TUGAS AKHIR – EE 184801

PENGATURAN TRACKING POSISI PANEL PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC TIPE 2

Januario Julio Cesar Sequeira Saldanha
NRP 07111340000133

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – EE 184801

PENGATURAN TRACKING POSISI PANEL PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC TIPE 2

Januario Julio Cesar Sequeira Saldanha
NRP 07111340000133

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

FINAL PROJECT – EE 184801

PHOTOVOLTAIC PANEL TRACKING SYSTEM USING TYPE-2 FUZZY LOGIC CONTROLLER

Januario Julio Cesar Sequeira Saldanha
NRP 07111340000133

Supervisor(s)
Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Pengaturan *Tracking* Posisi Panel *Photovoltaic* menggunakan *Fuzzy Logic* Tipe 2**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2020
Januario Julio Cesar Sequeira Saldanha

NRP. 0711 13 4000 0133

Pengaturan Tracking Poisisi Panel Photovoltaic Menggunakan Fuzzy Logic Tipe 2

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	Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT	Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 196308171990031001	NIP. 197311192000031001

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO DAN INFORMATIKA CERDAS
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

SURABAYA
Desember, 2020

Pengaturan Tracking Poisisi Panel Photovoltaic menggunakan Fuzzy Logic Tipe 2

Nama : Januario Julio Cesar Sequeira Saldanha
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.
Pembimbing II : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Adanya kelangkaan energi dan pengurangan sumber energi konvensional serta kenaikan pemakaian energi di dunia membuat manusia mulai menggunakan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Salah satu sumber energi yang paling sederhana dalam penggunaannya adalah energi matahari, menggunakan Panel Photovoltaic. Panel Photovoltaic sering dipasang secara statis yang menyebabkan panel hanya dapat menghasilkan energi yang maksimal pada waktu tertentu saja yaitu saat panel tegak lurus terhadap matahari. Sistem tracking posisi single-axis yang diajukan pada tugas akhir ini memberikan solusi untuk mengoptimalkan energi keluaran dengan menggerakan panel mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat sehingga panel selalu tegak terhadap matahari. Metode Fuzzy tipe 2 yang digunakan pada tugas akhir ini adalah Mamdani Inference. Mekanisme dari sistem tracking ini berdasarkan atas prinsip keseimbangan dengan membandingkan tegangan dari kedua sensor cahaya (LDR). Tegangan dari LDR diproses oleh Mamdani Fuzzy tipe 2, keluarannya menjadi sinyal motor DC untuk menggerakan panel PV. Hasil energi dari panel PV yang didapatkan menggunakan sistem tracking adalah sebesar 1092Wh sedangkan panel statis menghasilkan 821.6Wh. Sehingga dapat di simpulkan panel menggalami kenaikan sebesar 32.9% dibandingkan dengan panel PV yang dipasang secara statis.

Kata kunci : Light Dependent Resistor, Fuzzy Logic Control Tipe 2, DC Motor, Sudut Matahari, Sudut PV, Tracking Posisi.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

Photovoltaic Panel Tracking System using Type-2 Fuzzy Logic Control

Name	: Januario Julio Cesar Sequeira Saldanha
Lecturer Advisor I	: Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.
Lecturer Advisor II	: Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Due to energy scarcity, the decreasing of energy resources and the increasing of energy demands in the world makes people start using alternative or renewable energy to fulfill their energy needs. One of the simplest renewable energy is solar energy, which can be obtained by using photovoltaic panel. Photovoltaic panel always installed in fixed state, which makes the panel only produce maximum power at certain time when the panel is perpendicular to then sun. The proposed single-axis position tracking offers maximum power produced by moving the panel in accordance to the sun position in a single direction, which is from east to west. The fuzzy method use in this paper is Mamdani type 2 inference. The mechanism of the system is based on balancing principle by comparing the light intensity in two different light detectors. The voltage from LDR processed by the type 2 fuzzy logic controllers. The output from Fuzzy is a signal to control the DC motor to adjust the PV angle. The result from the PV panel that uses solar tracker has 1092Wh and the static PV panel has an output of 821.6Wh. The panel has gained 32.9% more power than the fixed state photovoltaic panels.

Keywords : Light Dependent Resistor, Type 2 Fuzzy Logic Controller, DC motor, Sun angle, Panel angle, Position tracking.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

KATA PENGANTAR

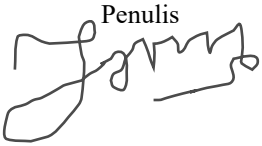
Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir. Tugas akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang harus ditempuh dalam persyaratan akademik program studi S1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Buku penelitian ini dapat terselesaikan atas bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, Bapak dan Ibu tercinta yang senantiasa memberikan semangat , dukungan moril dan materil serta doa yang sangat berarti.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT. dan Bapak Dedet Candra Riawan, S.T. M.Eng. Ph.D. yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan banyak saran serta masukan yang sangat penting bagi penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Kedua kakak saya. Veronica dan Luzelia yang telah memberi dukungan kepada saya agar saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Elektro yang telah memberikan pengetahuan-pengetahuan sebagai ilmu pendukung untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh teman-teman teknik elektro ITS yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas segala bantuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Pada kesempatan ini penulis mengharapkan kritik dan saran, demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Desember 2020

Penulis



Januario Julio Cesar S Saldanha

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR i
HALAMAN PENGESAHAN iii
ABSTRAK v
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Batas Masalah 2
1.5 Metodologi 3
1.6 Sistematika Penulisan 4
1.7. Relevansi 4
BAB II DASAR TEORI 5
2.1 Posisi Matahari 5
2.2 Panel Photovoltaic 6
2.3 Solar Tracker 7
2.4 Fuzzy Logic Controller 8
2.4.1 Fuzzy Logic Tipe 2 10
2.4.2 Membership Function 10
2.5 Sistem Pengerak Panel Photovoltaic Single Axis 10
2.6 Motor DC 11
2.7 Light Dependent Resistor 12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN DAN PEMODELAN ... 15
3.1 Metodologi 15
3.2 Diagram Alur 15
3.3 Mendesain Sistem Tracking Panel Photovoltaic 20
3.3.1 Pemodelan Sudut Matahari 20
3.3.2 Pemodelan Irradiance Efektif 21
3.3.3 Pemodelan LDR timur dan barat 21
3.3.4 Pemodelan Motor DC 22
3.3.5 Pemodelan Panel Photovoltaic 24
3.3.6 Pemodelan Fuzzy Logic Control Tipe 2 28

3.3.7 Pemodelan Tracking Posisi Panel
Photovoltaic tipe 2 32
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS 35
4.1 Uji Sudut Matahari 35
4.2 Uji Irradiance Efektif 36
4.3 Uji LDR Timur dan Barat 37
4.4 Perbandingan Tegangan LDR Statis dan Mobile 38
4.5 Uji Motor DC 39
4.6 Uji Panel Photovoltaic 40
4.7 Uji Fuzzy Logic Control Tipe 2 42
4.8 Uji Daya Photovoltaic Panel Statis 43
4.9 Uji Daya Panel Photovoltaic Mobile 44
4.10 Perbandingan Daya PV statis dengan PV .....
yang posisi nya dikontrol 46
4.11 Perbandingan daya total PV statis dan mobile 47

BAB V KESIMPULAN 49
5.1 Kesimpulan 49
5.2 Saran 49

DAFTAR PUSTAKA 51
LAMPIRAN 53
BIOGRAFI PENULIS 65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Posisi matahari saat jam 6:30 5
Gambar 2.2 Posisi matahari saat jam 11:30 6
Gambar 2.3 *Horizontal* dan *Vertical Rotating Axis* 7
Gambar 2.4 Skema Fuzzy Logic Control 9
Gambar 2.5 Rangkaian Motor DC 11
Gambar 2.6 Sensor LDR 13
Gambar 2.7 Konfigurasi Sensor LDR 14
Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Tugas Akhir 16
Gambar 3.2 Diagram Block Tracking Posisi PV 17
Gambar 3.3 Ilustrasi Sistem Tracking yang dibuat 18
Gambar 3.4 Ilustrasi PV panel yang tegak lurus terhadap matahari 18
Gambar 3.5 Pemodelan Sudut Matahari 20
Gambar 3.6 Pemodelan Irradiance Efektif 21
Gambar 3.7 Pemodelan LDR Timur dan Barat 22
Gambar 3.8 Pemodelan Motor DC 24
Gambar 3.9 Rangkaian Ekivalen Panel PV 25
Gambar 3.10 Pemodelan Panel Photovoltaic 27
Gambar 3.11 MF dengan 0.2 FOU dari LDR Barat 28
Gambar 3.12 MF dengan 0.2 FOU dari LDR Timur 28
Gambar 3.13 MF dengan 0.5 FOU dari LDR Barat 29
Gambar 3.14 MF dengan 0.5 FOU dari LDR Timur 29
Gambar 3.15 Rules dari Fuzzy IF X And Y Then Z 29
Gambar 3.16 Output *Fuzzy* dengan 0.2 FOU 30
Gambar 3.17 Output *Fuzzy* dengan 0.5 FOU 30
Gambar 3.18 Tracking Posisi Panel PV dengan Fuzzy tipe 2 33
Gambar 4.1 Hasil Uji Sudut Matahari 35
Gambar 4.2 Hasil Uji Irradiance Matahari 36
Gambar 4.3 Hasil Uji Irradiance Efektif 36
Gambar 4.4 Hasil Uji Tegangan LDR Timur 37
Gambar 4.5 Hasil Uji Tegangan LDR Barat 37
Gambar 4.6 Perbandingan tegangan LDR saat PV statis 38
Gambar 4.7 Perbandingan tegangan LDR saat PV mobile 38
Gambar 4.8 Hasil Uji Sudut yang dihasilkan Motor 39
Gambar 4.9 Hasil Uji Arus terhadap Tegangan PV 40
Gambar 4.10 Hasil Uji Daya terhadap Tegangan PV 41
Gambar 4.11 Hasil Uji Fuzzy Logic Control Tipe 2 42

Gambar 4.12 Hasil Uji Daya PV statis 43
Gambar 4.13 Hasil Uji Daya Total PV statis 44
Gambar 4.14 Hasil Uji Daya PV mobile 45
Gambar 4.15 Hasl Uji Daya Total PV mobile 45
Gambar 4.16 Perbandingan Daya PV statis dan mobile..... 46
Gambar 4.17 Perbandingan Daya total PV statis dan mobile..... 47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter-Parameter Motor DC 22
Tabel 3.2 Parameter-Parameter Panel Photovoltaic 24
Tabel 3.2 Parameter Output dari Fuzzy 29
Tabel 3.2 Rules dan output dari *Fuzzy control* 29

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan peningkatan populasi manusia, energi listrik yang adalah kebutuhan energi utama yang harus dipenuhi dalam kehidupan masyarakat masa kini pun bertambah. Pertumbuhan beban yang terjadi menjadi permasalahan utama sehingga efisiensi dari setiap sumber listrik yang dihasilkan harus diperbaiki agar tidak ada energi yang terbuang sia-sia.

Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi masa depan sesuai dengan yang diprediksikan oleh *The International Energy Agency* (IEA) pada laporan mengenai energi terbarukan tahun 2019 bahwa pertumbuhan energi terbarukan akan bertambah sekitar 50 persen dari 2019 sampai 2024. Perkembangan energi terbarukan yang paling cepat adalah energi solar (matahari), angin dan mikro hidro. Sumber listrik dari energi terbarukan menghidupkan 26 persen dari pemakaian listrik di dunia.

Sumber energi listrik terbarukan paling cepat perkembangannya adalah energi solar karena dapat dimanfaatkan oleh siapa saja yang tempatnya ada sinar matahari. Energi solar dapat dimanfaatkan menggunakan panel *photovoltaic.* Setelah dilakukan instalasi PV yang terkena sinar matahari dapat langsung menghasilkan listrik untuk dipakai dan kelebihan energi listriknya dapat digunakan untuk mengisi baterai yang dapat dimanfaatkan pada malam hari, listrik akan mengalir dari baterai yang telah diisi saat siang hari.

Daya yang dihasilkan oleh panel *photovoltaic* selalu tidak konstan karena pemasangan PV yang pada umumnya diletakan dengan posisi tertentu (statis) tanpa adanya perubahan yang menyesuaikan dengan arah matahari. *photovoltaic* akan menghasilkan daya yang maksimum jika permukaan panel *Photovoltaic* tegak lurus terhadap matahari. Panel *Photovoltaic* hanya akan tegak lurus terhadap matahari pada waktu tertentu saja sesuai dengan sudut kemiringan panel misalnya tegak lurus saat jam 12 pagi. Maka sebelum atau sesudah jam 12 panel *photovoltaic* menghasil daya yang tidak maksimum. Oleh karena itu harus adanya pengaturan sudut panel agar selalu tegak lurus terhadap matahari.

Dengan demikian perlu dibuat sistem kontrol yang dapat mengatur arah atau sudut kemiringan panel *Photovoltaic*.

Pada penelitian sebelumnya [1], dijelaskan bagaimana pengontrolan pada *solar tracking system* masih menggunakan simulasi Matlab dengan metode kontrol *Fuzzy* yang dibandingkan dengan kontrol PI. Hasil dari penelitian ini adalah *Fuzzy logic controller (FLC)* mempunyai hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol PI. Keduanya mendapatkan nilai *settling time* yang hampir sama, tetapi FLC menunjukkan nilai *overshot* yang lebih kecil

Oleh karena itu harus ada *tracking* posisi dari panel *Photovoltaic* agar panel PV selalu tegak lurus terhadap matahari sehingga energi yang dihasilkan selalu konstan maksimum [2].

1.2 Permasalahan

1. Bagaimana daya maksimum dapat dihasilkan oleh panel photovoltaic menggunakan *Fuzzy logic* tipe 2.
2. Bagaimana perbedaan daya yang dihasilkan dengan dan tanpa adanya pengaturanmenggunakan *Fuzzy logic* tipe 2.
3. Bagaimana perbedaan daya yang dihasilkan dari *Fuzzy* dengan FOU sebesar 0.5 dan 0.2.

1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel *Photovoltaic* menggunakan *Fuzzy logic tipe 2*
2. Mengetahui perbedaan daya yang dapat dihasilkan dengan dan tanpa adanya pengaturan menggunakan *Fuzzy logic tipe 2.*
3. Mengetahui perbedaan daya yang dihasilkan dari *Fuzzy* dengan FOU sebesar 0.5 dan 0.2.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Simulasi pada Simulink dan Matlab
2. Daya keluaran dari panel *Photovoltaic*
3. *Tracking* posisi PV

4. *Fuzzy Logic Control* tipe 2.

1.5 Metodologi

Dalam penyusunan dan pengerjaan tugas akhir ini, metodologi yang digunakan adalah sebagi berikut:

1. Studi Literatur

   Studi literatur yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini berdasarkan pada *paper*, jurnal ilmiah atau buku yang berfokus pada sistem tracking panel *Photovoltaic* dan *Fuzzy Logic* tipe 2.

2. Penentuan Konstanta Alat dan Pengambilan data Irradiance

   Menentukan konstanta yang akan digunakan pada Motor DC dan panel Photovoltaic dan mengambil data irradiance dari laboratorium Konversi Energi departemen Teknik Elektro, ITS Surabaya pada 10 juni 2020.

3. Permodelan Sistem dan Simulasi

   Pemodelan Sistem tracking posisi panel Photovoltaic dan menjalankan sistem tracking pada simulink untuk dibandingkan hasil keluaran daya panel *photovoltaic* statis dan panel yang menggunakan sistem tracking posisi dengan *Fuzzy logic control* tipe 2. Melakukan simulasi panel *photovoltaic* menggunakan simulink dan Matlab untuk mendapatkan daya maksimum dari suatu panel *photovoltaic.*

4. Analisa daya keluaran PV dan kesimpulan

   Melakukan analisis dan membandingan daya keluaran panel Photovoltaic dengan dan tanpa adanya pengaturan menggunakan *Fuzzy logic* tipe 2 dari hasil simulasi.

5. Penulisan buku

   Buku tugas akhir ini ditulis sebagai laporan hasil dari penelitian tugas akhir. Penulisan laporan tugas akhir dilakukan untuk menunjukkan hasil dan kesimpulan dari tugas akhir. Kesimpulan yang ditunjukkan merupakan analisis dan solusi dari permasalahan yang di ajukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab, dengan uraian sebagia berikut :

1. BAB 1 PENDAHULUAN

   Bab 1 merupakan pendahuluan tugas akhir yang berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, serta relevansi dari laporan tugas akhir.

2. BAB 2 DASAR TEORI

   Bab 2 merupakan teori penunjang yang menjadi acuan tugas akhir meliputi teori panel *Photovoltaic* secara umum, sistem tracking posisi panel dan pengaturan menggunakan *Fuzzy logic* tipe 2.

3. BAB 3 METODE PENELITIAN

   Bab 3 menjelaskan tentang tahapan perancangan tugas akhir yang akan dilakukan, yaitu mengenai data yang digunakan, permodelan simulasi, serta perancangan program simulasi yang akan dijalankan untuk menganalisis permasalahan dalam tugas akhir.

4. BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

   Bab 4 menjelaskan tentang analisis daya listrik yang dihasilkan oleh panel Photovoltaic setelah dilakukan pengaturan *Fuzzy logic tipe 2*, simulasi motor DC, LDR dan Irradiance Efektif.

5. BAB 5 KESIMPULAN

   Bab 5 menjelaskan tentang kesimpulan yang diambil dari hasil simulasi program dan analisis yang telah dilakukan. Juga terdapat saran perbaikan agar hasil dari tugas akhir ini dapat dikembangkan dan disempurnakan pada tugas akhir selanjutnya.

1.7 Relevansi

Hasil yang didapatkan dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terharap pengaturan panel *photovoltaic* menggunakan *Fuzzy logic controller* tipe 2. Hasil tugas akhir ini juga dapat digunakan sebagai dasar teori bagi penelitian di masa depan serta menjadi referensi bagi mahasiswa Teknologi Elektro ITS yang ingin meneliti masalah serupa sebagai Tugas Akhir.

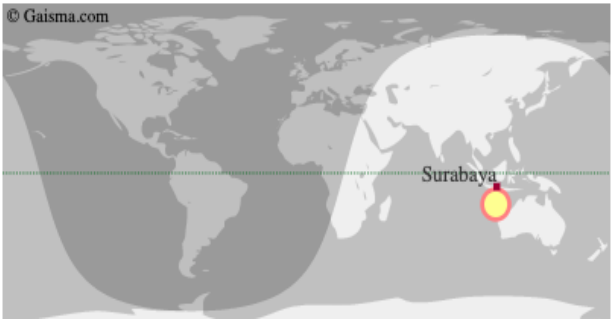
BAB II
DASAR TEORI

2.1 Posisi Matahari

Posisi matahari harian dapat ditentukan menggunakan koordinat bumi. Koordinat bumi yang menjadi penentu posisi matahari yaitu sudut *azimuth*, sudut *altitude/elevasi*, dan sudut *zenith*. Ketiga sudut tersebut dipengaruhi oleh perhitungan yang berdasarkan sudut deklinasi, *hour angle*, dan posisi lintang di bumi. Pada dasarnya, sudut deklinasi (δ) merupakan sudut yang berada diantara garis yang menghubungakan titik pusat matahari dengan bumi dan proyeksi di bidang *equator*, dengan nilai sudut berada pada jangkauan -23.45^{O} sampai 23.45^{O}. Sudut ini bernilai positif ketika berkas sinar matahari melewati bagian utara bumi. Sudut jam (*hour angle) (ω)* merupakan sudut antara meridian lokal serta posisi matahari dalam satu jam yaitu bumi berotasi 360° setiap 24 jam, sehingga dapat dihitung secara matematis bahwa nilai *hour angle* adalah 15° setiap satu jam[3].

Gambar 2.1 Posisi matahari saat jam 6:30 [12]

Pergerakan matahari jika dilihat dari giasma, lurus dari timur ke barat dan posisi nya matahari berada sedikit dibawah gari ekuator. Pada bulan november tanggal 11.



Gambar 2.2 Posisi matahari saat jam 11:30 [12]

2.2 Panel *Photovoltaic*

Panel *Photovoltaic* adalah ada alat yang terdiri dari sel surya yang secara seri dan paralel untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Panel disebut surya atas matahari atau "solar" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut panel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai cahaya listrik. Namun, perbedaannya terletak pada sumber cahaya yang digunakan. Pada sel PV sumber cahaya lebih umum dan tidak disebutkan secara jelas. Sedangkan pada sel surya energi cahaya berasal dari radiasi sinar matahari. Sel surya atau sel PV bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

Efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi foton matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Proses perubahan energi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik terjadi akibat bahan material penyusun sel surya berupa semikonduktor, yakni jenis semikonduktor tipe p dan semikonduktor tipe n. Semikonduktor tipe n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sedangkan pada semikonduktor tipe p memiliki kelebihan *lubang*. Pada saat kedua jenis semikonduktor tipe p dan tipe n digabungkan maka akan terjadi perpindahan elektron elektron dari semikonduktor tipe n ke semikonduktor tipe p dan mengakibatkan adanya perbedaan muatan positif dan negatif. Perbedaan muatan positif dan negatif pada sambungan p-n dapat menimbulkan medan magnet sehingga menghasilkan arus listrik.

2.3 *Solar Tracker*

Solar tracker merupakan suatu sistem mekanis yang diterapkan pada panel *photovoltaic*. Tujuan diberikannya *tracking* pada *photovoltaic* adalah agar dapat mengoptimalkan daya keluaran dari PV. Semakin tegak lurus PV dengan matahari, maka semakin besar pula daya output yang dihasilkan. Hal ini tentunya sangat berpengaruh pada jumlah energi listrik yang dihasilkan dalam setiap hari. Energi listrik yang dihasilkan akan meningkat jika dibandingkan dengan solar panel yang bersifat statis. Solar tracker terdiri dari beberapa komponen penting seperti sensor, *controller*, motor sebagai pengerak panel, panel *photovoltaic* dan *motor driver*.

Solar tracking system secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *single* dan *dual axis*. Untuk *single axis* dibagi menjadi dua yaitu *vertical rotating axis* dan *horizontal rotating axis. Horizontal rotating axis* merupakan sistem penjejak yang digunakan untuk mengendalikan sudut *azimuth* dari timur ke barat. Sedangkan *vertical rotating axis* merupakan sistem penjejak yang digunakan mengendalikan sudut *tilt* matahari. Untuk sistem penjejak *dual axis* menggabungkan antara *vertical rotating axis* dan *horizontal rotating axis* [3].

Gambar 2.3 *Horizontal* dan *Vertical Rotating Axis* [3]

Solar tracker dirancang dengan menggunakan sudut *azimuth* matahari. Motor *yaw* berfungsi untuk melakukan rotasi dari utara ke selatan. Motor *pitch* bergerak berdasarkan arah timur ke barat kedua motor tersebut dirancang agar *photovoltaic* bergerak mengikuti sudut *azimuth* dan sudut *elevasi* dari matahari [8].

Sistem pengontrol *Solar Tracker* yang sering digunakan adalah metode Kontrol *Propotional Integral* (PI) dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Pada penelitian sebelumnya[1], dijelaskan bagaimana pengontrolan pada *solar tracking system* masih menggunakan simulasi Matlab dengan metode kontrol Fuzzy yang dibandingkan dengan kontrol PI. Hasil dari penelitian ini adalah *Fuzzy Logic Controller (FLC)* mempunyai hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol PI. Keduanya mendapatkan nilai *settling time* yang hampir sama, tetapi FLC menunjukkan nilai *overshot* yang lebih kecil.

2.4 *Fuzzy* Logic Controller (FLC)

Pengendali *Fuzzy* merupakan suatu sistem kendali yang berdasar pada basis pengetahuan manusia, dimana masukan, keluaran, serta tanggapan sistem diperoleh berdasarkan sistem pakar yang berbasis pengetahuan manusia[7]. Logika *Fuzzy* menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. Pada dasarnya struktur logika *Fuzzy* dapat digambarkan seperti berikut

- ***Masukan***

Masukkan pada *Fuzzy* logic berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*.

- ***Fuzzifikasi***

Fuzzifikasi diperlukan untuk mengubah masukan tegas/nyata (*crisp masukan*) yang bersifat bukan *Fuzzy* ke dalam himpunan *Fuzzy*. Data yang berbentuk tegas/nyata (*crisp*), dipetakan menjadi nilai linguistik pada semesta pembicaraan tertentu yang selanjutnya dinamakan masukan *Fuzzy*.

- ***Rule base***

Rule base pada *Fuzzy* digunakan untuk menghubungkan variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran. Basis aturan *Fuzzy* merupakan kumpulan pernyataan aturan 'JIKA-MAKA' atau 'IF–THEN' yang didasarkan pada pengetahuan manusia untuk mengolah variabel masukan sehingga menghasilkan variabel keluaran dalam bentuk himpunan *Fuzzy*.

- ***Inference***

Inferensi adalah proses transformasi dari suatu masukan dalam domain *Fuzzy* ke suatu keluaran (sinyal kendali) dalam domain *Fuzzy*. Proses transformasi pada bagian inferensi membutuhkan aturan–aturan *Fuzzy* yang terdapat didalam *rule base*.

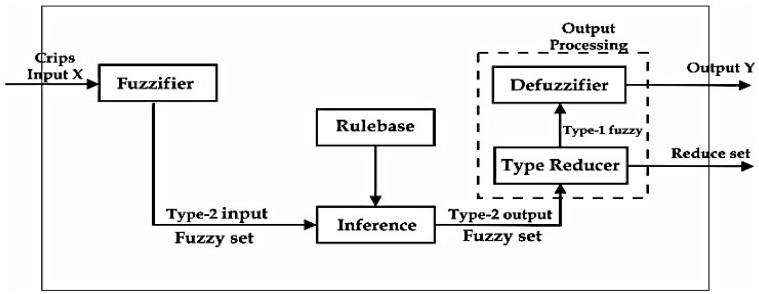
- ***Type Reducer***

Fungsi dari *type reducer* adalah mentranformasikan *Fuzzy logic* tipe 2 menjadi Fuzzy logic tipe 1 Fuzzy.

- ***Defuzzifikasi***

Defuzzifikasi ditujukan untuk menghasilkan suatu aksi kontrol *non Fuzzy* (*crisp keluaran*) dalam merepresentasikan kemungkinan distribusi aksi kontrol *fuzzy* yang telah dihasilkan. Metode defuzzifikasi yang sering digunakan adalah metode *Mean of Maximum* (MOM) dan metode rata-rata terbobot (*weighted average*) atau lebih dikenal sebagai *Center of Area* (COA). Metode MOM, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Keluaran pada proses defuzzifikasi merupakan hasil dari proses kendali *Fuzzy* secara keseluruhan. Keluaran ini berupa himpunan *crisp* yangakan mengendalikan sistem yang dikontrol[8].

Skema Fuzzy logic control Tipe 2 terlihat seperti gambar dibawah



Gambar 2.4 Skema Fuzzy Logic Control

2.4.1 Fuzzy Logic Control (FLC) tipe 2

Fuzzy logic tipe 2 merupakan penerapan teori himpunan fuzzy pada bidang pengendalian sistem. *Fuzzy* tipe 2 merupakan pengembangan dari fuzzy tipe 1. *Fuzzy logic* tipe 1 sering kali basis pengetahuan yang digunakan untuk membangun rules tidak menentu [7].

Sistem logika *fuzzy* tipe 1 yang memiliki fungsi keanggotaan yang tegas, tidak mampu untuk mengatasi ketidakpastian ini. Sedangkan sistem logika fuzzy bertipe 2 interval yang memiliki fungsi keanggotaan interval, memiliki kemampuan untuk mengatasi ketidakpastian ini. Pengertian dari interval type 2 fuzzy logic sistem dikenalkan oleh Zadeh pada tahun 1970an sebagai perluasan dari konsep himpunan fuzzy biasa atau dapat disebut himpunan *fuzzy* tipe 1. Konsep utama *Fuzzy* bertipe 2 adalah kata dapat diartikan berbeda oleh orang yang berbeda. *Fuzzy* logic tipe 2 meliputi membership function, rule base, *fuzzy inference system*, *type reducer* dan defuzzifikasi [4].

2.4.2 Membership Function

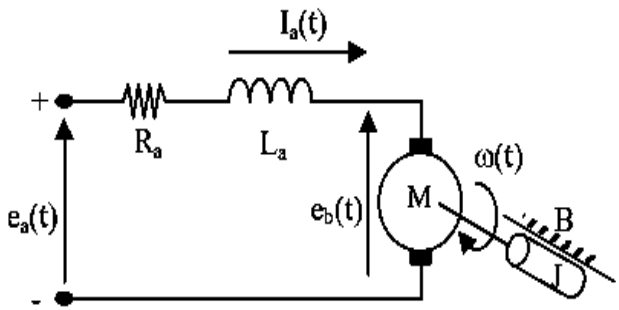
Fungsi keanggotaan tipe 2 *Fuzzy logic* meliputi *The footprint of uncertainty* FOU, *upper membership function* (UMF) dan *lower membership function* (LMF). *The footprint of uncertainty* (FOU) memberikan derajat kebebasan tambahan yang memungkinkan untuk secara langsung memodelkan dan menanggani ketidakpastian . *Fuzzy* tipe 2 dapat juga mengurangi jumlah rules *Fuzzy* jika dibandingkan dengan tipe 1 *Fxuzzy* [6]. *Footprint of uncertainty* (FOU) adalah daerah terbatas yang memuat derajat ketidakpastian keanggotaan utama atau yang disebut fungsi keanggotaan utama(*primary membership*), dimana FOU gabungan dari semua fungsi keanggotaan utama. FOU dibatasi oleh fungsi keanggotaan sekunder (*secondary membership*) yang terdiri dari *upper membership function* (UMF) dan *lower membership function* (LMF) yang merupakan fungsi keanggotaan dari *Fuzzy* tipe 1 [7].

2.5 Sistem pengerak Panel Photovoltaic Single Axis

Sistem penggerak panel *photovoltaic single-axis* hanya mempunyai satu derajat kebebasan atau *Degree of Freedom* (DOF) yang dapat bergerak pada sumbu horizontal atau vertikal saja. Untuk pemilihan sumbu gerak pada sistem ini disesuaikan dari letak pemasangan panel *photovoltaic*. Jika panel *photovoltaic* dipasang pada wilayah khatulistiwa dimana lintasan gerak matahari tepat melewati wilayah tersebut maka disarankan untuk memasang sistem penggerak panel *photovoltaic* dengan sumbu horizontal atau tracking menggikuti sudut azimuth matahari [8].

2.6 Motor DC

Motor DC adalah sebuah motor yang digerakkan energi listrik arus searah. Motor DC permanen magnet, merupakan salah satu jenis motor DC yang sering ditemui penggunaannya di industri maupun rumah tangga maupun penggunaan untuk sumber – sumber tenaga yang kecil seperti rumah tangga dan otomotif Motor DC terdiri dari 2 bagian penting yaitu kumparan medan (stator) dan kumparan jangkar (rotor). Kumparan medan (stator) adalah bagian dari motor DC yang tidak bergerak, dan kumparan jangkar (rotor) adalah bagian dari motor DC yang berputar. Motor DC dapat bergerak ketika arus listrik mengalir masuk pada kumparan medan (stator) yang kemudian menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar (rotor) dengan arah tertentu. Kumparan-kumparan pada motor DC dapat dimodelkan sebagai sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari sebuah resistor dan terhubung seri dengan induktor.



Gambar 2.5 Rangkaian Motor DC

Motor DC dapat dimodelkan sebagai sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari sebuah resistor dan terhubung seri dengan induktor. Menurut hukum Kirchoff dapat ditentukan persamaan tegangannya sebagai berikut :

$$V(t) = R_a . I_a + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} + E_b(t) \qquad (2.1)$$

Dimana V adalah tegangan pada motor DC, sehingga ketika motor bergerak dengan kecepatan tertentu maka akan muncul tegangan balik (e.m.f) yang besarnya berbanding lurus dengan kecepatanya dan

dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$e_{b(t)} = K_b \cdot \omega(t) \quad (2.2)$$

Sedangkan torsi yang dihasilkan oleh motor dapat diperoleh berdasarkan Hukum Newton Kedua tentang gerak rotasi yaitu :

$$T_{m(t)} = J_m \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + B\,\omega(t) \quad (2.3)$$

$$T_{m(t)} = K_t . i_{a(t)} \quad (2.4)$$

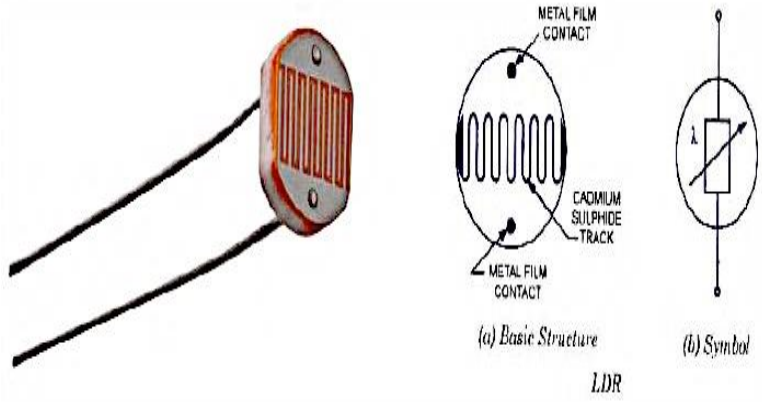
Dengan:

V(t)	:	Besarnya tegangan yang diberikan pada motor (volt)
$e_b(t)$	:	Emf balik (volt)
$i_a(t)$	:	Arus jangkar (Ampere)
Ra(t)	:	Tahanan kumparan jangkar (Ohm)
La(t)	:	Induktansi kumparan jangkar (Henry)
Kb	:	Konstanta emf balik (V.s/rad)
Kt	:	Konstanta Torsi (N.m/A)
Jm	:	Momen Inersia rotor (Kg.m^2)
Bm	:	Koefisien gesekan viskos (N.m.s/rad)
$T_m(t)$	:	Torsi motor (N-m)
ω(t)	:	Kecepatan sudut motor (rad/sec)

2.7 *Light Dependent Resistor* (LDR)

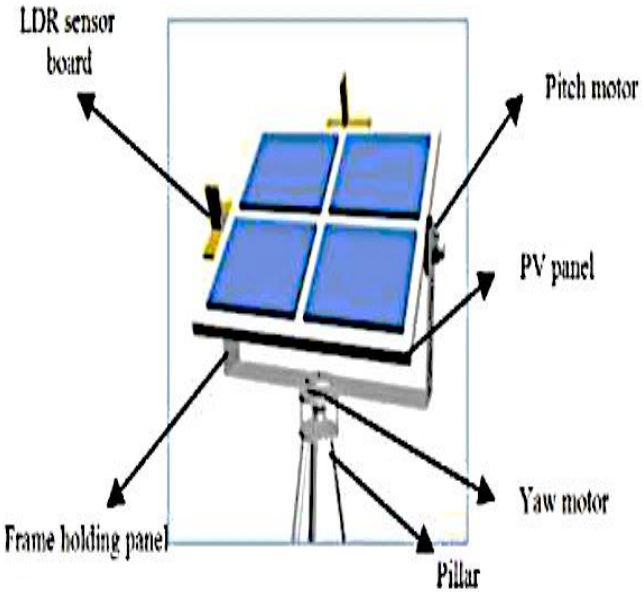
Light dependent resistor (LDR) merupakan salah satu jenis sensor cahaya. LDR dibuat dari lapisan tipis semikonduktor seperti *silicon, selenium,* atau *cadmium sulfide* (*Cds*) atau elemen-elemen sejenisnya. Sensor LDR mempunyai tahanan yang bervariari sesuai dengan cahaya yang diterimanya. LDR ini berfungsi untuk megetahui besarnya kuat pencahayaan cahaya dari matahari dengan cara mengirimkan *signal* pada *controller* yang akan mengatur putaran motor DC. Putaran motor DC akan mengubah orientasi panel surya mendekati tegak lurus terhadap arah datangnya cahaya matahari sehingga energi cahaya yang diserap panel surya menjadi maksimum. Sesuai dengan namanya *Light dependent resistor (LDR),* sensor ini menghasilkan hambatan sebagai keluaran dari besarnya kuat pencahayaan cahaya yang telah dibaca.

Prinsip kerja LDR adalah ketika cahaya matahari menggenai permukaan LDR, maka hambatan dari LDR akan semakin menurun sehingga arus akan meningkat dan tegangan LDR yang didapatkan dari pembagian tegangan akan meningkan dan pada keadaan gelap LDR akan menghasilkan hambatan yang sangat besar sehingga arus dan tegangan akan menurun.. Prinsip inilah yang dimanfaatkan sebagai sensor cahaya[9]



Gambar 2.6 Sensor LDR [10]

Pada sistem penjejak matahari dua derajat kebebasan, LDR diaplikasikan pada posisi timur, barat, selatan dan utara. Dengan ketentuan, antara LDR barat dan timur serta utara dan selatan diberikan *balancer*. *Balancer* ini berfungsi sebagai pemberi efek bayangan pada salah satu sisi LDR. Sehingga apabila cahaya matahari jatuh tegak lurus pada sensor LDR, maka bayangan dari *balancer* akan menutupi sensor LDR yg lain. Hal ini mengakibatkan LDR yang tertutupi bayangan *balancer* akan memiliki tegangan keluaran yang lebih kecil daripada LDR di sisi lainnya yang tidak tertutupi bayangan. Kemudian tegangan antara dua LDR tersebut dijadikan sebagai masukan menuju kontroler (Fuzzy logic control tipe 2) untuk diproses [10].



Gambar 2.7 Konfigurasi sensor LDR [10]

Gambar konfigurasi untuk sensor LDR untuk untuk Dual axis tracking system. Sistem tracking yang dikerjakan di Tugas akhir ini adalah *single-axis* sehingga hanya mengikuti sudut azimuth matahari dengan menggunakan motor yaw.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN DAN PEMODELAN

3.1 Metodologi

Metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan untuk membantu pemahaman terhadap pengerjaan penelitian tugas akhir. Studi literatur dilakukan berdasarkan pada Paper, jurnal, dan buku yang berfokus pada pengaturan tracking posisi panel *photovoltaic, Fuzzy logic control* tipe 2, dan panel *photovoltaic.*

2. Menentukan konstanta Alat dan Pengambilan data Irradiance

Konstanta yang digunakan adalah konstanta dari DC motor, dan panel *photovoltaic* sedangkan data irradiance diambil dari laboratorium Konversi Energi departemen Teknik Elektro, ITS Surabaya pada 10 juni 2020.

3. Perancangan Sistem Tracking dan Simulasi

Merancang sistem pengaturan tracking posisi panel photovoltaic menggunakan *fuzzy logic control* tipe 2 pada simulink dan matlab. Yang Dirancang adalah sudut matahari, irradiance matahari, irradiance efektif, LDR timur dan barat, panel PV, FLC tipe 2 dan Motor DC.

4. Analisis dan Penarikan Kesimpulan

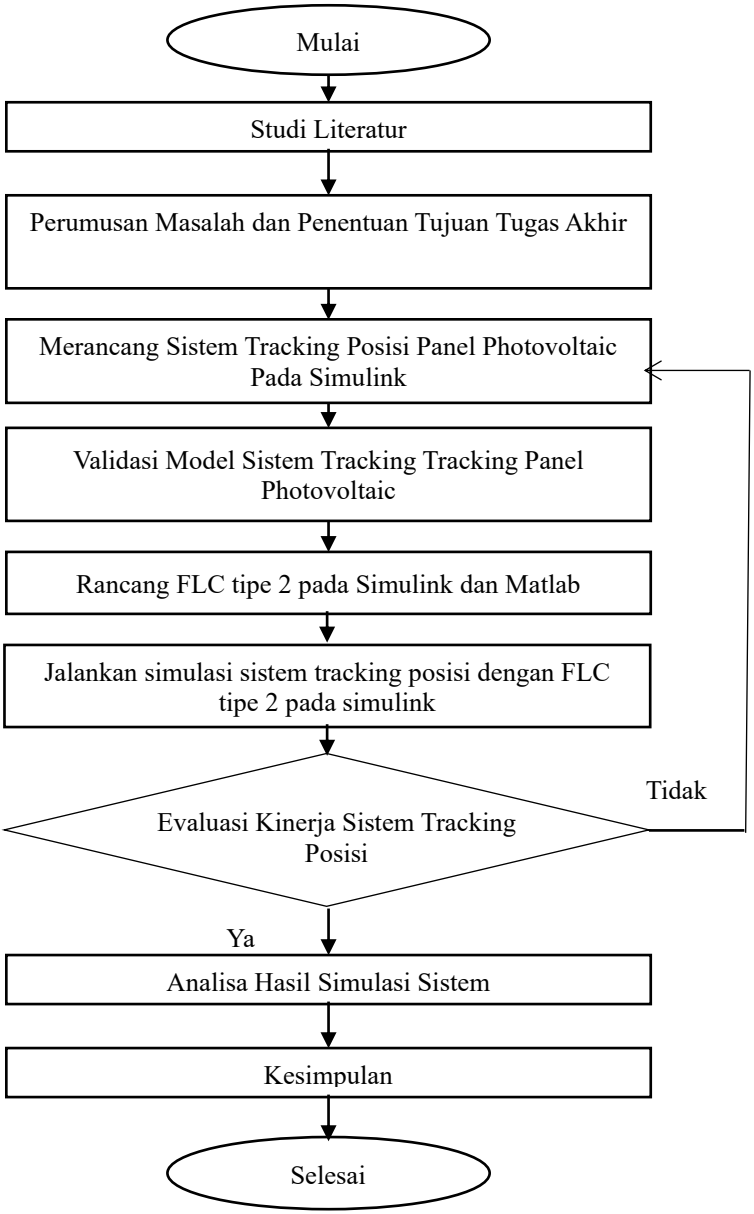
Akan dilakukan analisis dari hasil yang diperoleh dari simulai dan penarikan kesimpulan

5. Pembuatan Laporan

Penulisan laporan tugas akhir dilakukan untuk menunjukkan hasil dan kesimpulan dari tugas akhir. Kesimpulan yang ditunjukkan merupakan analisis dan solusi dari permasalahan yang diajukan.

3.2 Diagram Alur

Metode penelitan yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini ditunjukan pada Gambar 3,1. Tahapan-tahapan dari penelitan ini secara rinci dapat diuraikan sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir

Berikut merupakan penjelasan rinci dari flowchart gambar 3.1 mengenai metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir.

Langkah-1 : Metodologi dimulai dari Studi Literatur berupa mencari dan membaca referensi dari jurnal yang ada mengenai *Fuzzy logic control* dan pengaturan posisi panel *photovoltaic*.

Langkah-2: Melakukan perumusan masalah, penentuan tujuan yang dilakukan untuk membantu pemahaman terhadap pengerjaan penelitian tugas akhir.

Langkah-3 : Menentukan konstanta yang digunakan dalam memodelkan sistem tracking posisi panel PV. Konstanta yang ditentukan terdari dari konstanta motor DC dan panel PV. Pengambilan data irradiance dari laboratorium Konversi Energi.

Langkah-4 : Merancang sistem tracking posisi panel photovoltaic dengan *software Matlab* dan *simulink*

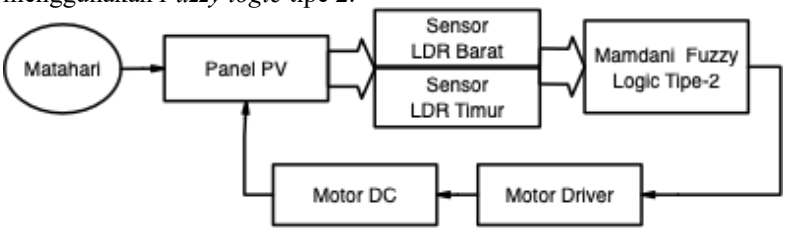
Langkah-5 : Validasi sistem tracking posisi panel photovoltaic dengan mencoba kerja motor, LDR, Irradiance efektif, dan daya panel photovoltaic dengan irradiance konstan.

Langkah-6: Melakukan simulasi sistem pengaturan fuzzy logic control tipe 2 panel *Photovoltaic* pada simulink.

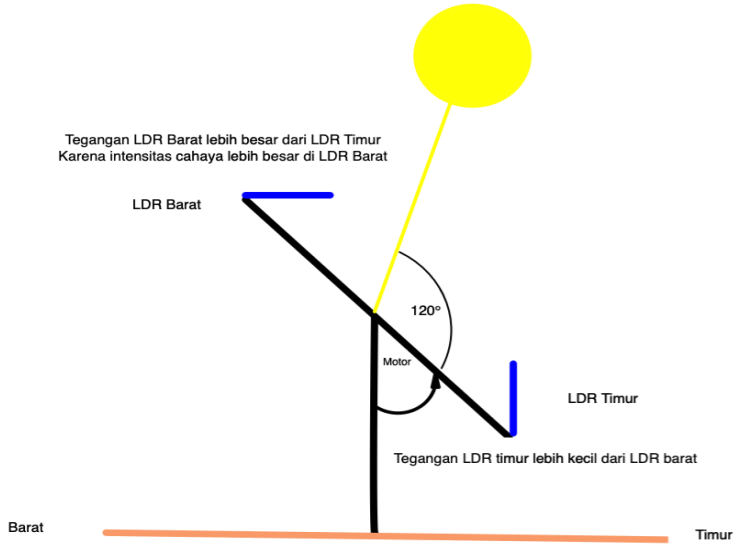
Langkah-7 : Analisa hasil keluaran daya dari panel *photovoltaic* menggunakan pengaturan *FLC* tipe 2. Melakukan evaluasi hasil simulasi dengan pengaturan *FLC* tipe 2 dan daya keluaran tanpa pengaturan posisi PV.

Langkah-8 : Menarik Kesimpulan dari hasil simulasi Matlab dan memberikan saran.

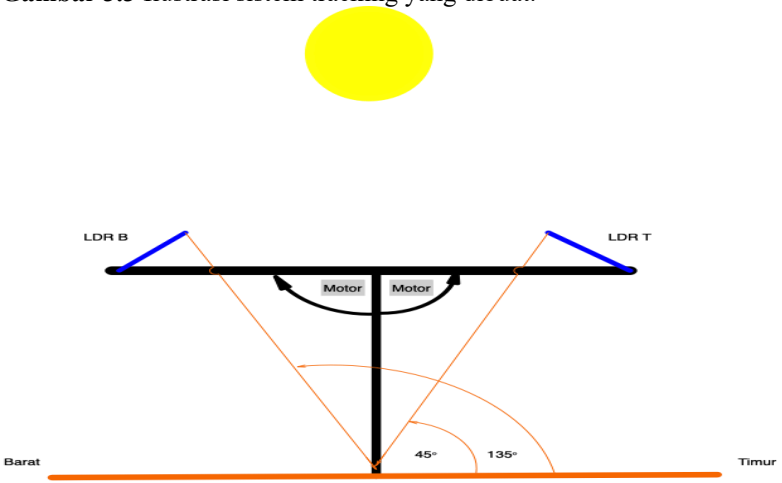
Berikut adalah diagram blok pengaturan posisi panel *photovoltaic* menggunakan *Fuzzy logic* tipe 2.



Gambar 3.2 Diagram Blok *Tracking* Posisi *PV*



Gambar 3.3 Ilustrasi sistem tracking yang dibuat.



Gambar 3.4 Ilustrasi Panel PV yang tegak lurus dengan Matahari.

Sudut dari LDR Timur dan LDR barat dibedakan agar tidak menghasilkan tegangan yang sama saat simulasi sehingga sistem tracking dapat berjalan dengan baik. Sudut dari LDR Timur adalah 45° dan sudut dari LDR Barat adalah 135°. Fungsi pemberian sudut sama seperti balancer untuk memberikan bayangan pada LDR.

Sudut matahari dimodelkan dari 0° sampai dengan 180° dengan kenaikan sebesar 15° setiap jam. Irradiance efektif dibuat untuk mendapat besarnya irradiance yang dapat diserap oleh PV. LDR dipasang di bagian tengah atas PV dan bawah PV dengan sudut untuk LDR timur sebesar 45° dan LDR Barat sebesar 135° untuk bisa mendapatkan perbedaan tegangan dari tiap LDR. Tegangan dari LDR akan menjadi input bagi *Fuzzy* control dengan rules, IF LDR B> LDR T motor berputar kearah barat, IF LDR B= LDR T motor diam, IF LDR B<LDR T motor berputar kearah timur. Dari output *Fuzzy* akan masuk ke motor driver dan motor DC untuk mengerakan sudut PV. Sudut awal PV yang digunakan adalah 0° dan mengalami kenaikan secara perlahan oleh motor DC

Fuzzy logic controller menghasilkan sinyal berupa arah (positif dan minus) dan besarnya kecepatan putar motor (1,2,3,4,5,6) dari kesimpulan yang didapat setelah memproses tegangan LDR timur dan barat

Sistem tracking yang dibuat berupa *Single-Axis* mengikuti sudut azimuth matahari. Sehingga motor yang digunakan hanya satu yaitu motor pitch.

- *Set point* yang digunakan adalah tegangan dari LDR Barat LDR Timur yang didapatkan dari pencahayaan matahari, sudut matahari dan sudut PV. Tegangan dari LDR barat dan LDR timur akan digunakan sebagai pembanding pada fuzzy logic tipe 2.
- Variabel yang dikendalikan adalah posisi panel *photovoltaic* terhadap posisi matahari (sudut *azimuth*). Posisi panel *photovoltaic* dikendalikan agar selalu tegak lurus (menghadap) terhadap posisi matahari. Hal ini dikendalikan berdasarkan perbedaan intensitas cahaya yang diterima di sisi LDR timur dan LDR barat. Jika matahari tegak lurus terhadap panel *photovoltaic* maka besarnya intensitas cahaya yang diterima kedua LDR sama besar. Sehingga tegangan keluaran kedua LDR sama dan mengakibatkan signal output dari fuzzy menjadi 0. Sedangkan apabila panel *photovoltaic* tidak tegak lurus terhadap matahari, maka besarnya intensitas yang diterima kedua LDR berbeda sehingga tegangan keluaran

kedua LDR berbeda. Hal ini mengakibatkan output dari fuzzy lebih besar atau lebih kecil dari 0.

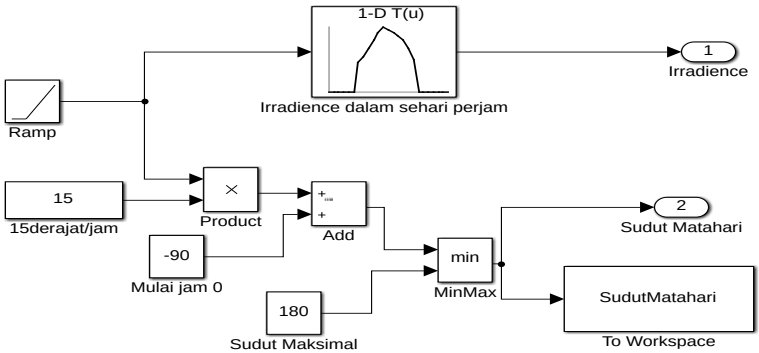
- Variabel yang dimanipulasi adalah masukan motor DC dengan memberikan tegangan yang menyebabkan perubahan berupa posisi angular (θ) dari motor DC. Jika posisi angular motor DC berubah, maka posisi panel akan berubah hingga tegak lurus matahari
- Kendali menggunakan logika interval *fuzzy* tipe-2, dengan masukan tegangan LDR dan menghasilkan keluaran sinyal kendali motor.

3.3 Mendesain Sistem *Tracking* posisi panel *photovoltaic*

Melakukan pemodelan sistem tracking panel photovoltaic yang akan diggunakan pada simulasi untuk mencari posisi atau sudut panel untuk mendapatkan daya maksimum.

3.3.1 Pemodelan Sudut Matahari

Sudut matahari dimodelkan perjam yaitu penambahan 15° setiap jam dari sudut awal matahari saat jam 6 yaitu 0°.



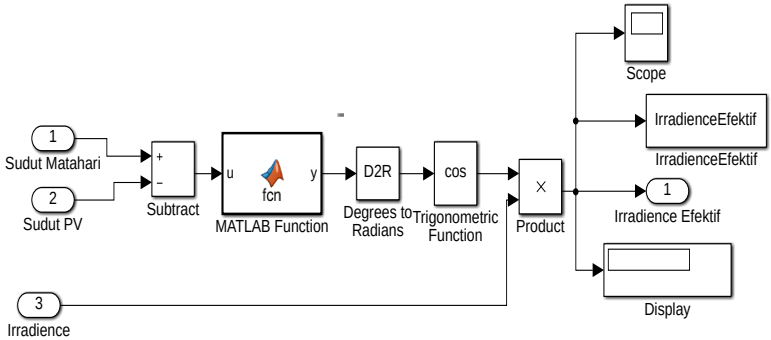
Gambar 3.5 Pemodelan Sudut azimuth matahari

Pemodelan sudut matahari dimulai dari 0-180 sesuai dengan sudut azimuth dari matahari dengan penambahan sudut matahari sebesar 15° perjam. Sistem tracking yang dibuat merupakan single-axis.

Irradience dari matahari dibuat dari lookup table dengan memasukan data pengukuran irradiance pada 10 juni 2020 dari laboratorium konversi energi, departemen teknik elektro, ITS Surabaya.

3.3.2 Pemodelan Irradience Efektif

Irradience efektif dibuat untuk mendapatkan besar irradiance yang dapat diserap oleh PV yang dipengaruhi oleh sudut PV dan sudut matahri. $I_{eff} = I_{max}.\cos\theta$ (3.1) Dimana theta adalah perbedaan sudut matahari dan PV



Gambar 3.6 Pemodelan Irradience Efektif

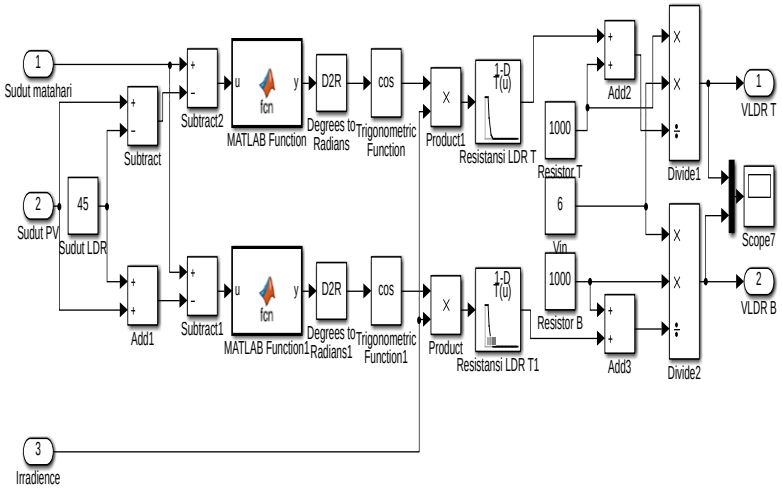
Irradiance efektif yang didapatkan oleh PV merupakan irradiance dari direct beam saja dan didapatkan dari persamaan (3.1). Sudut θ didapatkan dari hasil pengurangan dari sudut matahari terhadap sudut PV.Irradiance efektif menggunakan sudut PV dan sudut matahari untuk mendapatkan irradiance yang bisa diserap oleh PV.

Blok Matlab Function merupakan coding dari matlab untuk membatasi selisih sudut matahari dengan sudut PV menjadi -90>θ>90.

3.3.3 Pemodelan LDR timur dan barat

LDR timur dan barat dimodelkan menjadi satu bagian, tegangan input dari LDR adalah sebesar 6 volt dan tegangan output dari LDR bergantung dari kuat pencahayaan matahari yang didapatkan dari perbedaaan sudut antara matahari dan panel *Photovoltaic.*

Tegangan LDR timur dan barat akan berbeda jika panel PV tidak tegak lurus terhadap matahari.



Gambar 3.7 Pemodelan LDR timur dan barat

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_{tetap}}{R_{tetap}+R_{LDR}} \quad (3.2)$$

$$R_{LDR} = I_{LDR} \cdot R \quad (3.3)$$

I(LDR) didapatkan dari perbedaan sudut matahari dengan sudut LDR timur dan LDR barat. Perbedaan sudut LDR timur, Barat dan PV adalah sebesar 45°.

LDR menggunakan Irradience sebagai penganti intensitas cahaya yang mengatur besarnya tahanan dari LDR . Dari tahanan yang didapatkan di LDR akan dilakukan pembagian tegangan dengan resistor terpasang seri sebesar 1K ohm dan ada V input sebesar 6 Volt untuk mencari tegangan output dari LDR. Dari tegangan output LDR timur dan barat akan didapatkan tegangan yang akan tiatur oleh Fuzzy logic control tipe 2 untuk mendapatkan tegangan motor DC.

3.3.4 Pemodelan Motor DC

Pada persamaan (2.1), (2.3) mencerminkan perilaku dinamik dari motor DC. Berdasarkan persamaan (2.1), (2.2), (2.3), dan (2.4) dapat disusun kembali untuk pembuatan digram blok seperti pada persamaan (3.4) dan (3.5) berikut:

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} + K_b \cdot \omega(t) \quad (3.4)$$

$$Kt.Ia(t) = J_m \cdot d\frac{\omega(t)}{dt} + B_m \cdot \omega(t) \quad (3.5)$$

Transformasi *Laplace* dari persamaan (3.4) dan (3.5) yaitu:

$$V(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s) + K_b \cdot \omega(s) \quad (3.6)$$

$$K_t . I_a(s) = J_m \cdot \omega(s) + B_m \cdot \omega(s) \quad (3.7)$$

Dari persamaan (3.6) dapat dituliskan

$$I_a = V_a(s) - K_b \cdot \omega(s) \cdot \frac{1}{R_a + L_a s} \quad (3.8)$$

Dari persamaan (3.7) dapat dituliskan

$$\omega(s) = K_t \cdot I_a \cdot \frac{1}{J_m s + B_m} \quad (3.9)$$

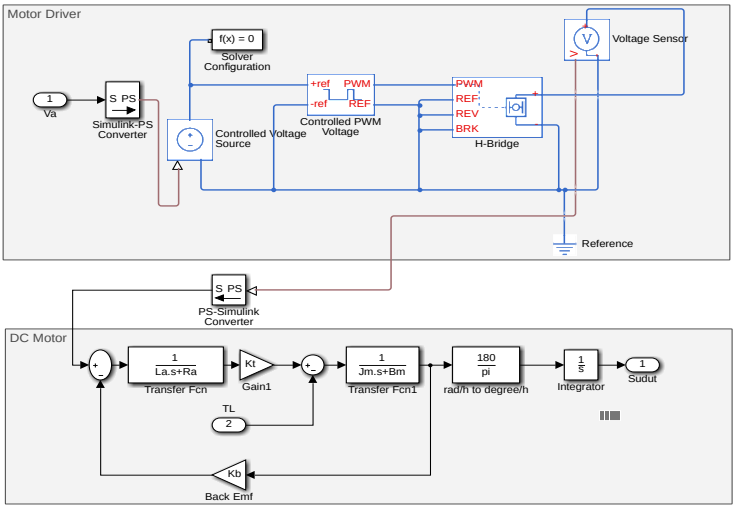
Substitusikan Ia dari persamaan (3.8) kedalam persamaan (3.9)

$$\omega(s) = K_t \cdot V_{a(s)} - K_b \cdot \omega(s) \cdot \frac{1}{R_a + L_a s} \cdot \frac{1}{J_m s + B_m} \quad (3.10)$$

Hubungan antara sudut PV dan kecepatan yaitu

$$\theta(s) = \frac{1}{s} \cdot \omega(s).\frac{180}{pi} \quad (3.11)$$

Dari persamaan (3.11) diketahui hubungan dari kecepatan motor dan sudut penambahan PV yaitu integral dari kecepatan motor dari sudut/jam, rad/jam yang merupakan output dari motor akan diubah menjadi sudut/jam dengan dikalikan 180/pi. Persamaan (3.10) di implementasikan pada simulink dengan menggunakan motor driver.



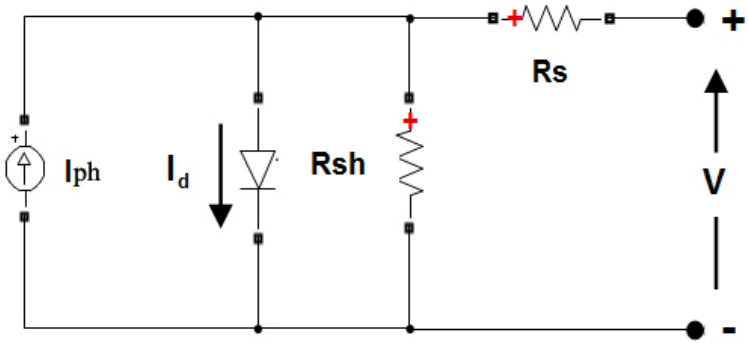
Gambar 3.8 Pemodelan motor DC dengan keluaran sudut tambahan PV

Tabel 3.1 Parameter-parameter Motor DC[11]

Kb	11.52 Volt.sec/rad
Kt	11.53 Nm/A
Ra	1.09 Ω
La	0,000208 Henry
Jm	2 Nm.s^2
Bm	39.8 Nm.sec/rad

3.3.5 Pemodelan Panel *Photovoltaic*

Panel photovoltaic dimodelkan dengan input berupa irradiance dan temperature saja karena sudut PV dan sudut matahari sudah diwakilkan dari irradiance efektif yang dapat diserap PV.



Gambar 3.9 Rangkaian ekivalen panel *photovoltaic*

Photocurrent atau arus yang dihasilkan karena adanya sinar matahari yang mengenai panel PV.

$$\mathbf{I_{ph} = [I_{sc} + k_i \cdot (T - 298)] \cdot \frac{G}{1000}} \qquad \textbf{(3.12)}$$

Io adalah arus saturasi atau arus saturasi dioda.

$$\mathbf{I_0 = I_{rs} \cdot \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 \cdot \exp\left[\frac{q \cdot E_{g0} \cdot (1/T_n - 1/T)}{n \cdot K}\right]} \qquad \textbf{(3.13)}$$

I tahanan rs.

$$\mathbf{I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{\left(\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}\right)} - 1}} \qquad \textbf{(3.14)}$$

I(sh) adalah arus shunt atau arus paralel PV

$$\mathbf{I_{sh} = \frac{(V + I \cdot R_s)}{R_{sh}}} \qquad \textbf{(3.15)}$$

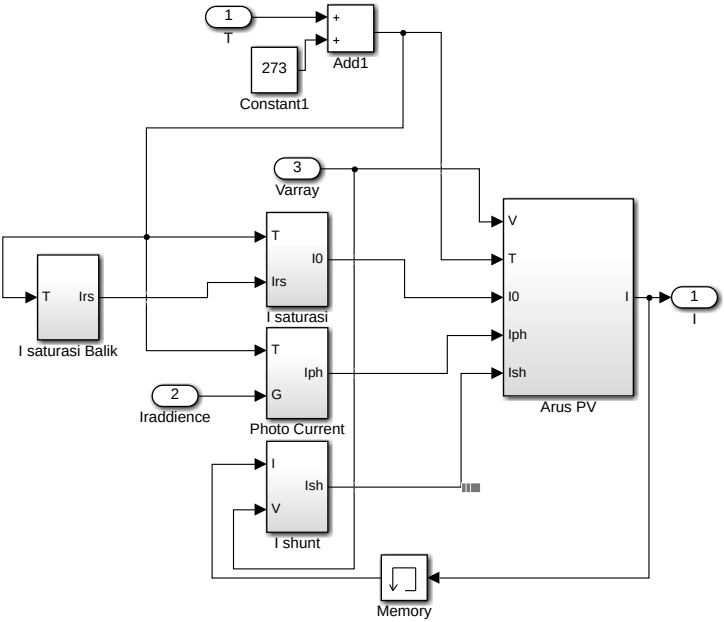
Dari persamaan 3.12,3.13,3.14 dan 3.15 panel Photovoltaic dapat dimodelkan sebuah panel menggunakan rumus gabungan dibawah yang adalah arus keluaran dari panel *photovoltaic.*

$$\mathbf{I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(q \cdot \frac{(V + I \cdot R_s)}{(n \cdot K \cdot N_s \cdot T}\right) - 1\right] - I_{sh}} \qquad \textbf{(3.16)}$$

Tabel 3.2 Parameter-parameter Panel *Photovoltaic*

Parameter dari panel PV merupakan user defined setelah melihat referensi dari default block parameter: PV array pada simulink dan Matlab.

Tn	298 Kelvin	Temperatur nominal
T	25° celcius	Temparatur input PV
G	G	Irradience input
Iph	Iph	Photocurrent
Voc	32.9 V	Tegangan Hubung singkat
Isc	8.21 A	Arus hubung singkat
q	1.6*10^-19 C	Charge electron
n	1.3	Faktor ideal dioda
K	1.38*10^-23 J/K	Konstanta Boltzmann
Ns	54	Jumlah cell pv(seri)
Np	1	Jumlah cell pv(paralel)
Rs	0.221 ohm	Resistor seri
Rsh	415.4 ohm	Resistor paralel
P(m)	200 W	Daya maksimum PV
V(mp)	26,4 V	Tegangan maksimum PV
I(mp)	7.58 A	Arus maksimum PV
ki	0.0032 A	Arus hubung singkat cell



Gambar 3.10 Pemodelan Panel *Photovoltaic* dari persamaan 3.5.5

$$\mathbf{I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(q \cdot \frac{(V+I \cdot R_S)}{(n \cdot K \cdot N_S \cdot T}\right) - 1\right] - I_{sh}} \qquad \mathbf{(3.16)}$$

Lebih detail gambar dari pemodelan dari panel PV ada di lampiran.

Sudut PV dan sudut azimuth matahari sudah diwakilkan oleh irradiance efektif, irradiance efektif adalah irradiance yang bisa didapatkan oleh PV dipengaruhi oleh sudut panel PV dan sudut azimuth matahari.

Pemodelan PV hanya menggunakan Irradience dan Temperatur karena sudut PV dan sudut azimuth matahari sudah diwakilkan oleh Irradiance Efektif**.** Daya yang diterima oleh PV bergantung dari irradiance efektif atau kuat pencahayaan matahari terhadap panel yang ditentukan oleh sudut PV terhadap sudut matahari. Bila tegak lurus maka irradiance yang didapatkan oleh PV akan maksimal.

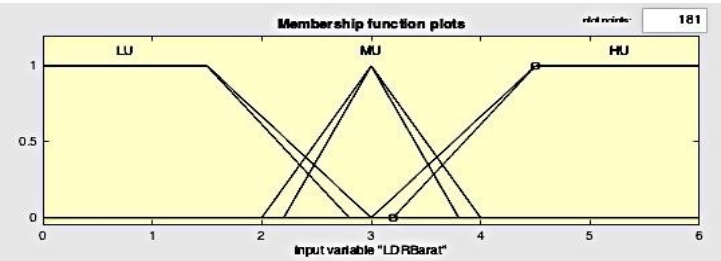
3.3.6 Pemodelan *Fuzzy logic control* tipe *2*

Fuzzy yang dibuat ini seperti motode pembanding yaitu bila terjadi beda tegangan antara LDR barat dan LDR timur maka output akan naik ataupun turun sesuai dengan LDR mana yang lebih tinggi tegangannya. Namun jika tegangan dari kedua LDR sama maka output dari fuzzy akan sama dengan 0.

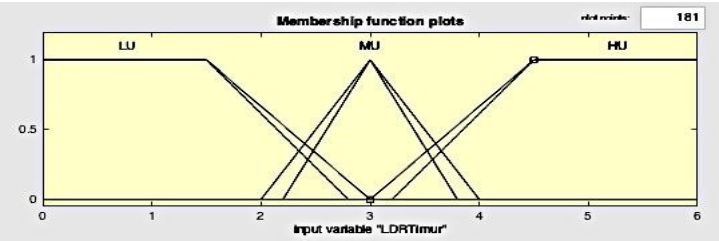
Setelah melakukan uji coba, *membership function* yang dipilih untuk digunakan sebagai *input* adalah gabunggan dari fungsi trapesium dan segitiga. Sistem *tracking* posisi akan membandingkan hasil dari metode *fuzzy* tipe 2 dengan 0.2 FOU dan 0.5 FOU

Range input dari fuzzy sama dengan *range* dari tegangan yang dapat dihasilkan oleh LDR timur dan barat yaitu 0 sampai 6. *Membership function* dari inputnya dibagi menjadi 3 yaitu *Low*(L), *Medium* (M) dan *High* (H).

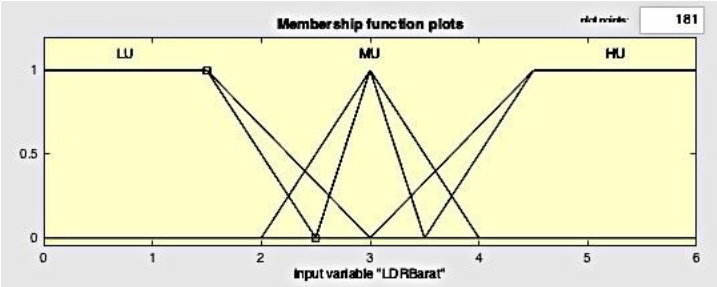
Low (L)	: [	0	sd	3	]
Medium (M)	: [	2	sd	4	]
High (H)	: [	3	sd	6	]



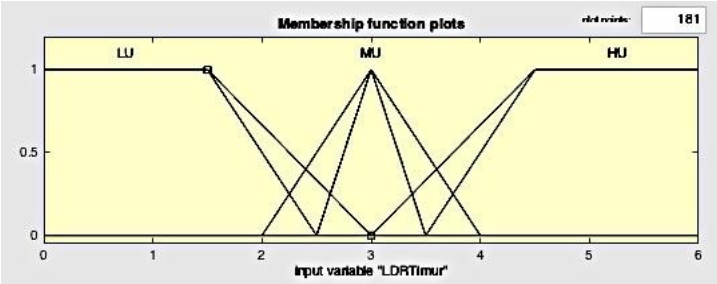
Gambar 3.11 MF dengan 0.2 FOU dari LDR Barat



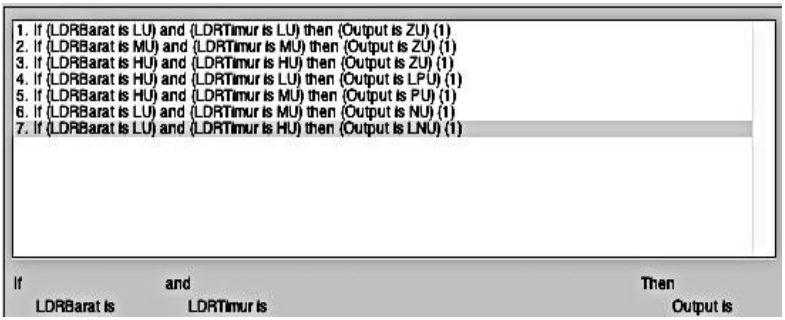
Gambar 3.12 MF dengan 0.2 FOU dari LDR Timur



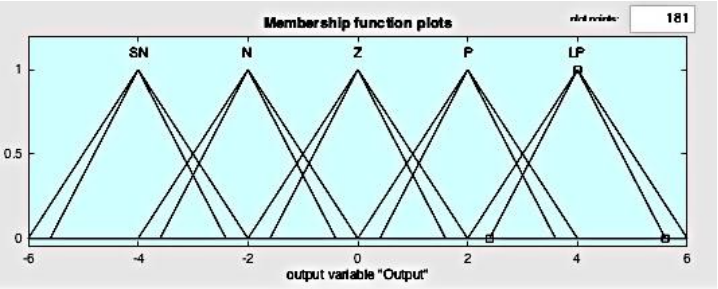
Gambar 3.13 MF dengan 0.5 FOU dari LDR Barat



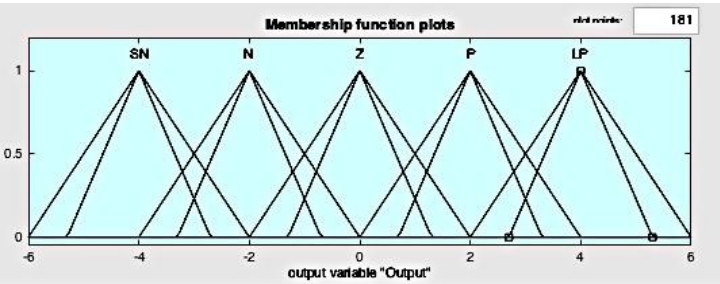
Gambar 3.14 MF dengan 0.5 FOU dari LDR Timur



Gambar 3.15 Rules dari Fuzzy IF X And Y then Z



Gambar 3.16 Output *Fuzzy* dengan 0.2 FOU



Gambar 3.17 Output *Fuzzy* dengan 0.5 FOU

Rule base dari *Fuzzy logic* tipe 2 Berupa IF LDR B and LDR T Then Ouput Z. Ada 5 kemunkinan output dari rule base diatas. Yaitu berupa Small Negatif (LN), Negatif (N), Zero (Z), Positive (P) dan (Large Positive (LP)

Output dari *Fuzzy* tipe 2 mamdani dibagi menjadi 5 yaitu SN, N, Z, P dan LP dan semua merupakan fungsi segitiga. FOU yang digunakan sebesar 0.2 dan 0.5. Untuk Low negatif(SN) motor akan akan berputar cepat secara clockwise (CW) dengan nilai -4, untuk Negatif motor akan berputar secara CW dengan nilai output -2, untuk Zero (Z) motor akan diam, untuk positif (P) motor akan berputar secara counter clockwise (CCW) dengan nilai output 2 dan large positif (LP) motor akan berputar cepat secara counter clockwise (CCW) dengan nilai output 4.

Tabel 3.3 Parameter Output dari *Fuzzy*

Nama MF	Parameter	Motor
LP	2 sd 6	Perputaran cepat secara CCW
P	2 sd 4	Perputaran secara CCW
Z	-2 sd 2	Motor diam
N	-4 sd 0	Perputaran secara CW
SN	-6 sd -4	Perputaran cepat secara CW

Tabel 3.4 Rules dan output dari *Fuzzy control*

No. Rule	LDR Barat	LDR Timur	Out put
1	L	L	Z
2	M	M	Z
3	H	H	Z
4	H	L	LP
5	H	M	P
6	L	M	N
7	L	H	SN

No. Rule	LDR Barat	LDR Timur	Out put
1	0	0	0
2	2.5	4	-1
3	6	4.5	1
4	5	1	4
5	5	3	2
6	2	3	-2
7	1	5	-4

Output dari *Fuzzy* akan menjadi sinyal bagi motor driver untuk mengerakan motor DC dengan arah dan kecepatan yang ditentukan oleh sinyal tersebut. Kecepatan dari motor akan menjadi sudut penambahan dari PV dengan di konversi dari rad/jam menjadi sudut/jam lalu digunakan fungsi integrator untuk di dapatkan sudut penambahan dari PV untuk setiap jamnya.

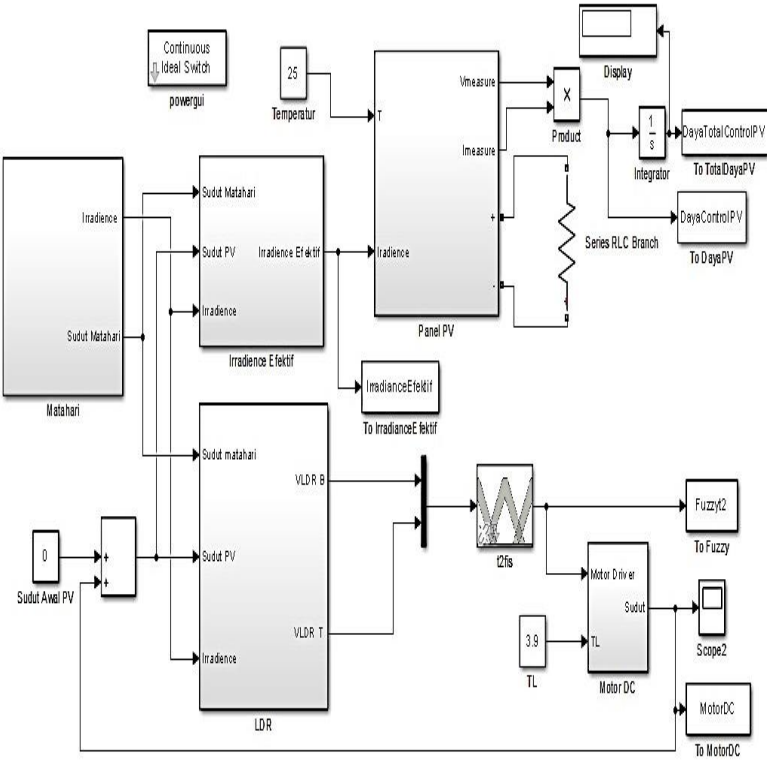
3.3.7 Pemodelan *Tracking* posisi panel *Photovoltaic* menggunakan *Fuzzy logic* tipe 2

Dimulai dari pemodelan sudut penambahaan azimuth matahari dan membuat irradiance matahari setiap jam menggunakan lookup table dengan menggunakan data asli dari Laboratorium Konversi energi.

Sudut matahari dan sudut PV akan menentukan kuat pencahayaan yang didapatkan oleh LDR timur dan LDR barat yang akan menjadi masukan untuk diproses oleh *Fuzzy logic control tipe* 2 yang akan menjadi perintah untuk perputaran motor DC yang telah dibuat. Dari motor DC akan didapatkan kecepatan putar dalam radian yang akan diubah menjadi sudut dengan digunakannyz integrator untuk mendapatkan besar sudut penambahan dari panel PV. Sudut matahari dan sudut PV terkendali akan masuk pada irradience efektif untuk mendapatkan besarnya irradiance atau kuat pencahayaan matahari terhadap panel *photovoltaic. Irradiance* efektif dan temperatur konstan sebesar 25° celsius akan mentukan daya keluaran dari PV yang telah didesain.

Irradiance Efektif adalah irradience yang didapatkan oleh PV pada saat sudut tertentu. Bila sudut matahari dan sudut PV saling tegak lurus maka irradiance matahari yang didapatkan akan maksimal. Dengan kata lain Irradiance efektif adalah irradiance yang dapat diserap oleh panel PV yang bergantung pada sudut matahari dan sudut panel PV.

Irradiance efektif merupakan bagian dari PV panel itu sendiri sehingga sudut azimuth matahari dan sudut panel PV masuk ke bagian irradiance efektif. Sudut panel yang didapatkan dari motor DC langsung masuk ke irradiance efektif yang merupakan bagian dari PV panel. Sudut matahari dan sudut panel yang masuk pada PV panel sudah diwakilkan oleh irradiance efektif.



Gambar 3.18 Tracking posisi panel PV menggunakan FLC tipe 2

Irradiance efektif merupakan bagian dari PV panel itu sendiri sehingga sudut azimuth matahari dan sudut panel PV masuk ke bagian irradiance efektif. Sudut panel yang didapatkan dari motor DC langsung masuk ke irradiance efektif yang merupakan bagian dari PV panel. Sudut matahari dan sudut panel yang masuk pada PV panel sudah diwakilkan oleh irradiance efektif.

Output dari motor DC masuk ke sudut PV untuk irradiance efektif karena sudut PV diwakilkan oleh irradiance efektif.

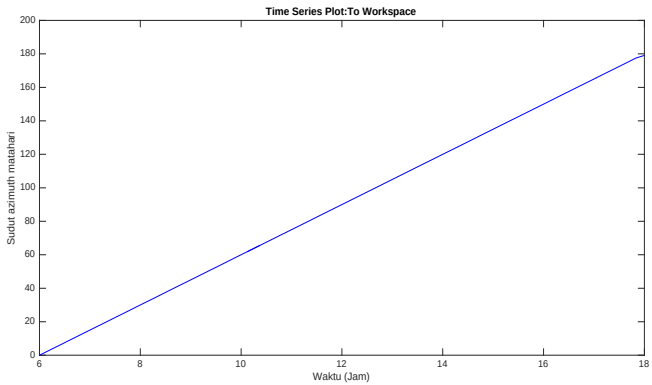
---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB IV
SIMULASI DAN ANALISIS

Pada perancangan sistem *tracking* posisi panel *photovoltaic* terhadap matahari, variabel yang dikendalikan adalah sudut panel *photovoltaic* yang di dapatkan dari motor dc serta tegangan *ouput* dari LDR timur maupun LDR barat panel karena tegangan ini mempresentasikan sudut panel terhadap matahari secara langsung. Pada penelitian ini, perancangan sistem tracking posisi panel *photovoltaic* menggunakan *Fuzzy logic control type 2 (FLC-T2)*.

4.1 Uji Sudut Matahari

Hasil uji sudut matahari setiap jam dari jam 6 pagi sampe jam 6 sore dengan kenaikan sebesar 15°.



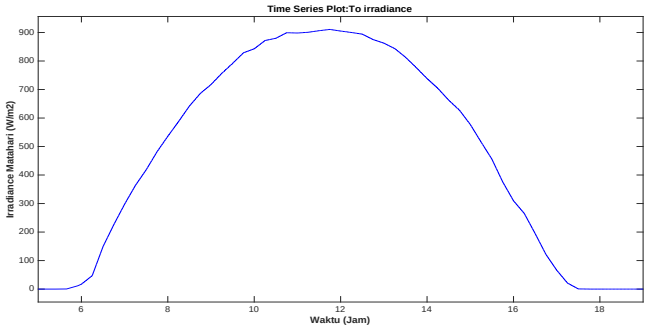
Gambar 4.1 Hasil Uji sudut matahari azimuth perjam

Kenaikan sudut matahari secara otomatis di rancang dengan set point 0° yaitu pada jam 6 pagi dan *setting* kenaikan sudut matahari sebesar 15° per jam sampe jam 6 malam waktu lokal. Time setting nya diatur mulai jam 6 pagi

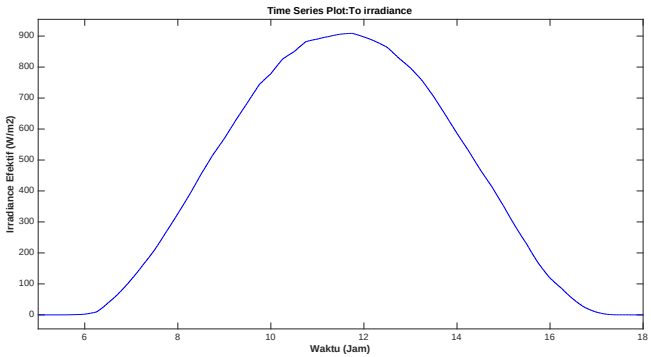
Sudut azimuth matahari adalah 0°-180°. Pemodelan matahari ini hanya menunjukan pertambahan sudut sebesar 15° perjam. Dan Dimulai dari 0° pada jam 6 pagi sampai 180° pada jam 6 sore.

4.2 Uji Irradience

Uji irradiance dilakukan pada irradiance matahari dan irradiance efektif PV yang ada di gambar 3.3 dan gambar 3.4. Uji irradiance efektif dilakukan saat PV berada di sudut 90°.



Gambar 4.2 Irradiance Matahari



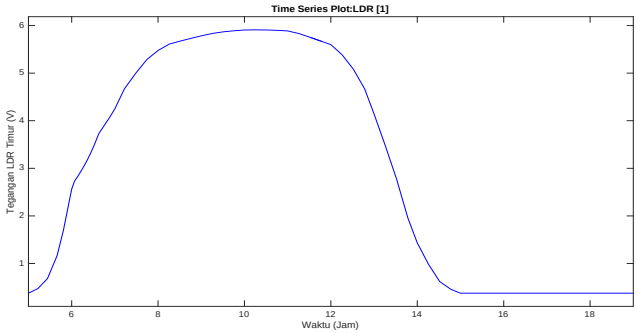
Gambar 4.3 Hasil Uji *irradiance* efektif pada sudut PV 90°

Dari hasil yang didapatkan, irradience pada jam 6 pagi yaitu sebesar 17 (W/m^2) dan mengalami kenaikan secara perlahan sampai pada puncak tertinggi yaitu pada jam 11:45 siang sebesar 910 (W/m^2). Dan irradiance matahari berakhir pada jam 6 malam.

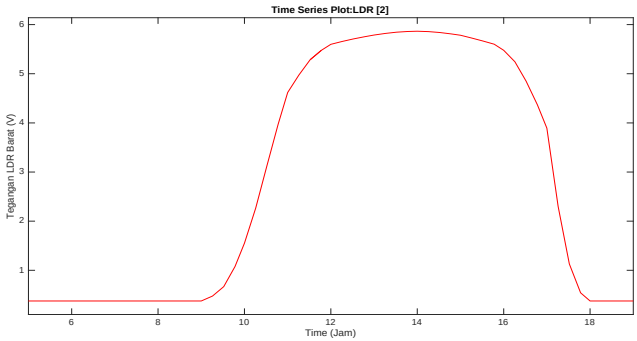
Hasil uji irradiance efektif saat PV statis pada 90° menunjukan bahwa irradiance yang didapatkan oleh PV akan berkurang jika sudut panel PV tidak tegak lurus terhadap sudut matahari.

4.3 Uji LDR Timur dan Barat Panel Statis

Hasil uji tegangan LDR Timur dan Barat dari jam 6 pagi sampe 6 sore saat PV dipasang secara statis 90° atau sebelum adanya sistem tracking.



Gambar 4.4 Hasil Uji Tegangan LDR Timur



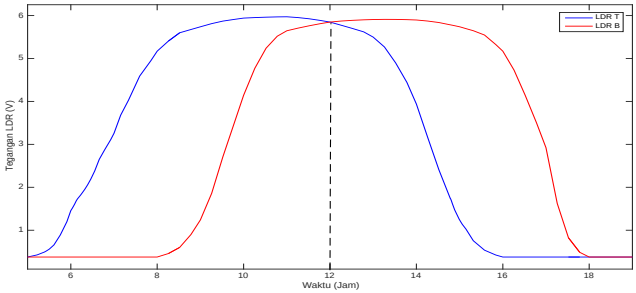
Gambar 4.5 Hasil Uji Tegangan LDR Barat

Hasil yang didapatkan pada uji LDR timur dan barat menunjukan bawah panel bagian ujung timur mendapat sinar matahari saat jam 6 perlahan naik dan mulai turun setelah jam 1 siang, sedangkan LDR bagian barat kebalikannya dari LDR timur yaitu saat matahari terbit kurang mendapatkan sinar matahari saat matahari tebernam mendapat sinar matahari lebih dari LDR timur.

Hasil tegangan yang didapatkan adalah tegangan LDR sebelum adanya pengaturan posisi dengen FLC.

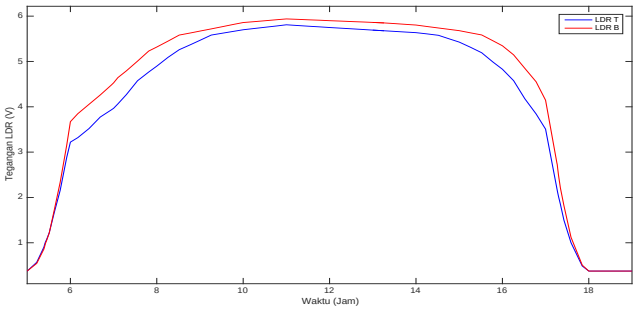
4.4 Perbandingan Tegangan LDR Statis dan Mobile

Membandingan LDR Timur dan LDR Barat untuk mengetahui cara kerja LDR apakah hasil tracking sudah optimal.



Gambar 4.6 Perbandingan tegangan LDR saat PV statis

Dari hasil tegangan antara kedua LDR dapat diketahui bahwa tegangan LDR Timur dan LDR Barat hanya akan mendapatkan tegangan yang sama jika matahari tegak lurus terhadap PV sehingga selain dari jam 12 tegangan dari LDR Timur dan LDR Barat akan berbeda karena sudut matahari tidak tegak lurus terhadap sudut PV.

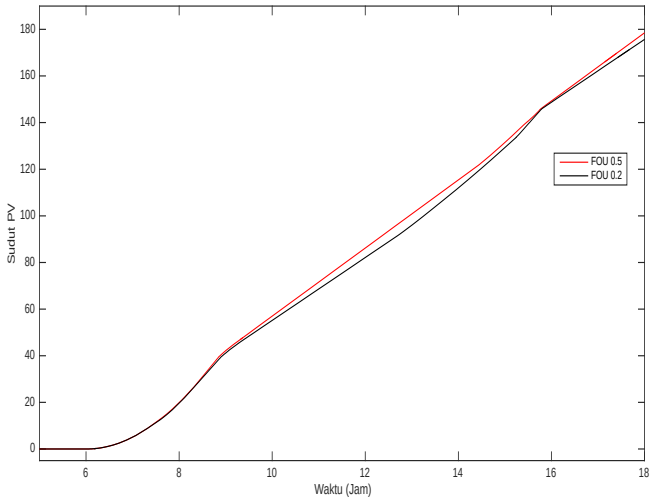


Gambar 4.7 Perbandingan tegangan LDR saat PV mobile

Tegangan LDR Barat selalu lebih tinggi dari LDR Timur karena sudut matahari selalu bertambah bertambah duluan dan tracking sistem akan menambah sudut PV kemudian.

4.5 Uji Motor DC

Hasil uji sudut penambahan motor setiap jam mulai dari jam 6 pagi sampe 6 sore. Sudut PV selalu tertambah untuk mengikuti pergerakan dari matahari.



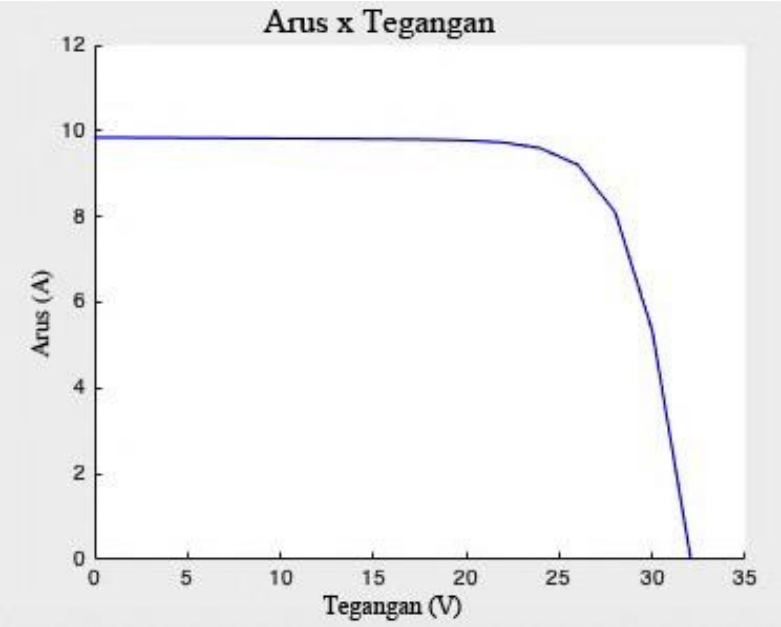
Gambar 4.8 Hasil Uji sudut yang dihasilkan Motor DC

Dari hasil uji motor sudut panel *photovoltaic* hampir selalu konstan naik karena sudut matahari pun selalu konstant naik sebesar 15° jadi sudut panel *photovoltaic* terlihat mengikuti sudut kenaikan matahari. Sudut kenaikan PV sebesar 15°. Tracking dari fuzzy control dengan FOU 0.5 menghasilkan akurasi yang lebih baik dibanding FOU 0.2.

Sudut motor didapatkan dari kecepatan motor (rad/jam) diubah ke dalam sudut/jam dan digunakan integratur untuk mendapatkan sudut yang akan ditambahkan pada sudut awal panel PV.

4.6 Uji Panel *Photovoltaic*

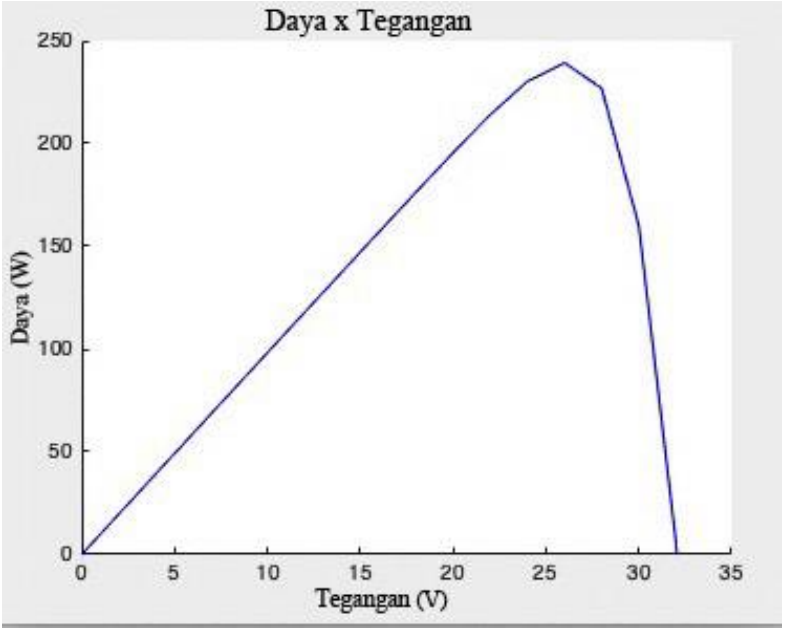
Hasil Uji tegangan, arus dan daya PV pada Irradiance konstan 1200 W/m^2 dan 25° celsius.



Gambar 4.9 Hasil Uji Arus terhadap Tegangan PV

Sumbu Y diatas merupakan arus keluaran dengan besaran Ampere dan sumbu X adalah tegangan keluaran dari panel *photovoltaic* dengan besaran Tegangan(V).

Dari hasil uji yang dilakukan dapat diketahui bahwa arus maksimum keluaran dari panel *photovoltaic* adalah sebesar 9.8A dan tegangan maksimumnya adalah 32.4V.



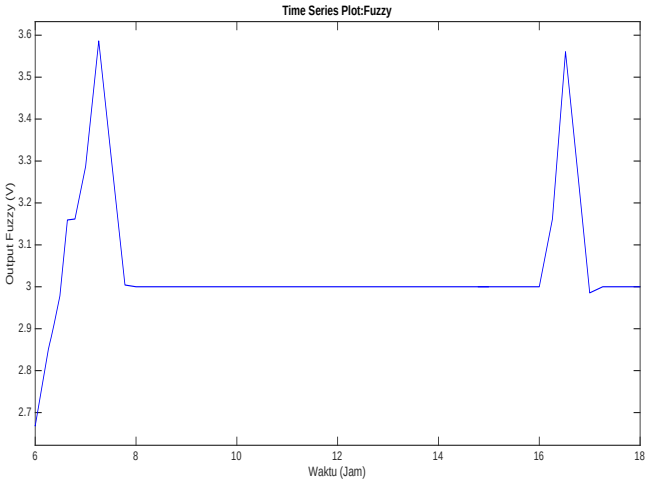
Gambar 4.10 Hasil Uji Daya terhadap Tegangan PV

Sumbu Y merupakan daya yang dapat dihasilkan panel PV(W) dan sumbu X adalah tegangan yang dihasilkan oleh panel *photovoltaic*.

Dari hasil yang didapatkan daya maksimum dapat dihasilkan oleh panel *photovoltaic* adalah sebesar 230 W dan tegangan maksimum sebesar 32.4 V.

4.7 Uji *Fuzzy logic control* tipe 2

Hasil uji output *Fuzzy* dari jam 6 pagi sampe jam 6 sore. Hasil ini dapatkan karena tegangan LDR barat selalu lebih besar dari LDR timur karena posisi matahari yang selalu bergerak mendahului sudut PV.

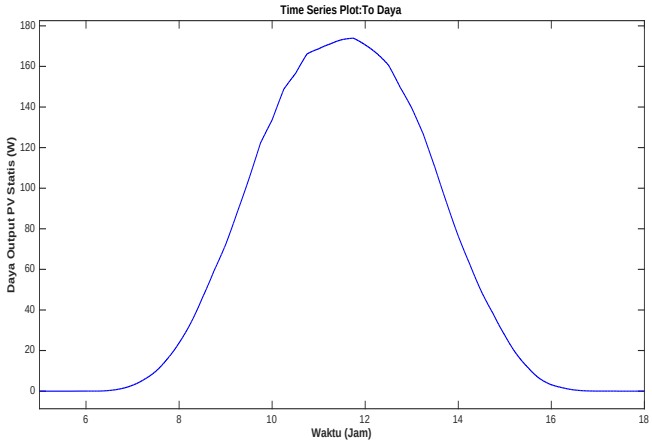


Gambar 4.11 Hasil Uji *Fuzzy Logic Control* tipe 2

Hasil dari uji *interval type 2 mamdani* menunjukan bahwa motor akan berjalan secara cepat saat keluaran *fuzzy* lebih besar dari 2 dan akan berjalan lebih pelan berada keluaran *fuzzy* dibawah 2 dan motor tidak akan bergerak sama sekali kalau keluaran *fuzzy* adalah 0. Karena pergerakan matahari yang selalu konstan, tegangan dari LDR selalu mengalami perbedaan antar LDR Barat dan LDR Timur sehingga output Fuzzy selalu ada. Output dari Fuzzy ini beruka tegangan(V) kendali yang menjadi masukan untuk motor driver dan mengatur tegangan daripada motor DC untuk menaik turunkan kecepatan putar motor.

4.8 Uji Daya Panel Photovoltaic Stasis.

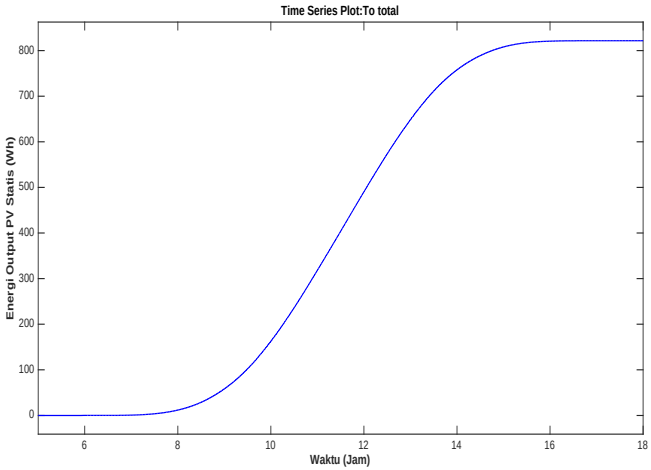
Uji PV ini dilakukan saat panel dipasang secara statis 90° atau secara mendatar diatas permukaan tanah.



Gambar 4.12 Hasil Uji Daya panel PV Statis

Posisi panel yang diletakan secara lurus keatas atau dalam simulasi ini digambarkan dengan 90° yang dapat tegak lurus terhadap matahari pada jam 12 siang. Hanya akan menghasilkan daya maksimum pada jam 12 saja selain itu daya yang dihasilkan akan tidak efektif atau selalu tidak maksimal. Daya dipengaruhi oleh irradience matahari efektif yang didapatkan dari sudut azimuth matahari, sudut PV dan irradiance matahari . Daya maksimal pada panel statis sebesar 175 W.

Daya total adalah penambahan daya setiap jam dari output PV. Daya dari jam 6 ditambah daya jam 7 ditambah daya jam 8 dan seterusnya sampe jam 6 sore. Daya total pada jam 18 merupakan daya total keseluruhan PV dari jam 6 sampai jam 18.



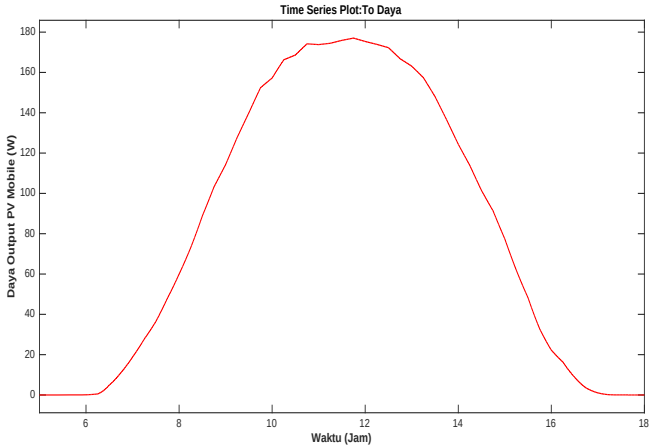
Gambar 4.13 Hasil uji Energi total panel PV statis

Dari daya yang dihasilkan oleh panel PV statis, ditambahkan sebuah integrator untuk dapat melihat penambahan daya panel PV dan jumlah total daya yang dapat dihasilkan dalam sehari oleh panel *photovoltaic* pada gambar diatas. Daya total yang dapat dihasilkan oleh panel statis adalah sebesar 821.6 Wh.

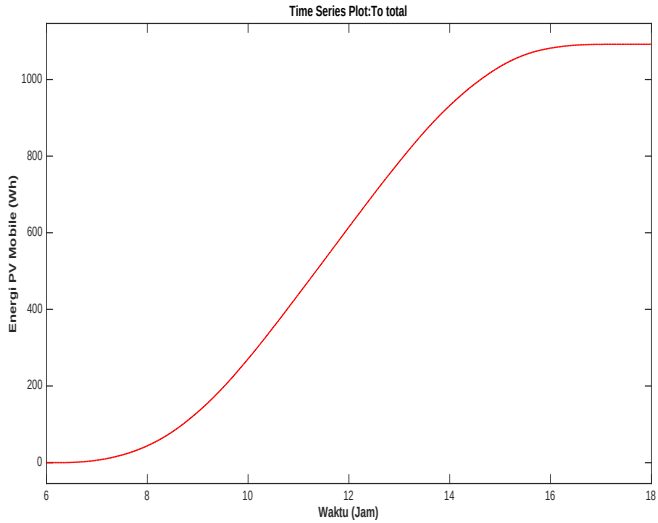
4.9 Uji Daya Panel Photovoltaic dengan Tracking Sistem

Dari gambar 4.14 terlihat kenaikan daya setiap jam dari panel *photovoltaic* yang didapatkan adalah daya optimal dari PV karena selalu tegak lurus terhadap sudut azimuth matahari. Daya maksimum yang dihasilkan lebih besar dari PV statis yaitu mendekati 180 W yang merupakan daya maksimum yang dapat dihasilkan PV.

Dari gambar 4.15 kenaikan daya total panel *photovoltaic* meningkat secara konstan sampe pada jam 6 sore. Daya total yang dihasil oleh panel yang dikontrol menggunakan *fuzzy logic tipe 2* dengan FOU 0.5 adalah sebesar 1092 Wh.



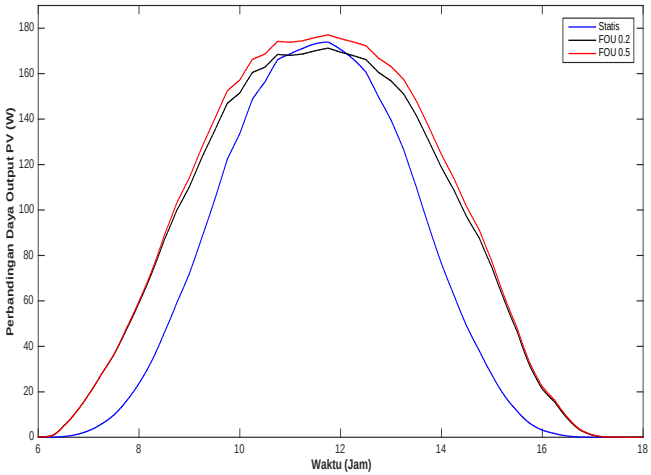
Gambar 4.14 Hasil Uji Energi PV Mobile



Gambar 4.15 Hasil uji Energi Total PV Mobile

4.10 Perbandingan Daya PV statis dengan Daya PV mobile

Perbandingan daya statis dan daya mobile saat *Fuzzy control* dengan FOU 0.5 dan FOU 0.2

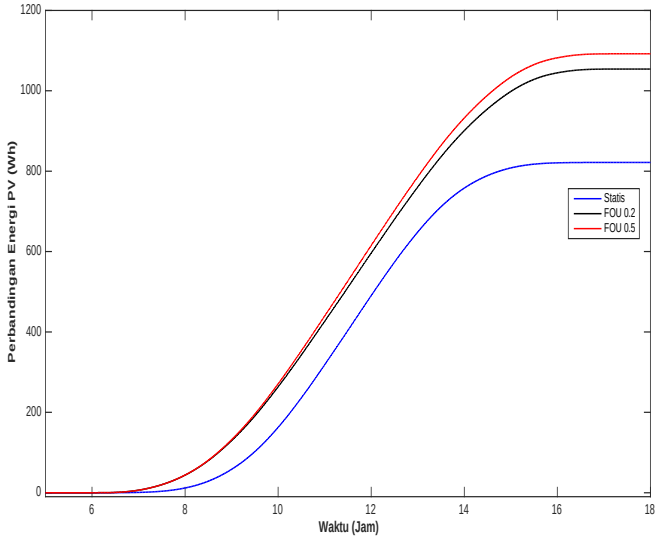


Gambar 4.16 Perbandingan Daya PV statis (garis biru) dengan Daya PV mobile FOU 0.5 (garis merah) dan FOU 0.2 (garis hitam)

Dari hasil yang didapatkan diketahui bahwa panel statis yang dipasang mendatar (dalam simulasi 90°) hanya bisa tegak lurus terhadap matahari saat jam 12 saja sehingga daya PV statis selain pada waktu jam 12 siang adalah tidak efektif. Sedangkan PV mobile menghasilkan daya yang lebih besar pada setiap jam karena posisi dari panel PV selalu tegak lurus terhadap sudut azimuth matahari. Fuzzy control dengan FOU 0.5 menghasilkan daya lebih besar dan lebih optimal dari FOU 0.2.

4.11 Perbandingan Energi PV statis dengan Energi PV mobile

Daya total adalah penambahan daya setiap jam dari output PV. Daya dari jam 6 ditambah daya jam 7 ditambah daya jam 8 dan seterusnya sampe jam 6 sore.



Gambar 4.17 Perbandingan Energi total PV statis (garis biru) dengan Daya total PV mobile FOU 0.5 (garis merah) dan FOU 0.2 (garis hitam)

Daya total yang dihasilkan oleh panel mobile terlihat jauh lebih besar dibandingkan dengan daya total yang dapat dihasilkan oleh panel *photovoltaic* static. Hal ini terjadi karena daya statis tidak selalu tegak lurus terhadap matahari sehingga daya yang dihasilkan lebih kecil dan waktu panel terkena sinar matahari pun berkurang karena panel dipasang mendatar yang hanya dapat tegak lurus saat jam 12 siang.

Daya total yang dihasilkan oleh *Fuzzy control* dengan FOU 0.5 adalah sebesar 1092 Wh, *Fuzzy* dengan FOU 0.2 sebesar 1054 Wh dan panel statis sebesar 821.6Wh kenaikan energi adalah sebesar 1092-821.6=270.4 Wh atau dalam persentase sebesar $\frac{270.4}{821.6}.100\% = 32.9\%$.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Panel *photovoltaic* dengan *tracking* posisi menggunakan *Fuzzy logic controller type 2* menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan panel *photovoltaic* yang dipasang secara statis yaitu sebesar 32.9%.
2. Daya yang dihasilkan oleh *Fuzzy control* dengan FOU 0.5 lebih besar daripada *Fuzzy control* dengan FOU 0.2.`
3. Pengaturan posisi panel menggunakan *fuzzy logic* tipe 2 metode mamdani menghasilkan sinyal untuk kecepatan putar dan arah putar Motor DC.
4. Parameter motor dan panel PV ditentukan dengan melihat beberapa referensi mengenai permanent motor dc dan panel *photovoltaic.*

5.2 Saran

1. Sistem tracking yang dibuat hanya memaksimalkan daya PV dari segi mekanik saja tidak secara elektrik karena beban dari PV merukapan beban konstan.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR PUSTAKA

[1] Eric Anderson, Chris Dohan, Aron Sikora, "Solar Panel Peak Power Tracking System," Worchester Polytech. Inst., Mar. 2003.

[2] Z. Yan and Z. Jiaxing, "Application of Fuzzy Logic Control Approach in a Microcontroller-Based Sun Tracking System," in 2010 WASE International Conference on Information Engineering, Beidaihe, Hebei, pp. 161–164, Aug. 2010.

[3] A. R. Morariu, P. V. Vezeteu, and D. I. Nastac, "Tracking Device for Solar Panels," in 2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), pp. 177–180, Oct. 2018.

[4] O. Castillo, "Interval Type-2 Fuzzy Logic for Control Applications," in 2010 IEEE International Conference on Granular Computing, San Jose, CA, USA, pp. 79–84, Aug. 2010.

[5] P. A. S. Birkin and J. M. Garibaldi, "A comparison of Type-1 and Type-2 fuzzy controllers in a micro-robot context," in 2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 1857–1862, Aug. 2009.

[6] A. B. Cara, I. Rojas, H. Pomares, C. Wagner, and H. Hagras, "On comparing non-singleton type-1 and singleton type-2 fuzzy controllers for a nonlinear servo system," in 2011 IEEE Symposium on Advances in Type-2 Fuzzy Logic Systems (T2FUZZ), pp. 126–133, Apr. 2011.

[7] L. Wang, "A New Look at Type-2 Fuzzy Sets and Type-2 Fuzzy Logic Systems," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 25, no. 3, pp. 693–706, Jun. 2017.

[8] I. Abadi, A. Soeprijanto, and A. Musyafa, "Design of single axis solar tracking system at photovoltaic panel using fuzzy logic controller," in 5th Brunei International Conference on Engineering and Technology (BICET 2014), pp. 1–6, Nov. 2014.

[9] C. H. Adritya Haryo Bhakti Baskoro and A. Musyafa, "Rancang Bangun Dual-Axis PV Solar Tracker System Menggunakan Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller," pp. 2-4, 2014.

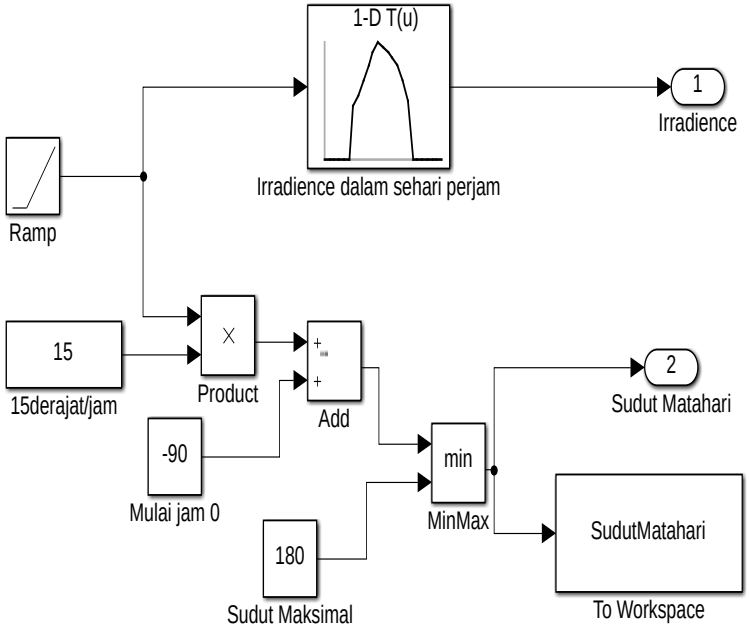
[10] I. Abadi, A. Musyafa, K. Baskoro, and D. Fitriyanah, "Design and Implementation of Mobile Active Two-Axis Solar Tracker with Reflector Based on Particle Swarm Fuzzy Controller," Int. Rev. Model. Simul. IREMOS, vol. 12, p. 113, Aug. 2019.

[11] M. W. Ardiatama and I. Abadi, “Perancangan Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Dengan Metode Active Tracking Menggunakan Kontrol Fuzzy Tipe-2 Interval,” J. Tek. ITS, vol. 7, no. 1, pp. 78–83, Mar. 2018.

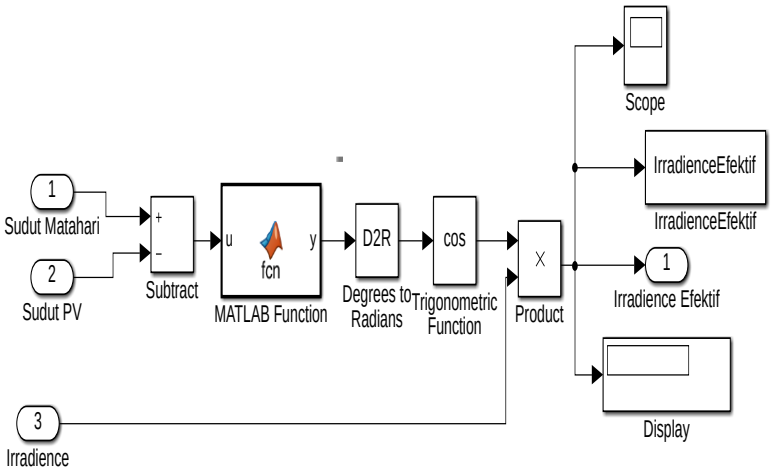
[12] Matti Tukiainen, “Gaisma: Sunrise, sunset, dawn and dusk times around the World”, Giasma, Nov 11, 2020. < URL:https://www.gaisma.com/en/location/surabaya.html> Accessed on: Nov 11 ,2020.

LAMPIRAN

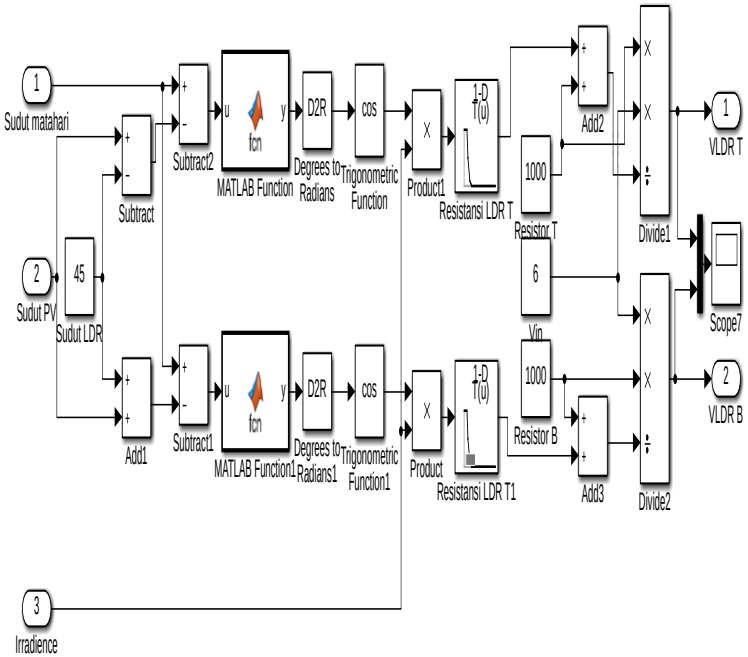
Sudut Matahari



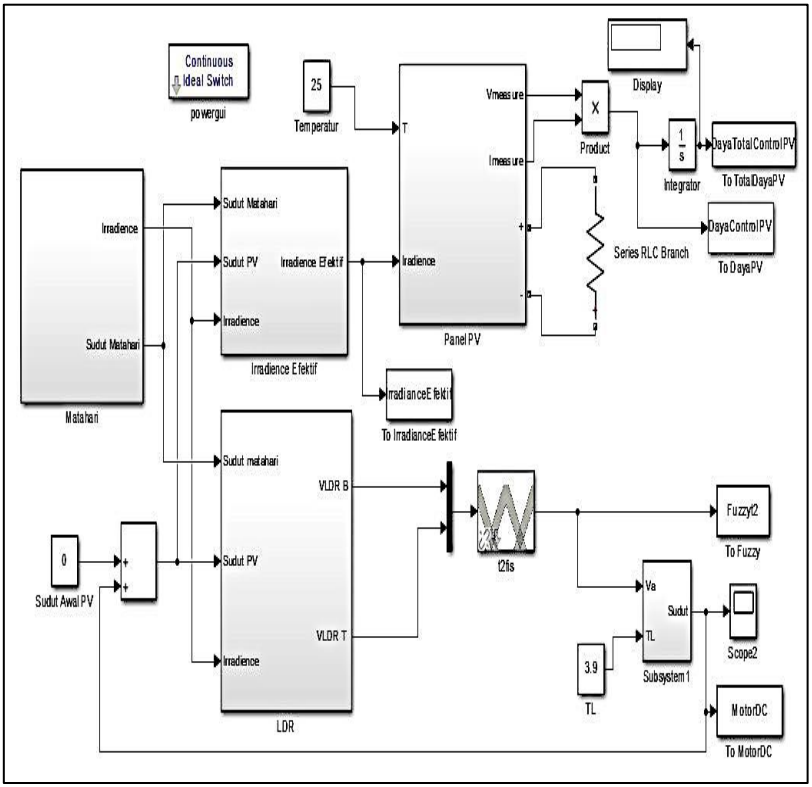
Irradiance Efektif



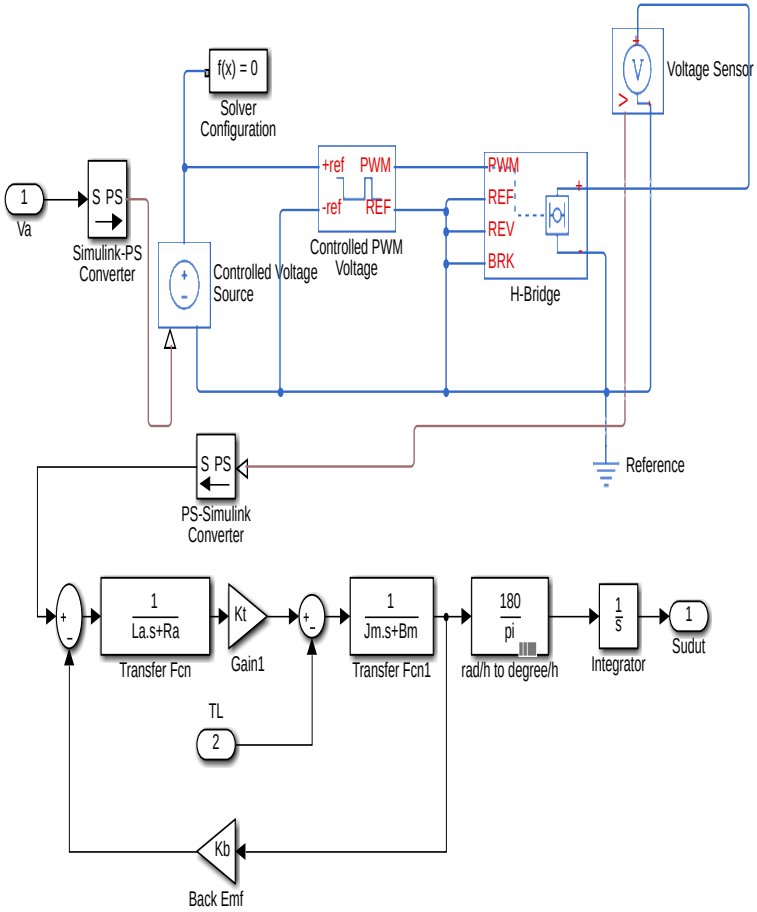
LDR Timur Dan Barat



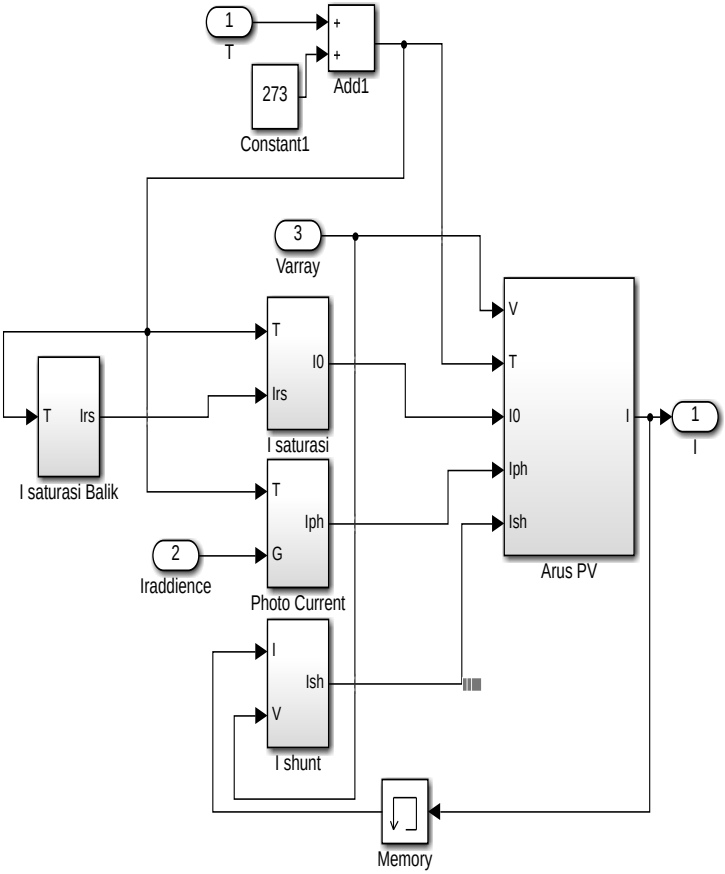
Sistem Tracking Posisi Panel Photovoltaic Menggunakan Fuzzy Logic Tipe 2



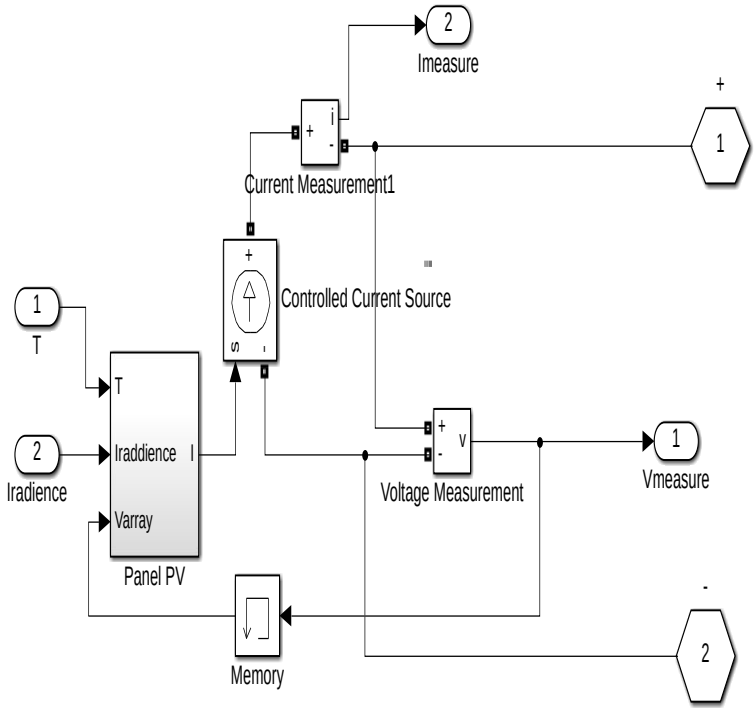
Motor DC


f(x) = 0
Solver Configuration
Voltage Sensor
1
Va
S PS
Simulink-PS Converter
+ref
PWM
-ref
REF
Controlled PWM Voltage
PWM
REF
REV
BRK
H-Bridge
Controlled Voltage Source
Reference
S PS
PS-Simulink Converter
1
La.s+Ra
Transfer Fcn
Kt
Gain1
1
Jm.s+Bm
Transfer Fcn1
180
pi
rad/h to degree/h
1
s
Integrator
1
Sudut
TL
2
Kb
Back Emf

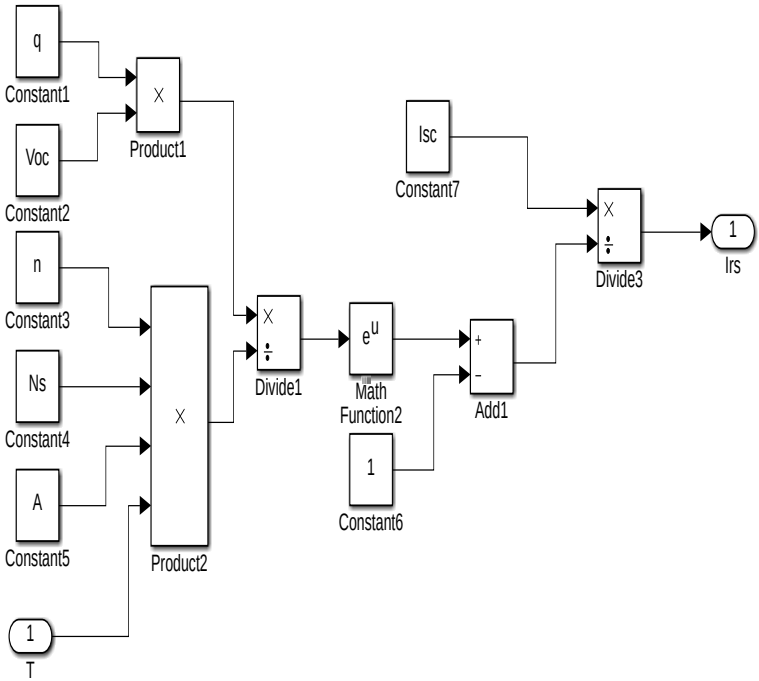
Subsistem tingkat 2 Panel Photovoltaic



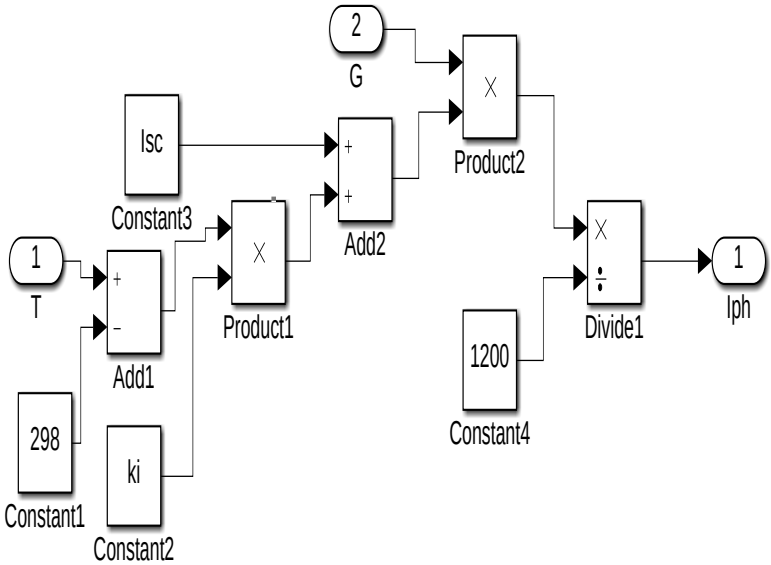
Subsistem tingkat 1 panel PV



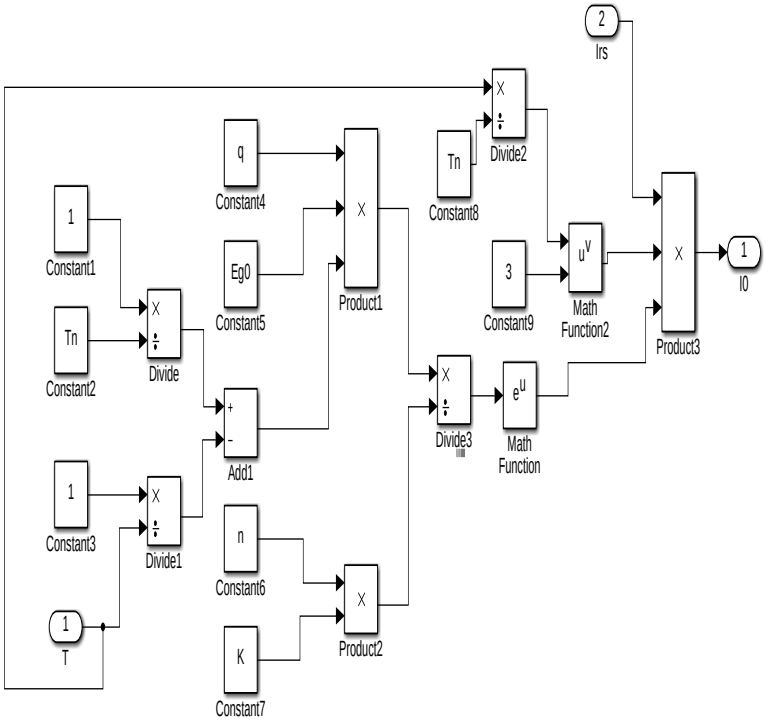
Subsistem dari Irs



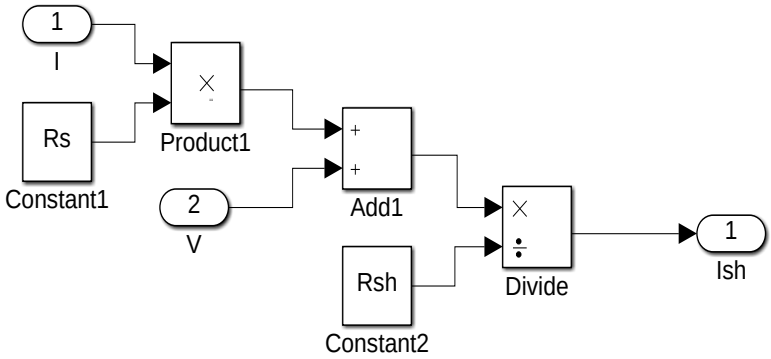
Subsistem Iph



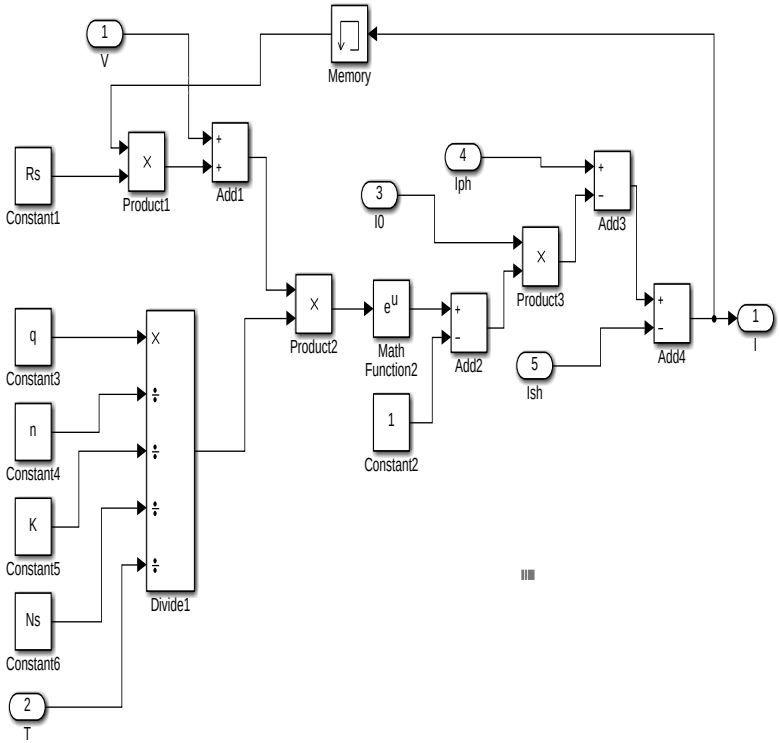
Subsistem dari I0



Subsistem dari Ish



Subsistem dari Arus PV



BIODATA PENULIS

Penulis bernama, Januario Julio Cesar Sequeira Saldanha, lahir di dili, 23 november 1995. Penulis Merupakan anak ketiga dari pasangan Domingos Saldanha dan Marta Sequeira. Penulis menempuh pendidikan formal dari SD santa Magdalena de Canossa (2001-2006) , SDK Don Bosko Kupang (2006-2007), SMP Nusa Cendara International Plus School (2007-2010), SMAK Giovanni Kupang (2010-2013). Setelah lulus dari SMA , pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi ke jenjang S1 di jurusan Teknik Elektro ITS Surabaya melalui jalur SBMPTN dengan NRP 2213100133. Sekarang NRP telah berubah menjadi 07111340000133. Di jurusan Elektro penulis, penulis menggambil bidang Teknik Sistem Tenaga.

Informasih lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini dapat ditujukan ke penulis melalui email: 1883067@gmail.com

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

TUGAS AKHIR – EE 184801

PENGATURAN TRACKING POSISI PANEL PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC TIPE 2

Januario Julio Cesar Sequeira Saldanha
NRP 07111340000133

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

FINAL PROJECT – EE 184801

PHOTOVOLTAIC PANEL TRACKING SYSTEM USING TYPE-2 FUZZY LOGIC CONTROLLER

Januario Julio Cesar Sequeira Saldanha
NRP 07111340000133

Supervisor(s)
Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020