

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Logika *fuzzy* merupakan alternatif sistem kendali modern yang mudah karena tidak perlu dicari model matematis dari suatu sistem, tetapi tetap efektif karena memiliki respon sistem yang stabil. (Kusumadewi, Sri, 2004: 34).

Penggunaan perhitungan logika *fuzzy* pada pengaturan posisi panel surya diharapkan mampu mengoptimalkan tegangan keluaran sensor *solar cell* agar mampu menjadi alternatif energi listrik di masa depan. Karena itu, pada penelitian ini akan dikembangkan panel surya yang dapat bergerak mengikuti posisi cahaya matahari dengan merancang suatu sistem kontrol posisi pada panel surya menggunakan logika *fuzzy* untuk memperoleh sistem pengendali yang dapat bekerja dengan baik pada sistem nonlinear yang kontinu dengan ketidakpastian yang besar. Perancangan sistem meliputi mekanik, elektrik dan perhitungan logika *fuzzy*. Secara jelas perancangan sistem dijelaskan dibawah ini.

2.1. Studi Literatur

Panel surya berpenjejak (*sun tracking system*) sendiri telah banyak dijadikan penelitian, baik berupa pelacakan berdasarkan ekspansi termal PV (*passive trackers*) maupun pelacakan secara elektrik menggunakan motor DC, gear box dan lainnya (*active trackers*). Dalam penelitian dipilih pelacakan secara aktif (Ching Lu, Hung, 2010 : 1878) dikarenakan sistem yang dirancang merupakan pengontrolan posisi menggunakan motor DC dengan perhitungan logika *fuzzy* yang berbasis mikrokontroler. Pada penelitian pertama yang berhubungan dengan optimasi panel surya (*sun tracking solar system*) dilakukan dengan membandingkan dua sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) yang kemudian sensor yang menunjukkan intensitas cahaya terbesar akan mengarahkan motor untuk memindahkan posisi panel surya ke arah intensitas cahaya terbesar, desain perancangan alat berupa *single axis* dan *dual axis* telah diteliti oleh Asmarhasid Ponniran pada tahun 2011. Pada penelitian kedua yang berhubungan dengan optimasi panel surya adalah

pengaturan posisi panel surya yang berdasarkan pada data perpindahan sudut matahari setiap jam sehingga panel surya akan berpindah sudut sesuai data yang didapatkan dengan menggunakan *smart peripheral controller* yang telah diteliti oleh Michael Kolondam pada tahun 2012. Pada penelitian ketiga penentuan posisi matahari didasarkan pada posisi sensor cahaya photodiode yang diletakkan diatas panel surya yang kemudian dibandingkan dan dirumuskan dalam satu persamaan, sehingga posisi cahaya matahari didapatkan, penelitian ini berpusat pada pembuatan sensor cahaya dengan menggunakan empat sensor photodiode yang diletakkan pada posisi arah barat,timur,selatan dan utara (Yan,Zhou, 2010: 162). Pada penelitian keempat dilakukan dengan membuat empat sensor photodiode yang diletakkan pada setiap kuadran pada suatu bidang dengan membandingkan error antara sinyal intensitas cahaya yang diterima oleh masing-masing photodiode pada setiap kuadran dengan perhitungan logika fuzzy yang telah diteliti oleh Zhou Yan pada tahun 2011, Dan pada penelitian kelima berhubungan dengan proses *tracking* panel surya *dual system* dimana penelitian ini diteliti oleh Sebastijan Seme di tahun 2011 tentang metode prediksi terang radiasi matahari didasarkan kemiringan dan lintasan sudut azimuth, sehingga didapatkan posisi matahari dan prediksi posisi matahari sesudahnya (Seme, Sebastijan, 2011:1281).

Tabel 2. 1 Milestone Penelitian yang Berhubungan dengan PV

Nama Peneliti dan Tahun Pembuatan	Judul	Prinsip Kerja
As'ari,Michael Kolondam (2012)	Desain dan Konstruksi Sistem Kontrol Posisi pada Panel Surya dengan menggunakan <i>Smart Peripheral Kontroller (SPC)- stepper motor dan PC-Link USBER</i>	Pengambilan data sudut datang dilakukan dengan meletakkan papan panel surya di atas sebuah batang besi yang sudutnya dapat diubah-ubah, sudut datang matahari (θ) diukur dengan busur setiap 1 jam, dari pukul 07:00 sampai pukul 18:00. Pengambilan data dilakukan selama 10 hari. Data ini dipakai sebagai input data dan di uji cobakan pada <i>system</i>
Asmarashid Ponniran, Ammar Hashim, Handy Ali Munir (2011)	<i>A Design of Single Axis Sun Tracking System</i>	Sistem ini mengikuti cahaya matahari untuk mendapatkan daya maksimum pada output tanpa mempertimbangkan kecepatan motor. dan hanya berfokus dalam pelacakan intensitas cahaya oleh sensor.

Nama Peneliti dan Tahun Pembuatan	Judul	Prinsip Kerja
Zhou Yan Zhu Jiaying (2010)	<i>Application of Fuzzy Logic Control Approach in A Microcontroller-Based Sun Tracking System</i>	Menggunakan sensor photodiode dengan membandingkan error antara sinyal intensitas cahaya yang diterima oleh masing-masing fotodiode pada setiap kuadran.
Sebastian Seme Joze Vorsic (2011)	<i>Maximum Efficiency Trajectories of a Two-Axis Sun Tracking System Determined Considering System Consumption</i>	Dengan prinsip sudut azimuth mencari posisi matahari dengan membuat manipulator sudut yang dibuat berdasarkan perpindahan sudut matahari, waktu lokal, posisi awal PV untuk mendapatkan terang sekali matahari sehingga sudut untuk PV terhadap matahari didapatkan.
Syafaruddin CH. (2010)	Perbandingan Unjuk Kerja antara Panel Surya Berpenjejak dengan Panel Surya Diam	Membandingkan daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya yang berpenjejak dengan panel surya yang diam. Perbedaan tegangan antara sebelum dan sesudah diberikan penjejak adalah 3,95 Volt.

Sumber: Jurnal IEEE

Dari berbagai metode penelitian yang telah disebutkan maka penelitian ini bertujuan untuk mengoptimisasikan panel surya berpenjejak dari yang telah disebutkan diatas. Pada penelitian ini diharapkan panel surya merupakan *self-powered system* dimana sistem tidak mendapatkan sumber tegangan dari luar, mampu melakukan pencarian dengan cara menganalisis data masukan sensor sehingga mampu mengambil keputusan ke arah mana posisi panel surya tanpa harus melakukan pergerakan motor. Selain itu, sistem diharapkan dapat berdiri sendiri karena sistem menggunakan teknologi mikrokontroler dan mampu melakukan reset ulang ketika sudah dideteksi tidak ada intensitas cahaya matahari.

2.2. Landasan Teori

Untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan alat ini, maka perlu adanya penjelasan dan uraian teori penunjang yang digunakan dalam penelitian ini. Teori penunjang akan dijelaskan adalah:

- Panel Surya (*PV Cell*)
- Motor DC
- Sensor LDR

- Mikrokontroler Atmega 128
- Logika *Fuzzy*
- *Rotary Encoder*

2.2.1. Panel Surya (*PV CELL*)

Panel surya pada penelitian ini berupa panel sensor *solar cell* yang akan dioptimasi untuk dapat selalu mengikuti arah matahari sehingga tegangan keluaran (V_{out}) sensor dapat maksimal.

Sensor *solar cell* sendiri atau yang lebih dikenal juga dengan sel fotovoltaik adalah perangkat listrik yang mengubah energi cahaya langsung menjadi energi listrik oleh efek fotovoltaik. Ini adalah bentuk sel fotolistrik yang bila terkena cahaya, bisa menghasilkan dan mendukung arus listrik tanpa sekalat pada sumber tegangan luar. Istilah "fotovoltaik" berasal dari bahasa Yunani, "phos" yang berarti cahaya, dan "Volt" yang merupakan satuan dari besaran. Istilah "foto-volta" telah digunakan dalam bahasa Inggris sejak 1849.



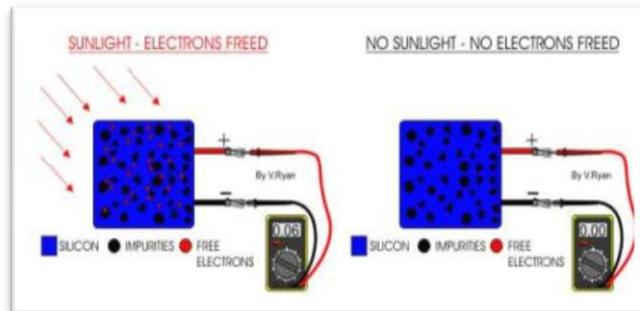
Gambar 2.1 Panel *solar cells*

Sumber: Solar cell, Wikipedia, 2014

Fotovoltaik adalah bidang teknologi dan penelitian yang berkaitan dengan aplikasi praktis dari sel fotovoltaik dalam memproduksi listrik dari cahaya, meskipun sering digunakan khusus untuk merujuk pada pembangkitan listrik dari sinar matahari. Sel digambarkan sebagai fotovoltaik bahkan ketika sumber cahaya bukan sinar matahari.

Cara kerja sederhana dari PV Silikon adalah bahan semikonduktor yang mampu menghantarkan listrik dan digunakan sebagai bahan utama untuk sel *Photovoltaik*. *Boron*

atau Fosfor ditambahkan ke bahan dasar ini. Boron atau Fosfor ini akan membebaskan elektron dan lalu mengarahkannya kepada beban listrik ketika sinar matahari menyentuh Panel Sel Photovoltaic. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Ilustrasi Cara Kerja Sederhana PV

Sumber: Solar cell, Wikipedia, 2014

2.2.2. Motor DC

Motor DC pada penelitian ini digunakan untuk menggerakkan panel surya ke arah yang telah ditentukan oleh hasil perhitungan logika fuzzy. Jumlah penggunaan motor DC pada alat ini adalah dua buah, dimana setiap motor akan menggerakkan ke arah timur-barat dan utara selatan.

Seperti yang telah diketahui motor DC adalah suatu alat yang mengubah pulsa listrik menjadi gerak, mempunyai prinsip dasar yang sama dengan motor *stepper* namun gerakannya bersifat kontinyu atau berkelanjutan. Salah satu jenis motor DC ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Motor DC

Sumber: Motor DC, Wikipedia, 2014

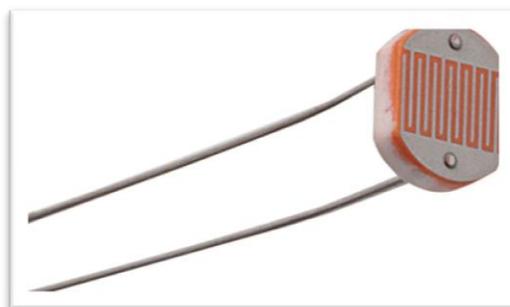
Motor DC dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

- a. Motor DC dengan sikat (mekanis komutasi), yaitu motor yang memiliki sikat karbon yang berfungsi sebagai pengubah arus pada kumparan sedemikian rupa sehingga arah tenaga putaran motor akan selalu sama.
- b. Motor DC tanpa sikat, menggunakan semi konduktor untuk merubah maupun membalik arus sehingga layaknya pulsa yang menggerakkan motor tersebut.

2.2.3. Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*)

Sensor LDR atau disebut *Light Dependent Resistor* pada penelitian ini digunakan sebagai pendeteksi intensitas cahaya matahari pada daerah disekitar panel surya, empat buah sensor LDR diletakkan pada setiap sisi panel surya. Data nilai intensitas cahaya yang ditunjukkan oleh sensor LDR ini akan menjadi nilai masukan untuk selanjutnya diolah oleh perhitungan logika *fuzzy*.

Sensor LDR adalah suatu komponen berupa resistor peka cahaya yang memanfaatkan bahan semikonduktor yang karakteristik listriknya berubah-ubah sesuai dengan cahaya yang diterima. Bahan yang digunakan adalah Kadmium Sulfida (CdS) dan Kadmium Selenida (CdSe). Bahan-bahan ini paling sensitif terhadap cahaya dalam spektrum tampak, dengan puncaknya sekitar $0,6 \mu\text{m}$ untuk CdS dan $0,75 \mu\text{m}$ untuk CdSe. Sebuah LDR CdS yang tipikal memiliki resistansi sekitar $1 \text{ M}\Omega$ dalam kondisi gelap gulita dan kurang dari $1 \text{ K}\Omega$ ketika ditempatkan dibawah sumber cahaya terang (Mike Tooley, 2003). LDR adalah suatu bentuk komponen yang mempunyai perubahan resistansi yang besarnya tergantung pada cahaya. Karakteristik LDR terdiri dari dua macam yaitu laju *recovery* dan respon spektral. Bentuk fisik sensor LDR ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sensor LDR

Sumber: Datasheet LDR, Maret 1997 : 1

Karakteristik LDR dapat dilihat dari laju recovery dan respon spektral. Penjelasan dari karakteristik LDR adalah sebagai berikut:

a. Laju Recovery

Bila sebuah LDR dibawa dari suatu ruangan dengan level kekuatan cahaya tertentu kedalam suatu ruangan yang gelap, maka bisa kita amati bahwa nilai resistansi dari LDR tidak akan segera berubah resistansinya pada keadaan ruangan gelap tersebut. Namun LDR tersebut hanya akan bisa mencapai harga di kegelapan setelah mengalami selang waktu tertentu. Laju *recovery* merupakan suatu ukuran praktis dan suatu kenaikan nilai resistansi dalam waktu tertentu. Harga ini ditulis dalam K/detik, untuk tipe LDR arus harganya lebih besar dari 200 K/detik (selama 20 menit pertama mulai dari level cahaya 100 lux), kecepatan tersebut akan lebih terang sekali pada arah sebaliknya, yaitu pindah dari tempat gelap ke tempat terang yang memerlukan waktu kurang dari 10 ms untuk mencapai resistansi yang sesuai dengan level cahaya 400 lux.

b. Respon Spektral

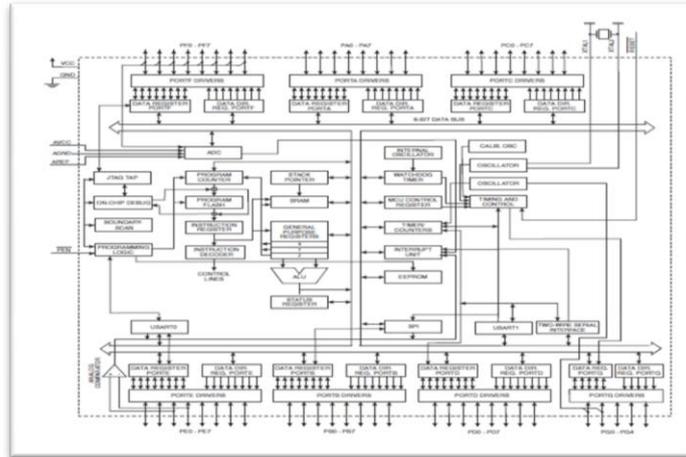
LDR tidak mempunyai sensitivitas yang sama untuk setiap panjang gelombang cahaya yang jatuh padanya yaitu warna. Bahan yang biasa digunakan sebagai penghantar arus listrik yaitu tembaga, alumunium, baja, emas, dan perak. Dari kelima bahan tersebut tembaga merupakan penghantar yang paling banyak digunakan karena mempunyai daya hantar yang baik (TEDC, 1998).

2.2.4. Mikrokontroler ATmega 128

Perancangan alat pada penelitian ini membutuhkan sebuah pusat pengolah data yang mengatur jalannya sistem, termasuk proses perhitungan logika fuzzy. Dimana, proses perhitungan logika fuzzy membutuhkan memori yang cukup besar dibandingkan

mikrokontroler pada umumnya seperti ATmega 6, ATmega 16 atau ATmega 8535. Karena itu, dibutuhkan Mikrokontroller ATmega 128 yang merupakan mikrokontroller keluarga AVR yang mempunyai kapasitas flash memori 128KB. AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*) merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Secara umum, AVR dapat terbagi menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, *peripheral*, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, bisa dikatakan hampir sama. Semua jenis AVR dilengkapi dengan *flash* memori sebagai memori program. Kapasitas dari *flash* memori ini berbeda antara *chip* yang satu dengan *chip* yang lain. Tergantung dari jenis IC yang digunakan. Untuk *flash* memori yang paling kecil adalah 1 kbytes (ATtiny11, ATtiny12, dan ATtiny15) dan paling besar adalah 128 kbytes (AT-Mega128). Mikrokontroler ATmega 128 adalah merupakan penggabungan instruksi yang sangat kaya dimana diatur dengan 32 tujuan umum register yang berkerja. 32 register ini secara langsung terhubung dengan Arithmetic Logic Unit (ALU). Yang memungkinkan dua register independen untuk diakses dalam satu instruksi tunggal dieksekusi dalam satu siklus clock. Arsitektur yang dihasilkan lebih kode efisien sementara mencapai throughputs hingga sepuluh kali lebih cepat dari mikrokontroler CISC konvensional. Dengan fitur sebagai berikut:

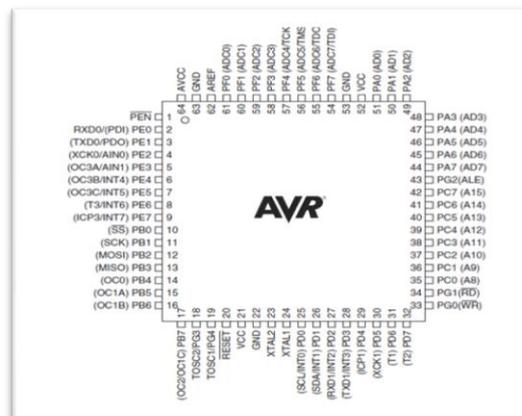
- a. 128 Kbits pemrograman flash dengan kemampuan *Read - While - Write*
- b. 4 Kbits EEPROM
- c. SRAM 4kbytes
- d. 53 I / O
- e. Real Time Counter (RTC)
- f. 4 fleksibel Timer / Counters dengan membandingkan mode dan PWM
- g. 2 USART
- h. 10 *channel* bit ADC dengan tahap masukan diferensial opsional dengan gain deprogram
- i. *Watchdog Timer* dengan *Internal Oscillator*



Gambar 2.5 Arsitektur MCU Atmega 128

Sumber: Datasheet ATmega 128, 2007

Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega8535 dengan kemasan 40-pin DIP (*Dual In-line Package*) dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Mikrokontroler ATmega 128

Sumber: Datasheet ATmega 128, 2007

- 1) VCC (*Power Referensi*): Digital Supply Voltage
- 2) GND (*Ground*)
- 3) Port A (PA7..PA0)

Port A adalah suatu 8 bit *bi-directional* I / O port dengan resistor pull-up internal (dipilih untuk setiap bit). Port A *Output buffer* memiliki karakteristik *drive* yang simetris dengan kedua sink terang sekali dan sumber kemampuan. Sebagai input, pin Port A yang

secara eksternal ditarik gelap akan arus sumber jika pull-up resistor diaktifkan. Pin Port A adalah tri-stated ketika kondisi reset menjadi aktif, bahkan jika jam tidak berjalan.

4) Port B (PB7..PB0)

Port B adalah suatu 8 bit *bi-directional* I/O port dengan resistor *pull-up* internal (dipilih untuk setiap bit). Port B *buffer* keluaran memiliki karakteristik drive yang simetris dengan kedua *sink* terang sekali dan sumber kemampuan. Sebagai *input*, pin port B yang secara eksternal ditarik gelap akan arus sumber jika *pull-up* resistor diaktifkan. Pin di Port B adalah tri-stated ketika kondisi reset menjadi aktif, bahkan jika jam tidak berjalan.

5) Port C (PC7..PC0)

Port C adalah suatu 8-bit *bi-directional* I / O port dengan resistor pull-up internal (dipilih untuk setiap bit). Port C keluaran *buffer* memiliki karakteristik *drive* yang simetris dengan kedua *sink* terang sekali dan sumber kemampuan. Sebagai *input*, pin port C yang secara eksternal ditarik gelap akan arus sumber jika *pull-up* resistor diaktifkan. Pin port C adalah *tri-stated* ketika kondisi reset menjadi aktif, bahkan jika jam tidak berjalan.

6) Port D (PD7..PD0)

Port D adalah suatu Port I/O 8-bit dua arah dengan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). Port D *output Buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* terang sekali dan kemampuan sumber. Sebagai input, pin port D yang secara *eksternal* ditarik gelap akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. Pin Port D adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi *Reset* menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

7) Port E (PE7..PE0)

8) Port F (PF7..PF0)

9) *Port G (PD7..PD0)*

Port G adalah suatu *Port I/O* 5-bit dua arah dengan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). *Port D output Buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* terang sekali dan kemampuan sumber. Sebagai *input*, pin *port D* yang secara *eksternal* ditarik gelap akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. Pin *Port D* adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi *Reset* menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

10) *RESET (Reset Input)*

11) *XTAL1 (Input Oscillator)*

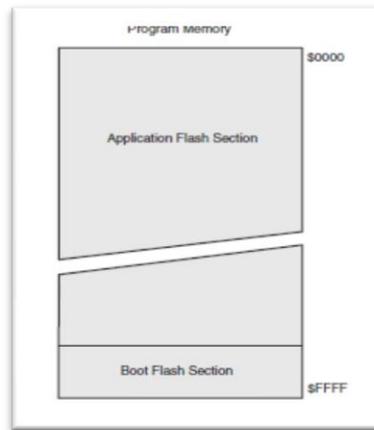
12) *XTAL2 (Output Oscillator)*

13) *AVCC* adalah pin penyedia tegangan untuk port A dan *A/D Converter*

14) *AREF* adalah pin *referensi* analog untuk *A/D converter*

a. Memori Atmega 128

ATmega 128 berisi 128 *Kbytes On-chip In-System Reprogrammable* memori Flash untuk penyimpanan program. Karena semua instruksi AVR adalah 16 atau 32 bit lebar, Flash diatur sebagai 64K x 16. Untuk keamanan perangkat lunak, ruang memori Program Flash dibagi menjadi dua bagian. Bagian Program *Boot* dan bagian Program Aplikasi. Flash memori memiliki daya tahan setidaknya 10.000 siklus menulis / menghapus. ATmega128 memiliki *program counter* (PC) yaitu 16 bit lebar, sehingga mengatasi lokasi 64K memori program. Operasi bagian dilengkapi program *boot* dan terkait *boot Lock bit* untuk perlindungan perangkat lunak.



Gambar 2.7 Peta Program Memori

Sumber: Datasheet ATmega 128 : doc2467.pdf

Mikrokontroler AVR ATmega-128 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Saluran I/O sebanyak 56 buah, yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C*, *Port D*, *Port E*, *Port F* dan *Port G*.
2. ADC 10 bit sebanyak 8 saluran.
3. 2 buah *Timer/Counter* 8 bit dan 2 buah *Timer/Counter* 16bit.
4. Dua buah PWM 8 bit.
5. *Watchdog Timer* dengan osilator internal.
6. Internal SRAM sebesar 4 *Kbytes*.
7. Memori *flash* sebesar 128 *Kbytes*.
8. Interupsi Eksternal.
9. *Port* antarmuka SPI.
10. EEPROM sebesar 4 *Kbytes*.
11. *Real time counter*.
12. 2 buah *Port* USART untuk komunikasi serial.
13. Enam kanal PWM.
14. Tegangan operasi sekitar 4,5 V sampai dengan 5,5V.

b. USART

Universal Synchronous Asynchronous dan seri Receiver and Transmitter (USART) adalah perangkat komunikasi serial dengan tingkat fleksibel yang terang sekali, dengan fitur utama adalah sebagai berikut:

- *Full duplex*
- *Master and Slave operation*
- *Data over run detection*
- Kecepatan ganda *asynchronous* mode komunikasi ganda USART. ATmega128 memiliki dua USART itu, USART 0 dan USART 1.
- *Filtering Noise*
- *Framing* kesalahan deteksi

2.2.5. Logika Fuzzy

Tujuan penelitian ini adalah optimasi dari sebuah panel surya agar nilai tegangan keluaran dari sensor *solar cell* dapat dimaksimalkan. Langkah dalam mengoptimalkan dapat dilakukan dengan mengoptimalkan *hardware* atau *software* sistem. Pada penelitian ini dipilih cara optimasi dengan memperbaiki *software* sistem menggunakan memprogram perhitungan logika *fuzzy* pada perancangan alat.

Logika *fuzzy* sendiri merupakan suatu logika yang lebih dekat dengan cara berpikir manusia, keanggotaan himpunannya mempunyai nilai yang bervariasi, menunjukkan nilai pengukuran secara kualitatif. Hal inilah yang menjadi salah satu alasan penggunaan logika *fuzzy* dalam sistem kendali (Ross, 1995:15).

a. Matematika Sistem Fuzzy

Logika *fuzzy* telah diaplikasikan di berbagai bidang, dari kontrol pemrosesan sinyal komunikasi dan sebagainya. Akan tetapi, aplikasi yang paling penting telah dipusatkan dalam permasalahan di bidang kontrol. contoh aplikasinya berupa kontrol robot, kecepatan transmisi data, kontrol elevator, hingga kontrol untuk proses kimia.

Prinsip dasar logika *fuzzy* sangat sederhana. Sistem dengan logika *fuzzy* memodelkan slogika yang mempresentasikan seorang operator dalam menjalankan suatu sistem.

b. Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* adalah sebuah himpunan yang terdiri atas elemen-elemen yang mempunyai derajat atau tingkat keanggotaan yang bervariasi dalam himpunan itu. Elemen-elemen dalam himpunan *fuzzy* bisa menjadi anggota himpunan *fuzzy* yang lain dalam semesta pembicaraan yang sama.

Sebuah himpunan *fuzzy* A pada semesta pembicaraan X digambarkan sebagai sekumpulan pasangan yang diurutkan dalam Persamaan (2.1).

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \tag{2-1}$$

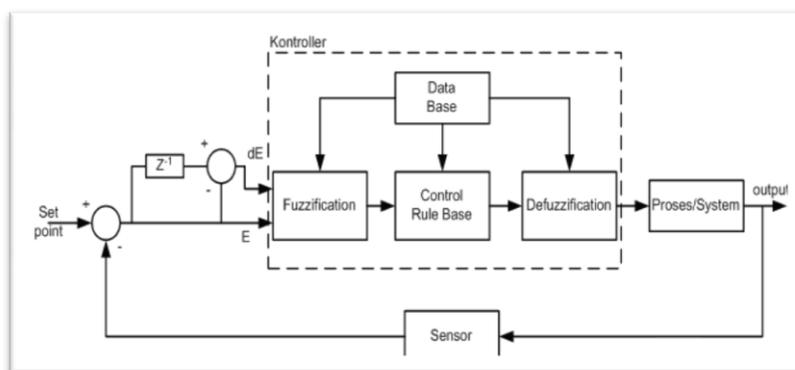
$\mu_A(x)$: derajat keanggotaan (*degree of membership*) atau fungsi keanggotaan (*membership function*)

X : semesta pembicaraan (*universe of discourse*)

x : suatu kumpulan input tertentu.

c. Struktur Dasar Pengendali Logika Fuzzy

Konfigurasi dasar pengendali logika *fuzzy* diperlihatkan dalam Gambar 2.8, yang terdiri dari lima komponen dasar yaitu basis pengetahuan, proses fuzzifikasi, logika pengambil keputusan dan proses defuzzifikasi.



Gambar 2.8 Konfigurasi Dasar Pengendali Logika Fuzzy

Gambar diatas menjelaskan konfigurasi dasar pengendali logika *fuzzy*, dimana *set point* adalah harga atau nilai yang ingin dikontrol, sensor digunakan untuk menunjukkan nilai keluaran sistem yang kemudian dibandingkan dengan nilai *set point*. Sehingga didapatkan nilai eror (E) dan delta eror (dE). nilai eror dan delta eror inilah yang akan dikontrol oleh kontroler dimana kontroler disini adalah logika *fuzzy*. Proses pengolahan nilai masukan logika *fuzzy* dijelaskan lebih lanjut. Blok *Process system* disini menunjukkan hasil keputusan logika *fuzzy* akan diproses pada sistem yang kemudian diperoleh nilai *output* baru dari sistem. Proses keseluruhan akan terus berlangsung hingga didapatkan nilai *set point* sama dengan nilai *output* atau eror bernilai nol.

d. Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*)

Basis pengetahuan (*knowledge base*) dalam pengendali logika *fuzzy* adalah bagian yang berisi basis data dan basis aturan. Basis aturan berisi sejumlah aturan *fuzzy* yang memetakan nilai masukan *fuzzy* ke nilai keluaran *fuzzy*. Aturan ini sering dinyatakan dengan format *IF-THEN*. Basis data berisi fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* yang digunakan sebagai nilai bagi setiap variabel sistem.

e. Pengambilan Keputusan

Pengambilan keputusan dilakukan oleh *fuzzy inference engine*. Ada dua cara yang digunakan untuk menggabungkan kaidah-kaidah atur (*rule base*) yaitu *composition based inference* dan *individual-rule based inference*. Pada *composition based inference*, semua aturan *fuzzy rule base* dikombinasikan menjadi relasi *fuzzy* tunggal dengan operator gabungan atau irisan, sehingga terlihat sebagai hanya satu aturan *IF-THEN*. sedangkan pada *individual-rule based inference*, setiap aturan dalam *fuzzy rule base* menentukan sebuah keluaran dan semua keluaran tersebut dikombinasikan dengan operator gabungan atau irisan. *Fuzzy inference engine* yang umum digunakan adalah *product inference engine* dan *minimum inference engine*.

- **Product Inference Engine**

Pengambilan keputusan ini menggunakan *individual-rule based inference* dengan kombinasi menggunakan operator gabungan, implikasi mamdani product, operator irisan menggunakan *algebraic product* dan operator gabungan menggunakan *max*.

$$\mu_{B'} = \max_{i=1}^M \left[\sup_{x \in U} (\mu_{A'}(x) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i}(x_i) \mu_{B'}(y)) \right] \quad (2-2)$$

dimana:

M : Jumlah maksimum aturan logika *fuzzy*

n : *Input fuzzy* maksimum

$\mu_A(x)$: Himpunan masukan *fuzzy*

$\mu_B(x)$: Himpunan keluaran *fuzzy*

- **Minimum Inference Engine**

Pengambilan keputusan ini menggunakan *individual-rule based inference* dengan kombinasi menggunakan operator gabungan, implikasi *mamdani minimum*, operator irisan menggunakan *min* dan operator gabungan menggunakan *max*.

$$\mu_{B'} = \max_{i=1}^M \left[\sup_{x \in U} \min (\mu_{A'}(x), \mu_{A_1}^l(x_1), \dots, \mu_{A_n}^l(x_n), \mu_{B'}(x)) \right] \quad (2-3)$$

dimana:

M : Jumlah maksimum aturan logika *fuzzy*

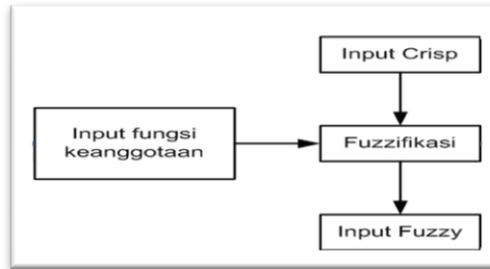
n : *Input fuzzy* maksimum

$\mu_A(x)$: Himpunan masukan *fuzzy*

$\mu_B(x)$: Himpunan keluaran *fuzzy*

f. Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* atau variabel numerik (*crisp*) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik) (Kuswadi, 2000: 33). Blok diagram proses fuzzifikasi diperlihatkan dalam gambar 2.9.



Gambar 2.9 Proses Fuzzifikasi

Sumber: Kuswadi, 2000:38

Dalam Gambar diatas, ditunjukkan bahwa nilai masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali logika *fuzzy* harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun, maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara *fuzzy* pula.

Unit fuzzifikasi melakukan proses fuzzifikasi dari data masukan tegas (*crisp*) dengan cara sebagai berikut:

1. Pemetaan nilai tegas variabel masukan ke semesta wacana yang sesuai.
2. Konversi dari data yang terpetakan tersebut ke istilah linguistik yang sesuai dengan himpunan *fuzzy* yang telah didefinisikan untuk variabel tersebut.

Unit defuzzifikasi melakukan pemetaan dari keluaran inferensi ke nilai tegas.

g. Inferensi *Fuzzy*

Inferensi *fuzzy* adalah proses untuk mendapatkan aksi keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan (*rules*) yang telah ditetapkan (Kuswadi, 2000:37).

Keputusan yang dihasilkan dari proses ini masih dalam bentuk *fuzzy*, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Metode *inference fuzzy* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Sugeno dimana output (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada Tahun 1985.

- Model *Fuzzy* Sugeno Orde-Nol

Secara umum bentuk model *fuzzy* Sugeno Orde-Nol adalah:

diketahui A_i adalah himpunan *fuzzy* ke i sebagai anteseden, dan k adalah suatu konstanta (tegas) sebagai konsekuen.

$$\text{IF } (X_1 \text{ is } A_1) \text{ o } (X_2 \text{ is } A_2) \text{ o } (X_3 \text{ is } A_3) \text{ o } \dots \text{ o } (X_N \text{ is } A_N) \text{ Then } z=k$$

- Model *Fuzzy* Sugeno Orde-Satu

Secara umum bentuk model *fuzzy* SUGENO Orde-Satu adalah:

$$\text{IF } (X_1 \text{ is } A_1) \text{ o } (X_2 \text{ is } A_2) \text{ o } \dots \text{ o } (X_N \text{ is } A_N) \text{ Then } z=p_1 * x_1 + \dots + p_n * x_n + q$$

dengan A_i adalah himpunan *fuzzy* ke i sebagai anteseden, dan p_i adalah suatu konstanta (tegas) ke- i dan q juga merupakan konstanta dalam konsekuen. Apabila komposisi aturan menggunakan metode Sugeno maka defuzifikasi dilakukan dengan mencari nilai rata-rata.

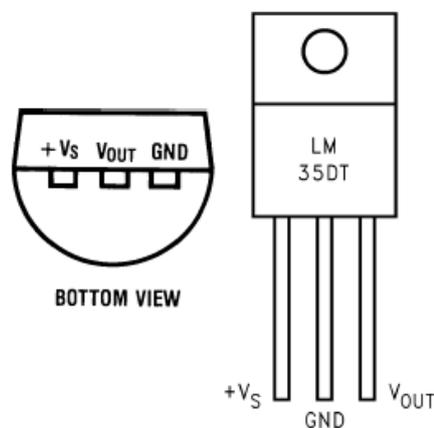
h. Defuzifikasi (Penegasan)

Defuzzikasi merupakan proses pemetaan himpunan *fuzzy* menjadi harga keluaran *crisp* (*nonfuzzy*). Keluaran dalam bentuk *crisp* ini digunakan untuk aksi kendali. Metode Defuzzifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan metode weighted average dengan mencari nilai α -predikat (*fire strength*) pada setiap aturan.

2.2.6. Sensor LM 35

Pada perancangan alat ini diinginkan sistem dapat mengenali keadaan cuaca secara *real time*, meskipun dengan sensor LDR sistem mampu mengenali cuaca tapi sebagai pembanding alat ini juga membutuhkan bantuan dari sensor lain yang mampu memberikan

data cuaca agar sistem mampu mengenali cuaca lebih baik. Pemilihan sensor LM 35 sebagai sensor suhu pada alat ini adalah karena sensor temperatur LM 35 paling banyak digunakan untuk praktek, karena selain harganya cukup murah, linearitasnya lumayan bagus. LM 35 tidak membutuhkan kalibrasi eksternal yang menyediakan akurasi $\pm\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ pada temperatur ruangan dan $\pm\frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$ pada kisaran -55 to $+150^{\circ}\text{C}$. LM35 dimaksudkan untuk beroperasi pada -55° hingga $+150^{\circ}\text{C}$, sedangkan LM35C pada -40°C hingga $+110^{\circ}\text{C}$, dan LM35D pada kisaran 0 - 100°C . LM 35D juga tersedia pada paket 8 kaki dan paket TO-220. Sensor LM35 umumnya akan naik sebesar 10mV setiap kenaikan 1°C (300mV pada 30°C). Bentuk fisik LM35 ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Bentuk Fisik LM 35

Sumber: Datasheet LM 35, November 2000

Untuk menggunakan LM35, Dapat dengan menyadap keluaran dari pin Vout untuk dapat dihubungkan langsung ke ADC (misal ADC 0804 8 bit)._Jika diinginkan standar pengukuran dalam Fahrenheit, maka dapat menggunakan sensor bertipe LM34A yang mempunyai kisaran pengukuran dari -50F hingga 300F dengan akurasi $+2.0\text{F}$. Skala outputnya juga sama yaitu $10\text{mV}/\text{F}$.

2.2.7. LCD (Liquid Crystal Display)

Pada perancangan alat ini diinginkan sistem dapat menampilkan nilai sensor LDR, sensor suhu, hasil perhitungan logika *fuzzy*, serta tegangan keluaran (V_{out}) sensor solar cell secara *real time*. Karena itu, dibutuhkan sebuah LCD (Liquid Crystal Display) yang mampu

menampilkan huruf, angka, atau simbol-simbol tertentu. Tipe LCD yang sering digunakan adalah LCD 16 x 2 (16 kolom 12 baris) dan LCD 20 x 2 (20 kolom 2 baris). Berikut adalah bentuk fisik dari LCD 16 x 2. Bentuk fisik LCD ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Bentuk Fisik LCD

Sumber: LCD. Wikipedia , 2013

Dalam pengoperasian LCD ada tiga buah *line* kontrol yaitu *line* EN, *line* RS, dan *line* RW. Jika LCD dioperasikan sebagai mode 4 bit, maka diperlukan 7 buah *line* (3 *line* kontrol dan 4 *line* data bus). Sedangkan jika dioperasikan sebagai 8 mode bit diperlukan 11 buah *line* (3 *line* kontrol dan 8 *line* data bus). Adapun pin-pin LCD dapat kita lihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Konfigurasi Pin LCD

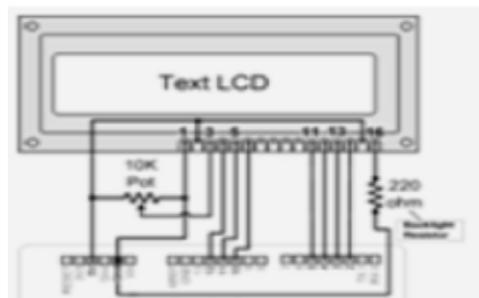
no. Pin	Nama	Fungsi
1	V_{ss}	Ground
2	V_{dd}	positif supply
3	V_{ee}	Contrast
4	RS	register select
5	R/W	read/write
6	EN	Enable
7-14	D0-D7	data bus

Pin 1 dan pin 2 merupakan *line power supply*. Pin V_{dd} terhubung dengan *positive supply* (5V DC) dan V_{ss} dengan 0V *supply* atau *ground*. Pin 3 (V_{ee}) adalah pin kontrol yang digunakan untuk mengatur ketajaman karakter yang tampil di LCD. Pin terhubung dengan *resistor variabel*. Pin 4 adalah *line* RS (*register select*). Saat RS berlogika *low*, data yang terdapat pada data bus diperlakukan sebagai instruksi khusus seperti: *clear sceen*,

positioning cursor. Saat RS berlogika *high*, data yang ada pada data bus diperlakukan sebagai karakter atau teks yang kemudian ditampilkan ke LCD.

Pin 5 adalah R/W (*read write*). Saat R/W *low*, data (instruksi/karakter) ditulis ke LCD, sedangkan saat R/W *high* digunakan untuk membaca data karakter atau status informasi pada register LCD. *Read* status informasi *busy flag* menggunakan DB7 sebagai indikator. Jika DB 7 *high*, maka operasi internal sedang berlangsung sehingga belum boleh mengirim instruksi/ karakter selanjutnya sampai saat DB7 *low*.

Pin 6 adalah *line* EN (*Enable*). *Line* kontrol ini digunakan untuk memberi informasi pada LCD bahwa sedang mengirimkannya suatu data dengan melakukan transisi dari 1–0. Agar LCD dapat menampilkan karakter yang diberikan oleh mikrokontroler, maka beberapa kaki dari LCD harus dihubungkan ke pin-pin mikrokontroler. Dalam perancangan telah ditetapkan bahwa kaki mikrokontroler dari port D0 sampai port D7. Interface LCD ke rangkaian mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



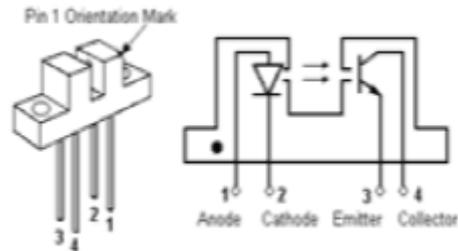
Gambar 2.12 Rangkaian Interface LCD

Sumber: LCD, Wikipedia , 2013

2.2.8. Sensor Rotary Encoder

Hasil perhitungan logika *fuzzy* pada perancangan alat ini adalah berypa jumlah putaran motor yang dihasilkan dari sensor putaran. Dimana, sensor putaran (*rotary encoder*) yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor putaran berbasis optik menggunakan komponen *optoswitch* dan piringan berpola. Dua sensor *rotary encoder* diletakkan pada dua motor penggerak panel surya ke arah utara dan selatan serta motor penggerak panel surya ke arah timur dan barat. Komponen *optoswitch* yang digunakan adalah tipe HY860D.

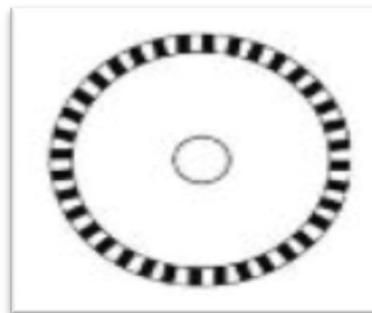
Komponen ini merupakan kombinasi LED inframerah sebagai pemancar cahaya dan *phototransistor* NPN sebagai penerima cahaya. Konfigurasi pin dari *optoswitch* ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Konfigurasi *Optocoupler*

Sumber: datasheet optocoupler HYD860D, 2011

Resolusi sensor yang digunakan pada perancangan ini sebesar 70 pulsa untuk setiap putaran penuh. Sifat sinyal *incremental* didapatkan dengan membuat pola berlubang pada sisi luar piringan berpola seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Piringan berpola untuk optocoupler

Sumber: Perancangan