



**PERANCANGAN SISTEM *TRACKING* PANEL SURYA
MENGUNAKAN METODE KENDALI LOGIKA *FUZZY***

SKRIPSI

Oleh

**Muhammad Arwani
NIM 131910201118**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PERANCANGAN SISTEM *TRACKING* PANEL SURYA
MENGUNAKAN METODE KENDALI LOGIKA *FUZZY***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Muhammad Arwani
NIM 131910201118**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang saya raih sebelum menuju kesuksesan selanjutnya dalam hidup saya. Dengan ketulusan hati dan rasa syukur saya persembahkan karya ini kepada:

1. Allah SWT. Nabi dan Rosul Allah.
2. Kedua orang tua saya Bapak Syaekhoni (alm.) dan Ibu Umi Qowimah yang telah mendidik, membesarkan, memberi cinta dan kasih sayang serta doa yang tiada putus hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini, dan saya persembahkan gelar yang saya dapatkan untuk mereka;
3. Dosen Pembimbing Utama Bapak Ali Rizal Chaidir, serta Bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak Triwahyu Hardianto atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini;
4. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember
5. Saudara-saudara ku di Teknik Elektro Universitas Jember;
6. Almamater Universitas Jember.

MOTO

“Ilmu, kemahiran dan segala pemberian yang datang daripada Allah tidak hadir secara percuma. Ia datang dengan tanggungjawab. Ilmu yang diberikan oleh Allah itu menuntut kepada kita untuk diamalkan”

(Tuan Guru Nik Abdul Aziz Nik Mat)

A person who never made a mistake never tried anything new

(Albert Einstein)

Kalau hidup hanya sekedar hidup, kera di rimba juga hidup. Kalau kerja hanya sekedar kerja, kerbau di sawah juga bekerja.

(Buya Hamka)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Arwani

NIM : 131910201118

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Perancangan Sistem *Tracking* Panel Surya Menggunakan Metode Kendali Logika *Fuzzy*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 29 Januari 2018

Yang menyatakan,

Muhammad Arwani
NIM 131910201118

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM *TRACKING* PANEL SURYA
MENGUNAKAN METODE KENDALI LOGIKA *FUZZY***

Oleh

Muhammad Arwani
NIM 131910201118

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ali Rizal Chaidir, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Perancangan Sistem *Tracking* Panel Surya Menggunakan Metode Kendali Logika *Fuzzy*” karya Muhammad Arwani telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 30 Januari 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Ali Rizal Chaidir, S.T.,M.T.
NIP 760015754

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826 199702 1 001

Anggota II,

Anggota III,

Sumardi, S.T., M.T.
NIP 19670113 199802 1 001

Samsul Bachri Masmachofari
S.T., M.MT
NIP 19640317 199802 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

Perancangan Sistem Tracking Panel Surya Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy (*Design of Solar Panel Tracking System Using Fuzzy Logic Control Method*)

Muhammad Arwani

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Jember
E-mail: arwani.mtr@gmail.com*

ABSTRAK

Pengembangan energi listrik tenaga surya atau panel surya yang menjadi *renewables energy* kurang mendapatkan perhatian masyarakat secara luas. Pada era globalisasi dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi diharapkan suatu metode yang sesuai guna mendapatkan panel surya yang lebih efektif dan efisien. Penelitian sebelumnya menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari menemukan beberapa kendala yang ditemui yaitu keadaan di luar laboratorium sulit dikendalikan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi intensitas cahaya matahari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan dan akibat dari penggunaan metode sistem *tracking* panel surya dengan *fuzzy logic*. Metode sistem *tracking* panel surya menggunakan *fuzzy logic* menjadi suatu metode yang mencari suatu titik daya maksimum tertentu dipengaruhi oleh karakteristik arus dan tegangan input pada aplikasi panel surya. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu dengan metode kendali *fuzzy logic* pada panel surya ini mencari nilai daya maksimum supaya nilai efisiensi daya baik. Selain itu, sensor BH1750 dalam *rule fuzzy logic* diperoleh data akurat karena sensor sudah terkalibrasi. Nilai daya yang digunakan pada motor *stepper* kecil sehingga menghemat penggunaan baterai pada proses *scanning*. Perbedaan intensitas matahari yang diterima oleh sensor BH1750 tidak selalu sama dalam proses *tracking*. Oleh karena itu, perbandingan kerja panel surya dipengaruhi oleh beberapa factor, seperti 1) suhu, 2) intensitas cahaya matahari, dan 3) orientasi cahaya yang diterima oleh panel surya.

Kata Kunci : panel surya, sistem tracking, fuzzy logic, metode kendali

Perancangan Sistem Tracking Panel Surya Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy (*Design of Solar Panel Tracking System Using Fuzzy Logic Control Method*)

Muhammad Arwani

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Jember
E-mail: arwani.mtr@gmail.com*

ABSTRACT

Development of solar electric energy or solar panels into renewables energy is not getting the public's attention widely. In the era of globalization and the development of science and technology is expected an appropriate method to get solar panels more effectively and efficiently. Previous research using sunlight focusing lens found some obstacles encountered that circumstances outside the laboratory is difficult to be controlled by several factors that affect the intensity of sunlight. This research purposes to determine the characteristics of current and voltage generated and result from the use of solar system tracking system with fuzzy logic. The method of solar panel tracking system using fuzzy logic into a method that searches for a certain maximum power point is influenced by current and voltage characteristics of input in solar panel applications. The conclusion of this research is by fuzzy logic control method in this solar panel to find the maximum power value so that the value of power efficiency is good. In addition, the BH1750 sensor in the fuzzy logic rule obtained accurate data because the sensor has been calibrated. The value of power used in small stepper motors thereby saving battery usage in the scanning process. The difference in the intensity of the sun received by the BH1750 sensor is not always the same in the tracking process. Therefore, the comparison of solar panel work is influenced by several factors, such as 1) temperature, 2) the intensity of sunlight, and 3) the light orientation received by the solar panel.

Keywords: *solar panel, tracking system, fuzzy logic,*

RINGKASAN

Perancangan Sistem Tracking Panel Surya Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy; Muhammad Arwani; 131910201118; 2017; 55 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Energi alternatif yang digunakan dengan memanfaatkan energi matahari. Energi matahari sebagai sumber energi utama kehidupan di bumi. Energi tersebut menjadi energi terbarukan dengan estimasi yang dapat diperbarui sekitar 4,1% untuk Biomasa, *Geothermal*, dan *solar heat*. Radiasi matahari secara langsung menghasilkan panas, dingin, dan listrik. Energi ini secara tidak langsung dihasilkan melalui tenaga air, energi angin, energi gelombang laut, energi panas dari lingkungan dan energi dari biomasa (Fiala & Michalikova, 2011). Adanya efek fotolistrik dalam semikonduktor dapat mengubah energi matahari pada sel surya untuk energi listrik. Transformasi energi surya menjadi energi listrik membutuhkan efek *photovoltaic* yang membentuk sel *photovoltaic* (PV) yang ditemukan oleh A. Becquerel (1839).

Photovoltaic (PV) atau sel surya merupakan jenis pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi udara, suara pada pembangkit listrik konvensional seperti pembangkit listrik tenaga surya. Sel surya dapat digunakan di berbagai lokasi yang memiliki potensi sinar matahari, terutama daerah yang bersifat tropis yang mempunyai potensi sekitar 4,6 kWh/m²/hari. Energi listrik yang dihasilkan dari transformasi sel surya sangat berpengaruh terhadap intensitas sinar matahari (Asy'ari, dkk., 2014). Berdasarkan penelitian pada tahun 2014 indikator energi yang dapat diperbarui untuk kapasitas PV matahari sebesar 177 GW.

Namun pada aplikasinya, pengembangan energi listrik tenaga surya atau panel surya yang menjadi *renewables energy* kurang mendapatkan perhatian masyarakat secara luas. Pada era globalisasi dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi diharapkan suatu metode yang sesuai guna mendapatkan panel surya yang lebih efektif dan efisien. Metode sistem *tracking* panel surya menggunakan

Fuzzy Logic menjadi suatu metode yang mencari suatu titik daya maksimum tertentu dipengaruhi oleh karakteristik arus dan tegangan input pada aplikasi panel surya.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari untuk optimalisasi tegangan keluaran sel surya (Afifudin & Hananto, 2012), diperoleh hasil dengan lensa konvergen mempengaruhi besar daya cahaya matahari. Penelitian ini menghasilkan suatu inovasi baru dalam meningkatkan intensitas energi matahari yang meningkat dan mempengaruhi nilai *voltase* serta arus listrik dari sel surya. Namun, pada awalnya penggunaan lensa pemfokus cahaya matahari menemukan beberapa kendala yang ditemui yaitu keadaan di luar laboratorium yang sulit dikendalikan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi intensitas cahaya matahari. Oleh karena itu, penelitian ini menghasilkan nilai daya yang digunakan pada motor *stepper* kecil sehingga menghemat penggunaan baterai pada proses *scanning*. Perbedaan intensitas matahari yang diterima oleh sensor BH1750 tidak selalu sama dalam proses *tracking*. Oleh karena itu, perbandingan kerja panel surya dipengaruhi oleh beberapa factor, seperti 1) suhu, 2) intensitas cahaya matahari, dan 3) orientasi cahaya yang diterima oleh panel surya.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Perancangan Sistem *Tracking* Panel Surya Menggunakan Metode Kendali Logika *Fuzzy*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Ali Rizal Chaidir, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Bapak Sumardi,S.T., M.T.selaku dosen penguji I;
5. Bapak Samsul Bachri Masmachofari S.T., M.MT. selaku dosen penguji II;
6. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
7. Para staf karyawan dan karyawan serta teknisi Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan bantuan selama mengikuti pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Jember;
8. Kedua orang tua saya Bapak Syaekhoni (alm.) dan Ibu Umi Qowimah tercinta yang telah memberikan dorongan, semangat, kasih sayang, perhatian, kesabaran dan doa yang tak pernah putus demi mempermudah saya mencapai kesuksesan hingga terselesaikannya skripsi ini;

9. Bapak Nurjiyono, Ibu Sugiyarti, Winda Dwi Astuti, Ulil Azmi, Siti Miratul Fadilah, dan Ilham Nur Azizi yang selalu memberikan motivasi dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Keluarga besar yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan kepada saya untuk menyelesaikan skripsi ini;
11. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Elektro Universitas Jember semoga tetap menjadi saudara selamanya.
12. Gilang Said yang berjuang bersama dalam menempuh program alih jenjang S1 Teknik Elektro Universitas Jember.
13. Dan seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu;

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan bagi penulis sendiri pada khususnya semoga Allah SWT memberikan yang terbaik untuk kita semua. Amin

Jember, 24 Januari 2018

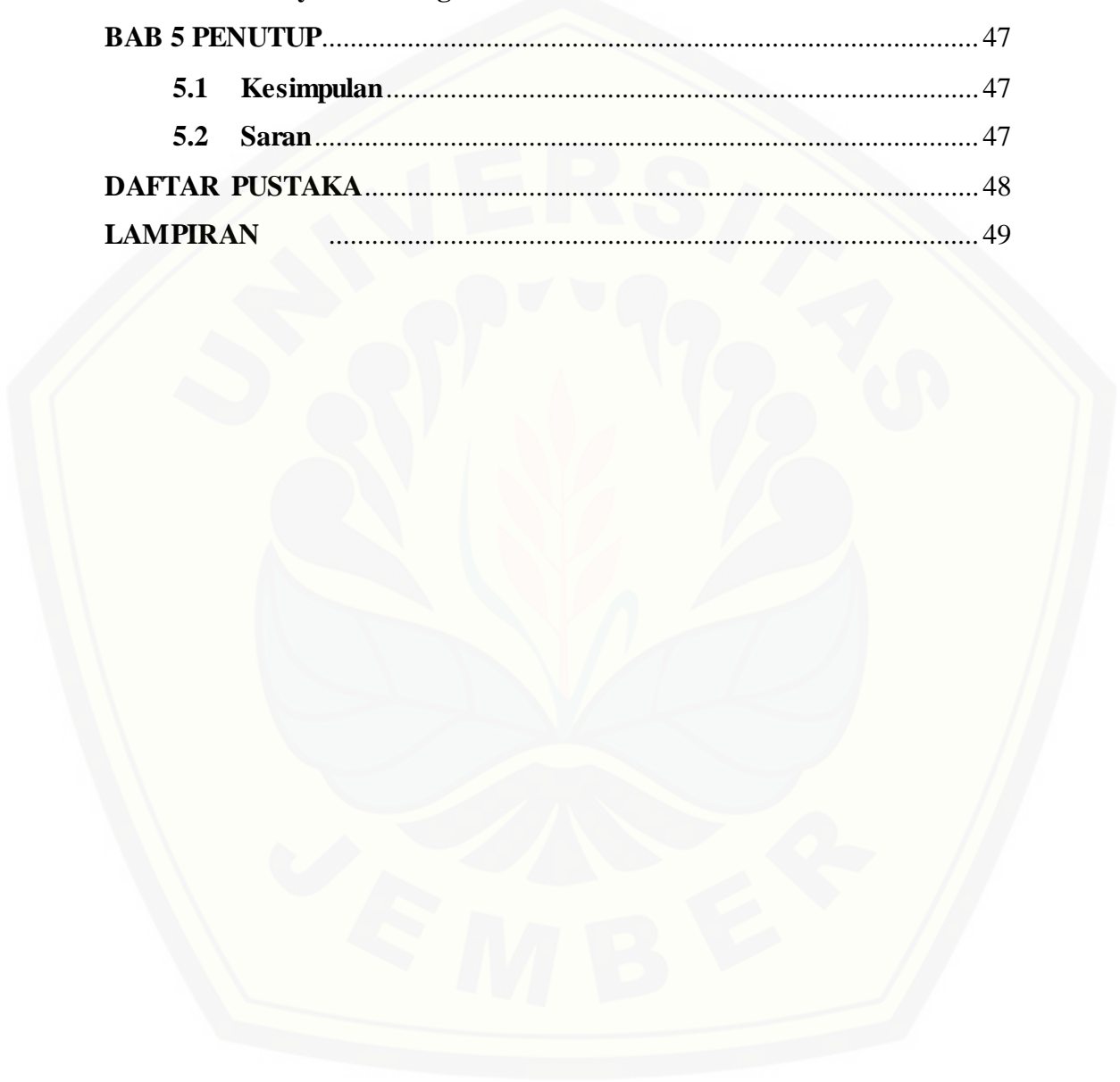
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO.....	iii
PERNYATAAN	iv
PENGESAHAN	vi
ABSTRAK.....	vii
RINGKASAN.....	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika pembahasan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sel Surya	5
2.2 Intensitas Cahaya	6
2.3 ADC (Analog to Digital Converter)	6
2.4 Sensor Cahaya BH1750	8
2.5 Sensor Arus INA219.....	9
2.6 RTC (Real Time Clock) DS1307.....	10

2.7	Metode <i>Fuzzy</i>	11
2.7.1	Logika <i>Fuzzy</i>	11
2.7.2	Fuzzifikasi	11
2.7.3	Fungsi Keanggotaan.....	11
2.7.4	Defuzifikasi	14
2.7.5	Konfigurasi dasar kendali logika fuzzy.....	16
2.8	LCD 16x2	16
2.9	Motor <i>Stepper</i>	17
2.10	Modul Pengendali Motor <i>Stepper</i> A3967	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2	Alat dan Bahan	19
3.2.1	Alat.....	19
3.2.2	Bahan	20
3.3	Perancangan Sistem	20
3.3.1	Diagram Alir	21
3.3.2	Desain Kontrol <i>Fuzzy</i>	23
3.4	Realisasi Alat	29
3.4.1	Sensor Cahaya BH1750.....	29
3.4.2	Sensor Tegangan	30
3.4.3	Driver Motor <i>Stepper</i>	31
3.4.4	Rangkaian Sistem Elektrik	31
3.4.5	Penempatan Sensor BH1750 Pada Panel Surya	33
3.4.6	Pergerakan <i>Tracking</i> Panel Surya.....	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Pengujian Sensor Cahaya BH1750	35
4.2	Hasil Pengambilan Data	37
4.2.1	Pengambilan Data Sampel per-30 menit.....	37

4.2.2 Analisis Data Pengujian	38
4.3 Analisis Data	41
4.4 Kelayakan Energi Listrik.....	44
BAB 5 PENUTUP.....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN	49



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Cara Kerja Sel Surya.....	6
Gambar 2.2 ADC dengan kecepatan sampling rendah dan kecepatan sampling tinggi	7
Gambar 2.3 Blok diagram Light Sensor BH1750	8
Gambar 2.4 Sensor INA219	9
Gambar 2.5 Konfigurasi RTC DS1307	10
Gambar 2.6 Grafik Fungsi Keanggotaan.....	12
Gambar 2.7 Diagramatik defuzifikasi.....	15
Gambar 2.8 Konfigurasi dasar kendali logika fuzzy	16
Gambar 2.9 Pengaplikasian Dengan Arduino Uno	18
Gambar 3.1 Blok diagram kerja alat.....	20
Gambar 3.2 diagram alir	22
Gambar 3.3 Input Variabel Cahaya	23
Gambar 3.4 Input Variabel Horizontal.....	25
Gambar 3.5 Input Variabel Vertikal.....	25
Gambar 3.6 Output Variabel Horizontal.....	26
Gambar 3.7 Output Variabel Vertikal.....	27
Gambar 3.8 Blok Diagram Sensor BH1750	29
Gambar 3.9 Modul Sensor BH1750	30
Gambar 3.10 Rangkaian Sensor Tegangan	30
Gambar 3.11 Pemasangan Driver Motor Stepper.....	31
Gambar 3.12 Rangkaian Sistem Elektrik <i>Master</i>	32
Gambar 3.13 Rangkaian Sistem Elektrik <i>Slave</i>	32
Gambar 3.14 Posisi Penempatan Sensor BH1750 Pada Panel Surya	33
Gambar 3.15 Posisi Pergerakan Panel Surya.....	33

Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian SensorBH1750	37
Gambar 4.2 Perbandingan nilai Voc hasil pengujian.....	39
Gambar 4.3 Perbandingan Isc hasil pengujian.....	40
Gambar 4.4 Perbandingan daya yang dihasilkan dalam pengujian.....	41
Gambar 4.5 Perbandingan nilai Voc	42
Gambar 4.6 Perbandingan nilai Isc	43
Gambar 4.7 Perbandingan Daya keluaran dari panel surya.....	44
Gambar 4.8 Sistem <i>management relai</i> yang dikontrol arduino	46
Gambar 4.9 Alat Secara Keseluruhan	46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	19
Tabel 3.2 Parameter Kecerahan	23
Table 3.3 Mekanisme Sensor Cahaya BH1750	24
Tabel 4.1 Hasil Sampel Pengujian	35
Tabel 4.2 Hasil pengujian menggunakan Fluxmeter	36
Tabel 4.3 Pengukuran V_{oc} , I_{sc} dan analisis P_{out} dan η	38
Tabel 4.4 Data daya rata-rata dan energi listrik yang dilakukan selama 30 menit	45

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan yang sedang terjadi di hampir seluruh dunia berkaitan dengan penggunaan energi. Energi sebagai faktor utama bagi terjadinya pertumbuhan suatu negara, baik dari sektor ekonomi, pangan, dan kesejahteraan masyarakat. Hal ini dikarenakan kebutuhan energi yang semakin kompleks dan meningkat. Kebutuhan energi saat ini mencapai 10 Terra Watt setara dengan 3×10^{20} Joule/ tahun dan diprediksikan meningkat hingga mencapai 30 Terra Watt pada tahun 2030. Kebutuhan yang semakin meningkat terhadap energi tidak sebanding dengan lingkungan yang bersih akan polusi (Yulianto, 2011). Oleh karena itu, diharapkan suatu energi alternatif yang menciptakan suatu lingkungan bersih akan polusi.

Energi alternatif yang digunakan dengan memanfaatkan energi matahari. Energi matahari sebagai sumber energi utama kehidupan di bumi. Energi tersebut menjadi energi terbarukan dengan estimasi yang dapat diperbarui sekitar 4,1% untuk Biomasa, *Geothermal*, dan *solar heat*. Radiasi matahari secara langsung menghasilkan panas, dingin, dan listrik. Energi ini secara tidak langsung dihasilkan melalui tenaga air, energi angin, energi gelombang laut, energi panas dari lingkungan dan energi dari biomasa (Fiala & Michalikova, 2011). Adanya efek fotolistrik dalam semikonduktor dapat mengubah energi matahari pada sel surya untuk energi listrik. Transformasi energi surya menjadi energi listrik membutuhkan efek *photovoltaic* yang membentuk sel *photovoltaic* (PV) yang ditemukan oleh A. Becquerel (1839).

Photovoltaic (PV) atau sel surya merupakan jenis pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi udara, suara pada pembangkit listrik konvensional seperti pembangkit listrik tenaga surya. Sel surya dapat digunakan di berbagai lokasi yang memiliki potensi sinar matahari, terutama daerah yang bersifat tropis yang mempunyai potensi sekitar $4,6 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. Energi listrik yang dihasilkan dari transformasi sel surya sangat berpengaruh

terhadap intensitas sinar matahari (Asy'ari, dkk., 2014). Berdasarkan penelitian pada tahun 2014 indikator energi yang dapat diperbarui untuk kapasitas PV matahari sebesar 177 GW.

Namun pada aplikasinya, pengembangan energi listrik tenaga surya atau panel surya yang menjadi *renewables energy* kurang mendapatkan perhatian masyarakat secara luas. Pada era globalisasi dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi diharapkan suatu metode yang sesuai guna mendapatkan panel surya yang lebih efektif dan efisien. Metode sistem *tracking* panel surya menggunakan *Fuzzy Logic* menjadi suatu metode yang mencari suatu titik daya maksimum tertentu dipengaruhi oleh karakteristik arus dan tegangan input pada aplikasi panel surya.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari untuk optimalisasi tegangan keluaran sel surya (Afifudin & Hananto, 2012), diperoleh hasil dengan lensa konvergen mempengaruhi besar daya cahaya matahari. Penelitian ini menghasilkan suatu inovasi baru dalam meningkatkan intensitas energi matahari yang meningkat dan mempengaruhi nilai *voltase* serta arus listrik dari sel surya. Namun, pada awalnya penggunaan lensa pemfokus cahaya matahari menemukan beberapa kendala yang ditemui yaitu keadaan di luar laboratorium yang sulit dikendalikan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi intensitas cahaya matahari. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan inovasi yang baru pada pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi listrik dengan cara pemberian metode sistem *tracking* panel surya menggunakan *Fuzzy Logic* yang digunakan untuk mendeteksi titik daya maksimum yang lebih akurat. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan nilai efisiensi tegangan dan arus yang maksimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengoptimalkan nilai daya dengan mengetahui karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan dari penggunaan metode sistem *tracking* panel surya menggunakan *Fuzzy Logic*?
2. Bagaimana pengaruh nilai efisiensi dan energi listrik yang dihasilkan akibat penggunaan metode sistem *tracking* panel surya menggunakan *Fuzzy Logic*?

1.3 Tujuan

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa tujuan yang diantaranya:

1. Mendesain dan membangun sistem *tracking* panel surya dengan menggunakan *Fuzzy Logic*.
2. Mengetahui daya, tegangan, dan arus yang dihasilkan akibat pengaruh metode sistem *tracking* panel surya menggunakan *Fuzzy Logic*.
3. Membandingkan pengaruh nilai efisiensi dan energi listrik yang dihasilkan akibat metode sistem *tracking* panel surya menggunakan *Fuzzy Logic*.

1.4 Manfaat

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa manfaat yang diantaranya yaitu menerapkan ilmu pengetahuan yang diperoleh di bangku kuliah sebagai pembelajaran bagi peneliti untuk mengembangkan lebih lanjut penelitian ini, meningkatkan konsep atau teori yang mendukung upaya efisiensi panel surya, serta memberikan inovasi baru sebagai sarana meningkatkan minat masyarakat untuk beralih ke pemanfaatan energi surya sebagai sumber pembangkit energi listrik.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut, maka pembahasan pada skripsi dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Metode sistem *tracking* panel surya menggunakan *Fuzzy Logic*.
2. Pengambilan data meliputi arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya.
3. Sensor yang digunakan BH1750, arus dan tegangan.
4. Motor yang digunakan jenis motor *stepper* bipolar DC 1,2A dengan 1,8 derajat.
5. Menggunakan panel surya maksimal 50WP dengan ukuran 60cm x 60cm.

1.6 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan tentang dasar teori yang berhubungan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan metode dan langkah-langkah penyelesaian skripsi.

BAB 4. PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Berisi hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian.

BAB 5. PENUTUP

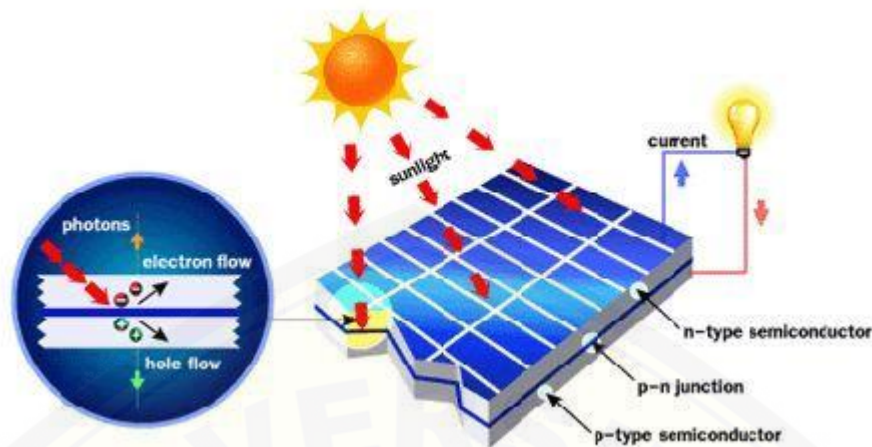
Berisi tentang kesimpulan akhir dan saran dari penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

Sel surya atau juga sering disebut fotovoltaik adalah alat yang mampu mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya bisa disebut sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang sampai ke bumi, walaupun selain dipergunakan untuk menghasilkan listrik, energi dari matahari juga bisa dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem *solar thermal*.

Sel surya dapat dianalogikan sebagai alat dengan dua terminal atau sambungan. Apabila kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan ketika disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Pada saat disinari umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5). Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar 2.1 menunjukkan ilustrasi dari modul surya.



Gambar 2.1 Cara Kerja Sel Surya

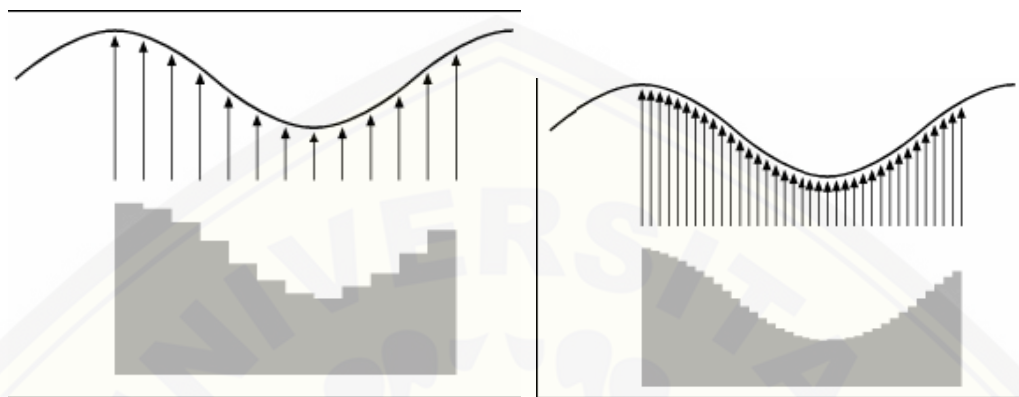
2.2 Intensitas cahaya

Intensitas cahaya merupakan besaran pokok fisika untuk mengukur besarnya daya yang dipancarkan oleh suatu cahaya dengan arah tertentu dengan satuan sudut. Intensitas pada radiasi surya sangat bergantung dari kondisi atmosfer pada permukaan bumi. Batas luar atmosfer bumi tercatat radiasi bumi sebesar 1353 W/m^2 dengan jarak rata-rata bumi terhadap matahari. Angka tersebut biasa disebut dengan konstanta surya. Konstanta ini didefinisikan sebagai besaran energi rata-rata yang diterima oleh bumi dari matahari per unit luas permukaan. Pada dasarnya seluruh energi tersebut tidak dapat mencapai permukaan bumi secara keseluruhan karena sebagian dari energi terserap (*absorpsi*) sangat kuat oleh karbon dioksida dan uap air yang berada di atmosfer.

2.3 ADC (*Analog to Digital Converter*)

Analog to Digital Converter (ADC) adalah pengubah input analog menjadi kode-kode digital. ADC banyak digunakan sebagai pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran/pengujian. Selain itu, ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan/berat, aliran dan sebagainya kemudian diukur dengan menggunakan sistem digital (komputer). ADC memiliki 2 karakter prinsip, yaitu kecepatan sampling dan resolusi. Kecepatan sampling

suatu ADC menyatakan seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu. Kecepatan tersebut biasanya dinyatakan dalam **sample per second (SPS)**.



Gambar 2.2 ADC dengan kecepatan sampling rendah dan kecepatan sampling tinggi

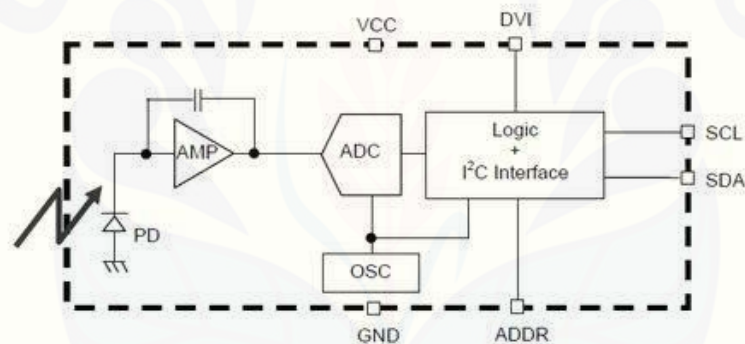
Resolusi ADC menentukan ketelitian nilai hasil konversi ADC. Sebagai contoh: ADC 8 bit akan memiliki output 8 bit data digital. Hal ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 255 ($2^n - 1$) nilai diskrit. ADC 12 bit memiliki 12 bit output data digital, yang berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 4096 nilai diskrit. Gambar 2.2 menunjukkan ADC 12 bit akan memberikan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih baik daripada ADC 8 bit. Prinsip kerja ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi. Apabila tegangan referensi 5 volt, tegangan input 3 volt, maka rasio input terhadap referensi adalah 60%. Oleh karena itu, jika menggunakan ADC 8 bit dengan skala maksimum 255, akan didapatkan sinyal digital sebesar $60\% \times 255 = 153$ (bentuk decimal) atau 10011001 (bentuk biner).

$$\begin{aligned} \text{signal} &= (\text{sample}/\text{max_value}) * \text{reference_voltage} \\ &= (153/255) * 5 \\ &= 3,4 \text{ volts} \end{aligned}$$

2.4 Sensor Cahaya BH1750

Sensor cahaya BH1750 merupakan modul sensor intensitas cahaya dengan keluaran sinyal digital dengan resolusi 16 bit, yang didalamnya sudah terdapat rangkaian ADC (*analog to digital converter*) yang dapat langsung mengeluarkan sinyal digital dan tidak membutuhkan perhitungan yang rumit. Sensor BH1750 ini lebih akurat dan lebih mudah untuk digunakan, dari pada menggunakan versi foto dioda, atau ldr sederhana yang hanya mengeluarkan tegangan dan perlu dihitung untuk mendapatkan data intensitas. Dengan BH1750 intensitas Light Sensor dapat langsung diukur dengan keluaran luxmeter (lx), tanpa perlu membuat perhitungan.

Data output dengan sensor ini langsung output di satuan Lux (Lx). Ketika benda-benda yang menyala di homogen mendapatkan 1 lx fluks bercahaya dalam satu meter persegi, intensitas cahaya mereka 1LX.



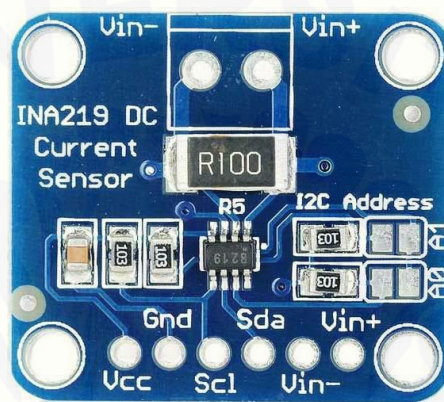
Gambar 2.3 Blok diagram Light Sensor BH1750

Fitur sensor BH1750:

1. Komunikasi I2C (SDA SCL)
2. Pencahayaan ke konverter digital
3. Resolusi pembacaan 1-65535 lx
4. Antarmuka masukan 1.8V Logic
5. Variasi pengukuran Kecil (+/- 20%)
6. Pengaruh inframerah sangat kecil.

2.5 Sensor Arus INA219

Sensor INA219 adalah sensor yang untuk mengukur arus DC. Modul sensor ini merupakan modul yang didukung dengan kemampuan ukur yang mampu mengukur sumber beban yang sampai 26Vdc dan arus 3,2 Amp. Ini merupakan modul sensor yang berukuran kecil yang mempunyai komunikasi I2C dengan tingkat presisi 1%. Dengan memanfaatkan perkalian hukum ohm juga dapat menghitung nilai daya. Modul ini didesain oleh perusahaan adafruit sehingga sudah tersedia library untuk koding pemrograman.



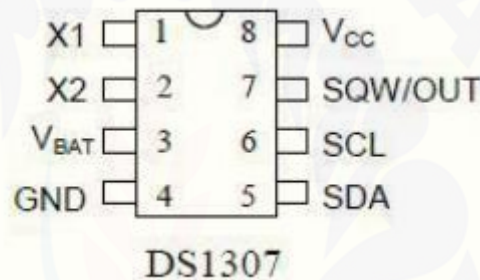
Gambar 2.4 Sensor INA219

Fitur Sensor INA219:

- Tegangan masukan 0v sampai 26V
- Dapat mengukur arus, tegangan dan daya
- Memiliki 16 alamat pemrograman
- Akurasi tinggi hingga 1%
- Memiliki *filtering option*
- *Calibrasi register*
- Ukuran modul 25.5mm x 22.3mm

2.6 RTC (*Real Time Clock*) DS1307

Komponen *Realtime clock* adalah komponen IC penghitung yang dapat difungsikan sebagai sumber data waktu baik berupa data jam, hari, bulan maupun tahun. Komponen DS1307 berupa IC yang perlu dilengkapi dengan komponen pendukung lainnya seperti crystal sebagai sumber clock dan Battery External 3,6 Volt sebagai sumber energy cadangan agar fungsi penghitung tidak berhenti. Bentuk komunikasi data dari IC RTC DS1307 adalah I2C. Komunikasi jenis ini hanya menggunakan 2 jalur komunikasi yaitu SCL dan SDA. Semua microcontroller sudah dilengkapi dengan fitur komunikasi 2 jalur ini, termasuk diantaranya Arduino Microcontroller.



Gambar 2.5 Konfigurasi RTC DS1307

Fitur RTC DS1307:

- Memori 56-byte
- *Battery-backed*
- RAM *nonvolatile* (NV) RAM untuk penyimpanan
- Serial *Two-wire* (I2C)
- Sinyal keluaran gelombang-kotak terprogram (*Programmable squarewave*)
- Deteksi otomatis kegagalan-daya (*power-fail*) dan rangkaian switch
- Konsumsi daya kurang dari 500nA menggunakan mode baterai cadangan dengan operasional osilator
- Tersedia fitur industri dengan ketahanan suhu: -40°C hingga +85°C
- Tersedia dalam kemasan 8-pin DIP atau SOIC

2.7 Metode Fuzzy

2.7.1 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan pengembangan dari teori himpunan *fuzzy* yang diprakarsai oleh Prof. Lotfi Zadeh dari *University California USA*. Logika *fuzzy* berbeda dengan logika digital biasa, dimana logika digital biasa hanya mengenal dua keadaan yaitu Ya_Tidak atau *On_Off* atau *High_Low* atau 1_0. Sedangkan logika *fuzzy* meniru cara berfikir manusia dengan menggunakan konsep sifat kesamaran suatu nilai.

Proses yang terjadi dalam sistem logika *fuzzy*, melibatkan variabel *fuzzy* pada masukan maupun keluaran. oleh karena itu variabel *input* yang bersifat *crisp* harus diubah menjadi variabel *fuzzy* melalui tahapan fuzzifikasi. fungsi yang memetakan variabel *fuzzy input* dan *output* dilakukan oleh metode *inferensi*. fungsi inferensi bekerja berdasarkan aturan-aturan logika yang dibuat oleh perancang. tahap akhir adalah tahap pemrosesan untuk mengembalikan keadaan hasil perhitungan sistem logika *fuzzy* ke dalam *crisp*. proses tersebut dikenal sebagai proses defuzifikasi.

2.7.2 Fuzzifikasi

Merupakan proses untuk mengubah variabel *non-fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). nilai masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik (*crisp*) yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengontrol logika *fuzzy* harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. proses ini dilakukan dengan cara mendefinisikan fungsi keanggotaan.

2.7.3 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik masukan data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan) yang memiliki nilai interval antara 0 dan 1 (Hartono, 2008). Misalkan saja pengklasifikasian umum seseorang baya dan tua. Seberapa besar keberadaannya dalam himpunan tersebut dapat dilihat pada nilai keanggotaannya, sebagai contoh menyatakan umur dinyatakan dalam gambar berikut ini.



Gambar 2.6 Grafik Fungsi Keanggotaan

Pada gambar diatas terlihat bahwa :

- Seseorang yang berumur 40 tahun, termasuk dalam himpunan muda dengan $\mu_{\text{muda}}[40] = 0.25$; namun umur tersebut juga termasuk dalam himpunan setengah baya dengan $\mu_{\text{setengahbaya}}[40] = 0.5$.
- Seseorang yang berumur 50 tahun, termasuk dalam himpunan tua dengan $\mu_{\text{tua}}[50] = 0.25$; namun umur tersebut juga termasuk dalam himpunan setengah baya dengan $\mu_{\text{setengah baya}}[50] = 0$.

Sistem inferensi *fuzzy* adalah komputasi berdasarkan konsep dari himpunan *fuzzy*, aturan jika-maka, dan logika *fuzzy* (Prabowo dkk., 2013). struktur dasar dari sistem inferensi *fuzzy* terdiri dari tiga komponen yaitu :

- Basis aturan (berisi aturan-aturan *fuzzy*)
- Basis data (berisi fungsi keanggotaan)
- Mekanisme penalaran (berisi prosedur informasi)

Basis aturan adalah suatu hal yang penting dalam pembuatan sistem *fuzzy* dan akan digunakan oleh mekanisme inferensi untuk menentukan aturan keluaran sistem *fuzzy*. Basis aturan pada sistem *fuzzy* dinyatakan menggunakan deskripsi linguistik. Deskripsi tersebut mencerminkan karakteristik untuk setiap masukan dan keluaran pada sistem *fuzzy*. Deskripsi linguistik ini akan mewakili suatu kuantitas yang nilainya dapat berubah-ubah terhadap waktu. Oleh karena itu, sistem *fuzzy* menotasikan suatu variabel linguistik untuk menyimpan deskripsi linguistik tersebut. Sebagai contoh, variabel linguistik untuk masukan (x_t)

mungkin mewakili deskripsi linguistik *error* sudut atau untuk keluaran (y_t) mewakili keluaran tegangan.

Seperti halnya x dan y yang mewakili setiap nilai pada semesta pembicaraan X dan Y , maka variabel linguistik x_i dan y_i juga mewakili nilai linguistik yang akan digunakan untuk mendeskripsikan sebuah karakteristik dari suatu variabel. Nilai linguistik pada umumnya merupakan kata-kata deskriptif, misalnya "sangat positif", "nol", dan "sangat positif". Sebagai contoh, jika x_t menotasikan variabel linguistik kecepatan, maka nilai linguistik $A_1 = \text{"lambat"}$, $A_2 = \text{"medium"}$, dan $A_3 = \text{"kencang"}$, sehingga variabel linguistik x_t memiliki nilai linguistik $A = \{A_1, A_2, A_3\}$.

Pemetaan masukan ke keluaran pada sistem *fuzzy* ditentukan oleh sebuah kondisi modus ponens (jika-maka), yaitu jika terdapat sejumlah kondisi maka terdapat sejumlah aturan aksi. Jika premis maka konsekuensi masukan pada sistem *fuzzy* diasosiasikan dengan premis dan keluaran diasosiasikan dengan konsekuensi. Aturan jika-maka ini selanjutnya dapat direpresentasikan ke banyak bentuk. Terdapat dua susunan standar yang sering digunakan, yaitu *multi input multi output* (MIMO) dan *multi input single output* (MISO).

Aturan linguistik untuk susunan MISO dengan n masukan, dapat dinyatakan sebagai berikut.

Jika (x_1 adalah A_1)*(x_2 adalah A_2)*, ..., * (x_n adalah A_n)

Maka ($y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$).....2.1

Aturan linguistik untuk susunan MIMO dengan n masukan, dapat dinyatakan sebagai berikut.

Jika (x_1 adalah A_1)*(x_2 adalah A_2)*, ..., * (x_n adalah A_n)

Maka (y_1 adalah B_1)*(y_2 adalah B_2)*, ..., * (y_n adalah B_n) dengan * adalah operator (misalnya OR atau AND).....2.2

Terdapat tiga tipe sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan dalam berbagai aplikasi. Perbedaan dari ketiga sistem inferensi ini adalah dalam konsekuensi aturan *fuzzy* dan proses defuzifikasi.

a. Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani

Metode Mamdani dikenal juga metode Max-Min. Metode ini

diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Basis aturan yang digunakan metode ini adalah

Jika (x1 adalah A1)*(x2 adalah A2)*,...*(xn adalah An)
 Maka (y adalah B).....2.3

b. Sistem Inferensi *Fuzzy* Sugeno

Metode Sugeno diperkenalkan oleh Takagi Sugeno Kang pada tahun 1985. Metode Sugeno hampir sama dengan metode Mamdani perbedaannya terletak pada konsekuensi aturan *Fuzzy*. Tidak seperti metode Mamdani yang konsekuensinya berbentuk aturan himpunan *Fuzzy*, metode Sugeno memiliki konsekuensi berbentuk aturan himpunan *Fuzzy*, metode Sugeno memiliki konsekuensi berbentuk konstanta atau persamaan. Secara umum metode Sugeno adalah sebagai berikut.

Jika (x1 adalah A1)*(x2 adalah A2)*(xn adalah An)
 Maka (y = f(x1,x2,..., xn)).....2.4

Dengan f(x1,x2,..., xn) biasanya adalah konstanta polinomial. Contoh aturan untuk metode Sugeno adalah sebagai berikut.

Jika (x adalah 'positif') maka (y = 0.1x + 0.6).....2.5

Jika (x adalah ' nol ') maka (y = 0.2x + 0.7).....2.6

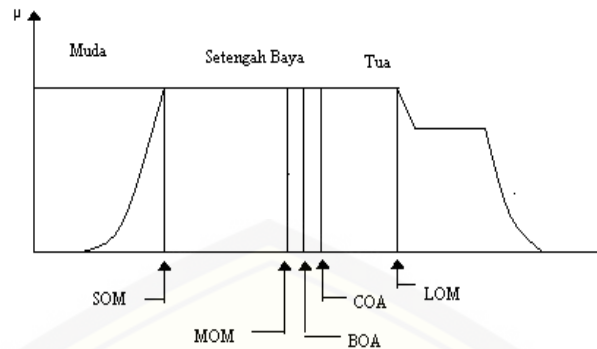
Jika (x adalah 'positif') maka (y = 0.2x + 0.8).....2.7

c. Sistem Inferensi *Fuzzy* Tsukamoto

Pada metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan jika-maka ditunjukkan oleh himpunan *Fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Keluarannya adalah nilai *crisp* yang diberikan pembobotan aturan dan keseluruhan keluarannya adalah rata-rata pembebanan setiap keluaran aturan. Walaupun metode ini lebih cepat, namun metode ini jarang digunakan karena tidak transparan seperti metode yang lain.

2.7.4 Defuzifikasi

Merupakan proses kebalikan dari Fuzifikasi yaitu memetakan kembali himpunan *Fuzzy* ke dalam himpunan *crisp* agar keluaran dari sistem *Fuzzy* dapat diproses lebih lanjut. Secara umum, terdapat lima metode defuzifikasi untuk himpunan *Fuzzy* A dalam semesta pembicaraan Z, seperti terlihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Diagramatik defuzifikasi

1. *Centroid of Area (COA)*

$$Z_{COA} = \int_x \mu_a(x)zdz / \int_x \mu_a(x)dz \dots\dots\dots 2.8$$

$\mu_A(z)$ adalah keluaran dari fungsi keanggotaan.

2. *Bisector of Area (BOA)*

$$\int_0^{Z_{BOA}} \mu_A(z)dz = \int_{Z_{BOA}}^U \mu_A(z)dz \dots\dots\dots 2.9$$

$\alpha = \min \{z|z \in Z\}$ dan $\beta = \max \{z|z \in Z\}$. Garis vertical $z = Z_{BOA}$ membagi daerah antara $z = \alpha$, $z = \beta$, $y = 0$ dan $y = \mu_A(z)$ menjadi dua daerah yang sama.

3. *Mean of Area (MOM)*

Solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum. Secara matematis ditulis :

$$Z_{MOM} = \int_z z dz / \int_z dz \dots\dots\dots 2.10$$

$$Z' = \{Z | \mu_A(Z) = \mu^*\} \dots\dots\dots 2.11$$

4. *Smallest of Maximum (SOM)*

Solusi *crisp* didapat dengan mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum

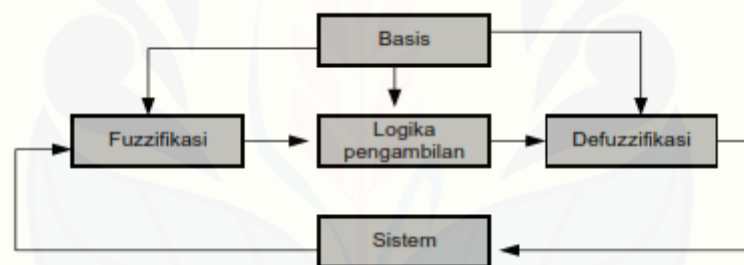
5. *Largest of Maximum (LOM)*

Solusi *crisp* didapat dengan mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.

2.7.5 Konfigurasi dasar kendali logika fuzzy

Kendali *Fuzzy* mempunyai empat komponen yaitu :

1. Fuzzifikasi adalah proses modifikasi masukan tegas sehingga dapat diinterpretasikan dan dibandingkan dengan aturan – aturan dalam basis aturan.
2. Basis aturan atau “*rulebase*” berisi pengetahuan dalam bentuk himpunan aturan, mengenai cara terbaik untuk mengontrol sistem.
3. Mekanisme pengambilan keputusan atau “*inference mechanism*” yaitu evaluasi terhadap aturan kontrol yang akan diterapkan bersesuaian dengan kondisi yang sedang berlangsung kemudian memutuskan *input* yang harus diumpankan ke *plant* sebagai suatu aksi kontrol.
4. Defuzzifikasi adalah proses pengubahan konklusi yang diambil dalam *inference mechanism* kedalam *input plant* berupa aksi pengontrolan.



Gambar 2.8 Konfigurasi dasar kendali logika fuzzy.

2.8 LCD 16x2

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD berwarna mempunyai banyak sekali titik cahaya (*pixel*) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai suatu titik cahaya yang tidak memancarkan cahaya sendiri. Sumber cahaya di dalam sebuah perangkat LCD adalah lampu neon berwarna putih di bagian belakang susunan kristal cair. Titik cahaya yang jumlahnya puluhan ribu bahkan jutaan yang membentuk tampilan citra. Kutub kristal cair yang dilewati arus listrik

akan berubah karena pengaruh polarisasi medan magnetik yang dihasilkan. Oleh karena itu, akan meneruskan beberapa warna sedangkan warna lainnya tersaring.

Adapun fitur yang disajikan dalam LCD ini adalah :

- a. Terdiri dari 16 karakter dan 2 baris.
- b. Mempunyai 192 karakter tersimpan.
- c. Terdapat karakter generator terprogram.
- d. Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit.
- e. Dilengkapi dengan *back light*.

2.8 Motor Stepper

Motor *stepper* adalah sebuah peralatan elektromekanik yang mengubah pulsa elektrik menjadi pergerakan mekanik. *Shaft* atau kumparan motor *stepper* berputar per *step* ketika pulsa dimasukkan ke kumparan tersebut dengan urutan yang benar. Urutan pemberian pulsa ke motor *stepper* akan menyebabkan arah putaran yang berbeda, sedangkan besarnya frekuensi dari pulsa akan mempengaruhi kecepatan putaran motor *stepper*.

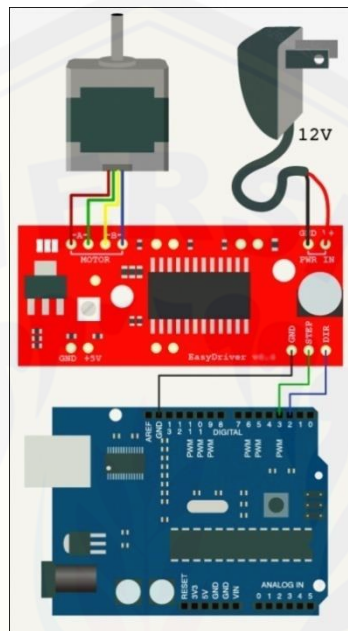
2.8 Modul Pengendali Motor Stepper A3967

Driver motor *stepper* A3967 adalah rangkaian sederhana dari ic A3967 yang digunakan untuk menggerakkan motor *stepper*. *Driver* tersebut sesuai dengan pengendali yang dapat mengeluarkan sinyal digital 0 sampai 5V (0 sampai pulsa 3.3V jika SJ2 ditutup pada modul). Modul pengendali motor *stepper* A3967 membutuhkan tegangan input 7V sampai 30V untuk menyalakan motor *stepper*. Modul tersebut memiliki regulator tegangan untuk antarmuka digital yang dapat diatur ke 5V atau 3,3V dengan menghubungkan 4pin kabel dari modul ke arduino dan kabel *stepper* motor pada 4,6, atau 8.

Fitur Modul pengendali motor *stepper* A3967:

- Menggunakan ic *microstepping* A3967
- Pin MS1 dan MS2 untuk mengubah resolusi *microstepping* untuk penuh, setengah, seperempat dan langkah kedelapan (*defaultnya* kedelapan).

- Kompatibel dengan motor *stepper* 4, 6, dan 8 kabel.
- Hanya membutuhkan arus 150mA sampai 750mA.
- Membutuhkan tegangan input 7V sampai 30V, semakin tinggi tegangan, semakin tinggi torsi pada kecepatan tinggi.



Gambar 2.9 Pengaplikasian Dengan Arduino Uno

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember dan untuk pengujian alat akan dilakukan di lingkungan sekitar kampus Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	BULAN					
		1	2	3	4	5	6
1.	Studi literatur	■	■	■	■	■	■
2.	Pengambilan data	■	■	■	■	■	■
3.	Mendesain alat	■	■	■	■	■	■
4.	Pembuatan alat	■	■	■	■	■	■
5.	Uji coba alat	■	■	■	■	■	■
6.	Pengolahan hasil dan data	■	■	■	■	■	■
7.	Penyusunan laporan	■	■	■	■	■	■

3.2 Alat dan Bahan

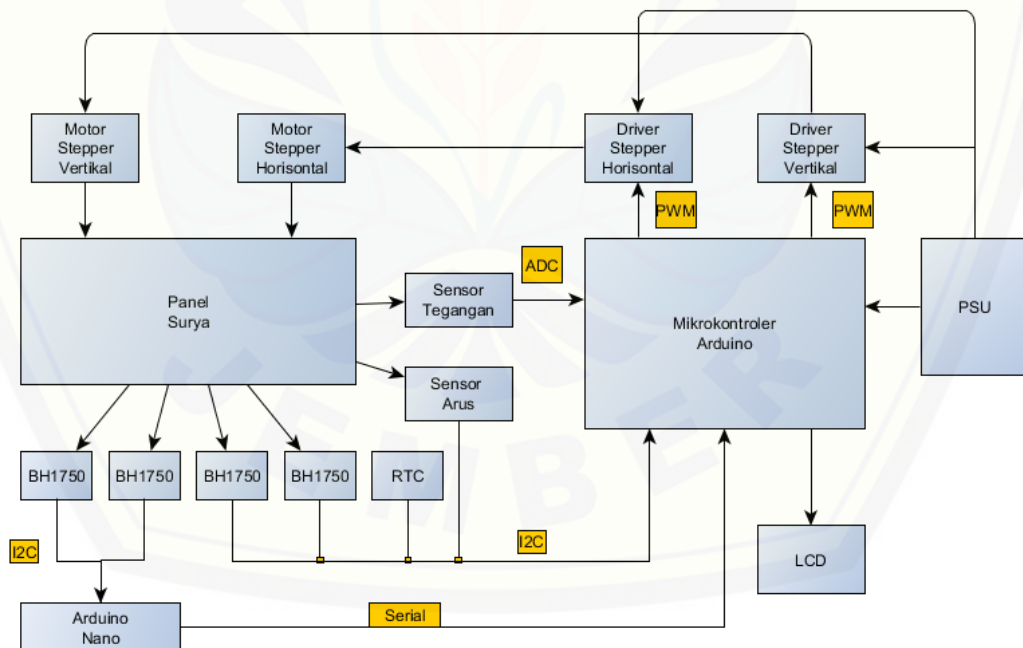
3.2.1 Alat

1. Solder
2. Timah
3. Tang potong
4. Tang jepit
5. Multimeter
6. Bor PCB
7. Atraktor
8. Gunting
9. Lem bakar

3.2.2 Bahan

1. Arduino UNO
2. Arduino nano
3. Motor Stepper
4. Driver Motor Stepper
5. 4 buah Sensor BH1750
6. Sensor Arus INA219
7. *Header male dan female*
8. LCD 16x2
9. Resistor
10. Kabel jumper

3.3 Perancangan Sistem



Gambar 3.1 Blok diagram kerja alat

Cara kerja blok diagram di atas yaitu merupakan sistem *Maximum Power Point Tracking Photovoltaic* (MPPT PV) yang terdiri atas panel surya, rangkaian driver yang memuat rangkaian sensor tegangan dan sensor arus, 4 buah sensor cahaya BH1750, 4 buah arduino Nano, Arduino Uno, LCD sebagai *display*, driver motor stepper dan aktuator berupa motor *stepper*. Secara umum, komponen-komponen tersebut dirancang agar bekerja sesuai dengan diagram blok pada Gambar 3.1.

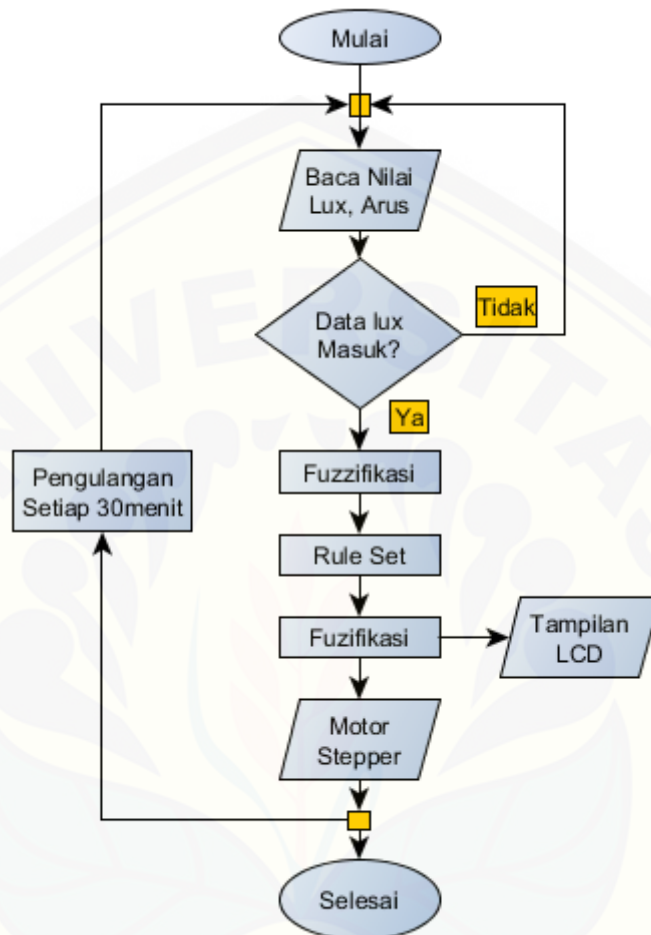
Gambar 3.1 menunjukkan bahwa keluaran panel surya berupa tegangan dan arus. Pada keluaran tegangan panel surya yang masih terlalu besar di butuhkan rangkaian pembagi tegangan untuk menurunkan tegangan. Hal ini supaya dapat diolah pada sinyal ADC mikrokontroler Arduino. Sensor arus diubah besarnya menjadi tegangan oleh sensor arus ACS712.

Pengambilan data berdasarkan sensor cahaya BH1750, keluaran sensor tersebut sudah berupa sinyal digital dengan komunikasi I2C (SDA SCL), tiap sensor menggunakan arduino uno yang mengubah komunikasi I2C menjadi komunikasi serial, komunikasi serial tersebut akan dihubungkan ke arduino utama yaitu arduino uno.

3.3.1 Diagram Alir

Pada alat ini pertama yaitu mengambil data dari empat sensor BH1750 yang sudah diubah oleh arduino nano dari data I2C menjadi data serial. Kemudian data serial tersebut selanjutnya akan diproses oleh mikrokontroler yang sebelumnya diisi dengan program *fuzzy*. Jenis *fuzzy* yang akan digunakan adalah menggunakan metode mamdani. Dalam proses *fuzzy* ini ada beberapa tahapan, tahapan yang pertama yaitu memasukkan data yang masuk ke dalam masukan mikrokontroler, di dalam mikrokontroler tersebut akan mengalami proses fuzifikasi. Dalam proses fuzifikasi ini nilai yang berasal dari sensor akan didefinisikan kedalam bentuk intensitas cahaya (lm). Kemudian setelah selesai dengan proses fuzifikasi, akan masuk pada bagian rule set. Di dalam rule set berisi pengetahuan yang dibutuhkan oleh logika *fuzzy* untuk mengambil keputusan motor *stepper* berputar ato tidak, setelah menemukan aturan yang sesuai dengan

keadaan maka proses akhir adalah proses defuzifikasi, dalam keputusan ini biasanya berupa aksi untuk menjalankan motor *stepper*.



Gambar 3.2 diagram alir

3.3.2 Desain Kontrol Fuzzy

3.3.2.1 Himpunan dan Fungsi keanggotaan

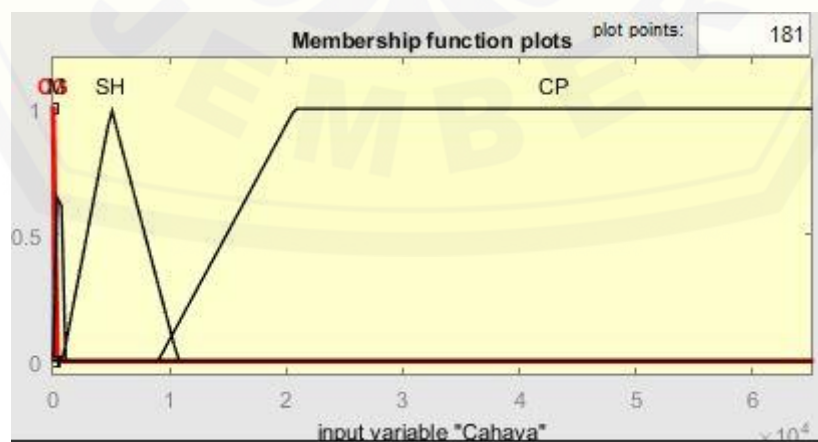
Himpunan *fuzzy* digunakan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sedemikian rupa sehingga fungsi tersebut dapat mencakup bilangan real pada interval antara 0 dan 1. Sehingga nilai yang didapatkan tidak hanya ada dua macam yaitu benar (1) dan salah (0), akan tetapi masih ada nilai yang terletak diantara benar dan salah. Dalam penelitian kali ini masukkan pada *fuzzy* menggunakan satu himpunan yaitu sensor cahaya BH1750 dengan satuan (lux).

a. Input

Kontrol fuzzy untuk kecerahan dapat dilihat pada 3.2 dimana nilai tersebut didapatkan dari *Recommended Light Level* tentang pengaturan kecerahan dalam ruangan dan luar ruangan.

Tabel 3.2 Parameter Kecerahan

No	Parameter	Nilai (lux)
1	Cahaya Gelap	0-107
2	Mendung	107-1075
3	Siang Hari	1075-10752
4	Cahaya Penuh	10752-107527



Gambar 3.3 Input Variabel Cahaya

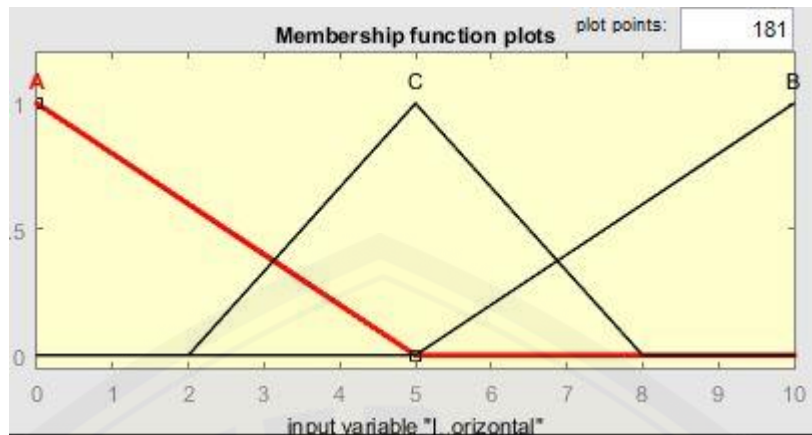
Berikut adalah representasi matematis yang digunakan untuk himpunan diatas:

$$\begin{aligned} \mu_{CG} = & \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 0 \\ (x-0)/50-0; & \rightarrow 0 \leq x \leq 5 \\ (170-x)/170-50; & \rightarrow 50 \leq x \leq 170 \\ 0; & \rightarrow x \geq 170 \end{cases} \\ \mu_M = & \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 90 \\ (x-90)/516-90; & \rightarrow 90 \leq x \leq 516 \\ (1059-x)/1059-516; & \rightarrow 516 \leq x \leq 1059 \\ 0; & \rightarrow x \geq 1059 \end{cases} \\ \mu_{SH} = & \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 800 \\ (x-800)/5000-800; & \rightarrow 800 \leq x \leq 5000 \\ (10752-x)/10752-5000; & \rightarrow 5000 \leq x \leq 10752 \\ 0; & \rightarrow x \geq 10752 \end{cases} \\ \mu_{CP} = & \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 8999 \\ (x-8999)/20750-0; & \rightarrow 8999 \leq x \leq 20750 \end{cases} \end{aligned}$$

Table 3.3 Mekanisme Sensor Cahaya BH1750

		VERTIKAL		
		D	E	F
HORIZONTAL	A	Timur ke Barat Selatan ke Utara	Timur ke Barat Utara ke Selatan	Timur ke Barat
	B	Barat ke Timur Selatan ke Utara	Barat ke Timur Utara ke Selatan	Barat ke Timur
	C	Selatan ke Utara	Timur ke Barat Selatan ke Utara	Center

Tabel 3.3 merupakan mekanisme pembacaan posisi sensor cahaya BH1750 yang diterapkan pada *rule* kontrol *fuzzy* pada gambar dibawah ini:



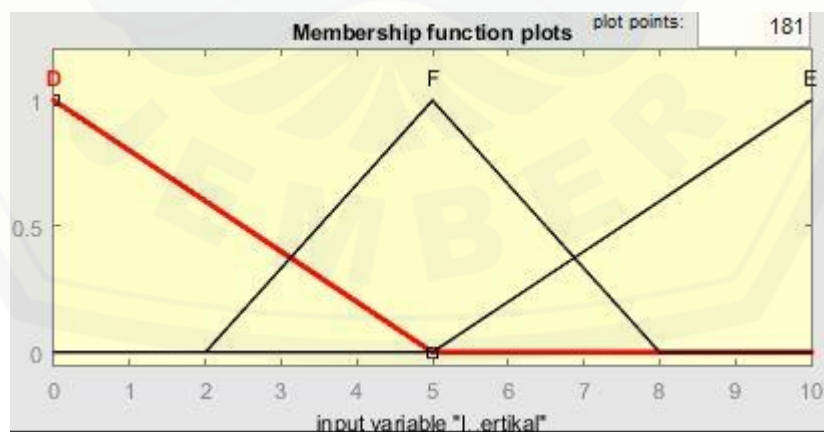
Gambar 3.4 Input Variabel Horizontal

Berikut adalah representasi matematis yang digunakan untuk himpunan diatas:

$$\mu A = \begin{cases} (5-x)/5-0; & \rightarrow 0 \leq x \leq 5 \\ 0; & \rightarrow x \geq 5 \end{cases}$$

$$\mu C = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 2 \\ (x-2)/5-2; & \rightarrow 2 \leq x \leq 5 \\ (8-x)/8-5; & \rightarrow 5 \leq x \leq 8 \\ 0; & \rightarrow x \geq 8 \end{cases}$$

$$\mu B = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 5 \\ (x-5)/10-5; & \rightarrow 5 \leq x \leq 10 \end{cases}$$



Gambar 3.5 Input Variabel Vertikal

Berikut adalah representasi matematis yang digunakan untuk himpunan diatas:

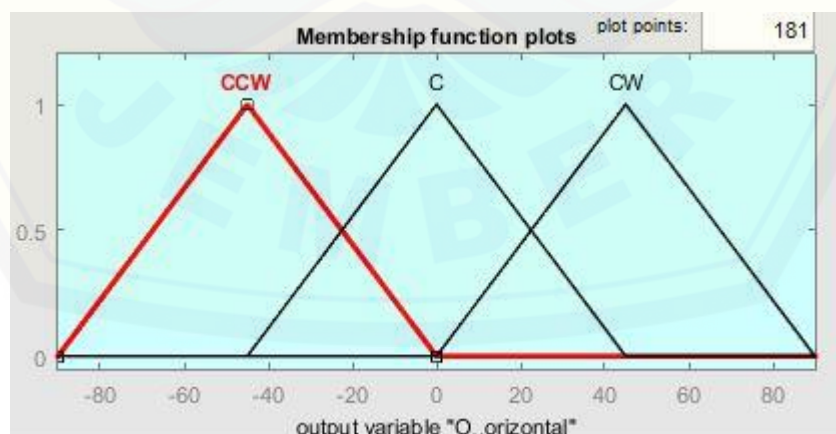
$$\mu D = \begin{cases} (5-x)/5-0; & \rightarrow 0 \leq x \leq 5 \\ 0; & \rightarrow x \geq 5 \end{cases}$$

$$\mu F = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 2 \\ (x-2)/5-2; & \rightarrow 2 \leq x \leq 5 \\ (8-x)/8-5; & \rightarrow 5 \leq x \leq 8 \\ 0; & \rightarrow x \geq 8 \end{cases}$$

$$\mu E = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 5 \\ (x-5)/10-5; & \rightarrow 5 \leq x \leq 10 \end{cases}$$

b. Output

Pada bagian ini merupakan hasil keluaran dari kontrol fuzzy dari dua masukan yaitu masukan vertical dan masukan horizontal. Keluaran ini didapatkan setelah pengambilan keputusan sebelumnya. Keputusan hasil keluaran digunakan untuk menggerakkan dua buah motor stepper vertical dan horizontal yang nilainya dapat berubah-ubah, nilai tersebut diubah menjadi tiga gerakan yaitu CW (*Counter Wise*) berputar searah jarum jam, CCW (*Counter Clock Wise*) berputar berlawanan arah jarum jam, C (*Centre*) posisi berada di tengah. Ketiga posisi tersebut diterapkan pada *rule* kontrol *fuzzy* pada gambar dibawah ini:



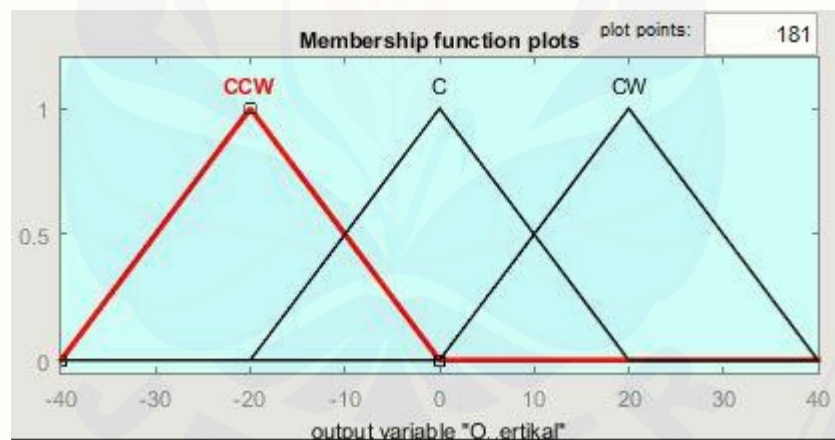
Gambar 3.6 Output Variabel Horizontal

Berikut adalah representasi matematis yang digunakan untuk himpunan diatas:

$$\mu_{CCW} = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq -90 \\ (x+90)/-45+90; & \rightarrow -90 \leq x \leq -45 \\ (0-x)/0+45; & \rightarrow -45 \leq x \leq 0 \\ 0; & \rightarrow x \geq 0 \end{cases}$$

$$\mu_C = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq -45 \\ (x+45)/0+45; & \rightarrow -45 \leq x \leq 0 \\ (45-x)/45-0; & \rightarrow 0 \leq x \leq 45 \\ 0; & \rightarrow x \geq 45 \end{cases}$$

$$\mu_{CW} = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 0 \\ (x-0)/45-0; & \rightarrow 0 \leq x \leq 45 \\ (90-x)/90-45; & \rightarrow 45 \leq x \leq 90 \\ 0; & \rightarrow x \geq 90 \end{cases}$$



Gambar 3.7 Output Variabel Horizontal

Berikut adalah representasi matematis yang digunakan untuk himpunan diatas:

$$\mu_{CCW} = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq -40 \\ (x+40)/-20+40; & \rightarrow -45 \leq x \leq 0 \\ (0-x)/0+20; & \rightarrow -20 \leq x \leq 0 \\ 0; & \rightarrow x \geq 0 \end{cases}$$

$$\mu C = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq -20 \\ (x+20)/0+20; & \rightarrow -20 \leq x \leq 0 \\ (20-x)/45-0; & \rightarrow 0 \leq x \leq 20 \\ 0; & \rightarrow x \geq 20 \end{cases}$$

$$\mu CW = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq 0 \\ (x-0)/20-0; & \rightarrow 0 \leq x \leq 20 \\ (40-x)/40-0; & \rightarrow 20 \leq x \leq 40 \\ 0; & \rightarrow x \geq 40 \end{cases}$$

3.3.2.2 Rule Base

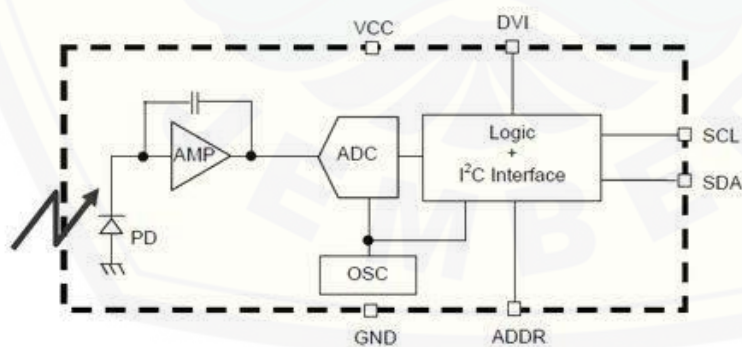
Dari beberapa himpunan *input* dan *output* yang telah dibuat seperti diatas, maka dibuatlah sebuah *rule base*. *Rule base* ini sendiri terdiri dari beberapa aturan yang nantinya akan dijadikan sebagai sumber pengetahuan dari program dalam menentukan keputusan yang terbaik. Berikut adalah aturan-aturan yang telah dibuat:

1. Jika Vertikal adalah D dan Horizontal adalah A dan Cahaya adalah CG maka Horizontal adalah CCW dan Vertikal adalah CCW.
2. Jika Vertikal adalah D dan Horizontal adalah C dan Cahaya adalah M maka Horizontal adalah C dan Vertikal adalah C.
3. Jika Vertikal adalah D dan Horizontal adalah B dan Cahaya adalah SH maka Horizontal adalah CW dan Vertikal adalah CW.
4. Jika Vertikal adalah F dan Horizontal adalah B dan Cahaya adalah M maka Horizontal adalah C dan Vertikal adalah C.
5. Jika Vertikal adalah F dan Horizontal adalah B dan Cahaya adalah SH maka Horizontal adalah CW dan Vertikal adalah CW.
6. Jika Vertikal adalah F dan Horizontal adalah A dan Cahaya adalah CP maka Horizontal adalah CW dan Vertikal adalah CW.
7. Jika Vertikal adalah E dan Horizontal adalah A dan Cahaya adalah CP maka Horizontal adalah CW dan Vertikal adalah CW.
8. Jika Vertikal adalah E dan Horizontal adalah A dan Cahaya adalah CG maka Horizontal adalah CCW dan Vertikal adalah CCW.
9. Jika Vertikal adalah E dan Horizontal adalah C dan Cahaya adalah M maka Horizontal adalah C dan Vertikal adalah C.

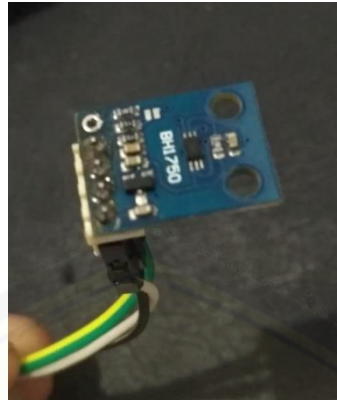
10. Jika Vertikal adalah E dan Horizontal adalah B dan Cahaya adalah SH maka Horizontal adalah CW dan Vertikal adalah CW.
11. Jika Vertikal adalah E dan Horizontal adalah B dan Cahaya adalah CP maka Horizontal adalah CW dan Vertikal adalah CW.
12. Jika Vertikal adalah E dan Horizontal adalah A dan Cahaya adalah M maka Horizontal adalah CW dan Vertikal adalah CW.
13. Jika Vertikal adalah E dan Horizontal adalah A dan Cahaya adalah M maka Horizontal adalah CCW dan Vertikal adalah CW.
14. Jika Vertikal adalah E dan Horizontal adalah A dan Cahaya adalah M maka Horizontal adalah CCW dan Vertikal adalah CCW.
15. Jika Vertikal adalah D dan Horizontal adalah C dan Cahaya adalah M maka Horizontal adalah C dan Vertikal adalah C.
16. Jika Vertikal adalah D dan Horizontal adalah C dan Cahaya adalah SH maka Horizontal adalah C dan Vertikal adalah C.

3.4 Realisasi Alat

3.4.1 Sensor Cahaya BH1750



Gambar 3.8 Blok Diagram Sensor BH1750

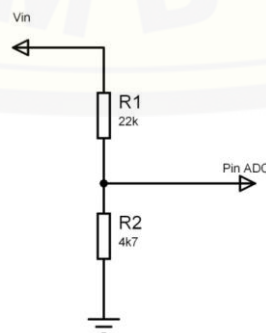


Gambar 3.9 Modul Sensor BH1750

Pada blok diagram sensor BH1750 diatas terdiri dari 5 bagian, PD (*Photo Diode*) sensor cahaya yang berupa sinyal analog yang dikuatkan oleh AMP atau amplifier agar dapat terbaca oleh ADC, ADC tersebut mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dengan resolusi 16bit, sinyal digital tersebut diubah menjadi sinyal I2C (SDA SCL) untuk dibaca oleh mikrokontrol. Pada sensor BH1750 terdapat 5 buah keluaran yaitu pin GND, VCC, SDA, SCL dan ADDR. GND dan VCC dihubungkan ke catu daya sebesar 5V, SDA SCL dihubungkan ke mikrokontrol sebagai kendali, sedangkan ADDR sebagai alamat apabila menggunakan lebih dari 1 sensor.

Untuk sampel yang diukur yaitu dengan mengubah intensitas cahaya. Untuk sensor BH1750 sudah terkalibrasi dikarenakan keluarannya sudah menjadi sinyal digital, maka hanya membandingkan dengan lux meter dimana untuk mengetahui *error* persena sensor tersebut dengan lux meter.

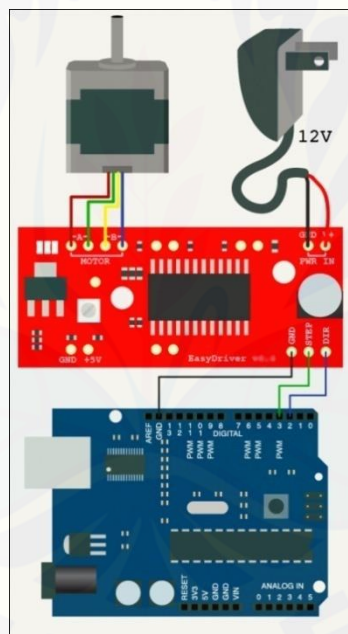
3.4.2 Sensor Tegangan



Gambar 3.10 Rangkaian Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan yaitu rangkaian pembagi arus tegangan dan cara kerja rangkaian yaitu, pertama Port ADC digunakan sebagai input tegangan yang akan diukur. Karena tegangan yang sampai ke Port ADC atau V_s harus < 5 volt (bila tegangan ADC > 5 volt akan merusak mikrokontroler), maka untuk mendapatkan range pengukuran sekitar V_{in} 12 Volt, maka diperlukan sebuah rangkaian pembagi tegangan yang dibentuk oleh R1 dan R2, dimana hubungan antara V_s (tegangan masuk ke Port ADC) dan V_{in} (tegangan yang diukur) adalah $V_s = V_{in} * R_2 / (R_1 + R_2)$. Selain sebagai pembagi tegangan, rangkaian ini juga berguna untuk membatasi jumlah arus yang masuk ke ADC0.

3.4.3 Driver Motor Stepper

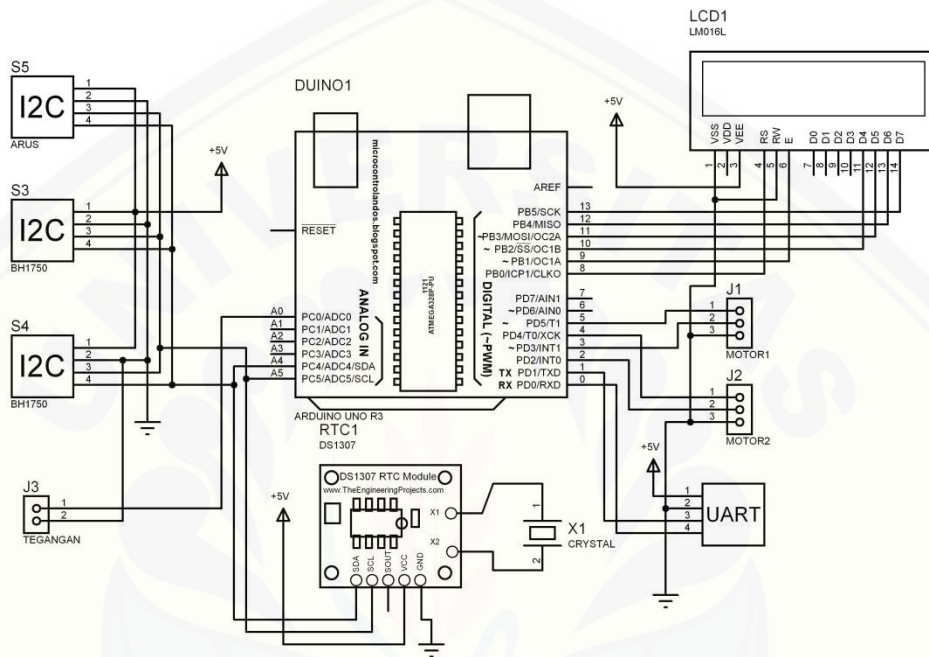


Gambar 3.11 Pemasangan Driver Motor Stepper

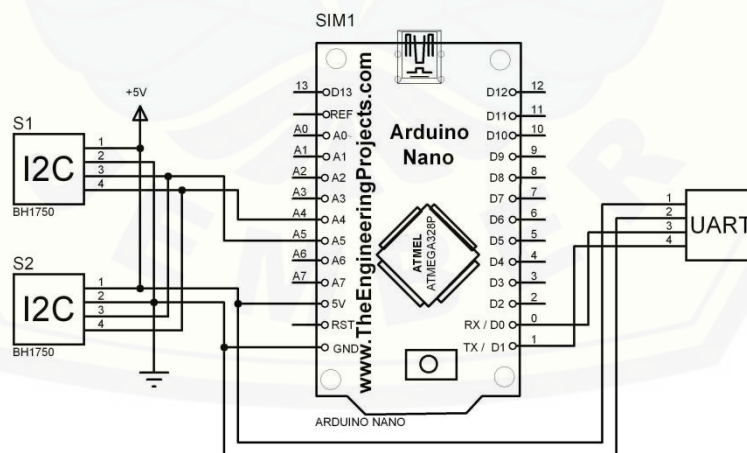
3.3.5 Rangkaian Sistem Elektrik

Rangkaian sistem ini terdiri dari dua bagian yaitu rangkaian sistem *master* dan rangkaian sistem *slave*. Rangkaian sistem dibagi menjadi dua dikarenakan alamat pada sensor BH1750 maksimal terdiri dari dua buah sensor dalam tiap komunikasi I2C pada satu kendali mikrokontroler. Komunikasi kedua mikrokontroler antara *master* dan *slave* menggunakan komunikasi serial yang

mengirim data dari sistem *slave* menuju *system* master. Pada rangkaian sistem *slave* terdiri dari dua buah sensor BH1750 saja sedangkan pada rangkaian sistem *master* terdiri dari 2 buah sensor BH1750, RTC DS1307, penampil LCD 16x2, sensor tegangan dan 2 buah driver motor *stepper*. Gambar rangkaian sistem *salve* dan sistem *master* terdapat pada gambar 3.11 dan gambar 3.12 dibawah ini:

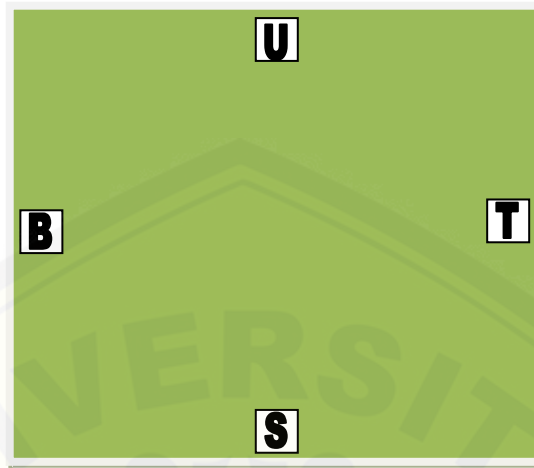


Gambar 3.12 Rangkaian Sistem Elektrik *Master*



Gambar 3.13 Rangkaian Sistem Elektrik *Slave*

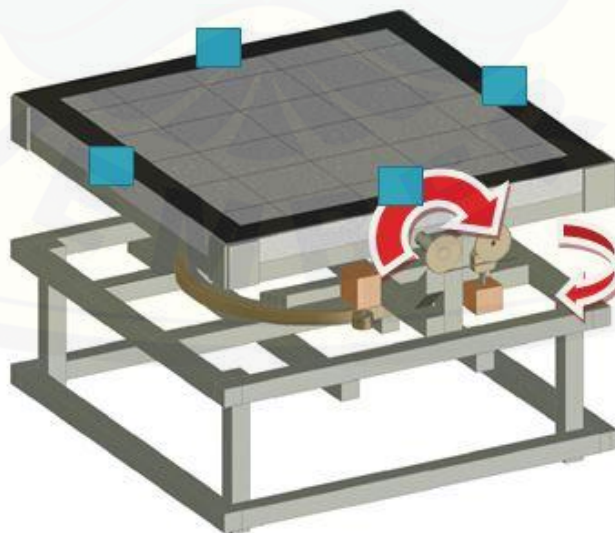
3.3.6 Penempatan Sensor BH1750 Pada Panel Surya



Gambar 3.14 Posisi Penempatan Sensor BH1750 Pada Panel Surya

Gambar 3.14 menunjukkan sensor BH1750 berada pada sisi panel surya yang sesuai dengan arah mata angin. Hal ini diharapkan dapat menentukan kondisi dari keadaan di sekitar alat yang dapat memetakan orientasi alat terhadap posisi matahari. Sensor BH1750 nilainya dapat berubah-ubah sesuai dengan tingkat cahaya yang diterimanya.

3.3.7 Pergerakan *Tracking* Panel Surya



Gambar 3.16 Posisi Pergerakan Panel Surya

Pergerakan panel surya digerakkan oleh 2 buah motor stepper, motor stepper vertical dan motor stepper horizontal. Pergerakan tersebut bertujuan untuk mencari cahaya matahari pada posisi normal dan semua cahaya yang masuk diterima oleh panel surya. Energi matahari akan lebih banyak diserap ketika solar cell saat berhadapan langsung dengan pancaran sinar matahari, dalam artian posisi solar cell harus tegak lurus dengan cahaya yang datang. Dari kondisi ini, efektivitas solar cell dalam menghasilkan daya yang lebih besar lebih mudah didapat. Gambar 3.14 dijelaskan bahwa sinar datang dicari menggunakan empat buah sensor BH 1750, yang berfungsi untuk mendeteksi intensitas cahaya. Ketika nilai radiasi matahari mencapai nilai maksimum maka akan memberikan keluaran daya optimum pada kondisi tersebut. Kondisi ini biasanya terjadi pada waktu siang hari ketika matahari tepat berada tegak lurus terhadap bidang horisontal.

Metode logika *fuzzy* ini adalah sebuah proses pencarian titik daya optimal pada suatu titik tertentu dengan memperhatikan posisi cahaya maksimum yang diterima oleh panel surya pada saat pengujian. Proses *tracking* ini terjadi setiap 30 menit sekali dengan jangkauan sudut *tracking* semakin lama semakin kecil kearah barat. Oleh karena itu, maka energi listrik dalam penggunaan metode logika *fuzzy* untuk mengendalikan panel surya semakin lama berkurang, sehingga dapat meminimalisir energi listrik yang terbuang.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “Perancangan Sistem *Tracking* Panel Surya Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy” dapat disimpulkan sebagai berikut;

1. Dengan teknologi tracking panel surya menggunakan logika fuzzy untuk mencari nilai optimum agar sistem berjalan dengan stabil.
2. Dengan menggunakan sistem *tracking* panel surya menggunakan logika fuzzy daya yang didapatkan cenderung lebih besar dari pada tanpa menggunakan logika fuzzy, dengan selisih daya 245,331 watt tanpa dikurangi rugi-rugi dari penggunaan kontrol dan motor stepper.
3. Perbandingan nilai energi listrik pada *tracking* panel surya menggunakan logika fuzzy jauh lebih baik penggunaannya dari pada tanpa menggunakan logika fuzzy, dengan nilai rata – rata selisih energi listrik sebesar 441594,9joule.
4. Nilai daya yang digunakan pada motor stepper kecil (0,3A) sehingga lebih menghemat baterai pada saat *scanning*.

4.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan perbaikan sistem mekanik agar dalam pembacaan panel surya lebih optimal. Selain itu penelitian ini sebaiknya menggunakan sistem pengatur tegangan pada keluaran panel surya agar tegangan yang dihasilkan lebih stabil pada saat tegangan panel surya naik turun.

Daftar Pustaka

- Afifudin, F. & Hananto, F.S. 2012. Optimalisasi Tegangan Keluaran dari *Solar Cell* Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari. *Jurnal Neutrino*, 4 (2): 164-177.
- Asy'ari, H., Rozaq, A. & Putra, F.S. 2014. Pemanfaatan *Solar Cell* dengan PLN Sebagai Sumber Energi Listrik Rumah Tinggal. *Jurnal Emitter*, 14 (01): 33-39.
- Babgei, A. F. 2012. *Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) pada Panel Surya dengan Menggunakan Metode Fuzzy*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fiala, J. & Michalikova, A. 2011. Bright Copper Plating Using Photovoltaic as An Energy Source. *Research Papers University of Technology in Bratislava*, (13): 29-35.
- Hartono. 2008. Fungsi Keanggotaan Fuzzy. <http://logikafuzzy-kelompok1.blogspot.co.id/2015/09/fungsi-keanggotaan.html>. Diakses pada tanggal 10 Maret 2016.
- Prabowo, Y. A., Triwiyatno, A., dan Sumardi. 2013. *Perancangan dan Simulasi Sistem Tracking Panel Surya Dua Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy*. Universitas Diponegoro Semarang.
- Yulianto, B. 2011. *Solar Cell*, Energi Terbarukan Masa Depan. <http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/4034-solar-cell-sumber-energi-terbarukan-masa-depan-.html>. Diakses pada tanggal 25 April 2016.

LAMPIRAN

1. Listing Program Slave

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
BH1750 s1(0x23);
BH1750 s2(0x5C);
unsigned int sensor[2]; // Max value is 65535
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
}
void loop(){
  readSensor();
  Serial.println(String(sensor[0])+","+String(sensor[1])+"#");
}
void readSensor() {
  uint16_t lux = s1.readLightLevel();
  sensor[0] = lux;
  lux = s2.readLightLevel();
  sensor[1] = lux;
}
```

2. Listing Program Master

```
#include "fis_header.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <stdlib.h>
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS1307 rtc;
```

```
char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday",
"Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday"};
BH1750 s1(0x23);
BH1750 s2(0x5C);
SoftwareSerial mySerial(11,10);
unsigned int sensor[4]; // Max value is 65535
char incomingByte;
int x;

// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 3;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 2;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 18;

FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];

// Setup routine runs once when you press reset:
void setup()
{
  // initialize the Analog pins for input.
  // Pin mode for Input: I_Vertikal
  pinMode(0 , INPUT);
  // Pin mode for Input: I_Horizontal
  pinMode(1 , INPUT);
  // Pin mode for Input: Cahaya
  pinMode(2 , INPUT);
```

```
// initialize the Analog pins for output.
// Pin mode for Output: O_Horizontal
pinMode(3 , OUTPUT);
// Pin mode for Output: O_Vertikal
pinMode(4 , OUTPUT);
mySerial.begin(9600);
Serial.begin(9600);
Wire.begin();
}

// Loop routine runs over and over again forever:
void loop()
{
  // Read Input: I_Vertikal
  g_fisInput[0] = analogRead(0);
  // Read Input: I_Horizontal
  g_fisInput[1] = analogRead(1);
  // Read Input: Cahaya
  g_fisInput[2] = analogRead(2);

  g_fisOutput[0] = 0;
  g_fisOutput[1] = 0;

  fis_evaluate();

  // Set output vlaue: O_Horizontal
  analogWrite(3 , g_fisOutput[0]);
  // Set output vlaue: O_Vertikal
  analogWrite(4 , g_fisOutput[1]);
  readSensor();
}
```

```
readSerial();

Serial.println(String(sensor[0])+"\t"+String(sensor[1])+"\t"+String(sensor[2])+"\t"+String(sensor[3]));

}

// Triangular Member Function
FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2*(b <= x)*(x <= c));
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1*(a <= x)*(x <= b));
    t1 = min(t1, t2);
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}

// Trapezoidal Member Function
FIS_TYPE fis_trapmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2], d = p[3];
    FIS_TYPE t1 = ((x <= c) ? 1 : ((d < x) ? 0 : ((c != d) ? ((d - x) / (d - c)) : 0)));
    FIS_TYPE t2 = ((b <= x) ? 1 : ((x < a) ? 0 : ((a != b) ? ((x - a) / (b - a)) : 0)));
    return (FIS_TYPE) min(t1, t2);
}

FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return min(a, b);
}
```

```
}
```

```
FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
```

```
{
```

```
    return max(a, b);
```

```
}
```

```
FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size, _FIS_ARR_OP  
pfnOp)
```

```
{
```

```
    int i;
```

```
    FIS_TYPE ret = 0;
```

```
    if (size == 0) return ret;
```

```
    if (size == 1) return array[0];
```

```
    ret = array[0];
```

```
    for (i = 1; i < size; i++)
```

```
    {
```

```
        ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
```

```
    }
```

```
    return ret;
```

```
}
```

```
// Data for Fuzzy Inference System
```

```
// Pointers to the implementations of member functions
```

```
_FIS_MF fis_gMF[] =
```

```
{
```

```
    fis_trmf, fis_trapmf
```

```
};
```



```
// Count of member function for each Input
int fis_gIMFCount[] = { 3, 3, 4 };

// Count of member function for each Output
int fis_gOMFCount[] = { 3, 3 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { -4, 0, 5 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { 2, 5, 8 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { 5, 10, 14 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1, fis_gMFI0Coeff2,
fis_gMFI0Coeff3 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { -4, 0, 5 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { 2, 5, 8 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff3[] = { 5, 10, 14 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1, fis_gMFI1Coeff2,
fis_gMFI1Coeff3 };
FIS_TYPE fis_gMFI2Coeff1[] = { 0, 0, 24.99, 224.9 };
FIS_TYPE fis_gMFI2Coeff2[] = { 107, 500, 1075 };
FIS_TYPE fis_gMFI2Coeff3[] = { 800, 5000, 10750 };
FIS_TYPE fis_gMFI2Coeff4[] = { 8999, 20750, 65000, 65000 };
FIS_TYPE* fis_gMFI2Coeff[] = { fis_gMFI2Coeff1, fis_gMFI2Coeff2,
fis_gMFI2Coeff3, fis_gMFI2Coeff4 };
FIS_TYPE** fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff, fis_gMFI1Coeff,
fis_gMFI2Coeff };

// Coefficients for the Output Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff1[] = { -90, -45, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff2[] = { -45, 0, 45 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff3[] = { 0, 45, 90 };
```

```
FIS_TYPE* fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff1, fis_gMFO0Coeff2,
fis_gMFO0Coeff3 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff1[] = { -40, -20, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff2[] = { -20, 0, 20 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff3[] = { 0, 20, 40 };
FIS_TYPE* fis_gMFO1Coeff[] = { fis_gMFO1Coeff1, fis_gMFO1Coeff2,
fis_gMFO1Coeff3 };
FIS_TYPE** fis_gMFOCoeff[] = { fis_gMFO0Coeff, fis_gMFO1Coeff };

// Input membership function set
int fis_gMFI0[] = { 0, 0, 0 };
int fis_gMFI1[] = { 0, 0, 0 };
int fis_gMFI2[] = { 1, 0, 0, 1 };
int* fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1, fis_gMFI2 };

// Output membership function set
int fis_gMFO0[] = { 0, 0, 0 };
int fis_gMFO1[] = { 0, 0, 0 };
int* fis_gMFO[] = { fis_gMFO0, fis_gMFO1 };

// Rule Weights
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Type
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Inputs
int fis_gRI0[] = { 1, 1, 0 };
int fis_gRI1[] = { 1, 2, 0 };
int fis_gRI2[] = { 1, 3, 0 };
int fis_gRI3[] = { 2, 1, 0 };
```

```
int fis_gRI4[] = { 2, 2, 0 };
int fis_gRI5[] = { 2, 3, 0 };
int fis_gRI6[] = { 3, 1, 0 };
int fis_gRI7[] = { 3, 2, 0 };
int fis_gRI8[] = { 3, 3, 0 };
int fis_gRI9[] = { 1, 1, 0 };
int fis_gRI10[] = { 1, 2, 0 };
int fis_gRI11[] = { 1, 3, 0 };
int fis_gRI12[] = { 2, 1, 0 };
int fis_gRI13[] = { 2, 2, 0 };
int fis_gRI14[] = { 2, 3, 0 };
int fis_gRI15[] = { 3, 1, 0 };
int fis_gRI16[] = { 3, 2, 0 };
int fis_gRI17[] = { 3, 3, 0 };
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3, fis_gRI4, fis_gRI5,
fis_gRI6, fis_gRI7, fis_gRI8, fis_gRI9, fis_gRI10, fis_gRI11, fis_gRI12,
fis_gRI13, fis_gRI14, fis_gRI15, fis_gRI16, fis_gRI17 };

// Rule Outputs
int fis_gRO0[] = { 2, 2 };
int fis_gRO1[] = { 2, 2 };
int fis_gRO2[] = { 2, 2 };
int fis_gRO3[] = { 2, 2 };
int fis_gRO4[] = { 2, 2 };
int fis_gRO5[] = { 2, 2 };
int fis_gRO6[] = { 2, 2 };
int fis_gRO7[] = { 2, 2 };
int fis_gRO8[] = { 2, 2 };
int fis_gRO9[] = { 3, 1 };
int fis_gRO10[] = { 3, 1 };
int fis_gRO11[] = { 3, 1 };
```

```
int fis_gRO12[] = { 3, 1 };
int fis_gRO13[] = { 3, 1 };
int fis_gRO14[] = { 3, 1 };
int fis_gRO15[] = { 3, 1 };
int fis_gRO16[] = { 3, 1 };
int fis_gRO17[] = { 3, 1 };
int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2, fis_gRO3, fis_gRO4,
fis_gRO5, fis_gRO6, fis_gRO7, fis_gRO8, fis_gRO9, fis_gRO10, fis_gRO11,
fis_gRO12, fis_gRO13, fis_gRO14, fis_gRO15, fis_gRO16, fis_gRO17 };

// Input range Min
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { 0, 0, 0 };

// Input range Max
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 10, 10, 65000 };

// Output range Min
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { -90, -40 };

// Output range Max
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 90, 40 };

// Data dependent support functions for Fuzzy Inference System
FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE x, int o)
{
    FIS_TYPE mfOut;
    int r;

    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        int index = fis_gRO[r][o];
```

```

    if (index > 0)
    {
        index = index - 1;
        mfOut = (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
fis_gMFOCoeff[o][index]);
    }
    else if (index < 0)
    {
        index = -index - 1;
        mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
fis_gMFOCoeff[o][index]);
    }
    else
    {
        mfOut = 0;
    }

    fuzzyRuleSet[0][r] = fis_min(mfOut, fuzzyRuleSet[1][r]);
}
return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR, fis_max);
}

FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, int o)
{
    FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) / (FIS_RESOLUTION -
1);
    FIS_TYPE area = 0;
    FIS_TYPE momentum = 0;
    FIS_TYPE dist, slice;
    int i;

```

```
// calculate the area under the curve formed by the MF outputs
for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i){
    dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
    slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
    area += slice;
    momentum += slice*dist;
}

return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2) : (momentum /
area));
}

void readSensor() {

    uint16_t lux = s1.readLightLevel();
    sensor[0] = lux;
    lux = s2.readLightLevel();
    sensor[1] = lux;
}

void readSerial() {
    if (mySerial.available() > 0) {
        sensor[2] = 0;
        sensor[3] = 0;
        x=2;
        while(1) {
            incomingByte = mySerial.read();
            if (incomingByte == '#') break;
            if (incomingByte == ',') x=3;
            if (incomingByte == -1) continue;
            sensor[x] *= 10;
            sensor[x] = ((incomingByte - 48) + sensor[x]);
        }
    }
}
```



```
    }

}

}

void fis_evaluate()
{
    FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput2[] = { 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1, fuzzyInput2,
};
    FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyOutput1[] = { 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0, fuzzyOutput1, };
    FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };
    FIS_TYPE sW = 0;

    // Transforming input to fuzzy Input
    int i, j, r, o;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
        {
            fuzzyInput[i][j] =
                (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i], fis_gMFICoeff[i][j]);
        }
    }

}

int index = 0;
```

```
for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
{
    if (fis_gRType[r] == 1)
    {
        fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)
                fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
            else if (index < 0)
                fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index -
1]);
            else
                fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);
        }
    }
    else
    {
        fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)
                fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
            else if (index < 0)
                fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index -
1]);
            else
                fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0);
        }
    }
}
```

```
    }

    fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
    sW += fuzzyFires[r];
}

if (sW == 0)
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2);
    }
}
else
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o);
    }
}
}
```