

BAB V

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan alat ini dilakukan secara bertahap dalam bentuk blok sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknya maupun secara keseluruhan. Perancangan ini terdiri atas:

- Perancangan sistem
- Perancangan perangkat keras (perancangan catu daya, perancangan sensor, perancangan sistem minimum mikrokontroler, perancangan logika *fuzzy*).
- Perancangan perangkat lunak mikrokontroler.

5.1. Perancangan Alat

Berdasarkan blok diagram yang dijelaskan pada bab IV. Maka tahap perancangan alat adalah sebagai berikut:

1. Perancangan mekanik alat
2. Penentuan I/O mikrokontroler ATmega 128.
3. Perancangan sensor suhu LM 35.
4. Perancangan sensor *rotary encoder* sebagai penghitung jumlah putaran motor DC berupa pulsa.
5. Perancangan empat sensor LDR sebagai pendeteksi intensitas cahaya disekitar sensor *solar cell*.
6. Perancangan dua *driver* motor DC.
7. Perancangan antarmuka modul LCD.
8. Perancangan sensor *Solar Cell*.
9. Perhitungan dan perancangan logika *fuzzy*.

Perancangan *sun solar tracking system* dengan metode fuzzifikasi Takagi-Sugeno dilakukan sesuai tahap demi tahap diatas. Dengan merangkai setiap blok sistem kemudian merangkainya menjadi satu kesatuan sistem. Hal pertama yang dilakukan adalah merancang *input/output* pin mikrokontroler ATmega 128, dimana tahap ini menentukan pin apa saja yang akan digunakan serta pin mana yang digunakan sebagai masukan dan keluaran untuk mikrokontroler. Tahap selanjutnya merancang sensor-sensor yang digunakan sebagai masukan mikrokontroler untuk keperluan sistem yaitu sensor LM 35, *rotary encoder*, *solar cell* dan LDR (*light dependent resistors*). Dan terakhir adalah merancang keluaran mikrokontroler yaitu putaran motor DC dengan merancang *driver* motor DC (dalam sistem ini digunakan dua motor DC sehingga dibutuhkan dua *driver* motor DC).

5.2. Perancangan dan Pembuatan *Hardware System*

5.2.1. Perancangan Mekanik Alat

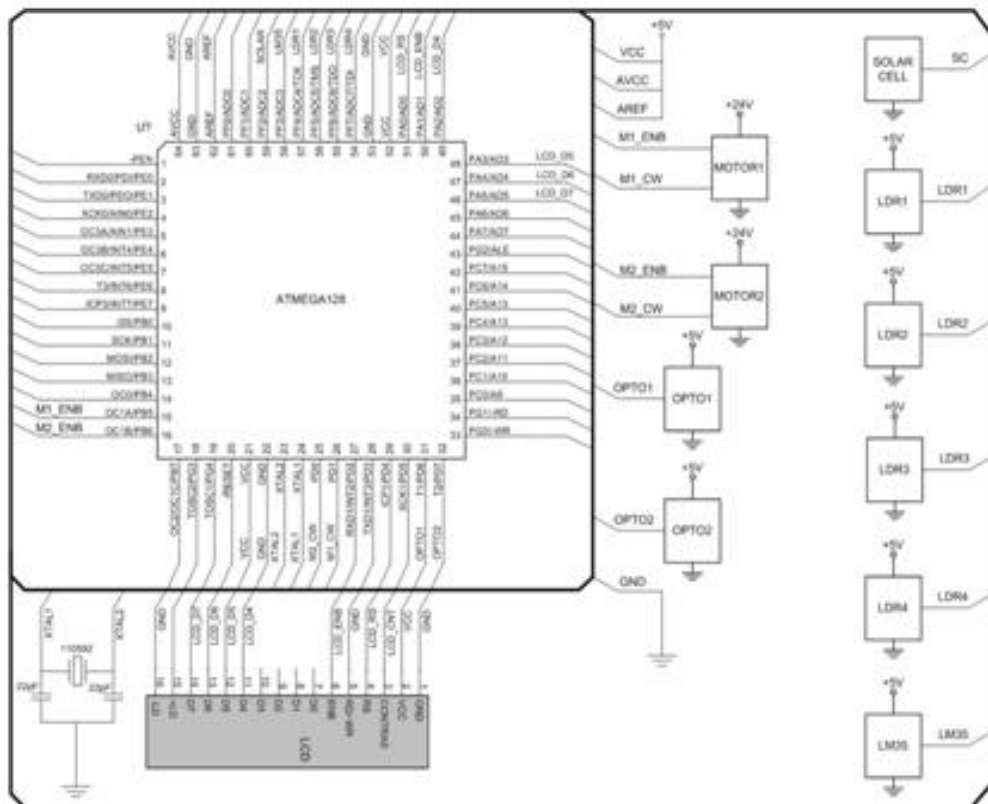
Pada perancangan mekanik sistem terdiri dari satu buah panel surya, dua buah motor DC, dua buah sensor *rotary encoder*, satu buah sensor LM 35, empat buah sensor LDR, beserta kotak elektrik sistem yang dilengkapi dengan LCD. Gambar 5.1 menggambarkan bentuk rancangan mekanik sistem, dimana peletakkan dua motor DC yang digunakan untuk menggerakkan panel surya dengan system dual axis yaitu ke arah timur, utara, selatan, barat. Dimana motor satu akan menggerakkan dua arah yaitu timur dan barat dengan pergerakan motor searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam, dan motor dua menggerakkan ke arah utara dan selatan. Pergerakan motor dirancang bergerak bergantian yaitu dimulai motor bergerak ke arah barat kemudian ke arah selatan dilanjutkan ke arah timur dan diakhiri pergerakan motor ke arah utara. Bentuk mekanik sistem ditunjukkan dalam Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Perancangan Mekanik Sistem

5.2.2. PERANCANGAN I/O MIKROKONTROLER ATMEGA 128

Perancangan keseluruhan sistem beserta I/O yang digunakan pada mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 5.2.



Gambar 5.2 I/O pada Mikrokontroler ATMega 128

Gambar 5.2 diatas menggambarkan peletakkan semua sensor (LM 35, *rotary encoder*, *solar cell* dan LDR) yang digunakan pada sistem ini, dan pin mana saja yang menghubungkan semua sensor dengan mikrokontroler beserta pin untuk LCD, dua Motor DC.

Pin-pin mikrokontroler ATmega 128 pada perancangan alat ini dialokasikan penggunaannya sebagai berikut:

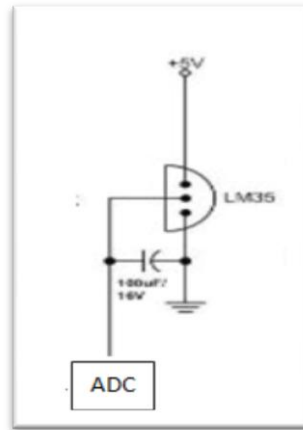
- a. Port PA.0, PA.1, PA.2, PA.3 digunakan untuk menghubungkan rangkaian LDR dengan pin ADC mikrokontroler.
- b. Port Aref dihubungkan dengan port AVCC sebagai input 5 volt.
- c. Port AVCC dihubungkan dengan tegangan VCC.
- d. Port PB.0 dihubungkan dengan pin LCD D7.
- e. Port PB.1 dihubungkan dengan pin LCD D6.
- f. Port PB.2 dihubungkan dengan pin LCD D5.
- g. Port PB.3 dihubungkan dengan pin LCD D4.
- h. Port PB.4 dihubungkan dengan pin LCD ENB.
- i. Port PB.5 dihubungkan dengan pin LCD RS.
- j. Port GND dihubungkan dengan *ground*.
- k. Port XTAL1 dan XTAL2 dihubungkan dengan rangkaian X1 dan X2 (*clock* eksternal untuk mikrokontroler).
- l. Port PD 4 digunakan sebagai keluaran mikrokontroler untuk input rangkaian *driver* motor DC 1.
- m. Port PD 5 digunakan sebagai keluaran mikrokontroler untuk input rangkaian *driver* motor DC 1.
- n. Port PD 6 digunakan sebagai keluaran mikrokontroler untuk input rangkaian *driver* motor DC 2.

- o. Port PD 7 digunakan sebagai keluaran mikrokontroler untuk input rangkaian *driver* motor DC 2.
- p. Port *Reset* dihubungkan dengan rangkaian *reset* mikrokontroler.
- q. Port PB5 (MOSI), PB6 (MISO), PB7 (SCK), RESET, VCC, dan GND digunakan untuk mendownload program dari komputer ke mikrokontroler.

5.2.3. Perancangan Sensor Suhu LM 35

Perancangan sensor LM 35 bertujuan untuk mendeteksi suhu disekitar panel surya, dan pada sistem ini suhu disekitar panel surya akan membantu perhitungan logika *fuzzy* dalam menentukan cuaca disekitar panel surya. Pemilihan sensor suhu LM 35 dalam penelitian ini dikarenakan sensor ini tidak membutuhkan kalibrasi eksternal karena sudah menyediakan akurasi $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ pada temperatur ruangan dan $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ pada kisaran -55 sampai $+150^{\circ}\text{C}$. Sensor LM 35 pada sistem ini dirancang agar beroperasi pada suhu 0°C hingga 100°C . Sensor LM 35 umumnya akan naik sebesar 10mV setiap kenaikan 1°C , sebagai salah satu contoh jika diketahui naik tegangan sebesar 500mV maka suhu disekitar sensor LM 35 menunjukkan 50°C .

Perancangan sensor suhu yang akan digunakan pada penelitian ini membutuhkan tegangan keluaran antara $0-100^{\circ}\text{C}$. Gambar 5.3 dibawah menunjukkan Gambar perancangan sensor suhu LM 35 yang dirangkaikan dengan kapasitor, kemudian keluarannya dihubungkan ke kaki masukan ADC.4 pada mikrokontroler ATmega 128 untuk dikonversi datanya menjadi keluaran data biner digital dengan resolusi 10 bit. Perancangan sensor LM 35 ditunjukkan dalam Gambar 5.3



Gambar 5.3 Perancangan Sensor LM 35

Pada Gambar diatas terlihat keluaran (kaki nomor 2) LM35 dihubungkan dengan rangkaian C (kapasitor), menurut *datasheet* ini akan mengurangi *noise* elektromagnetik yang dapat dihasilkan dari radio pemancar, motor, SCR, dan lain-lain. Kemudian kaki keluarannya (nomor 2) dihubungkan ke kaki *input* (masukan) pin PA.4 pin ADC mikrokontroler, sedangkan kaki Vcc (nomor 3) LM35 dihubungkan ke tegangan 5 Volt, dan kaki nomor 1 dihubungkan ke *ground*.

Dalam penelitian ini digunakan ADC 10 bit.

$$\text{Data ADC} = \frac{\text{SuhuxResolusiLM35}}{V_{\text{refrensi}}} \times 1023 \quad (5-1)$$

$$V_{\text{refrensi}} = \frac{\text{SuhuxResolusiLM35}}{\text{DataADC}} \times 1023 \quad (5-2)$$

Dengan,

$$\text{ADC 10 bit } (2^{n-1}) = 2^{10-1} = 1023$$

$$\text{Resolusi sensor LM 35} = 10 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ Volt}$$

$$\text{Suhu} = \text{Nilai suhu maksimal yang diinginkan sistem}$$

$$V_{\text{refrensi}} = \text{Tegangan refrensi yang dibutuhkan oleh sistem}$$

agar suhu maksimal yang diinginkan akan bernilai data ADC maksimal

Karena suhu yang kita inginkan dalam penelitian ini adalah 0°C sampai dengan 100°C maka kita gunakan asumsi suhu maksimal yaitu 100°C dan data ADC dari suhu maksimal adalah 1023.

Maka,

$$V_{\text{refrensi}} = \frac{100^{\circ}\text{C} \times 10\text{mV}}{1023} \times 1023$$

$$V_{\text{referensi}} = 1000 \text{ mV} = 1 \text{ Volt.}$$

$V_{\text{referensi}}$ yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 Volt. Sehingga, pada mikrokontroler nilai $V_{\text{referensi}}$ (tegangan refrensi) akan digunakan agar suhu yang terdeteksi maksimal adalah 100°C dengan data ADC adalah 1023 dan suhu tegelap yang dapat dibaca oleh mikrokontroler adalah 0°C dengan data ADC adalah 0.

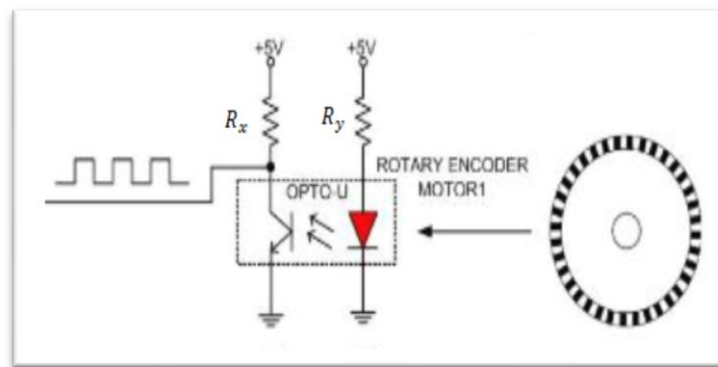
5.2.4. Perancangan Sensor *Rotary Encoder*

Perancangan sensor rotary encoder bertujuan membantu menunjukkan berapa jumlah putaran motor DC yang diperlukan logika fuzzy agar dapat menentukan posisi panel surya untuk mendapat intensitas cahaya matahari terbesar. Besar jumlah putaran motor DC akan dikonversikan dalam bentuk perubahan sudut. Dimana 1 putaran motor sama dengan 70 pulsa yang dihasilkan oleh sensor *rotary encoder*.

Dalam perancangan sensor ini yang diperlukan adalah komponen berupa piringan *acrylic* dan *optocoupler*. Pengerjaan rangkaian ini meliputi desain serta bagaimana pembuatan sensor. Piringan acrylic berfungsi sebagai penghalang diantara sinar inframerah dan photodioda. *Acrylic* yang digunakan memiliki ketebalan 1mm dengan warna gelap agar cahaya dr inframerah ke photodioda tidak tembus kecuali pada lubang yang telah disediakan. Untuk asumsi jumlah resolusi sensor digunakan perancangan sebesar 70 pulsa untuk setiap putaran

penuh. Diameter piringan hitam acrylic disesuaikan dengan besar motor DC yang digunakan. Kecepatan motor tidak diperhitungkan, karena dalam penelitian ini yang diperlukan adalah jumlah putaran motor dalam mencapai posisi sensor LDR pada nilai rentang yang telah disediakan.

Pada sensor ini *optocoupler* digunakan untuk mendapatkan frekuensi *on/off* dari putaran sensor. *Optocoupler* yang digunakan adalah *optocoupler* U dengan model T. *Optocoupler* ini diletakkan diantara sisi piringan *acrylic* yang terdapat lubang-lubang yang disediakan untuk melewatkan cahaya dari LED menuju *optocoupler*. Komponen ini merupakan kombinasi inframerah dan photodiode sebagai pemancar dan penerima cahaya. Perancangan sensor *rotary encoder* ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Perancangan Sensor *Rotary Encoder*

Pada rangkaian yang dirancang, digunakan tegangan sumber (VCC) sebesar 5 Volt dari mikrokontroler. Pada bagian penerima *optoswitch* bekerja pada dua kondisi (*low* atau *high*) atau kondisi cahaya dari LED akan terhalang atau tidak terhalang. Berdasarkan *datasheet optoswitch* HY860D tegangan saturasi *collector-emitter* ($V_{CE_{sat}}$) maksimal adalah 0.4 volt saat nilai I_c bernilai 0.2 mA. Sehingga nilai R_y pada Gambar diatas didapatkan dengan persamaan berikut:

Dengan,

V_{cc} = Tegangan kerja mikrokontroler (Volt)

$V_{CE_{sat}}$ = Tegangan dari *collector to emitter* saat saturasi (Volt)

I_c = Arus collector (mA)

R_y = Resistor yang terhubung pada LED (Ω)

Maka,

$$0 = V_{cc} - I_c R_y - V_{CE_{sat}} \quad (5-3)$$

$$0 = 5 - 0.2 \times 10^{-3} R_y - 0.4$$

$$R_y = \frac{4.6}{0.2 \times 10^{-3}}$$

$$R_y = 23k \text{ ohm}$$

Dengan memperhatikan besaran nilai resistansi komponen yang dijual hanya tersedia 24 k Ω . Sehingga nilai $V_{CE_{sat}}$ pada rangkaian dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{CE_{sat}} = V_{cc} - I_c R_y \quad (5-4)$$

$$V_{CE_{sat}} = 5 - (0.2 \times 10^{-3}) \cdot (24 \times 10^3)$$

$$V_{CE_{sat}} = 0.2 \text{ volt.}$$

Berdasarkan perhitungan dari $V_{CE_{sat}}$ yang dihasilkan diatas, maka nilai tersebut berada dibawah batas maksimum dari $V_{CE_{sat}}$ yang ditunjukkan dalam *datasheet optoswitch* HY860D yaitu sebesar 0.4 volt. Sehingga nilai R_y dapat digunakan resistansi sebesar 24k Ω . Untuk menentukan besarnya nilai I_f *optocoupler* saat saturasi dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Dengan,

$$I_f = \text{Arus bias maju (mA)}$$

I_c = Arus collector (mA)

CTR = Perbandingan dalam persen $((I_c / I_f) \times 100 \%)$

Maka,

$$I_f = \frac{I_c}{CTR} \times 100 \% \quad (5-5)$$

$$I_f = \frac{0.2 \text{ mA}}{50\%} \times 100\%$$

$$I_f = 0.4 \text{ mA.}$$

Berdasarkan perhitungan nilai I_f sebesar 0.4 mA yang dihasilkan diatas, maka nilai tersebut berada dibawah batas maksimum arus bias maju I_f yang diperlukan untuk menyalakan LED inframerah sebesar 20 mA. Tegangan jatuh (V_F) maksimal pada LED sebesar 1.6 volt. Sehingga nilai minimum R_x dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

Dengan,

V_{cc} = Tegangan kerja mikrokontroler (Volt)

V_f = Tegangan jepit (Volt)

I_f = Arus bias maju (mA)

$R_{x \min}$ = Resistor yang terhubung pada photodioda (Ω)

Maka,

$$0 = V_{cc} - I_f R_{x \min} - V_f \quad (5-6)$$

$$R_{x \min} = \frac{V_{cc} - V_f}{I_f} \quad (5-7)$$

$$R_{x \min} = \frac{5 - 1.6 \text{ volt}}{0.4 \text{ mA}}$$

$$R_{x\min} = 8.4 \text{ k}\Omega$$

Merujuk pada nilai resistor yang didapat dan melihat resistor yang disediakan dipasaran maka dipilih nilai R_x pada rangkaian sebesar 10k Ω . Dengan demikian besarnya nilai tegangan jatuh (V_f) untuk rangkaian dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

Dengan,

V_{cc} = Tegangan kerja mikrokontroler (Volt)

V_f = Tegangan Jepit(Volt)

I_f = Arus bias maju (mA)

R_x = Resistor yang terhubung pada Photodiode (Ω)

$$V_f = V_{cc} - I_f \cdot R_x \quad (5-8)$$

$$V_f = 5 - (0.4 \times 10^{-3}) \cdot (10 \times 10^3)$$

$$V_f = 1 \text{ volt}$$

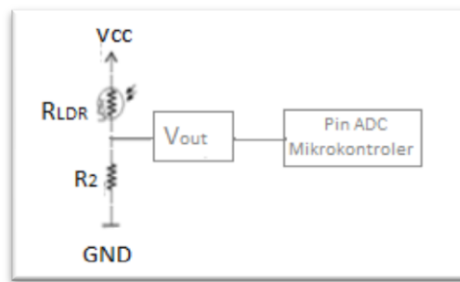
Tegangan jatuh (V_f) yang dihasilkan sebesar 1 volt. Nilai tersebut berada dibawah nilai maksimal tegangan jatuh maksimalnya yaitu 1.6 volt. Sehingga pada rangkaian dapat dipasang nilai R_x sebesar 10 k Ω .

5.2.5. Perancangan Sensor LDR

Perancangan sensor LDR dalam penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari disekitar panel surya. Dalam perancangan perhitungan logika *fuzzy*, dibutuhkan masukan berupa himpunan fungsi keanggotaan. Nilai tegangan keluaran sensor LDR dikondisikan 0 hingga 5 Volt, dari data tegangan keluaran (V_{out}) sensor dilakukan pengambilan data sebagai basis pengetahuan perhitungan logika *fuzzy*. Hasil pengambilan data

akan membantu dalam mengetahui berapa tegangan keluaran sensor saat terjadi perubahan cuaca disekitar panel surya. Sehingga logika fuzzy dapat mengambil keputusan posisi untuk panel surya.

Pemilihan sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor cahaya LDR (*Light Depending Resistors*) yang berfungsi sebagai penerima cahaya. Rangkaian sensor ditunjukkan dalam Gambar 5.5.



Gambar 5. 5 Perancangan sensor LDR

Untuk menentukan besar nilai R_2 seperti pada perancangan yang ditunjukkan dalam Gambar 5.5, maka digunakan rumus pembagi tegangan pada sensor dan dicari sensitivitas rangkaian potensimeternya (S). Maka besar R_2 ditunjukkan dalam persamaan:

$$\begin{aligned} V_o &= (R_2 \cdot V_{cc}) / (R_{ldr} + R_2) \\ &= (R_2 \cdot V_{cc}) \cdot (R_{ldr} + R_2)^{-1} \end{aligned} \quad (5-9)$$

dengan,

V_o = Tegangan keluaran sensor LDR (Volt)

V_{cc} = Tegangan kerja mikrokontroler 3,3 – 5,00 (Volt)

R_{ldr} = Besar nilai resistor yang dihasilkan berdasarkan besar cahaya (LDR)
(ohm)

R_2 = Resistor yang ditetapkan untuk pembagi tegangan pada perancangan
(ohm).

Maka, untuk mendapatkan nilai dari sensitivitas rangkaian potensiometernya (S):

$$S = \frac{dV_o}{dR_2} \quad (5-10)$$

$$U'V - V'U = 0 \quad (5-11)$$

Dimana,

$$U = R_2 \cdot V_{cc} \quad (5-12)$$

$$U' = V_{cc} \quad (5-13)$$

$$V = (R_{ldr} + R_2)^{-1} \quad (5-14)$$

$$V' = - (R_{ldr} + R_2)^{-2} \quad (5-15)$$

$$R_2 \cdot V_{cc} - (R_{ldr} + R_2)^{-2} - V_{cc} (R_{ldr} + R_2)^{-1} = 0 \quad (5-16)$$

$$\frac{(-R_2 V_{cc})}{(R_{ldr} + R_2)^2} - \frac{V_{cc}}{(R_{ldr} + R_2)} = 0 \quad (5-17)$$

$$\frac{(-R_2 V_{cc}) - V_{cc} (R_{ldr} + R_2)}{(R_{ldr} + R_2)^2} = 0 \quad (5-18)$$

$$\frac{-R_2 \cdot V_{cc} - R_2 \cdot V_{cc} - R_{ldr} \cdot V_{cc}}{(R_{ldr} + R_2)^2} = 0 \quad (5-19)$$

$$\frac{-2 R_2 \cdot V_{cc} - R_{ldr} \cdot V_{cc}}{(R_{ldr} + R_2)^2} = 0 \quad (5-20)$$

Kemudian rumus Sensitivitas rangkaian potensiometer tersebut diturunkan lagi terhadap resistansi tetapnya.

$$\frac{dS}{dR_{ldr}} = 0 \quad (5-21)$$

$$\frac{-2 R_2 \cdot V_{cc} - R_{ldr} \cdot V_{cc}}{(R_{ldr} + R_2)^2} = 0 \quad (5-22)$$

$$U'V - V'U = 0 \quad (5-23)$$

Dimana,

$$U = -2R_2 \cdot V_{cc} - R_{ldr} \cdot V_{cc} \quad (5-24)$$

$$U' = -2 V_{cc} \quad (5-25)$$

$$V = (R_{ldr} + R_2)^{-2} \quad (5-26)$$

$$V' = -2 (R_{ldr} + R_2)^{-3} \quad (5-27)$$

Maka,

$$U'V - V'U = 0$$

$$-2 \cdot V_{cc} \cdot (R_{ldr} + R_2)^{-2} - (-2 (R_{ldr} + R_2)^{-3}) \cdot (-2 R_2 \cdot V_{cc} - R_{ldr} \cdot V_{cc}) = 0 \quad (5-28)$$

$$\frac{-2 R_{ldr} V_{cc} - 2 R_2 V_{cc} - 4 R_2 V_{cc} - 2 R_{ldr} V_{cc}}{(R_{ldr} + R_2)^3} = 0 \quad (5-29)$$

$$\frac{(-4 R_{ldr} V_{cc}) - 6 R_2 V_{cc}}{(R_{ldr} + R_2)^3} = 0 \quad (5-30)$$

$$-4 R_{ldr} V_{cc} - 6 R_2 V_{cc} = 0 \quad (5-31)$$

$$-6 R_2 \cdot V_{cc} = 4 R_{ldr} \cdot V_{cc} \quad (5-32)$$

$$R_{ldr} = -3/2 R_2 \quad (5-33)$$

Berdasarkan analisis yang dilakukan nilai R_2 dipilih agar nilai maksimal adalah 5 Volt atau sama dengan nilai tegangan V_{cc} . Sehingga, rancangan

sensor LDR (*light depending resistor*) untuk nilai resistor R_2 digunakan 4700 Ohm.

5.2.6. *Driver Motor DC*

Pada penelitian perancangan driver motor DC berfungsi untuk menggerakkan panel surya dengan motor DC ke dua arah (searah jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam). Dalam penelitian ini dibutuhkan dua motor DC dimana satu motor DC dapat menggerakkan ke dua arah yaitu timur dan barat atau utara dan selatan. Dimana logika fuzzy merepresentasikan arah timur dalam Z1, arah utara dengan Z2, arah barat dengan Z3 dan arah selatan dengan Z4.

Untuk Pengendalian atau pengaturan kecepatan motor dc dapat dilakukan dengan mengatur besar tegangan masukan. Kecepatan putar motor dc (ω) dapat dirumuskan pada persamaan di bawah ini :

$$\omega = \frac{V_t - R_a I_a}{K\phi} \text{ (rad/sec)} \quad (5-34)$$

Dengan,

ω = Kecepatan motor dalam satuan rad/sec

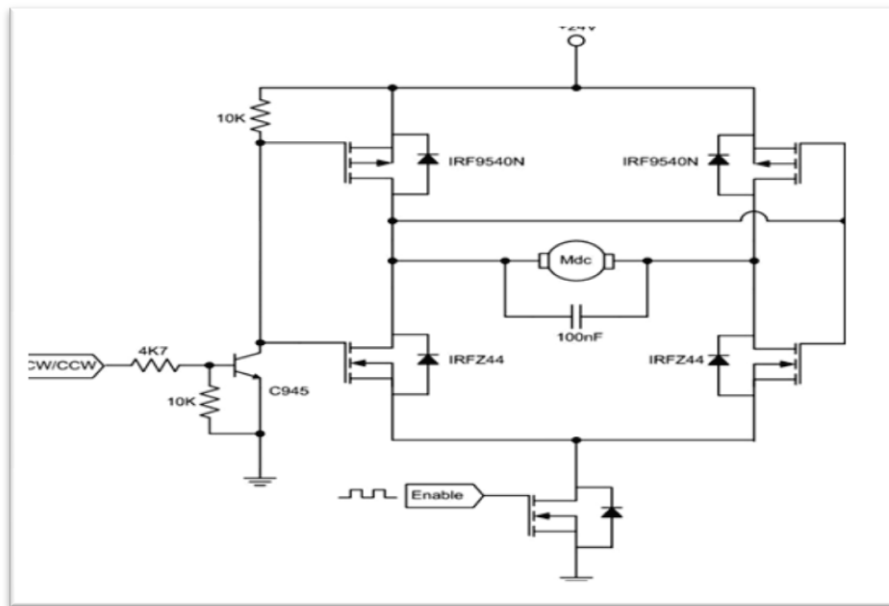
V_t = Tegangan masukan motor dalam satuan volt

$K\phi$ = Fluksi magnetik

I_a = Arus masukan pada motor dalam satuan *ampere*

R_a = Hambatan jangkar motor (ohm)

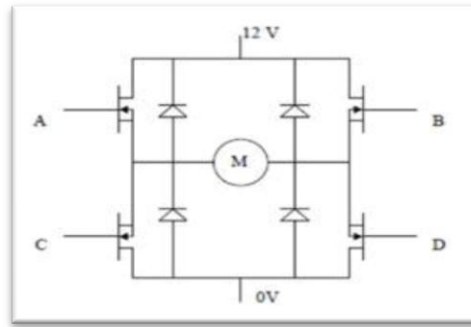
Pengaturan kecepatan putar motor DC juga dapat dilakukan dengan metode lain yang biasa digunakan yaitu dengan teknik modulasi lebar pulsa atau *Pulse Width Modulation* (PWM). Pada penelitian ini perancangan *driver* motor DC ditunjukkan dalam Gambar 5.6.



Gambar 5. 6 Perancangan *Driver* Motor DC

Rangkaian ini terdiri dari dua buah MOSFET kanal P dan dua buah MOSFET kanal N. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan mengatur mati-hidupnya ke empat MOSFET tersebut. Huruf M pada gambar adalah motor DC yang akan dikendalikan. Bagian atas rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub positif, sedangkan bagian bawah rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub negatif.

Rangkaian dibawah ini merupakan rangkaian *H-bridge* yaitu sebuah perangkat keras berupa rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan motor. Rangkaian ini diberi nama *H-bridge* karena bentuk rangkaiannya yang menyerupai huruf H seperti dalam Gambar 5.7.



Gambar 5. 7 Konsep *H-Bridge* MOSFET Motor DC

Gambar 5.7 *H-BRIDGE MOSFET driver* motor DC dengan prinsip kerja yaitu pada saat MOSFET A dan MOSFET D *on* sedangkan MOSFET B dan MOSFET C *off*, maka sisi kiri dari gambar motor akan terhubung dengan kutub positif dari catu daya, sedangkan sisi sebelah kanan motor akan terhubung dengan kutub negatif dari catu daya sehingga motor akan bergerak searah jarum jam.

Untuk mengatur kecepatan motor dengan *rotary encoder* maka *rotary encoder* yang digunakan sudah menyatu dengan motor sehingga penggunaannya lebih mudah dan praktis. Encoder akan memberikan 70 pulsa/ putaran jika motor diputar 360°, jika pada penelitian ini waktu pencuplikan 50 ms maka kecepatan motor dalam rpm dinyatakan:

$$\omega = \frac{\text{Jumlah pulsa}}{70} \times \frac{1000}{T_s} \times 60 \text{ rpm} \quad (5-35)$$

Dengan,

ω = Kecepatan motor dalam satuan rad/sec

T_s = Waktu pencuplikan dalam satuan ms

Dari Rangkaian *driver* motor DC yang digunakan hanya menggunakan 1 pin direction untuk memutar motor yaitu jika diberi logika low (0) maka arahnya CCW

dan sebaliknya jika logika high (1) maka arahnya CW. Untuk mosfet yang saya gunakan adalah tipe *p-channel* dan tipe *n-channel* yaitu IRF9450N dan IRFZ44.

Pemilihan MOSFET jenis ini berdasarkan arus dan tegangan maksimal yang mengalir pada rangkaian. Dimana tegangan maksimum dari rangkaian adalah sebesar 24 volt dan arus maksimum dari rangkaian adalah sebesar 4 ampere. Berikut adalah spesifikasi MOSFET tipe-n IRFZ44:

$$V_{DS \max} = 60 \text{ V}$$

$$I_{D \max} = 50 \text{ A}$$

$$P_{\text{total disipation}} = 126 \text{ W}$$

$$R_{DS \text{ on } \max} = 0,024 \text{ } \Omega$$

$$V_{GS \max} = 20 \text{ V}$$

$$V_{GS \text{ threshold}} = 2-4 \text{ V}$$

Dengan,

$$V_{DS \max} = \text{Tegangan } \textit{Drain and Source} \text{ (Volt)}$$

$$I_{D \max} = \text{Arus } \textit{Drain} \text{ (Ampere)}$$

$$P_{\text{total disipation}} = \text{Daya total disipasi MOSFET (Watt)}$$

$$R_{DS \text{ on } \max} = \text{Resistansi } \textit{Drain and Source} \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$V_{GS \max} = \text{Tegangan } \textit{Gate max} \text{ (Volt)}$$

$$V_{GS \text{ threshold}} = \text{Tegangan } \textit{Gate Threshold} \text{ (Volt)}$$

Untuk MOSFET kanal N syarat agar komponen dalam kondisi cut off adalah ketika $V_{GS} < V_{GS \text{ threshold}}$. Karena $V_{GS \text{ threshold}}$ MOSFET tipe-n IRFZ44 adalah sebesar 3 volt, maka V_{GS} yang digunakan harus kurang dari 3 volt.

Untuk MOSFET kanal N syarat agar komponen dalam kondisi aktif saturasi adalah ketika $V_{GS} > V_{\text{threshold}}$, dan $V_{DS} > (V_{GS} - V_{GS \text{ threshold}})$. Karena V_{DS} yang digunakan adalah 24 volt, maka $V_{GS} < 15$ volt. Mengingat $V_{GS \max} = 20$ volt, maka $3 \text{ volt} < V_{GS} < 20 \text{ volt}$.

Pada saat MOSFET dalam kondisi saturasi, akan muncul suatu hambatan $R_{DS\ on}$ antara pin *drain* dan *source* yang akan mengurangi tegangan keluaran yang digunakan sebagai tegangan masukan motor. Tegangan minimum yang bekerja pada motor ketika rotor berputar dengan PWM maksimum adalah:

$$V_{motor} = V_{catu\ daya} - I_{min\ beban} \times R_{DS\ on\ max} \quad (5-36)$$

Dengan,

V_{motor} = Tegangan yang diperlukan untuk menggerakkan motor (Volt)

$V_{catu\ daya}$ = Tegangan yang diberikan langsung dari sumber tegangan (Volt)

$I_{min\ beban}$ = Arus minimum pada beban (Ampere)

Maka,

$$V_{motor} = 24 - (0.85 \times (24 \times 10^{-3}))$$

$$V_{motor} = 23,976\ V.$$

Daya maksimum ketika rotor berputar adalah

$$P_{loss} = I_{min\ beban}^2 \times R_{DS\ on} \quad (5-37)$$

Dengan,

P_{loss} = Daya maksimum yang diperlukan saat rotor pada motor berputar (Watt)

$I_{min\ beban}$ = Arus minimum pada beban diasumsikan 0,85 A (Ampere)

$R_{DS\ on}$ = Resistansi drain and source saat aktif (Ω)

Maka,

$$P_{loss} = 0,85^2 \times (24 \times 10^{-3})$$

$$P_{loss} = 0.01734\ Watt$$

Perhitungan diatas diasumsikan tidak ada komponen lain. Hal ini dilakukan untuk menentukan nilai MOSFET agar dapat berkerja maksimum. Dari

perhitungan diatas dapat dinyatakan bahwa daya dari catu daya tidak dapat 100 % sesuai dengan yang diinginkan karena yang beredar dipasaran memiliki toleransi yang terang sekali sehingga menyebabkan rugi-rugi daya yang tidak dapat dihindari. Hal ini akan sama dengan MOSFET tipe-p yang digunakan yaitu IRF9540.

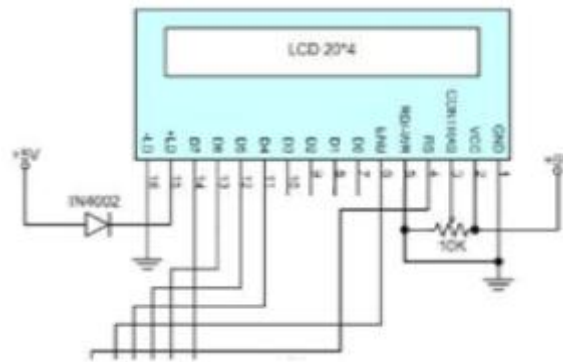
Untuk perhitungan nilai komponen didapatkan berdasarkan perhitungan dengan acuan arus dan tegangan maksimum, sehingga didapat nilai yang sesuai dan ketahanan komponen apabila terjadi kerja pada tegangan dan arus maksimum. Besarnya induktansi, kapasitansi, dan resistansi komponen didapat dengan acuan arus dan tegangan keluaran maksimum yang akan melewati komponen.

Pada rancangan ini satu putaran penuh motor DC ekuivalen dengan 70 pulsa yang dihasilkan oleh sensor *rotary encoder* dimana 1 pulsa sama dengan 0,07°.

5.2.7. Perancangan Antarmuka Modul LCD

Perancangan antarmuka modul LCD dibutuhkan untuk menampilkan data nilai LDR, data tegangan keluaran *solar cell* dan hasil perhitungan logika *fuzzy* sehingga membantu dalam pengambilan dan pengujian data.

LCD yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe M1632 (20 kolom 4 baris). Bus data LCD (D.0–D.7) terhubung pada port PB.0-PB.5 pada mikrokontroler, karena LCD dioperasikan hanya menerima data, maka pin R/W dihubungkan pada ground. RS dihubungkan pada pin 2.6 dari mikrokontroler. Pengaktifan E (enable) LCD menggunakan keluaran dari pin 2.7. pengaturan tingkat kecerahan LCD dihubungkan pada resistor variable 10 kΩ. Perancangan LCD ditunjukkan dalam Gambar 5.8.



Gambar 5. 8 Perancangan LCD

V_r pada pin 3 (VEE) digunakan untuk mengaturkontras dari karakter yang ditampilkan, sedangkan pin 1.5 (V_+) diberi dioda agar tegangan yang masuk sesuai dengan datasheet yaitu 4,3 volt.

Jika diketahui

Tegangan dioda = 0.7 volt

Tegangan VCC = 5 volt

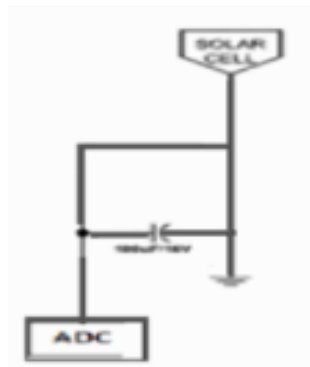
Maka tegangan input adalah

$$V_{in} = VCC - V_{dioda} \quad (5-38)$$

$$V_{in} = 5 \text{ volt} - 0.7 \text{ volt} = 4.3 \text{ volt}$$

5.2.8. Perancangan Sensor *Solar Cells*

Untuk mengetahui tegangan keluaran yang dihasilkan oleh solar cell, maka dibutuhkan rangkaian seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.9. Pada rangkaian dibawah keluaran solar cell dihubungkan langsung dengan pin ADC mikrokontroler ATmega 128. Sehingga nilai tegangan keluaran sensor *solar cell* dapat langsung dibaca oleh mikrokontroler dan ditunjukkan dalam LCD.



Gambar 5. 9 Perancangan *Solar cell* ke pin ADC Mikrokontroler

Penggunaan kapasitor pada rangkaian diatas digunakan untuk mengurangi *ripple* tegangan dari keluaran *solar cell*. Nilai tegangan keluaran (V_{out}) *solar cell* masuk ke ADC dan ditunjukkan pada LCD. ADC dihubungkan pada pin ADC.2 mikrokontroler ATmega 128.

5.3. Perancangan Perangkat Lunak (Logika *Fuzzy*)

5.3.1. Perancangan Logika *Fuzzy*

Dalam menentukan perancangan logika *fuzzy*, beberapa tahap yang perlu dilakukan terlebih dahulu adalah sebagai berikut:

- Pengambilan data LDR untuk menentukan range gelap dan terterang sekali yang ditunjukkan LDR dalam satu hari (07.00-16.00) sebagai penentuan range cuaca yaitu gelap, terang dan terang sekali.
- Menentukan *membership function* dari range cuaca.
- Pengambilan data berdasarkan *rule base* yang telah ditentukan yaitu 81 aturan atau 81 kemungkinan nilai LDR berdasarkan nilai 4 sensor LDR dan 3 range cuaca, sehingga 3^4 didapatkan 81 aturan.
- Menghitung nilai Z atau output logika *fuzzy*.

- Melakukan perbandingan antara hasil perhitungan *fuzzy* dengan Pengujian data secara *real time*.

5.3.2. Penentuan *Membership Function*

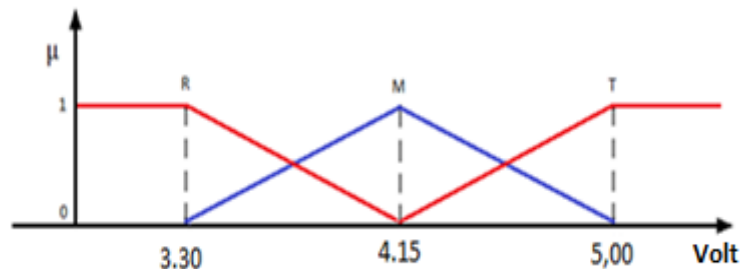
Penentuan *membership function* atau nilai range LDR yang akan digunakan pada perhitungan logika *fuzzy* didapatkan berdasarkan pengambilan data selama 10 hari yaitu pada tanggal 23-27 Februari 2014 hingga 01 – 05 Maret 2014. Keadaan Posisi solar cell adalah posisi LDR 3 arah timur, LDR 2 arah selatan, LDR 1 arah barat, LDR 4 arah utara.

Tabel 5.1 Data nilai Rata-rata LDR dari jam 07.00 – 16.00

Jam	LDR1 (Volt)	LDR2 (Volt)	LDR3 (Volt)	LDR4 (Volt)
07.00	4.56	4.50	4.78	4.49
08.00	4.76	4.69	4.78	4.88
09.00	4.86	4,78	4.84	4.77
10.00	4.91	4.82	4.81	4.91
11.00	4.80	4.90	4,79	4.80
12.00	4.92	4.99	4.96	5.00
13.00	4.69	4.77	4.64	4.58
14.00	4.30	4.69	4.30	4.29
15.00	4.01	3.43	3.99	3.87
16.00	3.30	3.43	3.82	3.81

Dari data diatas didapatkan nilai LDR gelap adalah 3.30 volt dan terang sekali adalah 5,00 volt, maka dapat ditentukan nilai tengah LDR adalah nilai terang sekali dikurang nilai tegelap kemudian dibagi dua, maka didapatkan nilai

tengah LDR adalah 4,15 volt. Maka, dapat kita buat fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk masing-masing LDR dengan tiga rentang yaitu gelap (R), terang (M) dan terang sekali (T) yang ditunjukkan dalam Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Membership Function

Sumber: Perancangan

Gambar 5.10 menggambarkan grafik fungsi keanggotaan (*membership function*) dengan 3 range, yaitu LDR dengan data intensitas cahaya yang memiliki himpunan anggota gelap, terang dan terang sekali. Dimana, batas gelap adalah $\leq 3,30$ Volt (kurang dari atau sama dengan 3.30 Volt), batas terang adalah $3,30 \text{ Volt} < 4,15 \text{ Volt} < 5,00 \text{ Volt}$ dan batas untuk LDR terang sekali adalah $\geq 5,00 \text{ Volt}$ (lebih besar atau sama dengan).

Pemilihan kurva segitiga pada perancangan *membership function* dikarenakan kurva segitiga merupakan penggambaran input ke derajat keanggotaan yang menggambarkan perubahan linear tegangan keluaran sensor LDR yaitu naik dan turun terhadap besar intensitas cahaya matahari. Dimana, fungsi keanggotaan untuk setiap sensor LDR ditunjukkan pada persamaan dibawah.

Fungsi Keanggotaan:

Untuk Range Gelap (R):

$$\mu[x]=\begin{cases} 1, & x\leq 3,30 \\ 0, & x\geq 4,15 \\ \frac{4,15-x}{4,15-3,30}, & 3,30<x<4,15 \end{cases} \quad (5-39)$$

Untuk Range Terang (M):

$$\mu[x]=\begin{cases} 0, & x\leq 3,30 \text{ atau } x\geq 5,00 \\ \frac{x-3,30}{4,15-3,30}, & 3,30<x\leq 4,15 \\ \frac{5,00-x}{5,00-4,15}, & 4,15<x<5,00 \end{cases} \quad (5-40)$$

Untuk Range Terang sekali (T):

$$\mu[x]=\begin{cases} 1, & x\geq 5,00 \\ 0, & x\leq 4,15 \\ \frac{x-4,15}{5,00-4,15}, & 4,15<x<5,00 \end{cases} \quad (5-41)$$

5.3.3. Perancangan *Rule Base*

Pada perancangan logika *fuzzy* ini digunakan empat buah sensor LDR sebagai masukan logika *fuzzy* dengan tiga rentang kemungkinan nilai LDR dalam satu hari yaitu LDR akan memiliki nilai gelap, terang dan terang sekali. Maka akan ada delapan puluh satu kemungkinan nilai LDR berdasarkan 4 nilai LDR yang ada ($3^4 = 81$ aturan). Adapun kemungkinan yang terjadi adalah sebuah *rule base* yang akan dibuat dalam perancangan logika *fuzzy*. Penentuan aturan perhitungan logika *fuzzy* berdasarkan penentuan aturan yang ditentukan oleh metode Takagi-Sugeno seperti dibawah ini.

IF (X_1 is A_1) *and* (X_2 is A_2) *and* (X_3 is A_3) *and* (X_4 is A_4) *THEN* $z=k$.

Pada penelitian ini digunakan empat sensor LDR dengan masing-masing

sensor memiliki tiga himpunan fuzzy yaitu gelap, terang dan terang sekali. Dari keempat sensor LDR juga ditentukan keluaran Z. Karena panel surya dapat bergerak ke empat arah yaitu timur, utara, barat dan selatan. Maka, pada penelitian ini dirancang hasil perhitungan logika *fuzzy* dapat menentukan posisi panel surya yang mampu bergerak keempat arah tersebut berdasarkan masukan perhitungan dari empat sensor LDR dengan masing-masing memiliki tiga himpunan *fuzzy*.

$IF (X_1 \text{ is } A_1) \text{ and } (X_2 \text{ is } A_2) \text{ and } (X_3 \text{ is } A_3) \text{ and } (X_4 \text{ is } A_4) \text{ THEN } z = [k_1 \ k_2 \ k_3 \ k_4]$.

Dimana,

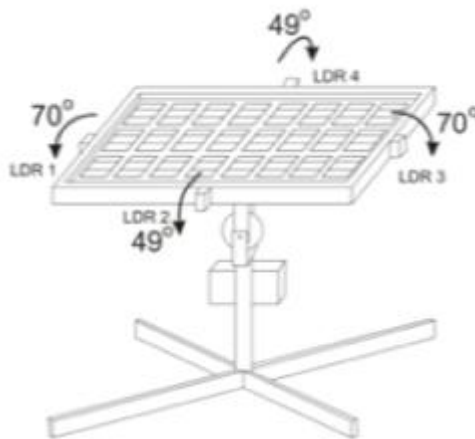
k_1 = Pergerakan Motor 1 ke arah barat (°)

k_2 = Pergerakan Motor 2 ke arah selatan (°)

k_3 = Pergerakan Motor 1 ke arah timur (°)

k_4 = Pergerakan Motor 2 ke arah utara (°)

Ilustrasi rancangan pergerakan alat untuk menentukan perancangan rule base dengan peletakan masing-masing LDR disetiap sisi dengan arah pergerakan setiap sisi timur dan barat maksimal 70 ° dan arah utara dan selatan 49 ° ditunjukkan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Ilustrasi Pergerakan Alat

Pada perancangan dan pengujian alat bergerak ke arah LDR 1 (barat) dan LDR 3 (timur) maksimal sebesar 70° dan ke arah LDR 2 (selatan) dan ke arah LDR 4 (utara) sebesar 49° . Pada motor DC jumlah perputarannya diatur oleh hasil keputusan perhitungan logika fuzzy. Dimana, satu putaran penuh motor DC ekuivalen dengan 70 pulsa yang dihasilkan oleh sensor *rotary encoder*. Dan pada alat ini 1 pulsa yang dihasilkan sama dengan perubahan sudut sebesar $0,07^\circ$.

Pergerakan Alat pada perancangan logika fuzzy adalah ke arah LDR 1, LDR 2, LDR 3 dan diakhiri ke arah LDR 4 berdasarkan hasil keluaran perhitungan logika fuzzy. Perubahan sudut panel surya didapatkan berdasarkan pengujian manual sesuai dengan keadaan yang akan terjadi dengan masukan 4 sensor LDR yang dapat berada pada rentang kawasan yang berbeda yaitu gelap, terang dan terang sekali. Beberapa data perubahan sudut sesuai pengujian secara manual yang dilakukan pada tanggal 27 Februari hingga 2 Maret 2014 sebagai data basis pengetahuan untuk perhitungan logika fuzzy ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Data Pengujian Manual Data Base pada Penentuan *Rule Base*

NO	27 Februari 2014				1 Maret 2014				2 Maret 2014			
	k ₁ (°)	k ₂ (°)	k ₃ (°)	k ₄ (°)	k ₁ (°)	k ₂ (°)	k ₃ (°)	k ₄ (°)	k ₁ (°)	k ₂ (°)	k ₃ (°)	k ₄ (°)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	27,99	0	0	0	28,01	0	0	0	27,97
3	0	0	0	48,94	0	0	0	48,93	0	0	0	49,03
4	0	0	41,7	0	0	0	41,9	0	0	0	42,3	0
5	0	0	41,8	27,8	0	0	41,89	28,01	0	0	42	27,93
6	0	0	42,01	49	0	0	42	49,3	0	0	42,11	49,02
7	0	0	69,87	0	0	0	70,3	0	0	0	70	0
8	0	0	70,1	28,1	0	0	69,98	28	0	0	70,23	27,98
9	0	0	70,03	28	0	0	69,99	27,99	0	0	69,98	28,01
10	0	27,96	0	0	0	28,02	0	0	0	0	28,01	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	28,03	0	0	0	27,97	0	0	0	28,01
14	0	0	41,98	0	0	0	42,01	0	0	0	42,01	0
15	0	0	42	49	0	0	42,02	48,98	0	0	41,98	49,02
16	0	27,98	70	0	0	28	70	0	0	28,02	70	0
17	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0
18	0	0	70	49	0	0	70	48,89	0	0	70	49,03
19	0	49	0	0	0	49	0	0	0	49	0	0
20	0	49	0	0	0	49	0	0	0	49	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	49	42	0	49	42	0	0	0	49	42	0
23	0	49	42	0	0	49	42	0	0	49	42	0
24	0	0	42	0	0	0	42	0	0	42	0	0
25	0	48,98	70	0	0	49,01	70	0	0	49,01	70	0

No	27 Februari 2014				1 Maret 2014				2 Maret 2014			
	k ₁ (°)	k ₂ (°)	k ₃ (°)	k ₄ (°)	k ₁ (°)	k ₂ (°)	k ₃ (°)	k ₄ (°)	k ₁ (°)	k ₂ (°)	k ₃ (°)	k ₄ (°)
26	0	49	70	0	0	49	70	0	0	49	70	0
27	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0
28	42	0	0	0	42	0	0	0	42	0	0	0
29	42	0	0	28	42	0	0	28,03	42,01	0	0	27,99
30	42	0	0	49	42	0	0	49,01	42,01	0	0	48,99
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	27,89	0	0	0	28,01	0	0	0	28,02
33	0	0	0	49,03	0	0	0	49	0	0	0	49,01
34	0	0	70,02	0	0	0	70	0	0	0	70	0
35	0	0	70	28,02	0	0	70,02	28	0	0	70	28,01
36	0	0	69,98	49	0	0	70	49,02	0	0	70	49
37	42	28	0	0	42	28,88	0	0	42,03	27,77	0	0
38	41,89	0	0	0	42	0	0	0	42,01	0	0	0
39	42	0	0	49,01	42	0	0	49	41,99	0	0	41,97
40	0	27,89	0	0	0	28,02	0	0	0	28	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	48,99	0	0	0	49	0	0	0	49
43	0	28	70	0	0	29,03	70	0	0	28	70	0
44	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0
45	0	0	70	48,88	0	0	70	49,19	0	0	70	48,86
46	42	49	0	0	41,98	48,88	0	0	42,01	49,03	0	0
47	42	49	0	0	42	49,01	0	0	42	49,01	0	0
48	42	0	0	0	42	0	0	0	42	0	0	0
49	0	49	0	0	0	49	0	0	0	49	0	0
50	0	49	0	0	0	49	0	0	0	49	0	0

No	27 Februari 2014				1 Maret 2014				2 Maret 2014			
	k ₁ (°)	k ₂ (°)	k ₃ (°)	k ₄ (°)	k ₁ (°)	k ₂ (°)	k ₃ (°)	k ₄ (°)	k ₁ (°)	k ₂ (°)	k ₃ (°)	k ₄ (°)
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	49	70,01	0	0	49	70	0	0	49,02	70,01	0
53	0	49,01	70	0	0	49	70	0	0	49,01	69,98	0
54	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0
55	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0
56	70	0	0	28	70	0	0	28	70	0	0	28
57	70	0	0	49,03	70,01	0	0	49,02	70	0	0	49
58	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0
59	70	0	0	28	70	0	0	28	70	0	0	28
60	70	0	0	49	70	0	0	49	70	0	0	49
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	28	0	0	0	28	0	0	0	28
63	0	0	0	49	0	0	0	49	0	0	0	49
64	70	27,98	0	0	70	28	0	0	70	28	0	0
65	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0
66	70	0	0	49	70	0	0	49	70	0	0	49
67	70	28	0	0	70	28	0	0	70	28	0	0
68	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0
69	70	0	0	49	70	0	0	49	70	0	0	49
70	0	28	0	0	0	28	0	0	0	28	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	49	0	0	0	49	0	0	0	49
73	70	49	0	0	70	49,03	0	0	70,03	49,12	0	0
74	70	49	0	0	70	49,03	0	0	70,03	49,02	0	0
75	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0

NO	27 Februari 2014				1 Maret 2014				2 Maret 2014			
	$k_1 (^{\circ})$	$k_2 (^{\circ})$	$k_3 (^{\circ})$	$k_4 (^{\circ})$	$k_1 (^{\circ})$	$k_2 (^{\circ})$	$k_3 (^{\circ})$	$k_4 (^{\circ})$	$k_1 (^{\circ})$	$k_2 (^{\circ})$	$k_3 (^{\circ})$	$k_4 (^{\circ})$
76	70	49	0	0	70	49	0	0	70	49	0	0
77	70	49	0	0	70	49	0	0	70	49	0	0
78	70	0	0	0	70	0	0	0	70	0	0	0
79	0	49	0	0	0	49,02	0	0	0	49,01	0	0
80	0	49,01	0	0	0	49,02	0	0	0	48,98	0	0
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data perubahan sudut untuk masing-masing k didapatkan berdasarkan nilai yang sering muncul ketika dilakukan pengujian

Delapan puluh satu kemungkinan atau rule base logika *fuzzy* adalah sebagai berikut:

1. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 gelap AND LDR 3 gelap AND LDR 4 gelap
THEN POSISI IS Motor [$0^{\circ} 0^{\circ} 0^{\circ} 0^{\circ}$]
2. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 gelap AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang
THEN POSISI IS Motor [$0^{\circ} 0^{\circ} 0^{\circ} 28^{\circ}$]
3. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 gelap AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang
sekali THEN POSISI IS Motor [$0^{\circ} 0^{\circ} 0^{\circ} 49^{\circ}$]
4. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang AND LDR 4 gelap
THEN POSISI IS Motor [$0^{\circ} 0^{\circ} 42^{\circ} 0^{\circ}$]
5. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang
THEN POSISI IS Motor [$0^{\circ} 0^{\circ} 42^{\circ} 28^{\circ}$]
6. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang
sekali THEN POSISI IS Motor [$0^{\circ} 0^{\circ} 42^{\circ} 49^{\circ}$]
7. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4
gelap THEN POSISI IS Motor [$0^{\circ} 0^{\circ} 70^{\circ} 0^{\circ}$]

8. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 28°]
9. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 49°]
10. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang AND LDR 3 gelap AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 28° 0° 0°]
11. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 0°]
12. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 28°]
13. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 28° 42° 0°]
14. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 42° 0°]
15. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 42° 49°]
16. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 28° 70° 0°]
17. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 0°]
18. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 49°]
19. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 gelap AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 49° 0° 0°]
20. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 49° 0° 0°]

21. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 0°]
22. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 49° 42° 0°]
23. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 49° 42° 0°]
24. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 42° 0°]
25. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 49° 70° 0°]
26. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 49° 70° 0°]
27. IF LDR 1 gelap AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 0°]
28. IF LDR 1 terang AND LDR 2 gelap AND LDR 3 gelap AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [42° 0° 0° 0°]
29. IF LDR 1 terang AND LDR 2 gelap AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [42° 0° 0° 28°]
30. IF LDR 1 terang AND LDR 2 gelap AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [42° 0° 0° 49°]
31. IF LDR 1 terang AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 0°]
32. IF LDR 1 terang AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 28°]
33. IF LDR 1 terang AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 49°]

34. IF LDR 1 terang AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 0°]
35. IF LDR 1 terang AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 28°]
36. IF LDR 1 terang AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 49°]
37. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang AND LDR 3 gelap AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [42° 28° 0° 0°]
38. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [42° 0° 0° 0°]
39. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [42° 0° 0° 49°]
40. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 28° 0° 0°]
41. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 0°]
42. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 49°]
43. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 28° 70° 0°]
44. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 0°]
45. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 49°]
46. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 gelap AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [42° 49° 0° 0°]

47. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [42° 49° 0° 0°]
48. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [42° 0° 0° 0°]
49. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 49° 0° 0°]
50. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 49° 0° 0°]
51. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 0°]
52. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 49° 70° 0°]
53. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 49° 70° 0°]
54. IF LDR 1 terang AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 70° 0°]
55. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 gelap AND LDR 3 gelap AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 0°]
56. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 gelap AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 28°]
57. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 gelap AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 49°]
58. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 0°]
59. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 28°]

60. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 49°]
61. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 0°]
62. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 28°]
63. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 gelap AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 49°]
64. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang AND LDR 3 gelap AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [70° 28° 0° 0°]
65. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 0°]
66. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 49°]
67. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [70° 28° 0° 0°]
68. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 0°]
69. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 49°]
70. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 28° 0° 0°]
71. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 0°]
72. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 49°]

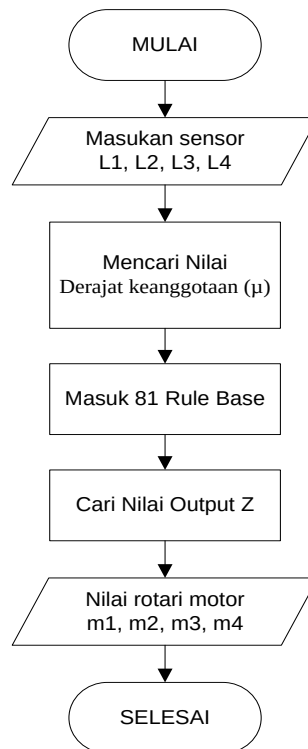
73. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 gelap AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [70° 49° 0° 0°]
74. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [70° 49° 0° 0°]
75. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 gelap AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [70 0° 0° 0°]
76. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [70° 49° 0° 0°]
77. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [70° 49° 0° 0°]
78. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [70° 0° 0° 0°]
79. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 gelap THEN POSISI IS Motor [0° 49° 0° 0°]
80. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang THEN POSISI IS Motor [0° 49° 0° 0°]
81. IF LDR 1 terang sekali AND LDR 2 terang sekali AND LDR 3 terang sekali AND LDR 4 terang sekali THEN POSISI IS Motor [0° 0° 0° 0°].

5.3.4. Diagram Alir perhitungan Logika *Fuzzy*

Diagram alir perancangan perhitungan logika *fuzzy*, sesuai dengan perhitungan matematika logika *fuzzy* yang telah dibahas sebelumnya yaitu mengambil data LDR, melakukan fuzzifikasi dengan mengubah nilai LDR menjadi nilai derajat keanggotaan, kemudian melakukan perhitungan mencari nilai maksimum dari setiap derajat keanggotaan pada 81 aturan yang terdapat dalam *rule base* logika *fuzzy*. *Output* logika *fuzzy* pada penelitian ini berupa nilai putaran motor dalam satuan pulsa yang dihasilkan oleh *rotary encoder*, sehingga

hasil pulsa ini akan mengarahkan ke arah mana motor akan bergerak untuk posisi panel surya. Defuzzifikasi nilai Z dari hasil perhitungan logika *fuzzy* adalah merubah nilai pulsa motor ke dalam gerakan putaran motor DC.

Diagram alir perancangan perhitungan logika *fuzzy* dalam menentukan posisi panel surya ditunjukkan dalam Gambar 5.11.

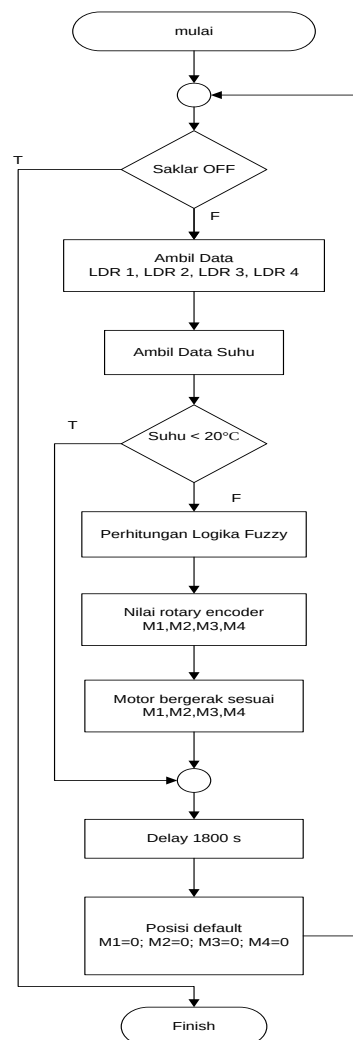


Gambar 5.12 Diagram Alir Perancangan Logika Fuzzy

5.4. Perancangan Keseluruhan Sistem

Perancangan sistem secara keseluruhan dimulai dengan membuka saklar *ON* secara langsung LDR mendeteksi cahaya matahari. Intensitas cahaya matahari yang dideteksi diambil kemudian diolah dalam perhitungan logika *fuzzy*. Hasil perhitungan logika *fuzzy* merupakan nilai pulsa yang dihasilkan oleh *rotary encoder*, sehingga nilai pulsa yang dihasilkan akan mengarahkan motor ke arah LDR terbesar. Pengambilan data dari LDR yang kemudian diproses oleh logika *fuzzy* dilakukan setiap 1800 detik atau setiap setengah jam. Fungsi sesor LM 35

adalah mendeteksi suhu disekitar panel surya (sensor *solar cell*), diharapkan ketika suhu mulai turun maka intensitas cahaya matahari juga ikut menurun dan memungkinkan terjadinya gelap atau hujan sehingga sistem siaga untuk *OFF*. Sistem akan aktif kembali (*ON*) ketika diaktifkan secara manual atau dengan bantuan manusia. Selama sistem tidak dinonaktifkan maka sistem akan selalu hidup dan akan selalu mengambil data dan memprosesnya setiap setengah jam. Diagram alir perancangan sistem secara keseluruhan pada penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 5.12



Gambar 5.13 Diagram Alir Perancangan Sistem Keseluruhan

BAB VI

PENGUJIAN ALAT

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bahwa sistem hasil perancangan berfungsi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi perancangan maka perlu dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan memberikan pengubahan pada masukan blok rangkaian dan mengamati keluaran dari blok rangkaian yang diuji tersebut. Data hasil pengujian yang diperoleh nantinya akan dianalisis untuk dijadikan acuan dalam mengambil kesimpulan. Pengujian pada sistem ini dibagi menjadi enam bagian, yaitu:

1. Pengujian Sensor LM 35
2. Pengujian Sensor Rotary Encoder
3. Pengujian Sensor LDR
4. Pengujian *Driver* Motor DC
5. Pengujian Tampilan LCD
6. Pengujian keluaran Sensor *Solar cell*
7. Pengujian sistem secara keseluruhan

6.1 Pengujian Sensor Suhu LM 35

Tujuan Pengujian rangkaian sensor suhu tipe LM35 bertujuan untuk mengetahui tingkat keakurasian dari sensor tersebut. Jika tanggapan sensor suhu baik maka setiap perubahan suhu ruangan sebesar 1°C juga akan menyebabkan perubahan nilai V_{out} pada sensor suhu sebesar 10mV.

$$V_{out} = T \times 10\text{mV} \quad (6-1)$$

Dengan,

T = suhu ruangan

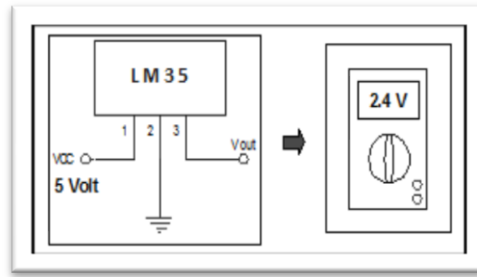
Pada pengujian sensor LM 35 diperlukan peralatan pengujian seperti dibawah ini:

- a. Catu daya
- b. Sensor suhu LM35
- c. Termometer
- d. Multimeter digital

Pada pelaksanaan pengujian sensor LM 35 maka langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian pengujian sensor suhu seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.1.
2. Memastikan rangkaian sudah tersusun dengan benar sebelum terhubung ke catu daya yang hasil keluaran sensor suhu ditunjukkan dalam LCD yang telah diprogram dan terhubung dengan mikrokontroler ATmega 128.
3. Menghubungkan catu daya ke rangkaian pengujian.
4. Mengaktifkan pemanas dan mulai mengukur tegangan yang keluar pada pin keluaran (V_{out}) sensor suhu LM 35 saat suhu pada pemanas yang ditunjukkan oleh termometer menunjukkan suhu yang kita tentukan.
5. Memasukkan hasil pengukuran ke dalam Tabel 6.1.

Gambar 6.1 menunjukkan prosedur pengujian sensor LM 35, dimana LM 35 memiliki 3 pin yaitu pin VCC (tegangan kerja mikrokontroler) yang terhubung dengan mikrokontroler, pin ground dan pin *output* sensor (V_{out}) LM 35. Untuk melakukan pengukuran dengan menggunakan multimeter digital maka dihubungkan dengan pin V_{out} sensor LM 35. Saat permukaan sensor LM 35 diterangkan dengan menggunakan *heater* dan diukur dengan menggunakan termometer agar sesuai dengan suhu yang ingin diukur yang kemudian dibandingkan dengan perhitungan sensor suhu LM 35 yang tertera pada *datasheet* LM 35.



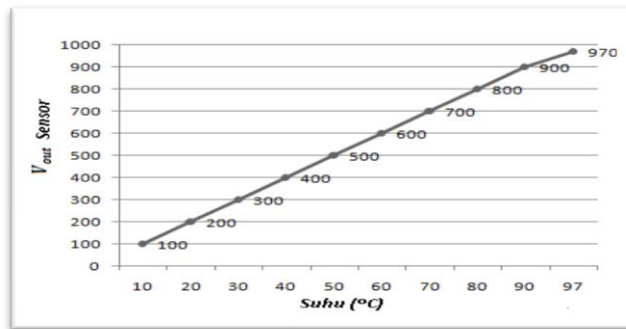
Gambar 6.1 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

Dengan melakukan prosedur pengujian seperti yang disebutkan maka didapatkan hasil pengujian pada rangkaian sensor suhu LM 35 seperti ditunjukkan dalam Tabel 6.1. Dalam Tabel ini disajikan data berisi nilai suhu dari 10°C hingga 100°C berdasarkan kebutuhan sistem, kemudian membandingkan nilai suhu yang terukur apakah pengukuran secara langsung sudah sesuai dengan perhitungan tegangan keluaran (V_{out}) sensor suhu LM 35 pada datasheet atau tidak.

Tabel 6.1 Pengujian Rangkaian Sensor LM 35

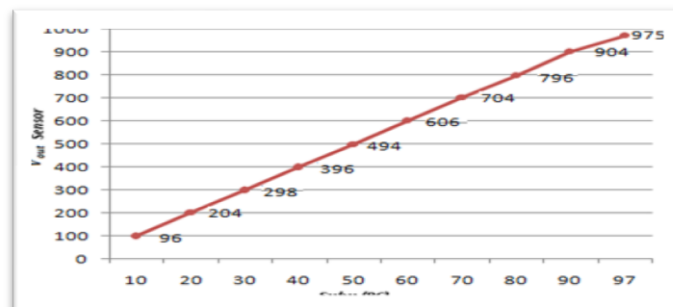
No	Suhu (°C)	V_{out} sensor	
		Perhitungan (mV)	Pengukuran (mV)
1	10	100	96
2	20	200	204
3	30	300	298
4	40	400	396
5	50	500	494
6	60	600	606
7	70	700	704
8	80	800	796
9	90	900	904
10	97	970	975

Data pada Tabel 6.1 dapat digambarkan menjadi bentuk grafik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.2 dan 6.3. Pada Gambar 6.2 menggambarkan tentang grafik hasil perhitungan sensor suhu sesuai rumus yang ada pada *datasheet* sensor suhu LM 35. Dimana rumus perhitungan V_{out} sensor LM 35 adalah besar suhu dikali dengan 10 mV.



Gambar 6. 2 Grafik Perhitungan V_{out} pada Sensor Suhu

Pada Gambar 6.3 menggambarkan grafik hasil pengukuran sensor suhu LM 35 berdasarkan pengujian saat heater diaktifkan dan dilihat dengan termometer berapa nilai suhu terukur dengan suhu yang ditunjukkan pada LCD.



Gambar 6. 3 Grafik Pengukuran V_{out} pada Sensor Suhu

6.2 Pengujian Sensor *Rotary Encoder*

Tujuan Pengujian Pengujian sensor *rotary encoder* bertujuan untuk melihat apakah sensor *rotary encoder* dapat mendeteksi putaran motor DC dan

mengetahui level tegangan yang dihasilkan oleh sensor saat kondisi *low* dan *high*.

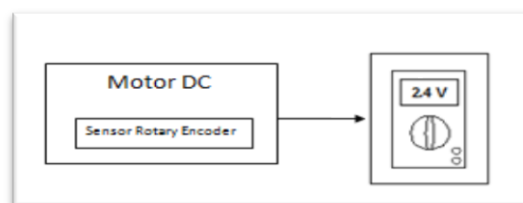
Pada pengujian sensor *rotary encoder* diperlukan peralatan pengujian seperti dibawah ini:

1. Sensor *Rotary Encoder*
2. Motor DC
3. Multimeter Digital
4. Rangkaian Sensor *Rotary Encoder*

Pada pelaksanaan pengujian sensor *rotary encoder* maka langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Meletakkan sensor *rotary encoder* pada motor DC.
2. Menggerakkan motor DC, kemudian mengukur tegangan yang dihasilkan pada rangkaian sensor *rotary encoder* saat *LED* terhalang dan saat *LED* tidak terhalang.
3. Pengujian sensor *rotary encoder* ditunjukkan dalam Gambar 6.4.

Gambar 6.4 adalah prosedur pengukuran tegangan yang diukur pada sensor *rotary encoder* yang telah dipasang pada motor DC. Pada sensor rotary encoder terdapat pola berlubang dimana pola ini bertujuan untuk menutup dan membuka jalur cahaya yang diterima oleh *phototransistor* dari LED. Sehingga, dapat diukur tegangan saat terhalang cahaya atau tidak. Dimana saat terhalang tegangan akan menunjukkan 0 Volt dan saat tidak terhalang tegangan terukur akan bernilai 5 Volt.



Gambar 6. 4 Pengujian Sensor *Rotary Encoder*

Setelah melakukan pengujian sesuai langkah-langkah diatas maka didapatkan hasil pengujian yaitu multimeter digital dapat mendeteksi level tegangan sensor *rotary encoder* saat *LED* terhalang dan tidak. Hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 6.5 dan 6.6. Pada Gambar 6.5 menjelaskan tentang Gambar hasil pengukuran dengan multimeter digital saat sensor rotary encoder tidak diberikan penghalang, atau pada kondisi saat motor DC berputar kondisi sensor *rotary encoder* yang dipasang dalam keadaan cahaya *LED* sampai ke *optocoupler*.

Pada Gambar 6.5 ditunjukkan saat *LED* tidak terhalang tegangan pada multimeter digital menunjukkan 4,82 Volt atau mendekati nilai VCC dari mikrokontroler yaitu sebesar 5 Volt dalam hal ini disebut kondisi *high*.



Gambar 6.5 Level tegangan saat *LED* tidak terhalang



Gambar 6.6 Level Tegangan saat LED terhalang

Pada Gambar 6.6 ditunjukkan saat *LED* terhalang oleh sela pada piringan hitam. Tegangan terukur pada multimeter digital yang ditunjukkan dalam Gambar diatas adalah tegangan sebesar 0,17 Volt atau mendekati nilai saat terdeteksi *Ground* yaitu sebesar 0 Volt dalam hal ini disebut kondisi *low*.

6.3 Pengujian Sensor LDR

Tujuan pengujian sensor LDR (*Light Depending Resistor*) untuk mengetahui apakah sensor LDR dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi sistem yang diinginkan, menguji kerja sensor saat intensitas cahaya besar ataupun tidak.

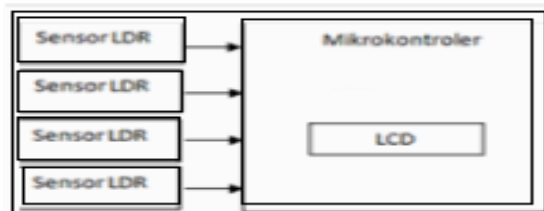
Pada pengujian sensor LDR diperlukan peralatan pengujian seperti dibawah ini:

1. 4 Sensor LDR
2. Mikrokontroler ATmega 128
3. LCD

Pada pelaksanaan pengujian sensor LDR maka langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pada mikrokontroler diprogram sesuai dengan perancangan sensor LDR dan menampilkan data perubahan sensor LDR pada LCD.
2. Mengaktifkan 4 sensor LDR dengan mengaktifkan catu daya sistem.
3. Pengujian dilakukan dengan memberikan cahaya secara bersamaan dan menutup cahaya ke sensor secara bergantian.
4. Langkah pengujian ditunjukkan dalam Gambar 6.7.

Gambar 6.7 menggambarkan tentang proses pengujian sensor LDR saat 4 sensor LDR yang telah dirancang dihubungkan dengan mikrokontroler ATmega yang telah diberikan program untuk dapat menunjukkan hasil pengukuran sensor LDR pada LCD.



Gambar 6.7 Pengujian Sensor LDR

Setelah melakukan pengujian sesuai dengan langkah-langkah diatas maka didapatkan hasil pengujian sensor LDR dimana sensor saat diberikan cahaya dan diberi hambatan tidak mendapat cahaya, data sensor pada LCD mengalami perubahan. Hasil pengujian sensor ditunjukkan dalam Gambar 6.8, 6.9, 6.10 dan 6.11 dibawah ini.

Gambar 6.8 menunjukkan tampilan LCD yang telah terprogram dengan mikrokontroler untuk menunjukkan nilai tegangan keluaran keempat sensor LDR, dan Gambar ini menunjukkan nilai L1 atau LDR 1 saat tertutup oleh cahaya yaitu bernilai 0,49 Volt dan ketiga sensor lainnya bernilai besar.



Gambar 6.8 Sensor LDR 1 Saat Tertutup Cahaya

Gambar 6.9 menunjukkan tampilan LCD yang telah terprogram dengan mikrokontroler untuk menunjukkan nilai tegangan keluaran keempat sensor LDR, dan Gambar ini menunjukkan nilai L2 atau LDR 2 saat tertutup oleh cahaya yaitu bernilai 0,56 Volt dan ketiga sensor lainnya bernilai besar.



Gambar 6.9 Sensor LDR 2 Saat Tertutup Cahaya

Gambar 6.10 menunjukkan tampilan LCD yang telah terprogram dengan mikrokontroler untuk menunjukkan nilai tegangan keluaran keempat sensor LDR, dan Gambar ini menunjukkan nilai L3 atau LDR 3 saat tertutup oleh cahaya yaitu bernilai 0,57 Volt dan ketiga sensor lainnya bernilai besar.



Gambar 6.10 Sensor LDR 3 Saat Tertutup Cahaya

Gambar 6.11 menunjukkan tampilan LCD yang telah terprogram dengan mikrokontroler untuk menunjukkan nilai tegangan keluaran keempat sensor LDR, dan Gambar ini menunjukkan nilai L4 atau LDR 4 saat tertutup oleh cahaya yaitu bernilai 0,32 Volt dan ketiga sensor lainnya bernilai besar.

Dari keempat Gambar yang telah dijelaskan menunjukkan bahwa sensor LDR dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi sistem yang diinginkan, sehingga mampu bekerja sesuai fungsinya yaitu saat intensitas cahaya besar besar nilai tegangan keluaran sensor (V_{out}) juga besar dan sebaliknya.



Gambar 6.11 Sensor LDR 4 Saat Tertutup Cahaya

6.4 Pengujian *Driver* Motor DC

Tujuan pengujian *driver* motor DC adalah untuk mengetahui apakah *driver* motor DC yang menggerakkan solar cell ke arah utara selatan atau arah timur barat dapat berfungsi dengan baik atau tidak.

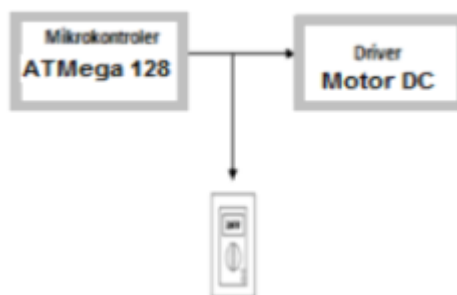
Dalam pengujian *driver* motor DC diperlukan peralatan pengujian seperti dibawah ini:

1. Motor DC
2. Mikrokontroler ATmega 128
3. Multimeter Digital
4. Catu daya motor DC

Pada pelaksanaan pengujian *driver* motor DC maka langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Alat dirangkai seperti dalam Gambar 6.12 dan memberikan logika *low* pada rangkaian *H-Bridge driver* motor DC.
2. Mengukur nilai tegangan keluaran pada motor.
3. Memberikan logika *high* pada rangkaian *ON/OFF driver* motor DC.
4. Mengukur kembali nilai tegangan keluaran pada motor DC.
5. Memasukkan hasil pengukuran ke dalam Tabel 6.2

Gambar 6.12 menunjukkan Gambar rangkaian pengujian *driver* motor DC dimana pengukuran dengan multimeter digital dilakukan diantara dua pin *output* tegangan motor DC. untuk melihat tegangan keluaran yang dihasilkan motor saat bergerak sesuai dengan arah jarum jam atau sebaliknya sudah sesuai dengan tegangan yang diinginkan sistem atau tidak.



Gambar 6.12 Pengujian Driver Motor

Setelah melakukan pengujian sesuai dengan langkah-langkah diatas maka didapatkan hasil pengujian dari rangkaian motor DC ditunjukkan dalam tabel di bawah ini. Dari tabel data tersebut didapatkan perubahan motor yang menyala dan tidak. Hasil dari pengujian motor dapat dilihat dalam Tabel 6.2.

Tabel 6.2 menyajikan data tegangan terukur pada pin output motor DC saat diberikan logika *high* atau *low* oleh mikrokontroler sebagai pembanding apakah tegangan keluaran (V_{out}) sudah sesuai dengan perancangan atau tidak.

Tabel 6.2 Hasil Pengujian *Driver* Motor DC

Logika	V_{out} Logika Motor	V_{out} Logika Motor	Keterangan
(Mikrokontroler)	Perhitungan (V)	Pengukuran (V)	Arah putaran
Stop	0	0	Stop
1	24	22,40	CW
0	-24	-22,40	CCW

Hasil pengujian tegangan driver motor saat aktif (*High*) ditunjukkan dalam Gambar 6.13 dan tidak aktif (*Low*) dalam Gambar 6.14. Dari Gambar 6.13 dan 6.14 hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa *driver* motor DC yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik.



Gambar 6.13 Pengujian Motor DC Logika *High* (CW)

Gambar 6.13 menunjukkan nilai tegangan saat motor DC berputar (logika *High*) searah jarum jam maka nilai tegangan terukur pada multimeter digital adalah sebesar 22,40 Volt atau mendekati nilai tegangan masukan untuk motor yaitu 24 Volt.



Gambar 6.14 Pengujian Motor DC Logika Stop

Gambar 6.14 menunjukkan nilai tegangan saat motor DC diam (logika *stop*) searah jarum jam maka nilai tegangan terukur pada multimeter digital adalah sebesar 0,06 Volt atau mendekati nilai *ground* untuk motor yaitu 0 Volt.

6.5 Pengujian Tampilan LCD

Tujuan pengujian LCD untuk mengetahui keberhasilan LCD menampilkan tulisan sesuai dengan perangkat lunak yang terdapat dalam mikrokontroler.

Dalam pengujian tampilan LCD diperlukan Peralatan Pengujian seperti dibawah ini:

1. Mikrokontroler ATmega 128
2. LCD

Pada pelaksanaan pengujian tampilan LCD maka langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian modul LCD 20x4 dilakukan dengan menghubungkan LCD dengan mikrokontroler yang sudah berisi perangkat lunak.
2. Pada Mikrokontroler di program untuk mengeluarkan kata L1, L2, L3, L4, Suhu dan cell beserta nilai yang ditunjukkan oleh ketiga sensor.
3. Pengujian tampilan LCD ditunjukkan dalam Gambar 6.15

Gambar 6.15 adalah prosedur pengujian LCD, dimana LCD yang dihubungkan dengan mikrokontroler ATmega 128 dan telah diprogram untuk menampilkan nilai tegangan keluaran LDR 1 sampai 4 pada LCD yang digunakan pada sistem yaitu LCD 4 baris dan 20 kolom.



Gambar 6.15 Diagram Blok Pengujian LCD

Setelah melakukan pengujian sesuai dengan langkah-langkah diatas maka didapatkan hasil yaitu LCD dapat menampilkan tulisan L1 beserta nilai L1 dan nilai suhu pada baris pertama, nilai L2 dan nilai dari *solar cell* pada baris kedua, nilai L3 pada baris ketiga dan nilai L4 beserta besaran nilai *rotary encoder* pada baris keempat. Tampilan hasil pengujian modul LCD ditunjukkan dalam Gambar 6.16



Gambar 6.16 Tampilan Hasil Pengujian Tampilan LCD

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa rangkaian LCD dan perangkat lunak yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik.

6.6 Pengujian Sensor *Solar Cells*

Pengujian sensor *solar cells* bertujuan untuk mengetahui nilai keluaran yang dihasilkan oleh sensor, apakah sudah memenuhi tingkat keakurasian dari sensor atau tidak.

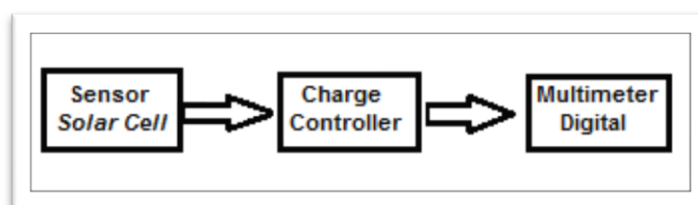
Dalam pengujian sensor *solar cells* diperlukan peralatan pengujian seperti dibawah ini:

- a. *Solar cells*
- b. Multimeter Digital

Pada pelaksanaan pengujian sensor *solar cell* maka langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian sensor *solar cell* dilakukan dengan meletakkannya dibawah sinar matahari kemudian menghubungkan multimeter digital dengan *output solar cell* dari *charge controller*.
2. Pengujian sensor *solar cell* ditunjukkan dalam Gambar 6.17

Gambar 6.17 adalah prosedur pengujian pada sensor *solar cell* dimana multimeter digital akan mengukur tegangan keluaran dari *solar cell* melalui *charge controller*.



Gambar 6.17 Pengujian *Solar Cell*

Setelah melakukan pengujian sesuai dengan langkah-langkah diatas maka didapatkan hasil yaitu hasil pengujian menunjukkan sensor solar cell berfungsi dengan baik saat sensor menerima cahaya matahari. Hasil pengujian sensor solar cell ditunjukkan dalam Gambar 6.18.



Gambar 6.18 Hasil Pengujian Solar Cell

Gambar 6.18 menunjukkan hasil pengukuran menggunakan multimeter digital saat sensor solar cell diletakkan dibawah terang matahari pada siang hari sehingga dapat diketahui besar nilai tegangan keluaran (V_{out}) sensor solar cell pada saat itu. Dari Gambar diatas dapat disimpulkan sensor *solar cell* berfungsi dengan baik dan dapat digunakan untuk sistem ini.

6.7 Pengujian Perhitungan Logika Fuzzy

Perhitungan logika *fuzzy* dalam menentukan posisi ke arah mana panel surya berdasarkan data masukan nilai dari empat LDR.

- *Input* (mengambil data) nilai empat LDR yang diletakkan di empat sisi panel surya.
- Fuzzifikasi dimana nilai LDR diubah kedalam nilai derajat keanggotaan.

- Nilai derajat keanggotaan dari masing-masing LDR akan diproses dalam *rule base*.
- Menghitung Nilai Z atau *output logika fuzzy*.
- Agregasi dan penentuan keluaran fuzzy dimana nilai Z akan direpresentasikan dalam arah posisi motor 1 hingga posisi motor 4.

Berikut adalah salah satu perhitungan dengan logika *fuzzy* dengan mengambil nilai empat LDR secara acak. Jika diketahui empat nilai LDR adalah

LDR 1 = 3,72 Volt

LDR 2 = 4,22 Volt

LDR 3 = 4,67 Volt

LDR 4 = 4,89 Volt

Langkah selanjutnya adalah menentukan derajat keanggotaan dari masing-masing nilai LDR (μ). LDR 1 akan memiliki derajat keanggotaan saat gelap, terang dan terang sekali, begitupula dengan LDR 2, LDR 3 dan LDR 4. Maka nilai derajat keanggotaan masing-masing LDR adalah

$$\mu[\text{LDR 1}=3,72] \begin{cases} \mu_R=0,51 \\ \mu_M=0,49 \\ \mu_T=0 \end{cases}$$

$$\mu[\text{LDR 2}=4,22] \begin{cases} \mu_R=0 \\ \mu_M=0,92 \\ \mu_T=0,08 \end{cases}$$

$$\mu[\text{LDR 3}=4,67] \begin{cases} \mu_R=0 \\ \mu_M=0,39 \\ \mu_T=0,61 \end{cases}$$

$$\mu[\text{LDR } 4=4,89] \begin{cases} \mu_R=0 \\ \mu_M=0.13 \\ \mu_T=0.87 \end{cases}$$

Setelah mendapatkan nilai derajat keanggotaan masing-masing nilai LDR, nilai-nilai ini diproses ke dalam rule base *fuzzy* yang telah dibuat.

$$\begin{aligned} [\text{R1}] \quad \mu_{\text{predikat 1}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0; 0; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{R2}] \quad \mu_{\text{predikat 2}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0; 0; 0,13) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{R3}] \quad \mu_{\text{predikat 3}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0; 0; 0,87) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{R4}] \quad \mu_{\text{predikat 4}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0; 0,39; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{R5}] \quad \mu_{\text{predikat 5}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0; 0,39; 0,13) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{R6}] \quad \mu_{\text{predikat 6}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0; 0,39; 0,87) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{R7}] \quad \mu_{\text{predikat 7}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0; 0,0,61; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R8] \quad \mu_{\text{predikat 8}} &= \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{R \text{ LDR } 2} ; \mu_{T \text{ LDR } 3} ; \mu_{M \text{ LDR } 4}) \\
&= \text{MIN} (0,51; 0; 0,61; 0,13) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R9] \quad \mu_{\text{predikat 9}} &= \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{R \text{ LDR } 2} ; \mu_{T \text{ LDR } 3} ; \mu_{T \text{ LDR } 4}) \\
&= \text{MIN} (0,51; 0; 0,61; 0,87) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R10] \quad \mu_{\text{predikat 10}} &= \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{R \text{ LDR } 3} ; \mu_{R \text{ LDR } 4}) \\
&= \text{MIN} (0,51; 0,92; 0; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R11] \quad \mu_{\text{predikat 11}} &= \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{R \text{ LDR } 3} ; \mu_{M \text{ LDR } 4}) \\
&= \text{MIN} (0,51; 0,92; 0; 0,13) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R12] \quad \mu_{\text{predikat 12}} &= \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{R \text{ LDR } 3} ; \mu_{T \text{ LDR } 4}) \\
&= \text{MIN} (0,51; 0,92; 0; 0,87) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R13] \quad \mu_{\text{predikat 13}} &= \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{M \text{ LDR } 3} ; \mu_{R \text{ LDR } 4}) \\
&= \text{MIN} (0,51; 0,92; 0,39; 0) \\
&= 0,18
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R14] \quad \mu_{\text{predikat 14}} &= \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{M \text{ LDR } 3} ; \mu_{M \text{ LDR } 4}) \\
&= \text{MIN} (0,51; 0,92; 0,39; 0,13) \\
&= 0,13
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R15] \quad \mu_{\text{predikat 15}} &= \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{M \text{ LDR } 3} ; \mu_{T \text{ LDR } 4}) \\
&= \text{MIN} (0,51; 0,92; 0,39; 0,87) \\
&= 0,39
\end{aligned}$$

$$[R16] \quad \mu_{\text{predikat 16}} = \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{T \text{ LDR } 3} ; \mu_{R \text{ LDR } 4})$$

$$= \text{MIN} (0,51; 0,92; 0,61; 0)$$

$$= 0$$

$$[R17] \quad \mu_{\text{predikat 17}} = \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{T \text{ LDR } 3} ; \mu_{M \text{ LDR } 4})$$

$$= \text{MIN} (0,51; 0,92; 0,61; 0,13)$$

$$= 0,13$$

$$[R18] \quad \mu_{\text{predikat 18}} = \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{T \text{ LDR } 3} ; \mu_{T \text{ LDR } 4})$$

$$= \text{MIN} (0,51; 0,92; 0,61; 0,87)$$

$$= 0,51$$

$$[R19] \quad \mu_{\text{predikat 19}} = \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{T \text{ LDR } 2} ; \mu_{R \text{ LDR } 3} ; \mu_{R \text{ LDR } 4})$$

$$= \text{MIN} (0,51; 0,08; 0; 0)$$

$$= 0$$

$$[R20] \quad \mu_{\text{predikat 20}} = \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{T \text{ LDR } 2} ; \mu_{R \text{ LDR } 3} ; \mu_{M \text{ LDR } 4})$$

$$= \text{MIN} (0,51; 0,08; 0; 0,13)$$

$$= 0$$

$$[R21] \quad \mu_{\text{predikat 21}} = \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{T \text{ LDR } 2} ; \mu_{R \text{ LDR } 3} ; \mu_{T \text{ LDR } 4})$$

$$= \text{MIN} (0,51; 0,08; 0; 0,87)$$

$$= 0$$

$$[R22] \quad \mu_{\text{predikat 22}} = \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{T \text{ LDR } 2} ; \mu_{M \text{ LDR } 3} ; \mu_{R \text{ LDR } 4})$$

$$= \text{MIN} (0,51; 0,08; 0,39; 0)$$

$$= 0$$

$$[R23] \quad \mu_{\text{predikat 23}} = \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{T \text{ LDR } 2} ; \mu_{M \text{ LDR } 3} ; \mu_{M \text{ LDR } 4})$$

$$= \text{MIN} (0,51; 0,08; 0,39; 0,13)$$

$$= 0,08$$

$$[R24] \quad \mu_{\text{predikat 24}} = \text{MIN} (\mu_{R \text{ LDR } 1} ; \mu_{T \text{ LDR } 2} ; \mu_{M \text{ LDR } 3} ; \mu_{T \text{ LDR } 4})$$

$$= \text{MIN} (0,51; 0,08; 0,39; 0,87)$$

$$= 0,08$$

$$\begin{aligned} \text{[R25]} \quad \mu_{\text{predikat 25}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0,08; 0,61; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R26]} \quad \mu_{\text{predikat 26}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0,08; 0,61; 0,13) \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R27]} \quad \mu_{\text{predikat 27}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{R LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,51; 0,08; 0,61; 0,87) \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R28]} \quad \mu_{\text{predikat 28}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0; 0; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R29]} \quad \mu_{\text{predikat 29}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0; 0; 0,13) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R30]} \quad \mu_{\text{predikat 30}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0; 0; 0,87) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R31]} \quad \mu_{\text{predikat 31}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0; 0,39; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R32]} \quad \mu_{\text{predikat 32}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0; 0,39; 0,13) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R33] \quad \mu_{\text{predikat 33}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0,49; 0; 0,39; 0,87) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R34] \quad \mu_{\text{predikat 34}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0,49; 0; 0,61; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R35] \quad \mu_{\text{predikat 35}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0,49; 0; 0,61; 0,13) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R36] \quad \mu_{\text{predikat 36}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0,49; 0; 0,61; 0,87) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R37] \quad \mu_{\text{predikat 37}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0,49; 0,92; 0; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R38] \quad \mu_{\text{predikat 38}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0,49; 0,92; 0; 0,13) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R39] \quad \mu_{\text{predikat 39}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0,49; 0,92; 0; 0,87) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R40] \quad \mu_{\text{predikat 40}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0,49; 0,92; 0,39; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$[R41] \quad \mu_{\text{predikat 41}} = \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}})$$

$$= \text{MIN} (0,49; 0,92; 0,39; 0,13)$$

$$= 0,13$$

$$[R42] \quad \mu_{\text{predikat 42}} = \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}})$$

$$= \text{MIN} (0,49; 0,92; 0,39; 0,87)$$

$$= 0,39$$

$$[R43] \quad \mu_{\text{predikat 43}} = \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}})$$

$$= \text{MIN} (0,49; 0,92; 0,61; 0)$$

$$= 0$$

$$[R44] \quad \mu_{\text{predikat 44}} = \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}})$$

$$= \text{MIN} (0,49; 0,92; 0,61; 0,13)$$

$$= 0,13$$

$$[R45] \quad \mu_{\text{predikat 45}} = \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}})$$

$$= \text{MIN} (0,49; 0,92; 0,61; 0,87)$$

$$= 0,49$$

$$[R46] \quad \mu_{\text{predikat 46}} = \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}})$$

$$= \text{MIN} (0,49; 0,08; 0; 0)$$

$$= 0$$

$$[R47] \quad \mu_{\text{predikat 47}} = \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}})$$

$$= \text{MIN} (0,49; 0,08; 0; 0,13)$$

$$= 0$$

$$[R48] \quad \mu_{\text{predikat 48}} = \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}})$$

$$= \text{MIN} (0,49; 0,08; 0; 0,87)$$

$$= 0$$

$$[R49] \quad \mu_{\text{predikat 46}} = \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}})$$

$$= \text{MIN} (0,49; 0,08; 0,39; 0,)$$

$$= 0,08$$

$$\begin{aligned} \text{[R50]} \quad \mu_{\text{predikat 50}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0,08; 0,39; 0,13) \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R51]} \quad \mu_{\text{predikat 51}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0,08; 0,39; 0,87) \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R52]} \quad \mu_{\text{predikat 51}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0,08; 0,61; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R53]} \quad \mu_{\text{predikat 53}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0,08; 0,61; 0,13) \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R54]} \quad \mu_{\text{predikat 54}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{M LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0,49; 0,08; 0,61; 0,87) \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R55]} \quad \mu_{\text{predikat 55}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0; 0; 0; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R56]} \quad \mu_{\text{predikat 56}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0; 0; 0; 0,13) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[R57]} \quad \mu_{\text{predikat 57}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\ &= \text{MIN} (0; 0; 0; 0,87) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R58] \quad \mu_{\text{predikat 58}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0; 0,39; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R59] \quad \mu_{\text{predikat 59}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0; 0,39; 0,13) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R60] \quad \mu_{\text{predikat 60}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0; 0,39; 0,87) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R61] \quad \mu_{\text{predikat 61}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0; 0,61; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R62] \quad \mu_{\text{predikat 62}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0; 0,61; 0,13) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R63] \quad \mu_{\text{predikat 63}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{R LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0; 0,61; 0,87) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R64] \quad \mu_{\text{predikat 64}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0,92; 0; 0) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[R65] \quad \mu_{\text{predikat 65}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0,92; 0; 0,13) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$[R66] \quad \mu_{\text{predikat 66}} = \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{M LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}})$$

$$= MIN (0; 0,92; 0; 0,87)$$

$$= 0$$

$$[R67] \quad \mu_{\text{predikat 67}} = MIN (\mu_{T \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{M \text{ LDR } 3} ; \mu_{R \text{ LDR } 4})$$

$$= MIN (0; 0,92; 0,39; 0)$$

$$= 0$$

$$[R68] \quad \mu_{\text{predikat 68}} = MIN (\mu_{T \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{M \text{ LDR } 3} ; \mu_{M \text{ LDR } 4})$$

$$= MIN (0; 0,92; 0,39; 0,13)$$

$$= 0$$

$$[R69] \quad \mu_{\text{predikat 69}} = MIN (\mu_{T \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{M \text{ LDR } 3} ; \mu_{T \text{ LDR } 4})$$

$$= MIN (0; 0,92; 0,39; 0,87)$$

$$= 0$$

$$[R70] \quad \mu_{\text{predikat 70}} = MIN (\mu_{T \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{T \text{ LDR } 3} ; \mu_{R \text{ LDR } 4})$$

$$= MIN (0; 0,92; 0,61; 0)$$

$$= 0$$

$$[R71] \quad \mu_{\text{predikat 70}} = MIN (\mu_{T \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{T \text{ LDR } 3} ; \mu_{M \text{ LDR } 4})$$

$$= MIN (0; 0,92; 0,61; 0,13)$$

$$= 0$$

$$[R72] \quad \mu_{\text{predikat 72}} = MIN (\mu_{T \text{ LDR } 1} ; \mu_{M \text{ LDR } 2} ; \mu_{T \text{ LDR } 3} ; \mu_{T \text{ LDR } 4})$$

$$= MIN (0; 0,92; 0,61; 0,87)$$

$$= 0$$

$$[R73] \quad \mu_{\text{predikat 70}} = MIN (\mu_{T \text{ LDR } 1} ; \mu_{T \text{ LDR } 2} ; \mu_{R \text{ LDR } 3} ; \mu_{R \text{ LDR } 4})$$

$$= MIN (0; 0,08; 0; 0)$$

$$= 0$$

$$[R74] \quad \mu_{\text{predikat 74}} = MIN (\mu_{T \text{ LDR } 1} ; \mu_{T \text{ LDR } 2} ; \mu_{R \text{ LDR } 3} ; \mu_{M \text{ LDR } 4})$$

$$= MAX (0; 0,08; 0; 0,13)$$

$$\begin{aligned}
&= 0 \\
[R75] \quad \mu_{\text{predikat 75}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{R LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0,08; 0; 0.87) \\
&= 0 \\
[R76] \quad \mu_{\text{predikat 76}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0,08; 0,39; 0) \\
&= 0 \\
[R77] \quad \mu_{\text{predikat 77}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0,08; 0,39; 0.13) \\
&= 0 \\
[R78] \quad \mu_{\text{predikat 78}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{M LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\
&= \text{MAX} (0; 0,08; 0,39; 0.87) \\
&= 0 \\
[R79] \quad \mu_{\text{predikat 76}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{R LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0,08; 0,61; 0) \\
&= 0 \\
[R80] \quad \mu_{\text{predikat 80}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{M LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0,08; 0,61; 0,13) \\
&= 0 \\
[R81] \quad \mu_{\text{predikat 81}} &= \text{MIN} (\mu_{\text{T LDR 1}} ; \mu_{\text{T LDR 2}} ; \mu_{\text{T LDR 3}} ; \mu_{\text{T LDR 4}}) \\
&= \text{MIN} (0; 0,08; 0,61; 0,87) \\
&= 0
\end{aligned}$$

Untuk mengetahui jumlah pulsa motor untuk posisi panel surya maka perlu diketahui rata-rata nilai Z dari semua μ -predikat pada *rule base* dengan metode defuzzifikasi *weighted average*, maka Z didapatkan dengan rumus:

$$Z = \frac{\mu_1 Z_1 + \dots + \mu_{81} Z_{81}}{\mu_1 + \dots + \mu_{81}} \quad (6-2)$$

$Z = [0 \text{ M1 arah barat, } 78 \text{ M2 arah selatan, } 676 \text{ M1 arah timur, } 421 \text{ M2 arah utara}]$

Dari ke 81 aturan didapatkan hanya aturan [14], [15], [17], [18], [23], [24], [26], [27], [41], [42], [44], [45], [50], [51], [53] dan [54]. Maka didapatkan keluaran logika fuzzy adalah motor 2 pada panel surya bergerak sebesar 78 pulsa ($5,46^\circ$), motor 3 sebesar 676 pulsa (47°) dan 421 pulsa (42°) ke arah motor 4. Sebagai pembandingan hasil perhitungan Z_1 , Z_2 , Z_3 dan Z_4 dengan menggunakan Fuzzifikasi Takagi-Sugeno digunakan perhitungan dengan metode Tsukamoto, metode perhitungan didapatkan berdasarkan aturan pada rule base yang dibuat pada metode Takagi-Sugeno. Namun, pada perhitungan Tsukamoto setiap konsekuensi pada aturan yang berbentuk *IF-Then* harus direpresentasikan dalam bentuk himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, *output*/hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan μ predikat (*fire strength*) (Kusumadewi, 2004:33).

Salah satu perhitungan untuk mencari nilai Z_1 , Z_2 , Z_3 dan Z_4 dengan metode Tsukamoto adalah sebagai berikut:

Jika diketahui:

LDR1 = 4,81 Volt

LDR2 = 4,82 Volt

LDR 3 = 4,93 Volt

LDR 4 = 4,79 Volt

Maka didapatkan derajat keanggotaan masing-masing LDR adalah

$$\mu[\text{LDR 1}=4.81] \begin{cases} \mu_R=0 \\ \mu_M=0.22 \\ \mu_T=0.78 \end{cases}$$

$$\mu[\text{LDR 2}=4.82] \begin{cases} \mu_R=0 \\ \mu_M=0.21 \\ \mu_T=0.79 \end{cases}$$

$$\mu[\text{LDR 3}=4.93] \begin{cases} \mu_R=0 \\ \mu_M=0.08 \\ \mu_T=0.92 \end{cases}$$

$$\mu[\text{LDR 4}=4.79] \begin{cases} \mu_R=0 \\ \mu_M=0.25 \\ \mu_T=0.75 \end{cases}$$

Pada metode Tsukamoto perhitungan logika fuzzy dilakukan terpisah antara LDR 1 dan LDR 3 untuk motor ke arah barat dan timur dan LDR 2 dan LDR 4 untuk motor ke arah utara dan selatan. Penentuan jumlah rule didapatkan dari jumlah range pada yang diberikan oleh sensor LDR dipangkat dengan jumlah sensor LDR yang digunakan untuk mencari nilai z yaitu dua sensor LDR dan 3 range yang digunakan (gelap, terang,terang sekali) sehingga rule base yang digunakan adalah $3^2 = 9$ aturan.

Rule base LDR 1

[1] Jika LDR 1 gelap dan LDR 3 gelap maka z adalah 0

[2] Jika LDR 1 gelap dan LDR 3 terang maka z adalah 0

[3] Jika LDR 1 gelap dan LDR 3 terang sekali maka z adalah 0

[4] Jika LDR 1 terang dan LDR 3 gelap maka z adalah berkurang

[5] Jika LDR 1 terang dan LDR 3 terang maka z adalah 0

[6] Jika LDR 1 terang dan LDR 3 terang sekali maka z adalah berkurang

[7] Jika LDR 1 terang sekali dan LDR 3 gelap maka z adalah bertambah

[8] Jika LDR 1 terang sekali dan LDR 3 terang maka z adalah bertambah

[9] Jika LDR 1 terang sekali dan LDR 3 terang sekali maka z adalah 0

Rule base LDR 2

[1] Jika LDR 2 gelap dan LDR 4 gelap maka z adalah 0

[2] Jika LDR 2 gelap dan LDR 4 terang maka z adalah 0

[3] Jika LDR 2 gelap dan LDR 4 terang sekali maka z adalah 0

[4] Jika LDR 2 terang dan LDR 4 gelap maka z adalah berkurang

[5] Jika LDR 2 terang dan LDR 4 terang maka z adalah 0

[6] Jika LDR 2 terang dan LDR 4 terang sekali maka z adalah berkurang

[7] Jika LDR 2 terang sekali dan LDR 4 gelap maka z adalah bertambah

[8] Jika LDR 2 terang sekali dan LDR 4 terang maka z adalah bertambah

[9] Jika LDR 2 terang sekali dan LDR 4 terang sekali maka z adalah 0

Rule base LDR 3

[1] Jika LDR 1 gelap dan LDR 3 gelap maka z adalah 0

[2] Jika LDR 1 gelap dan LDR 3 terang maka z adalah berkurang

[3] Jika LDR 1 gelap dan LDR 3 terang sekali maka z adalah bertambah

[4] Jika LDR 1 terang dan LDR 3 gelap maka z adalah 0

[5] Jika LDR 1 terang dan LDR 3 terang maka z adalah 0

[6] Jika LDR 1 terang dan LDR 3 terang sekali maka z adalah bertambah

[7] Jika LDR 1 terang sekali dan LDR 3 gelap maka z adalah 0

[8] Jika LDR 1 terang sekali dan LDR 3 terang maka z adalah berkurang

[9] Jika LDR 1 terang sekali dan LDR 3 terang sekali maka z adalah 0

Rule base LDR 4

[1] Jika LDR 2 gelap dan LDR 4 gelap maka z adalah 0

[2] Jika LDR 2 gelap dan LDR 4 terang maka z adalah berkurang

[3] Jika LDR 2 gelap dan LDR 4 terang sekali maka z adalah bertambah

[4] Jika LDR 2 terang dan LDR 4 gelap maka z adalah 0

[5] Jika LDR 2 terang dan LDR 4 terang maka z adalah 0

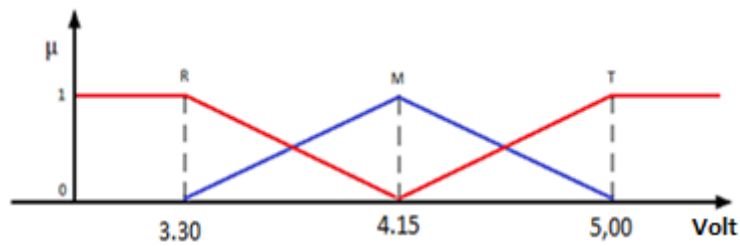
[6] Jika LDR 2 terang dan LDR 4 terang sekali maka z adalah bertambah

[7] Jika LDR 2 terang sekali dan LDR 4 gelap maka z adalah 0

[8] Jika LDR 2 terang sekali dan LDR 4 terang maka z adalah berkurang

[9] Jika LDR 2 terang sekali dan LDR 4 terang sekali maka z adalah 0

Untuk *membership function* pada metode Tsukamoto adalah *membership function* yang digunakan pada metode Takagi-Sugeno seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.19.



Gambar 6.19 Membership Function

Gambar 6.19 menggambarkan grafik membership function dengan 3 range, yaitu LDR gelap, terang dan terang sekali. Dimana, batas gelap adalah $\leq 3,30$ Volt (kurang dari atau sama dengan 3.30 Volt), batas terang adalah $3,30 \text{ Volt} < 4,15 \text{ Volt} < 5,00 \text{ Volt}$ dan batas untuk LDR terang sekali adalah $\geq 5,00$ Volt (lebih besar atau sama dengan). Fungsi keanggotaan ditunjukkan pada persamaan dibawah.

Untuk Range Gelap (R):

$$\mu[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 3,30 \\ 0, & x \geq 4,15 \\ \frac{4,15-x}{4,15-3,30}, & 3,30 < x < 4,15 \end{cases} \quad (6-3)$$

Untuk Range Terang (M):

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 3,30 \text{ atau } x \geq 5,00 \\ \frac{x-3,30}{4,15-3,30}, & 3,30 < x \leq 4,15 \\ \frac{5,00-x}{5,00-4,15}, & 4,15 < x < 5,00 \end{cases} \quad (6-4)$$

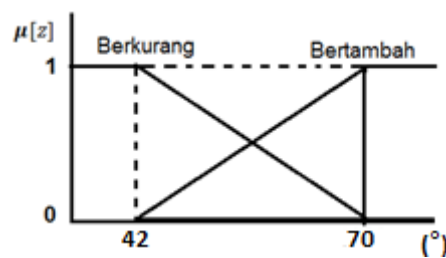
Untuk Range Terang sekali (T):

$$\mu[x] = \begin{cases} 1, & x \geq 5,00 \\ 0, & x \leq 4,15 \\ \frac{x-4,15}{5,00-4,15}, & 4,15 < x < 5,00 \end{cases} \quad (6-5)$$

Dan fungsi keanggotaan untuk himpunan *fuzzy output* adalah

$$Z = \frac{\mu_1 Z_1 + \dots + \mu_9 Z_9}{\mu_1 + \dots + \mu_9} \quad (6-6)$$

Himpunan Fuzzy untuk output Z LDR 1 dan LDR 3 ditunjukkan dalam Gambar 6.20. Pada Gambar dibawah ini menunjukkan nilai output Z akan bertambah atau berkurang sesuai *rule base* yang telah ditentukan sesuai nilai derajat keanggotaan masing-masing LDR.



Gambar 6.20 Himpunan Fuzzy Output Tsukamoto LDR 1 dan LDR 3

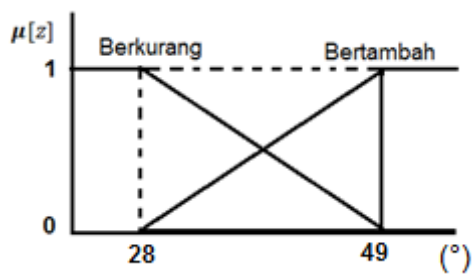
Perhitungan *fire strength* masing-masing LDR ditentukan berdasarkan persamaan dibawah ini, sesuai dengan *rule base*.

Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy Output:

$$\mu_{\text{Pr putaran motor berkurang}} [Z] = \begin{cases} 1, & Z \leq 600 \\ 0, & Z \geq 1000 \\ \frac{1000 - Z}{1000 - 600}, & 600 < Z < 1000 \end{cases} \quad (6-7)$$

$$\mu_{\text{Pr putaran motor bertambah}} [Z] = \begin{cases} 0, & Z \leq 600 \\ 1, & Z \geq 1000 \\ \frac{Z - 600}{1000 - 600}, & 600 < Z < 1000 \end{cases} \quad (6-8)$$

Himpunan Fuzzy untuk output Z LDR 2 dan LDR 4 ditunjukkan dalam Gambar 6.21. Pada Gambar dibawah ini menunjukkan nilai output Z akan bertambah atau berkurang sesuai *rule base* yang telah ditentukan sesuai nilai derajat keanggotaan masing-masing LDR.



Gambar 6. 21 Himpunan *Fuzzy Output* Tsukamoto LDR 2 dan LDR 4

Fungsi Keanggotaan Himpunan *Fuzzy Output*:

$$\mu_{\text{Pr putaran motor berkurang}} [Z] = \begin{cases} 1, & Z \leq 400 \\ 0, & Z \geq 700 \\ \frac{700 - Z}{700 - 400}, & 400 < Z < 700 \end{cases} \quad (6-9)$$

$$\mu_{\text{Pr putaran motor bertambah}} [Z] = \begin{cases} 0, & Z \leq 400 \\ 1, & Z \geq 700 \\ \frac{Z - 400}{700 - 400}, & 400 < Z < 700 \end{cases} \quad (6-10)$$

Metode Tsukamoto untuk mencari Z1 dan Z3 berdasarkan nilai LDR 1 dan LDR 3 adalah

Rule LDR 1	Rule LDR 3	Min μ Z1	Z1	Min μ Z3	Z3
μ Gelap	μ Gelap	0	0	0	0
μ Gelap	μ terang	0	0	0	600
μ Gelap	μ terang sekali	0	0	0	600
μ terang	μ Gelap	0	600	0	0
μ terang	μ terang	0.08	0	0.08	0

Rule LDR 1	Rule LDR 3	Min μ Z1	Z1	Min μ Z3	Z3
μ terang	μ terang sekali	0.22	468	0.22	732
μ terang sekali	μ Gelap	0	600	0	0
μ terang sekali	μ terang	0.08	632	0.08	568
μ terang sekali	μ terang sekali	0.78	0	0.78	0

Maka didapatkan,

$$Z1 = \frac{153}{1,16} = 132 \text{ pulsa} = 9^\circ$$

$$Z3 = \frac{206}{1,16} = 178 \text{ pulsa} = 12,5^\circ$$

Metode Tsukamoto untuk mencari Z2 dan Z4 berdasarkan nilai LDR 2 dan LDR 4 adalah

Rule LDR 1	Rule LDR 3	Min μ Z1	Z1	Min μ Z3	Z3
μ Gelap	μ Gelap	0	0	0	0
μ Gelap	μ terang	0	0	0	400
μ Gelap	μ terang sekali	0	0	0	400
μ terang	μ Gelap	0	400	0	0
μ terang	μ terang	0.21	0	0.21	0
μ terang	μ terang	0.21	337	0.21	463

Rule LDR 1	Rule LDR 3	Min μ Z1	Z1	Min μ Z3	Z3
	sekali				
μ terang sekali	μ Gelap	0	400	0	0
μ terang sekali	μ terang	0.25	475	0.25	325
μ terang sekali	μ terang sekali	0.75	0	0.75	0

Maka didapatkan,

$$Z2 = \frac{189}{1,42} = 133 \text{ pulsa} = 9^\circ$$

$$Z4 = \frac{178}{1,42} = 125 \text{ pulsa} = 8,75^\circ$$

Dari perhitungan diatas didapatkan dengan menggunakan metode Tsukamoto jika diketahui nilai LDR1 adalah 4,81 Volt, LDR2 adalah 4,82 Volt, LDR 3 adalah 4,93 Volt dan LDR 4 = 4,79 Volt. Maka, didapatkan Z1 adalah 132 pulsa, Z2 adalah 133 pulsa, Z3 adalah 178 pulsa dan Z4 adalah 125 pulsa.

6.8 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan ini bertujuan untuk membuktikan, apakah pengujian dari setiap blok diatas dapat menjadi suatu sistem yang diharapkan. Dengan pengujian ini, juga dapat diketahui apakah alat yang dirancang telah bekerja sesuai dengan prinsip kerja yang telah direncanakan pada awal perancangan sistem. Pengujian dilakukan dengan merangkaikan alat-alat seperti pada blok diagram sistem, mengaktifkan semua alat yang telah dirakit, kemudian mengamati kerja sistem.

Dalam pengujian Sistem secara keseluruhan diperlukan peralatan pengujian seperti dibawah ini:

- a. Blok sensor
- b. Driver Motor DC
- c. Motor DC
- d. PC (Program Fuzzy)

Pada pelaksanaan pengujian sensor *solar cells* maka langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Merakit setiap blok perancangan sensor, driver motor DC, panel surya menjadi satu sesuai dengan perancangan.
2. Memasukkan perancangan blok dan logika *fuzzy* ke dalam mikrokontroler.
3. Mengaktifkan Alat dengan mikrokontroler yang telah diisi perancangan blok sistem dan perhitungan logika *fuzzy*.

Setelah melakukan pengujian sesuai dengan langkah-langkah diatas maka didapatkan hasil yaitu pada pengujian keseluruhan sistem, diinginkan panel surya dapat bergerak sesuai dengan perhitungan logika *fuzzy*. Dalam pengujian ini data akan disajikan dalam bentuk Tabel yang berisi besar nilai LDR saat panel surya diam dan saat panel surya melakukan pelacakan (*tracking*). Dimana, akan ditunjukkan pula nilai Z1, Z2, Z3 dan Z4 hasil perhitungan logika *fuzzy* sehingga akan terlihat perubahan nilai LDR saat diam dan saat pelacakan (*tracking*) dilakukan. Data hasil pengujian keseluruhan sistem dengan dilengkapi perhitungan logika *fuzzy* ditunjukkan dalam Tabel 6.3, 6.4 dan 6.5.

Berikut adalah hasil perbedaan antara panel surya diam dan berpenjejak pada tanggal 29 dan 30 Maret 2014 pada jam 07.00-16.00. Perhitungan logika *fuzzy* dilakukan setiap 1800s.

**Tabel 6.3 Perbandingan Data LDR saat Posisi Diam dan Berpenjejak Pada
Tanggal 29 Maret 2014**

Jam	LDR (DIAM) (Volt)	LDR (TRACKING) (Volt)	Z1 (Pulsa)	Z2 (Pulsa)	Z3 (Pulsa)	Z4 (Pulsa)
07.00	4.40	4.52	15°	12°	23°	13°
	4.51	4.63				
	4.73	4.86				
	4.60	4.65				
07.30	4.44	4.57	13°	11,7°	24,5°	13°
	4.53	4.56				
	4.79	4.81				
	4.66	4.69				
08.00	4.55	4.62	14°	11,5°	23°	13°
	4.55	4.70				
	4.78	4.86				
	4.59	4.68				
08.30	4.73	4.92	14°	11,5°	18°	12°
	4.68	4.83				
	4.79	4.86				
	4.69	4.92				
09.00	4.79	4.81	9°	10°	20°	10°
	4.81	4.83				
	4.91	4.91				
	4.78	4.82				
09.30	4.81	4.89	10°	10°	18°	10°
	4.81	4.83				
	4.89	4.86				
	4.82	4.85				

Jam	LDR (DIAM) (Volt)	LDR (TRACKING) (Volt)	Z1 (Pulsa)	Z2 (Pulsa)	Z3 (Pulsa)	Z4 (Pulsa)
10.00	4.81	4.88	11,5°	7°	16°	10°
	4.86	4.89				
	4.90	4.93				
	4.92	4.89				
10.30	4.91	4.92	17°	8°	11°	10°
	4.86	4.90				
	4.79	4.84				
	4.90	4.92				
11.00	4.91	4.92	17°	7°	10°	12°
	4.81	4.83				
	4.79	4.86				
	4.92	4.92				
11.30	4.92	4.93	17,5°	6°	10°	11°
	4.84	4.86				
	4.79	4.86				
	4.93	4.93				
12.00	4.84	4.84	15°	7°	14°	13°
	4.83	4.93				
	4.78	4.81				
	4.91	4.92				
12.30	4.63	4.68	16°	7°	18°	20°
	4.43	4.83				
	4.73	4.80				
	4.88	4.88				
13.00	4.65	4.71	16°	10°	17,5°	13°
	4.68	4.70				
	4.70	4.72				

Jam	LDR (DIAM) (Volt)	LDR (TRACKING) (Volt)	Z1 (Pulsa)	Z2 (Pulsa)	Z3 (Pulsa)	Z4 (Pulsa)
	4.75	4.78				
13.30	4.49	4.60	16,5°	12°	18,5°	12°
	4.61	4.64				
	4.58	4.67				
	4.64	4.71				
14.00	4.39	4.52	14°	12°	21°	12°
	4.51	4.63				
	4.55	4.66				
	4.53	4.65				
14.30	4.79	4.84	24°	12°	13°	12°
	4.49	4.62				
	4.50	4.67				
	4.51	4.58				
15.00	4.69	4.72	25°	10°	15,5°	10°
	4.21	4.35				
	4.46	4.55				
	4.12	4.35				
15.30	4.31	4.52	12°	26°	21°	11°
	4.51	4.62				
	4.57	4.58				
	4.08	4.39				
16.00	4.48	4.33	18°	24°	15°	11°
	4.34	4.46				
	4.36	4.50				
	4.06	4.39				

**Tabel 6.4 Perbandingan Data LDR saat Posisi Diam dan Berpenjejak Pada
Tanggal 30 Maret 2014**

Jam	LDR (DIAM) (Volt)	LDR (TRACKING) (Volt)	Z1 (Pulsa)	Z2 (Pulsa)	Z3 (Pulsa)	Z4 (Pulsa)
07.00	4.46	4.50	14°	12°	23°	10°
	4.50	4.56				
	4.80	4.85				
	4.40	4.45				
07.30	4.50	4.63	11,5°	13°	26°	11°
	4.56	4.62				
	4.85	4.82				
	4.45	4.46				
08.00	4.50	4.53	13°	13°	23°	10°
	4.50	4.56				
	4.81	4.88				
	4.38	4.49				
08.30	4.76	4.83	16°	9°	16°	11,5°
	4.79	4.84				
	4.75	4.90				
	4.83	4.90				
09.00	4.77	4.80	2°	16°	15,5°	17°
	4.78	4.82				
	4.94	4.93				
	4.75	4.86				
09.30	4.81	4.84	6°	4,5°	10°	6,5°
	4.81	4.85				
	4.93	4.91				
	4.84	4.90				
10.00	4.86	4.89	12°	8°	14°	10,5°

Jam	LDR (DIAM) (Volt)	LDR (TRACKING) (Volt)	Z1 (Pulsa)	Z2 (Pulsa)	Z3 (Pulsa)	Z4 (Pulsa)
	4.85	4.88				
	4.90	4.88				
	4.91	4.91				
10.30	4.90	4.93	17°	10°	11°	9°
	4.87	4.84				
	4.82	4.86				
	4.85	4.90				
11.00	4.92	4.90	16°	16,3°	16°	10°
	4.86	4.91				
	4.84	4.90				
	4.90	4.93				
11.30	4.93	4.92	17°	8°	10°	9°
	4.88	4.92				
	4.81	4.89				
	4.91	4.91				
12.00	4.94	4.93	18,5°	8°	8,5°	9°
	4.88	4.90				
	4.80	4.90				
	4.90	4.90				
12.30	4.94	4.94	22°	10°	8°	8°
	4.88	4.92				
	4.72	4.80				
	4.84	4.86				
13.00	4.94	4.94	22°	10,5°	7°	9°
	4.83	4.85				
	4.78	4.79				
	4.80	4.86				

Jam	LDR (DIAM) (Volt)	LDR (TRACKING) (Volt)	Z1 (Pulsa)	Z2 (Pulsa)	Z3 (Pulsa)	Z4 (Pulsa)
13.30	4.92	4.98	3°	17°	16°	22°
	4.84	4.84				
	4.79	4.82				
	4.93	4.93				
14.00	4.49	4.45	16°	12°	19°	12°
	4.55	4.61				
	4.59	4.74				
	4.53	4.67				
14.30	4.39	4.46	13°	12°	22°	12,5°
	4.56	4.58				
	4.54	4.62				
	4.53	4.65				
15.00	4.32	4.39	11°	12°	23°	12°
	4.53	4.55				
	4.52	4.55				
	4.51	4.52				
15.30	4.38	4.45	14°	11°	20°	12°
	4.44	4.49				
	4.54	4.51				
	4.47	4.62				
16.00	4.39	4.40	15°	12°	19°	11°
	4.47	4.49				
	4.55	4.54				
	4.44	4.39				

Dari data hasil pengukuran selama dua hari diatas didapatkan bahwa ldr cenderung memposisikan panel surya untuk mendapatkan rentang cahaya yang sama, sehingga sensor solar cell dapat memaksimalkan keluarannya. Perubahan

nilai Idr pada panel surya didapatkan berdasarkan perhitungan logika fuzzy yang mengikuti data sensor Idr sebelum dilakukan perhitungan logika fuzzy, yang kemudian output logika fuzzy berupa pulsa pergerakan motor yang merubah posisi panel surya sehingga data Idr baru setelah dilakukan perhitungan logika fuzzy menunjukkan data Idr pada rentang cahaya yang sama.

Berikut ini adalah Tabel 6.5 dimana berisi nilai tegangan keluaran rata-rata oleh sensor *solar cell* yang diambil saat panel surya tidak bergerak (diam) dan saat setelah dilakukan pelacakan (*tracking*) dengan memperhitungkan seluruh kondisi saat intensitas cahaya gelap adalah 3,30 volt dan terang sekali 5,00 volt.

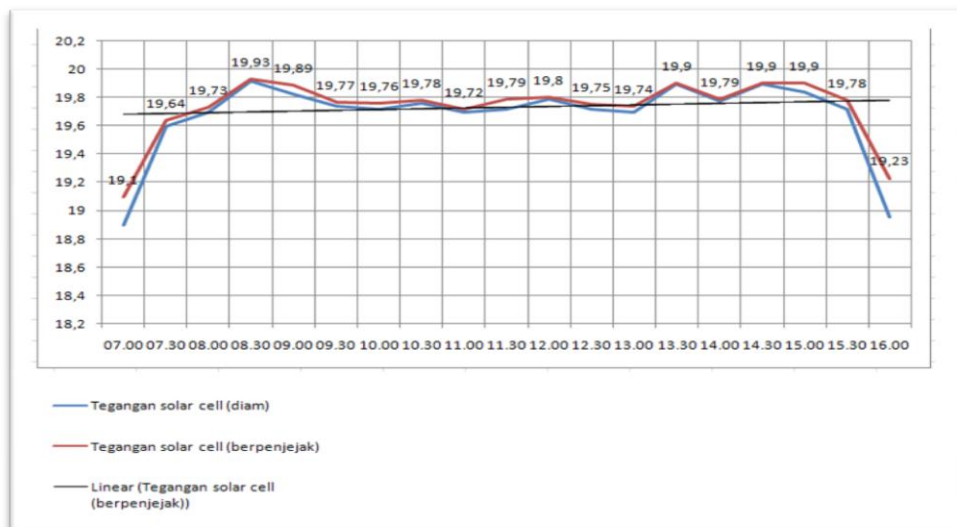
Tabel 6.5 Hasil Optimasi Tegangan keluaran rata-rata sensor Solar cell selama 5 hari (02 – 07 April 2014)

Jam	V _{out} sensor solar cell (Diam)(Volt)	V _{out} sensor solar cell (Tracking) (Volt)	Selisih V _{out} (Volt)
07.00	18,60	19,33	0,73
07.30	18,90	19,34	0,44
08.00	19,10	19,43	0,33
08.30	19,12	19,48	0,36
09.00	19,45	19,87	0,42
09.30	19,74	19,99	0,25
10.00	19,72	20,52	0,80
10.30	20,66	20,88	0,22
11.00	20,70	20,89	0,19
11.30	20,72	20,91	0,19
12.00	20,79	20,97	0,18
12.30	20,92	21,01	0,09
13.00	20,70	21,30	0,60
13.30	19,69	20,89	0,20
14.00	19,88	20,44	0,56
14.30	19,62	20,30	0,68
15.00	19,54	19,90	0,36
15.30	19,52	19,89	0,37
16.00	18,96	19,59	0,63
Rata-rata Selisih V _{OUT}			0,40

Data nilai tegangan keluaran sensor *solar cell* telah diambil rata-rata selama 5 hari yang kemudian dicari nilai selisih antara tegangan keluaran sensor

solar cell saat setelah dilakukan pelacakan (*tracking*) dan pada saat diam. Jumlah nilai selisih yang telah dihitung dicari nilai rata-rata tegangan keluaran sensor (V_{out}) agar dapat kita lihat berapa perubahan tegangan saat diam dan saat pelacakan setiap setengah jam.

Pada pengujian pagi hari dan sore hari terlihat perubahan tegangan cenderung lebih besar, hal ini disebabkan adanya perubahan posisi matahari dari timur ke barat, sedangkan posisi panel surya yang diam, tidak membuat seluruh permukaan sensor *solar cell* mendapat cahaya matahari. Pada grafik dibawah ditunjukkan perbedaan nilai tegangan keluaran *solar cell* saat diam dan saat *tracking* dilakukan berdasarkan pengambilan data setiap setengah jam. Pada grafik dibawah saat dilakukan *tracking* pada panel surya didapatkan nilai tegangan lebih besar dibandingkan nilai tegangan saat panel surya diam.



Gambar 6. 22 Grafik perbandingan Tegangan solar cell

Pada grafik diatas dijelaskan perbandingan tegangan keluaran saat diam dan saat dilakukan *tracking* dengan perhitungan logika *fuzzy*. Dari data didapatkan perbandingan sebesar 0,40 volt dari tegangan keluaran diam dan saat dilakukan *tracking*.

Berikut ini adalah Tabel 6.6 dimana optimasi panel surya dengan hanya memperhitungkan satu kondisi cuaca saat kondisi intensitas cahaya terang sekali dan memperkecil range data fungsi keanggotaan setiap LDR menjadi batas gelap $\leq 4,00$ volt, batas terang adalah $4,00 \text{ volt} < 4,50 \text{ volt} < 5,00 \text{ volt}$ dan kondisi terang sekali adalah $\geq 5,00 \text{ volt}$ dimana pengujian dilakukan pada tanggal 11 April 2014. Data nilai tegangan keluaran sensor *solar cell* saat sebelum dan setelah dilakukan pelacakan (*tracking*). Jumlah nilai selisih yang telah dihitung dicari nilai rata-rata tegangan keluaran sensor (V_{out}) agar dapat kita lihat berapa perubahan tegangan saat diam dan saat pelacakan setiap setengah jam.

Tabel 6.6 Hasil Optimasi Tegangan keluaran sensor *Solar cell* pada Tanggal 11 April 2014

Jam	V _{out} sensor solar cell (Diam)(Volt)	V _{out} sensor solar cell (Tracking) (Volt)	Selisih V _{out} (Volt)
07.00	18,60	20,01	1,41
07.30	18,72	20,32	1,60
08.00	18,80	20,33	1,53
08.30	19,00	20,48	1,48
09.00	19,10	20,87	1,77
09.30	19,41	20,89	1,48
10.00	19,31	20,99	1,68
10.30	19,66	21,30	1,64
11.00	19,70	21,32	1,62
11.30	20,52	21,41	0,89
12.00	20,74	21,50	0,76
12.30	20,92	21,50	0,58
13.00	20,70	21,30	0,60
13.30	19,89	20,89	1,00
14.00	19,88	20,84	0,96
14.30	19,62	20,40	0,78
15.00	19,54	19,99	0,45
15.30	19,00	19,79	0,79
16.00	18,90	19,59	0,69
Rata-rata Selisih V _{OUT}			1,78

Hasil optimasi pada Tabel 6.6 menunjukkan panel surya dengan proses pelacakan menggunakan FIS Takagi sugeno dengan rentang tegangan 4,00 volt

hingga 5,00 dengan kondisi hanya memperhitungkan kondisi saat intensitas cahaya terang sekali menunjukkan rata-rata perubahan tegangan solar cell adalah 1,78 Volt atau mengalami rata-rata peningkatan sebesar 5,84 % setiap pengambilan data tegangan keluaran sensor *solar cell*.

Dibawah ini adalah penyajian data yang ditunjukkan dalam Tabel 6.7. Tabel ini menyajikan data perhitungan logika *fuzzy* dengan dua metode yaitu Takagi-Sugeno dan Tsukamoto. Dimana, data LDR yang digunakan adalah data LDR yang disajikan dalam Tabel 6.7.

Tabel 6.7 Data LDR Saat Diam (13 April 2014)

Jam	LDR 1 (Volt)	LDR 2 (Volt)	LDR 3 (Volt)	LDR 4 (Volt)
07.00	4.50	4,52	4,69	4,49
07.30	4,53	4,50	4,78	4,49
08.00	4,55	4,53	4,77	4,59
08.30	4,75	4,75	4,78	4,59
09.00	4,77	4,80	4,82	4,63
09.30	4,78	4,81	4,83	4,65
10.00	4,79	4,81	4,85	4,82
10.30	4,81	4,82	4,93	4,79
11.00	4,91	4,81	4,80	4,82
11.30	4,91	4,84	4,75	4,91
12.00	4,85	4,85	4,90	4,87
12.30	4,73	4,68	4,65	4,55
13.00	4,73	4,69	4,71	4,64
13.30	4,52	4,61	4,58	4,63
14.00	4,39	4,51	4,52	4,51
14.30	4,69	4,49	4,50	4,51

Jam	LDR 1 (Volt)	LDR 2 (Volt)	LDR 3 (Volt)	LDR 4 (Volt)
15.00	4,69	4,40	4,52	4,31
15.30	4,47	4,49	4,45	4,28
16.00	4,40	4,39	4,39	4,06

Berikut adalah perbandingan antara metode fuzzy Takagi-Sugeno dengan metode Tsukamoto diambil pada tanggal 09 April 2014 yang disajikan dalam Tabel 6.8, dengan data LDR yang ditunjukkan dalam Tabel 6.7.

Tabel 6.8 Data perhitungan Logika Fuzzy Takagi-Sugeno dan Tsukamoto

Jam	Metode Fuzzifikasi	Z1 (pulsa)	Z2 (pulsa)	Z3 (pulsa)	Z4 (pulsa)
07.00	TS	16°	12°	20°	12°
	TSK	19,5°	14°	26°	12°
07.30	TS	13°	12°	23°	11,7°
	TSK	18°	12,6°	27°	12,5°
08.00	TS	12,8°	12°	23°	12,7°
	TSK	18°	13,5°	26°	15°
08.30	TS	15°	13°	17°	11°
	TSK	15,7°	12°	15,7°	11,7°
09.00	TS	15,8°	13°	17°	10,5°
	TSK	13,6°	14,7°	14,7°	10,6°
09.30	TS	14°	13°	16,8°	10°
	TSK	13°	14°	14,2°	10,5°
10.00	TS	13,4°	10,2°	16,8°	10,5°
	TSK	12,6°	8,4°	13,8°	9°
10.30	TS	7,8°	10,5°	20,6°	9,8°
	TSK	9,2°	9,3°	12,4°	8,75°

Jam	Metode Fuzzifikasi	Z1 (pulsa)	Z2 (pulsa)	Z3 (pulsa)	Z4 (pulsa)
11.00	TS	19,6	9,8°	9,4°	10°
	TSK	12,8°	8,4°	10,7°	8,5°
11.30	TS	18,3°	7,8°	13,3°	10,8°
	TSK	15,2°	6,3°	11,9°	7,2°
12.00	TS	11,3°	9,1°	15,8°	10°
	TSK	9,73°	6,7°	10,5°	7°
12.30	TS	18,8°	13,1°	15°	11,5°
	TSK	19,8°	16,1°	17,5°	12,8°
13.00	TS	16,9°	19,1°	15,7°	11,6°
	TSK	17°	13,2°	16,6°	12°
13.30	TS	17°	11,9°	17,9°	12°
	TSK	20°	13°	22°	13,6°
14.00	TS	13,6°	11,9°	20,5°	12°
	TSK	17°	12,7°	7,4°	12,7°
14.30	TS	19,8°	11,8°	16°	12°
	TSK	26,7°	12,5°	19,6°	13°
15.00	TS	19,6°	13°	16°	8,4°
	TSK	30°	15°	19°	10°
15.30	TS	16,8°	16,5°	16°	6,7°
	TSK	18,3°	14°	17,6°	9,5°
16.00	TS	16,4°	25°	14,2°	7°
	TSK	15,6°	12,6°	14,7°	5°

Dari data diatas didapatkan perbedaan rata-rata antara Z1, Z2,Z3 dan Z4.

Pada metode Takagi-Sugeno dan Tsukamoto didapatkan perbedaan pada Z1 sebesar 43 pulsa putaran atau perubahan sudut sebesar 3°. Untuk nilai Z2 didapatkan perbedaan nilai sebesar 28 pulsa putaran motor DC atau perubahan sudut sebesar 2°, nilai Z3 sebesar 40 pulsa putaran motor DC perubahan sudut

sebesar 3° dan untuk Z4 didapatkan 23 perbedaan pulsa putaran motor DC perubahan sudut sebesar $1,5^\circ$. Pada satu kali putaran motor DC didapatkan 70 pulsa putaran atau setara dengan perubahan sudut sebesar $4,9^\circ$, dari perbedaan diatas menunjukkan bahwa perbedaan antara perhitungan logika fuzzy dengan metode Takagi-Sugeno dan Tsukamoto tidak lebih dari satu putaran penuh motor DC.

Hasil perhitungan logika *fuzzy* antara FIS Takagi-Sugeno dan Tsukamoto maka hasil perhitungan keduanya diuji pada alat untuk melihat tegangan keluaran (V_{out}) sensor *solar cell* berdasarkan kedua metode. Hasil pengujian berdasarkan perhitungan kedua metode ditunjukkan dalam Tabel 6.9.

Tabel 6.9 Perbedaan Tegangan Keluaran sensor Solar cell dengan Metode Takagi-Sugeno dan Tsukamoto

Jam	V_{out} Solar Cell (Metode Takagi-Sugeno)	V_{out} Solar Cell (Metode Tsukamoto)	Selisih Tegangan keluaran (V_{out})solar cell
07.00	19.10	19.09	0.01
07.30	19.60	19.58	0.02
08.00	19.72	19.72	0
08.30	19.77	19.74	0.03
09.00	19.76	19.75	0.01
09.30	19.77	19.76	0.01
10.00	19.79	19.77	0.02
10.30	19.77	19.76	0.01
11.00	19.79	19.79	0
11.30	19.80	19.79	0.01
12.00	19.76	19.75	0.01
12.30	19.75	19.73	0.02

13.00	19.79	19.75	0.04
13.30	19.80	19.79	0.01
14.00	19.82	19.81	0.01
14.30	19.84	19.82	0.02
15.00	19.59	19.58	0.01
15.30	19.65	19.65	0
16.00	19.59	19.58	0.01
Rata-rata perbedaan V_{out} sensor <i>solar cell</i>			0.001

Tabel 6.9 menunjukkan data tegangan keluaran (V_{out}) yang dicuplik setelah dilakukan pelacakan berdasarkan hasil perhitungan kedua metode. Berdasarkan data diatas didapatkan perbedaan rata-rata tegangan keluaran (V_{out}) sensor *solar cell* pada alat sebesar 0,001 Volt. Hasil ini menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan pada alat saat pelacakan dilakukan dengan kedua metode. Pada alat ini metode Takagi-Sugeno menunjukkan perhitungan yang lebih efisien daripada metode Tsukamoto, hal ini ditunjukkan dalam perhitungan antara kedua metode pada satu kali perhitungan data LDR. Pada metode Takagi-Sugeno perhitungan dalam komputasi memerlukan waktu rata-rata 1,5 detik, dan pada metode Tsukamoto dibutuhkan waktu rata-rata 3 detik Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan dengan metode Takagi-Sugeno pada alat berhasil melakukan pelacakan matahari dan teruji.

Hasil Keseluruhan rancangan alat pada penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 6.23



Gambar 6.23 Hasil Rancangan

BAB VII

PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang optimisasi panel surya berpenjejak (sun tracking system) dengan menggunakan metode fuzzy Takagi-sugeno didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini perancangan algoritma logika *fuzzy* dilakukan dengan menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*) dari masing-masing masukan perhitungan logika fuzzy yaitu empat sensor LDR yang ditentukan berdasarkan pengujian secara langsung terhadap besar intensitas cahaya. Fungsi Keanggotaan menentukan derajat keanggotaan dari masing-masing masukan atau disebut dengan proses fuzzifikasi. Derajat keanggotaan masing-masing masukan dari sensor LDR melalui proses *rule base* dari *rule* yang telah dirancang berdasarkan masukan empat sensor dengan tiga himpunan *fuzzy* untuk masing-masing sensor yaitu gelap, terang, dan terang sekali. Berdasarkan empat sensor dan tiga himpunan fuzzy didapatkan $3^4 = 81$ rule. Setelah tahap *rule base* proses selanjutnya adalah agregasi atau penentuan keluaran hasil perhitungan MIN pada rule dan konstanta Z dengan metode *weight average*. Hasil akhir dari proses agregasi didapatkan keluaran hasil perhitungan logika *fuzzy*.
2. Hasil Perhitungan logika fuzzy berupa perubahan sudut panel surya ke arah barat, selatan, timur dan utara berdasarkan perancangan keluaran perhitungan logika fuzzy yang diwakilkan oleh nilai Z1 untuk arah timur, Z2 untuk arah selatan, Z3 untuk arah timur dan Z4 untuk arah utara .
3. Implementasi perhitungan logika fuzzy menggunakan FIS Takagi-Sugeno mampu menentukan posisi panel surya untuk mendapatkan rentang cahaya

yang sama pada setiap sisi panel surya. Untuk perancangan *hardware* dan *software* telah sesuai dengan perancangan per blok sistem yang diinginkan sesuai blok diagram perancangan dan diagram alir program pada perangkat lunak. Perhitungan logika fuzzy diimplementasikan ke dalam mikrokontroler ATmega 128 dengan bantuan program BASCOM-CVR.

4. Pada penelitian ini ditunjukkan perbedaan rata-rata perubahan besar nilai tegangan keluaran solar cell setiap setengah jam pengambilan data dari posisi diam adalah sebesar 0,40 volt dari posisi diam ke posisi *tracking* saat memperhitungkan semua kondisi intensitas cahaya. Dan optimasi panel surya saat perhitungan fuzzy hanya memperhitungkan kondisi intensitas cahaya yang terang sekali dengan memperkecil range masukan sensor LDR didapatkan perbedaan rata-rata 1,78 volt. Sebagai pembandingan perhitungan logika fuzzy dengan menggunakan FIS Takagi-Sugeno, dipilih metode Tsukamoto dimana hasil perhitungan didapatkan rata-rata perbedaan hasil perhitungan antara kedua metode adalah 3,3° untuk Z1, 2,1° untuk Z2, 3° untuk Z3 dan 1,7° untuk Z4. Dan perbedaan hasil tegangan keluaran V_{out} sensor *solar cell* adalah sebesar 0,001 Volt. Dalam hal komputasi perhitungan FIS Takagi-Sugeno membutuhkan waktu rata-rata 1,5 detik dalam mengeksekusi perhitungan sedangkan perhitungan FIS Tsukamoto membutuhkan waktu rata-rata 3 detik dalam setiap eksekusi perhitungan. Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan dengan FIS Takagi-Sugeno jika diimplementasikan pada alat lebih efisien dan tepat untuk system tracking yang membutuhkan komputasi yang lebih efisien agar penggunaan daya dapat lebih efisien.

7.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan dan kekurangan dari sistem. Saran-saran untuk penyempurnaan kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini luas dimensi solar cell 80 x 50 cm, sehingga perbedaan nilai LDR setiap arah tidak terlalu signifikan, sehingga mempengaruhi proses pelacakan sinar matahari. Besarnya dimensi panel surya akan memperlihatkan lebih jelas perbedaan nilai intensitas cahaya antara setiap ldr.
2. Sistem yang dibuat disesuaikan agar sesuai dengan di setiap bulan, sehingga dapat menerima kondisi terang, hujan, gelap, berawan atau sekali sekali. Sehingga, kondisi pelacakan matahari akan tidak terlihat karena *range* yang ada tidak berubah secara drastis.