konsep algoritma kontrol MPPT tidaklah dengan menggunakan sistem *tracking* mekanis yang dapat menggerakkan panel surya mengarah pana sinar matahari untuk mendapatkan radiasi dan suhu yang maksimal, akan tetapi MPPT adalah sistem elektronis yang prinsip kerjanya dengan mengubah titik operasi elektronis tersebut agar dapat mengirimkan daya maksimal yang tersedia pada panel surya. MPPT juga dapat dihubungkan dengan sistem *tracking* mekanis tetapi kedua sistem ini sangat berbeda satu sama lainnya[11]. Secara umum, pada panel surya terdapat titik pada kurva karakteristik V-P atau kurva V-I yang sering disebut

dengan titik MPP (*Maximum Power Point*). Pada titik tersebut sel surya bekerja pada efisiensi maksimum dan menghasilkan daya keluaran yang paling besar. Letak dari titik MPP ini tidak dapat diketahui secara pasti, akan tetapi dapat dicari dengan menggunakan algoritma yang disebut algoritma penjejak. Oleh sebab itu, algoritma MPPT dibutuhkan untuk mempertahankan titik kerja dari panel surya agar tetap bekerja pada titik maksimal. Pada pengaplikasiannya, dibutuhkan DC-DC *converter* untuk menggeser titik operasi dengan cara mengatur arus dan tegangan dari panel surya [2].

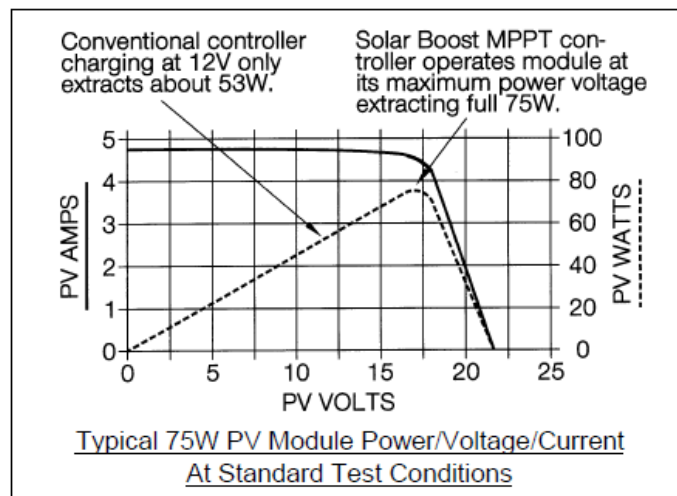
Pada persamaan (2.1), terlihat bahwa arus dan tegangan keluaran sel surya memiliki karakteristik *non-linear*. Hal tersebut juga dapat dilihat pada plot kurva P-V hasil simulasi karakteristik sel surya pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4, arus dan tegangan sel surya berubah seirung dengan perubahan radiasi dan juga suhu. Terdapat 19 metode pada MPPT yang memiliki perbedaan mendasar seperti yang ditunjukkan pada tabel, setiap metode memiliki karakteristik yang berbeda.

Tabel 2.1 Karakteristik Utama Metode-metode MPPT[12].

<i>MPPT technique</i>	<i>PV array Dependence</i>	<i>True MPPT</i>	<i>Analog or Digital</i>	<i>Periodic Tuning</i>	<i>Convergence Speed</i>	<i>Implementation Complexity</i>	<i>Sensed Parameters</i>
<i>Hill-climbing/P&O</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>Both</i>	<i>No</i>	<i>Varies</i>	<i>Low</i>	<i>Voltage, Current</i>
<i>Incond</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>Digital</i>	<i>No</i>	<i>Varies</i>	<i>Medium</i>	<i>Voltage Current</i>
<i>Fractional V_{oc}</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>Both</i>	<i>Yes</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Voltage</i>
<i>Fractional I_{sc}</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>Both</i>	<i>Yes</i>	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>	<i>Current</i>
<i>Slide Mode Control</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>Digital</i>	<i>No</i>	<i>Fast</i>	<i>Medium</i>	<i>Voltage, Current</i>
<i>Neural Network</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Digital</i>	<i>Yes</i>	<i>Fast</i>	<i>High</i>	<i>Varies</i>
<i>RCC</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>Analog</i>	<i>No</i>	<i>Fast</i>	<i>Low</i>	<i>Voltage, Current</i>
<i>Current Sweep</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Digital</i>	<i>Yes</i>	<i>Slow</i>	<i>High</i>	<i>Voltage, Current</i>
<i>DC Link Capacitor Droop Control</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>Both</i>	<i>No</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Voltage</i>
<i>Load $I_{or} V$ Maximization</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>Analog</i>	<i>No</i>	<i>Fast</i>	<i>Low</i>	<i>Voltage, Current</i>
<i>dP/dV or dP/dI feedback control</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>Digital</i>	<i>No</i>	<i>Fast</i>	<i>Medium</i>	<i>Voltage, Current</i>

Array Reconfiguration	Yes	Yes	Digital	Yes	Slow	High	Voltage, Current
Linear Current Control	Yes	No	Digital	Yes	Fast	Medium	Irradiance
MPPT dan V_{MPP} Computation	Yes	Yes	Digital	Yes	N/A	Medium	Irradiance Temperatur
State-Based MPPT	Yes	Yes	Both	Yes	Fast	High	Voltage
OCC MPPT	Yes	No	Both	Yes	Fast	Medium	Current
BC	Yes	No	Both	Yes	N/A	Low	None
LRCM	Yes	No	Digital	No	N/A	High	Voltage, Current
Fuzzy Logic Control	Yes	Yes	Digital	No	Fast	High	Varies

Tegangan dan arus keluaran dari sel surya mempunyai karakteristik *non-linear*. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik PV module power/voltage/current pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik PV Module Power Voltage/Current

Gambar 2.5 diatas menjelaskan kurva hubungan tegangan dan arus pada modul panel surya yang memiliki daya maksimal 75 Watt pada *Standard Test Conditions* (STC) dengan suhu 25°C (298K) dan radiasi dari matahari di 1000 W/m². Ketika kontroler konvensional bekerja tanpa menggunakan sistem MPPT, itu berarti hanya menghubungkan panel surya langsung menuju ke baterai. Ini memaksa panel surya beroperasi pada tegangan baterai dengan tegangan rata-rata 12V, yang dilihat dari spesifikasi bukan merupakan tegangan operasi ideal panel surya untuk menghasilkan daya

maksimum. Pada grafik tersebut juga dapat dilihat perbandingan antara daya yang dikirim dan tegangan panel surya. Dengan demikian, jika tetap memaksa panel surya 75 Watt untuk bekerja pada *range* tegangan 12 V, maka kontroler konvensional secara tidak langsung membatasi daya yang dihasilkan pada panel surya berkisar 53 Watt [4].

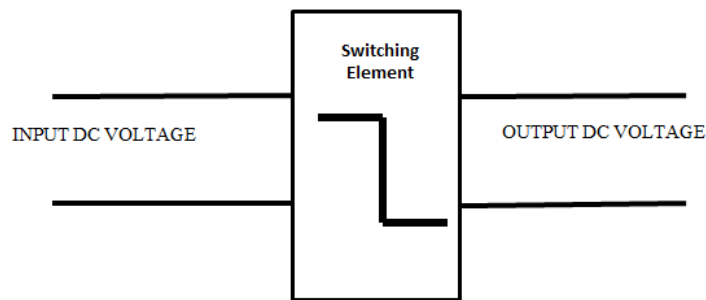
Pada gambar grafik 2.5 yang ditunjukkan diatas, jika dibandingkan dengan menghubungkan panel surya ke sistem MPPT maka akan dapat memberikan tegangan yang dibutuhkan agar bisa menghasilkan daya keluaran yang maksimal sesuai dengan spesifikasi yaitu 75 Watt. Tegangan yang dibutuhkan dapat mencapai daya maksimum panel surya (V_{MP}) berkisar 17 V. Kemudian, sistem MPPT mengoperasikan tegangan pada modul berkisar 17 V agar menghasilkan daya maksimum 75 Watt, akan tetapi tidak mengabaikan tegangan dari baterai. Dibutuhkan *DC-DC converter* untuk mengkonversikan tegangan 17 V modul sebagai input kontroler ke tegangan baterai sebagai output. Jika keseluruhan sistem memiliki nilai efisiensi 100%, maka arus pengisian baterai menjadi $V_{MODULE} \div v_{MODULE} \times I_{MODULE}$, atau $17 V \div 12 V \times 4.45 A = 6.30 A$. Arus pengisian meningkat 1.85 A atau 42% dengan mengumpulkan daya pada modul yang tersisa dari kontroler konvensional dan mengkonversinya menjadi arus pengisian yang berguna [8].

2.4 DC-DC Converter

DC-DC *converter* adalah rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah nilai masukan tegangan dc (searah) menjadi tegangan dc keluaran dengan nilai yang lebih besar atau kecil dari tegangan masukan tanpa mengubah polaritas dari sumbernya. DC-DC *converter* ini memanfaatkan *Charging* dan *discharging* pada induktor, dengan menggunakan metode *switching*. Sistem catu daya yang bekerja dalam mode pensaklaran (*switching*) memiliki efisiensi yang jauh lebih tinggi dari sistem catu daya linear. Oleh sebab itu, hampir semua catu daya yang modern bekerja dalam mode *switching* atau juga dikenal sebagai SMPS (*Switched Mode Power Supply*) [13]. Tegangan masukan dari proses DC-DC *converter* berasal dari sumber tegangan DC yang biasanya memiliki tegangan masukan yang tetap. Pada dasarnya, tegangan keluaran DC yang ingin dicapai merupakan pengaturan lamanya waktu perhubungan antara sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian yang sama.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya tanpa mencantumkan 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 seluruhnya dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.6 DC – DC Konverter [14]

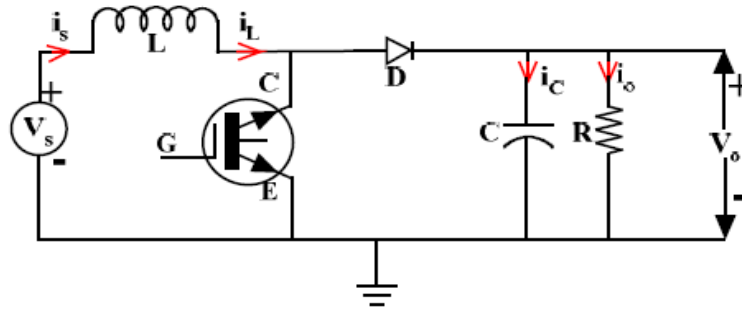
Komponen utama dari sistem catu daya adalah DC-DC konverter yang fungsinya untuk mengkonversikan tegangan bentuk dc (searah) ke nilai dc lainnya. Secara umum, ada tiga macam rangkaian dasar dari konverter DC-DC yaitu, *boost*, *buck* dan *buck boost converter*. Ketiga rangkaian dasar *switching power supply* ini merupakan *non isolated dc-dc converter* dimana masukan dan keluarannya dengan *grounding* yang sama[14].

2.4.1 Boost Converter

Boost converter adalah rangkaian elektronika power yang terdiri dari, diode, induktor, kapasitor dan komponen pensaklaran. *Boost Converter* beroperasi berdasarkan perbandingan sinyal pensaklaran, t_{on} dan t_{off} (waktu hidup dan waktu mati). Perbandingan waktu hidup (t_{on}) dan waktu mati (t_{of}) ini disebut juga dengan *duty cycle*. Ketika *switch* hidup (*on*), energi akan disimpan pada induktor menjadi medan magnet, dan pada saat *switch* mati (*off*), energi yang tersimpan pada induktor diubah lagi menjadi listrik dan didorong oleh tegangan *input* menjadi tegangan *output* sehingga nilainya menjadi lebih besar. *Boost converter* merupakan suatu *DC-DC converter* yang memiliki arus masukan kontinu dan arus keluaran diskontinu [13]. Karakteristik tersebut membuat *boost converter* digunakan untuk sistem kendali MPPT, karena ketika arus terputus dari rangkaian maka tegangan yang terukur akan sama dengan tegangan rangkaian terbuka [15]. *Boost converter* dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya. Rangkaian dari *boost converter* dapat dilihat pada gambar 2.7.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

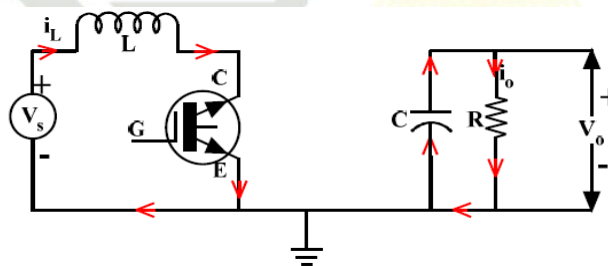
1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



Gambar 2.7 Rangkaian *boost converter* [10]

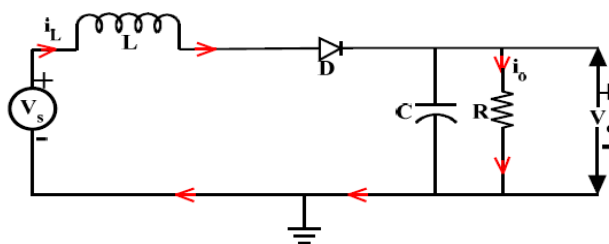
Dalam rangkaian *boost converter power supply* dihubungkan secara seri dengan induktor kemudian transistor terhubung untuk *switching* pasokan arus di induktor. Kapasitor yang terhubung pada beban akan menghasilkan *output*, kemudian *boost converter* akan beroperasi tergantung pada saat *switch on* atau *off*, kemudian blok *diode* akan melakukan fungsi *reverse* (membalikkan) arus ketika *switch* dihidupkan [10]

Ketika *switch* dalam keadaan *ON*, arus akan mengalir dari pasokan ke induktor *L*, dan *diode D* tidak mengalami *reverse bias*, oleh karena itu induktor menyimpan arus. Kemudian arus induktor naik dan kapasitor *C* mempertahankan tegangan V_o dan arus I_o .



Gambar 2.8 Rangkaian *boost converter* pada saat *switch on* [10]

Ketika saklar dalam keadaan *OFF*, induktor menghasilkan tegangan besar untuk mempertahankan arus I_L dalam arah yang sama, dan sekarang dioda *D* mengalami *forward bias*. Diagram rangkaian setara *boost converter* ketika transistor *OFF*, ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 Rangkaian *Boost Converter* pada saat *switch OFF* [10]

Oleh sebab itu, tegangan keluaran dapat dinyatakan sebagai,

$$V_s = V_o + L \frac{di_L}{dt} \quad (2.10)$$

Sehingga tegangan *output* dari *converter* lebih tinggi dari tegangan *supply* V_s atau juga disebut sebagai operasi naik. Tegangan Induksi pada induktor akan menambah tegangan *supply* dan tegangan pada jumlah ini akan muncul sebagai tegangan *output*, dan pada kondisi lainya kapasitor C juga untuk menaikkan tegangan. Induktor dan tegangan *suplay* memberikan energi untuk beban ketika transistor dalam keadaan *OFF*. Arus yang melalui induktor berkurang karena energi yang tersimpan berlansung mengurangi, setelah beberapa waktu transistor aktif kembali dan siklus berulang.

Boost converter dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar. Besaran nilai dari *Duty cycle* dan tegangan *output Boost Converter* berbanding lurus, semakin besar nilai dari *Duty cycle* maka semakin besar pula nilai tegangan *output* [16]. Mode operasi untuk *Boost converter* yang digunakan yaitu *Continuous Conduction Mode (CCM)*. Pada *continuous mode*, arus induktor tidak akan pernah jatuh ke nol dalam semua siklus pansaklaran. *Mode continuous* ini menunjukkan bentuk gelombang dalam keadaan tunak, dimana arus Induktor (I_L), mengalir dengan kontinyu [$i_L(t) > 0$], pada saat *switch ON* menyebabkan tegangan input (V_s), sama dengan tegangan induktor berikut terdapat di tabel 2.2 kondisi keberadaan *buck*, *boost*, dan *buck-boost* beroperasi di CCM, serta tabel 2.3 kontrol PWM dari beberapa konverter beroperasi pada CCM.

Tabel 2.2 kondisi keberadaan *buck*, *boost*, dan *buck-boost* beroperasi di CCM [17]

<i>Buck</i>	$0 < \beta L \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{r_L C} \right) i_c - LC \frac{\alpha_3}{\alpha_2} (V_{ref} - \beta v_0) + \beta v_0 < \beta v_1$
<i>Boost</i>	$0 < \beta L \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{r_L C} \right) i_c - LC \frac{\alpha_3}{\alpha_2} (V_{ref} - \beta v_0) < \beta (v_0 - v_1)$
<i>Buck-Boost</i>	$0 < \beta L \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{r_L C} \right) i_c - LC \frac{\alpha_3}{\alpha_2} (V_{ref} - \beta v_0) < \beta v_0$

Tabel 2.3 Persamaan Kontrol PWM *buck*, *boost*, dan *buck-boost converter* beroperasi di CCIM [17]

Type of converter	V_c	V_{rump}
<i>Buck</i>	$-K_{P1}i_c + K_{P2}(V_{ref} - \beta v_0) + \beta v_0$	βv_1
<i>Boost</i>	$-K_{P1}i_c + K_{P2}(V_{ref} - \beta v_0) + \beta(v_0 - v_1)$	$\beta(v_0 - v_1)$
<i>Buck-Boost converter</i>	$-K_{P1}i_c + K_{P2}(V_{ref} - \beta v_0) + \beta v_0$	βv_0

k_{p1} dan k_{p2} adalah parameter dihitung menggunakan $k_{p1} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{r_L C}$ dan $k_{p2} = LC \frac{\alpha_3}{\alpha_2}$

2.4.2 Penentuan Besarnya L dan C

Pemodelan konverter yang baik memerlukan perhitungan nilai komponen – komponen yang tepat, sebab jika nilai komponen yang digunakan tidak sesuai dengan yang dibutuhkan, maka akan menyebabkan hasil keluaran yang kurang baik, seperti keluaran *ripple* tegangan dan arus yang terlalu besar. Untuk mendesain rangkaian konverter yang dapat memenuhi kriteria tersebut, maka besarnya lebar pulsa, induktor dan kapasitor harus ditentukan. Untuk menentukan nilai komponen-komponen untuk *boost converter* setelah modul surya dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan – persamaan di bawah ini [4]:

1. Perhitungan *Duty Cycle* (D) maksimal dengan persamaan:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D} \tag{2.11}$$

2. Perhitungan nilai Induktor (L)

Jika frekuensi *switching* dipilih pada 25 kHz berada diatas rentang audio, maka induktansi minimum untuk arus kontinyu ditentukan dari persamaan:

$$L = \frac{(1-D)^2}{2f} D x R \tag{2.12}$$

Untuk memberikan batas yang menjamin arus kontinyu, biarkan $L = 120\mu H$ [12].

Perhatikan bahwa L dan f yang telah ditentukan dan kombinasi lainnya juga akan memberikan arus secara terus menerus.

$$I_L = \frac{V}{(1-D)^2(R)} \tag{2.13}$$

$$I_L = \frac{V_S DT}{2L}$$

3. Perhitungan nilai kapasitor (C)

Kapasitansi minimum yang diperlukan untuk membatasi tegangan naik ke 1 persen ditentukan oleh persamaan

$$\begin{aligned}
 &= \frac{D}{R(\Delta V_0/V_0)f} \\
 &= \frac{DV_0}{R(\Delta V_0)f}
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

Sinyal PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah sinyal yang umum digunakan untuk mengontrol daya yang terdapat pada divais elektronik, dan menghasilkan bentuk gelombang kotak yang mempunyai waktu aktif (T_{ON}) dan waktu mati (T_{OFF}) dalam satu periodenya [4]. PWM menggunakan sebuah gelombang persegi panjang yang lebar pulsanya dimodulasi sehingga dapat menghasilkan variasi pada nilai rata – rata gelombang tersebut.

Cara paling sederhana unuk membuat sinyal PWM yaitu dengan metode *Intersective*. Metode *intersective* menggunakan sinyal gigi persegi (*saw tooth*) sebagai gelombang modulasi dan komparator, ketika sinyal dari referensi lebih besar daripada gelombang modulasi, maka sinyal PWM berada pada kondisi *high*, dan sebaliknya ketika sinyal referensi lebih kecil dari pada gelombang modulasi, maka sinyal PWM berada pada kondisi *Low*[9]. Variabel yang menunjukkan perbandingan antara lebar kondisi *high* ialah dengan periode 1 gelombang dan sinyal PWM, disebut dengan *duty cycle* (D).

2.6 Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC)

Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC) adalah teknologi pengendali yang tergolong baru pada sistem kendali. Pengendali FMRLC ini merupakan modifikasi dari metode *fuzzy Logic Control* dan *Model Reference Adaptive Controller*, sehingga modifikasi dua metode ini menghasilkan kontrol FLC yang memiliki sebuah “Sistem Pembelajaran” yang dapat meningkatkan kinerja dari sebuah *plant* atau sistem dari waktu ke waktu dan dapat mempertahankan nilai pada *setpoint* yang diinginkan ketika adanya gangguan (dapat beradaptasi dengan lingkungan). Ada empat bagian utama dalam perancangan sistem FMRLC yaitu, *plant*, *Fuzzy*, model referensi (*model reference*), dan mekanisme pembelajaran (mekanisme adaptasi) [6].

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang
 2. 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.

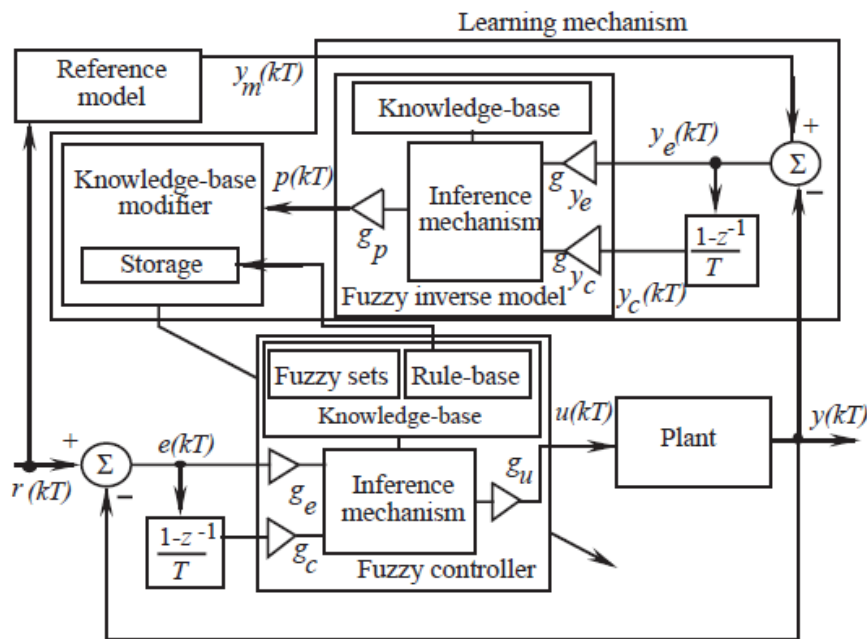
FMRLC merupakan salah satu kelompok kendali cerdas yang bekerja menggunakan logika *fuzzy* yakni logika dengan nilai kebenaran 0 dan 1 serta diperlukan model matematik dari sistem sebagai referensi untuk pengendalian adaptif. Pada FMRLC istilah “*learning*” digunakan sebagai pengganti “*adaptive*” dikarenakan FMRLC ini tidak hanya menyesuaikan parameter *membership function*, tetapi juga mengingat nilai yang telah diatur sebelumnya[18].

Seperti yang dilihat pada gambar 2.10, FMRLC menggunakan mekanisme pembelajaran yang : (i) mengamati data dari sistem control *fuzzy*, Kemudian (ii) mengkarakterisasi kinerjanya saat ini, lalu (iii) secara otomatis akan menyesuaikan pengontrol *fuzzy* terhadap model referensi sehingga beberapa tujuan kinerja yang ditentukan sebelumnya dapat terpenuhi. Tujuan kinerja yang diciri-cirikan tersebut merupakan model referensi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10. Pada penggunaan cara yang analog dengan MRAC konvensional, dimana pengendali konvensional (untuk sistem linier) disesuaikan, mekanisme pembelajaran berupaya untuk menyesuaikan pengontrol *fuzzy* (pengontrol non-linier) sehingga sistem *loop* tertutup menjadi (Peta dari $\underline{y}_r(kT)$ ke $\underline{y}(kT)$) bertindak seperti model referensi yang sudah ditentukan sebelumnya (Peta dari $\underline{y}(kT)$ ke $\underline{y}_m(kT)$). Pendekatan unik dari FMRLC sedikit mirip dengan MRAC, karena dapat mengingat penyesuaian yang telah dibuatnya dan sesuai dengan definisi yang berlaku yaitu “pembelajaran” dan “adaptif”[19]. Fungsional dari diagram blok FMRLC dapat ditunjukkan pada Gambar 2.10 dibawah ini.

- Hala 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. 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.



Gambar 2.10 Diagram Fungsional Pada FMRLC [19]

Teknik kontrol pembelajaran yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 menggunakan metode pembelajaran diantaranya, yang pertama mengamati data dari sistem kontrol fuzzy, kemudian mengkarakterisasi kinerja sistem yang sedang berlangsung, dan secara otomatis menyesuaikan pengendali fuzzy sehingga beberapa tujuan kinerja yang ditentukan sebelumnya terpenuhi. Proses yang ditunjukkan pada Gambar 2.10, diasumsikan r sebagai input yang memiliki vektor dimensi yaitu, $\underline{u}(kT) = [u_1(kT) \dots u_r(kT)]^t$ dimana T adalah sampel perioda. Sedangkan s diasumsikan sebagai output dengan vektor dimensinya yaitu, $\underline{y}(kT) = [y_1(kT) \dots y_s(kT)]^t$.

Peringkali input yang menuju kontroler fuzzy dihasilkan melalui beberapa fungsi linier dari output plant $\underline{y}(kT)$ dan input referensi dari $\underline{y}_r(kT)$. Pada Gambar 2.10 menunjukkan kasus spesial dari peta linier yang banyak ditemukan manfaatnya dalam berbagai aplikasi. Input dari kontroler fuzzy merupakan error dengan persamaan $\underline{e}(kT) = [e_1(kT) \dots e_s(kT)]^t$ dan dengan error perbaikan $\underline{c}(kT) = [c_1(kT) \dots c_s(kT)]^t$ dapat didefinisikan sebagai,

$$\underline{e}(kT) = \underline{y}_r(kT) - \underline{y}(kT)$$

$$\underline{c}(kT) = \frac{\underline{e}(kT) - \underline{e}(kT - T)}{T}$$

Masing-masing dimana $\underline{y}_r(kT) = [y_{r1}(kT) \dots y_{rs}(kT)]$ menunjukkan *output* proses yang diinginkan [19].

Untuk fleksibilitas yang lebih besar dalam implementasi kontroler *fuzzy*, seluruh bidang untuk *input* proses “dinormalisasikan” kedalam interval $[-1 + 1]$ dengan menggunakan faktor penskalaan konstan. Untuk desain kontroler *fuzzy* ini, *gain* $\underline{g}_e, \underline{g}_c$ dan digunakan untuk menormalkan seluruh bidang pada *error* $\underline{e}(kT)$, perbaikan *error* $\underline{c}(kT)$, dan *output* pengontrol $\underline{u}(kT)$ dimana masing-masing (misalkan, $\underline{g}_e = [g_{e1}, \dots, g_{es}]^t$ maka g_{ei} $e_i(kT)$) merupakan input yang diperkecil pada pengontrol *fuzzy* [19].

2.6.1 Fuzzy Logic Controller

Sistem inferensi *fuzzy* merupakan sistem kinerja dari computer yang didasarkan pada konsep teori *fuzzy*, aturan *fuzzy if-then*, dan logika *fuzzy*. Struktur dasar dari sistem inferensi *fuzzy* sendiri terdiri dari :

1. Basis aturan yang berisi aturan *if-then*.
2. Basis data yang mendefinisikan fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy*.
3. Unit pengambilan keputusan yang menyatakan operasi inferensi aturan-aturan.
4. *Fuzzifikasi* yang mentransformasi masukan himpunan klasik (*crisp*) ke derajat tertentu yang sesuai dengan atuan besaran fungsi keanggotaan.
5. *Defuzzifikasi* yang mentransformasikan hasil *fuzzy* ke bentuk keluaran yang klasik.

2.6.1.1 Fungsi Keanggotaan

Dalam penyajiannya, variabel-variabel yang digunakan harus cukup menggambarkan ke-fuzzy-an, tetapi di lain pihak persamaan-persamaan yang dihasilkan dari variabel-variabel itu haruslah cukup sederhana sehingga komputasinya menjadi cukup mudah. Oleh karena itu untuk menyajikannya ditentukan “derajat keanggotaan” (*membership function*) dari masing-masing variabelnya [8].

Fungsi keanggotaan (*membership function*) merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik *input* data kedalam nilai keanggotaanya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan yaitu dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan [8] :

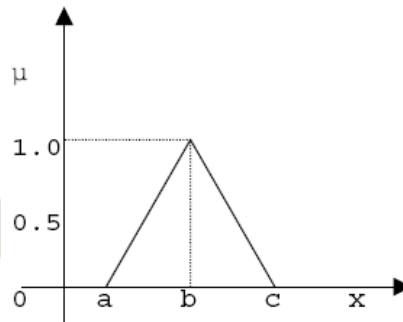
1. Fungsi Keanggotaan Segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga ditandai oleh adanya 3 (tiga) parameter (a, b, c) yang akan menentukan koordinat x dari tiga sudut.

$$\text{Segitiga } (x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & \text{untuk } x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x - a)/(b - a); & \text{untuk } a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b); & \text{untuk } b \leq x \leq c \end{cases}$$

atau sama dengan persamaan berikut :

$$\text{Segitiga } (x, a, b, c) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{b-a}{c-b} \right), 0 \right) \quad (2.15)$$



Gambar 2.11 Fungsi Keanggotaan Segitiga[8].

2. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Fungsi keanggotaan ditandai oleh adanya 4 parameter (a, b, c, d) .

$$\text{Trapesium } (x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0; & \text{untuk } x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x - a)/(b - a); & \text{untuk } a \leq x \leq b \\ 1; & \text{untuk } b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c); & \text{untuk } c \leq x \leq d \end{cases}$$

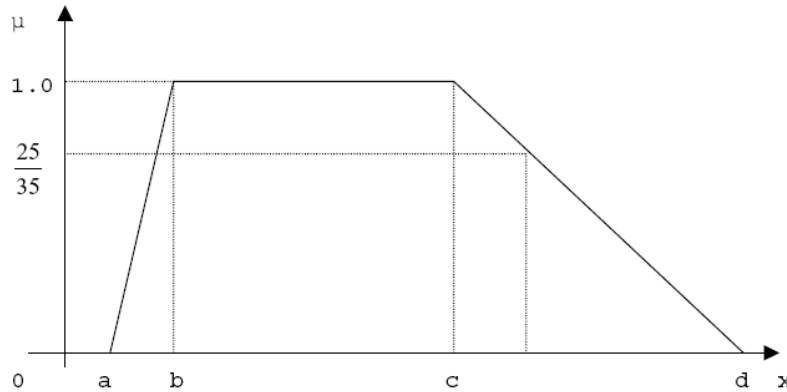
atau sama dengan persamaan berikut :

$$\text{Trapesium } (x, a, b, c, d) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \quad (2.16)$$

- 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 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 2.12 Fungsi Keanggotaan Trapesium [8].

2.6.1.2 Sistem Inferensi Fuzzy

Tahap dari proses perhitungan *Fuzzy* berikutnya adalah tahap penalaran (inferensi). Proses ini berfungsi untuk mencari suatu nilai *Fuzzy* output dari *Fuzzy* input. Prosesnya adalah sebagai berikut: suatu nilai *Fuzzy* input yang berasal dari proses *fuzzification* kemudian dimasukkan ke dalam sebuah *rule* yang telah dibuat untuk dijadikan sebuah *Fuzzy output*.

Dalam proses penalaran ada tiga hal yang akan dilakukan yaitu: mengaplikasikan operator *Fuzzy* (*aggregation*), mengaplikasikan metode implikasi, dan komposisi semua *output*. Ada beberapa metode dalam penalaan kontroler *fuzzy*, yang digunakan pada penelitian ini adalah metode mamdani [20].

1. Metode Mamdani

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama Metode *Max-Min*. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan *output*, diperlukan 4 tahapan [20]:

Pembentukan himpunan fuzzy

Pada Metode Mamdani, baik variabel *input* maupun *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.

Aplikasi fungsi implikasi

Pada Metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah *Min*.

Komposisi Aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri-dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3

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.

metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu: *max*, *additive* dan probabilitik OR (probor).

a. Metode *Max (Maximum)*

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR (*union*). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka *output* akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dapat dituliskan :

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \quad (2.17)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-*i*;

b. Metode *Additive (Sum)*

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \min(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) \quad (2.18)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-*i*;

c. Metode Probabilistik *OR* (probor)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan :

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow (\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i]) \quad (2.19)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-*i*;

4. *Defuzzy* (Penegasan)

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output*.

2.6.1.3 **Rule Base**

Rule Based System adalah sistem yang berupa cara untuk menyimpan dan memanipulasi pengetahuan agar dapat diwujudkan dalam suatu informasi yang membantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan atau sering juga didefinisikan sebagai suatu sistem pakar yang menggunakan aturan-aturan untuk menjelaskan pengetahuannya. Sistem berbasis aturan adalah suatu perangkat lunak yang menyajikan keahlian pakar dalam bentuk aturan-aturan pada domain tertentu untuk menyelesaikan suatu permasalahan.

Rule based system sering digunakan dalam pembuatan aplikasi kecerdasan buatan dan penelitian, karena *rule base* merupakan aturan dasar yang dibuat berdasarkan kebutuhan manusia dan dikombinasikan dengan algoritma yang sudah ditemukan seperti *Fuzzy*. Pada kombinasi ini memungkinkan penggunaan aturan linguistik untuk menjelaskan hubungan antara parameter *input* dengan *output* yang diharapkan dari sistem yang dibangun. Salah satu cara untuk merepresentasikan pengetahuan dalam bahasa semi natural pada *Fuzzy Rule-Based System* adalah dengan memakai bentuk [21]:

IF premis **THEN** konklusi

Bentuk *IF-THEN* tersebut sering kali disebut sebagai bentuk berbasis aturan. Apa bila aturan yang dipakai merupakan aturan *Fuzzy*, maka dapat dituliskan sebagai

IF X is A **THEN** Y is B

Dengan A dan B adalah himpunan *Fuzzy*. Dalam contoh diatas bagian premis adalah X is A dan bagian konklusi adalah Y is B.

Komponen utama dalam sistem berbasis aturan *Fuzzy* terdiri dari 4 yaitu:

1. *Fuzzification* berfungsi untuk mengubah masukan-masukan yang nilai sebenarnya bersifat pasti (*crisp input*) ke dalam bentuk *Fuzzy*.
2. *Input*, merupakan nilai linguistik yang ditentukan berdasarkan fungsi keanggotaan tertentu.

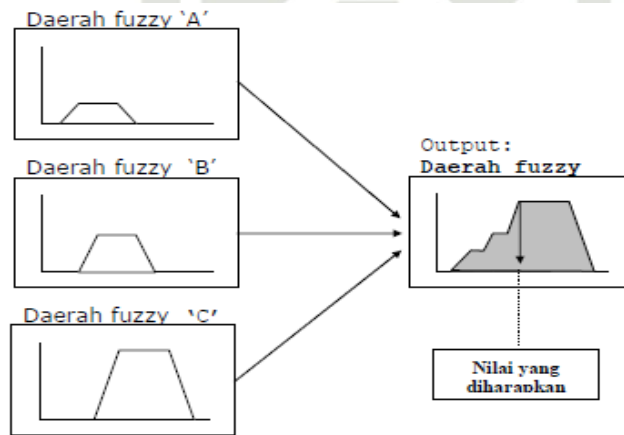
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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. *Inference* akan melakukan penalaran menggunakan *Fuzzy input* dan *Fuzzy Rules* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan *Fuzzy output*.
4. *Defuzzification* mengubah *Fuzzy output* menjadi *crisp value* berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan.

2.6.1.4 Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi yaitu suatu himpunan fuzzy yang dapat diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu himpunan pada domain himpunan fuzzy tersebut [20]. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output* seperti terlihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Proses Defuzzifikasi

2.6.2 Model Reference

Model Reference Adaptive Control (MRAC) merupakan salah satu skema kendali adaptif yang dimana performansi keluaran sistem (proses) mengikuti performansi keluaran model referensinya dan parameter-pengendali dapat diatur melalui mekanisme pengaturan yang didasarkan pada *error* yang merupakan selisih antara keluaran *plant* dengan keluaran model referensi. Pengendali adaptif ini mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan nya untuk dapat menjaga kestabilan dari sistem.

Model referensi mempunyai kemampuan untuk mengatur suatu kinerja proses yang diinginkan. Pada umumnya, model referensi ini berupa semua jenis sistem dinamik (*linear* atau *non-linear*, *time invariant* atau waktu yang bervariasi, waktu diskrit, kontinu, dll).

Kinerja dari keseluruhan sistem dihitung dengan menggunakan model referensi yang menghasilkan sinyal $error \underline{y}_e(kT) = [\underline{y}_{e1} \dots \underline{y}_{es}]^t$ dimana [19],

$$\underline{y}_e(kT) = \underline{y}_m(kT) - \underline{y}(kT)$$

Model referensi memiliki ciri kriteria desain seperti stabilitas, *rise time*, *overshoot*, *settling time*, dan lain sebagainya. *Input* pada model referensi merupakan input referensi $\underline{y}_m(kT)$, kinerja yang diinginkan (*setpoint*) dari proses yang dikontrol akan terpenuhi jika “*learning mechanism*” atau “sistem pembelajaran” mengendalikan $\underline{y}_e(kT)$ tetap sangat kecil ketika proses sedang berlangsung. Oleh sebab itu, *error* $\underline{y}_e(kT)$ akan memberikan karakterisasi sejauh mana kinerja yang diinginkan akan terpenuhi pada waktu $t = kT$. Jika kinerja yang diinginkan terpenuhi ($\underline{y}_e(kT) \approx 0$), maka “*learning mechanism*” tidak akan membuat perubahan yang signifikan pada kontroler *fuzzy*. Pada kondisi yang lainnya, jika $\underline{y}_e(kT)$ memiliki nilai yang besar dan nilai *setpoint* yang diinginkan tidak tercapai, maka “*learning mechanism*” harus menyesuaikan kontroler *fuzzy* [19].

2.6.3 Learning Mechanism (Mekanisme Pembelajaran)

Learning mechanism atau sistem pembelajaran merupakan sistem yang melakukan fungsi modifikasi *knowledge-base* pada pengontrol *fuzzy* langsung sehingga sistem *close-loop* berperilaku seperti model referensi. Modifikasi pada *knowledge-base* ini dibuat berdasarkan data dari proses yang dikendalikan, model referensi, dan pengendali *fuzzy*. Mekanisme pembelajaran atau *learning mechanism* memiliki dua bagian yaitu, *fuzzy inverse model* dan *knowledge-base*. *Fuzzy inverse model* dapat melakukan fungsi perubahan pemetaan yang diperlukan dalam proses *output* seperti yang dinyatakan oleh $\underline{y}_e(kT)$ untuk perubahan relatif dalam memproses *input* (dilambangkan dengan $\underline{p} = [p_1 \dots p_n]^t$) diperlukan untuk mencapai perubahan *output* pada proses ini. Pengubah *knowledge-base* melakukan fungsi modifikasi *knowledge-base* pada kontroler *fuzzy* untuk mempengaruhi perubahan yang diperlukan dalam *input* proses. Penjelasan mengenai *fuzzy inverse model* dan *knowledge-base* akan dibahas lebih spesifik selanjutnya[19].



2.6.3.1 Fuzzy Inverse Model

Fuzzy Inverse Model merupakan pengendali yang menyerupai pengendali *fuzzy* biasa, hanya saja pada hasil keluaran sistem *fuzzy inverse model* ini akan menjadi variabel yang mengubah *rule* dari kontrol *fuzzy* yang digunakan pada sistem FMRLC. *Fuzzy Inverse Model* yang dirancang memiliki dua *input*, yaitu $y_e(kT)$ yang merupakan *error* selisih dari *output plant* dan *output model reference*, dan $y_c(kT)$ yang merupakan perubahan *error* dari $y_e(kT)$. Perancangan *fuzzy Inverse Model* memiliki struktur yang sama dengan kendali *fuzzy* yang digunakan sebagai kontroler [5].

Fuzzy Inverse Model dikembangkan dengan menyelidiki metode untuk meringankan masalah dengan menggunakan model proses *invers* dalam kerangka SOC *linguistik* procyk dan Mamdani[19]. Penggunaan procyk dan mamdani dari model proses *inverse* bergantung pada penggunaan model matematika eksplisit proses dan asumsi terakhir tentang proses fisik yang mendasarinya. Ketergantungan dalam menggunakan model matematika pada proses sering menyebabkan kesulitan yang signifikan dalam menerapkan pendekatan procyk dan mamdani (misalnya, memaksa untuk mengasumsikan bahwa *plant* akan bertindak seperti *gain* yang konstan (matriks), dan berharap bahwa mekanisme adaptasi dapat mengimbangi ketidakakuratan ini).

Array basis aturan tipikal yang dapat digunakan dalam model *invers fuzzy* untuk proses SISO adalah ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini (ini dan model *invers fuzzy* lainnya digunakan dalam aplikasi) di mana Y_j dan Y_{kc} menunjukkan set *fuzzy* yang terkait dengan $k_u(kT)$ dan $y_c(kT)$, masing-masing, dan P_j , k saya menunjukkan *fuzzy* menetapkan kuantifikasi p_i perubahan input proses yang diinginkan (kT). Perhatikan bahwa tubuh Tabel 1 mencantumkan pusat nilai untuk fungsi keanggotaan cembung, simetris dan normal yang didefinisikan pada semesta wacana dinormalisasi ke $[-1, 1]$.

Array basis aturan model *fuzzy* terbalik yang ditunjukkan pada Tabel 1 dirancang untuk mengambil keuntungan dari "redaman" fitur yang dijelaskan di atas. Misalnya, perhatikan kasus di mana $k_u(kT) = 0$ yang paling berkarakter oleh *fuzzy* set Y_j di mana $j = 0$ karena ini mencirikan kasus di mana $k_u(kT)$ kecil. Perubahan terbaik di $y_e(kT)$, adalah $y_c(kT) = 0$ yang ditandai dengan cara yang sama oleh Y_{kc} dimana $k = 0$. Titik nol ini (mis., p_i pusat Tabel 1, $j = k = 0$) merupakan titik di mana model *invers fuzzy* menunjukkan bahwa tidak ada perubahan input diperlukan untuk memaksa $y(kT) = y_m(kT)$ karena kesetaraan ini sudah tercapai. Jika untuk beberapa waktu k , k_u kami memiliki $j = 0$ tetapi $k = -2$ (yaitu, saat ini $y(kT)$ dekat dengan $y_m(kT)$ tetapi $y(kT)$ meningkat di



atas y_m (kT) maka Tabel 1 menunjukkan bahwa untuk P_j , k , i , pusat dari himpunan fuzzy adalah pada -0.4 yang mencirikan fakta bahwa kenaikan negatif harus ditambahkan ke input proses untuk memastikan bahwa Anda tidak akan terus meningkat (mis., sehingga kami mempertahankan y_{ei} kecil). Pernyataan serupa berlaku untuk elemen yang tersisa di

Penting untuk dicatat bahwa: (i) pengembangan model invers fuzzy tidak tergantung pada keberadaan dan spesifikasi model matematika tanaman atau kebalikannya (mis., kebalikan tanaman tidak perlu ada), (ii) model invers fuzzy tidak harus bingung dengan model matematika invers dari tanaman yang kadang-kadang digunakan dalam kontrol tetap (mis., non-adaptif) di mana controller tidak memiliki kemampuan untuk mensintesis dirinya sendiri atau auto-tune dalam menanggapi perubahan parameter tanaman, dan (iii) sementara diskusi di atas menyediakan beberapa pedoman umum untuk konstruksi model invers fuzzy, dan aplikasi dalam Bagian III menunjukkan bagaimana membangunnya untuk masalah kontrol kecepatan roket dengan parameter yang bervariasi waktu dan masalah kontrol robot multi-input multi-output, jika pabrik sangat kompleks maka kadang-kadang bisa sulit untuk menentukan model invers fuzzy.

2.6.3.2 Knowledge-Base Modifier

Pengubah basis pengetahuan yang disajikan selanjutnya tumbuh dari pekerjaan yang berfokus pada peningkatan basis pengetahuan pendekatan modifikasi untuk SOC linguistik [7]. Dalam kerangka kerja SOC linguistik, basis pengetahuan modifikasi dilakukan pada hubungan fuzzy keseluruhan ($R_n = j, \dots, k, l, \dots, m$; $R_j = \dots, k, l, \dots, mn$) digunakan untuk mengimplementasikan pengontrol fuzzy. Namun, metode modifikasi basis pengetahuan ini dapat menjadi kompleks secara komputasi karena fakta bahwa R_n umumnya array yang sangat besar. Di sini kami menggunakan algoritma modifikasi basis pengetahuan yang meningkatkan efisiensi komputasi dengan memodifikasi fungsi keanggotaan set fuzzy konsekuen $U_j, \dots, k, l, \dots, m$ daripada array hubungan fuzzy R_n [19].

Pengubah basis pengetahuan melakukan fungsi memodifikasi pengontrol fuzzy sehingga lebih baik kinerja tercapai. Mengingat informasi tentang perubahan yang diperlukan dalam input seperti yang diungkapkan oleh vektor p (kT) dari model invers fuzzy, pengubah basis pengetahuan mengubah basis pengetahuan kontroler fuzzy sehingga tindakan kontrol yang diterapkan sebelumnya akan dimodifikasi oleh jumlah p (kT). Oleh

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.

karena itu, pertimbangkan tindakan kontrol yang dikomputasi sebelumnya, yang berkontribusi pada baik / buruknya saat ini kinerja sistem. Perhatikan bahwa $e(kT - T)$ dan $u(kT - T)$ merupakan kesalahan proses dan berubah kesalahan, masing-masing, pada waktu itu. Demikian juga, $u(kT - T)$ akan menjadi output pengontrol pada saat itu. 8

keluaran pengontrol yang diinginkan diungkapkan oleh:
Selanjutnya kita akan menunjukkan bahwa dengan memodifikasi basis pengetahuan kontroler fuzzy kita dapat memaksa kontroler fuzzy untuk menghasilkan output yang diinginkan ini diberikan input pengontrol yang serupa.

Sebagai contoh prosedur modifikasi basis pengetahuan, Tabel 2 menunjukkan array basis pengetahuan tabel di mana entri menunjukkan nilai pusat fungsi keanggotaan simetris yang terkait dengan set fuzzy tersirat U_j , k didefinisikan pada semesta diskursus yang dinormalisasi (dinormalisasi menjadi $[1, 1]$). Mengingat bahwa kontroler fuzzy menggunakan tabel array basis pengetahuan yang mirip dengan Tabel 2, proses basis pengetahuan modifikasi direduksi menjadi algoritma dua langkah sederhana yang dinyatakan di bawah ini [19]:

1. Tentukan implikasi fuzzy mana dalam tabel array basis pengetahuan yang berkontribusi pada sebelumnya input yang diterapkan. Dengan kata lain, tentukan implikasi fuzzy yang memiliki elemen premis tingkat aktivasi di atas nol (mis., aturannya adalah "aktif" - himpunan fuzzy tersirat tidak nol).
2. Ubah entri dalam array basis pengetahuan untuk implikasi fuzzy tersebut.

2.7 MATLAB

MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan sebuah program untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, MATLAB juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks.



Gambar 2.14 Ikon Matlab

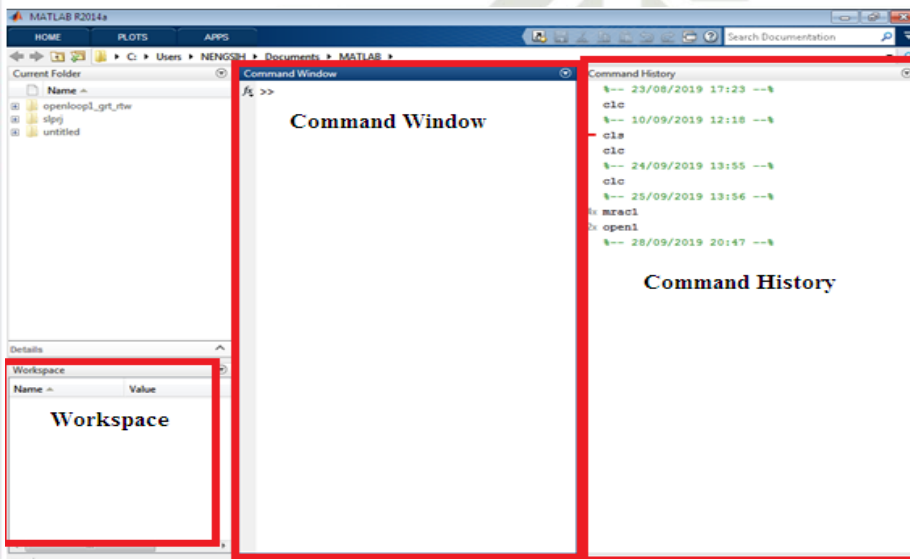
Sumber: www.mathworks.com

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

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

MATLAB merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *The Mathwork Inc* pada tahun 1970. Aplikasi ini banyak digunakan dalam bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik dengan tampilan perhitungan dalam bentuk *plot* grafik. Pada perangkat lunak Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu :

1. *Command window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Command history* berfungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat kembali.
3. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

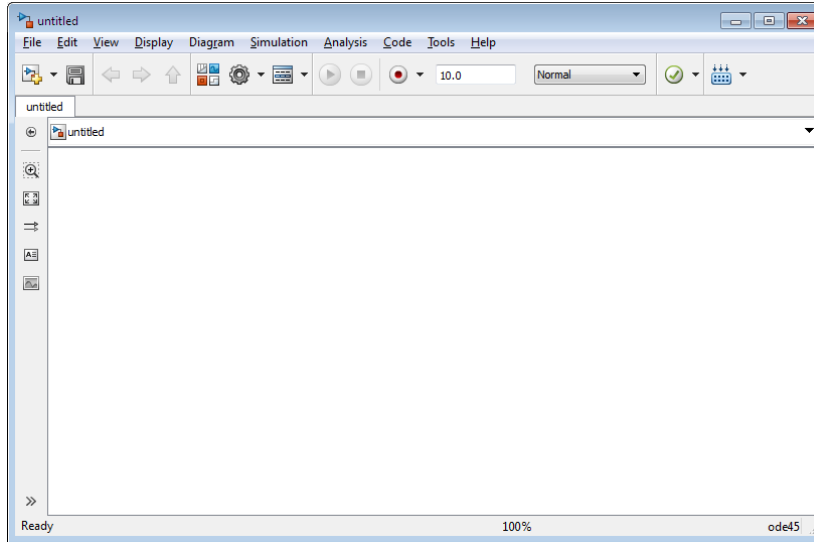


Gambar 2.15 Bagian *Window* Matlab

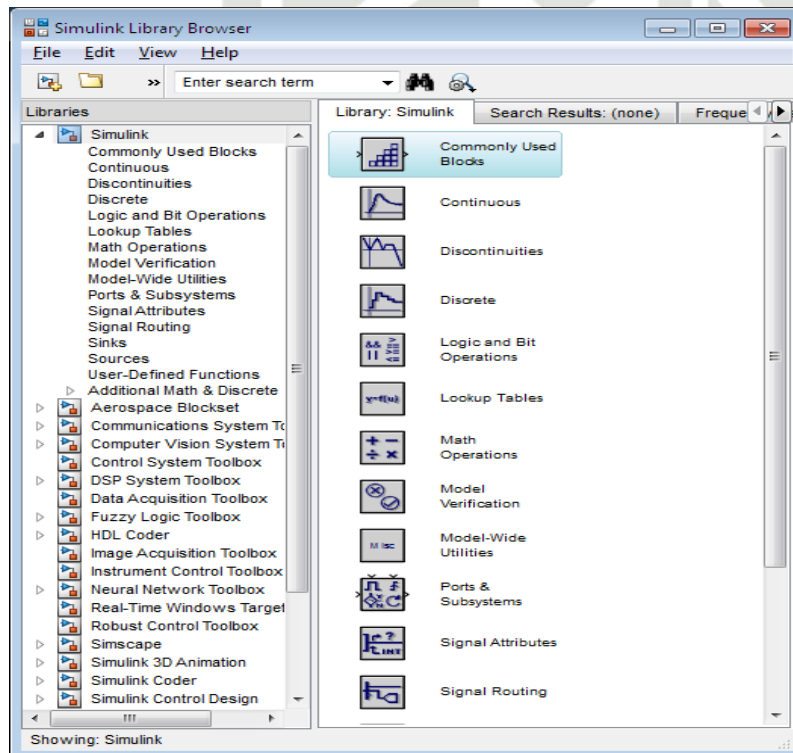
Simulink adalah sebuah kumpulan aplikasi dalam Matlab untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Program *simulink* mempermudah *user* untuk membuat suatu simulasi lebih interaktif. *Simulink* dalam aplikasi Matlab juga dapat menunjukkan performansi sistem dalam bentuk dua ataupun tiga dimensi. Dalam perancangan *user* menjadi mudah karena adanya blok-blok diagram yang dapat dengan mudah diatur sedemikian rupa, sesuai dengan model matematis dari sistem atau *plant* yang akan dikendalikan.

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.



Gambar 2.16 Tampilan model *simulink* pada Matlab



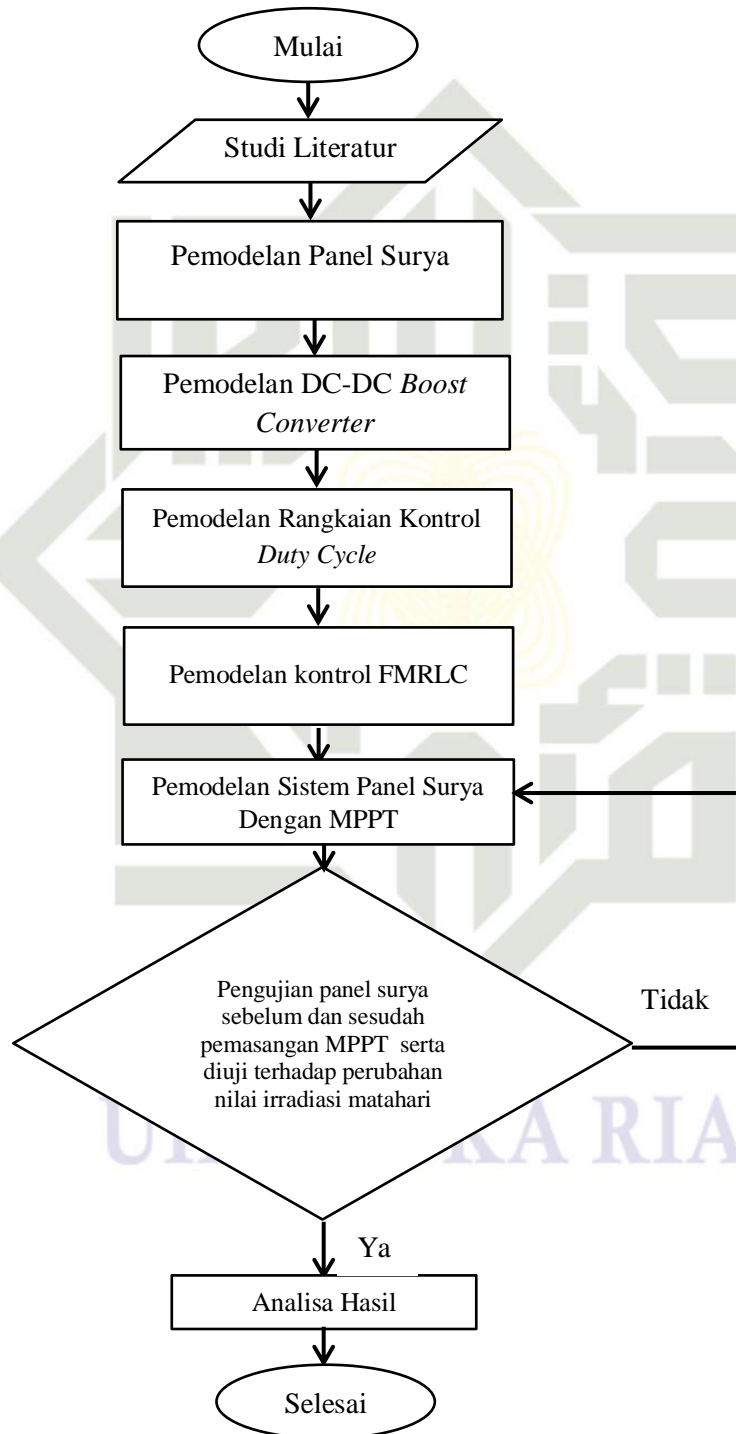
Gambar 2.17 Kotak dialog *simulink library*

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 III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi dari penelitian ini dibuat dalam bentuk *flowchart* (Diagram Alur) seperti tampak dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahap Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan, maka adapun tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu:

1. Studi literatur

Melakukan pengkajian beberapa rujukan terkait, baik dari artikel, jurnal-jurnal penelitian yang telah dipublikasikan, *ebook* maupun buku yang telah diterbitkan meliputi pemahaman tentang karakteristik panel surya dalam kurva I-V dan P-V, *DC-DC Boost Converter*, algoritma MPPT, *Pulse Width modulation*, *Duty Cycle*, Desain *Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC)*, dan pemodelan sistem pada MPPT.

2. Pemodelan Panel Surya

Membuat pemodelan pada panel surya berdasarkan spesifikasi modul panel surya yang digunakan digunakan yaitu BP SX-3190. Pada Matlab R2016b, blok untuk modul PV sudah tersedia beserta parameter-parameter yang ada didalamnya. Kita hanya perlu memasukkan nilai iradiasi matahari dan suhu permukaan yang dibutuhkan, kemudian terdiri dari berapa panel dan *string* yang ingin disimulasikan. Kita juga dapat melihat plot/kurva karakteristik dari pv, baik itu karakteristik I-V dan juga karakteristik P-V. Berdasarkan kurva karakteristik tadi, kita dapat menentukan daya ideal (daya maksimum) yang harusnya dikeluarkan oleh pv yang kita modelkan.

3. Pemodelan DC-DC Boost Converter

Membuat pemodelan pada *Boost Converter* agar nantinya dapat mengatur tegangan masukan yang akan berpengaruh pada daya keluaran konverter jika terjadi perubahan *iradiasi* matahari dan suhu, sehingga daya keluaran pada panel surya dapat mencapai nilai maksimal.

4. Pemodelan Rangkaian *Duty Cycle*

Blok rangkaian pada PWM dirancang untuk menghasilkan sinyal PWM yang dibutuhkan pada rangkaian *Boost Converter*. Keluaran dari blok PWM merupakan kondisi *High* dan *Low* yang memiliki proporsi tertentu setiap periode. Variabel yang menunjukkan lebar kondisi *High* dalam satu periode disebut dengan *duty cycle (D)*, oleh karena itu input pada blok pembuat sinyal PWM yang dibangun adalah *duty cycle*.

3.1 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.

Pemodelan Kontrol Logika FMRLC

Algoritma MPPT yang diterapkan dalam sistem adalah FMRLC, yang harus dilakukan yaitu menentukan fungsi keanggotaan *error fuzzy* dan $\Delta error fuzzy$ sebagai masukan dalam sistem, setelah itu dibuat *rule-base* (aturan dasar) sesuai dengan teori pada *boost converter* lalu melakukan fungsi defuzifikasi sehingga didapatkan persamaan dari fungsi konsekuensi. Selanjutnya adalah menentukan model referensi sistem MPPT, dimana persamaan yang digunakan merupakan persamaan *close-loop* dalam fungsi *laplace* orde satu. Kemudian ditentukan nilai *fuzzy inverse model* yang variabel keluarannya akan digunakan sebagai *rule* pada pengendali FMRLC. Setelah itu, menentukan *knowledge-base modifier* agar dapat menghilangkan *error output proses* dan *output* model.

Pemodelan Sistem *Photovoltaic* Dengan MPPT

Penggabungan seluruh *subsystem* menjadi suatu sistem MPPT yang terhubung pada komponen yang lainnya. Kemudian data yang akan diamati adalah besaran nilai tegangan dan arus keluaran dari panel surya untuk menentukan nilai *duty cycle* melalui kontrol FMRLC agar dapat mengontrol *boost converter* dengan tepat.

Pengujian Pada Panel Surya Sebelum dan Sesudah Pemasangan Sistem MPPT Terhadap Perubahan Iradiasi Matahari dan Suhu Permukaan panel surya.

Pengujian dilakukan pada modul panel surya sebelum dan sesudah pemasangan sistem MPPT dan kemudian diuji terhadap perubahan set point naik dan set point turun agar terlihat karakteristik sistem apakah dapat mengikuti daya ideal yang harusnya dikeluarkan oleh PV. Dari pengujian akan didasarkan pada respon waktu transien terhadap model referensi yang diberikan. Kemudian akan dicari besaran nilai efisiensi yang dikeluarkan oleh sistem setelah pemasangan MPPT.

Analisa Hasil

Melakukan analisa hasil pengujian terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Apabila hasil telah memenuhi tujuan yang disebutkan diawal maka penelitian ini telah tercapai, dan apabila belum memenuhi tujuan dari penelitian maka desain sistem akan dikaji lebih lanjut.

Kesimpulan

Jika hasil evaluasi menunjukkan hasil tujuan telah tercapai, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah penelitian yang dilakukan telah selesai dilaksanakan dan dapat memenuhi tujuan penelitian.

5. 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.

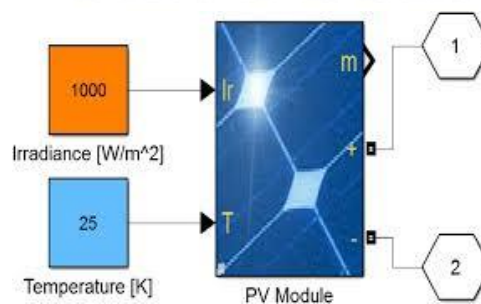
Pemodelan Panel Surya

Pemodelan pada panel surya akan didasarkan pada spesifikasi modul pv yang digunakan, yaitu modul BP SX-3190 dengan daya keluaran maksimum 190 Watt. Pada penelitian ini menggunakan aplikasi Matlab R2016b, dimana *block* pv sudah tersedia dan beberapa parameter didalamnya sudah di inputkan. Berikut spesifikasi modul PV tipe BP SX-3190 :

Tabel 3.1 Parameter Panel Surya BP SX-3190 [4]

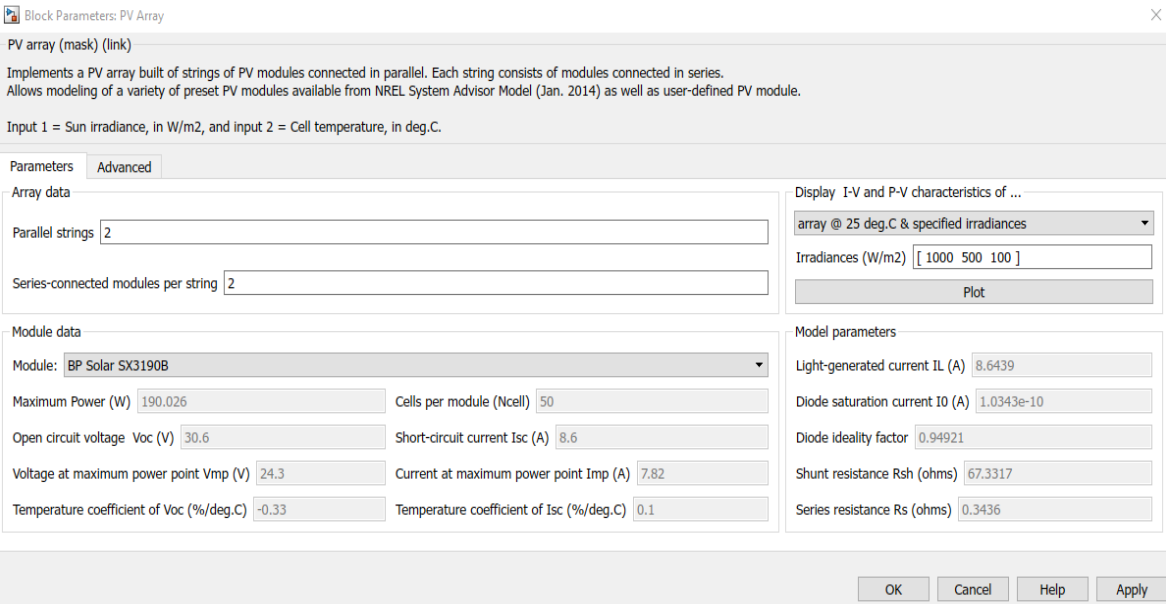
Electrical Characteristics	Parameter Value
Maximum Power (P_{Max})	190 W
Voltage at P_{max} (V_{MP})	24.3 V
Current at P_{max} (I_{MP})	7.82 A
Warranted Minimum P_{max}	172.9 W
Short Circuit Current I_{sc}	8.5 A
Open Circuit Voltage (V_{oc})	30.6 V
NOCT (Air 20°C; sun 0.8KW/m ² ; wind 1 m/s)	47 ±2°C
Maximum series fuse rating	15 A
Solar Cell	50 Cells

Berdasarkan parameter di atas, *block* diagram pv tipe BP SX-3190 pada matlab sudah tersedia dan siap untuk digunakan. Kita hanya tinggal memasukkan jumlah panel yang ingin kita gunakan. Pada penelitian kali ini, saya menggunakan 2 *series modul* dan 2 *parallel string* yang berarti ada 4 modul pv yang digunakan pada penelitian ini. Berikut blok diagram PV yang terdapat pada Matlab R2016b.



Gambar 3.2 Blok PV pada Matlab R2016b

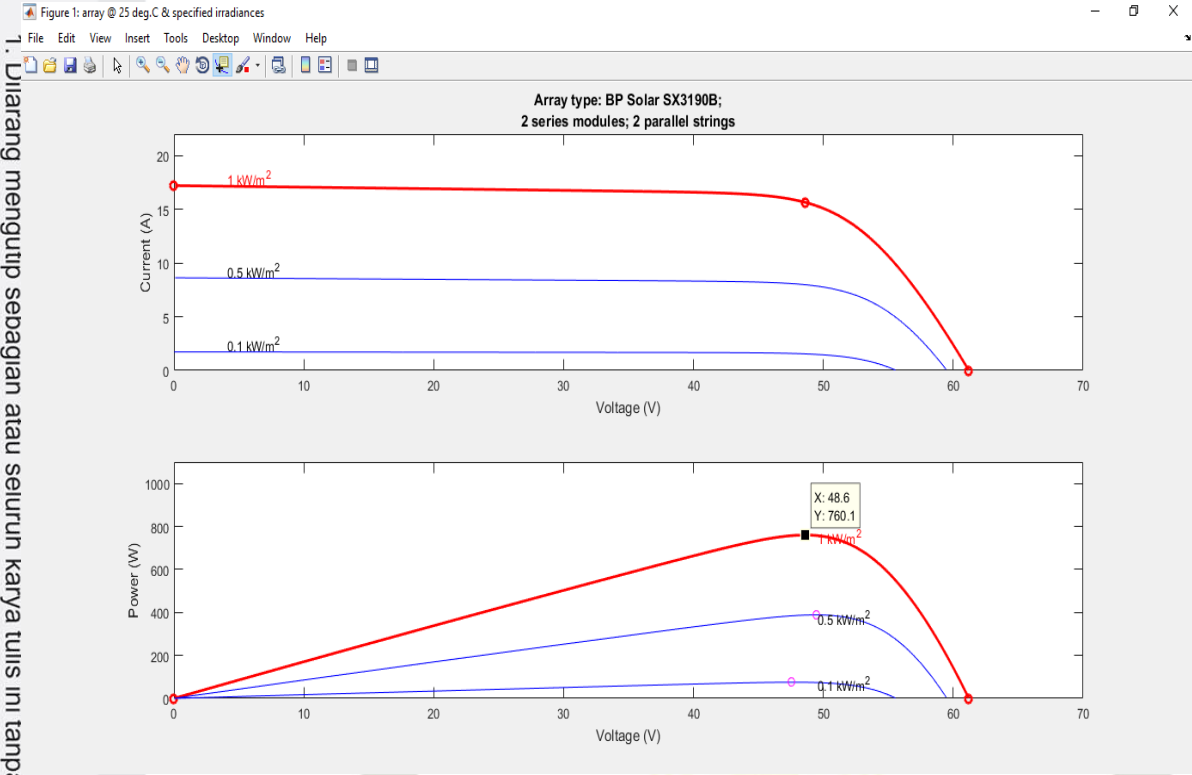
Input pada panel surya adalah berupa iradiasi matahari dan suhu permukaan pada panel surya itu sendiri. Sedangkan **output** pada panel surya merupakan tegangan DC berdasarkan iradiasi dan suhu dari matahari. **Output** pada PV ini yang nantinya akan menjadi masukan pada sistem MPPT untuk menghasilkan daya keluaran maksimum. Berikut **block** parameter dari PV yang digunakan.



Gambar 3.3 *Block parameters* Modul BP SX-3190 pada Matlab R2016b

Parameter yang ada pada table 3.1 sudah dimasukkan pada **block** diatas seperti nilai daya maksimum, *open circuit voltage*, *cells per module*, *short circuit current* dsb. Nilai *parallel string* dan *series connected modul per string* adalah 2, jadi jumlah panel yang digunakan sebanyak 4 panel surya dengan daya maksimum masing-masing panel surya yaitu 190 watt. Jadi dengan menggunakan 4 panel surya dapat menghasilkan daya maksimum ± 760 Watt. Kita dapat melihat daya ideal (daya maksimum) yang seharusnya dikeluarkan oleh PV melalui *display curve characteristic* I-V dan P-V pada pojok kanan atas. Pada penelitian kali ini saya menggunakan iradiasi yang bervariasi yaitu 1000 W/m^2 , 500 W/m^2 , 100 W/m^2 dengan suhu yang konstan sebesar 25°C . Berikut kurva karakteristik yang dihasilkan pada sistem tersebut.

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



Gambar 3.4 Plot Kurva Karakteristik I-V dan P-V Modul BP SX 3190

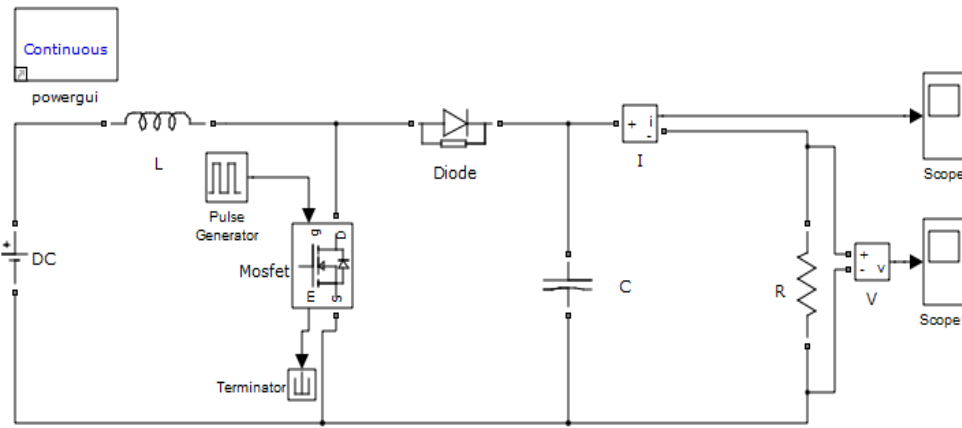
Pada kurva karakteristik diatas daya keluaran dipengaruhi oleh iradiasi matahari sedangkan suhu permukaan pada permukaan sel surya bernilai konstan yaitu 25°C . Secara umum terdapat titik-titik yang unik pada kurva $I-V$ atau kurva $V-P$, yang dinamakan *Maximum Power Point* (MPP). Dimana pada titik tersebut, sel surya menghasilkan daya keluaran paling besar. Pada kurva karakteristik P-V terlihat daya maksimal yang seharusnya dikeluarkan pada panel surya pada iradiasi 1000 W/m^2 dan suhu 25°C dengan 2 *series module* dan 2 *parallel string* adalah 760,1 Watt.

Pada pengaplikasian panel surya tanpa menggunakan sistem MPPT akan menghasilkan efisiensi yang rendah. Hal ini diakibatkan oleh karakteristik panel surya bersifat *non linear*, sehingga daya keluaran pada sistem yang tidak menggunakan MPPT tidak dapat mencapai daya ideal/daya maksimum (P_{MPP}).

3.3 Pemodelan Boost Converter

Rangkaian *boost converter* digunakan untuk menaikkan *level* tegangan *dc* ke *level* tegangan *dc* tertentu dengan mengontrol *duty cycle* pada *switch*nya. Panel surya dihubungkan dengan rangkaian *boost converter* agar tegangan panel surya dapat dikontrol. Pada matlab simulink komponen-komponen utama penyusun *boost converter* ialah seperti induktor, kapasitor, diode, mosfet dan resistor.

Dalam merancang sebuah *boost converter* dibutuhkan parameter-parameter untuk menentukan besar hambatan, induktansi dan kapasitor yang akan digunakan. Parameter tersebut disesuaikan dengan spesifikasi dari modul panel surya, *boost converter* yang dimodelkan adalah konverter yang dapat menaikkan tegangan dari 5 - 21 V ke 40 V.



Gambar 3.5 Rangkaian simulasi *Boost Converter*

untuk lebih jelasnya di bawah ini dijelaskan perhitungannya. Parameter dari *boost converter* adalah sebagai berikut :

Nilai – nilai yang sudah ditentukan:

Tegangan masukan (V_i)	: 5 V-78 V
Tegangan keluaran (V_o)	: 130 V
Frekuensi (f_s)	: 25 kHz
Ripple tegangan keluaran	: 1 %
Ripple arus keluaran	: 5 %

Pemodelan *boost converter* diawali dengan perhitungan *duty cycle* (D) maksimal dengan persamaan yang telah di jelaskan pada bab 2 sebelumnya yaitu persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D}$$

$$\frac{130V}{78V} = \frac{1}{1-D}$$

$$130 - 130D = 78$$

$$130 - 78 = 130D$$

$$52 = 130D$$

- 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.

$$D = \frac{52}{130} = 0,4$$

Nilai batasan maksimum pada *duty cycle* adalah sebesar 0.4, maka kita dapat menggunakan *range* 0-0.4 untuk menentukan *rule base* pada *fuzzy controller*. Nilai resistor, induktor dan kapasitor pada rangkaian *boost converter* ditentukan berdasarkan masukan dan tegangan keluaran yang diinginkan. Untuk menentukan nilai induktor, efisiensi *converter* dianggap 100% dan tegangan keluaran dianggap konstan. Pada saat modul *photovoltaic* bekerja pada daya maksimum yaitu 1000 Watt, maka arus keluaran dapat dihitung dengan persamaan yang dijelaskan pada persamaan 2.9 di bab 2 sebelumnya.

$$I_o = \frac{P_o}{V_o} = \frac{1000 \text{ Watt}}{110 \text{ Volt}} = 9 \text{ Ampere}$$

Tahanan beban pada saat daya maksimum ditunjukkan pada Pers 2.7

$$V_o = I_o \times R$$

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{110 \text{ Volt}}{9 \text{ Ampere}} = 12,22\Omega \approx 12\Omega$$

Menentukan nilai induktor:

$$L = \frac{(1-D)^2}{2f} D \times R$$

$$L = \frac{(1-0.4)^2}{2 \times 25 \times 10^3} 0.4 \times 12 = 34,56\mu H$$

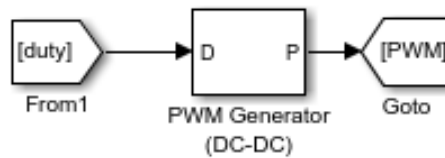
Pemilihan kapasitor menentukan besar kecilnya tegangan *ripple* pada tegangan keluaran. Tegangan *ripple* yang dikehendaki dalam perancangan *boost converter* sebesar 10mV, sehingga nilai kapasitor dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.14 pada bab 2 sebelumnya dengan perhitungan sebagai berikut:

$$C = \frac{DxV_o}{Rx(\Delta V_o)xf} = \frac{0.4 \times 130}{12 \times 10 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^3} = 17.3 \text{ mF}$$

Pemodelan Rangkaian Kontrol *Duty Cycle Converter*

Cara paling sederhana untuk membuat sinyal PWM adalah dengan metode *intersective*. Metode *intersective* menggunakan sinyal gigi gergaji (*saw tooth*) sebagai gelombang modulasi dan komparator. Blok pembuat sinyal PWM dibangun untuk menghasilkan sinyal PWM yang dibutuhkan rangkaian *boost converter*.

Keluaran dari blok PWM adalah kondisi *High* dan *Low* yang memiliki proporsi tertentu setiap periode. Seperti yang telah dijelaskan pada BAB 2, variabel yang menunjukkan lebar kondisi *High* dalam satu periode disebut *duty cycle (D)*, oleh karena itu masukan pada blok pembuat sinyal PWM yang dibangun adalah *duty cycle*.



Gambar 3.6 Blok Sinyal PWM

3.5 Pemodelan Kontrol Logika FMRLC

Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC) tidak membutuhkan pemodelan matematika dari kendalian karena basis kendalian *plant* menggunakan sistem *fuzzy logic control*. Selain itu, FMRLC juga memiliki karakteristik MRAC yaitu memiliki kemampuan untuk belajar dalam menentukan keputusan yang paling optimal agar keluaran dari *plant* serupa dengan hasil dari model referensi.

FMRLC memiliki tiga bagian utama yang terdiri dari *fuzzy logic controller*, *model reference* dan *learning mechanism*. *Fuzzy controller* akan menghasilkan sinyal kendali berdasarkan *error* yang terjadi antara *output* dari kendalian dan *setpoint* pada sistem. Kemudian *learning mechanism* mengatur *rule base* dari pengendali utama agar respon sistem pada *close loop* memiliki karakteristik yang sama dengan model referensi.

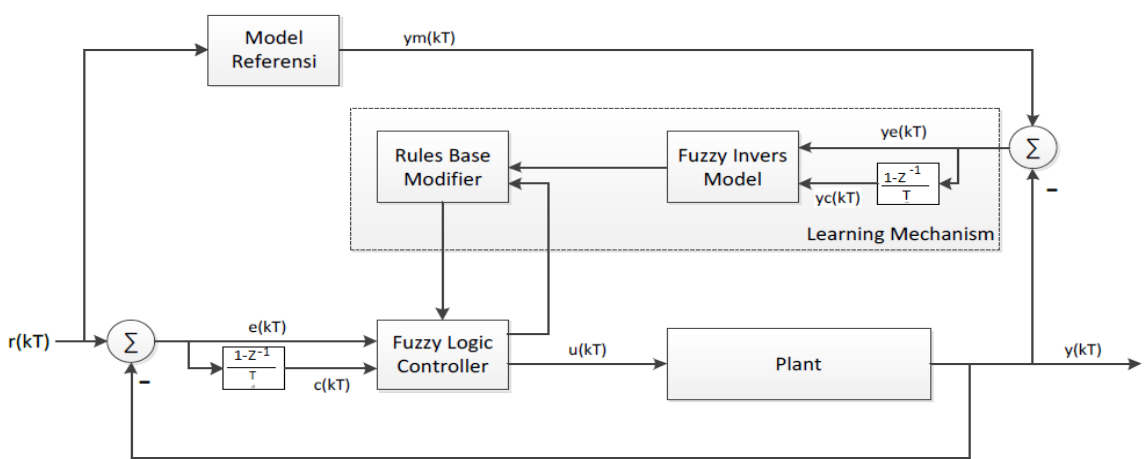
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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.

Komponen pada *learning mechanism* terbagi menjadi dua, yaitu *fuzzy inverse model* dan *rule base modifier*. Berikut merupakan struktur dari pengendali FMRLC.



Gambar 3.7 Struktur Kontrol *Fuzzy Model Reference Learning Control*

Komponen *Fuzzy Inverse Model* berfungsi untuk memetakan $y_e(KT)$ ke dalam $p(KT)$, yang merupakan *adaptation factor*. Masukan dari *fuzzy inverse model* adalah $y_e(KT)$ dan $y_c(KT)$. $y_e(KT)$ merupakan perbedaan antara keluaran dari *plant* ($y(KT)$) dan keluaran dari model referensi ($y_m(KT)$). Sementara $y_c(KT)$ merupakan laju perubahan *error* yang terjadi. Keluaran dari *fuzzy inverse model* ini berupa *adaptation factor* $p(KT)$ yang digunakan *rule-base modifier* untuk memodifikasi *rule base* pada kontroler utama. Struktur dari *fuzzy inverse model* sama dengan struktur dari *fuzzy logic controller* (pengendali utama). Yang membedakannya hanya besaran nilai gain g_{ye} , g_{yc} , dan g_p .

Rule base modifier merupakan komponen yang berfungsi untuk memodifikasi aturan dasar dari pengendali utama dengan menggunakan *adaptation factor* $p(KT)$. Proses modifikasi ini dilakukan dengan menggeser titik tengah fungsi keanggotaan *output* b_i . Dengan proses modifikasi ini, pengendali utama akan dipaksa untuk menghasilkan keluaran sebesar $b(KT - T) + p(KT)$. Terdapat dua proses untuk memperoleh *output* yang diinginkan, yaitu :

1. *Rules-base modifier* memilih aturan dasar yang aktif pada waktu $(k-1)T$:

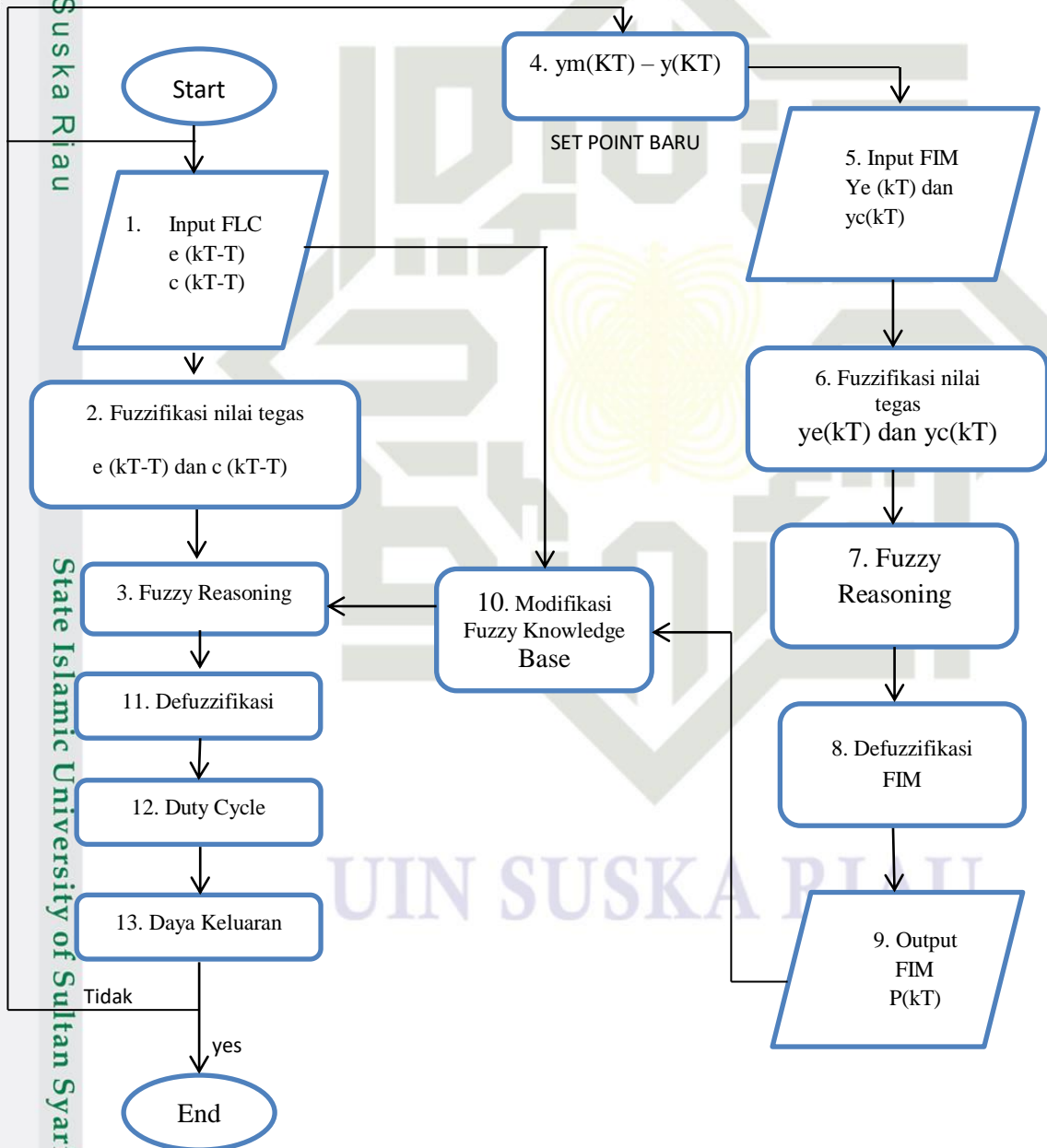
$$\mu_i^e(e(KT - T)) > 0$$

$$\mu_j^c(c(KT - T)) > 0$$

2. *Rules-base modifier* menggeser titik tengah fungsi keanggotaan *output* b_i dari *rules-base* yang aktif dengan menggunakan persamaan :

$$b(KT) = b(KT - T) + p(KT)$$

Dengan penambahan *adaptation factor* $p(KT)$, *error* yang terjadi antara *output* kendali dan model referensi semakin kecil. Jika *error* yang terjadi nilainya sangat kecil, maka dapat dipastikan perilaku kendali sama dengan perilaku model referensi dengan besaran *input* yang sama. Skema dari proses kinerja kontrol FMRLC dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut.

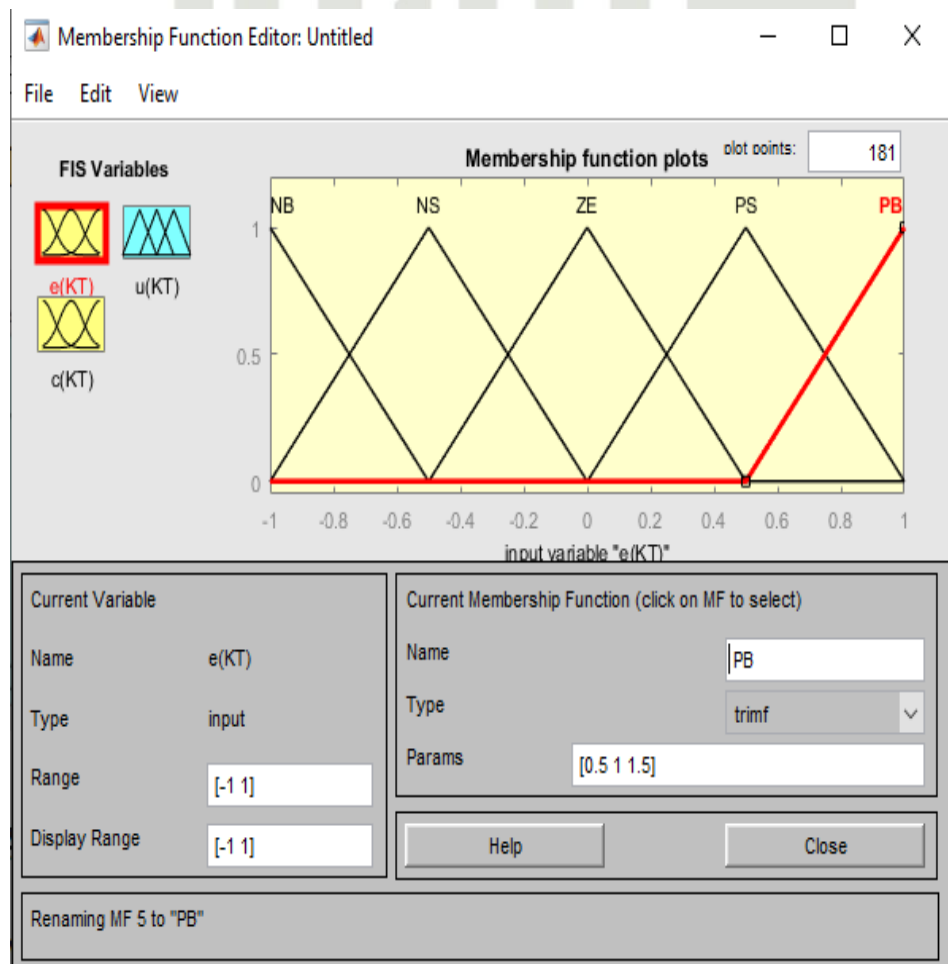


Gambar 3.8 Diagram Alir Kontrol FMRLC

Perancangan sistem kendali berbasis FMRLC dibagi menjadi empat bagian, yaitu perancangan *fuzzy logic controller*, perancangan *fuzzy inverse model*, perancangan *rule base modifier*, dan model referensi.

Perancangan *fuzzy logic controller* (FLC)

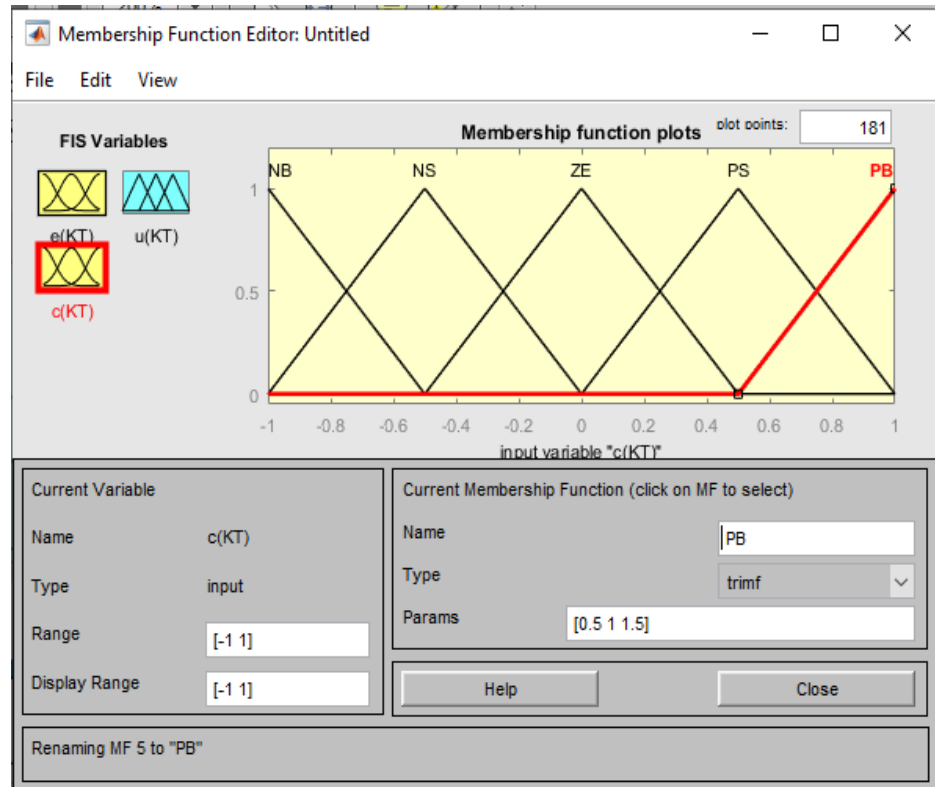
Langkah pertama dalam merancang FLC adalah menentukan fungsi keanggotaan *input* dan *output* pada *controller* utama ini. *Input* pada FLC ini merupakan *error* dan $\Delta error$ yang merupakan representasi dari *error* yang terjadi antara *output* dari kendalian dan *setpoint* pada sistem. Pada penelitian ini fungsi keanggotaan pada *input* dan *output* pada FLC adalah sebagai berikut.



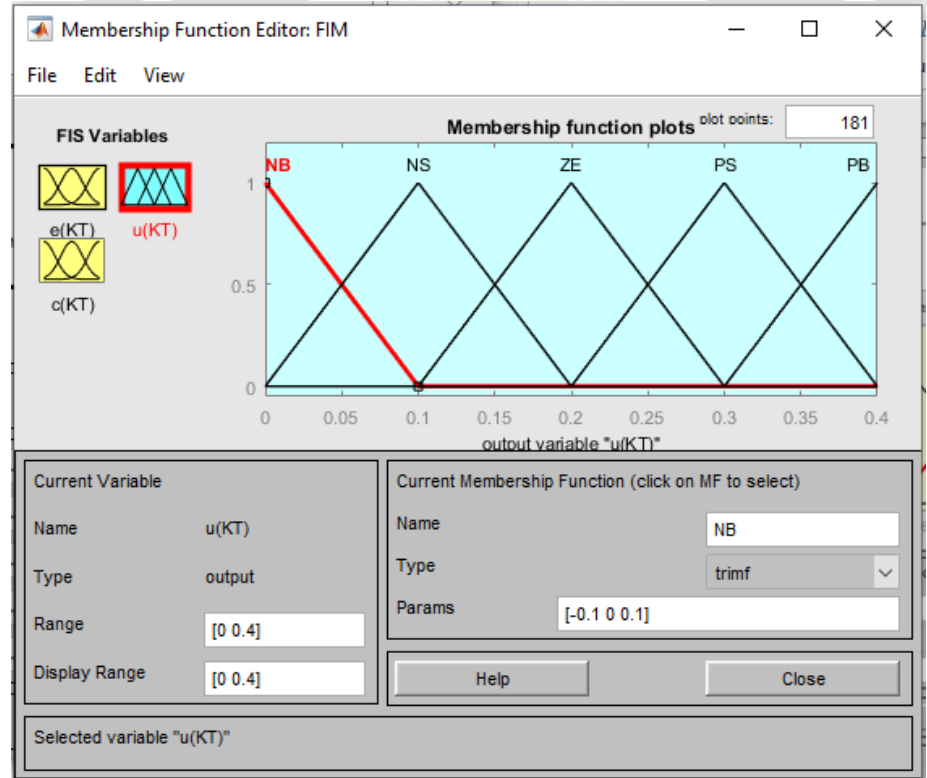
Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan *input error* $e(KT)$

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



Gambar 3.10 Fungsi Keanggotaan *input* $c(KT)$



Gambar 3.11 Fungsi Keanggotaan *output* FLC

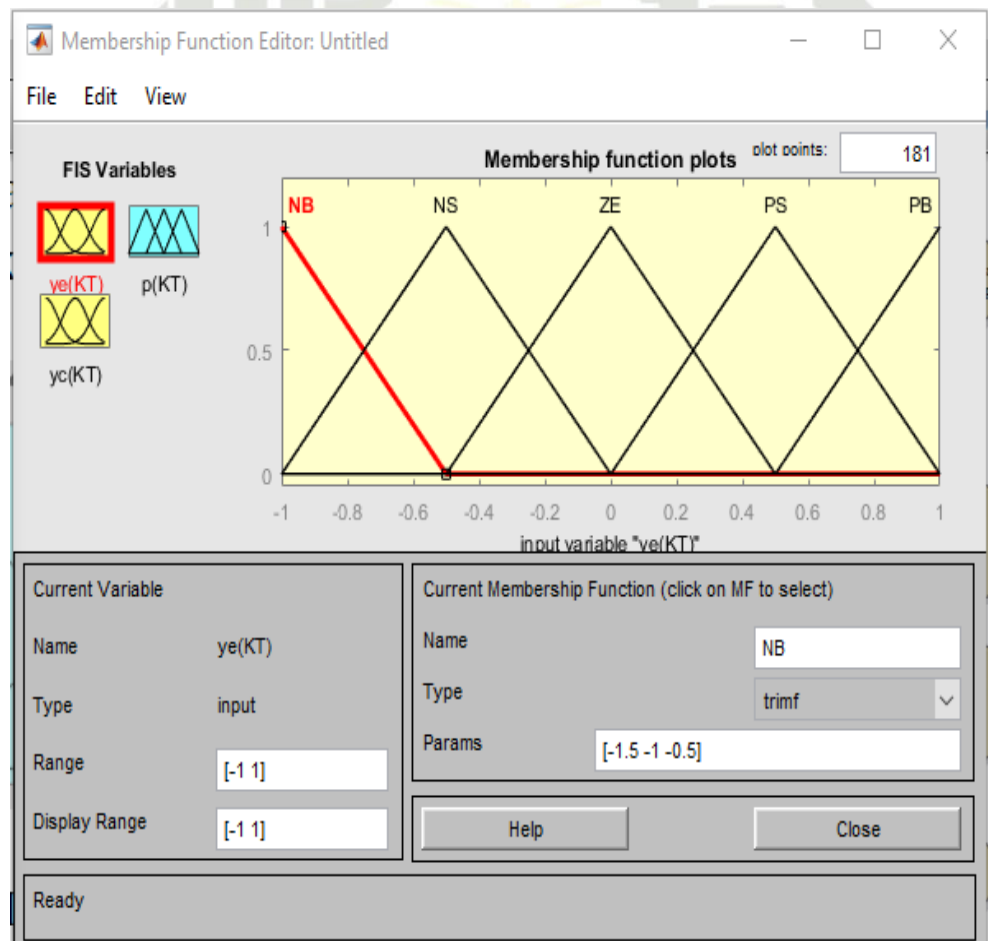
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

Pada perncangan FLC ini, besaran nilai *scaling gain*-nya adalah $g_e=1$, $g_c=10$ dan $g_u=1$.

Perancangan *fuzzy inverse model* (FIM)

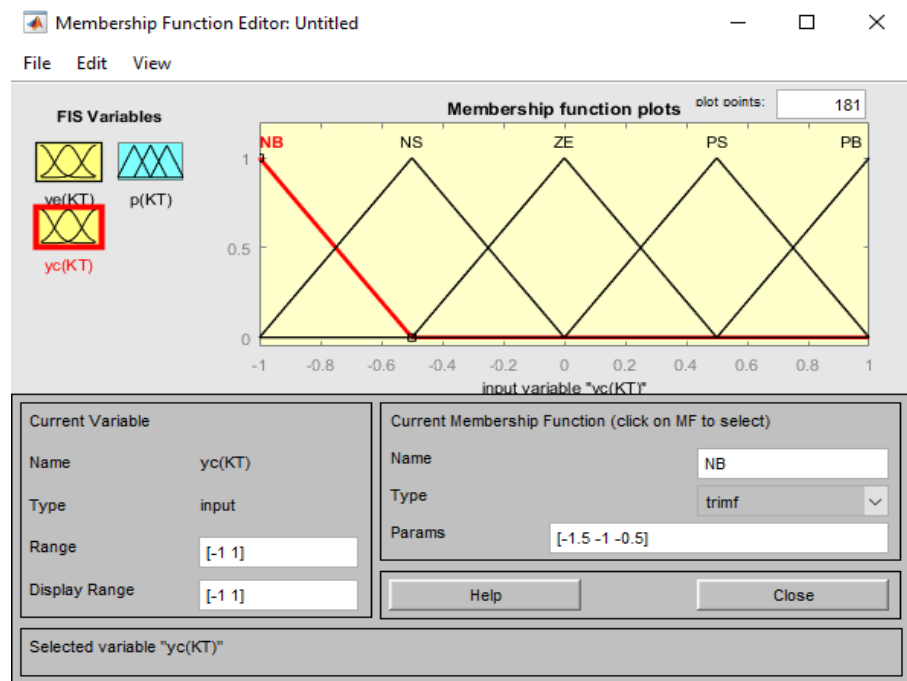
Struktur perancangan pada FIM sama dengan *controller* utama yaitu FLC. Yang membedakanya hanya besaran nilai *scaling gain* dan *rule base* nya saja. Dimana keluaran dari FIM ini merupakan $p(KT)$ yang merupakan *adaptation factor*, sedangkan *input* dari FIM ini merupakan $y_e(KT)$ dan $y_c(KT)$. $y_e(KT)$ merupakan perbedaan antara keluaran dari *plant* ($y(KT)$) dan keluaran dari model referensi ($y_m(KT)$). Sementara $y_c(KT)$ merupakan laju perubahan *error* yang terjadi. Keluaran dari *fuzzy inverse model* ini berupa *adaptation factor* $p(KT)$ yang digunakan *rule-base modifier* untuk memodifikasi *rule base* pada kontroler utama. Fungsi keanggotaan dari FIM adalah sebagai berikut.



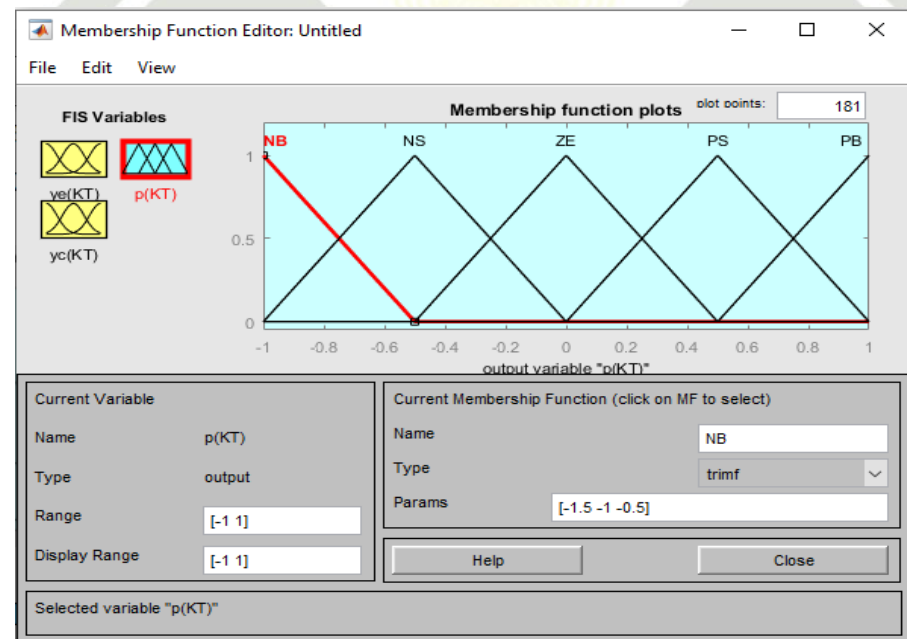
Gambar 3.12 Fungsi Keanggotaan *input* $y_e(KT)$

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.



Gambar 3.13 Fungsi Keanggotaan *input* $y_c(KT)$



Gambar 3.14 Fungsi Keanggotaan *output* $p(KT)$

Pada perncangan FIM ini, besaran nilai *scaling gain*-nya adalah $g_{y_c}=1.67$, $g_{y_c}=10$ dan $g_p=1$.

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.

Perancangan *rule base modifier*

Rule base yang digunakan pada FLC dan FIM pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 *Rule Base FLC*

<i>Rule If-Then</i>		$c(KT)$				
		NB	NS	ZE	PS	PB
$e(KT)$	NB	NB	NB	NS	ZE	ZE
	NS	NB	NS	NS	ZE	ZE
	ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
	PS	ZE	ZE	PS	PS	PB
	PB	ZE	ZE	PS	PB	PB

Tabel 3.3 *Rule Base FIM*

<i>Rule If-Then</i>		$y_c(KT)$				
		NB	NS	ZE	PS	PB
$y_e(KT)$	NB	NB	NB	NS	ZE	ZE
	NS	NS	NS	NS	ZE	ZE
	ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
	PS	ZE	ZE	PS	PS	PS
	PB	ZE	ZE	PS	PB	PB

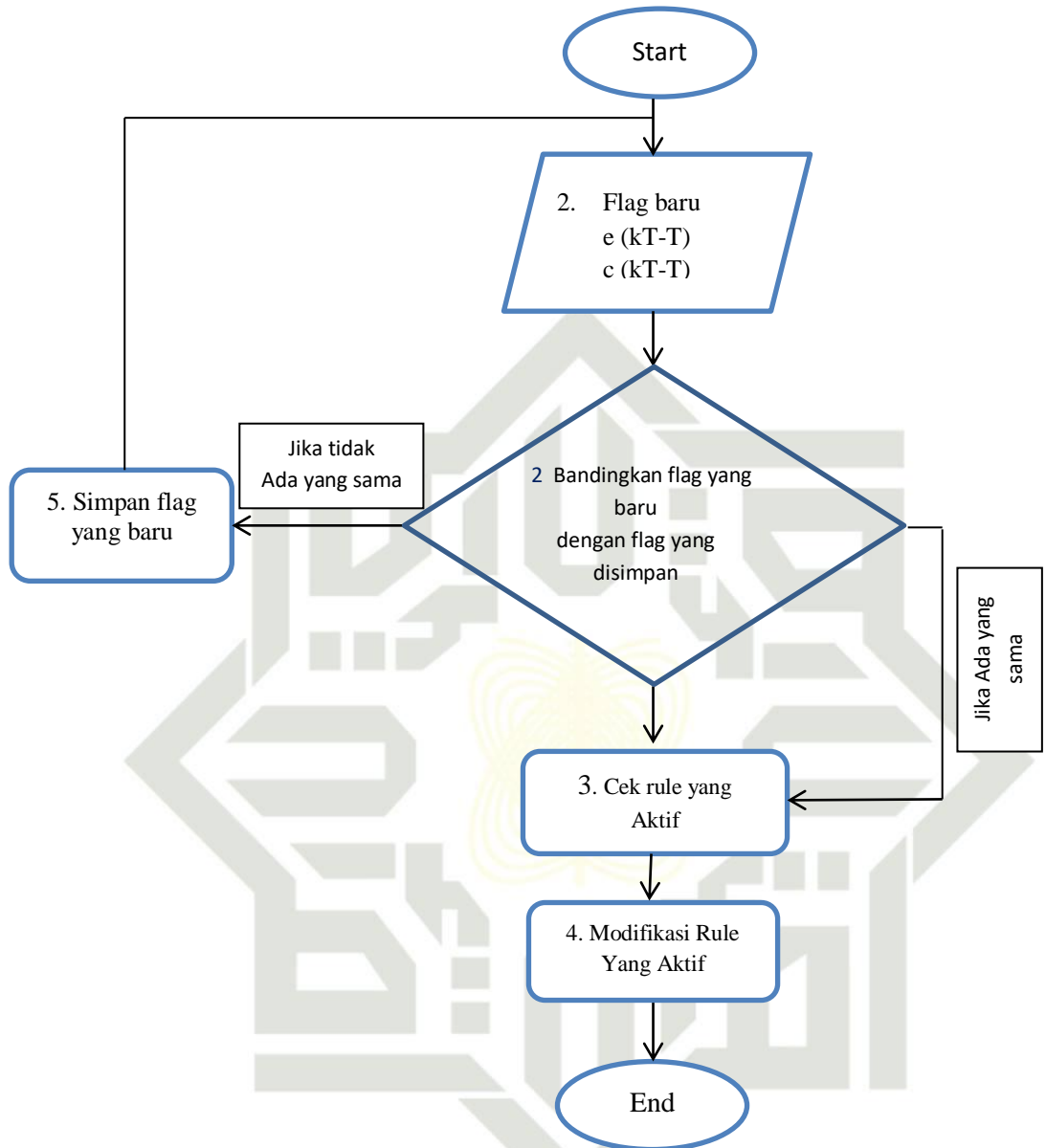
Metode defuzzifikasi yang digunakan pada FLC dan FIM adalah *center Of Area*

$$COA = \frac{\int \mu_A(z)zdz}{\int \mu_A(z)dz}$$

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.

Diagram alir *rule base modifier*



Gambar 3.15 Diagram Alir *Rule Base Modifier*

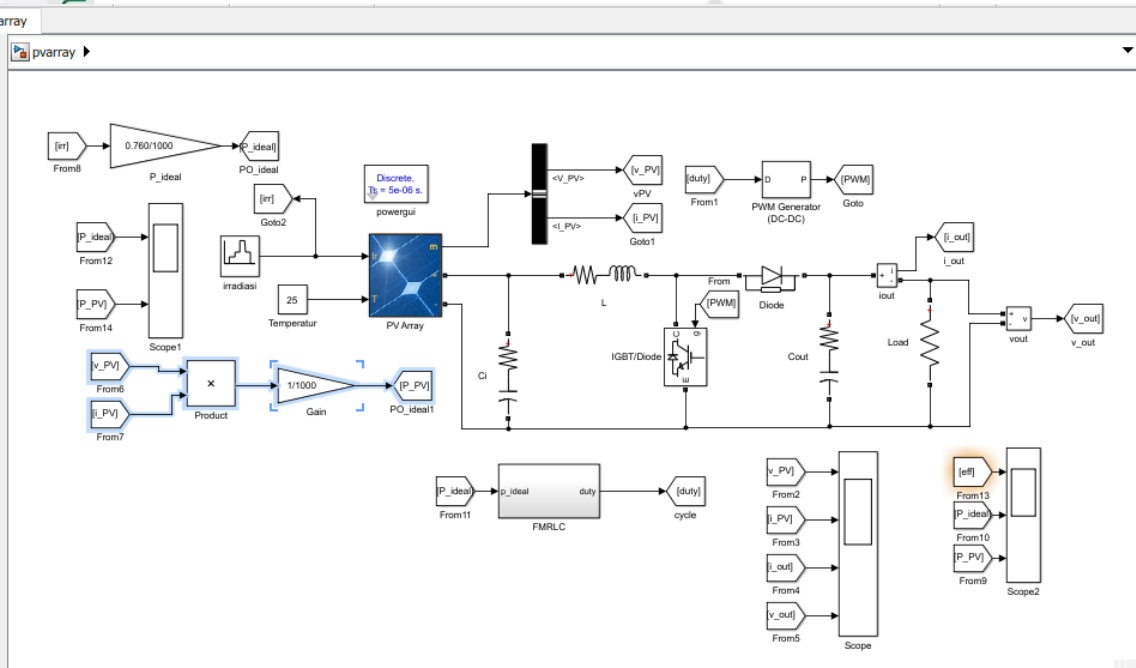
Perancangan model referensi

Model referensi yang digunakan adalah model referensi dengan sistem orde satu. Model ini digunakan sebagai referensi dinamika daya yang dibangkitkan (daya ideal) pada PV. Dengan nilai daya ideal pada iradiasi 1000 w/m^2 adalah sebesar 0.76 kW. Dengan model referensi ini, respon dinamik dari daya yang dihasilkan oleh PV sesuai dengan perilaku model referensi yang digunakan. Model referensi yang digunakan adalah :

$$\frac{1}{0.76s + 1}$$

Pemodelan Modul Panel Surya Menggunakan Sistem MPPT.

Blok diagram perancangan modul panel surya dengan menggunakan sistem MPPT merupakan gabungan dari seluruh blok sistem yang telah dirancang diatas. Simulasi dilakukan dengan *Simulink* pada MATLAB seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3.16 Blok Sistem Modul Panel Surya Menggunakan MPPT

Penggabungan seluruh *subsystem* menjadi suatu sistem MPPT yang terhubung pada komponen yang lainnya. Data yang akan diamati adalah besaran nilai tegangan dan arus keluaran dari panel surya untuk menentukan nilai *duty cycle* melalui kontrol FMRLC agar dapat mengontrol *boost converter* dengan tepat.

Analisis yang digunakan pada penelitian ini nantinya akan menggunakan perhitungan untuk menentukan nilai efisiensi pada panel surya. Setelah itu sistem akan diuji lagi terhadap perubahan nilai temperatur agar terlihat performa dari kontrol FMRLC apakah dapat mencapai kondisi *steady state* dalam waktu yang cepat lalu mempertahankannya. Nanti akan terlihat karakteristik respon sistem terhadap konstanta waktu yang menyerupai daya ideal. Pada grafik nantinya akan terlihat bagaimana FMRLC bekerja dengan memberikan nilai *duty cycle* yang tinggi jika daya keluaran pada PV kecil, dan



sebaliknya FMRLC akan memberikan nilai *duty cycle* yang rendah saat daya keluaran tinggi sampai sistem berada pada kondisi *steady state* pada respon transien.

Setelah itu, pengujian dilakukan dengan cara simulasi pada jendela *simulink*. Pengujian yang akan dilakukan meliputi Simulasi dilakukan untuk mengetahui performansi sistem modul panel surya sebelum diimplementasikan pada sistem yang sebenarnya, dari hasil simulasi dapat diperoleh analisa mengenai daya keluaran dari sistem. Adapun beberapa analisa akan yang dilakukan antara lain :

1. Membuat daya keluaran pada PV serupa dengan daya ideal dengan menggunakan sistem MPPT berbasis FMRLC.
2. Menghitung besaran efisiensi yang dihasilkan oleh PV yang didasarkan pada daya keluaran dan daya ideal pada PV.
3. Melihat karakteristik daya keluaran pada sistem MPPT ketika nilai suhu diubah.
4. Menganalisa sistem sebelum dan sesudah pemasangan MPPT berbasis FMRLC.



BAB V

PENUTUP

Pada bab ini diberikan kesimpulan mengenai performansi dari sistem MPPT berdasarkan analisa dan pembahasan hasil yang telah dicapai pada bab sebelumnya. Selain itu juga diberikan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem MPPT dengan mengaplikasikan pengendali FMRLC untuk mengontrol *duty cycle* dengan *range* 0-0.4 dapat menjaga daya keluaran dari modul panel surya disekitar nilai maksimumnya saat kondisi iradiasi matahari berubah-ubah.
2. Terjadi kenaikan nilai daya keluaran pada PV setelah pemasangan sistem MPPT. Daya keluaran pada PV mengikuti daya maksimum yang seharusnya dicapai pada tingkat iradiasi yang berubah-ubah.
3. Terjadi peningkatan nilai rata-rata efisiensi pada sistem *photovoltaic*. Sebelum pemasangan sistem MPPT nilai rata-rata efisiensi sebesar 67.4 %, kemudian setelah pemasangan sistem MPPT nilai efisiensi rata-rata menjadi 93.7%.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya didesain sistem MPPT yang langsung terkonfigurasi dengan inverter, karena dengan penambahan inverter sistem MPPT akan langsung dapat digunakan dalam pemasangan panel surya skala besar. Secara keseluruhan, dari hasil pengujian yang dilakukan sistem yang dirancang berjalan dengan baik, namun sebaiknya perlu dikaji lebih lanjut apabila dibandingkan dengan metode lain yang lebih baru.

Selain itu, sistem yang telah dirancang juga dapat dilakukan penelitian selanjutnya dengan mengimplementasikan sistem MPPT yang telah didesain kedalam bentuk alat dan melakukan perbandingan antara sistem yang telah dirancang dengan sistem yang telah dibuat.



DAFTAR PUSTAKA

- KESDM. (2016). "Jurnal Energi Media Komunikasi Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral". Kementrian ESDM. Edisi 2/2016.
- Fuady, Atar. (2012). "Rancang Bangun *Maximum Power point Tracker* (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode *Fuzzy*". Institut Teknologi Sepuluh Noverber Surabaya.
- Ramadhani, ing Bagus. (2018). "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts". GIZ.
- BP Solar. (2007). "SX 3195- 195 watt *photovoltaic module*".
- Setyaji, Bagus. (2016). "Desain *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) Pada Panel Surya Menggunakan metode *Sliding Mode Controller*". Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Bounechba,H, Bouzid, A, dkk. (2014). "*Comparison of Pertub&Observe and Fuzzy logic in Maximum Power Point Tracker For PV system*". *Department Of Electrical Engineering,Constantine 1 University, Algeria*. Energy Procedia vol 677-684.
- Syukur D, M Arif, dkk. (2013). "Desain Sistem kontrol *Fuzzy Model reference Learning Control* (FMRLC) Studi Kasus : Pengontrolan Ketinggian Air Pada *Conical Tank*". Universitas Diponegoro Semarang. *Transient* Vol 2, No.3. ISSN:2302-9927,660.
- Abdillah, Abelio. (2016). "Desain *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Pada Panel Surya Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*". Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Luque, Antonio & Hegedus, Steven. (2002). "*Handbook Of Photovoltaic and science engineering*".
- Dwidayanti, Ranny. (2017). "Optimasi Pengisian Daya Baterai Pada Panel Surya menggunakan *Maximum power Point Tracking* (MPPT). Universitas Lampung.
- Richard, A. Cullen. (2000). "*What is Maximum Power Point Tracking* (MPPT) *and How Does it Work*". *Blue Sky Energy*.
- Estram, T., & Chapman,P.L. (2007). "*Comparasion Of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*. *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, 22 (2), 439-449.

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.



Kalmin, A. (2012). Simulasi Dan Verifikasi Modul Surya Terhubung Dengan *Boost Converter* Pada Jaringan Listrik Mikro Arus Searah Dengan Menggunakan *Matlab Simulink*. Teknik Elektro. Universitas Indonesia. Depok.

Hart, D.W. (2011). *Power Electronics*. Amerika New York: McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-338067-4.

Kurnia M, Pebriningtyas, Ali Musyafa, Katherin Indriawati. (2013). “Penulusuran Daya Maksimum Pada Panel *Photovoltaic* Menggunakan kontrol Logika *Fuzzy* di kota Surabaya”. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Vol 2, No. 1. ISSN 2337-3539.

W Ambar, C.I, dkk. (2014). “Rancang Bangun *Multilevel Boost Converter (MLBC)* Sebagai Suplai DC *Bus* Pada *Inverter*. Teknik Elektro. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

Siew-Chong Tan, Y. M.Lai and Chi k. Tse. (2006). “*A Unified Approach to the Design of PWM-Based Sliding-Mode Voltage Controllers For Basic DC-DC Converters in Continous Conduction Mode*”. *The authors are with the Department of electronic and Information Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, IEEE.*

Fajrianto, M. Rifki, Wahyudi, and Sudjadi. (2017). “Perancangan Kontroler *Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC)* Berbasis Mikrokontroler ATMEGA16 Sebagai Kendali Motor *Brushless DC (BLDC)*. Teknik Elektro. Universitas Dionegoro Semarang.

Layne, R. Jeffery, dkk. (2015). “*Fuzzy Model Reference Learning Control*”. *Department of Electrical Engineering The Ohio State university.*

Haerani, Elin.(2013) “Analisa Kendali Logika *Fuzzy* Dengan Metode *Defuzzifikasi COA (Center Of Area)*, *Bisektor*, *MOM (Mean Of Maximum)*, *LOM (Largest Of Maximum)*, Dan *SOM (Smallest Of Maximum)*”. UIN Sultan Syarif Kasim,Riau.

Tersedia : <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/sitekin/article/download/543/517>
[Dakses : 25 Feb 2020]

Hattanto, Subhan.(2017). “Implementasi *Fuzzy Rule Base System* Untuk Klasifikasi Buah Mangga”. Universitas Pembangunan Panca Budi. Techsi Vol.9, No. 2.

Erwin Susanto.(2017). “Sistem Kendali Multivariabel”. Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung.

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.

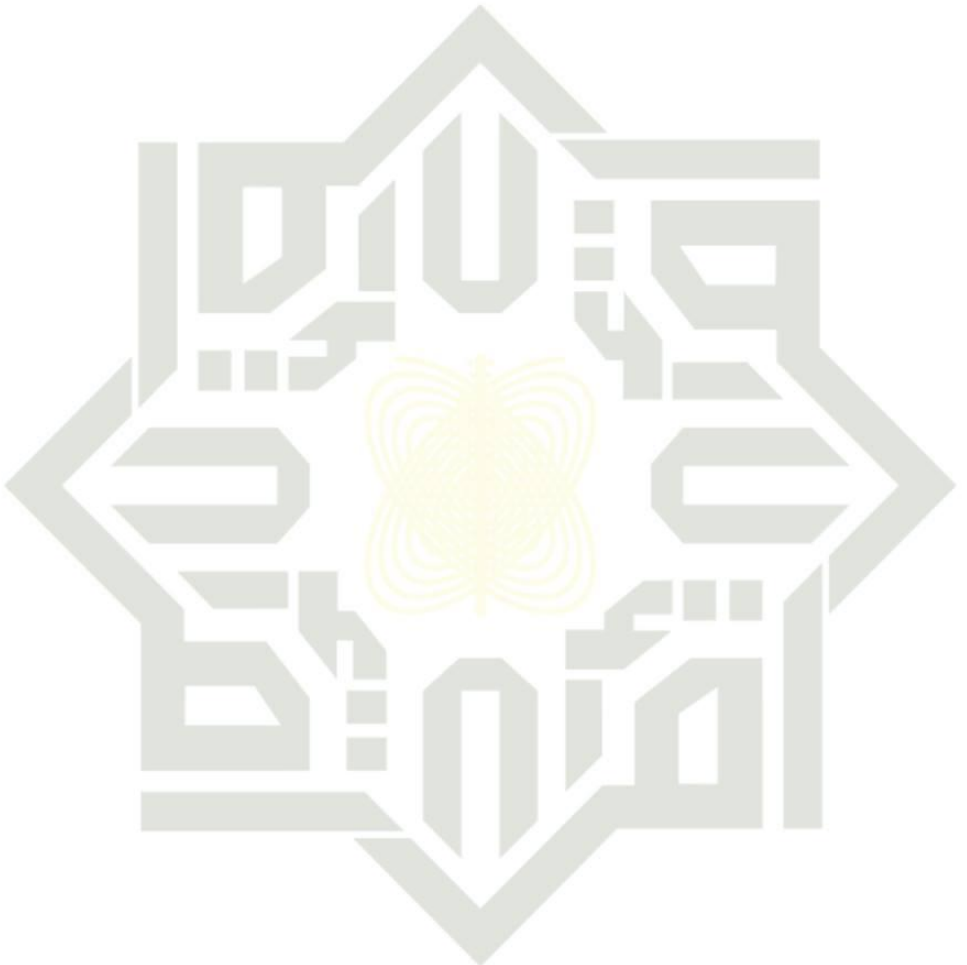
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

Darminto. (2015). “Konservasi Energi Melalui Selubung Bangunan Pada Gedung Rektorat Uin Suska Riau Pekanbaru”. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



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.

LAMPIRAN

Data yang Digunakan

Table A.1 Data Iradiasi yang Ada di Pekanbaru.

Waktu	q1	q2	ID(W)	IL(W)	IT(W)
08.00	5	(+) 0	32	23	55
09.00	20	(+) 1	98	98	196
10.00	30	(+) 2	98	112	210
11.00	60	(+) 3	112	126	238
12.00	80	(+) 4	145	136	281
13.00	-	-	256	123	379
14.00	-	-	376	104	480
15.00	-	-	388	111	499
16.00	-	-	232	83	315
17.00	-	-	98	54	152

Validasi Perhitungan Manual

Perhitungan Nilai Efisiensi setelah pemasangan sistem menggunakan rumus pada persamaan (2.9)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

- a. Perhitungan nilai efisiensi untuk Iradiasi 55 W/m^2 , $P_{out} = 19 \text{ W}$ dan $P_{max} = 41 \text{ W}$

$$\eta = \frac{19 \text{ W}}{41 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 46.34\%$$

- b. Perhitungan nilai efisiensi untuk Iradiasi 281 W/m^2 , $P_{out} = 211.5 \text{ W}$ dan $P_{max} = 214 \text{ W}$

$$\eta = \frac{211.5 \text{ W}}{214 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 98.83\%$$

- c. Perhitungan nilai efisiensi untuk Iradiasi 152 W/m^2 , $P_{out} = 120.4 \text{ W}$ dan $P_{max} = 121 \text{ W}$

$$\eta = \frac{120.4 \text{ W}}{121 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 99.5\%$$



2. Perhitungan Nilai Efisiensi menggunakan rumus yang dibuat menyerupai rumus pada persamaan (2.9) untuk diinputkan ke sistem

$$\eta = 1 - \left(\frac{P_{max} - P_{out}}{P_{max}} \right)$$

Perhitungan nilai efisiensi untuk Iradiasi 55 W/m^2 , $P_{out} = 19 \text{ W}$ dan $P_{max} = 41 \text{ W}$

$$\eta = 1 - \left(\frac{41 - 19}{41} \right)$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{22}{41} \right)$$

$$\eta = 1 - 0.5366$$

$$\eta = 0.4634 \times 100\%$$

$$\eta = 46,34 \%$$

b. Perhitungan nilai efisiensi untuk Iradiasi 281 W/m^2 , $P_{out} = 211.5 \text{ W}$ dan $P_{max} = 214 \text{ W}$

$$\eta = 1 - \left(\frac{214 - 211.5}{214} \right)$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{2.5}{214} \right)$$

$$\eta = 1 - 0.01168$$

$$\eta = 0.9883 \times 100\%$$

$$\eta = 99.83 \%$$

c. Perhitungan nilai efisiensi untuk Iradiasi 152 W/m^2 , $P_{out} = 120.4 \text{ W}$ dan $P_{max} = 121 \text{ W}$

$$\eta = 1 - \left(\frac{121 - 120.4}{121} \right)$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{0.6}{121} \right)$$

$$\eta = 1 - 0.004959$$

$$\eta = 0.9950 \times 100\%$$

$$\eta = 99.50 \%$$

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.



Hak Cipta Dit

1. Dilarang m

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.



RIWAYAT HIDUP

Syahrizal Ma'ruf adalah putra kedua dari bapak Kemad Ikhsanudin dan ibu Sarni Yati. Lahir pada tanggal 03 November 1996 di Boyolali, Kec. Simo, Kabupaten Boyolali Jawa Tengah. Jenjang pendidikan yang pertama kali ditempuh oleh penulis adalah pendidikan Sekolah Dasar di SDN 033 Tampan, Pekanbaru. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di SMP N 21 Peanbaru untuk jenjang pendidikan menengah atas penulis sekolah di SMK N 2 Pekanbaru. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan Perguruan Tinggi di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro.

Selain di bidang akademis, penulis juga berkecimpung dalam kehidupan organisasi. Penulis pernah menjabat sebagai anggota bidang ekonomi Fu-Assalam, ketua divisi software (Robotic Techno Faste), Mentri riset dan teknologi HIMATE, Presiden HIMATE. Berkat kerja keras serta dukungan penuh dari keluarga tercinta, kerabat, sahabat dan teman-teman, TID, teman-teman Nenggala serta bimbingan dari Bapak Ahmad Faizal, ST.,MT sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC)”**.

Dan semenjak penulis dinyatakan lulus dalam Sidang Tugas Akhir pada tanggal 02 Juli 2020 maka penulis berhak menyandang gelar Sarja Teknik (ST).