

TUGAS AKHIR - EE184801

DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING PADA FUEL CELL DENGAN KAPASITAS 5KW BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER

NADILAH LAKSMI MARAHAINI

NRP 07111840000089

Dosen Pembimbing

Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

Prof. Dr. Ir. Soediby, M.MT.

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - EE184801

**DESAIN MAKSIMUM POWER POINT TRACKING PADA
FUEL CELL DENGAN KAPASITAS 5KW BERBASIS
FUZZY LOGIC CONTROLLER**

NADILAH LAKSMI MARAHAINI

NRP 07111840000089

Dosen Pembimbing

Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

Prof. Prof. Prof. Dr. Ir. Soedibyو, M.MT.

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Infotmatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - EE184801

**DESIGN MAXIMUM POWER POINT TRACKING ON
FUEL CELL CAPACITY 5KW BASED ON FUZZY LOGIC
CONTROLLER.**

NADILAH LAKSMI MARAHAINI

NRP 07111840000089

Advisor

Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

Prof. Dr. Ir. Soedibyso, M.MT.

Electrical Engineering Undergraduate Program

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

**DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING PADA FUEL CELL DENGAN KAPASITAS 5KW
BERBASIS FUZZY LOGIC KONTROLLER. (DESIGN MAXIMUM POWER POINT TRACKING ON
FUEL CELL CAPACITY 5KW BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198702062012121002

Dosen Pembimbing II



Prof. Dr.Ir. Soedibyo, MMT.
NIP. 195512071980031004

**SURABAYA
JULI, 2022**

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN MAKSIMUM POWER POINT TRACKING PADA FUEL CELL DENGAN KAPASITAS 5KW BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Tekonolgi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh **NADILAH LAKSMI MARAHAINI**

NRP. 0711184000089

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir.

1. Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
3. Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
4. Dr.Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
5. Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
6. Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi H. S.T., MT

Pembimbing

Ko-pembimbing

Penguji

Penguji

Penguji

Penguji

SURABAYA

April, 2022

APPROVAL SHEET

DESIGN MAXIMUM POWER POINT TRACKING ON FUEL CELL CAPACITY
5KW BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER.

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree bachelor at
Undergraduate Study Program of Power System
Department of of Electrical Engineering
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By **Nadilah LAKSMI MARAHAINI**

NRP 0711184000089

Approved by Final Project Proposal Examiner Team.

1. Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

Pembimbing

2. Prof. Dr. Ir. Soedibyo, M.M.T.

Ko-pembimbing

3. Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

Penguji

4. Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

Penguji

5. Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.

Penguji

6. Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi H. S.T., MT

Penguji

SURABAYA

April, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Nadilah Laksmi Marahaini

Program studi : Teknik Sistem Tenaga

Pembimbing 1 / NIP : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D. / 198702062012121002

Pembimbing 2 / NIP : Prof. Dr. Ir. Soediby, M.MT. / 195512071980031004

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“DESIGN MAXIMUM POWER POINT TRACKING ON FUEL CELL CAPACITY 5KW BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER”** adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 20 April 2022

Mengetahui,

Dosen Pembimbing 1



Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198702062012121002

Mahasiswa



Nadilah Laksmi Marahaini

NRP. 07111840000089

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Nadilah Laksmi Marahaini

Department : Teknik Sistem Tenaga

1st Advisor / NIP : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D. / 198702062012121002

2nd Advisor / NIP : Prof. Dr. Ir. Soediby, M.MT. / 195512071980031004

hereby declare that the Final Project with the title of “**DESIGN MAXIMUM POWER POINT TRACKING ON FUEL CELL CAPACITY 5KW BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER**” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 20 April 2022

Acknowledged,

1st Advisor,



Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198702062012121002

Student



Nadilah Laksmi Marahaini

NRP. 07111840000089

ABSTRAK

DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING PADA FUEL CELL DENGAN KAPASITAS 5KW BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER.

Nama / NRP : Nadilah Laksmi Marahaini 0711184000089
Departemen : Teknik Elektro - FTEIC
Dosen Pembimbing 1 : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Prof. Dr. Ir. Soediby, M.MT.

Abstrak

Penggunaan renewable energy telah berkembang dengan pesat, antara lain photovoltaic, wind turbine, fuel cell dan masih banyak lagi. Fuel cell merupakan sebuah alat konversi energi listrik yang prinsip kerjanya memanfaatkan proses elektrokimia dengan mengonversi energi kimia menjadi energi listrik yang memiliki efisiensi tinggi dan tidak menghasilkan emisi berbahaya. Listrik yang dihasilkan oleh fuel cell merupakan listrik searah (DC) dari hasil reaksi H₂ dan O₂. Sama halnya dengan renewable energy yang lain, penggunaan fuel cell memiliki keluaran daya dari konversi energinya bervariasi tergantung pada input atau energi yang diterima. Oleh karena itu, dibutuhkan MPPT (Maximum Power Point Tracking) untuk mengoptimalkan daya output pada operasi Fuel Cell. MPPT bekerja dengan cara menaikkan/menurunkan tegangan sampai ditemukannya titik daya keluaran yang maksimal. Dalam penggunaan MPPT ada beberapa algoritma yang dapat digunakan, salah satunya menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Tugas akhir ini dirancang untuk membuat sebuah desain dari MPPT pada fuel cell dengan kapasitas 5kW dengan implementasi algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC).

Kata kunci: *Renewable Energy, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Metode Peturb and Observe Algorithm (P&O), Fuzzy Logic Controller (FLC).*

ABSTRACT

DESIGN MAXIMUM POWER POINT TRACKING ON FUEL CELL CAPACITY 5KW BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER.

Name / NRP : Nadilah Laksmi Marahaini 0711184000089
Department : Teknik Elektro - FTEIC
1st Advisor : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
2nd Advisor : Prof. Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

Abstract

The use of renewable energy has grown rapidly, including photovoltaic, wind turbine, fuel cell and many more. A fuel cell is an electrical energy conversion device that utilizes an electrochemical process by converting chemical energy into electrical energy that has high efficiency and does not produce harmful emissions. The electricity generated by the fuel cell is direct current (DC) from the reaction of H₂ and O₂. Same as other renewable energy, fuel cells have the power output of their energy conversion varies depending on the input or energy received. Therefore, MPPT (Maximum Power Point Tracking) is needed to optimize the output power in Fuel Cell operation. MPPT works by increasing/lowering the voltage to the maximum output power point. In the application of MPPT there are several algorithms that can be used, one of which uses a Fuzzy Logic Controller (FLC). This final project is designed to make MPPT on a fuel cell with a capacity of 5kW with the implementation of the Fuzzy Logic Controller (FLC) algorithm.

Keywords: Renewable Energy, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Metode Peturb and Observe Algorithm (P&O), Fuzzy Logic Controller (FLC).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Desain Maximum Power Point Tracking Pada Fuel Cell dengan kapasitas 5kW berbasis Fuzzy Logic Controller”. Harapan penulis, penelitian ini dapat dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

Selama penulisan penelitian ini tentunya penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak yang telah mendukung dan membimbing penulis. Kasih yang tulus serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Orang tua dan kakak saya sebagai motivasi utama yang senantiasa memberi doa, semangat dan bantuan moral maupun materiil.
3. Bapak Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D. dan Prof. Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik
4. Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. selaku kepala Laboratorium Konversi Energi.
5. Keluarga Asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik KESatuan, KESuksesan dan juga KEjayaan.
6. Handi Awaludin sebagai partner yang selalu mendukung dan mendengarkan keluh kesah.
7. Teman-teman SMAN 16 Surabaya angkatan 33 kelas 10 IPA 6 grup TBL TBL TBL dan GALAXY yang selalu sedia kapanpun dan memberikan motivasi
8. Teman-teman e58 yang telah berjuang bersama penulis sejak awal perkuliahan.
9. Dan seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Penulis pun memohon maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, April 2022



Nadilah Laksmi Marahaini

DAFTAR ISI

| | |
|---|--------------|
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| APPROVAL SHEET | iv |
| PERNYATAAN ORISINALITAS | vi |
| ABSTRAK | x |
| DAFTAR ISI | xvi |
| DAFTAR GAMBAR | xviii |
| DAFTAR TABEL | xx |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 1 |
| 1.3 Tujuan..... | 1 |
| 1.4 Batasan Masalah | 2 |
| 1.5 Metodologi..... | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 3 |
| 1.7 Relevansi | 3 |
| BAB 2 MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS FUZZY LOGIC PADA PEM FUEL CELL | 5 |
| 2.1 FUEL CELL | 5 |
| 2.1.1 Fuel Cell Stack..... | 6 |
| 2.1.2 Kurva Karakteristik Fuel Cell..... | 11 |
| 2.2 Konverter DC/DC..... | 11 |
| 2.2.1 Konverter Boost..... | 11 |
| 2.3 Maximum Power Point Tracking (MPPT) | 15 |
| 2.3.1 Skema Konverter Menggunakan MPPT | 16 |
| 2.3.2 Algoritma Perturb and Observe (P&O) | 17 |
| 2.4 Fuzzy Logic | 17 |
| 2.4.1 Fuzzifikasi | 18 |
| 2.4.2 Logika Pengambil Keputusan..... | 20 |
| 2.4.3 Defuzzifikasi..... | 20 |
| 2.4.4 Rules | 21 |
| BAB 3 DESAIN DAN SIMULASI | 23 |
| 3.1 Permodelan Sistem | 23 |
| 3.2 Desain Fuel Cell | 23 |
| 3.2.1 Parameter dan Karakteristik Fuel Cell..... | 25 |
| 3.3 Desain Konverter Boost..... | 26 |
| 3.3.1 Perhitungan Duty Cycle..... | 27 |
| 3.3.2 Perhitungan Nilai Resistor..... | 27 |
| 3.3.3 Perhitungan Nilai Capacitor..... | 27 |
| 3.3.4 Perhitungan Nilai Induktor | 28 |
| 3.4 Perancangan MPPT Algoritma Perturb and Observation..... | 28 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3.5 | Perancangan MPPT Algoritma Fuzzy Logic | 29 |
| 3.5.1 | Input Fuzzy Logic | 29 |
| 3.6 | Simulasi Sistem..... | 33 |
| 3.6.1 | Simulasi dengan Algoritma <i>Pertub and Observation</i> | 34 |
| 3.6.2 | Simulasi dengan Algoritma <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 35 |
| BAB 4 | HASIL DAN PEMBAHASAN | 37 |
| 4.1 | Simulasi MPPT pada Fuel Cell ketika beban meningkat..... | 37 |
| 4.1.1 | Hasil Simulasi MPPT Metode Fuzzy Logic beban meningkat | 37 |
| 4.1.2 | Hasil Simulasi MPPT Metode P&O beban meningkat | 39 |
| 4.2 | Hasil Simulasi MPPT pada Fuel Cell ketika beban menurun | 41 |
| 4.2.1 | Hasil Simulasi MPPT Metode Fuzzy Logic beban menurun..... | 41 |
| 4.2.2 | Hasil Simulasi MPPT Metode P&O beban menurun..... | 43 |
| 4.3 | Perbandingan Hasil Simulasi dan Pembahasan..... | 45 |
| 4.3.1 | Pembahasan..... | 46 |
| BAB 5 | KESIMPULAN DAN SARAN | 49 |
| 5.1 | Kesimpulan | 49 |
| 5.2 | Saran..... | 49 |
| | DAFTAR PUSTAKA..... | 51 |
| | LAMPIRAN..... | 53 |
| | BIODATA PENULIS..... | 77 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Diagram skema fuel cell | 5 |
| Gambar 2.2 Rangkaian Ekvivalen Fuel Cell | 6 |
| Gambar 2.3 Daerah operasi tegangan dan arus pada Fuel Cell | 6 |
| Gambar 2.4 Rangkaian Ekvivalen Fuel Cell secara rinci | 7 |
| Gambar 2.5 Fuel Cell respon terhadap T_d , $U_{fO2(\text{puncak})}$ dan V_u | 10 |
| Gambar 2.6 Kurva karakteristik <i>Fuel cell</i> | 11 |
| Gambar 2.7 Rangkaian Boost Konverter..... | 11 |
| Gambar 2.8 Rangkaian Boost Konverter switch ON..... | 12 |
| Gambar 2.9 Rangkaian Boost Konverter switch OFF | 13 |
| Gambar 2.10 Bentuk gelombang arus dan tegangan saat kondisi CCM | 14 |
| Gambar 2.11 Kurva Penentuan MPPT | 16 |
| Gambar 2.12 Block Diagram Konverter dengan MPPT..... | 16 |
| Gambar 2.13 Algoritma <i>Perturb and Observe</i> (P&O) | 17 |
| Gambar 2.14 Arsitektur dasar Fuzzy Logic Controller | 18 |
| Gambar 2.15 Skema FLC | 18 |
| Gambar 2.16 Tipe Fungsi keanggotaan | 19 |
| Gambar 3.1 Skema permodelan sistem Fuel Cell dengan MPPT..... | 23 |
| Gambar 3.2 Blok FC Stack..... | 23 |
| Gambar 3.3 Karakteristik dan Parameter Fuel Cell..... | 24 |
| Gambar 3.4 Fuel Cell Parameters..... | 25 |
| Gambar 3.5 Rangkaian uji Karakteristik Fuel Cell | 25 |
| Gambar 3.6 Kurva V-I Fuel Cell | 26 |
| Gambar 3.7 Kurva P-I Fuel Cell..... | 26 |
| Gambar 3.8 Kurva Karakteristik Blok Fuel Cell | 26 |
| Gambar 3.9 Sistem Blok <i>Perturb and Observation</i> | 29 |
| Gambar 3.10 Sistem Blok Algoritma Fuzzy Logic | 29 |
| Gambar 3.11 Fuzzy Logic <i>Application</i> | 30 |
| Gambar 3.12 Membership function input..... | 30 |
| Gambar 3.13 Membership function Output..... | 31 |
| Gambar 3.14 Memasukkan rules Fuzzy | 32 |
| Gambar 3.15 Simulasi Fuzzy Logic | 32 |
| Gambar 3.16 Surface Fuzzy Logic | 33 |
| Gambar 3.17 Simulasi sistem | 33 |
| Gambar 3.18 Simulasi sistem dengan algoritma <i>perturb and observe</i> | 34 |
| Gambar 3.19 Simulasi sistem engan algoritma <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 35 |
| Gambar 4.1 Data Variasi beban meningkat..... | 37 |
| Gambar 4.2 Scope Daya output saat beban meningkat MPPT Metode Fuzzy Logic..... | 37 |
| Gambar 4.3 Daya Output – Beban beban naik dengan metode Fuzzy Logic..... | 38 |
| Gambar 4.4 Sinyal tegangan dan arus beban naik pada MPPT Metode Fuzzy Logic..... | 38 |
| Gambar 4.5 Risetime output daya beban meningkat pada MPPT Metode Fuzzy Logic..... | 39 |
| Gambar 4.6 Scope Daya output saat simulasi beban meningkat pada MPPT Metode P&O.... | 39 |
| Gambar 4.7 Sinyal tegangan dan arus simulasi beban meningkat pada MPPT Metode P&O . | 40 |
| Gambar 4.8 Daya Output – Beban beban naik dengan metode P&O..... | 40 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.9 Risetime output daya beban meningkat pada MPPT dengan Metode P&O..... | 41 |
| Gambar 4.10 Data Variasi beban meningkat menurun | 41 |
| Gambar 4.11 Daya output saat simulasi beban menurun pada MPPT dengan Metode Fuzzy | 41 |
| Gambar 4.12 Daya Output – Beban beban turun dengan metode Fuzzy Logic..... | 42 |
| Gambar 4.13 Sinyal tegangan dan arus beban menurun pada MPPT Metode Fuzzy Logic.... | 42 |
| Gambar 4.14 Risetime output daya beban menurun pada MPPT Metode Fuzzy Logic..... | 43 |
| Gambar 4.15 Daya output saat simulasi beban menurun pada MPPT dengan Metode P&O.. | 43 |
| Gambar 4.16 Sinyal tegangan dan arus beban menurun pada MPPT Metode P&O..... | 44 |
| Gambar 4.17 Daya Output – Beban beban turun dengan metode P&O..... | 44 |
| Gambar 4.18 Risetime output daya beban menurun pada MPPT Metode P&O..... | 45 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Logika Aturan Fuzzy | 20 |
| Tabel 3.1 Parameter Fuel Cell (<i>User-defined</i>)..... | 24 |
| Tabel 3.2 Tabel Data Konverter Boost | 28 |
| Tabel 3.3 Logika aturan Fuzzy Logic..... | 31 |
| Tabel 4.1 Tabel Daya Metode Fuzzy Logic beban meningkat..... | 38 |
| Tabel 4.2 Tabel Daya Metode P&O beban meningkat..... | 39 |
| Tabel 4.3 Tabel Daya Metode Fuzzy Logic beban menurun..... | 42 |
| Tabel 4.4 Tabel Daya Metode P&O beban menurun | 43 |
| Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Simulasi MPPT Fuzzy Logic dengan P&O beban naik | 45 |
| Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Simulasi MPPT Fuzzy Logic dengan P&O beban turun | 45 |
| Tabel 4.7 Rata-rata hasil simulasi MPPT beban naik dan turun..... | 46 |
| Tabel 4.8 Perbandingan Waktu Rise Time simulasi MPPT Fuzzy Logic dengan P&O | 46 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi, bertambahnya populasi penduduk, serta meningkatnya aktivitas industri mengakibatkan peningkatan permintaan listrik di Indonesia hingga mencapai 3% pertahunnya. Peningkatan permintaan listrik tersebut menyebabkan berkurangnya pasokan energi konvensional (fosil) yang digunakan, sehingga alternatif sumber energi terbarukan mulai digunakan untuk membantu mengurangi peningkatan energi listrik.

Sumber energi terbarukan mempunyai banyak jenis, mulai dari tenaga surya, tenaga angin, tenaga hidrogen, dan lain sebagainya. Pada energi terbaukan tenaga hidrogen, atau fuel cell ini merupakan teknologi yang bertujuan untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan menghasilkan air sebagai hasil sampingnya. Teknologi ini tidak menghasilkan emisi dan tidak menimbulkan kebisingan serta memiliki efisiensi tinggi hingga 45% dalam konversi bahan bakar menjadi listrik, dan bisa lebih tinggi hingga 60%.

Dalam penggunaannya, fuel cell masih bisa dioptimalkan dengan metode pengaturan titik operasi Fuel Cell agar daya output yang dihasilkan maksimal. Metode yang dimaksud adalah *maximum power point tracking* (MPPT), dimana fungsi dari MPPT adalah untuk tracking titik kerja sebuah sumber energi agar menghasilkan daya maksimum. Metode kontrol ini mempunyai algoritma konvensional seperti *Perturb & Observation* (P&O), *Incremental Conductance* (InC), dan juga berbasis *Artificial Intelegent* (AI) seperti *Fuzzy Logic*. Metode P&O banyak digunakan karena aplikasinya yang sederhana, namun kelemahan metode P&O adalah interferensi meningkat dengan daya dan setelah daya Fuel Cell mencapai puncaknya, daya berkurang dan interferensi menjadi lebih besar. Alternatifnya adlalah penggunaan metode *fuzzy logic controller* (FLC) dimana metode ini mempunyai kemampuan penalaran yang mirip dengan kemampuan penalaran manusia. Maka dari itu, penelitian ini akan membahas mengenai peningkatan efisiensi penggunaan energi hidrogen dengan kontrol MPPT algoritma *fuzzy logic controller* (FLC) yang dibandingkan dengan metode konvensional *Perturb & Observation*. (P&O).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada Tugas Akhir ini antara lain:

1. Potensi Fuel Cell sangat besar apabila dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, namun proses konversi energi tersebut memiliki efisiensi yang kurang maksimal. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah metode yang dapat memaksimalkan daya keluaran yang dihasilkan dari Fuel Cell.
2. Banyaknya variabel input pada fuel cell merupakan salah satu permasalahan yang didapati pada pengoperasiannya. Penggunaan ataupun penerapan logika fuzzy merupakan salah satu solusinya dimana *Fuzzy Logic Controller* bekerja dengan cara otomatis untuk mengatur.

1.3 Tujuan

Tujuan dari Penelitian ini diharapkan sebagai berikut:

1. Mendesain kontrol MPPT pada Fuel Cell dengan Kapasitas 5kW berbasis Fuzzy Logic Kontroller agar menghasilkan daya keluaran yang maksimal.
2. Membandingkan daya keluaran pada fuel cell dengan MPPT berbasis Perturb & Observasi (P&O) dan *Fuzzy Logic Controller*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Permodelan dan simulasi Fuel Cell dengan kapasitas 5kW menggunakan MATLAB/Simulink R2020b
2. Pengujian menggunakan resistor variabel untuk merepresentasikan perubahan beban.
3. Perbandingan hasil antara MPPT dengan metode konvensional dan metode Fuzzy Logic Kontroller

1.5 Metodologi

Penelitian ini akan dilaksanakan dalam beberapa tahap yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi mempelajari berbagai macam literatur yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini baik dengan sumber berupa buku, paper atau jurnal, proceeding, laman internet dan sumber fakta lainnya untuk menunjang teori pendukung yang berkaitan dengan Desain Maximum Power Point Tracking pada PEM Fuel Cell dengan Kapasitas 5kW berbasis Fuzzy Logic Kontroller. dan referensi lain yang dianggap relevan.

2. Desain

Tahap selanjutnya adalah mendesain sistem Fuel Cell dengan langkah-langkah:

- a.) Permodelan Fuel Cell dengan keluaran daya 5kW
- b.) Memperlihatkan karakteristik Fuel Cell
- c.) Memodelkan Konverter DC-DC
- d.) Menentukan pembebanan maksimal
- e.) Membuat Fuzzy Logic dan pembanding P&O
- f.) Menggabungkan sistem
- g.) Menyesuaikan parameter-parameter untuk memaksimalkan performa
- h.) Validasi Hasil

3. Simulasi

Menyimulasikan serta menentukan mekanisme PEM Fuel Cell untuk mengontrol parameter yang diperlukan dari setiap prosesnya menggunakan controller. Desain tersebut berdasarkan data dan parameter komponen yang telah diidentifikasi dan dimodelkan pada tahap sebelumnya. Desain tersebut disimulasikan secara detail menggunakan software Simulink/MATLAB.

4. Analisis Data dan Evaluasi

Pada tahap ini dilakukan analisis data terkait hasil simulasi yang telah dilakukan. Data simulasi yang didapat akan dibandingkan dengan metode konvensional yaitu P&O dan metode yang digunakan yaitu *Fuzzy Logic Controller*.

5. Penulisan laporan Tugas Akhir

Tahapan terakhir pembuatan kesimpulan berdasarkan simulasi dan analisa data yang telah didapatkan saat proses simulasi sistem. Sebagai hasil akhir, laporan akan ditulis dalam bentuk buku Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut:

BAB I **Pendahuluan**

Bab ini berisi pembahasan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi penelitian ini.

BAB II **Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisi pembahasan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar penelitian penelitian ini seperti *Fuel Cell*, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), *Metode Fuzy Logic Contoller*, *Perturb and Observe* (P&O).

BAB III **Desain dan Simulasi**

Bab ini berisi pembahasan mengenai desain sistem beserta spesifikasinya, hasil simulasi menggunakan perangkat lunak.

BAB IV **Analisis Data**

Bab ini berisi pembahasan mengenai analisis data dari hasil pengujian performa dari desain.

BAB V **Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis dan saran untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

Hasil dari Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Membantu memperoleh MPP (Maximum Power Point) dengan metode *Fuzzy Logic Controller*.
2. Digunakan sebagai referensi mahasiswa yang mengerjakan penelitian pada bidang energi terbarukan

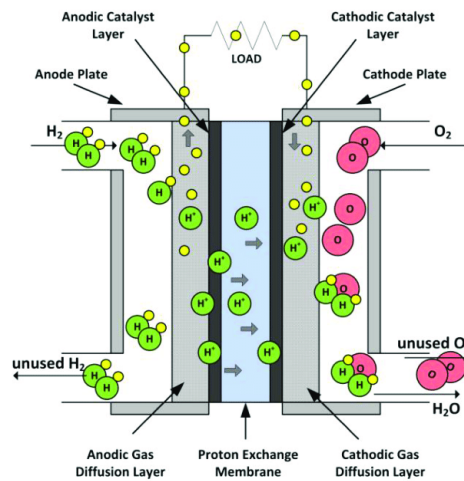
--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 2

MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS FUZZY LOGIC PADA PEM FUEL CELL

2.1 FUEL CELL

Fuel Cell Proton exchange membrane (PEM) adalah perangkat elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan panas. Ada beberapa jenis fuel cell yang dapat menghasilkan daya listrik mulai dari miliwatt hingga megawatt. PEM fuel cell mengubah energi kimia yang dibebaskan dari reaksi elektrokimia menjadi hidrogen dan oksigen menjadi energi listrik, berlawanan dengan pembakaran langsung gas hidrogen dan oksigen untuk menghasilkan energi panas.

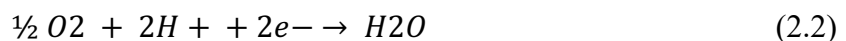


Gambar 2.1 Diagram skema fuel cell

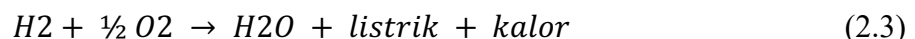
Bahan bakar bereaksi pada lapisan katalis anoda untuk membentuk proton dan elektron, persamaannya adalah sebagai berikut:



Bahan bakar bereaksi pada lapisan katalis katoda untuk membentuk proton dan elektron, persamaannya adalah sebagai berikut:



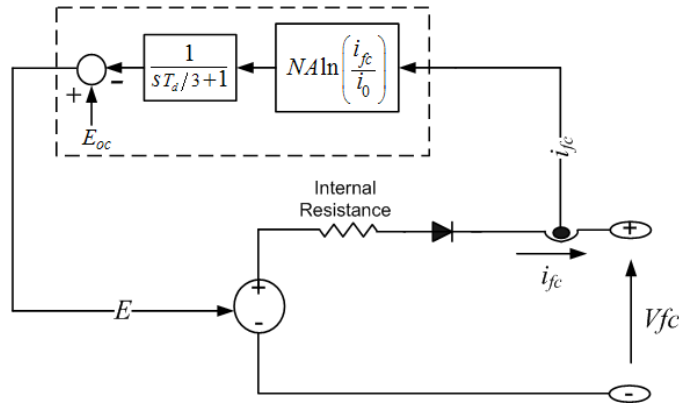
Sehingga secara keseluruhan, reaksinya adalah:



Kemampuan pembangkitan listrik oleh fuel cell mempunyai keterbatasan meskipun efisiensinya sudah cukup tinggi, karena adanya hambatan internal dan juga losses. Maka dari itu, fuel cell harus dipaksa beroperasi disekitar titik yang sesuai dengan titik daya maksimumnya (MPP). Secara umum, sistem fuel cell dioperasikan bersama dengan konverter daya dc-dc yang siklus kerjanya dimodulasi untuk melacak MPP. Kontroler MPPT menentukan sinyal kontrol D (duty cycle konverter DC/DC) bahwa daya maksimum diperoleh dari fuel cell dalam kondisi normal dan dengan adanya gangguan seperti beban dan variasi parameter sistem.

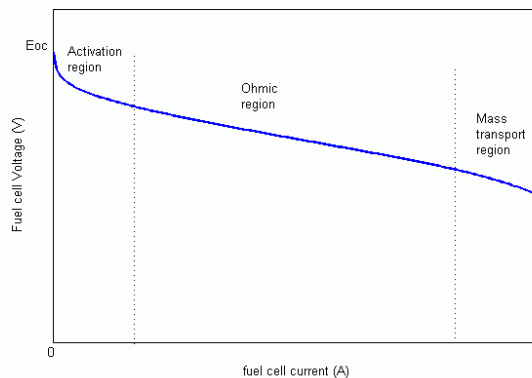
2.1.1 Fuel Cell Stack

ekivalen dari tumpukan Fuel Cell seperti:



Gambar 2.2 Rangkain Ekivalen Fuel Cell

Dalam Simulic pada MATLAB Model PEM Fuel Cell ini didasarkan pada rangkaian ekivalen dari tumpukan Fuel Cell yang beroperasi pada kondisi suhu dan tekanan nominal. Rangkaian Fuel Cell ini dapat dimodifikasi berdasarkan kurva polarisasi yang diperoleh dari lembar data pabrikan.



Gambar 2.3 Daerah operasi tegangan dan arus pada Fuel Cell

Wilayah pertama mewakili penurunan tegangan aktivasi karena lambatnya reaksi kimia yang terjadi pada permukaan elektroda dimana wilayah ini bergantung pada suhu dan tekanan operasi, jenis elektroda, dan katalis yang digunakan, sehingga wilayah ini tidak begitu luas. Wilayah kedua mewakili kerugian resistif karena adanya resistansi internal pada tumpukan Fuel Cell. Wilayah ketiga mewakili kerugian mass transport region dimana pada wilayah ini menampilkan perubahan konsentrasi reaktan pada saat Fuel Cell digunakan.

Fuel Cell jenis Polymer ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan daya output yang bervariasi dan mempunyai keunggulan dibandingkan Fuel Cell jenis yang lainnya karena kerapatan yang paling tinggi dan kepekaan terhadap CO_2 yang tinggi.

Dalam rangkainnya, Fuel Cell bisa lebih rinci atau pendalaman dari rangkaian ekivalen luarannya, dimana perhitungan ini digunakan untuk memodifikasi parameter input yang ideal.

$$E_{OC} = K_c E_N \quad (2.4)$$

$$E_{OC} = \frac{zFK(P_{H_2} + P_{O_2})\Delta v}{Rh} e^{-\frac{\Delta G}{RT}} \quad (2.5)$$

$$A = \frac{RT}{z\alpha F'} \quad (2.6)$$

Dimana,

z = Jumlah elektron yang bergerak

E_N = Tegangan termodinamika sel dan tergantung pada suhu dan tekanan parsial

α = Koefisien transfer muatan

P_{H_2} = Tekanan parsial hidrogen di dalam Fuel Cell (Pa)

P_{O_2} = Tekanan parsial oksigen di dalam Fuel Cell (Pa)

k = Konstanta Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

h = Konstanta Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ J s

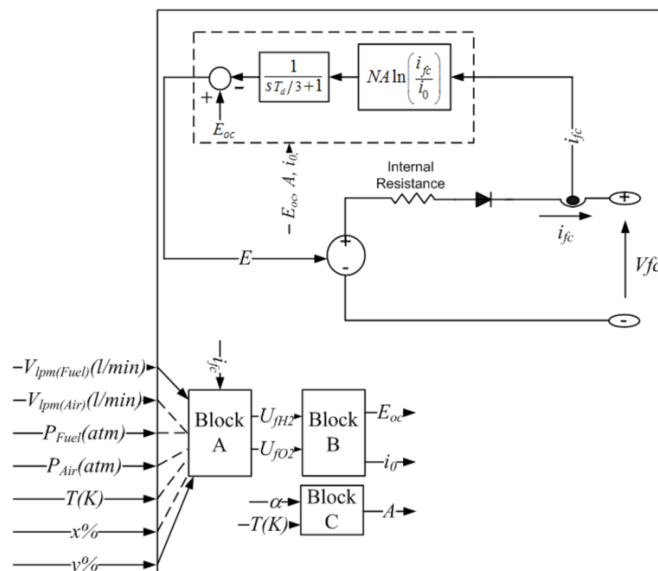
Δv = Faktor volume penghalang aktivasi (m^3).

ΔG = Ukuran penghalang yang tergantung pada elektroda dan katalis (J/mol)

T = Suhu operasi (K)

K_c = Konstanta tegangan pada kondisi operasi nominal

Rangkaian ekivalennya sama dengan model yang disederhanakan, kecuali bahwa parameter apabila nilai dari E_{oc} , i_o dan harus diperbarui secara *on-line* atau *use-rdefined* seperti yang ditunjukkan di bawah ini:



Gambar 2.4 Rangkaian Ekivalen Fuel Cell secara rinci

Laju pengkonversian hidrogen (U_{fH_2}) dan oksigen (U_{fO_2}) ditentukan di Blok A sebagai berikut:

$$\begin{cases} U_{fH_2} = \frac{n_{H_2}^r}{n_{H_2}^{in}} = \frac{6000RTNi_{fc}}{zFP_{fuel}V_{lpm}(fuel)x\%} \\ U_{fO_2} = \frac{n_{O_2}^r}{n_{O_2}^{in}} = \frac{6000RTNi_{fc}}{zFP_{air}V_{lpm}(air)y\%} \end{cases} \quad (2.7)$$

Dimana,
 P_{fuel} = Nilai absolut tekanan suplai bahan bakar (atm)
 P_{air} = Nilai absolut Tekanan suplai absolut udara (atm)
 $V_{lpm}(fuel)$ = Laju aliran bahan bakar (l/min)
 $V_{lpm}(air)$ = Laju aliran udara (l/mnt)
 x = Persentase hidrogen dalam bahan bakar (%)
 y = Persentase oksigen dalam oksidan (%)
 N = Jumlah sel

Konstanta 60000 berasal dari konversi dari laju aliran liter/menit yang digunakan dalam model menjadi m^3/s dimana 1 liter/menit bernilai sama dengan $1/60000 m^3/s$. Tekanan parsial dan tegangan Nernst ditentukan di Blok B dengan perhitungan:

$$\begin{cases} P_{H_2} = (1 - U_{fH_2})x\%P_{fuel} \\ P_{H_2O} = (w + 2y\%U_{fO_2})P_{air} \\ P_{O_2} = (1 - U_{fO_2})y\%P_{air} \end{cases} \quad (2.8)$$

Dan perhitungan,

$$E_n = \begin{cases} 1.229 + (T - 298) \frac{-44.43}{zF} + \frac{RT}{zF} \ln(P_{H_2}P_{O_2}^{1/2}), \text{ Saat } T \leq 100^\circ C \\ 1.229 + (T - 298) \frac{-44.43}{zF} + \frac{RT}{zF} \ln\left(\frac{P_{H_2}P_{O_2}^{1/2}}{P_{H_2O}}\right), \text{ Saat } T > 100^\circ C \end{cases} \quad (2.9)$$

Dimana,
 P_{H_2O} = Tekanan parsial uap air di dalam cerobong (atm)
 w = Persentase uap air dalam oksidan (%)

Dari tekanan parsial gas dan tegangan Nernst, nilai baru dari tegangan rangkaian terbuka (E_{oc}) dan arus pertukaran (i_0) dapat dihitung dengan perhitungan Blok C yang mempertimbangkan nilai baru kemiringan Tafel (A). Parameter alpha, G, dan Kc dihitung berdasarkan kurva polarisasi pada kondisi nominal operasi beserta beberapa parameter tambahan, seperti nilai kalor rendah (LHV) dari Fuel Cell, komposisi bahan bakar dan udara, tekanan suplai dan suhu. Mereka dapat dengan mudah diperoleh dari *datasheet*, dimana nilai nominalnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{cases} U_{fH_2} = \frac{n_{nom}\Delta h^\circ(H_2O(gas))N}{zFV_{nom}} \\ U_{fO_2} = \frac{6000RT_{nom}Ni_{nom}}{2zFP_{air_{nom}}V_{lpm}(air)_{nom} \cdot 0.21} \end{cases} \quad (2.10)$$

Dimana,
 η_{om} = Efisiensi LHV nominal tumpukan (%)
 $\Delta h^\circ(H_2O(gas)) = 241,83 \times 10^3 \text{ J/mol}$

V_{nom} = Tegangan nominal (V)
 I_{nom} = Arus nominal (A)
 $V_{lpm(air)nom}$ = Laju aliran udara nominal (l/mnt).
 P_{airnom} = Tekanan suplai udara absolut nominal (Pa).
 T_{nom} = Suhu operasi nominal (K).

Dari tingkat konversi ini, tekanan parsial nominal gas dan tegangan Nernst dapat diturunkan. Dengan E_{oc} , i_o dan diketahui dan dengan asumsi bahwa Fuel Cell beroperasi pada laju konversi atau penggunaan yang konstan pada kondisi nominal, α , ΔG , dan K_c dapat ditentukan. Jika tidak ada bahan bakar atau udara pada input Fuel Cell, maka bisa diasumsikan bahwa cerobong beroperasi pada laju konversi gas yang tetap (laju konversi nominal) atau konstan, yaitu pasokan gas disesuaikan dengan arus sehingga mereka selalu dipasok dengan sedikit lebih banyak dari yang dibutuhkan oleh Fuel Cell pada beban apa pun.

Arus maksimum yang dapat diberikan oleh Fuel Cell dibatasi oleh laju aliran maksimum Fuel Cell dan udara yang dapat dicapai. Di luar arus maksimum itu, keluaran tegangan oleh Fuel Cell akan berkurang secara tiba-tiba saat lebih banyak arus ditarik.

Dinamisasi dari Fuel Cell direpresentasikan oleh waktu respons dimana akan ditampilkan pada panel Fuel Cell pada kotak dialog. Penggunaan puncak ($U_{fO_2}(\text{puncak})$) dan tegangan undershoot (V_u) yang sesuai digunakan untuk memodelkan efek penipisan oksigen (karena penundaan kompresor udara) pada tegangan keluaran Fuel Cell. Tegangan Nernst dimodifikasi karena efek ini sebagai berikut:

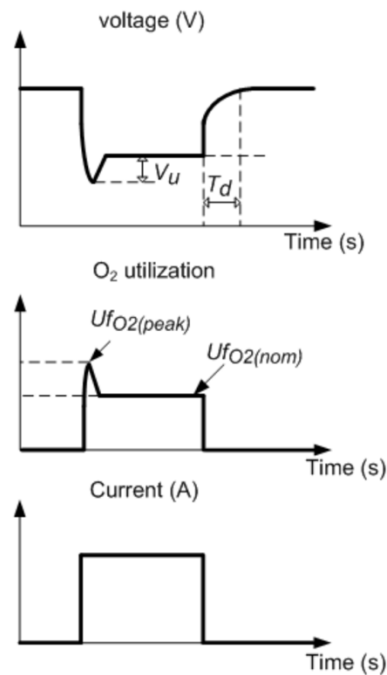
$$E_n = \begin{cases} E_n - K(U_{fO_2} - U_{fO_2(nom)}) , & U_{fO_2} > U_{fO_2(nom)} \\ E_n , & U_{fO_2} \leq U_{fO_2(nom)} \end{cases} \quad (2.11)$$

Dimana, K = Tegangan undershoot constant
 $U_{fO_2(nom)}$ = nominal oxygen utilization

K dapat dirumuskan:

$$K = \frac{V_n}{K_c(U_{fO_2(peak)} - U_{fO_2(nom)})} \quad (2.12)$$

Langkah pada tes interupsi ini harus dilakukan pada tumpukan nyata untuk mewakili dinamikanya dengan akurat. Gambar 2.5 menunjukkan respons Fuel Cell dari pengujian ini dan parameter yang diperlukan yaitu T_d , $U_{fO_2}(\text{puncak})$ dan V_u .



Gambar 2.5 Fuel Cell respon terhadap T_d , $U_{fO2(\text{puncak})}$ dan V_u .

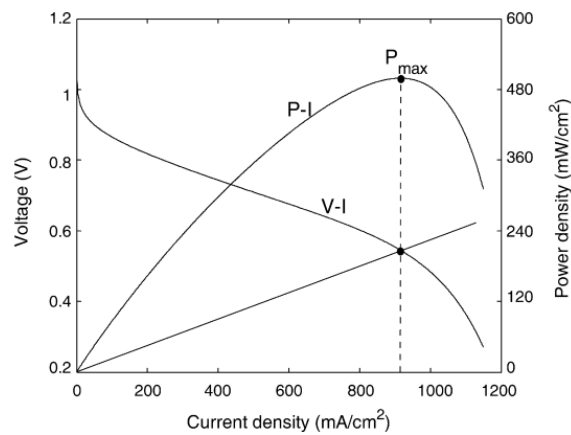
Pada Blok sistem Fuel cell ini diasumsikan bahwa:

1. Semua gas ideal
2. Fuel Cell diisi atau diberimasukan dengan hidrogen dan udara
3. Fuel Cell dilengkapi dengan sistem pendingin yang menjaga suhu katoda dan anoda sehingga keluaran stabil sama dengan suhu Fuel Cell
4. Fuel Cell dilengkapi dengan sistem pengelolaan air untuk menjaga kelembapan di dalam sel pada tingkat yang sesuai pada beban apa pun
5. Penurunan tegangan sel disebabkan oleh kinetika reaksi dan transportasi muatan karena sebagian besar sel bahan bakar tidak beroperasi di wilayah transportasi massal
6. Penurunan tekanan yang melintasi saluran aliran dapat diabaikan
7. Resistansi bernilai konstan pada kondisi operasi apa pun

Adapun batasan ya ditentukan pada sistem blok Fuel Cell ini adalah:

1. Dinamika reaksi kimia yang disebabkan oleh perubahan tekanan parsial spesies kimia di dalam sel tidak dipertimbangkan
2. Daya keluaran Fuel Cell dibatasi oleh laju aliran bahan bakar dan udara yang dipasok
3. Pengaruh suhu dan kelembaban membran pada resistansi internal tidak dipertimbangkan
4. Aliran gas atau air melalui membran tidak dianggap

2.1.2 Kurva Karakteristik Fuel Cell



Gambar 2.6 Kurva karakteristik *Fuel cell*.

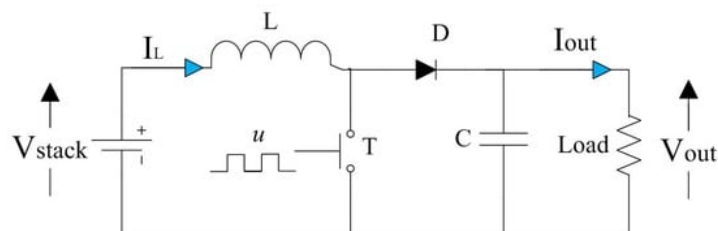
Kurva ini menunjukkan arus pada sumbu horizontal yang dan tegangan pada sumbu vertikal. Titik daya maksimum atau Maximum Power Point (MPP) berada di sekitar lengkungan kurva I-V saat hasil perkalian nilai I dan V mencapai nilai maksimum.

2.2 Konverter DC/DC

Konverter DC/DC merupakan peralatan yang digunakan untuk mengubah level tegangan DC. Dalam mengubah level tegangannya dibagi menjadi beberapa jenis yaitu *Buck*, *Boost* dan *Buck Boost* dimana *Buck* konverter berfungsi untuk menurunkan level tegangan, *Boost* berfungsi untuk menaikkan level tegangan dan *Buck Boost* berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan level tegangan. Dalam pemilihan konverter DC-DC harus mempertimbangkan beberapa faktor diantara lain adalah aliran daya input dan output, biaya, fleksibilitas, serta respon terhadap karakteristik turbin angin. Pada konverter ini akan menggunakan *Boost Converter*.

2.2.1 Konverter Boost

Boost Konverter mampu menyediakan tegangan luaran yang lebih tinggi dibanding dengan tegangan masukannya. Dalam penggunaannya konverter menggunakan sistem pensaklaran untuk mengatur duty cycle dengan memberikan sinyal PWM (pulse width modulation).



Gambar 2.7 Rangkaian *Boost Konverter*

Berdasarkan cara kerjanya, konverter boost dibagi menjadi dua bagian, yaitu kondisi pada saat switch 'on' dan pada saat saata switch 'off' Pengaktifan switch transistor bergantung pada duty cycle pulsa PWM yang diberikan, yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

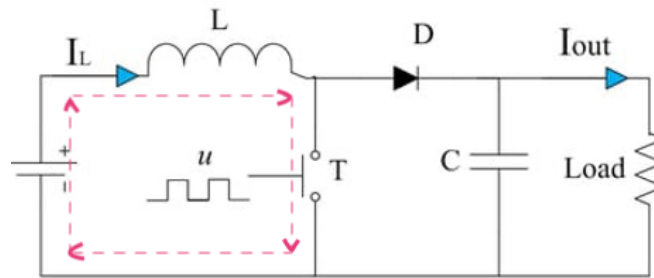
$$D = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.13)$$

$$t_{off} = T_s - t_{on} \quad (2.14)$$

$$t_{off} = T_s(1 - D) \quad (2.15)$$

Dimana: t_{on} = waktu pulsa ON
 t_{off} = waktu pulsa OFF
 D = duty cycle
 T_s = periode switching

Saat kondisi saklar ON, induktor L pada rangkaian akan terhubung langsung dengan sumber V_{stack} dan induktor L akan mengalami proses charging. Gambar 2.8 merupakan ilustrasi pada saat konverter dalam kondisi switch 'ON'.



Gambar 2.8 Rangkaian Boost Konverter switch ON

Persamaannya, dapat ditulis:

$$V_s = V_L \quad (2.16)$$

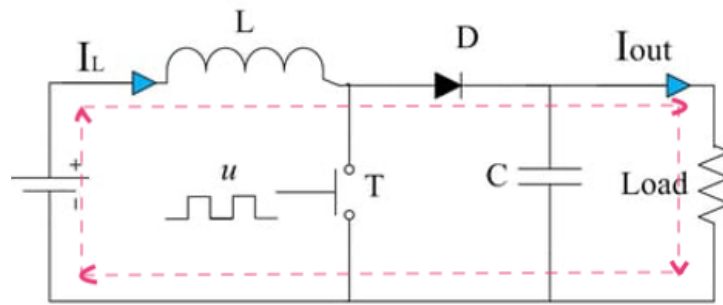
$$V_s = L \frac{di}{dt} \quad (2.17)$$

$$V_s = L \frac{di}{t_{on}} \quad (2.18)$$

$$L_{di} = V_s \cdot t_{on} \quad (2.19)$$

Dimana: V_s = Tegangan sumber
 V_L = Tegangan induktor L

Saat kondisi saklar OFF, Tegangan sumber akan terhubung seri dengan induktor L dan resistor R. pada kondisi ini induktor L akan melakukan proses discharging, sehingga induktor L bekerja sebagai sumber. Resistor R akan menjadi beban yang disuplai oleh dua sumber, yaitu sumber V_s dan induktor L. Gambar 2.7 merupakan ilustrasi pada saat konverter dalam kondisi switch 'OFF'.



Gambar 2.9 Rangkaian Boost Konverter switch OFF

Persamaannya, dapat ditulis:

$$V_o = V_s + V_s \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} \right) \quad (2.20)$$

$$V_o = V_s \left(1 + \frac{t_{on}}{t_{off}} \right) \quad (2.21)$$

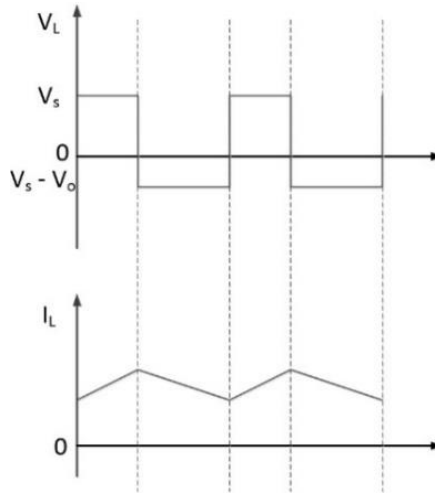
$$V_o = V_s \left(\frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} \right) \quad (2.22)$$

$$V_o = V_s \left(\frac{T_s}{T_s(1 - D)} \right) \quad (2.23)$$

$$V_o = V_s \left(\frac{1}{1 - D} \right) \quad (2.24)$$

Persamaan berikut menunjukkan bahwa jika saklar OFF maka nilai D akan nol, sehingga tegangan *output* sama dengan tegangan *input*. Ketika rasio D diperbesar, maka nilai *denominator* menjadi lebih kecil sehingga menghasilkan tegangan *output* lebih besar. Oleh karena itu konverter *boost* pasti akan menghasilkan tegangan *output* lebih besar dan atau sama dengan tegangan *input*.

Boost Konverter merupakan sebuah rangkaian yang terdiri dari Induktor (L), kapasitor (C), Dioda (D), Resistor (R), dan Saklar berupa mosfet (T). Saat rangkaian keadaan *steady state* yaitu pada kondisi CCM (*Continous Conduction Mode*) terdapat dua mode yaitu ketika saklar dalam kondisi ON dimana induktor berada pada fase *charging* dan saklar saat kondisi OFF dimana induktor berada pada fase *discharging*.



Gambar 2.10 Bentuk gelombang arus dan tegangan saat kondisi CCM

Daya luarannya dapat dibuktikan dengan rumus:

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} = V_o I_o \quad (2.25)$$

$$V_s I_s = V_s I_L \quad (2.26)$$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.27)$$

$$V_s I_L = \frac{V_s^2}{(1-D)^2} R \quad (2.28)$$

Sehingga, I_L dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$I_L = \frac{V_s^2}{(1-D)^2} R = \frac{V_o^2}{V_s R} \quad (2.29)$$

$$I_L = \frac{V_o I_o}{V_s} \quad (2.30)$$

Arus maksimum dan minimum induktor dapat ditentukan dengan menggunakan nilai rata-rata dan perubahan arus dari persamaan

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_s^2}{(1-D)^2} R + \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.31)$$

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_s^2}{(1-D)^2} R - \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.32)$$

Dari persamaan diatas bisa dicari batas antara arus induktor kontinyu dan tidak kontinyu. Dimana ketika arus induktor kontinyu maka memiliki nilai arus positif. Sehingga dapat ditentukan melalui persamaan,

$$I_{min} = 0 = \frac{V_s^2}{(1-D)^2} R - \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.33)$$

Atau

$$\frac{V_s^2}{(1-D)^2}R = \frac{V_sDT}{2L} = \frac{V_sD}{2Lf} \quad (2.34)$$

Sehingga

$$(Lf)_{min} = \frac{D(1-D)^2R}{2} = \frac{V_sD}{2Lf} \quad (2.35)$$

Atau

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2R}{2f} \quad (2.36)$$

Dalam pembuatan desain konverter *boost* pada arus kontinyu maka nilai induktor harus lebih besar dari L_{min} . Oleh karena itu dengan menyatakan nilai L sesuai dengan nilai ΔI_L yang diinginkan maka didapatkan persamaan,

$$L = \frac{V_sDT}{\Delta I_L} \quad (2.37)$$

$$L = \frac{V_sD}{\Delta I_L f} \quad (2.38)$$

Dalam prakteknya kapasitansi kapasitor yang sangat besar akan menghasilkan fluktuasi pada tegangan luaran atau biasa disebut *ripple*. *Ripple* tegangan luaran *peak-to-peak* dapat dihitung melalui bentuk gelombang arus kapasitor sesuai yang ditunjukkan pada persamaan,

$$|\Delta Q| = \frac{V_o}{R}DT = C\Delta V_o \quad (2.39)$$

Selanjutnya untuk persamaan ripple tegangan luaran adalah,

$$\Delta V_o = \frac{V_oDT}{RC} = \frac{V_oD}{RCf} \quad (2.40)$$

Atau,

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.41)$$

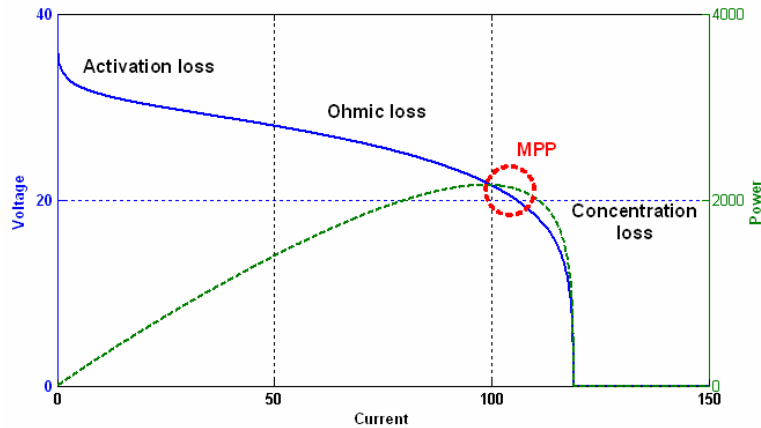
Sehingga, kita bisa mendapatkan nilai kapasitansi sesuai desain yang diinginkan dimana f merupakan frekuensi *switching*.

$$C = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) f} \quad (2.42)$$

2.3 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking atau yang sering disebut dengan MPPT adalah metode pelacakan nilai daya maksimum dari suatu sistem. Pada suatu titik tertentu sistem tersebut memiliki nilai daya maksimum. Titik yang menghasilkan daya maksimum disebut Maximum Power Point (MPP). Untuk mencapai titik ini, dibutuhkan metode perhitungan dan algoritma tracking daya keluaran yang maksimal yang akan menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Karakteristik keluaran fuel cell menunjukkan perilaku nonlinier dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk suhu operasi, dan kadar air membran. Namun, kurva daya arus keluaran PEM fuel cell ini memiliki titik daya maksimum (MPP) yang unik untuk setiap kondisi operasi tertentu. Sehingga penting untuk menemukan titik operasi optimal dari tegangan dan/atau arus fuel cell untuk memaksimalkan pemanfaatan energi dan efisiensi.



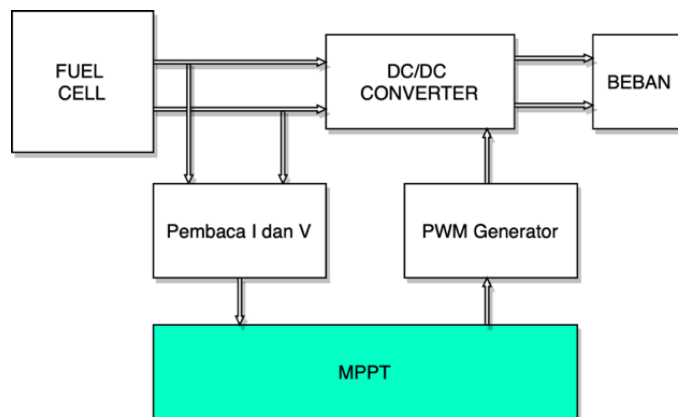
Gambar 2.11 Kurva Penentuan MPPT

Prinsip kerja dari MPPT adalah dengan menaikkan dan menurunkan tegangan kerja. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengatur duty cycle pada konverter. Sebaliknya, saat tegangan kerja turbin angin lebih besar dari V_{mpp} , maka tegangan kerja diturunkan hingga mendekati V_{mpp}

2.3.1 Skema Konverter Menggunakan MPPT

Daya keluaran dari Fuel Cell yang akan masuk ke MPPT akan bekerja memposisikan tegangan kerja atau V_{ref} pada titik MPP dan akan menjaga operasi sistem Fuel Cell agar tetap menghasilkan daya paling maksimal meskipun daya keluarannya dalam kondisi yang berbeda-beda.

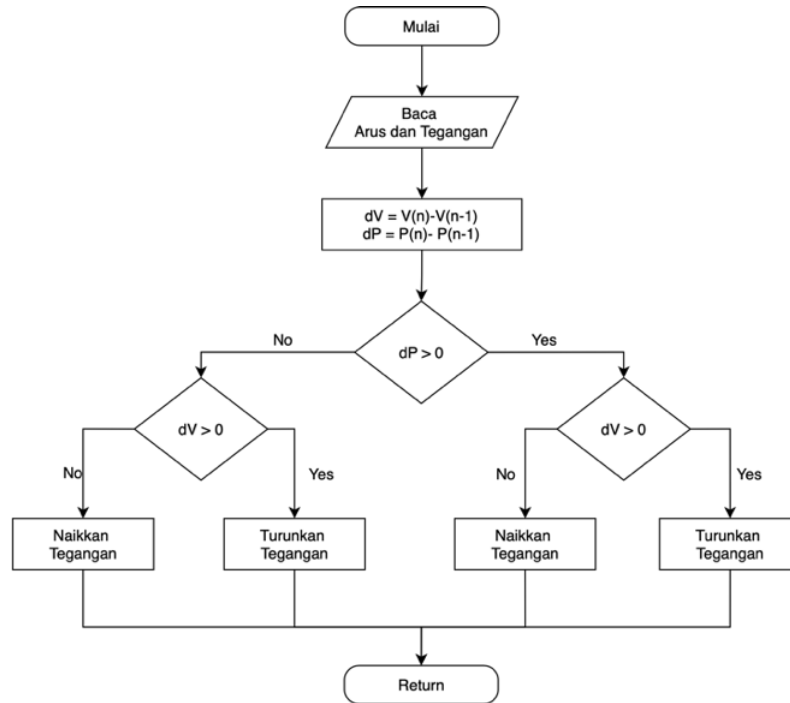
Dalam langkah operasi atau skema kerja dari MPPT, akan dilakukan pengukuran arus dan tegangan dari Fuel Cell. Arus dan tegangan hasil keluaran Fuel Cell ini akan diolah pada algoritma MPPT dan akan dihasilkan suatu duty cycle yang dapat menghasilkan daya pada titik MPP dan kemudian Duty Cycle akan mengatur penyaklaran pada multi-input konverter.



Gambar 2.12 Block Diagram Konverter dengan MPPT

2.3.2 Algoritma Perturb and Observe (P&O)

Algoritma Perturb and Observe (P&O) merupakan metode yang sudah sering digunakan sehingga sering disebut sebagai metode konvensional. Penggunaan metode ini digunakan untuk mencari titik Maximum Power Point (MPP) pada Fuel Cell. Namun, metode P&O memiliki kekurangan yaitu pada kondisi steady state terdapat osilasi yang disebabkan karena tidak ada perubahan pada duty cycle.

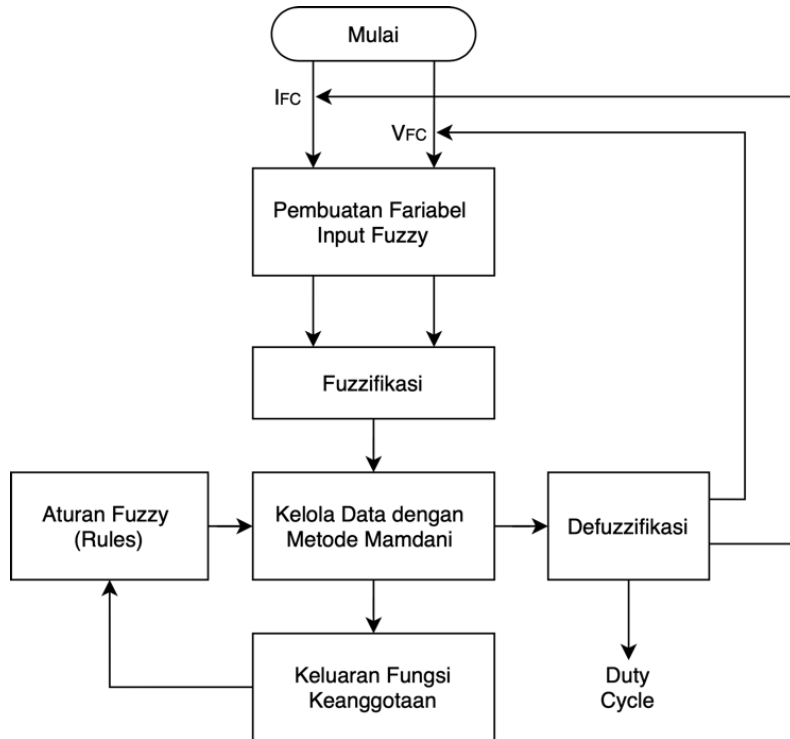


Gambar 2.13 Algoritma *Perturb and Observe* (P&O)

Algoritma Perturb and Observe (P&O), diawali dengan pembacaan data awal oleh sensor berupa tegangan $V(n)$ dan arus $I(n)$. Didapatkan besaran daya yang dihitung melalui perkalian data awal tersebut. Kemudian algoritma selanjutnya adalah perturb pada sisi tegangan output Fuel Cell dan observe nilai perubahan daya (dP). Jika nilai tegangan dinaikkan didapatkan daya yang semakin naik, maka perturb akan dilanjutkan dengan menaikkan nilai Tegangan referensinya. Sebaliknya, apabila pada saat nilai tegangan dinaikkan dan didapatkan daya yang semakin turun, maka nilai Tegangan referensinya akan diturunkan. Algoritma ini berlanjut sampai didapatkan nilai daya paling tinggi.

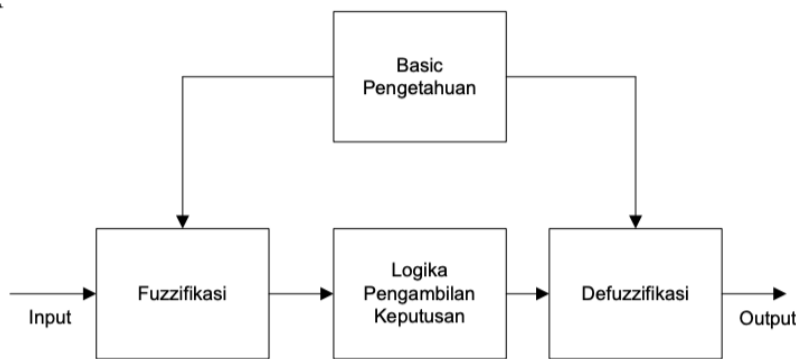
2.4 Fuzzy Logic

himpunan fuzzy dalam perancangannya. Terdapat tiga tahapan dalam FLC, yaitu fuzzifikasi, mekanisme inferensi dan defuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan tahap awal yang bekerja dengan cara mengubah nilai tegas (crisp) dari suatu variabel menjadi nilai fuzzy. Nilai yang telah berbentuk fuzzy ini selanjutnya digunakan sebagai masukan dari mekanisme inferensi. Pada tahap ini, akan dilakukan pengambilan keputusan dari masukan yang ada berdasarkan basis aturan logika yang dirancang. Terakhir, nilai keluaran dari mekanisme inferensi yang berbentuk fuzzy selanjutnya diubah kembali kedalam bentuk tegas melalui proses defuzzifikasi.



Gambar 2.14 Arsitektur dasar Fuzzy Logic Controller

Skema Fuzzy Logic control terdiri dari 4 bagian yaitu fuzzifikasi, basic pengetahuan, logika pengambil keputusan, defuzzifikasi.



Gambar 2.15 Skema FLC

2.4.1 Fuzzifikasi

Pada tahap fuzzifikasi, variabel input crisp diubah menjadi label linguistik sesuai dengan membership functions (MFs) input yang telah ditentukan. Label linguistik yang dikonversi pada tahap pertama digunakan sebagai input fuzzy untuk menghasilkan keputusan verbal. Input fuzzy digunakan oleh mesin inferensi fuzzy berdasarkan konsep aturan jika-maka (if-then) untuk menghasilkan output fuzzy. Pada tahap ketiga, output fuzzy yang dihasilkan diubah menjadi nilai crisp. Untuk aplikasi MPPT sistem FLC, dua input digunakan untuk menghasilkan satu output untuk mengoperasikan sistem pada MPP. Variabel input dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$E(k) = \frac{dP_{FC}}{dV_{FC}} = \frac{P_{FC}(k) - P_{FC}(k-1)}{V_{FC}(k) - V_{FC}(k-1)} \quad (2.43)$$

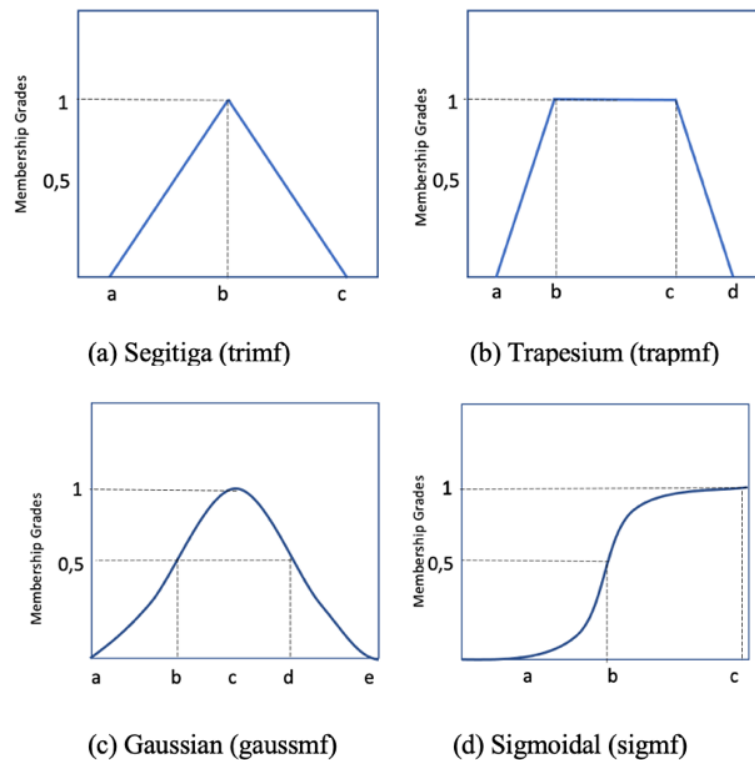
$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad (2.44)$$

Nilai $E(k)$ mewakili sinyal kesalahan dari perubahan kemiringan kurva PFC-VFC saat konstan. $\Delta E(k)$ menunjukkan perubahan sinyal kesalahan antara (k) th dan $(k+1)$ th detik kesekian. Nilai $P_{FC}(k)$ dan $V_{FC}(k)$ mewakili sinyal daya dan tegangan FC sampel pada saat waktu tertentu (k) , dan $P_{FC}(k-1)$ dan $V_{FC}(k-1)$ mewakili sinyal sampel mereka pada saat waktu tertentu $(k-1)$.

Sedangkan variabel keluarannya adalah siklus duty cycle $\Delta D(k)$, yang digunakan dengan duty cycle dari langkah waktu sebelumnya untuk menghasilkan duty cycle operasi saat ini. duty cycle keluaran untuk MPPT, yang diterapkan pada konverter dc/dc dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$D(k) = \Delta D(k) + D(k-1) \quad (2.45)$$

Didalam proses *fuzzification* variabel masukan yang berupa nilai numerik (*crisp*) akan diubah menjadi variabel linguistic berdasarkan fungsi keanggotaan yang dimana sering disebut dengan membership function atau fungsi keanggotaan yang menunjukkan pemetaan titik-titik input/ output data ke dalam nilai keanggotaannya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan dengan melalui pendekatan fungsi. Fungsi keanggotaan memiliki peranan yang sangat penting untuk merepresentasikan masalah dan menghasilkan keputusan yang tepat dan akurat. Dalam jenisnya, terdapat beberapa jenis fungsi keanggotaan, diantaranya seperti gambar:



Gambar 2.16 Tipe Fungsi keanggotaan

2.4.2 Logika Pengambil Keputusan

Logika ini merupakan menerima hasil dari proses perhitungan pada proses fuzzifikasi. Fungsi keanggotaan (membership function) yang akan kita gunakan dalam proses MPPT terdiri dari lima anggota yaitu PB (*positive big*), PS (*positive small*), Z (*zero*), NS (*negative small*), dan NB (*negative big*). Setelah dikonversi menjadi variabel linguistik, fungsi keanggotaan dari output akan ditentukan berdasarkan aturan fuzzy (*rule based fuzzy*). Metode yang digunakan untuk merumuskan aturan fuzzy didapatkan dari logika.

Tabel 2.1 Logika Aturan Fuzzy

| E(k)/CE(k) | NB | NS | Z | PS | PB |
|------------|----|----|----|----|----|
| NB | NB | NB | NB | NS | Z |
| NS | NB | NB | NS | Z | PS |
| Z | NB | NS | Z | PS | PB |
| PS | NS | Z | PS | PB | PB |
| PB | Z | PS | PB | PB | PB |

Pembacaan tabel tersebut menggunakan logika **IF-THEN**, sebagai contoh apabila E(k) bernilai NB dan CE(k) bernilai NB maka output yang dihasilkan adalah NB (**IF E(k) adalah NB dan CE(k) adalah NB THEN output adalah NB**).

2.4.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan hasil keluaran setelah melewati proses pengambilan keputusan yang berbentuk variabel linguistik akan dikonversi kembali menjadi nilai numerik (*crisp*). Pada umumnya defuzzification terdiri dari dua algoritma yaitu Center of Area (COA) dan Max Criterion Area (MCA). Namun hampir kebanyakan metode yang digunakan pada proses defuzzification adalah COA yang merupakan gabungan dari total keseluruhan set fuzzy. Pusat gravitasi (ΔD) dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut,

$$\Delta D = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(\Delta D_j) \cdot \Delta D_j}{\sum_{j=1}^n \mu(\Delta D_j)} \quad (2.46)$$

Hasil luaran logika fuzzy yangmana perubahan duty cycle $\Delta D(k)$ yang telah dihitung melalui persamaan diatas dan diskalakan dengan penambahan $S\Delta D$ sehingga menghasilkan nilai aktual dari duty cycle $D(k)$ melalui persamaan,

$$D(k) = D(k - 1) - S\Delta D \cdot \Delta D(k) \quad (2.47)$$

Sehingga output dari crisp inilah yang akan digunakan input pada mosfet pada MPPT.

2.4.4 Rules

Rule Based System atau Aturan sistem merupakan cara untuk menyimpan dan memanipulasi pengetahuan yang sudah dibentuk pada Fungsi keadnggotaan untuk diwujudkan dalam suatu yang dapat membantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan atau dapat juga didefinisikan sebagai suatu “Sistem Pakar” yang menggunakan aturan-aturan untuk menyajikan pengetahuannya.

Cara untuk menunjukkan bentuk pengetahuan dalam bahasa semi natural pada *Fuzzy Rule-Based System* adalah dengan memakai aturan atau rules.

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

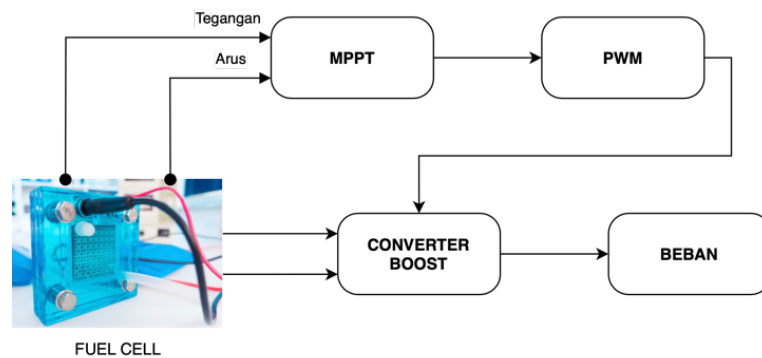
BAB 3 DESAIN DAN SIMULASI

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan mengenai proses desain dan simulasi dari sistem MPPT pada Fuel Cell dengan metode Fuzzy Logic Controller dan juga metode pembandingnya yaitu Perturb and Observe (P&O). Pada pembahasan Fuel Cell blok akan dibahas mengenai uji karakteristik dengan sistem *closeloop* dan juga pada pembahasan desain konverter akan dibahas mengenai perhitungan nilai-nilai komponen yang digunakan dalam implementasi konverter. Kemudian akan dilanjutkan proses simulasi menggunakan software Simulink pada MATLAB.

3.1 Permodelan Sistem

Keseluruhan sistem pada penelitian ini terdiri dari beberapa blok, diantaranya Fuel Cell yang terhubung dengan konverter boost dan dikontrol oleh MPPT dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dan algoritma *Perturb and Observe* (P&O). Keseluruhan sistem menggunakan aplikasi SIMULINK yang ada pada *software* MATLAB 2020b.

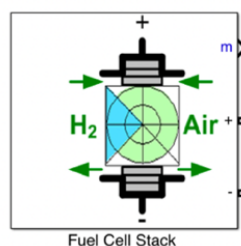
Pada penelitian ini, simulasi dari sistem *MPPT* Simulasi sistem secara keseluruhan meliputi Fuel Cell, konverter *boost*, dan sistem kontrol seperti ditunjukkan pada gambar:



Gambar 3.1 Skema permodelan sistem Fuel Cell dengan MPPT

3.2 Desain Fuel Cell

Pada penelitian ini menggunakan sumber daya listrik berupa Fuel Cell (FC). Modul Fuel Cell pada penelitian ini menggunakan diagram blok pada program *Library* Simulink pada MATLAB. Jenis Fuel Cell Stack yang digunakan pada simulasi penelitian ini adalah dengan menggunakan Fuel Cell jenis *Proton exchange membrane* Fuel Cell (PEMFC). Pada *Library* SIMULINK Fuel Cell Stack digambarkan dengan simbol seperti pada gambar 3.2.



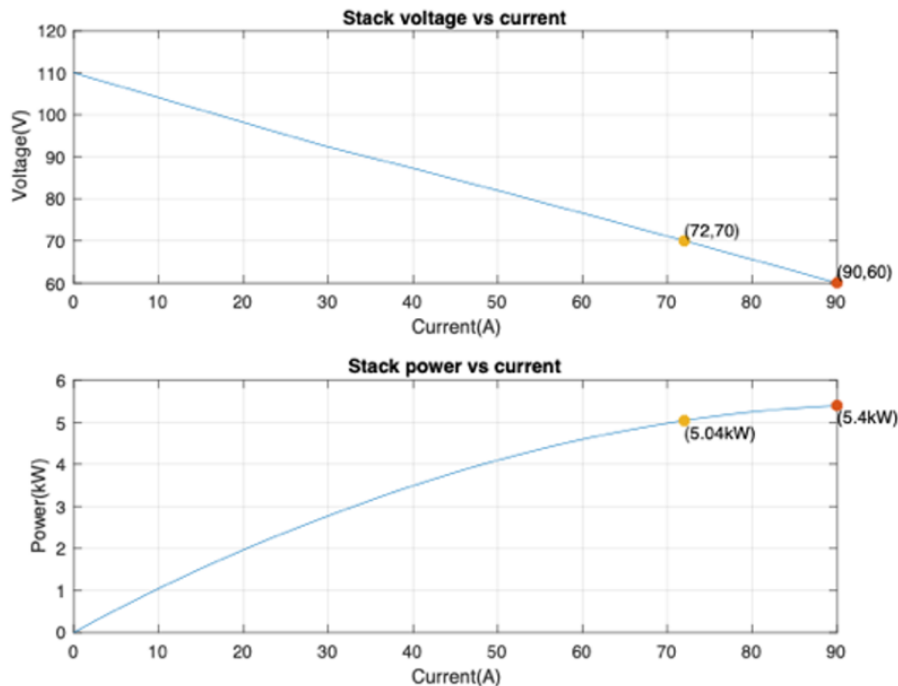
Gambar 3.2 Blok FC Stack

Parameter Blok Fuel Cell yang digunakan adalah Model Preset *user defined* dimana, Fuel Cell diatur untuk beroperasi pada nominal kapasitas 5000W. Datasheet modul Fuel Cell stack ditunjukkan pada Tabel 3.1.

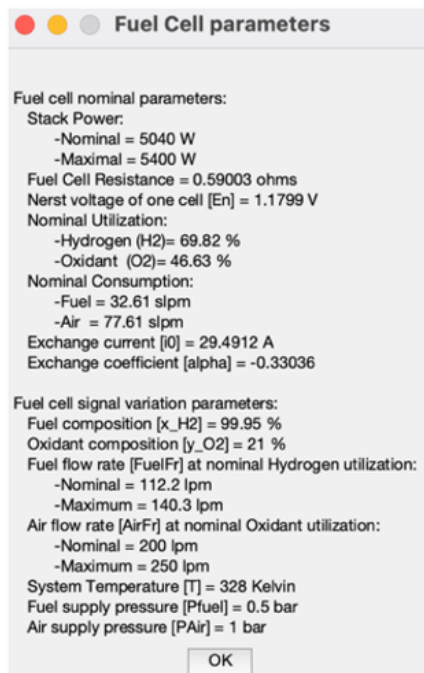
Tabel 3.1 Parameter Fuel Cell (*User-defined*)

| Parameter | Nilai | |
|--------------------------|-----------------------|---------|
| Voltage | 0 A | 110 V |
| | 1 A | 100 V |
| Nominal operating point | 72 A | 70 V |
| Maximum operating point | 90 A | 60 V |
| Number of cells | 65 Cell | |
| Nominal stack efficiency | 60% | |
| Operating temperature | 55 | |
| Nominal Air flow rate | 200 lpm | |
| Nominal supply pressure | Fuel | 0.5 bar |
| | Air | 1 bar |
| Nominal composition (%) | H ₂ | 99.95 |
| | O ₂ | 21 |
| | H ₂ O(Air) | 1 |

Seperti yang terlihat pada tabel Blok Fuel Cell ini memiliki daya nominal 5000 W, dan maksimal daya 5400W. *Setting* pada blocks simulator Fuel Cell Stack pada *Simulink* didapatkan kurva karakteristik dan juga parameter yang ditunjukkan pada gambar



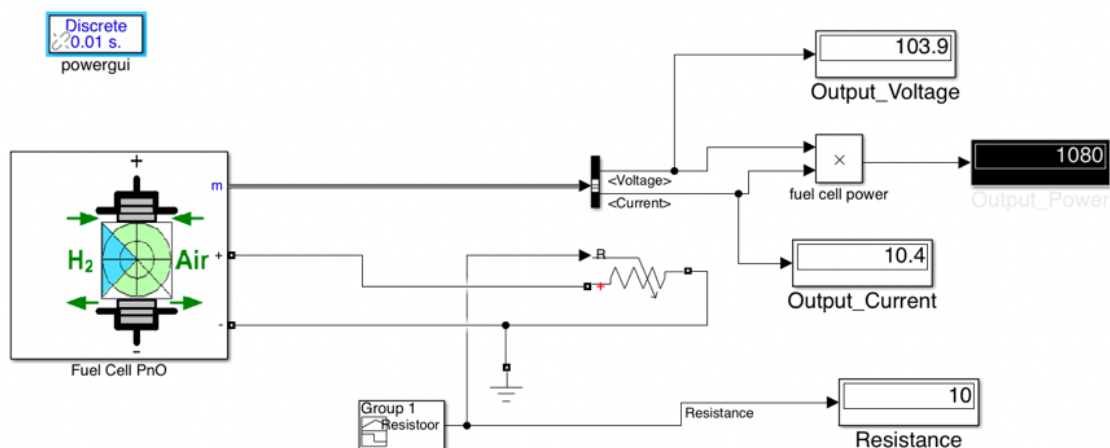
Gambar 3.3 Karakteristik dan Parameter Fuel Cell



Gambar 3.4 Fuel Cell Parameters

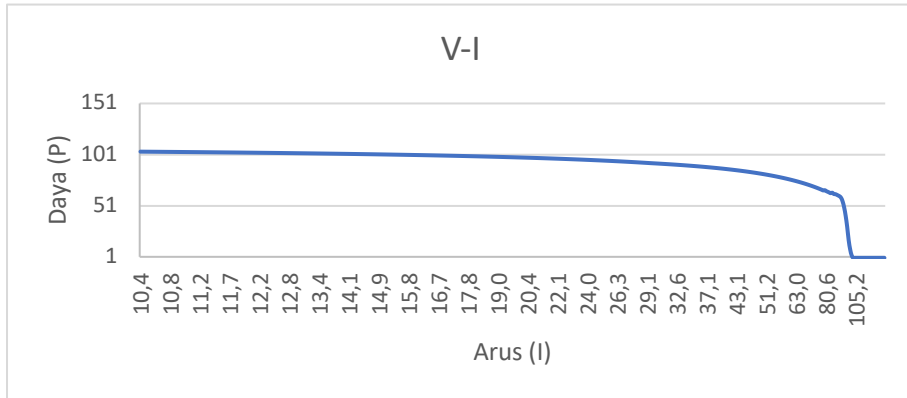
3.2.1 Parameter dan Karakteristik Fuel Cell

Dari hasil parameter yang sudah ditentukan sesuai dengan Tabel 3.1 diatas, Blok Fuel Cell diuji secara closeloop dengan variabel beban mulai 0-10 Ω seperti yang tertera pada Gambar 3.4 untuk mendapatkan kurva karakteristiknya setelah Blok Fuel Cell dinyalakan secara langsung.

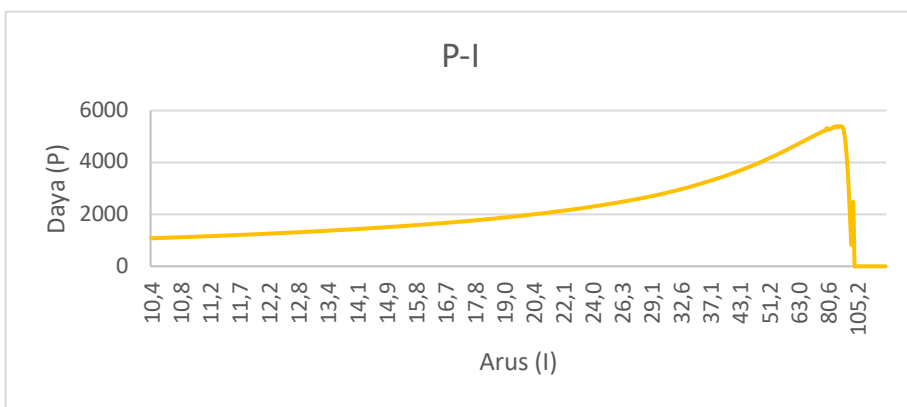


Gambar 3.5 Rangkaian uji Karakteristik Fuel Cell

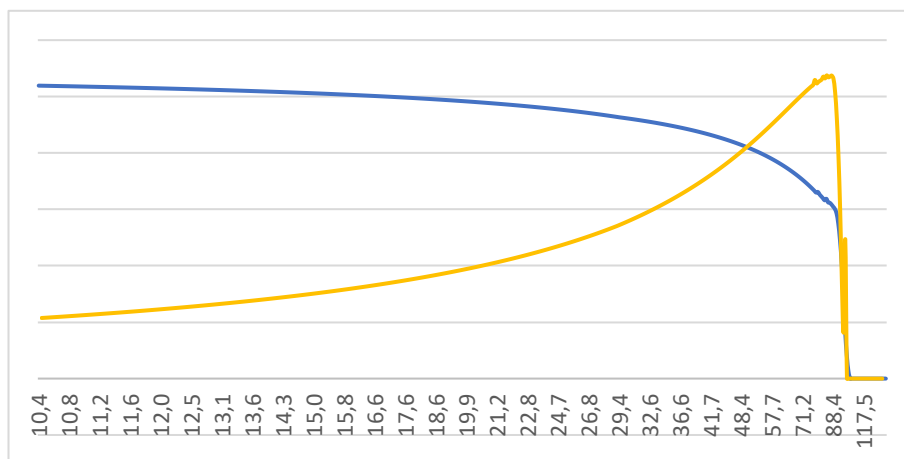
Saat simulasi dilakukan, didapatkan kurva karakteristik aslinya, dimana terdapat kurva pembanding tegangan-arus, dan juga kurva daya-arus yang ditampilkan pada gambar 3.5 dan data secara rinci terdapat pada Lampiran 1.



Gambar 3.6 Kurva V-I Fuel Cell



Gambar 3.7 Kurva P-I Fuel Cell



Gambar 3.8 Kurva Karakteristik Blok Fuel Cell

3.3 Desain Konverter Boost

Konverter boost digunakan sebagai sumber tegangan atau penyalur tegangan yang nantinya akan digunakan sebagai supkai ke beban. Desain konverter dimulai dengan penentuan perhitungan *duty cycle*, penentuan beban resistif, nilai kapasitor dan induktor dari sistem yang akan digunakan sehingga mendapatkan desain yang baik.

3.3.1 Perhitungan Duty Cycle

Penentuan nilai *duty cycle* digunakan untuk menentukan *duty cycle* keluaran dari MPPT yang didapat dari nilai tegangan input dan tegangan output sesuai dengan rumus:

$$V_o = V_s \left(\frac{1}{1 - D} \right)$$

Sesuai dengan parameter yang sudah ditentukan, V_o bernilai 90 V dan V_s bernilai 72, maka didapatkan nilai *duty cycle* sebesar:

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

$$D = \frac{72 - 90}{-72}$$

$$D = \frac{18}{72}$$

$$D = 0,25$$

3.3.2 Perhitungan Nilai Resistor

Setelah mengetahui nilai *duty cycle*, kita mencari nilai resistor bayangan untuk rangkaian konverter *boost*, dimana penentuan nilainya didapatkan dari rumus:

$$R = \frac{V_o^2}{P}$$

Dengan nilai tegangan output adalah 90 Volt, dan daya maksimumnya 5400 Watt, sehingga nilai resistornya adalah:

$$R = \frac{90^2}{5400}$$

$$R = \frac{8100}{5400}$$

$$R = 1,5 \Omega$$

3.3.3 Perhitungan Nilai Capasitor

Selanjutnya, setelah menemukan nilai *duty cycle* dan nilai beban, kita dapat menentukan nilai kapasitornya dengan rumus:

$$C = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) f}$$

Dari rumus tersebut, nilai ΔV_o diperoleh dari %5 dari nilai V_o , sehingga nilai Kapasitornya adalah:

$$C = \frac{2,5}{1,5 \left(\frac{90 \times 4,5}{90} \right) 2000}$$

$$C = \frac{2,5}{1,5 \times 0,05 \times 2000}$$

$$C \approx 0,00166667 \text{ F}$$

3.3.4 Perhitungan Nilai Induktor

Penentuan nilai induktor pada desain didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.25) konverter berada dalam operasi CCM (*Continuous Conduction Mode*), nilai ripple yang digunakan adalah sebesar 30%.

$$\Delta I_L = I \times 30\%$$

$$\Delta I_L \approx 60 \times 0,3$$

$$\Delta I_L \approx 18 \text{ A}$$

Sehingga, nilai Induktornya dapat dihitung dengan,

$$L = \frac{V_s D}{\Delta I_L f}$$

$$L = \frac{72 \times 0,25}{18 \times 2000}$$

$$L \approx 0,000428571 \text{ H}$$

Untuk nilai MOSFET dan Dioda digunakan MOSFET dan Dioda ideal, dengan artian tidak mengubah *setting* dari *Library* SIMULINK.

Dari seluruh perhitungan untuk mendapatkan nilai duty cycle, resistor, kapasitor dan juga induktornya, dapat disimpulkan seperti pada Tabel

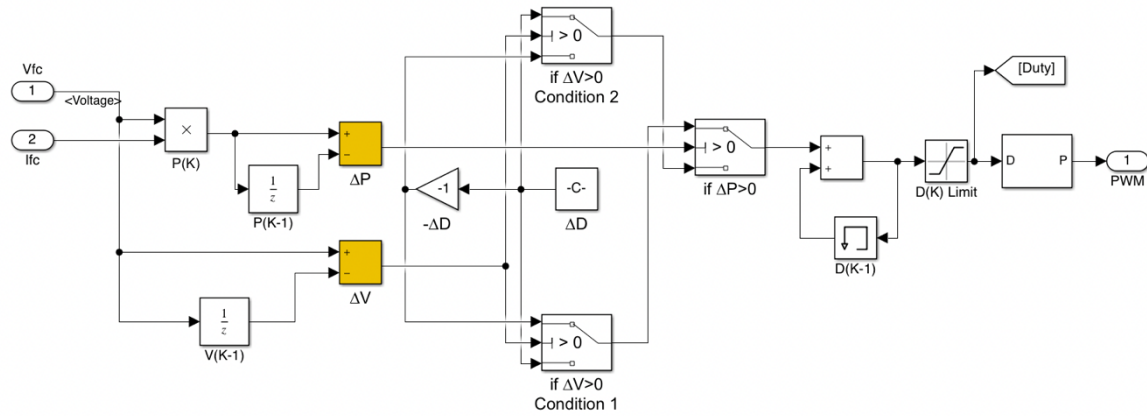
Tabel 3.2 Tabel Data Konverter Boost

| Parameter | Nilai |
|------------------------|--------------|
| Daya Maksimum | 5400 Watt |
| Tegangan maksimum (Vo) | 90 Volt |
| Arus maksimum (Io) | 60 Ampere |
| Duty cycle | 0.25 |
| Resistor | 1.5 Ω |
| Induktor | 0.00042857 H |
| Kapasitor (min) | 0.00166667 F |

3.4 Perancangan MPPT Algoritma Perturb and Observation

MPPT digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang optimal sehingga didapatkan daya luaran yang maksimum dari suatu siste, dimana sistem pada penelitian ini merupakan sistem Fuel Cell. Prinsip dari MPPT adalah menaikkan dan atau menurunkan tegangan kerja dari Fuel Cell. Dalam penerapannya MPPT dipakai dengan menggunakan

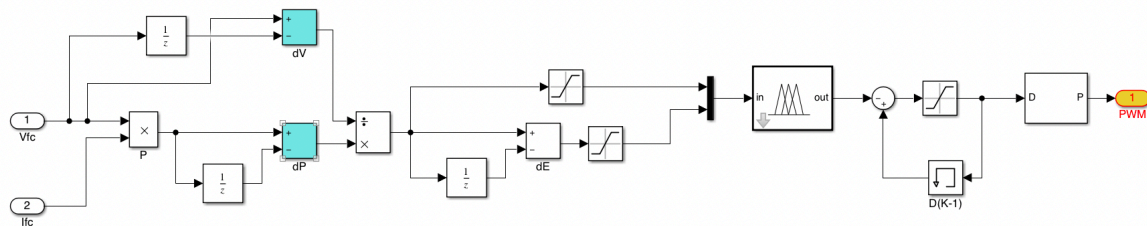
sebuah metode, dalam penelitian kali ini metode utama yang digunakan adalah Fuzzy Logic sebagai metode yang berbasis *Artificial Intellegnt* dan metode *Perturb and Observation* sebagai metode konvensionalnya. Pada Algoritma *Perturb and Observation* dengan menggunakan konsep MPPT seperti, dirangkailah sebuah sistem pada blok simulink seperti pada gambar 3.8



Gambar 3.9 Sistem Blok *Perturb and Observation*

3.5 Perancangan MPPT Algoritma Fuzzy Logic

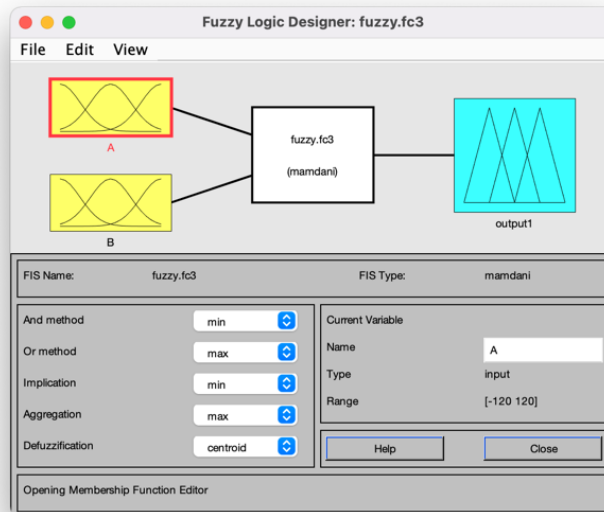
Parameter Algoritma Fuzzy Logic Controller untuk MPPT memiliki 2 input, dimana pada penelitian kali ini input yang digunakan untuk FLC adalah perbedaan tegangan (dV) dan perbedaan daya (dP).



Gambar 3.10 Sistem Blok Algoritma Fuzzy Logic

3.5.1 Input Fuzzy Logic

Pada penelitian ini Fuzzy Logic membutuhkan 2 variabel masukan yaitu Tegangan dan Arus yang dimana pada logika Fuzzy pada satu varabel dikasifikasikan menjadi 5 macam fungsi keanggotaan untuk dP , dV dan juga Keluarannya.



Gambar 3.11 Fuzzy Logic Application.

Range dari fungsi keanggotaannya untuk input dP dan dV mulai -120 hingga 120 sehingga pembagiannya sebagai berikut:

Negative Big (NB) : [-180 -120 -60]

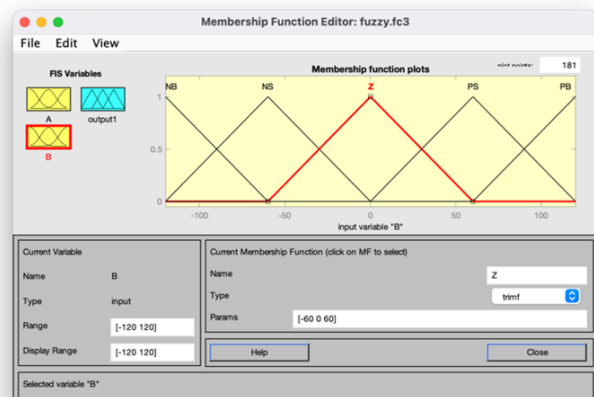
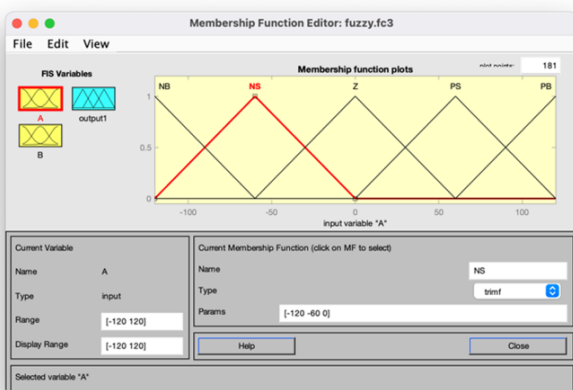
Negative Small (NS) : [-120 -60 0]

Zero (Z) : [-60 0 60]

Positive Small (PS) : [0 60 120]

Positive Big (PB) : [60 120 180]

Pada input dP dan dV seluruh fungsi keanggotaannya menggunakan model segitiga (trimf), sehingga secara keseluruhan bentuk dari fuzzy logic untuk input dP dan dV ditunjukkan pada gambar 3.11



Gambar 3.12 Membership function input

Pada bagian output, terdapat 2 jenis membership function yang digunakan antara lain segitiga (trimf) dan trapesium (trapmf). Range output ini berada antara -1 dan 1 dimana terapat 5 membership function:

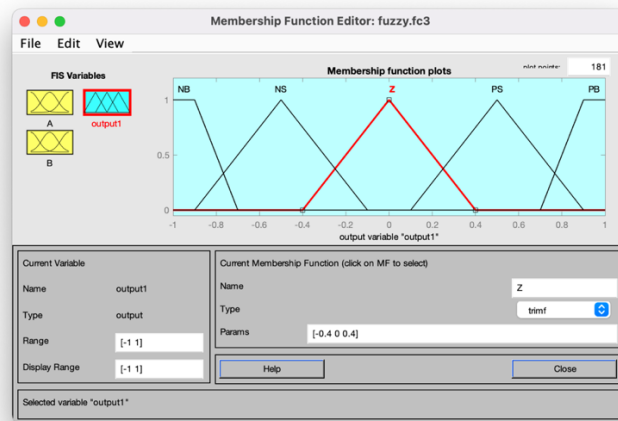
Negative Big (NB) : [-2.8 -1.2 -0.9 -0.7]

Negative Small (NS) : [-0.9 -0.5 -0.1]

Zero (Z) : [-4 0 4]

Positive Small (PS) : [0.1 0.5 0.9]

Positive Big (PB) : [0.7 0.9 1.2 2.8]



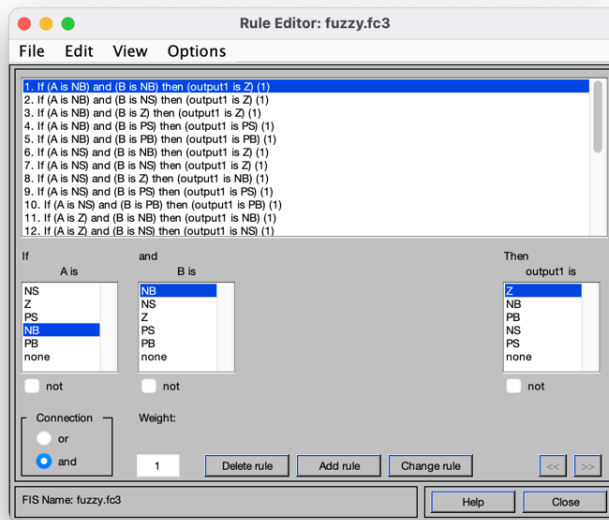
Gambar 3.13 Membership function Output

Setelah proses *Fuzzyfikasi* selesai, nilai fuzzy tersebut akan dikaitkan melalui sebuah aturan fuzzy (rule based system). Metode fuzzy yang digunakan adalah metode Mamdani karena keluaran dari proses fuzzy berupa sebuah angka bukan dalam bentuk persamaan. Rule ini berisi sebuah aturan yang menjelaskan kondisi dari input.

Tabel 3.3 Logika aturan Fuzzy Logic

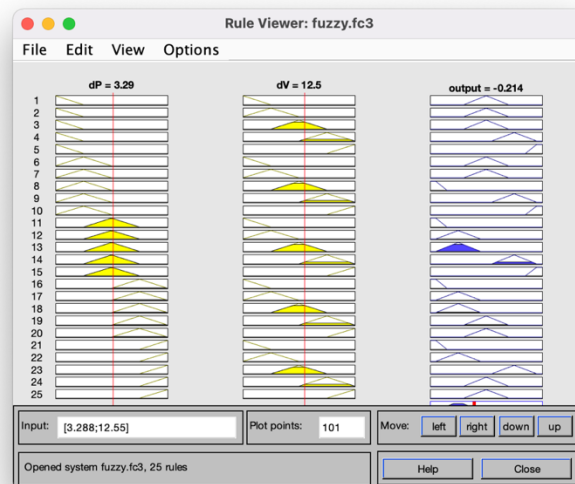
| dP \ dV | NB | NS | Z | PS | PB |
|---------|----|----|----|----|----|
| NB | NB | NB | NB | NS | Z |
| NS | NB | NB | NS | Z | PS |
| Z | NB | NS | Z | PS | PB |
| PS | NS | Z | PS | PB | PB |
| PB | Z | PS | PB | PB | PB |

Logika yang telah ditentukan pada Tabel 3.3 dimasukkan kedalam aplikasi Fuzzy Logic pada MATLAB seperti pada Gambar 3.13.



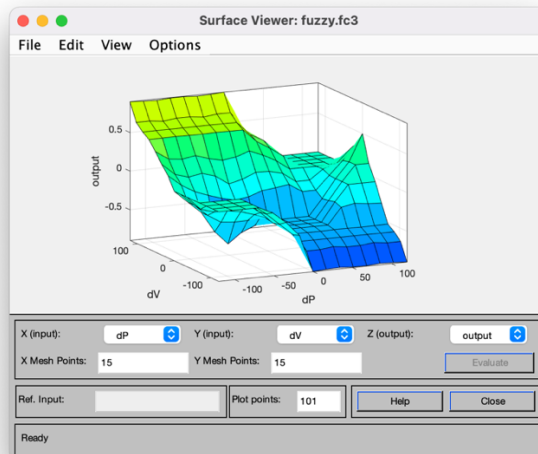
Gambar 3.14 Memasukkan rules Fuzzy

Hasil yang didapat dari aturan fuzzy ini adalah nilai perubahan rasio *duty cycle* dimana sebagai masukan kedalam DC/DC konverter. Proses dengan menggunakan logika fuzzy dapat disimulasikan dengan sebagai contoh simulink seperti Gambar 3.14 dimana apabila nilai masukan dP 3.29 dan dV 12.5 maka nilai output fuzzy akan bernilai -0.214



Gambar 3.15 Simulasi Fuzzy Logic

Dari rules tersebut kita juga mendapatkan surface sesuai dengan masukan rules yang telah dibuat, dalam penelitian ini surfacenya ditunjukkan pada Gambar 3.15

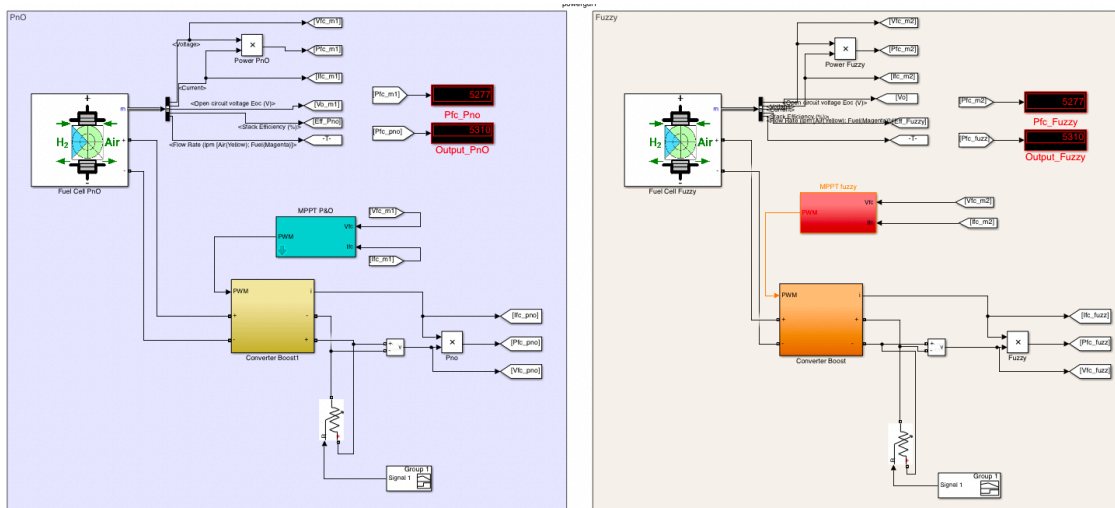


Gambar 3.16 Surface Fuzzy Logic

3.6 Simulasi Sistem

Dari desain rangkaian yang sudah dibahas pada sub bab sebelumnya, simulasi dilakukan software Simulink (Matlab 2020b) untuk menguji rangkaian dan algoritma apakah sudah sesuai yang diinginkan. Terdapat tiga komponen utama yang digunakan dalam pembuatan MPPT yaitu konverter, Fuel Cell, dan algoritma MPPT.

Fuel Cell yang digunakan menggunakan block Fuel Cell yang sudah disediakan oleh matlab dengan *signal variation* sesuai dengan parameter. Parameter pada blok Fuel Cell dapat kita atur sesuai dengan Tabel 3.1 Parameter Fuel Cell Dengan rule dan parameter yang telah dihitung. Input dari Fuel Cell diasumsikan konstan, sesuai dengan parameter sesuai dengan gambar 3.3. Untuk perbandingan akan disimulasikan dua buah algoritma yaitu *Perturb and Observe (P&O)* dengan *Fuzzy Logic Controller (FLC)*. Rangkaian simulasi dari sistem dapat dilihat pada Gambar 3.16

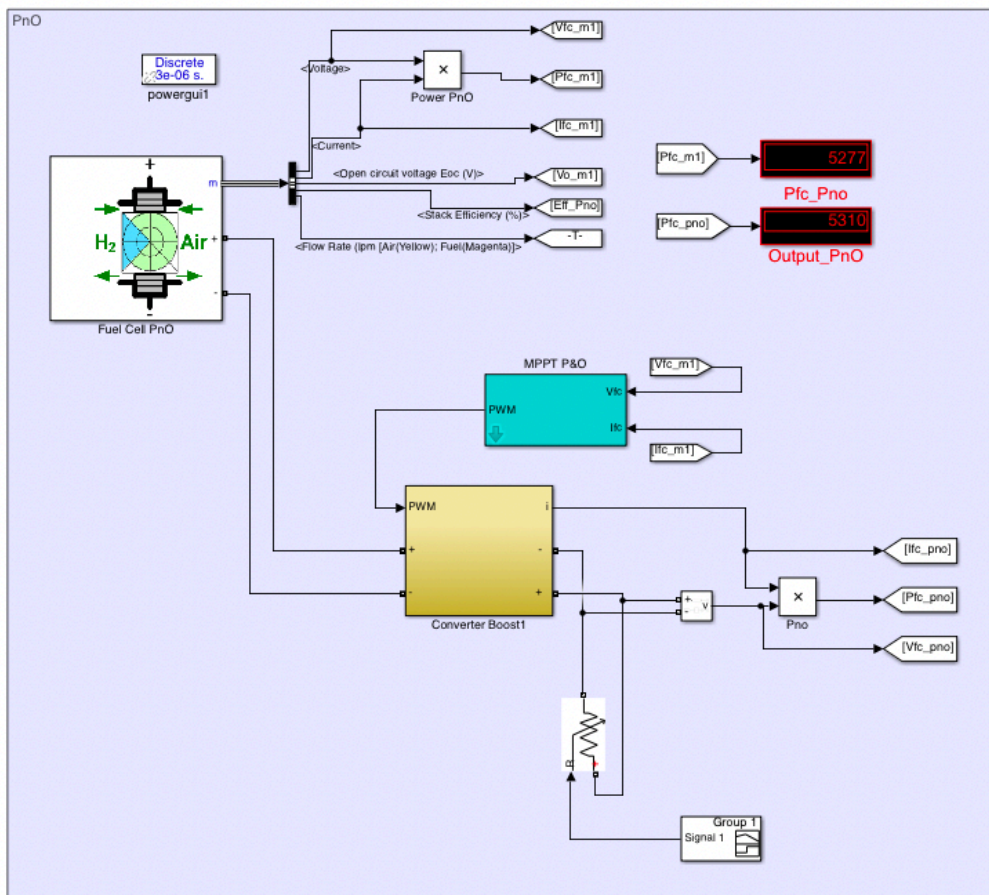


Gambar 3.17 Simulasi sistem

Rangkaian kontrol dari MPPT *Fuzzy Logic Controller* dapat dilihat pada gambar 3.9 dan MPPT untuk *Perturb and Observation* dapat dilihat pada gambar 3.8.

3.6.1 Simulasi dengan Algoritma *Perturb and Observation*

Pada penelitian dengan metode *perturb and observe* (P&O) akan digunakan sebagai pembanding dengan metode alternatif yang diteliti, yaitu metode *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Metode *perturb and observe* (P&O) dipilih sebagai pembanding, karena secara implementasi MPPT yang sering digunakan adalah metode *perturb and observe* (P&O). Dengan demikian untuk menguji efektifitas metode alternatif terbaru orientasi arus riak, dibutuhkan validasi dengan membandingkan metode yang umum digunakan, yaitu P&O.



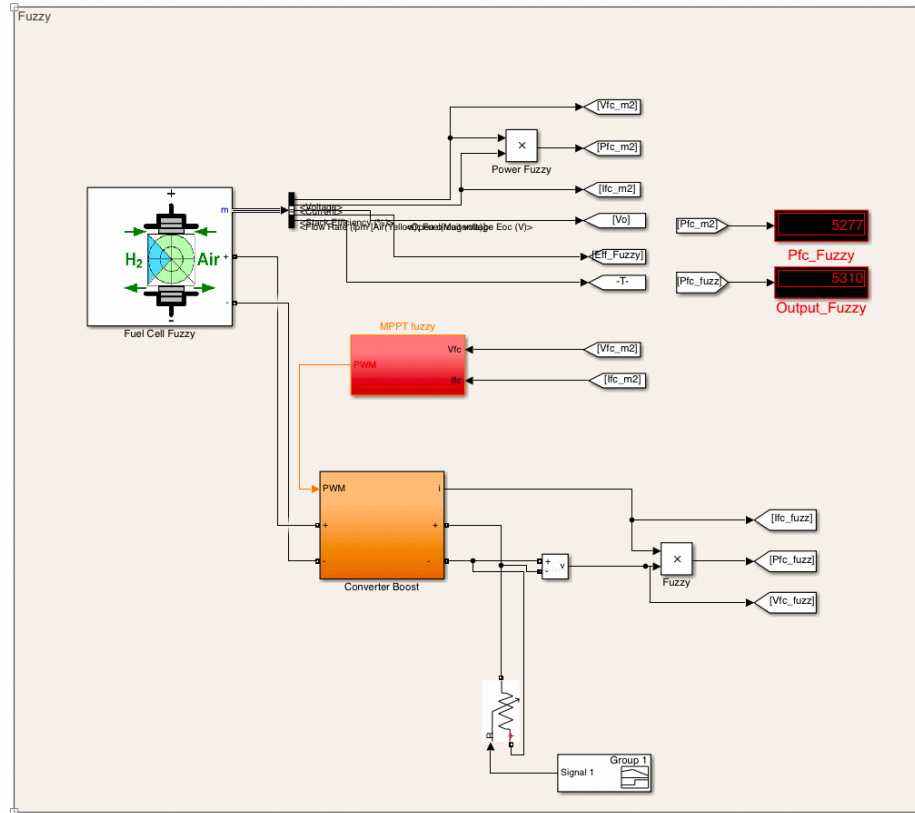
Gambar 3.18 Simulasi sistem dengan algoritma *perturb and observe*

Pada perancangan metode P&O, didapatkan input dari tegangan dan arus keluaran Fuel Cell, dan selanjutnya akan dikalikan yang hasilnya akan menjadi nilai daya. Di dalam algoritma P&O akan dibandingkan daya saat ini dengan daya satu step sebelumnya, sesuai dengan prinsip kerja metode P&O sehingga bisa didapatkan titik daya maksimumnya.

Keluaran dari algoritma P&O yang telah dirancang tersebut, yaitu duty cycle yang akan menjadi masukan PWM dan akan menjadi sinyal masukan ke boost converter. Dalam desain algoritma tersebut dapat diatur besaran perubahan duty cycle juga yang berdampak pada osilasi pada output sistem.

3.6.2 Simulasi dengan Algoritma *Fuzzy Logic Controller*.

Pada penelitian ini metode utama yang diteliti adalah dengan metode *Fuzzy Logic Controller* yang dimana metode ini merupakan metode berbasis *Artificial Intellegent (AI)*. Metode berbasis AI ini akan dibandingkan dengan metode konvensional *perturb and observe (P&O)*.



Gambar 3.19 Simulasi sistem dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller*

Secara langkah awal metode konvensional dan metode AI ini memiliki basis logika yang sama dimana dibutuhkan nilai perbedaan tegangan (dV) dan daya (dP) untuk menjadi pertimbangan dalam kontroller dengan Fuzzy.

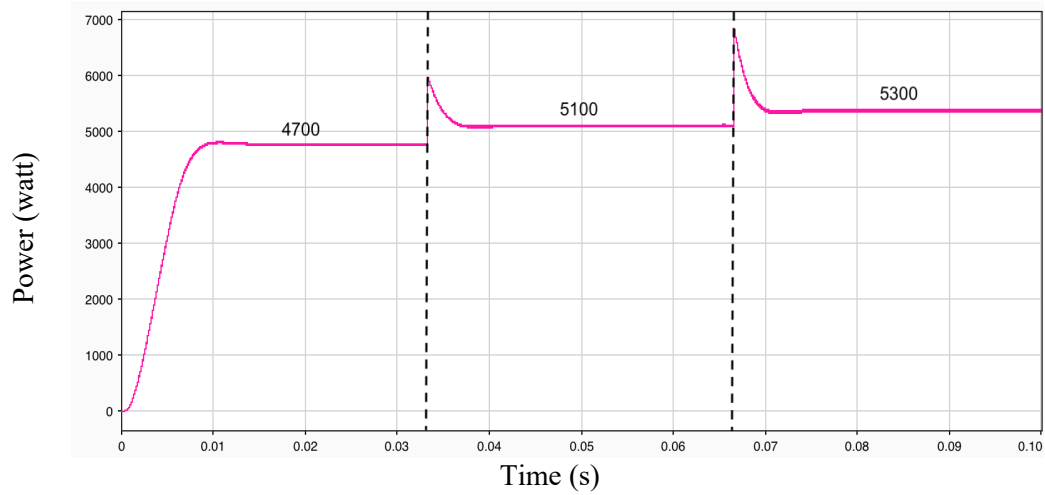
--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai simulasi dan analisa dari perancangan sistem MPPT dengan Metode Fuzzy Logic pada Fuel Cell. Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB 2020b.

4.1 Simulasi MPPT pada Fuel Cell ketika beban meningkat

Pada simulasi dengan pembebanan bertingkat yang semula mula 4700Watt selama 0.0033s lalu naik menjadi 5100Watt selama 0.0033s dan naik lagi menjadi 5300Watt selama 0.0033s. Berikut merupakan data peningkatan beban pada kondisi ini:

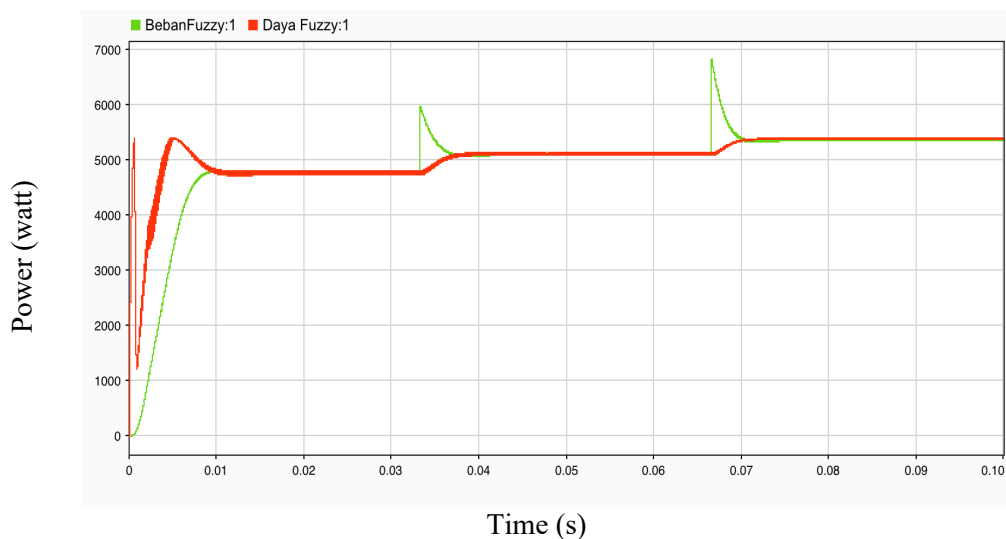


Gambar 4.1 Data Variasi beban meningkat

Terlihat pada data di atas bahwa beban konstan pada 4700Watt lalu mulai naik perlahan pada detik 0,003 ke beban 5100Watt dan setelah 0.003 detik beban naik lagi ke 5300Watt

4.1.1 Hasil Simulasi MPPT Metode Fuzzy Logic beban meningkat

Pada simulasi dengan sistem beban meningkat ini dan digunakan dengan metode ini hasil scope daya didapatkan seperti pada gambar 4.2

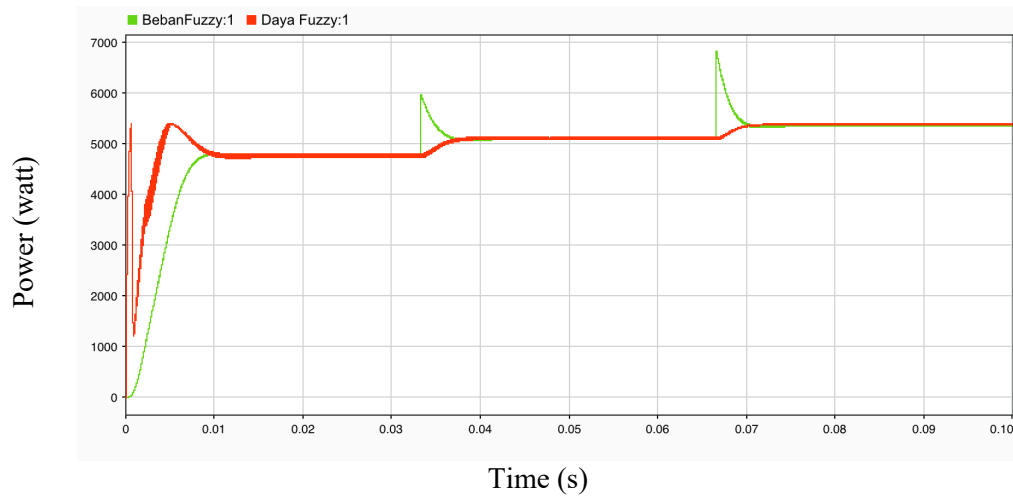


Gambar 4.2 Scope Daya output saat beban meningkat MPPT Metode Fuzzy Logic

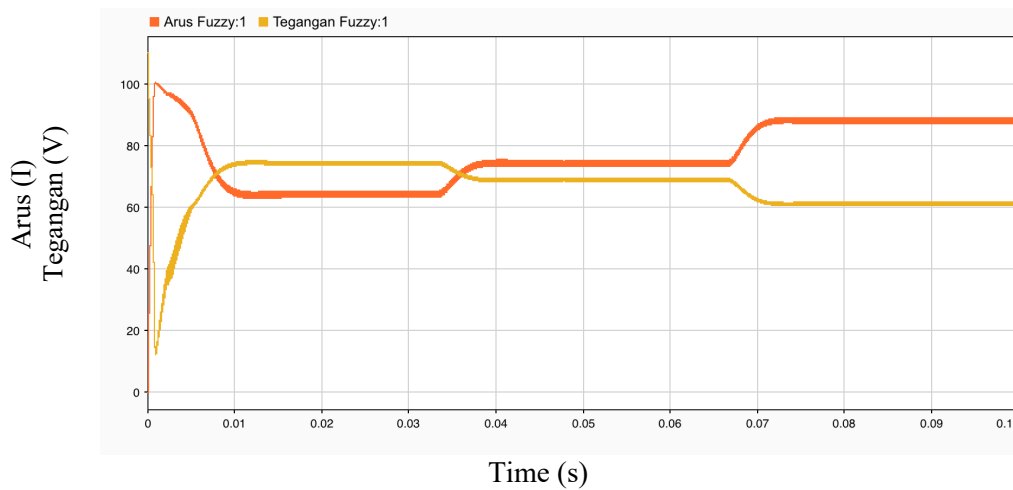
Tabel 4.1 Tabel Daya Metode Fuzzy Logic beban meningkat

| Metode Fuzzy Logic beban meningkat | Beban (W) | Output Fuel Cell dengan Fuzzy (W) |
|------------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| | 4700 | 4805,368864 |
| | 5100 | 5079,327697 |
| | 5300 | 5366,663039 |

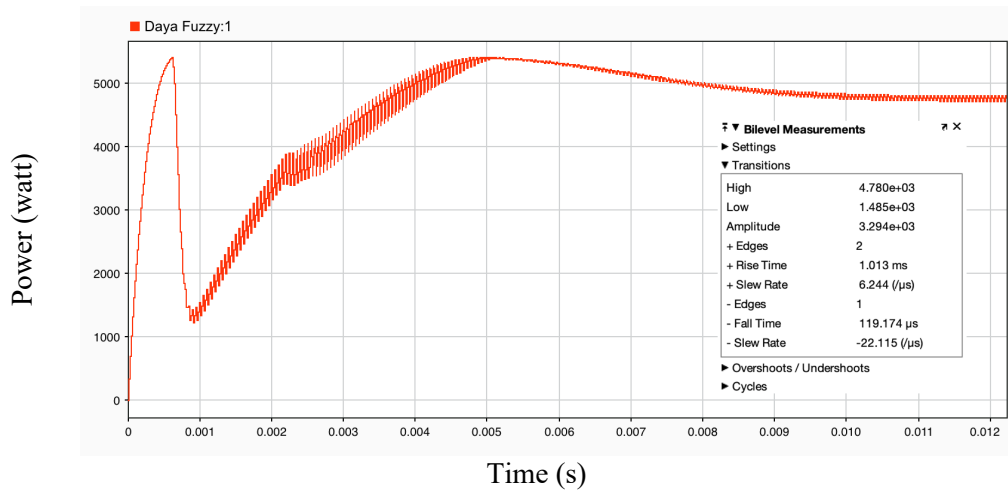
Jika dihitung selama berjalannya simulasi selama 0,1 detik, dengan pembebanan rata-rata 4639,76887Watt menghasilkan daya maksimum di daya 4805,3688Watt dan pada detik 0,003 saat terbebani 5114,44Watt Fuel Cell mampu mempertahankan daya keluaranya pada output 5079,32Watt sedangkan pada saat terbebani paling besar di simulasi ini pada 5391,653037Watt Fuel Cell dengan Metodologi Fuzzy Logic mampu menghasilkan output pada 5366,66Watt.



Gambar 4.3 Daya Output – Beban beban naik dengan metode Fuzzy Logic



Gambar 4.4 Sinyal tegangan dan arus beban naik pada MPPT Metode Fuzzy Logic

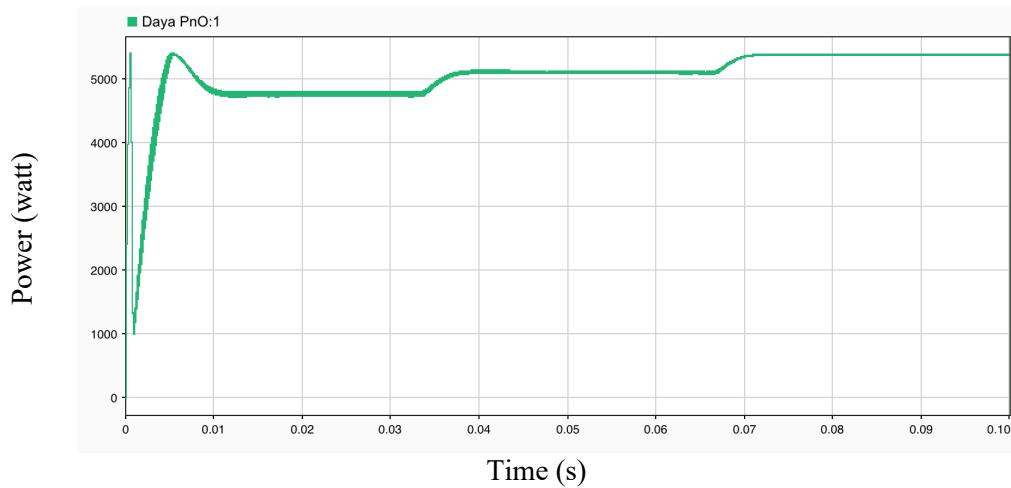


Gambar 4.5 Risetime output daya beban meningkat pada MPPT Metode Fuzzy Logic

Pada Gambar 4.5 Terlihat bahwa dalam kinerjanya sistem Fuel Cell mampu mencapai nilai risetime di 1.013ms

4.1.2 Hasil Simulasi MPPT Metode P&O beban meningkat

Pada simulasi dengan sistem beban meningkat ini dan digunakan dengan metode ini hasil scope daya didapatkan seperti pada gambar 4.5:



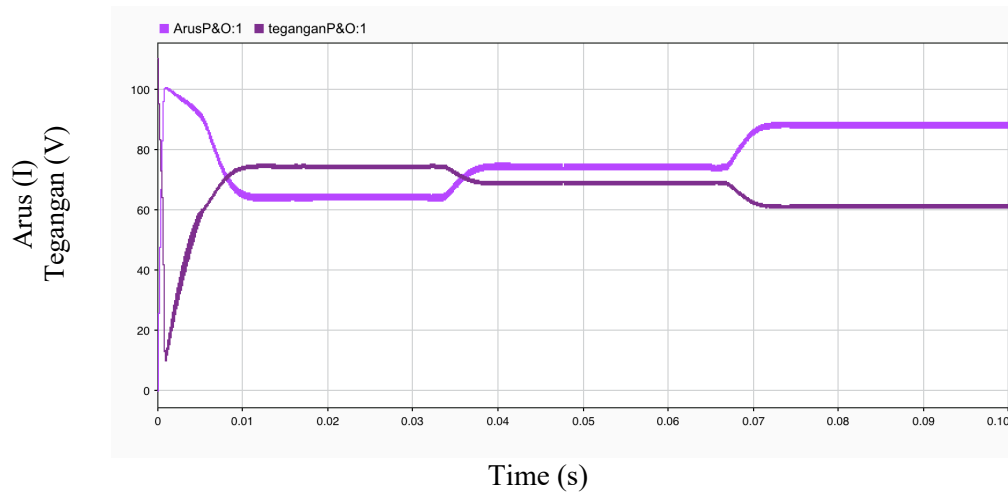
Gambar 4.6 Scope Daya output saat simulasi beban meningkat pada MPPT Metode P&O

Tabel 4.2 Tabel Daya Metode P&O beban meningkat

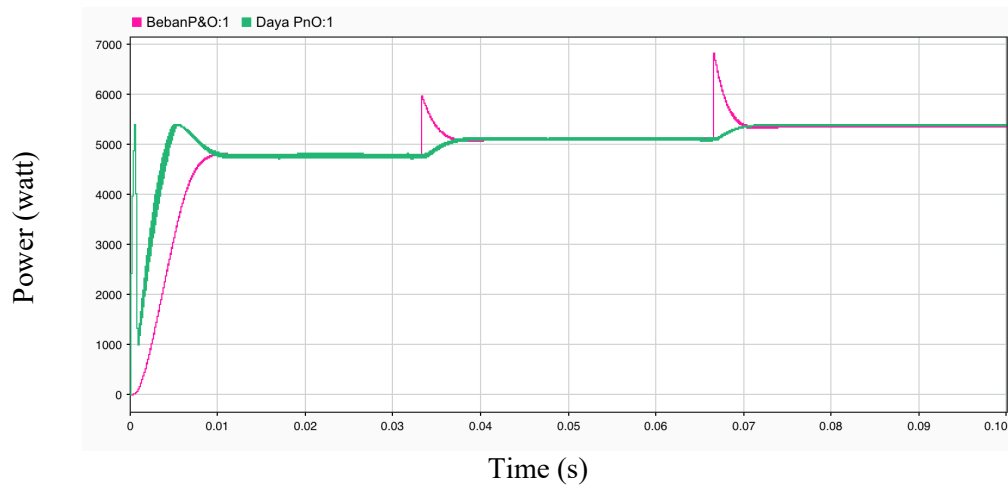
| | Beban (W) | Output Fuel Cell dengan P&O (W) |
|---------------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Metode P&O beban meningkat | 4700 | 4754,589933 |
| | 5100 | 5056,755563 |
| | 5300 | 5353,802327 |

Jika dihitung selama berjalannya simulasi selama 0,1 detik, dengan pembebanan 133Watt menghasilkan daya maksimum di daya 4754,5899Watt dan pada detik 0,003 saat

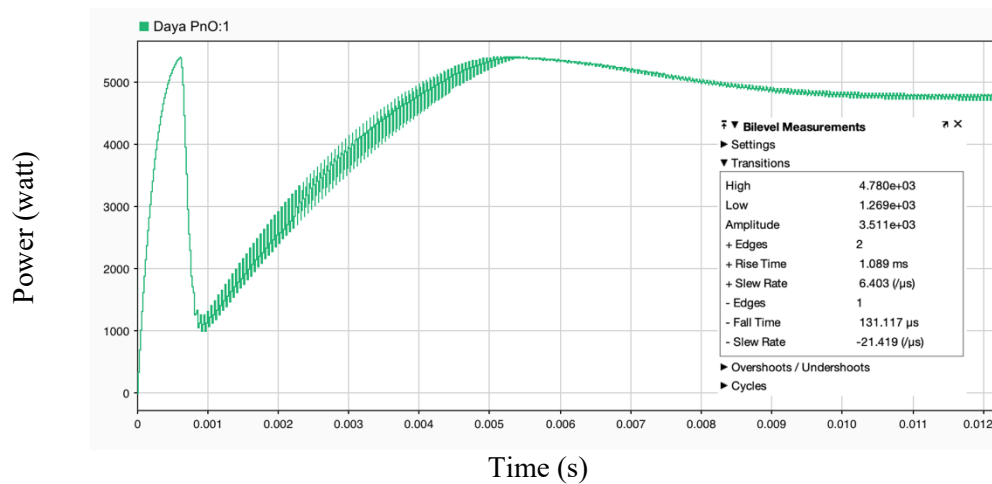
terbebani 192Watt Fuel Cell mampu mempertahankan daya keluaranya pada output 5056,7555Watt sedangkan pada saat terbebani paling besar di simulasi ini pada 5300W Fuel Cell dengan P&O mampu menghasilkan output pada 5353,8023Watt.



Gambar 4.7 Sinyal tegangan dan arus simulasi beban meningkat pada MPPT Metode P&O



Gambar 4.8 Daya Output – Beban beban naik dengan metode P&O

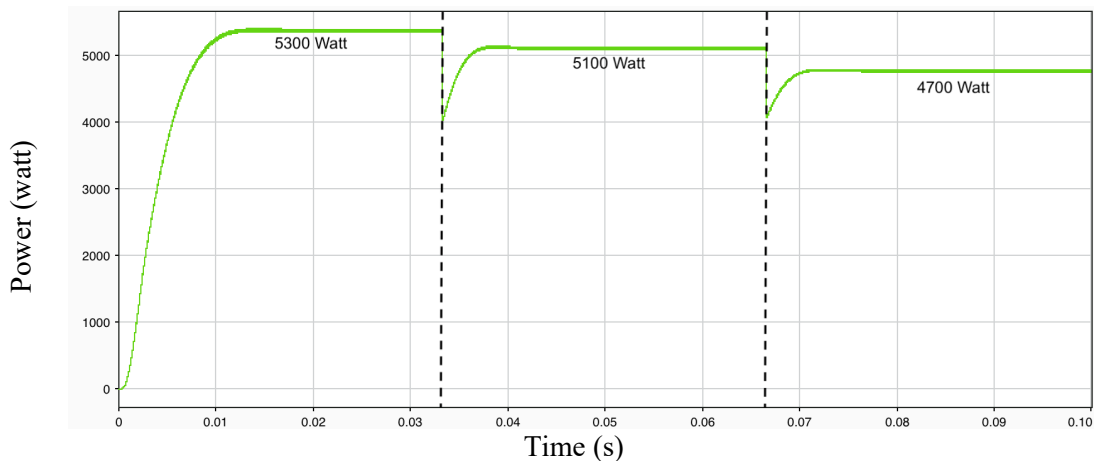


Gambar 4.9 Risetime output daya beban meningkat pada MPPT dengan Metode P&O

Pada Gambar 4.9 Terlihat bahwa dalam kinerjanya sistem Fuel Cell mampu menghasilkan daya maksimum pada saat detik ke 1,089ms dan juga terdapat ripple sebelum mendapatkan output daya maksimumnya.

4.2 Hasil Simulasi MPPT pada Fuel Cell ketika beban menurun

Pada simulasi dengan pembebanan menurun yang semula mula 5300Watt selama 0.0033s lalu naik menjadi 5100Watt selama 0.0033s dan naik lagi menjadi 4700Watt selama 0.0033s. Berikut merupakan data penurunan beban pada kondisi ini

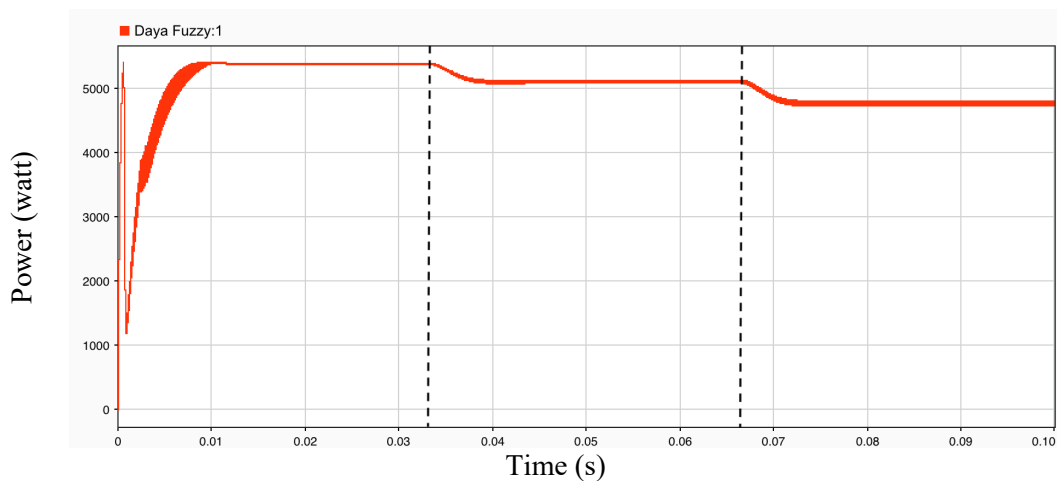


Gambar 4.10 Data Variasi beban meningkat menurun

Terlihat pada data di atas bahwa beban konstan pada 5300Watt lalu mulai turun perlahan pada detik 0,003 ke beban 5100Watt dan setelah 0.003 detik beban turun lagi ke 4700Watt

4.2.1 Hasil Simulasi MPPT Metode Fuzzy Logic beban menurun

Pada simulasi dengan sistem beban meningkat ini dan digunakan dengan metode ini hasil scope daya didapatkan seperti pada gambar 4.9:

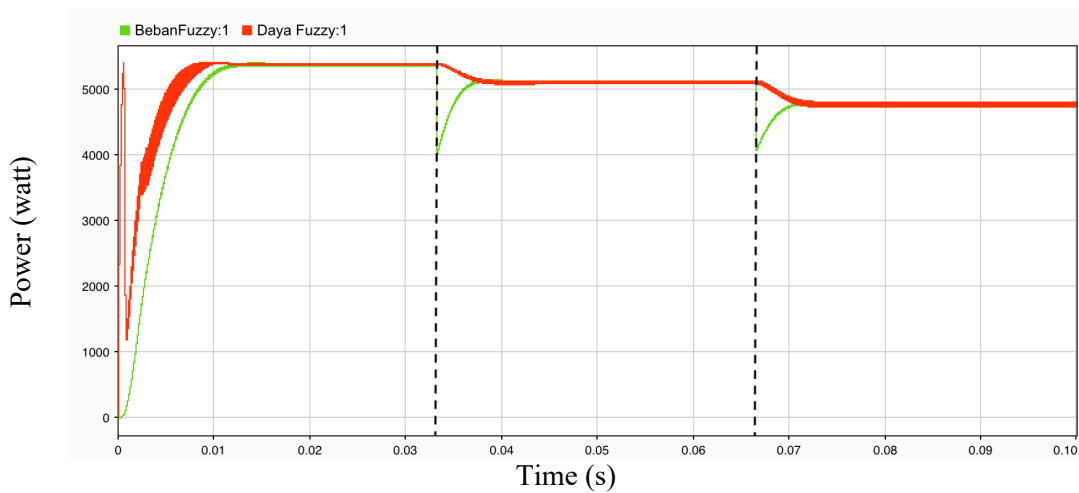


Gambar 4.11 Daya output saat simulasi beban menurun pada MPPT dengan Metode Fuzzy

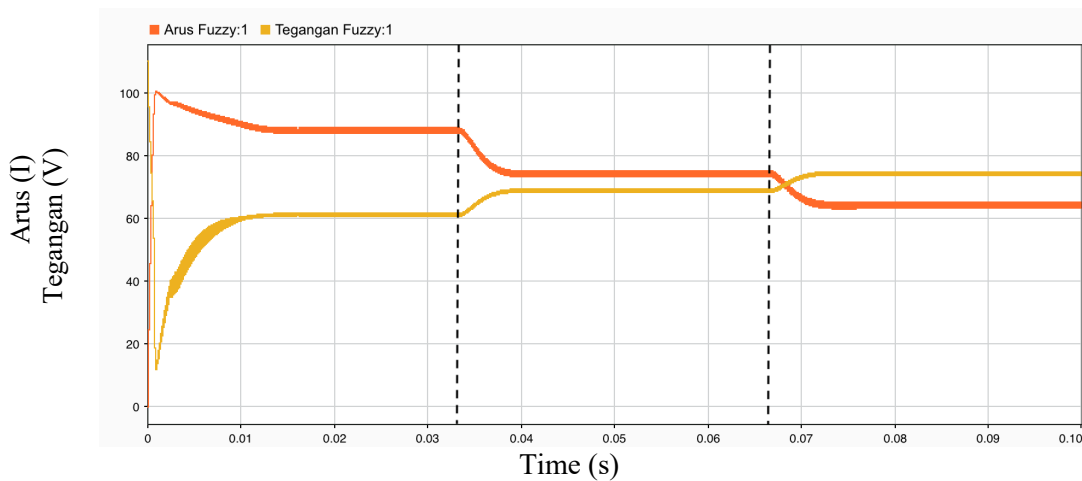
Tabel 4.3 Tabel Daya Metode Fuzzy Logic beban menurun

| Metode Fuzzy Logic beban menurun | Beban (W) | Output Fuel Cell dengan Fuzzy (W) |
|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| | 5300 | 5370,679037 |
| | 5100 | 5101,073819 |
| | 4700 | 4752,851197 |

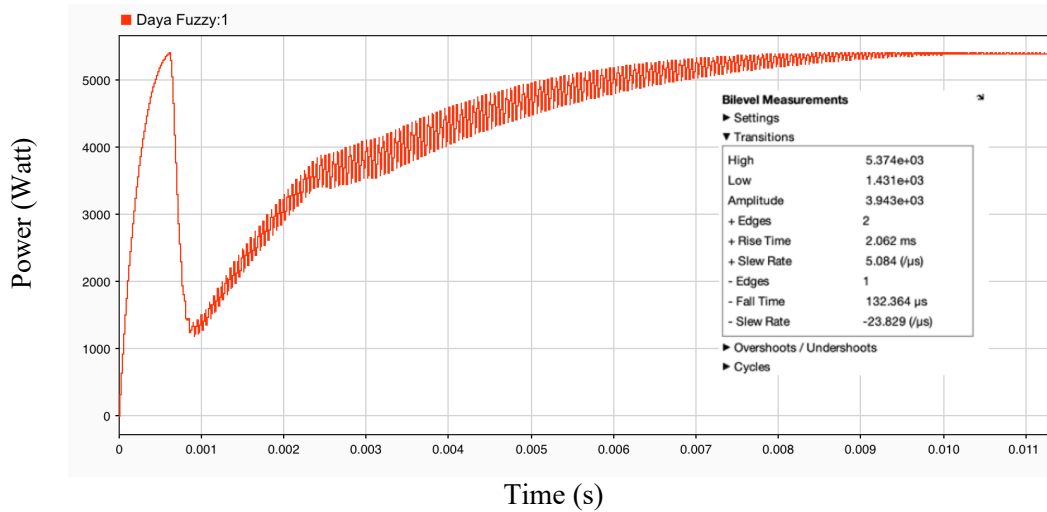
Jika dihitung selama berjalannya simulasi selama 0,1 detik, dengan pembebanan paling besar 5398,5707Watt menghasilkan daya maksimum di daya 5370,679037Watt dan pada detik 0,003 saat terbebani 5139,6927Watt Fuel Cell mampu mengeluarkan daya keluarannya pada output 5101,073819Watt sedangkan pada saat terbebani paling kecil di 4791,4529Watt Fuel Cell dengan Fuzzy Logic mampu menghasilkan output pada 4752,8511Watt.



Gambar 4.12 Daya Output – Beban beban turun dengan metode Fuzzy Logic



Gambar 4.13 Sinyal tegangan dan arus beban menurun pada MPPT Metode Fuzzy Logic

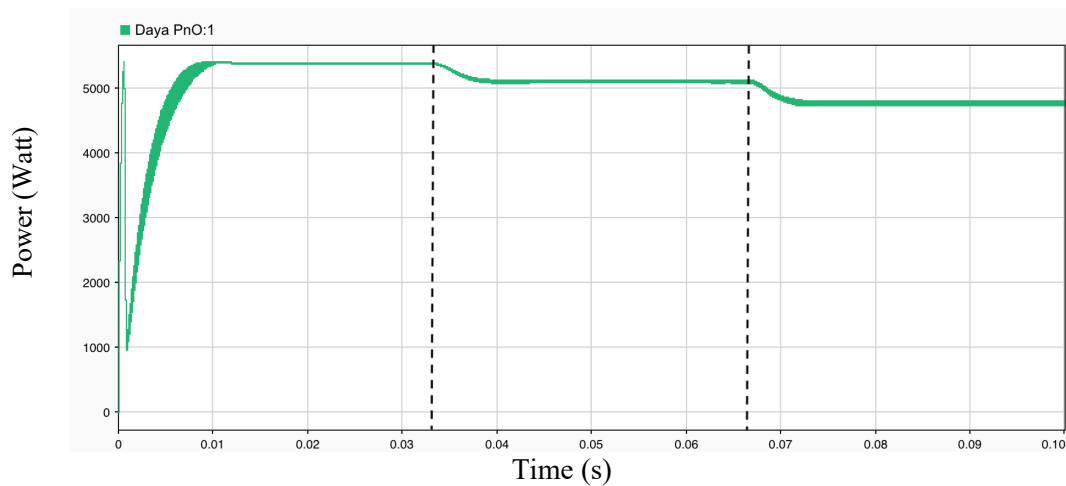


Gambar 4.14 Risetime output daya beban menurun pada MPPT Metode Fuzzy Logic

Pada Gambar 4.14 terlihat bahwa dalam kinerjanya sistem Fuel Cell memiliki risetime sebesar 2,062 ms

4.2.2 Hasil Simulasi MPPT Metode P&O beban menurun

Pada simulasi dengan sistem beban meningkat ini dan digunakan dengan metode ini hasil scope daya didapatkan seperti pada gambar 4.12:



Gambar 4.15 Daya output saat simulasi beban menurun pada MPPT dengan Metode P&O

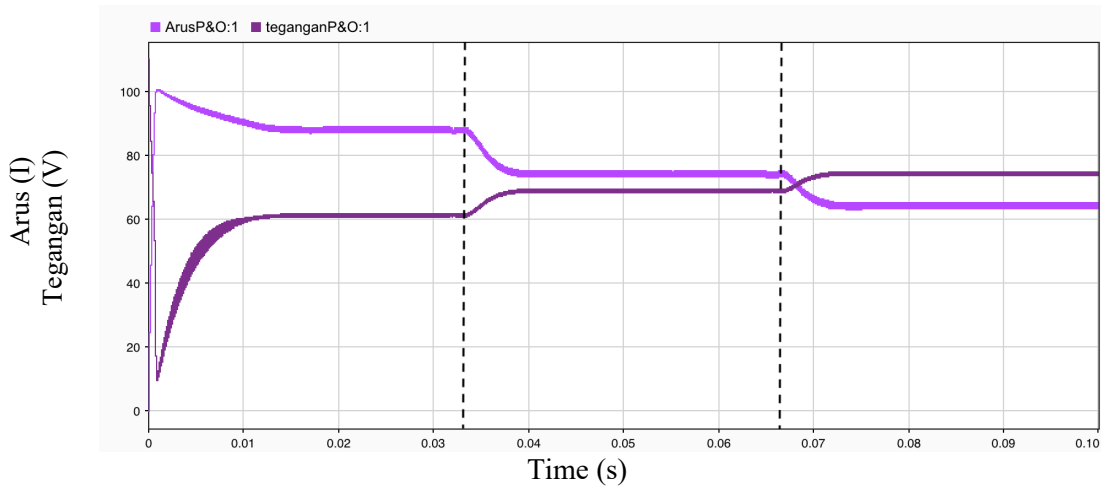
Berdasarkan hasil percobaan terlihat bahwa dengan metode P&O MPPT maka daya output yang dihasilkan oleh Fuel Cell hampir mendekati maksimum, hanya selisih beberapa watt dari daya maksimalnya dengan nilai efisiensinya dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Tabel Daya Metode P&O beban menurun

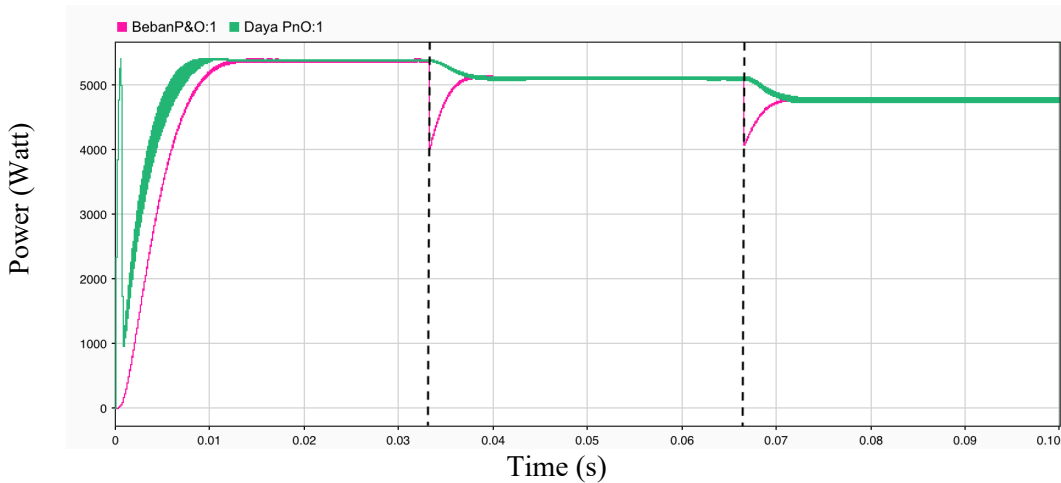
| Metode P&O beban menurun | Beban (W) | Output Fuel Cell dengan P&O (W) |
|--------------------------|-----------|---------------------------------|
| | 5300 | 5368,833388 |
| | 5100 | 5100,292979 |

| | | |
|--|------|-------------|
| | 4700 | 4752,465651 |
|--|------|-------------|

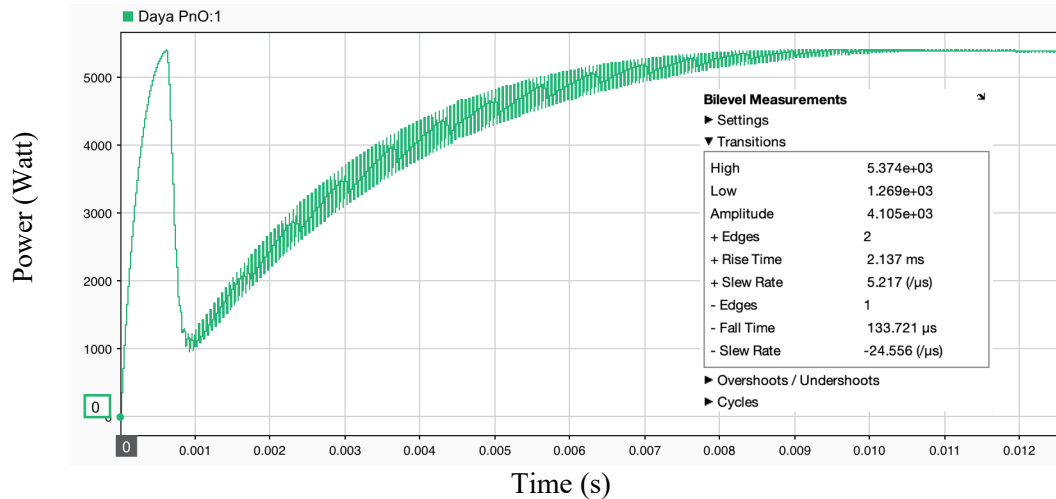
Jika dihitung selama berjalannya simulasi selama 0,1 detik, dengan pembebanan paling besar 5300Watt menghasilkan daya maksimum di daya 5368,833Watt dan pada detik 0,003 saat terbebani 5100Watt Fuel Cell mampu mengeluarkan output 5100,2929Watt sedangkan pada saat terbebani paling kecil pada 4700Watt di simulasi ini Fuel Cell dengan P&O mampu menghasilkan output pada 4752,46Watt



Gambar 4.16 Sinyal tegangan dan arus beban menurun pada MPPT Metode P&O



Gambar 4.17 Daya Output – Beban beban turun dengan metode P&O



Gambar 4.18 Risetime output daya beban menurun pada MPPT Metode P&O

Pada Gambar 4.19 Terlihat bahwa dalam kinerjanya sistem Fuel Cell mampu menghasilkan daya maksimum pada saat detik ke 2,137ms dan juga terdapat ripple sebelum mendapatkan output daya maksimumnya.

4.3 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pembahasan

Pada subbab ini akan dilakukan perbandingan dari hasil-hasil simulasi yang telah dilakukan.

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Simulasi MPPT Fuzzy Logic dengan P&O beban naik

| Beban (W) | Daya dengan metode P&O (W) | Daya dengan metode Fuzzy (W) |
|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 4700 | 4754,589933 | 4805,368864 |
| 5100 | 5056,755563 | 5079,327697 |
| 5300 | 5353,802327 | 5366,663039 |
| Rata-rata | 5055,049274 | 5083,786533 |

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Simulasi MPPT Fuzzy Logic dengan P&O beban turun

| Beban (W) | Daya dengan metode P&O (W) | Daya dengan metode Fuzzy (W) |
|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 5300 | 5368,833388 | 5370,679037 |
| 5100 | 5100,292979 | 5101,073819 |
| 4700 | 4752,465651 | 4752,851197 |
| Rata-rata | 5073,864006 | 5074,868018 |

Tabel 4.7 Rata-rata hasil simulasi MPPT beban naik dan turun

| Beban (W) | Daya dengan metode P&O (W) | Daya dengan metode Fuzzy (W) |
|-----------|----------------------------|------------------------------|
| Naik | 5055,049274 | 5083,786533 |
| Turun | 5073,864006 | 5074,868018 |
| Rata-rata | 5064,45664 | 5079,327276 |

Tabel 4.8 Perbandingan Waktu Rise Time simulasi MPPT Fuzzy Logic dengan P&O

| Beban | Risetime (ms) | | Selisih | Keterangan |
|-------|---------------|-------|---------|-------------------|
| | Fuzzy Logic | P&O | | |
| Naik | 1,013 | 1,089 | 0,076 | Lebih cepat Fuzzy |
| Turun | 2,062 | 2,137 | 0,075 | Lebih cepat Fuzzy |

4.3.1 Pembahasan

Berdasarkan tabel yang disajikan pada subbab 4.3.1 pada tabel 4.5 hingga 4.8 dapat terlihat perbandingan simulasi daya dan rise time simulasi Fuel Cell dengan metode Fuzzy Logic dan metode pembandingnya yaitu *Perturb and Observation* dimana pada tabel 4.5 merupakan hasil data daya simulasi apabila Fuel Cell dibebani meningkat dengan 3 variasi beban mulai dari beban sebesar rata-rata 4700Watt kemudian naik dengan beban 5100Watt dan terakhir dengan beban 5300Watt dimana hasilnya memperlihatkan bahwa daya yang dikeluarkan Fuel Cell lebih baik dengan menggunakan metode Fuzzy Logic dari pada menggunakan metode pembandingnya dimana daya yang dikeluarkan apabila menggunakan Fuzzy Logic sebesar 4805,368864 Watt pada beban paling kecil dan menggunakan metode pembanding sebesar 4754,589933 Watt dengan selisih daya sebesar 50,778931Watt lebih besar menggunakan metode Fuzzy Logic pada beban 4700W, pada beban 5100 Watt dengan metode Fuzzy Logic Fuel Cell juga mampu menghasilkan daya lebih besar dari metode pembandingnya dengan selisih daya akeliaran sebesar 22,572134 Watt dan juga pada beban terbesar pada simulasi beban meningkat pada beban 5300Watt, Fuel Cell dengan Metode Fuzzy juga menghasilkan daya keluaran yang lebih besar dengan selisih daya sebesar 12,860712Watt.

Tabel 4.6 merupakan hasil data daya simulasi apabila Fuel Cell dibebani menurun dengan 3 variasi beban mulai dari beban sebesar rata-rata 5300Watt kemudian turun dengan beban 5100Watt dan terakhir dengan beban 4700Watt dimana hasilnya memperlihatkan bahwa daya yang dikeluarkan Fuel Cell lebih baik dengan menggunakan metode Fuzzy Logic dari pada menggunakan metode pembandingnya dimana daya yang dikeluarkan apabila menggunakan Fuzzy Logic pada besaran beban 5300Watt adalah 5370,679037 Watt sedangkan apabila menggunakan metode P&O daya yang dihasilkan adalah 5368,833388 dimana apabila menggunakan metode Fuzzy lebih besar senilai 1,845649 Watt. Pada pembebanan sebesar 5100Watt Fuel Cell dengan metode Fuzzy Logic juga mampu menghasilkan daya yang lebih

besar senilai 0,78Watt dibandingkan dengan metode P&O. pada beban palibg kecil di simulasi beban menurun yaitu 4700W Fuel Cell dengan metode Fuzzy Logic juga mampu menghasilkan daya yang lebih besar dibanding metode poembandingnya denagn selisih nilai daya keluarannya adalah 0,38Watt.

Pada tabel 4.7 merupakan data Fuel Cell dibebani dengan beban meningkat dan dengan beban menurun dengan jangkauan beban rata-rata antara 4700Watt hingga 5300Watt. Pada data terlihat bahwa Fuel Cell mampu menghaiikan daya keluaran yang lebih baik dengan metode Fuzzy logic dibandingkan dengan metode konvensionalnya yaitu *Purturb and Obsevation*. Pada beban naik metode Fuzzy Logic mampu menghasilkan daya keluaran lebih baik senilai 28,737259Watt dan pada beban menurun selisih kemampuannya dengan metode konvensional adalah senilai 1,00401Watt. Hal ini menunjukkan bahwa Fuel Cell dengan metode Fuzzy Logic mampu mempertahankan kemampuannya apabila dibebani naik ataupun menurun sedangkan metode Konvensional tidak menghasilkan daya keluaran yang maksimal dibandingkan dengan metode Fuzzy Logic.

Tabel 4.8 terdapat data mengenai *risetime*, yaitu ukuran waktu yang di ukur mulai dari respon $t=0$ sampai dengan respon memotong sumbu steady state yang pertama. Dimana hasil yang diperoleh bahwa Fuel Cell dengan metode Fuzzy logic mampu mencapai waktu *risetime*-nya pada detik ke 1,013 ms pada beban naik dan 1,089 ms dengan metode *Purturb and Obsevation*, dimana Fuzzy lebih cepat 0,076 ms. Apabila Fuel Cell dibebani dengan beban menurun metode Fuzzy Logic juga mampu mencapai waktu *risetime* lebih cepat 0,75ms dibandingkan dengan metode konvensionalnya.

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil simulasi dan analisa dari perbandingan hasil MPPT dengan Metode Fuzzy Logic Controller dan MPPT dengan *Perturb and Observe* (P&O) pada aplikasi Fuel Cell.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi MPPT dengan Metode Fuzzy Logic Controller dan MPPT dengan *Perturb and Observe* (P&O) pada aplikasi Fuel Cell dengan variasi beban, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Fuel Cell dengan menggunakan metode Fuzzy Logic mampu menghasilkan daya keluaran 5083,786533Watt saat beban naik dan 5074,868018Watt saat beban turun dengan rata-rata keluaran daya 5079,327276Watt
- b. Fuel Cell dengan menggunakan metode *Perturb and Observe* (P&O) mampu menghasilkan daya keluaran 5055,049274Watt saat beban naik dan 5073,864006Watt saat beban turun dengan rata-rata keluaran daya 5064,45664Watt
- c. Fuel Cell lebih stabil mengeluarkan daya dengan menggunakan metode Fuzzy Logic daripada metode *Perturb and Observe* (P&O) untuk jenis beban yang bervariasi.
- d. Fuel Cell menggunakan MPPT Metode Fuzzy Logic mempunyai waktu *risetime* lebih cepat 0,76ms dibandingkan dengan metode *Perturb and Observe* (P&O)
- e. MPPT dengan metode Fuzzy Logic merupakan metode alternatif MPPT yang dapat digunakan untuk membuat sistem controller dengan Fuel Cell dengan hasil yang lebih baik

5.2 Saran

Saran yang diberikan penulis untuk penelitian ini yang diharapkan dapat memperbaiki dan mengembangkan penelitian selanjutnya, yaitu:

- a. Menggunakan besaran beban real yang seperti besarnya beban saat implementasi.
- b. Sistem MPPT dengan Fuzzy Logic pada Fuel Cell di tugas akhir ini hanya disimulasikan menggunakan software MATLAB/SIMULINK. Sehingga untuk kedepannya dapat dibuat prototipe atau diimplementasikan dengan kemampuan komponen yang sesuai.

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DAFTAR PUSTAKA

- Aly, M., & Rezk, H. (2020). A differential evolution-based optimized fuzzy logic MPPT method for enhancing the maximum power extraction of proton exchange membrane fuel cells. *IEEE Access*, 8, 172219–172232.
- Ashari, M. (2017.). *Desain Konverter Elektronika Daya*.
- Azar, A. T., & Kamal, N. A. (Eds.). (2021). *Renewable energy systems: Modelling, optimization and control*. Academic Press.
- Choudhury, S. D., Bhardwaj, V. M., Nandikesan, P., Mohanty, S., Shaneeth, M., & Kamalakaran, K. P. (2012). Control strategy for PEM fuel cell power plant. In " *in2012 1st International Conference on Power and Energy in NERIST (ICPEN)*.
- Guenounou, O., Dahhou, B., & Chabour, F. (2014). 'Adaptive fuzzy controller based MPPT for photovoltaic systems,. *Energy Convers. Manage*, 78, 843–850.
- Karthikeyan, V., Das, P. V., Blaabjerg ; Karthikeyan, F., Das, P. V., & Blaabjerg, F. (2018). Implementation of MPPT control in fuel cell fed high step-up ratio DC-DC converter. In *2018 2nd IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*.
- Kumar, A. S., Cermak, T., Misak, S., & Horak, B. (2015). Modeling and simulation for 1.2 kW PEM fuel cell power generation of isolated load conditions. In *2015 International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE)*.
- Kumar Dan, D., & Chatterjee, K. (2016). A review of conventional and advanced MPPT algorithms for wind energy systems, " *Renew. Sustain. Energy Rev*, 55.
- Lalouni, S., Rekioua, D., Rekioua, T., & Matagne, E. (2009). Fuzzy logic control of stand-alone photovoltaic system with battery storage. *Journal of Power Sources*, 193(2), 899–907. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.04.016>
- Lin, S.-L., Wu, G.-B., Liu, W.-C., & Moo, C.-S. (2012). Ripple current effect on output power of solar-cell panel. *2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*.
- PEM Fuel Cell System - MATLAB & Simulink - MathWorks América Latina*. (n.d). Mathworks.com. Retrieved April 22, 2022, from <https://la.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/pem-fuel-cell-system.html>
- Power Electronics Handbook*. (2018). Elsevier.
- Saleh, A., Azmi, K. S., Hardianto, T., & Hadi, W. (2018). Comparison of MPPT fuzzy logic controller based on perturb and observe (P&O) and incremental conductance (InC) algorithm on buck-boost converter. In *2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICon EEI)*.
- STATISTIK PLN*. (n.d.). Pln.Co.Id. Retrieved April 22, 2022, from <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2021/07/Statistik-PLN-2020.pdf>
- Wang, C., Nehrir, M. H., & Shaw, S. R. (2005). Dynamic models and model validation for PEM fuel cells using electrical circuits. *IEEE Trans. Energy Convers*, 20(2), 442–451.

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

LAMPIRAN

1. Data Karakteristik

| R | P | I | V |
|------|---------|--------|-------|
| 0,02 | 0,00 | 191,97 | 0,00 |
| 0,04 | 0,00 | 140,37 | 0,00 |
| 0,06 | 0,00 | 102,65 | 0,00 |
| 0,08 | 0,00 | 164,45 | 0,00 |
| 0,1 | 0,00 | 120,25 | 0,00 |
| 0,12 | 5402,65 | 86,67 | 62,33 |
| 0,14 | 0,00 | 130,97 | 0,00 |
| 0,16 | 5381,07 | 84,41 | 63,75 |
| 0,18 | 0,00 | 117,55 | 0,00 |
| 0,2 | 0,00 | 145,95 | 0,00 |
| 0,22 | 5322,23 | 80,40 | 66,20 |
| 0,24 | 836,12 | 100,95 | 8,28 |
| 0,26 | 0,00 | 135,03 | 0,00 |
| 0,28 | 0,00 | 126,11 | 0,00 |
| 0,3 | 0,00 | 129,59 | 0,00 |
| 0,32 | 0,00 | 126,80 | 0,00 |
| 0,34 | 0,00 | 123,97 | 0,00 |
| 0,36 | 0,00 | 121,27 | 0,00 |
| 0,38 | 0,00 | 118,68 | 0,00 |
| 0,4 | 0,00 | 116,20 | 0,00 |
| 0,42 | 0,00 | 113,81 | 0,00 |
| 0,44 | 0,00 | 111,53 | 0,00 |
| 0,46 | 0,00 | 109,33 | 0,00 |
| 0,48 | 0,00 | 107,21 | 0,00 |
| 0,5 | 0,00 | 105,18 | 0,00 |
| 0,52 | 0,00 | 103,22 | 0,00 |
| 0,54 | 2485,60 | 101,33 | 2,45 |
| 0,56 | 1723,93 | 99,50 | 17,33 |
| 0,58 | 2971,49 | 97,74 | 30,40 |
| 0,6 | 3936,34 | 96,04 | 40,98 |
| 0,62 | 4637,44 | 94,40 | 49,12 |
| 0,64 | 5098,09 | 92,82 | 54,93 |
| 0,66 | 5342,84 | 91,28 | 58,53 |
| 0,68 | 5398,32 | 89,80 | 60,12 |
| 0,7 | 5384,48 | 88,36 | 60,94 |
| 0,72 | 5367,22 | 86,96 | 61,72 |
| 0,74 | 5348,33 | 85,61 | 62,47 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|-------|
| 0,76 | 5328,00 | 84,30 | 63,20 |
| 0,78 | 5306,40 | 83,03 | 63,91 |
| 0,8 | 5283,66 | 81,80 | 64,60 |
| 0,82 | 5259,91 | 80,60 | 65,26 |
| 0,84 | 5235,27 | 79,43 | 65,91 |
| 0,86 | 5209,83 | 78,30 | 66,53 |
| 0,88 | 5183,69 | 77,20 | 67,14 |
| 0,9 | 5156,94 | 76,13 | 67,74 |
| 0,92 | 5129,65 | 75,09 | 68,31 |
| 0,94 | 5101,91 | 74,08 | 68,87 |
| 0,96 | 5073,76 | 73,09 | 69,42 |
| 0,98 | 5045,28 | 72,13 | 69,95 |
| 1 | 5016,52 | 71,19 | 70,46 |
| 1,02 | 4987,52 | 70,28 | 70,96 |
| 1,04 | 4958,33 | 69,39 | 71,45 |
| 1,06 | 4929,00 | 68,52 | 71,93 |
| 1,08 | 4899,55 | 67,68 | 72,40 |
| 1,1 | 4870,03 | 66,85 | 72,85 |
| 1,12 | 4840,46 | 66,04 | 73,29 |
| 1,14 | 4810,87 | 65,26 | 73,72 |
| 1,16 | 4781,29 | 64,49 | 74,14 |
| 1,18 | 4751,74 | 63,74 | 74,55 |
| 1,2 | 4722,24 | 63,00 | 74,95 |
| 1,22 | 4692,82 | 62,28 | 75,35 |
| 1,24 | 4663,48 | 61,58 | 75,73 |
| 1,26 | 4634,25 | 60,90 | 76,10 |
| 1,28 | 4605,14 | 60,22 | 76,47 |
| 1,3 | 4576,17 | 59,57 | 76,82 |
| 1,32 | 4547,33 | 58,92 | 77,17 |
| 1,34 | 4518,65 | 58,29 | 77,51 |
| 1,36 | 4490,14 | 57,68 | 77,85 |
| 1,38 | 4461,79 | 57,07 | 78,18 |
| 1,4 | 4433,63 | 56,48 | 78,49 |
| 1,42 | 4405,66 | 55,90 | 78,81 |
| 1,44 | 4377,87 | 55,34 | 79,11 |
| 1,46 | 4350,29 | 54,78 | 79,41 |
| 1,48 | 4322,91 | 54,23 | 79,71 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|-------|
| 1,5 | 4295,74 | 53,70 | 80,00 |
| 1,52 | 4268,77 | 53,17 | 80,28 |
| 1,54 | 4242,02 | 52,66 | 80,55 |
| 1,56 | 4215,49 | 52,16 | 80,83 |
| 1,58 | 4189,18 | 51,66 | 81,09 |
| 1,6 | 4163,08 | 51,17 | 81,35 |
| 1,62 | 4137,21 | 50,70 | 81,61 |
| 1,64 | 4111,56 | 50,23 | 81,86 |
| 1,66 | 4086,14 | 49,77 | 82,10 |
| 1,68 | 4060,94 | 49,32 | 82,34 |
| 1,7 | 4035,96 | 48,87 | 82,58 |
| 1,72 | 4011,21 | 48,44 | 82,81 |
| 1,74 | 3986,68 | 48,01 | 83,04 |
| 1,76 | 3962,38 | 47,59 | 83,26 |
| 1,78 | 3938,30 | 47,17 | 83,48 |
| 1,8 | 3914,44 | 46,77 | 83,70 |
| 1,82 | 3890,81 | 46,37 | 83,91 |
| 1,84 | 3867,39 | 45,97 | 84,12 |
| 1,86 | 3844,20 | 45,59 | 84,32 |
| 1,88 | 3821,23 | 45,21 | 84,53 |
| 1,9 | 3798,47 | 44,83 | 84,72 |
| 1,92 | 3775,93 | 44,47 | 84,92 |
| 1,94 | 3753,60 | 44,10 | 85,11 |
| 1,96 | 3731,49 | 43,75 | 85,30 |
| 1,98 | 3709,59 | 43,40 | 85,48 |
| 2 | 3687,89 | 43,05 | 85,66 |
| 2,02 | 3666,41 | 42,71 | 85,84 |
| 2,04 | 3645,13 | 42,38 | 86,01 |
| 2,06 | 3624,06 | 42,05 | 86,19 |
| 2,08 | 3603,19 | 41,72 | 86,36 |
| 2,1 | 3582,53 | 41,40 | 86,52 |
| 2,12 | 3562,06 | 41,09 | 86,69 |
| 2,14 | 3541,78 | 40,78 | 86,85 |
| 2,16 | 3521,71 | 40,48 | 87,01 |
| 2,18 | 3501,82 | 40,17 | 87,17 |
| 2,2 | 3482,13 | 39,88 | 87,32 |
| 2,22 | 3462,63 | 39,59 | 87,47 |
| 2,24 | 3443,31 | 39,30 | 87,62 |
| 2,26 | 3424,19 | 39,01 | 87,77 |
| 2,28 | 3405,24 | 38,73 | 87,91 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|-------|
| 2,3 | 3386,47 | 38,46 | 88,06 |
| 2,32 | 3367,89 | 38,19 | 88,20 |
| 2,34 | 3349,48 | 37,92 | 88,34 |
| 2,36 | 3331,25 | 37,65 | 88,47 |
| 2,38 | 3313,19 | 37,39 | 88,61 |
| 2,4 | 3295,31 | 37,13 | 88,74 |
| 2,42 | 3277,59 | 36,88 | 88,87 |
| 2,44 | 3260,04 | 36,63 | 89,00 |
| 2,46 | 3242,66 | 36,38 | 89,13 |
| 2,48 | 3225,44 | 36,14 | 89,25 |
| 2,5 | 3208,38 | 35,90 | 89,38 |
| 2,52 | 3191,48 | 35,66 | 89,50 |
| 2,54 | 3174,75 | 35,43 | 89,62 |
| 2,56 | 3158,16 | 35,19 | 89,74 |
| 2,58 | 3141,74 | 34,97 | 89,85 |
| 2,6 | 3125,46 | 34,74 | 89,97 |
| 2,62 | 3109,34 | 34,52 | 90,08 |
| 2,64 | 3093,37 | 34,30 | 90,19 |
| 2,66 | 3077,54 | 34,08 | 90,30 |
| 2,68 | 3061,86 | 33,87 | 90,41 |
| 2,7 | 3046,32 | 33,65 | 90,52 |
| 2,72 | 3030,93 | 33,44 | 90,63 |
| 2,74 | 3015,68 | 33,24 | 90,73 |
| 2,76 | 3000,56 | 33,03 | 90,83 |
| 2,78 | 2985,59 | 32,83 | 90,94 |
| 2,8 | 2970,75 | 32,63 | 91,04 |
| 2,82 | 2956,04 | 32,44 | 91,14 |
| 2,84 | 2941,46 | 32,24 | 91,23 |
| 2,86 | 2927,02 | 32,05 | 91,33 |
| 2,88 | 2912,71 | 31,86 | 91,43 |
| 2,9 | 2898,52 | 31,67 | 91,52 |
| 2,92 | 2884,46 | 31,49 | 91,61 |
| 2,94 | 2870,52 | 31,30 | 91,70 |
| 2,96 | 2856,71 | 31,12 | 91,80 |
| 2,98 | 2843,02 | 30,94 | 91,89 |
| 3 | 2829,45 | 30,76 | 91,97 |
| 3,02 | 2816,00 | 30,59 | 92,06 |
| 3,04 | 2802,67 | 30,41 | 92,15 |
| 3,06 | 2789,45 | 30,24 | 92,23 |
| 3,08 | 2776,35 | 30,07 | 92,32 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|-------|
| 3,1 | 2763,36 | 29,91 | 92,40 |
| 3,12 | 2750,49 | 29,74 | 92,48 |
| 3,14 | 2737,72 | 29,58 | 92,56 |
| 3,16 | 2725,07 | 29,41 | 92,65 |
| 3,18 | 2713,10 | 29,26 | 92,74 |
| 3,2 | 2701,40 | 29,10 | 92,83 |
| 3,22 | 2689,80 | 28,95 | 92,92 |
| 3,24 | 2678,29 | 28,80 | 93,01 |
| 3,26 | 2666,88 | 28,65 | 93,10 |
| 3,28 | 2655,56 | 28,50 | 93,19 |
| 3,3 | 2644,33 | 28,35 | 93,27 |
| 3,32 | 2633,18 | 28,21 | 93,36 |
| 3,34 | 2622,13 | 28,06 | 93,44 |
| 3,36 | 2611,17 | 27,92 | 93,53 |
| 3,38 | 2600,29 | 27,78 | 93,61 |
| 3,4 | 2589,50 | 27,64 | 93,69 |
| 3,42 | 2578,80 | 27,50 | 93,77 |
| 3,44 | 2568,18 | 27,36 | 93,85 |
| 3,46 | 2557,64 | 27,23 | 93,93 |
| 3,48 | 2547,18 | 27,09 | 94,01 |
| 3,5 | 2536,81 | 26,96 | 94,09 |
| 3,52 | 2526,52 | 26,83 | 94,17 |
| 3,54 | 2516,30 | 26,70 | 94,25 |
| 3,56 | 2506,17 | 26,57 | 94,32 |
| 3,58 | 2496,11 | 26,44 | 94,40 |
| 3,6 | 2486,13 | 26,32 | 94,47 |
| 3,62 | 2476,23 | 26,19 | 94,55 |
| 3,64 | 2466,41 | 26,07 | 94,62 |
| 3,66 | 2456,65 | 25,94 | 94,69 |
| 3,68 | 2446,98 | 25,82 | 94,76 |
| 3,7 | 2437,37 | 25,70 | 94,84 |
| 3,72 | 2427,84 | 25,58 | 94,91 |
| 3,74 | 2418,38 | 25,46 | 94,98 |
| 3,76 | 2408,99 | 25,35 | 95,05 |
| 3,78 | 2399,67 | 25,23 | 95,11 |
| 3,8 | 2390,42 | 25,11 | 95,18 |
| 3,82 | 2381,24 | 25,00 | 95,25 |
| 3,84 | 2372,12 | 24,89 | 95,32 |
| 3,86 | 2363,08 | 24,77 | 95,38 |
| 3,88 | 2354,10 | 24,66 | 95,45 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|-------|
| 3,9 | 2345,18 | 24,55 | 95,51 |
| 3,92 | 2336,33 | 24,44 | 95,58 |
| 3,94 | 2327,55 | 24,34 | 95,64 |
| 3,96 | 2318,83 | 24,23 | 95,70 |
| 3,98 | 2310,17 | 24,12 | 95,77 |
| 4 | 2301,57 | 24,02 | 95,83 |
| 4,02 | 2293,04 | 23,91 | 95,89 |
| 4,04 | 2284,57 | 23,81 | 95,95 |
| 4,06 | 2276,16 | 23,71 | 96,01 |
| 4,08 | 2267,80 | 23,61 | 96,07 |
| 4,1 | 2259,51 | 23,50 | 96,13 |
| 4,12 | 2251,28 | 23,40 | 96,19 |
| 4,14 | 2243,10 | 23,31 | 96,25 |
| 4,16 | 2234,98 | 23,21 | 96,31 |
| 4,18 | 2226,92 | 23,11 | 96,36 |
| 4,2 | 2218,92 | 23,01 | 96,42 |
| 4,22 | 2210,97 | 22,92 | 96,48 |
| 4,24 | 2203,08 | 22,82 | 96,53 |
| 4,26 | 2195,24 | 22,73 | 96,59 |
| 4,28 | 2187,45 | 22,63 | 96,65 |
| 4,3 | 2179,72 | 22,54 | 96,70 |
| 4,32 | 2172,04 | 22,45 | 96,75 |
| 4,34 | 2164,42 | 22,36 | 96,81 |
| 4,36 | 2156,84 | 22,27 | 96,86 |
| 4,38 | 2149,32 | 22,18 | 96,91 |
| 4,4 | 2141,85 | 22,09 | 96,97 |
| 4,42 | 2134,43 | 22,00 | 97,02 |
| 4,44 | 2127,06 | 21,91 | 97,07 |
| 4,46 | 2119,74 | 21,83 | 97,12 |
| 4,48 | 2112,47 | 21,74 | 97,17 |
| 4,5 | 2105,24 | 21,65 | 97,22 |
| 4,52 | 2098,07 | 21,57 | 97,27 |
| 4,54 | 2090,94 | 21,48 | 97,32 |
| 4,56 | 2083,86 | 21,40 | 97,37 |
| 4,58 | 2076,83 | 21,32 | 97,42 |
| 4,6 | 2069,84 | 21,24 | 97,47 |
| 4,62 | 2062,90 | 21,15 | 97,52 |
| 4,64 | 2056,00 | 21,07 | 97,57 |
| 4,66 | 2049,15 | 20,99 | 97,61 |
| 4,68 | 2042,34 | 20,91 | 97,66 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|-------|
| 4,7 | 2035,58 | 20,83 | 97,71 |
| 4,72 | 2028,86 | 20,75 | 97,75 |
| 4,74 | 2022,19 | 20,68 | 97,80 |
| 4,76 | 2015,55 | 20,60 | 97,85 |
| 4,78 | 2008,96 | 20,52 | 97,89 |
| 4,8 | 2002,42 | 20,45 | 97,94 |
| 4,82 | 1995,91 | 20,37 | 97,98 |
| 4,84 | 1989,45 | 20,30 | 98,03 |
| 4,86 | 1983,02 | 20,22 | 98,07 |
| 4,88 | 1976,64 | 20,15 | 98,11 |
| 4,9 | 1970,30 | 20,07 | 98,16 |
| 4,92 | 1963,99 | 20,00 | 98,20 |
| 4,94 | 1957,73 | 19,93 | 98,24 |
| 4,96 | 1951,50 | 19,86 | 98,28 |
| 4,98 | 1945,32 | 19,78 | 98,33 |
| 5 | 1939,17 | 19,71 | 98,37 |
| 5,02 | 1933,06 | 19,64 | 98,41 |
| 5,04 | 1926,99 | 19,57 | 98,45 |
| 5,06 | 1920,95 | 19,50 | 98,49 |
| 5,08 | 1914,96 | 19,43 | 98,53 |
| 5,1 | 1908,99 | 19,37 | 98,57 |
| 5,12 | 1903,07 | 19,30 | 98,61 |
| 5,14 | 1897,18 | 19,23 | 98,65 |
| 5,16 | 1891,33 | 19,16 | 98,69 |
| 5,18 | 1885,51 | 19,10 | 98,73 |
| 5,2 | 1879,73 | 19,03 | 98,77 |
| 5,22 | 1873,98 | 18,97 | 98,81 |
| 5,24 | 1868,27 | 18,90 | 98,85 |
| 5,26 | 1862,59 | 18,84 | 98,89 |
| 5,28 | 1856,95 | 18,77 | 98,92 |
| 5,3 | 1851,33 | 18,71 | 98,96 |
| 5,32 | 1845,76 | 18,64 | 99,00 |
| 5,34 | 1840,21 | 18,58 | 99,04 |
| 5,36 | 1834,70 | 18,52 | 99,07 |
| 5,38 | 1829,22 | 18,46 | 99,11 |
| 5,4 | 1823,77 | 18,39 | 99,15 |
| 5,42 | 1818,35 | 18,33 | 99,18 |
| 5,44 | 1812,97 | 18,27 | 99,22 |
| 5,46 | 1807,62 | 18,21 | 99,25 |
| 5,48 | 1802,29 | 18,15 | 99,29 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|--------|
| 5,5 | 1797,00 | 18,09 | 99,33 |
| 5,52 | 1791,74 | 18,03 | 99,36 |
| 5,54 | 1786,51 | 17,97 | 99,39 |
| 5,56 | 1781,31 | 17,92 | 99,43 |
| 5,58 | 1776,14 | 17,86 | 99,46 |
| 5,6 | 1771,00 | 17,80 | 99,50 |
| 5,62 | 1765,89 | 17,74 | 99,53 |
| 5,64 | 1760,81 | 17,68 | 99,57 |
| 5,66 | 1755,75 | 17,63 | 99,60 |
| 5,68 | 1750,73 | 17,57 | 99,63 |
| 5,7 | 1745,73 | 17,52 | 99,67 |
| 5,72 | 1740,76 | 17,46 | 99,70 |
| 5,74 | 1735,82 | 17,41 | 99,73 |
| 5,76 | 1730,90 | 17,35 | 99,76 |
| 5,78 | 1726,02 | 17,30 | 99,80 |
| 5,8 | 1721,16 | 17,24 | 99,83 |
| 5,82 | 1716,33 | 17,19 | 99,86 |
| 5,84 | 1711,52 | 17,13 | 99,89 |
| 5,86 | 1706,74 | 17,08 | 99,92 |
| 5,88 | 1701,99 | 17,03 | 99,95 |
| 5,9 | 1697,26 | 16,98 | 99,98 |
| 5,92 | 1692,56 | 16,92 | 100,01 |
| 5,94 | 1687,89 | 16,87 | 100,05 |
| 5,96 | 1683,24 | 16,82 | 100,08 |
| 5,98 | 1678,61 | 16,77 | 100,11 |
| 6 | 1674,01 | 16,72 | 100,14 |
| 6,02 | 1669,44 | 16,67 | 100,17 |
| 6,04 | 1664,89 | 16,62 | 100,20 |
| 6,06 | 1660,36 | 16,57 | 100,23 |
| 6,08 | 1655,86 | 16,52 | 100,25 |
| 6,1 | 1651,38 | 16,47 | 100,28 |
| 6,12 | 1646,93 | 16,42 | 100,31 |
| 6,14 | 1642,50 | 16,37 | 100,34 |
| 6,16 | 1638,10 | 16,32 | 100,37 |
| 6,18 | 1633,71 | 16,27 | 100,40 |
| 6,2 | 1629,35 | 16,22 | 100,43 |
| 6,22 | 1625,02 | 16,18 | 100,46 |
| 6,24 | 1620,70 | 16,13 | 100,48 |
| 6,26 | 1616,41 | 16,08 | 100,51 |
| 6,28 | 1612,14 | 16,04 | 100,54 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|--------|
| 6,3 | 1607,90 | 15,99 | 100,57 |
| 6,32 | 1603,67 | 15,94 | 100,59 |
| 6,34 | 1599,47 | 15,90 | 100,62 |
| 6,36 | 1595,29 | 15,85 | 100,65 |
| 6,38 | 1591,13 | 15,80 | 100,67 |
| 6,4 | 1586,99 | 15,76 | 100,70 |
| 6,42 | 1582,87 | 15,71 | 100,73 |
| 6,44 | 1578,78 | 15,67 | 100,75 |
| 6,46 | 1574,70 | 15,63 | 100,78 |
| 6,48 | 1570,65 | 15,58 | 100,81 |
| 6,5 | 1566,61 | 15,54 | 100,83 |
| 6,52 | 1562,60 | 15,49 | 100,86 |
| 6,54 | 1558,61 | 15,45 | 100,88 |
| 6,56 | 1554,64 | 15,41 | 100,91 |
| 6,58 | 1550,68 | 15,36 | 100,94 |
| 6,6 | 1546,75 | 15,32 | 100,96 |
| 6,62 | 1542,84 | 15,28 | 100,99 |
| 6,64 | 1538,95 | 15,24 | 101,01 |
| 6,66 | 1535,07 | 15,19 | 101,04 |
| 6,68 | 1531,22 | 15,15 | 101,06 |
| 6,7 | 1527,38 | 15,11 | 101,08 |
| 6,72 | 1523,56 | 15,07 | 101,11 |
| 6,74 | 1519,77 | 15,03 | 101,13 |
| 6,76 | 1515,99 | 14,99 | 101,16 |
| 6,78 | 1512,23 | 14,95 | 101,18 |
| 6,8 | 1508,49 | 14,91 | 101,21 |
| 6,82 | 1504,76 | 14,86 | 101,23 |
| 6,84 | 1501,06 | 14,82 | 101,25 |
| 6,86 | 1497,37 | 14,78 | 101,28 |
| 6,88 | 1493,70 | 14,75 | 101,30 |
| 6,9 | 1490,05 | 14,71 | 101,32 |
| 6,92 | 1486,41 | 14,67 | 101,35 |
| 6,94 | 1482,80 | 14,63 | 101,37 |
| 6,96 | 1479,20 | 14,59 | 101,39 |
| 6,98 | 1475,62 | 14,55 | 101,41 |
| 7 | 1472,05 | 14,51 | 101,44 |
| 7,02 | 1468,50 | 14,47 | 101,46 |
| 7,04 | 1464,97 | 14,44 | 101,48 |
| 7,06 | 1461,46 | 14,40 | 101,50 |
| 7,08 | 1457,96 | 14,36 | 101,53 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|--------|
| 7,1 | 1454,48 | 14,32 | 101,55 |
| 7,12 | 1451,02 | 14,29 | 101,57 |
| 7,14 | 1447,57 | 14,25 | 101,59 |
| 7,16 | 1444,14 | 14,21 | 101,61 |
| 7,18 | 1440,72 | 14,18 | 101,64 |
| 7,2 | 1437,32 | 14,14 | 101,66 |
| 7,22 | 1433,94 | 14,10 | 101,68 |
| 7,24 | 1430,57 | 14,07 | 101,70 |
| 7,26 | 1427,22 | 14,03 | 101,72 |
| 7,28 | 1423,88 | 13,99 | 101,74 |
| 7,3 | 1420,56 | 13,96 | 101,76 |
| 7,32 | 1417,25 | 13,92 | 101,78 |
| 7,34 | 1413,96 | 13,89 | 101,81 |
| 7,36 | 1410,69 | 13,85 | 101,83 |
| 7,38 | 1407,43 | 13,82 | 101,85 |
| 7,4 | 1404,18 | 13,78 | 101,87 |
| 7,42 | 1400,95 | 13,75 | 101,89 |
| 7,44 | 1397,73 | 13,72 | 101,91 |
| 7,46 | 1394,53 | 13,68 | 101,93 |
| 7,48 | 1391,34 | 13,65 | 101,95 |
| 7,5 | 1388,17 | 13,61 | 101,97 |
| 7,52 | 1385,01 | 13,58 | 101,99 |
| 7,54 | 1381,87 | 13,55 | 102,01 |
| 7,56 | 1378,74 | 13,51 | 102,03 |
| 7,58 | 1375,62 | 13,48 | 102,05 |
| 7,6 | 1372,52 | 13,45 | 102,07 |
| 7,62 | 1369,43 | 13,41 | 102,08 |
| 7,64 | 1366,36 | 13,38 | 102,10 |
| 7,66 | 1363,30 | 13,35 | 102,12 |
| 7,68 | 1360,25 | 13,32 | 102,14 |
| 7,7 | 1357,22 | 13,29 | 102,16 |
| 7,72 | 1354,20 | 13,25 | 102,18 |
| 7,74 | 1351,19 | 13,22 | 102,20 |
| 7,76 | 1348,20 | 13,19 | 102,22 |
| 7,78 | 1345,22 | 13,16 | 102,24 |
| 7,8 | 1342,25 | 13,13 | 102,26 |
| 7,82 | 1339,30 | 13,10 | 102,27 |
| 7,84 | 1336,35 | 13,06 | 102,29 |
| 7,86 | 1333,43 | 13,03 | 102,31 |
| 7,88 | 1330,51 | 13,00 | 102,33 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|--------|
| 7,9 | 1327,61 | 12,97 | 102,35 |
| 7,92 | 1324,72 | 12,94 | 102,36 |
| 7,94 | 1321,84 | 12,91 | 102,38 |
| 7,96 | 1318,97 | 12,88 | 102,40 |
| 7,98 | 1316,12 | 12,85 | 102,42 |
| 8 | 1313,28 | 12,82 | 102,44 |
| 8,02 | 1310,45 | 12,79 | 102,45 |
| 8,04 | 1307,63 | 12,76 | 102,47 |
| 8,06 | 1304,83 | 12,73 | 102,49 |
| 8,08 | 1302,03 | 12,70 | 102,51 |
| 8,1 | 1299,25 | 12,67 | 102,52 |
| 8,12 | 1296,48 | 12,64 | 102,54 |
| 8,14 | 1293,72 | 12,61 | 102,56 |
| 8,16 | 1290,98 | 12,59 | 102,57 |
| 8,18 | 1288,24 | 12,56 | 102,59 |
| 8,2 | 1285,52 | 12,53 | 102,61 |
| 8,22 | 1282,81 | 12,50 | 102,62 |
| 8,24 | 1280,11 | 12,47 | 102,64 |
| 8,26 | 1277,42 | 12,44 | 102,66 |
| 8,28 | 1274,74 | 12,42 | 102,67 |
| 8,3 | 1272,08 | 12,39 | 102,69 |
| 8,32 | 1269,42 | 12,36 | 102,71 |
| 8,34 | 1266,78 | 12,33 | 102,72 |
| 8,36 | 1264,14 | 12,30 | 102,74 |
| 8,38 | 1261,52 | 12,28 | 102,76 |
| 8,4 | 1258,91 | 12,25 | 102,77 |
| 8,42 | 1256,31 | 12,22 | 102,79 |
| 8,44 | 1253,72 | 12,20 | 102,80 |
| 8,46 | 1251,14 | 12,17 | 102,82 |
| 8,48 | 1248,57 | 12,14 | 102,84 |
| 8,5 | 1246,01 | 12,11 | 102,85 |
| 8,52 | 1243,46 | 12,09 | 102,87 |
| 8,54 | 1240,92 | 12,06 | 102,88 |
| 8,56 | 1238,39 | 12,04 | 102,90 |
| 8,58 | 1235,87 | 12,01 | 102,91 |
| 8,6 | 1233,37 | 11,98 | 102,93 |
| 8,62 | 1230,87 | 11,96 | 102,95 |
| 8,64 | 1228,38 | 11,93 | 102,96 |
| 8,66 | 1225,90 | 11,90 | 102,98 |
| 8,68 | 1223,44 | 11,88 | 102,99 |

| R | P | I | V |
|------|---------|-------|--------|
| 8,7 | 1220,98 | 11,85 | 103,01 |
| 8,72 | 1218,53 | 11,83 | 103,02 |
| 8,74 | 1216,09 | 11,80 | 103,04 |
| 8,76 | 1213,66 | 11,78 | 103,05 |
| 8,78 | 1211,25 | 11,75 | 103,07 |
| 8,8 | 1208,84 | 11,73 | 103,08 |
| 8,82 | 1206,44 | 11,70 | 103,10 |
| 8,84 | 1204,05 | 11,68 | 103,11 |
| 8,86 | 1201,67 | 11,65 | 103,12 |
| 8,88 | 1199,29 | 11,63 | 103,14 |
| 8,9 | 1196,93 | 11,60 | 103,15 |
| 8,92 | 1194,58 | 11,58 | 103,17 |
| 8,94 | 1192,24 | 11,55 | 103,18 |
| 8,96 | 1189,90 | 11,53 | 103,20 |
| 8,98 | 1187,58 | 11,51 | 103,21 |
| 9 | 1185,26 | 11,48 | 103,23 |
| 9,02 | 1182,95 | 11,46 | 103,24 |
| 9,04 | 1180,65 | 11,43 | 103,25 |
| 9,06 | 1178,36 | 11,41 | 103,27 |
| 9,08 | 1176,08 | 11,39 | 103,28 |
| 9,1 | 1173,81 | 11,36 | 103,30 |
| 9,12 | 1171,55 | 11,34 | 103,31 |
| 9,14 | 1169,29 | 11,32 | 103,32 |
| 9,16 | 1167,05 | 11,29 | 103,34 |
| 9,18 | 1164,81 | 11,27 | 103,35 |
| 9,2 | 1162,58 | 11,25 | 103,36 |
| 9,22 | 1160,36 | 11,22 | 103,38 |
| 9,24 | 1158,15 | 11,20 | 103,39 |
| 9,26 | 1155,94 | 11,18 | 103,40 |
| 9,28 | 1153,75 | 11,16 | 103,42 |
| 9,3 | 1151,56 | 11,13 | 103,43 |
| 9,32 | 1149,38 | 11,11 | 103,44 |
| 9,34 | 1147,21 | 11,09 | 103,46 |
| 9,36 | 1145,05 | 11,07 | 103,47 |
| 9,38 | 1142,89 | 11,04 | 103,48 |
| 9,4 | 1140,75 | 11,02 | 103,50 |
| 9,42 | 1138,61 | 11,00 | 103,51 |
| 9,44 | 1136,48 | 10,98 | 103,52 |
| 9,46 | 1134,35 | 10,96 | 103,54 |
| 9,48 | 1132,24 | 10,93 | 103,55 |

| R | P | I | V |
|----------|----------|----------|----------|
| 9,5 | 1130,13 | 10,91 | 103,56 |
| 9,52 | 1128,03 | 10,89 | 103,57 |
| 9,54 | 1125,94 | 10,87 | 103,59 |
| 9,56 | 1123,86 | 10,85 | 103,60 |
| 9,58 | 1121,78 | 10,83 | 103,61 |
| 9,6 | 1119,72 | 10,81 | 103,62 |
| 9,62 | 1117,65 | 10,78 | 103,64 |
| 9,64 | 1115,60 | 10,76 | 103,65 |
| 9,66 | 1113,56 | 10,74 | 103,66 |
| 9,68 | 1111,52 | 10,72 | 103,67 |
| 9,7 | 1109,49 | 10,70 | 103,69 |
| 9,72 | 1107,46 | 10,68 | 103,70 |
| 9,74 | 1105,45 | 10,66 | 103,71 |
| 9,76 | 1103,44 | 10,64 | 103,72 |
| 9,78 | 1101,44 | 10,62 | 103,74 |
| 9,8 | 1099,44 | 10,60 | 103,75 |
| 9,82 | 1097,46 | 10,58 | 103,76 |
| 9,84 | 1095,48 | 10,56 | 103,77 |
| 9,86 | 1093,50 | 10,54 | 103,78 |
| 9,88 | 1091,54 | 10,52 | 103,80 |
| 9,9 | 1089,58 | 10,50 | 103,81 |
| 9,92 | 1087,63 | 10,48 | 103,82 |
| 9,94 | 1085,68 | 10,46 | 103,83 |
| 9,96 | 1083,74 | 10,44 | 103,84 |
| 9,98 | 1081,81 | 10,42 | 103,85 |
| 10 | 1079,89 | 10,40 | 103,87 |

1. Data Pembebanan Naik dengan Fuzzy Logic

Fuzzy - beban Naik

| Time | Arus (I) | Tegangan (V) | Daya (W) | Beban (W) |
|--------|----------|--------------|----------|-----------|
| 0,0005 | 78,012 | 66,672 | 5201,205 | 15,566 |
| 0,0010 | 99,961 | 15,407 | 1540,104 | 158,741 |
| 0,0015 | 98,484 | 26,450 | 2604,855 | 456,333 |
| 0,0020 | 96,947 | 36,508 | 3539,321 | 857,716 |
| 0,0025 | 95,982 | 41,998 | 4031,077 | 1297,149 |
| 0,0030 | 95,118 | 46,344 | 4408,149 | 1716,610 |
| 0,0035 | 93,962 | 51,274 | 4817,800 | 2142,384 |
| 0,0040 | 92,715 | 55,410 | 5137,342 | 2566,090 |
| 0,0045 | 91,279 | 58,602 | 5349,148 | 2977,952 |
| 0,0050 | 89,352 | 60,364 | 5393,652 | 3368,293 |
| 0,0055 | 86,235 | 62,105 | 5355,600 | 3723,068 |
| 0,0060 | 82,283 | 64,306 | 5291,305 | 4026,141 |
| 0,0065 | 78,248 | 66,547 | 5207,202 | 4270,520 |
| 0,0070 | 74,559 | 68,590 | 5113,991 | 4457,600 |
| 0,0075 | 71,417 | 70,324 | 5022,336 | 4593,817 |
| 0,0080 | 68,881 | 71,720 | 4940,132 | 4687,939 |
| 0,0085 | 66,925 | 72,794 | 4871,726 | 4749,163 |
| 0,0090 | 65,479 | 73,586 | 4818,375 | 4785,969 |
| 0,0095 | 64,457 | 74,146 | 4779,199 | 4805,545 |
| 0,0100 | 63,768 | 74,522 | 4752,139 | 4813,619 |
| 0,0105 | 63,331 | 74,761 | 4734,701 | 4814,515 |
| 0,0110 | 63,077 | 74,900 | 4724,440 | 4811,344 |
| 0,0115 | 62,948 | 74,970 | 4719,227 | 4806,231 |
| 0,0120 | 62,902 | 74,995 | 4717,347 | 4800,543 |

| Time | Arus (I) | Tegangan (V) | Daya (W) | Beban (W) |
|--------|----------|--------------|----------|-----------|
| 0,0505 | 73,338 | 69,264 | 5079,682 | 5116,398 |
| 0,0510 | 73,338 | 69,264 | 5079,686 | 5116,392 |
| 0,0515 | 73,338 | 69,264 | 5079,689 | 5116,389 |
| 0,0520 | 73,338 | 69,264 | 5079,691 | 5116,387 |
| 0,0525 | 73,338 | 69,264 | 5079,693 | 5116,386 |
| 0,0530 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,385 |
| 0,0535 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,385 |
| 0,0540 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,386 |
| 0,0545 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,386 |
| 0,0550 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,386 |
| 0,0555 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,387 |
| 0,0560 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,387 |
| 0,0565 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,387 |
| 0,0570 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,387 |
| 0,0575 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0580 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0585 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0590 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0595 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0600 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0605 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0610 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0615 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0620 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0125 | 62,906 | 74,993 | 4717,507 | 4795,095 |
| 0,0130 | 62,937 | 74,976 | 4718,782 | 4790,312 |
| 0,0135 | 62,981 | 74,952 | 4720,548 | 4786,366 |
| 0,0140 | 63,027 | 74,927 | 4722,413 | 4783,269 |
| 0,0145 | 63,070 | 74,904 | 4724,149 | 4780,947 |
| 0,0150 | 63,107 | 74,884 | 4725,644 | 4779,280 |
| 0,0155 | 63,137 | 74,867 | 4726,858 | 4778,139 |
| 0,0160 | 63,160 | 74,854 | 4727,799 | 4777,402 |
| 0,0165 | 63,177 | 74,845 | 4728,496 | 4776,960 |
| 0,0170 | 63,189 | 74,838 | 4728,990 | 4776,726 |
| 0,0175 | 63,198 | 74,834 | 4729,322 | 4776,629 |
| 0,0180 | 63,203 | 74,831 | 4729,534 | 4776,617 |
| 0,0185 | 63,206 | 74,829 | 4729,657 | 4776,655 |
| 0,0190 | 63,207 | 74,828 | 4729,719 | 4776,716 |
| 0,0195 | 63,208 | 74,828 | 4729,742 | 4776,783 |
| 0,0200 | 63,208 | 74,828 | 4729,740 | 4776,848 |
| 0,0205 | 63,208 | 74,828 | 4729,725 | 4776,906 |
| 0,0210 | 63,207 | 74,829 | 4729,704 | 4776,953 |
| 0,0215 | 63,207 | 74,829 | 4729,682 | 4776,990 |
| 0,0220 | 63,206 | 74,829 | 4729,661 | 4777,018 |
| 0,0225 | 63,206 | 74,829 | 4729,643 | 4777,038 |
| 0,0230 | 63,205 | 74,830 | 4729,629 | 4777,051 |
| 0,0235 | 63,205 | 74,830 | 4729,618 | 4777,060 |
| 0,0240 | 63,205 | 74,830 | 4729,609 | 4777,065 |
| 0,0245 | 63,205 | 74,830 | 4729,603 | 4777,068 |
| 0,0250 | 63,205 | 74,830 | 4729,599 | 4777,069 |
| 0,0255 | 63,204 | 74,830 | 4729,597 | 4777,070 |
| 0,0260 | 63,204 | 74,830 | 4729,595 | 4777,069 |
| 0,0265 | 63,204 | 74,830 | 4729,595 | 4777,068 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0625 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0630 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0635 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0640 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0645 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0650 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0655 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0660 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0665 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0670 | 73,949 | 68,926 | 5097,035 | 6473,511 |
| 0,0675 | 75,781 | 67,913 | 5146,537 | 6120,169 |
| 0,0680 | 78,058 | 66,652 | 5202,718 | 5855,061 |
| 0,0685 | 80,301 | 65,407 | 5252,272 | 5665,747 |
| 0,0690 | 82,265 | 64,315 | 5290,934 | 5536,989 |
| 0,0695 | 83,856 | 63,430 | 5319,000 | 5454,073 |
| 0,0700 | 85,067 | 62,755 | 5338,428 | 5404,261 |
| 0,0705 | 85,941 | 62,268 | 5351,392 | 5377,255 |
| 0,0710 | 86,537 | 61,936 | 5359,742 | 5365,152 |
| 0,0715 | 86,921 | 61,722 | 5364,895 | 5362,166 |
| 0,0720 | 87,149 | 61,594 | 5367,884 | 5364,252 |
| 0,0725 | 87,270 | 61,527 | 5369,448 | 5368,729 |
| 0,0730 | 87,322 | 61,498 | 5370,111 | 5373,930 |
| 0,0735 | 87,332 | 61,492 | 5370,234 | 5378,903 |
| 0,0740 | 87,319 | 61,500 | 5370,065 | 5383,182 |
| 0,0745 | 87,295 | 61,513 | 5369,762 | 5386,605 |
| 0,0750 | 87,269 | 61,528 | 5369,425 | 5389,186 |
| 0,0755 | 87,244 | 61,541 | 5369,109 | 5391,030 |
| 0,0760 | 87,223 | 61,553 | 5368,841 | 5392,278 |
| 0,0765 | 87,207 | 61,562 | 5368,628 | 5393,072 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0270 | 63,204 | 74,830 | 4729,594 | 4777,068 | 0,0770 | 87,194 | 61,569 | 5368,469 | 5393,538 |
| 0,0275 | 63,204 | 74,830 | 4729,594 | 4777,067 | 0,0775 | 87,185 | 61,574 | 5368,356 | 5393,780 |
| 0,0280 | 63,204 | 74,830 | 4729,595 | 4777,066 | 0,0780 | 87,180 | 61,577 | 5368,280 | 5393,878 |
| 0,0285 | 63,204 | 74,830 | 4729,595 | 4777,066 | 0,0785 | 87,176 | 61,579 | 5368,232 | 5393,889 |
| 0,0290 | 63,204 | 74,830 | 4729,595 | 4777,065 | 0,0790 | 87,174 | 61,581 | 5368,205 | 5393,854 |
| 0,0295 | 63,204 | 74,830 | 4729,595 | 4777,065 | 0,0795 | 87,173 | 61,581 | 5368,191 | 5393,800 |
| 0,0300 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,065 | 0,0800 | 87,172 | 61,581 | 5368,186 | 5393,741 |
| 0,0305 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 | 0,0805 | 87,172 | 61,581 | 5368,185 | 5393,687 |
| 0,0310 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 | 0,0810 | 87,172 | 61,581 | 5368,188 | 5393,642 |
| 0,0315 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 | 0,0815 | 87,173 | 61,581 | 5368,192 | 5393,607 |
| 0,0320 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 | 0,0820 | 87,173 | 61,581 | 5368,195 | 5393,580 |
| 0,0325 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 | 0,0825 | 87,173 | 61,581 | 5368,199 | 5393,562 |
| 0,0330 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 | 0,0830 | 87,173 | 61,581 | 5368,202 | 5393,550 |
| 0,0335 | 63,316 | 74,769 | 4734,085 | 5875,293 | 0,0835 | 87,174 | 61,581 | 5368,204 | 5393,542 |
| 0,0340 | 64,274 | 74,245 | 4772,073 | 5661,425 | 0,0840 | 87,174 | 61,581 | 5368,206 | 5393,538 |
| 0,0345 | 65,744 | 73,441 | 4828,292 | 5489,596 | 0,0845 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,536 |
| 0,0350 | 67,336 | 72,568 | 4886,433 | 5358,399 | 0,0850 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,535 |
| 0,0355 | 68,827 | 71,749 | 4938,268 | 5262,686 | 0,0855 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,535 |
| 0,0360 | 70,106 | 71,046 | 4980,730 | 5195,968 | 0,0860 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,536 |
| 0,0365 | 71,137 | 70,478 | 5013,572 | 5151,759 | 0,0865 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,536 |
| 0,0370 | 71,924 | 70,044 | 5037,859 | 5124,251 | 0,0870 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,537 |
| 0,0375 | 72,498 | 69,728 | 5055,104 | 5108,599 | 0,0875 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,537 |
| 0,0380 | 72,896 | 69,508 | 5066,845 | 5100,970 | 0,0880 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,538 |
| 0,0385 | 73,157 | 69,364 | 5074,456 | 5098,464 | 0,0885 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,538 |
| 0,0390 | 73,317 | 69,275 | 5079,081 | 5098,986 | 0,0890 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0395 | 73,406 | 69,227 | 5081,631 | 5101,088 | 0,0895 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0400 | 73,447 | 69,204 | 5082,802 | 5103,825 | 0,0900 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0405 | 73,457 | 69,198 | 5083,109 | 5106,618 | 0,0905 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0410 | 73,451 | 69,202 | 5082,918 | 5109,149 | 0,0910 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0415 | 73,435 | 69,210 | 5082,478 | 5111,273 | 0,0915 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0420 | 73,417 | 69,220 | 5081,950 | 5112,956 | 0,0920 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0425 | 73,399 | 69,230 | 5081,428 | 5114,225 | 0,0925 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0430 | 73,383 | 69,239 | 5080,965 | 5115,136 | 0,0930 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0435 | 73,369 | 69,247 | 5080,582 | 5115,759 | 0,0935 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0440 | 73,359 | 69,252 | 5080,282 | 5116,162 | 0,0940 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0445 | 73,351 | 69,257 | 5080,058 | 5116,402 | 0,0945 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0450 | 73,346 | 69,260 | 5079,900 | 5116,531 | 0,0950 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0455 | 73,342 | 69,262 | 5079,792 | 5116,586 | 0,0955 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0460 | 73,339 | 69,263 | 5079,724 | 5116,594 | 0,0960 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0465 | 73,338 | 69,264 | 5079,684 | 5116,577 | 0,0965 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0470 | 73,337 | 69,264 | 5079,664 | 5116,548 | 0,0970 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0475 | 73,337 | 69,264 | 5079,656 | 5116,516 | 0,0975 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0480 | 73,337 | 69,264 | 5079,656 | 5116,485 | 0,0980 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0485 | 73,337 | 69,264 | 5079,660 | 5116,458 | 0,0985 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0490 | 73,337 | 69,264 | 5079,666 | 5116,436 | 0,0990 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0495 | 73,338 | 69,264 | 5079,672 | 5116,419 | 0,0995 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0500 | 73,338 | 69,264 | 5079,677 | 5116,407 | 0,1 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |

2. Data Pembebanan Naik dengan P&O

P&O - beban Naik

| Time | Arus (I) | Tegangan (V) | Daya (W) | Beban (W) | Time | Arus (I) | Tegangan (V) | Daya (W) | Beban (W) |
|--------|----------|--------------|----------|-----------|--------|----------|--------------|----------|-----------|
| 0,0005 | 78,109 | 66,618 | 5203,457 | 14,580 | 0,0505 | 73,338 | 69,264 | 5079,682 | 5116,397 |
| 0,0010 | 100,252 | 13,087 | 1312,041 | 137,684 | 0,0510 | 73,338 | 69,264 | 5079,686 | 5116,392 |
| 0,0015 | 99,135 | 21,736 | 2154,786 | 375,715 | 0,0515 | 73,338 | 69,264 | 5079,689 | 5116,388 |
| 0,0020 | 98,010 | 29,712 | 2912,080 | 692,297 | 0,0520 | 73,338 | 69,264 | 5079,692 | 5116,386 |
| 0,0025 | 96,901 | 36,784 | 3564,420 | 1062,795 | 0,0525 | 73,338 | 69,264 | 5079,693 | 5116,385 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0030 | 95,791 | 43,009 | 4119,847 | 1466,988 |
| 0,0035 | 94,659 | 48,427 | 4584,001 | 1888,692 |
| 0,0040 | 93,471 | 53,051 | 4958,723 | 2314,897 |
| 0,0045 | 92,036 | 57,131 | 5258,083 | 2737,352 |
| 0,0050 | 90,568 | 59,549 | 5393,229 | 3141,241 |
| 0,0055 | 88,231 | 60,990 | 5381,256 | 3519,044 |
| 0,0060 | 84,662 | 62,982 | 5332,154 | 3854,112 |
| 0,0065 | 80,607 | 65,238 | 5258,638 | 4133,396 |
| 0,0070 | 76,679 | 67,417 | 5169,444 | 4353,759 |
| 0,0075 | 73,200 | 69,341 | 5075,716 | 4519,033 |
| 0,0080 | 70,127 | 71,034 | 4981,453 | 4638,763 |
| 0,0085 | 67,902 | 72,258 | 4906,432 | 4716,529 |
| 0,0090 | 66,212 | 73,185 | 4845,720 | 4765,785 |
| 0,0095 | 64,853 | 73,929 | 4794,519 | 4794,621 |
| 0,0100 | 64,053 | 74,367 | 4763,391 | 4807,536 |
| 0,0105 | 63,526 | 74,654 | 4742,522 | 4811,715 |
| 0,0110 | 63,203 | 74,831 | 4729,552 | 4810,639 |
| 0,0115 | 63,024 | 74,929 | 4722,315 | 4806,755 |
| 0,0120 | 62,943 | 74,973 | 4719,003 | 4801,697 |
| 0,0125 | 62,923 | 74,984 | 4718,204 | 4796,484 |
| 0,0130 | 62,940 | 74,975 | 4718,878 | 4791,695 |
| 0,0135 | 62,975 | 74,956 | 4720,303 | 4787,611 |
| 0,0140 | 63,017 | 74,933 | 4722,003 | 4784,316 |
| 0,0145 | 63,058 | 74,910 | 4723,688 | 4781,781 |
| 0,0150 | 63,096 | 74,890 | 4725,200 | 4779,915 |
| 0,0155 | 63,127 | 74,872 | 4726,467 | 4778,602 |
| 0,0160 | 63,152 | 74,859 | 4727,476 | 4777,724 |
| 0,0165 | 63,028 | 74,927 | 4722,445 | 4777,754 |
| 0,0170 | 62,903 | 74,995 | 4717,386 | 4778,178 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0530 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,385 |
| 0,0535 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,385 |
| 0,0540 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,386 |
| 0,0545 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,386 |
| 0,0550 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,386 |
| 0,0555 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,387 |
| 0,0560 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,387 |
| 0,0565 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,387 |
| 0,0570 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,387 |
| 0,0575 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0580 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0585 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0590 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0595 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0600 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0605 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0610 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0615 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0620 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0625 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0630 | 73,204 | 69,338 | 5075,816 | 5117,554 |
| 0,0635 | 73,257 | 69,309 | 5077,337 | 5116,011 |
| 0,0640 | 73,294 | 69,288 | 5078,404 | 5115,217 |
| 0,0645 | 73,318 | 69,275 | 5079,115 | 5114,910 |
| 0,0650 | 73,180 | 69,351 | 5075,121 | 5116,724 |
| 0,0655 | 72,971 | 69,467 | 5069,032 | 5117,634 |
| 0,0660 | 73,001 | 69,450 | 5069,920 | 5114,438 |
| 0,0665 | 73,155 | 69,365 | 5074,408 | 5111,216 |
| 0,0670 | 73,868 | 68,971 | 5094,761 | 6465,440 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0175 | 63,026 | 74,928 | 4722,385 | 4775,323 |
| 0,0180 | 63,112 | 74,881 | 4725,854 | 4773,911 |
| 0,0185 | 63,168 | 74,850 | 4728,139 | 4773,436 |
| 0,0190 | 63,203 | 74,831 | 4729,547 | 4773,528 |
| 0,0195 | 63,223 | 74,820 | 4730,332 | 4773,924 |
| 0,0200 | 63,232 | 74,815 | 4730,695 | 4774,451 |
| 0,0205 | 63,234 | 74,814 | 4730,788 | 4774,998 |
| 0,0210 | 63,232 | 74,815 | 4730,724 | 4775,504 |
| 0,0215 | 63,229 | 74,817 | 4730,578 | 4775,936 |
| 0,0220 | 63,224 | 74,819 | 4730,401 | 4776,286 |
| 0,0225 | 63,220 | 74,822 | 4730,224 | 4776,557 |
| 0,0230 | 63,216 | 74,824 | 4730,065 | 4776,756 |
| 0,0235 | 63,213 | 74,826 | 4729,931 | 4776,897 |
| 0,0240 | 63,210 | 74,827 | 4729,824 | 4776,991 |
| 0,0245 | 63,208 | 74,828 | 4729,742 | 4777,050 |
| 0,0250 | 63,207 | 74,829 | 4729,683 | 4777,085 |
| 0,0255 | 63,206 | 74,830 | 4729,641 | 4777,102 |
| 0,0260 | 63,205 | 74,830 | 4729,614 | 4777,108 |
| 0,0265 | 63,204 | 74,830 | 4729,597 | 4777,107 |
| 0,0270 | 63,204 | 74,830 | 4729,587 | 4777,102 |
| 0,0275 | 63,204 | 74,830 | 4729,583 | 4777,096 |
| 0,0280 | 63,204 | 74,830 | 4729,582 | 4777,089 |
| 0,0285 | 63,204 | 74,830 | 4729,583 | 4777,083 |
| 0,0290 | 63,204 | 74,830 | 4729,584 | 4777,078 |
| 0,0295 | 63,204 | 74,830 | 4729,586 | 4777,074 |
| 0,0300 | 63,204 | 74,830 | 4729,589 | 4777,070 |
| 0,0305 | 63,204 | 74,830 | 4729,590 | 4777,068 |
| 0,0310 | 63,204 | 74,830 | 4729,592 | 4777,066 |
| 0,0315 | 63,204 | 74,830 | 4729,593 | 4777,065 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0675 | 75,763 | 67,923 | 5146,065 | 6112,568 |
| 0,0680 | 78,074 | 66,643 | 5203,107 | 5848,614 |
| 0,0685 | 80,043 | 65,551 | 5246,863 | 5666,142 |
| 0,0690 | 81,988 | 64,470 | 5285,747 | 5536,267 |
| 0,0695 | 83,702 | 63,516 | 5316,402 | 5450,129 |
| 0,0700 | 84,995 | 62,796 | 5337,309 | 5399,123 |
| 0,0705 | 85,919 | 62,281 | 5351,078 | 5372,096 |
| 0,0710 | 86,544 | 61,932 | 5359,839 | 5360,579 |
| 0,0715 | 86,942 | 61,710 | 5365,177 | 5358,425 |
| 0,0720 | 87,058 | 61,645 | 5366,705 | 5363,277 |
| 0,0725 | 87,223 | 61,553 | 5368,836 | 5366,829 |
| 0,0730 | 87,302 | 61,509 | 5369,858 | 5371,769 |
| 0,0735 | 87,329 | 61,494 | 5370,195 | 5376,858 |
| 0,0740 | 87,325 | 61,496 | 5370,141 | 5381,434 |
| 0,0745 | 87,305 | 61,507 | 5369,890 | 5385,213 |
| 0,0750 | 87,279 | 61,522 | 5369,565 | 5388,141 |
| 0,0755 | 87,254 | 61,536 | 5369,239 | 5390,286 |
| 0,0760 | 87,232 | 61,548 | 5368,951 | 5391,777 |
| 0,0765 | 87,213 | 61,558 | 5368,714 | 5392,755 |
| 0,0770 | 87,199 | 61,566 | 5368,533 | 5393,354 |
| 0,0775 | 87,189 | 61,572 | 5368,401 | 5393,686 |
| 0,0780 | 87,182 | 61,576 | 5368,310 | 5393,841 |
| 0,0785 | 87,177 | 61,579 | 5368,251 | 5393,886 |
| 0,0790 | 87,175 | 61,580 | 5368,216 | 5393,870 |
| 0,0795 | 87,173 | 61,581 | 5368,196 | 5393,823 |
| 0,0800 | 87,172 | 61,581 | 5368,187 | 5393,765 |
| 0,0805 | 87,172 | 61,581 | 5368,185 | 5393,709 |
| 0,0810 | 87,172 | 61,581 | 5368,187 | 5393,660 |
| 0,0815 | 87,173 | 61,581 | 5368,190 | 5393,621 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0320 | 63,040 | 74,920 | 4722,932 | 4778,234 |
| 0,0325 | 62,974 | 74,956 | 4720,267 | 4776,845 |
| 0,0330 | 63,074 | 74,902 | 4724,316 | 4774,785 |
| 0,0335 | 63,058 | 74,910 | 4723,681 | 5873,969 |
| 0,0340 | 63,978 | 74,407 | 4760,418 | 5658,676 |
| 0,0345 | 65,586 | 73,527 | 4822,378 | 5484,071 |
| 0,0350 | 67,270 | 72,604 | 4884,094 | 5352,002 |
| 0,0355 | 68,675 | 71,833 | 4933,116 | 5257,654 |
| 0,0360 | 70,042 | 71,081 | 4978,660 | 5190,059 |
| 0,0365 | 71,127 | 70,483 | 5013,276 | 5146,000 |
| 0,0370 | 71,945 | 70,033 | 5038,491 | 5119,177 |
| 0,0375 | 72,533 | 69,708 | 5056,144 | 5104,424 |
| 0,0380 | 72,935 | 69,487 | 5067,986 | 5097,715 |
| 0,0385 | 73,194 | 69,343 | 5075,530 | 5096,047 |
| 0,0390 | 73,349 | 69,258 | 5080,007 | 5097,273 |
| 0,0395 | 73,432 | 69,212 | 5082,380 | 5099,935 |
| 0,0400 | 73,467 | 69,193 | 5083,378 | 5103,095 |
| 0,0405 | 73,472 | 69,190 | 5083,532 | 5106,192 |
| 0,0410 | 73,461 | 69,196 | 5083,215 | 5108,933 |
| 0,0415 | 73,442 | 69,206 | 5082,675 | 5111,193 |
| 0,0420 | 73,421 | 69,218 | 5082,072 | 5112,958 |
| 0,0425 | 73,401 | 69,229 | 5081,498 | 5114,270 |
| 0,0430 | 73,384 | 69,239 | 5080,999 | 5115,200 |
| 0,0435 | 73,370 | 69,247 | 5080,592 | 5115,827 |
| 0,0440 | 73,359 | 69,253 | 5080,279 | 5116,224 |
| 0,0445 | 73,351 | 69,257 | 5080,049 | 5116,456 |
| 0,0450 | 73,345 | 69,260 | 5079,887 | 5116,574 |
| 0,0455 | 73,341 | 69,262 | 5079,780 | 5116,618 |
| 0,0460 | 73,339 | 69,263 | 5079,713 | 5116,618 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0820 | 87,173 | 61,581 | 5368,194 | 5393,591 |
| 0,0825 | 87,173 | 61,581 | 5368,197 | 5393,569 |
| 0,0830 | 87,173 | 61,581 | 5368,201 | 5393,555 |
| 0,0835 | 87,174 | 61,581 | 5368,203 | 5393,545 |
| 0,0840 | 87,174 | 61,581 | 5368,205 | 5393,540 |
| 0,0845 | 87,174 | 61,580 | 5368,206 | 5393,537 |
| 0,0850 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,535 |
| 0,0855 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,535 |
| 0,0860 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,535 |
| 0,0865 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,536 |
| 0,0870 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,537 |
| 0,0875 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,537 |
| 0,0880 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,538 |
| 0,0885 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,538 |
| 0,0890 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,538 |
| 0,0895 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0900 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0905 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0910 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0915 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0920 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0925 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0930 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0935 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0940 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0945 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0950 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0955 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0960 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0465 | 73,338 | 69,264 | 5079,675 | 5116,594 |
| 0,0470 | 73,337 | 69,264 | 5079,656 | 5116,559 |
| 0,0475 | 73,337 | 69,265 | 5079,650 | 5116,522 |
| 0,0480 | 73,337 | 69,265 | 5079,652 | 5116,488 |
| 0,0485 | 73,337 | 69,264 | 5079,657 | 5116,460 |
| 0,0490 | 73,337 | 69,264 | 5079,664 | 5116,436 |
| 0,0495 | 73,338 | 69,264 | 5079,671 | 5116,419 |
| 0,0500 | 73,338 | 69,264 | 5079,677 | 5116,406 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0965 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0970 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0975 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0980 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0985 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0990 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,0995 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |
| 0,1 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 |

3. Pembebanan Turun dengan Fuzzy Logic

Fuzzy - beban Turun

| Time | Arus (I) | Tegangan (V) | Daya (W) | Beban (W) | Time | Arus (I) | Tegangan (V) | Daya (W) | Beban (W) |
|--------|----------|--------------|----------|-----------|--------|----------|--------------|----------|-----------|
| 0,0005 | 78,031 | 66,661 | 5201,645 | 24,979 | 0,0505 | 73,339 | 69,263 | 5079,711 | 5116,373 |
| 0,0010 | 100,028 | 14,877 | 1488,140 | 244,989 | 0,0510 | 73,339 | 69,264 | 5079,706 | 5116,381 |
| 0,0015 | 98,691 | 24,981 | 2465,437 | 671,987 | 0,0515 | 73,339 | 69,264 | 5079,702 | 5116,386 |
| 0,0020 | 97,390 | 33,767 | 3288,531 | 1204,977 | 0,0520 | 73,339 | 69,264 | 5079,699 | 5116,389 |
| 0,0025 | 96,318 | 40,163 | 3868,440 | 1774,628 | 0,0525 | 73,339 | 69,264 | 5079,697 | 5116,390 |
| 0,0030 | 95,834 | 42,780 | 4099,818 | 2263,024 | 0,0530 | 73,338 | 69,264 | 5079,696 | 5116,391 |
| 0,0035 | 95,321 | 45,372 | 4324,886 | 2682,208 | 0,0535 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,391 |
| 0,0040 | 94,677 | 48,346 | 4577,304 | 3069,169 | 0,0540 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,390 |
| 0,0045 | 94,077 | 50,832 | 4782,073 | 3420,053 | 0,0545 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,390 |
| 0,0050 | 93,516 | 52,895 | 4946,580 | 3733,912 | 0,0550 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,389 |
| 0,0055 | 92,991 | 54,600 | 5077,349 | 4011,471 | 0,0555 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,389 |
| 0,0060 | 92,499 | 55,999 | 5179,806 | 4254,509 | 0,0560 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,389 |
| 0,0065 | 92,034 | 57,136 | 5258,445 | 4465,411 | 0,0565 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,388 |
| 0,0070 | 91,592 | 58,050 | 5316,958 | 4646,863 | 0,0570 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,388 |
| 0,0075 | 91,171 | 58,772 | 5358,336 | 4801,637 | 0,0575 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,388 |
| 0,0080 | 90,766 | 59,328 | 5384,927 | 4932,450 | 0,0580 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,388 |
| 0,0085 | 90,371 | 59,737 | 5398,450 | 5041,862 | 0,0585 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0090 | 89,979 | 60,013 | 5399,939 | 5132,211 | 0,0590 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0095 | 89,583 | 60,235 | 5396,010 | 5205,556 | 0,0595 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0100 | 89,182 | 60,459 | 5391,845 | 5263,723 | 0,0600 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0105 | 88,784 | 60,681 | 5387,529 | 5308,433 | 0,0605 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0110 | 88,405 | 60,893 | 5383,252 | 5341,443 | 0,0610 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0115 | 88,068 | 61,081 | 5379,301 | 5364,642 | 0,0615 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0120 | 87,789 | 61,237 | 5375,939 | 5380,051 | 0,0620 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0125 | 87,573 | 61,358 | 5373,273 | 5389,619 | 0,0625 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0130 | 87,415 | 61,446 | 5371,285 | 5395,042 | 0,0630 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0135 | 87,304 | 61,508 | 5369,886 | 5397,682 | 0,0635 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0140 | 87,232 | 61,548 | 5368,960 | 5398,571 | 0,0640 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0145 | 87,188 | 61,573 | 5368,389 | 5398,448 | 0,0645 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0150 | 87,163 | 61,586 | 5368,072 | 5397,815 | 0,0650 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0155 | 87,152 | 61,593 | 5367,922 | 5396,990 | 0,0655 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0160 | 87,148 | 61,595 | 5367,878 | 5396,161 | 0,0660 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0165 | 87,150 | 61,594 | 5367,893 | 5395,427 | 0,0665 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0170 | 87,153 | 61,592 | 5367,938 | 5394,827 | 0,0670 | 72,966 | 69,469 | 5068,922 | 4223,980 |
| 0,0175 | 87,157 | 61,590 | 5367,992 | 5394,366 | 0,0675 | 71,821 | 70,101 | 5034,738 | 4369,848 |
| 0,0180 | 87,161 | 61,587 | 5368,046 | 5394,031 | 0,0680 | 70,347 | 70,913 | 4988,545 | 4490,962 |
| 0,0185 | 87,165 | 61,585 | 5368,092 | 5393,800 | 0,0685 | 68,835 | 71,745 | 4938,589 | 4586,469 |
| 0,0190 | 87,168 | 61,584 | 5368,130 | 5393,650 | 0,0690 | 67,450 | 72,506 | 4890,513 | 4658,330 |
| 0,0195 | 87,170 | 61,583 | 5368,158 | 5393,559 | 0,0695 | 66,269 | 73,154 | 4847,806 | 4709,948 |
| 0,0200 | 87,172 | 61,582 | 5368,179 | 5393,510 | 0,0700 | 65,316 | 73,676 | 4812,188 | 4745,219 |
| 0,0205 | 87,173 | 61,581 | 5368,193 | 5393,488 | 0,0705 | 64,582 | 74,077 | 4784,052 | 4767,930 |
| 0,0210 | 87,174 | 61,581 | 5368,202 | 5393,482 | 0,0710 | 64,041 | 74,373 | 4762,914 | 4781,432 |
| 0,0215 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,486 | 0,0715 | 63,659 | 74,582 | 4747,810 | 4788,495 |
| 0,0220 | 87,174 | 61,580 | 5368,210 | 5393,494 | 0,0720 | 63,403 | 74,722 | 4737,588 | 4791,293 |
| 0,0225 | 87,174 | 61,580 | 5368,211 | 5393,503 | 0,0725 | 63,242 | 74,810 | 4731,107 | 4791,453 |
| 0,0230 | 87,174 | 61,580 | 5368,212 | 5393,512 | 0,0730 | 63,149 | 74,860 | 4727,354 | 4790,134 |
| 0,0235 | 87,174 | 61,580 | 5368,211 | 5393,520 | 0,0735 | 63,103 | 74,886 | 4725,489 | 4788,124 |
| 0,0240 | 87,174 | 61,580 | 5368,211 | 5393,526 | 0,0740 | 63,087 | 74,894 | 4724,856 | 4785,929 |
| 0,0245 | 87,174 | 61,580 | 5368,210 | 5393,531 | 0,0745 | 63,090 | 74,893 | 4724,970 | 4783,845 |
| 0,0250 | 87,174 | 61,580 | 5368,210 | 5393,534 | 0,0750 | 63,103 | 74,886 | 4725,485 | 4782,027 |
| 0,0255 | 87,174 | 61,580 | 5368,209 | 5393,537 | 0,0755 | 63,120 | 74,876 | 4726,173 | 4780,534 |
| 0,0260 | 87,174 | 61,580 | 5368,209 | 5393,538 | 0,0760 | 63,137 | 74,867 | 4726,890 | 4779,368 |
| 0,0265 | 87,174 | 61,580 | 5368,209 | 5393,539 | 0,0765 | 63,154 | 74,858 | 4727,551 | 4778,496 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0270 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0770 | 63,168 | 74,850 | 4728,118 | 4777,873 |
| 0,0275 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,540 | 0,0775 | 63,179 | 74,844 | 4728,576 | 4777,448 |
| 0,0280 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,540 | 0,0780 | 63,188 | 74,839 | 4728,930 | 4777,175 |
| 0,0285 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,540 | 0,0785 | 63,194 | 74,836 | 4729,191 | 4777,013 |
| 0,0290 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0790 | 63,199 | 74,833 | 4729,376 | 4776,928 |
| 0,0295 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0795 | 63,202 | 74,831 | 4729,499 | 4776,895 |
| 0,0300 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0800 | 63,204 | 74,830 | 4729,577 | 4776,892 |
| 0,0305 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0805 | 63,205 | 74,830 | 4729,623 | 4776,908 |
| 0,0310 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0810 | 63,206 | 74,829 | 4729,645 | 4776,932 |
| 0,0315 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0815 | 63,206 | 74,829 | 4729,653 | 4776,958 |
| 0,0320 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0820 | 63,206 | 74,829 | 4729,651 | 4776,983 |
| 0,0325 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0825 | 63,206 | 74,829 | 4729,645 | 4777,005 |
| 0,0330 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0830 | 63,205 | 74,830 | 4729,637 | 4777,023 |
| 0,0335 | 87,021 | 61,666 | 5366,226 | 4154,663 | 0,0835 | 63,205 | 74,830 | 4729,628 | 4777,037 |
| 0,0340 | 85,714 | 62,395 | 5348,126 | 4407,198 | 0,0840 | 63,205 | 74,830 | 4729,621 | 4777,047 |
| 0,0345 | 83,716 | 63,509 | 5316,669 | 4619,252 | 0,0845 | 63,205 | 74,830 | 4729,614 | 4777,055 |
| 0,0350 | 81,555 | 64,711 | 5277,496 | 4787,103 | 0,0850 | 63,205 | 74,830 | 4729,608 | 4777,060 |
| 0,0355 | 79,532 | 65,835 | 5235,971 | 4913,129 | 0,0855 | 63,205 | 74,830 | 4729,604 | 4777,063 |
| 0,0360 | 77,794 | 66,799 | 5196,554 | 5003,014 | 0,0860 | 63,205 | 74,830 | 4729,601 | 4777,065 |
| 0,0365 | 76,391 | 67,576 | 5162,207 | 5063,714 | 0,0865 | 63,204 | 74,830 | 4729,599 | 4777,066 |
| 0,0370 | 75,315 | 68,171 | 5134,335 | 5102,144 | 0,0870 | 63,204 | 74,830 | 4729,597 | 4777,066 |
| 0,0375 | 74,527 | 68,607 | 5113,099 | 5124,440 | 0,0875 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,066 |
| 0,0380 | 73,978 | 68,911 | 5097,861 | 5135,653 | 0,0880 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,066 |
| 0,0385 | 73,614 | 69,111 | 5087,589 | 5139,693 | 0,0885 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,066 |
| 0,0390 | 73,389 | 69,236 | 5081,151 | 5139,432 | 0,0890 | 63,204 | 74,830 | 4729,595 | 4777,066 |
| 0,0395 | 73,262 | 69,306 | 5077,497 | 5136,875 | 0,0895 | 63,204 | 74,830 | 4729,595 | 4777,065 |
| 0,0400 | 73,202 | 69,339 | 5075,747 | 5133,349 | 0,0900 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,065 |
| 0,0405 | 73,183 | 69,349 | 5075,215 | 5129,668 | 0,0905 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,065 |
| 0,0410 | 73,190 | 69,346 | 5075,398 | 5126,290 | 0,0910 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,065 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0415 | 73,209 | 69,335 | 5075,948 | 5123,429 | 0,0915 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0420 | 73,232 | 69,322 | 5076,638 | 5121,147 | 0,0920 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0425 | 73,256 | 69,309 | 5077,331 | 5119,417 | 0,0925 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0430 | 73,278 | 69,297 | 5077,952 | 5118,165 | 0,0930 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0435 | 73,296 | 69,287 | 5078,470 | 5117,303 | 0,0935 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0440 | 73,310 | 69,279 | 5078,878 | 5116,742 | 0,0940 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0445 | 73,321 | 69,274 | 5079,184 | 5116,402 | 0,0945 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0450 | 73,328 | 69,269 | 5079,402 | 5116,217 | 0,0950 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0455 | 73,333 | 69,267 | 5079,551 | 5116,135 | 0,0955 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0460 | 73,337 | 69,265 | 5079,646 | 5116,117 | 0,0960 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0465 | 73,339 | 69,264 | 5079,703 | 5116,135 | 0,0965 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0470 | 73,340 | 69,263 | 5079,732 | 5116,172 | 0,0970 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0475 | 73,340 | 69,263 | 5079,744 | 5116,214 | 0,0975 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0480 | 73,340 | 69,263 | 5079,746 | 5116,255 | 0,0980 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0485 | 73,340 | 69,263 | 5079,741 | 5116,291 | 0,0985 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0490 | 73,340 | 69,263 | 5079,734 | 5116,321 | 0,0990 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0495 | 73,340 | 69,263 | 5079,726 | 5116,344 | 0,0995 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0500 | 73,339 | 69,263 | 5079,718 | 5116,361 | 0,1 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |

4. Pembebanan Turun dengn P&O

P&O - beban Turun

| Time | Arus (I) | Tegangan (V) | Daya (W) | Beban (W) | Time | Arus (I) | Tegangan (V) | Daya (W) | Beban (W) |
|--------|----------|--------------|----------|-----------|--------|----------|--------------|----------|-----------|
| 0,0005 | 78,126 | 66,609 | 5203,855 | 23,426 | 0,0505 | 73,339 | 69,263 | 5079,711 | 5116,372 |
| 0,0010 | 100,309 | 12,627 | 1266,598 | 212,115 | 0,0510 | 73,339 | 69,264 | 5079,706 | 5116,380 |
| 0,0015 | 99,302 | 20,489 | 2034,640 | 551,636 | 0,0515 | 73,339 | 69,264 | 5079,702 | 5116,385 |
| 0,0020 | 98,348 | 27,400 | 2694,740 | 969,140 | 0,0520 | 73,339 | 69,264 | 5079,699 | 5116,388 |
| 0,0025 | 97,473 | 33,242 | 3240,169 | 1421,152 | 0,0525 | 73,339 | 69,264 | 5079,697 | 5116,390 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0030 | 96,667 | 38,169 | 3689,655 | 1877,862 |
| 0,0035 | 95,923 | 42,314 | 4058,900 | 2319,938 |
| 0,0040 | 95,234 | 45,793 | 4361,032 | 2735,480 |
| 0,0045 | 94,499 | 49,113 | 4641,156 | 3121,250 |
| 0,0050 | 93,994 | 51,153 | 4808,014 | 3466,660 |
| 0,0055 | 93,440 | 53,157 | 4966,980 | 3775,309 |
| 0,0060 | 92,920 | 54,815 | 5093,434 | 4047,864 |
| 0,0065 | 92,431 | 56,174 | 5192,272 | 4286,205 |
| 0,0070 | 91,970 | 57,278 | 5267,860 | 4492,778 |
| 0,0075 | 91,532 | 58,163 | 5323,785 | 4670,292 |
| 0,0080 | 91,016 | 59,001 | 5370,062 | 4825,143 |
| 0,0085 | 90,686 | 59,421 | 5388,638 | 4951,645 |
| 0,0090 | 90,304 | 59,793 | 5399,537 | 5057,695 |
| 0,0095 | 89,853 | 60,084 | 5398,711 | 5147,509 |
| 0,0100 | 89,488 | 60,288 | 5395,039 | 5217,336 |
| 0,0105 | 89,099 | 60,506 | 5390,955 | 5272,674 |
| 0,0110 | 88,708 | 60,724 | 5386,685 | 5315,025 |
| 0,0115 | 88,338 | 60,930 | 5382,478 | 5346,083 |
| 0,0120 | 88,012 | 61,112 | 5378,639 | 5367,732 |
| 0,0125 | 87,746 | 61,261 | 5375,412 | 5381,975 |
| 0,0130 | 87,541 | 61,375 | 5372,878 | 5390,714 |
| 0,0135 | 87,393 | 61,458 | 5371,006 | 5395,579 |
| 0,0140 | 87,290 | 61,516 | 5369,700 | 5397,867 |
| 0,0145 | 87,223 | 61,553 | 5368,845 | 5398,552 |
| 0,0150 | 87,183 | 61,575 | 5368,325 | 5398,325 |
| 0,0155 | 87,161 | 61,588 | 5368,041 | 5397,652 |
| 0,0160 | 87,151 | 61,593 | 5367,913 | 5396,826 |
| 0,0165 | 87,026 | 61,663 | 5366,286 | 5398,152 |
| 0,0170 | 86,911 | 61,727 | 5364,763 | 5399,725 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0530 | 73,338 | 69,264 | 5079,696 | 5116,390 |
| 0,0535 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,391 |
| 0,0540 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,390 |
| 0,0545 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,390 |
| 0,0550 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,389 |
| 0,0555 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,389 |
| 0,0560 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,389 |
| 0,0565 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,388 |
| 0,0570 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,388 |
| 0,0575 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,388 |
| 0,0580 | 73,338 | 69,264 | 5079,694 | 5116,388 |
| 0,0585 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0590 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0595 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0600 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0605 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0610 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0615 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0620 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0625 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,388 |
| 0,0630 | 73,204 | 69,338 | 5075,816 | 5117,554 |
| 0,0635 | 73,257 | 69,309 | 5077,337 | 5116,011 |
| 0,0640 | 73,294 | 69,288 | 5078,404 | 5115,217 |
| 0,0645 | 73,318 | 69,275 | 5079,115 | 5114,910 |
| 0,0650 | 73,180 | 69,351 | 5075,121 | 5116,724 |
| 0,0655 | 72,971 | 69,467 | 5069,032 | 5117,634 |
| 0,0660 | 73,001 | 69,450 | 5069,920 | 5114,438 |
| 0,0665 | 73,155 | 69,365 | 5074,408 | 5111,216 |
| 0,0670 | 72,886 | 69,513 | 5066,573 | 4218,726 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0175 | 87,002 | 61,677 | 5365,962 | 5395,555 | 0,0675 | 71,805 | 70,110 | 5034,256 | 4364,426 |
| 0,0180 | 87,069 | 61,639 | 5366,841 | 5393,158 | 0,0680 | 70,369 | 70,901 | 4989,230 | 4485,960 |
| 0,0185 | 87,116 | 61,613 | 5367,455 | 5391,959 | 0,0685 | 68,544 | 71,905 | 4928,645 | 4585,222 |
| 0,0190 | 87,147 | 61,595 | 5367,859 | 5391,520 | 0,0690 | 67,142 | 72,675 | 4879,535 | 4655,563 |
| 0,0195 | 87,166 | 61,585 | 5368,109 | 5391,527 | 0,0695 | 66,108 | 73,242 | 4841,874 | 4704,727 |
| 0,0200 | 87,177 | 61,579 | 5368,250 | 5391,764 | 0,0700 | 65,252 | 73,711 | 4809,775 | 4739,136 |
| 0,0205 | 87,183 | 61,576 | 5368,318 | 5392,092 | 0,0705 | 64,578 | 74,079 | 4783,911 | 4761,962 |
| 0,0210 | 87,184 | 61,575 | 5368,341 | 5392,431 | 0,0710 | 64,071 | 74,357 | 4764,092 | 4776,110 |
| 0,0215 | 87,184 | 61,575 | 5368,337 | 5392,735 | 0,0715 | 63,705 | 74,557 | 4749,624 | 4784,053 |
| 0,0220 | 87,183 | 61,576 | 5368,320 | 5392,986 | 0,0720 | 63,316 | 74,769 | 4734,098 | 4788,198 |
| 0,0225 | 87,181 | 61,576 | 5368,299 | 5393,181 | 0,0725 | 63,209 | 74,828 | 4729,772 | 4787,927 |
| 0,0230 | 87,179 | 61,577 | 5368,277 | 5393,323 | 0,0730 | 63,149 | 74,861 | 4727,351 | 4786,714 |
| 0,0235 | 87,178 | 61,578 | 5368,257 | 5393,422 | 0,0735 | 63,121 | 74,876 | 4726,227 | 4785,098 |
| 0,0240 | 87,177 | 61,579 | 5368,242 | 5393,487 | 0,0740 | 63,114 | 74,880 | 4725,933 | 4783,417 |
| 0,0245 | 87,176 | 61,579 | 5368,230 | 5393,527 | 0,0745 | 63,119 | 74,877 | 4726,129 | 4781,864 |
| 0,0250 | 87,175 | 61,580 | 5368,221 | 5393,549 | 0,0750 | 63,130 | 74,871 | 4726,577 | 4780,534 |
| 0,0255 | 87,175 | 61,580 | 5368,215 | 5393,559 | 0,0755 | 63,143 | 74,864 | 4727,120 | 4779,457 |
| 0,0260 | 87,174 | 61,580 | 5368,211 | 5393,562 | 0,0760 | 63,157 | 74,856 | 4727,664 | 4778,627 |
| 0,0265 | 87,174 | 61,580 | 5368,209 | 5393,561 | 0,0765 | 63,169 | 74,850 | 4728,154 | 4778,014 |
| 0,0270 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,558 | 0,0770 | 63,179 | 74,844 | 4728,566 | 4777,581 |
| 0,0275 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,554 | 0,0775 | 63,187 | 74,840 | 4728,896 | 4777,291 |
| 0,0280 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,550 | 0,0780 | 63,193 | 74,836 | 4729,147 | 4777,107 |
| 0,0285 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,547 | 0,0785 | 63,198 | 74,834 | 4729,330 | 4777,002 |
| 0,0290 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,544 | 0,0790 | 63,201 | 74,832 | 4729,457 | 4776,949 |
| 0,0295 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,542 | 0,0795 | 63,203 | 74,831 | 4729,542 | 4776,931 |
| 0,0300 | 87,174 | 61,580 | 5368,207 | 5393,541 | 0,0800 | 63,204 | 74,830 | 4729,594 | 4776,934 |
| 0,0305 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,540 | 0,0805 | 63,205 | 74,830 | 4729,623 | 4776,949 |
| 0,0310 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0810 | 63,205 | 74,830 | 4729,636 | 4776,968 |
| 0,0315 | 87,174 | 61,580 | 5368,208 | 5393,539 | 0,0815 | 63,206 | 74,830 | 4729,640 | 4776,988 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0320 | 87,035 | 61,658 | 5366,405 | 5396,438 |
| 0,0325 | 86,972 | 61,693 | 5365,578 | 5395,987 |
| 0,0330 | 87,051 | 61,649 | 5366,604 | 5393,169 |
| 0,0335 | 86,789 | 61,796 | 5363,147 | 4156,404 |
| 0,0340 | 85,437 | 62,550 | 5344,039 | 4408,584 |
| 0,0345 | 83,552 | 63,600 | 5313,890 | 4617,772 |
| 0,0350 | 81,469 | 64,758 | 5275,834 | 4784,168 |
| 0,0355 | 79,360 | 65,930 | 5232,213 | 4911,357 |
| 0,0360 | 77,705 | 66,848 | 5194,426 | 4999,706 |
| 0,0365 | 76,356 | 67,596 | 5161,305 | 5059,911 |
| 0,0370 | 75,312 | 68,173 | 5134,261 | 5098,469 |
| 0,0375 | 74,543 | 68,599 | 5113,516 | 5121,220 |
| 0,0380 | 74,001 | 68,898 | 5098,515 | 5133,017 |
| 0,0385 | 73,640 | 69,097 | 5088,308 | 5137,649 |
| 0,0390 | 73,413 | 69,223 | 5081,831 | 5137,922 |
| 0,0395 | 73,282 | 69,295 | 5078,084 | 5135,813 |
| 0,0400 | 73,218 | 69,330 | 5076,222 | 5132,639 |
| 0,0405 | 73,196 | 69,343 | 5075,579 | 5129,223 |
| 0,0410 | 73,199 | 69,341 | 5075,664 | 5126,034 |
| 0,0415 | 73,215 | 69,332 | 5076,133 | 5123,302 |
| 0,0420 | 73,237 | 69,320 | 5076,760 | 5121,103 |
| 0,0425 | 73,259 | 69,308 | 5077,405 | 5119,422 |
| 0,0430 | 73,279 | 69,296 | 5077,994 | 5118,197 |
| 0,0435 | 73,297 | 69,287 | 5078,490 | 5117,346 |
| 0,0440 | 73,310 | 69,279 | 5078,883 | 5116,786 |
| 0,0445 | 73,321 | 69,274 | 5079,181 | 5116,442 |
| 0,0450 | 73,328 | 69,269 | 5079,395 | 5116,250 |
| 0,0455 | 73,333 | 69,267 | 5079,542 | 5116,161 |
| 0,0460 | 73,336 | 69,265 | 5079,638 | 5116,137 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0820 | 63,205 | 74,830 | 4729,638 | 4777,007 |
| 0,0825 | 63,205 | 74,830 | 4729,632 | 4777,023 |
| 0,0830 | 63,205 | 74,830 | 4729,626 | 4777,036 |
| 0,0835 | 63,205 | 74,830 | 4729,619 | 4777,046 |
| 0,0840 | 63,205 | 74,830 | 4729,613 | 4777,053 |
| 0,0845 | 63,205 | 74,830 | 4729,608 | 4777,058 |
| 0,0850 | 63,205 | 74,830 | 4729,604 | 4777,062 |
| 0,0855 | 63,205 | 74,830 | 4729,601 | 4777,064 |
| 0,0860 | 63,205 | 74,830 | 4729,599 | 4777,065 |
| 0,0865 | 63,204 | 74,830 | 4729,598 | 4777,066 |
| 0,0870 | 63,204 | 74,830 | 4729,597 | 4777,066 |
| 0,0875 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,066 |
| 0,0880 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,066 |
| 0,0885 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,065 |
| 0,0890 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,065 |
| 0,0895 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,065 |
| 0,0900 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,065 |
| 0,0905 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,065 |
| 0,0910 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0915 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0920 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0925 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0930 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0935 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0940 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0945 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0950 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0955 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0960 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0465 | 73,338 | 69,264 | 5079,695 | 5116,150 |
| 0,0470 | 73,340 | 69,263 | 5079,726 | 5116,182 |
| 0,0475 | 73,340 | 69,263 | 5079,740 | 5116,221 |
| 0,0480 | 73,340 | 69,263 | 5079,742 | 5116,259 |
| 0,0485 | 73,340 | 69,263 | 5079,739 | 5116,293 |
| 0,0490 | 73,340 | 69,263 | 5079,732 | 5116,322 |
| 0,0495 | 73,339 | 69,263 | 5079,725 | 5116,344 |
| 0,0500 | 73,339 | 69,263 | 5079,717 | 5116,361 |

| | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|
| 0,0965 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0970 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0975 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0980 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0985 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0990 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,0995 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |
| 0,1 | 63,204 | 74,830 | 4729,596 | 4777,064 |

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 10 September 2000, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Sepuluh Nopember pada tahun 2004 hingga 2006, SD Muhammadiyah 4 Pucang Surabaya pada tahun 2006-2012, SMPN 19 Surabaya 2012-2015 dan SMAN 16 Surabaya tahun 2015-. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Elektro FTEIC - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 07111840000089.

Di Departemen Teknik Elektro Penulis memutuskan untuk mengambil peminatan Teknik Sistem Tenaga dan mengabdikan diri di Laboratorium Konversi Energi sebagai Asisten Laboratorium, and juga aktif di bidang non akademik seperti menjadi Steering Committee kaderisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro.